

SISTEMAS AUTOMÁTICOS INDUSTRIALES DE EVENTOS DISCRETOS

Saturnino Soria Tello



Subido por:



Interfase IQ

Libros de Ingeniería Química y más



<https://www.facebook.com/pages/Interfase-IQ/146073555478947?ref=bookmarks>

**Si te gusta este libro y tienes la posibilidad,
cómpralo para apoyar al autor.**

SISTEMAS AUTOMÁTICOS INDUSTRIALES DE EVENTOS DISCRETOS

SATURNINO SORIA TELLO

SISTEMAS AUTOMÁTICOS INDUSTRIALES DE EVENTOS DISCRETOS

SATURNINO SORIA TELLO

Buenos Aires • Bogotá • México DF • Santiago de Chile



Datos catalográficos

Soria, Saturnino
Sistemas Automáticos Industriales de Eventos
Discretos
Primera Edición

Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., México

ISBN: 978-607-707-590-5

Formato: 17 x 23 cm

Páginas: 792

Sistemas Automáticos Industriales de Eventos Discretos

Soria, Saturnino

Derechos Reservados © Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C. V., México.

Primera Edición: Alfaomega Grupo Editor, México, enero 2013.

Diseño de portada e interiores: Melina S. Daffunchio

© 2013 Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Pitágoras 1139, Col. Del Valle, 03100, México D.F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana

Registro N° 2317

Página Web: <http://www.alfaomega.com.mx>

E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

ISBN: 978-607-707-590-5

Derechos reservados:

Esta obra es propiedad intelectual de su autor y los derechos de publicación en lengua española han sido legalmente transferidos al editor. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright.

Edición autorizada para la venta en todos los países del mundo.

Impreso en México. Printed in México.

Empresas del grupo:

México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. - Pitágoras 1139, Col. Del Valle, México D.F. - C.P. 03100
Tel.: (52-55) 5575-5022 - Fax: (52-55) 5575-2420 / 2490. Sin costo: 01-800-0204396
E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

Colombia: Alfaomega Colombiana, S.A. - Carrera 15 No. 64 A 29 - PBX (57-1) 2100122
Fax: (57-1) 6068648 - Fax (56-2) 235-5786 - E-mail: sciente@alfaomega.com.co

Chile: Alfaomega Grupo Editor, S.A. - General del Canto 370 - Providencia, Santiago, Chile
Tel.: (56-2) 235-4248 - Fax: (56-2) 235-5786 - E-mail: agechile@alfaomega.cl

Argentina: Alfaomega Grupo Editor, S.A. - Paraguay 1307 P.B. "11", Ciudad de Buenos Aires
C.P.: A1057AAU - Argentina - Tel./Fax: (54-11) 4811-7183 / 4811-0887 - E-mail: ventas@alfaomegaditor.com.ar

Dora Luz, mi esposa, mi inspiración y mi guía. La he limitado de mi compañía para desarrollar los métodos aquí agregados y escribir este libro.

Mis hijos **Andrea** y **Adrián**, por su entendimiento y apoyo para escribir este libro.

A ellos con mucho cariño y amor,

Saturnino Soria Tello

AGRADECIMIENTOS

Un profundo agradecimiento a las autoridades educativas de la facultad FIME de la UANL por todos los apoyos brindados en la comprobación de los nuevos métodos utilizados en este libro.

Dora Luz Sánchez Moreno por su valiosa ayuda en la edición de las imágenes.

A los compañeros aquí mencionados antes de agradecer profundamente su aportación en la elaboración de este libro les quiero agradecer su amistad.

Miguel Angel Platas Garza, por su valiosa aportación en el capítulo 12 de este libro, su experiencia en sistemas analógicos aporta un equilibrio entre la teoría y la práctica, esta última a través de los ejemplos resueltos de este capítulo.

Rodolfo Catillo Martínez, por su valiosa aportación en estructurar las ecuaciones del método “Temporizadores en Cascada”.

Francisco Javier Esparza Ramírez y Cornelio Posadas Castillo, por la valiosa revisión técnica de los temas de este libro y sugerencias de mejora.

CONTENIDO

Sistemas Automáticos Industriales de Eventos Discretos

Agradecimientos	9	Relevador detector de fases y secuencia	46
El autor	19	Relevador de sobrecarga	47
Prólogo	21	Relevador electromecánico de control	48
Descarga de los programas citados en el libro	23	Efecto del viaje de los contactos de un relevador	50
CAP TULO 1	25	2.2.2 El relevador de potencia o contactor	52
Introducción a los sistemas automáticos industriales	25	2.2.3 Relevador operado por tiempo	54
1.1 Introducción	25	Solución de sistemas automáticos con base en relevadores	54
Tipos de sistemas automáticos	26	Funciones lógicas con relevadores	55
Lazos de control	28	2.3.1 Sistema combinacional con base en relevadores	56
1.1.1 Sistema de lazo abierto discreto	28	2.3.2 Sistema secuencial con base en relevadores	63
1.1.2 Sistema de lazo cerrado discreto	30	2.4 Desventajas de los sistemas con base en relevadores	68
1.1.3 Sistema de lazo cerrado analógico	32	Funciones lógicas con relevadores	69
1.2 Sistemas de eventos discretos	34	2.5 Preguntas de estudio	70
1.3 Sistemas combinacionales y secuenciales	35	CAP TULO 3	73
1.3.1 Sistemas combinacionales	35	Controlador lógico programable (PLC)	73
1.3.2 Sistemas secuenciales	38	3.1 Introducción	73
1.4 Reconversión de equipo	40	3.1.1 Ventajas de los sistemas automáticos industriales (SAI) con base en PLC	75
1.4.1 Estudio de factibilidad	41	3.2 Estructura interna de un PLC	76
Factibilidad técnica	41	PLC del tipo compacto	76
Factibilidad de diseño	41	Controles modulares	77
Tiempo de diseño e implementación	41	Unidad central de procesamiento (CPU)	78
1.5 Costo-beneficio	42	Tiempo de scan	79
Procesos manuales	42	Diagnóstico interno	79
1.6 Retorno de la inversión	43	Barrido de entradas	79
1.7 Preguntas de estudio	44	Ejecución de la lógica	79
CAP TULO 2	45	Barrido de salidas	80
Sistemas automáticos con base en relevadores	45	Fuente de voltaje (PS)	80
2.1 Introducción	45	3.3 Módulo de entradas discretas	82
2.2 Relevadores de control y de potencia	46	Módulos de entrada de VCD	82
2.2.1 Relevador electromecánico	46	Módulos de entrada positiva de VCD (sink)	83
		Módulos de entrada de VCD tipo SOURCE	84
		Módulos de entrada de VCA	85
		3.4 Módulo de salidas discretas	86
		Módulo de salida de VCD	87
		Módulo de salida de VCA	87
		Módulo de salida tipo relevador	88

3.5 Comunicaciones con el PLC	90	Teoremas de álgebra booleana	132
Interfase de programación y computadora personal	90	Teoremas con múltiples variables	137
3.6 Tipos de programaci n	92	4.5 Preguntas y problemas de estudio	149
3.6.1 Programación con instrucciones	92	Problemas	149
3.6.2 Programación con funciones lógicas	93		
3.6.3 Programación con lógica de contactos	94		
3.7 Seleccion del PLC	95	CAP TULO 5	155
Selección del PLC	98		
3.8 Preguntas de estudio	99		
CAP TULO 4	101		
Sistemas autom ticos basados en funciones l gicas	101	M todo de “la memoria interna”	155
4.1 Introducci n	101	5.1.1 Límites de aplicación	156
Niveles lógicos	102	5.2 M todo de “la memoria interna”	158
4.2 Introducci n a las funciones l gicas	103	5.2.1 Memoria interna	159
Tablas de verdad	103	5.2.2 Metodología de la memoria interna	160
4.2.1 Función lógica AND (Y)	104	5.2.2.1 Tabla natural del proceso	160
4.2.2 Función lógica OR (O)	105	5.2.2.2 Tabla de memorias	162
4.2.3 Función lógica NOT (NO)	106		
4.3 Ecuaciones de sistemas combinacionales	107	5.3 Ecuaciones de las memorias	163
Tabla de verdad de un sistema combinacional	108	5.4 Ecuaciones de las variables de salida	171
4.3.1 Número de combinaciones del sistema	108	5.4.1 Estados aislados	172
Ecuaciones del sistema	109	Estado aislado en el estado inicial	173
4.3.2 Programa con el software del PLC Crouzet	110	5.4.2 Estados compartidos	174
Simulación con el programa Crouzet	112	Obtención de las ecuaciones de las variables de salida	177
4.4 Ecuaciones de sistemas secuenciales	120	Reducción de memorias por límite de valores de la función de salida	179
4.4.1 Método de “un estado de memoria”	121	Representación por diagrama de estados	180
Tabla de estado	121		
Estado	121		
Representación de funciones lógicas con lógica de contactos	127	5.5 Aplicaci n del diagrama de estados	182
Función lógica AND con circuito de lógica de contactos	127	Ecuación de la función de salida	186
Función lógica OR con circuito de lógica de contactos	128		
Función lógica NOT con circuito de lógica de contactos	129	5.6 L gica de contactos con ecuaciones	187
Ecuaciones de sistemas automáticos con circuitos de lógica de contactos	130	Ecuaciones de memorias con lógica de contactos	188
Álgebra booleana	132	Diagrama de lógica de contactos para VS_1	190
		Diagrama de lógica de contactos de VS_2	191
		Diagrama de lógica de contactos de VS_{n-1}	191
		Diagrama de lógica de contactos de V_{S_n}	191
		Diagrama de lógica de contactos de los dos ejemplos resueltos	192
		Sistemas con bifurcaciones y retroceso a estados inmediatos anteriores	195
		5.7 Ejercicios resueltos	201
		5.8 Simulaci n con el software FluidSIM-P™ de FESTO	212
		5.9 Ejercicios de estudio	222

CAP TULO 6	229	
Sistemas secuenciales neum ticos	229	Válvula 4/2 252
6.1 Introducci n	229	Válvula 5/2 252
Propiedades físicas del aire	230	Diagrama de mando de válvulas 4/2 y 5/2 253
Compresibilidad	230	Válvula 4/3 y 5/3 254
Elasticidad	231	Válvula 3/2 255
Expansibilidad	231	Válvulas de simultaneidad 257
Seguridad	232	Válvula selectora de circuitos 258
Simplicidad en el diseño y control	232	6.7 Dispositivos de entrada 259
6.2 Sistema de generaci n de aire comprimido	232	6.8 V lulas de retardo de tiempo y contador neum tico 259
Compresor	232	Válvula de tiempo 260
Desplazamiento Positivo	233	Diagrama espacio-tiempo 261
Desplazamiento Dinámico:	233	Contador neumático 262
Enfriador posterior	233	6.9 Sistemas de vac o 263
Tanque acumulador de presión	234	Principio de funcionamiento de un venturi 264
Secador de aire	235	6.10 Dise o de sistemas secuenciales neum ticos 266
Red de generación de aire comprimido	235	Representación mediante vectores de desplazamiento 268
6.3 Sistemas autom ticos neum ticos	236	Representación abreviada con signos 268
Estructura de un sistema secuencial neumático	237	6.10.1 Diagrama de funcionamiento 269
6.4 Elementos final de control	238	Representación de un diagrama de funcionamiento con ecuaciones lógicas 270
6.4.1 Actuadores de movimiento lineal	239	6.11 Multiplicaci n y suma de funciones neum ticas discretas 272
Actuador lineal de simple efecto	239	Multiplicación lógica de funciones neumáticas 273
Actuador lineal de doble efecto	240	Sumatoria lógica de funciones neumáticas 275
Diagrama espacio-fase	241	Ejemplos de ecuaciones lógicas en funciones neumáticas 277
6.4.2 Actuadores de movimiento giratorio	244	6.12 Dise o de un automatismo neum tico con todos anal ticos 281
6.4.3 Actuador oscilatorio	245	Lista de partes 282
6.5 ELEMENTOS DE GANANCIA	246	Ecuaciones del sistema 283
Válvula de Control de Flujo Variable Bidireccional	246	Método de ubicación de pulso único (PU) 284
Válvula de Control de Flujo Unidireccional	247	Ecuación de VP2 285
Control de Velocidad por el Aire de Entrada	247	Ecuaciones de las válvulas auxiliares 285
Control de Velocidad por el Aire de Salida	248	Diagrama de conexiones neumáticas 286
6.6 Elementos de procesamiento	248	Método memorización de pulsos de dos variables (MP) 288
Válvulas direccionales	248	Lista de partes 290
Posiciones	249	Ecuaciones del sistema 291
Vías	249	Ecuación de VP1 291
Tipos de piloto	250	
Piloto neumático en A y retorno por resorte en B	250	
Pilotos neumáticos en A y en B	251	
Estructura de una válvula direccional	251	
Configuración de válvulas direccionales	252	

Ecuación de VP2	291	Ecuaciones del sistema	323
Ecuaciones de las válvulas auxiliares	292	Diagrama de funcionamiento aplicando el método ME	326
Diagrama de conexiones neumáticas	292	Ecuaciones del sistema	327
Método "memoria de estado (ME)"	294	Diagrama de conexiones neumáticas	328
Diagrama de funcionamiento aplicando el método memoria de estado	297	Diagrama de funcionamiento y lista de partes	329
Ecuaciones del sistema	297	6.14 Preguntas y ejercicios de estudio	330
Ecuación de VP1	298	Ejercicios propuestos	333
Ecuación de VP2	298	CAP TULO 7	345
Ecuación de Vx1	298	Sensores de comportamiento discreto	345
Ecuación de Vx2	298	7.1 Introducción	345
Diagrama de conexiones neumáticas	299	7.2 Transductores	347
Diagrama de funcionamiento y lista de partes	300	Transductores de desplazamiento	348
Sistema secuencial neumático con retardo de tiempo	300	Transductores de presión o fuerza	350
Diagrama de funcionamiento	301	Transductores de velocidad	351
Ecuaciones del sistema	303	Transductores de temperatura	352
Ecuaciones de las válvulas principales	303	7.3 Sensores de comportamiento discreto	354
Ecuaciones de las válvulas auxiliares	303	7.3.1 Sensores de objetos por contacto	355
Diagrama de conexiones neumáticas	305	Aplicaciones	356
Sistema secuencial neumático con contador de eventos	305	Sensores de variables físicas por contacto	358
Diagrama natural del proceso	306	7.3.2 Sensores de proximidad del tipo discretos	360
Aplicación de método de trabajo	306	Características y especificaciones de los sensores discretos	361
Ecuaciones del sistema	307	Histéresis	362
Diagrama de conexiones neumáticas	308	Repetibilidad	363
Manipulación de objetos mediante sistemas de vacío	308	7.4 Sensores de detección magnética	366
Diagrama de funcionamiento aplicando algún método de trabajo	309	7.5 Sensores inductivos	369
Ecuaciones del sistema	310	Estructura	369
Diagrama de conexiones neumáticas	312	Principio de funcionamiento	370
Diagrama de funcionamiento y lista de partes	312	Diseño blindado	370
6.13 Ejemplos resueltos de sistemas secuenciales neumáticos	313	Diseño no blindado	372
Esquemático del sistema de traslado de producto	314	Factor de reducción	374
Ecuaciones del sistema	317	Símbolo	374
Ecuaciones de las memorias o válvulas auxiliares (Vx)	318	Aplicaciones	374
Ecuaciones de los temporizadores	319	7.6 Sensores capacitivos	375
Diagrama de funcionamiento aplicando el método ME	322	Principio de operación	376
		Diseño blindado	376
		Diseño no blindado	376
		Símbolo	377
		Aplicaciones industriales	377

Factor de reducción	378	Modo de operación	408
7.7 Sensores ópticos	378	8.3 Instrucción de tiempo en el PLC Siemens	410
Estructura	379	Temporizador TON retentivo (R)	411
Fuente de luz	379	Representación con el diagrama de tiempos	411
Detector de luz	379	Identificando un método	413
Lentes	380	Ecuaciones lógicas del sistema	414
Círculo lógico	380	Diagrama de lógica de contactos	416
Salida	380	Programa para el PLC Siemens	417
7.7.1 Tipos de sensores ópticos	381	8.4 Función contador	428
Sensor de haz transmitido	381	Función contador con el PLC Siemens	429
Aplicación del sensor	382	Contador ascendente/descendente (CTUD)	434
Sensor retroreflectivo	382	8.5 Funciones de comparación de valores numéricos	437
Aplicación del sensor	383	8.6 Ajuste de valores preestablecidos mediante una HMI	443
Sensor del tipo difuso	384	Aplicación de la TD 200 de Siemens	444
Aplicación del sensor	384	8.7 Sistemas secuenciales basados en las funciones de tiempo y conteo	458
Símbolo	385	Ecuaciones del sistema	462
Factor de reducción	385	Ecuaciones de los temporizadores	462
7.8 Salidas PNP y NPN en sensores de corriente directa	386	Ecuación del contador	463
Sensor con salida PNP	386	Ecuación de la función de salida	464
Sensor con salida NPN	386	Diagrama de lógica escalera para los mensajes	464
Tipos de conexiones eléctricas en sensores	387	Mensajes	469
Sensores de dos hilos	388	Diagrama de flujo de los mensajes	470
Sensores de tres y cuatro hilos	388	Diagrama de lógica escalera	477
Conexión en serie de sensores	389	Mensajes	479
Conexión en paralelo de sensores	390	Diagrama de flujo de los mensajes	480
Conexión de un sensor como entrada a un PLC	391	Diagrama de lógica escalera	482
Entradas Sink / Source	392	Diagrama de conexiones eléctricas	483
7.9 Ejercicios resueltos	394	8.8 Sistemas automáticos del tipo industrial	484
7.10 Preguntas y ejercicios para estudio	396	Cronograma de las funciones	486
CAPÍTULO 8	401	Diagrama de flujo de los mensajes	487
Sistemas secuenciales basados en la función tiempo y conteo	401	Diagrama de flujo de la secuencia	488
8.1 Introducción	401	Diagrama de lógica escalera	491
8.2 Funciones de tiempo	403	Sistema de alarmas	500
Estructura de un temporizador electromecánico	403	Ecuaciones para alarma 1 (AL1)	501
Temporizador con retardo al encendido (TON)	404	Ecuaciones para alarma 2	501
Modo de operación	405	Ecuaciones para alarma 3	502
Diagrama de tiempos	406	Funciones de salida	502
Temporizador con retardo para apagar (tof)	407	Despliegado de mensajes	503
		Diagrama de lógica de contactos	504

Etapa de subrutinas	508	9.7 Funciones de salida localizadas en una subrutina	549
8.9 Preguntas y ejercicios de estudio	510	Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens	552
Preguntas	510		
Problemas	511		
CAP TULO 9	519		
Temporizadores en cascada	519		
9.1 Introducción	519	9.9.1 Operaciones de suma y multiplicación en un sistema secuencial	564
Límites de aplicación del método	520	Multiplicación	564
9.2 Estructura del método de temporizadores en cascada	521	Suma	565
Simbología del método	522	Cálculo de tiempo para el ramal 1	567
Conector de enlace	522	9.9.2 Cálculo del tiempo de ciclo de un sistema con m ramales y línea principal	567
Función de entrada, suma y multiplicación	522	Resultado del ramal 1	569
Funciones de tiempo, salida y memoria	523	Resultado del ramal 2	569
Quadrante de contactos de "Temporizadores en Cascada"	523	Resultado del ramal 3	570
9.3 Gráfico de un sistema en cascada con una línea principal	524	9.9.3 Sistema con q funciones de salida y m ramales	570
Gráfico de sistema sin retroalimentación en lazo	524	9.9.3.1 Función dependiente de temporizadores localizados en la línea principal (F1,b0)	572
9.3.1 Gráfico de un sistema con n temporizadores y q funciones	525	Tiempo de operación de la función F1,b0	573
Gráfico con una función de salida (F1)	526	9.9.3.2 Función dependiente de temporizadores localizados en uno o varios ramales (Fq,Rm)	573
Gráfico de sistema con retroalimentación en lazo	527	9.9.3.3 Función dependiente de temporizadores localizados en ramal y línea principal (Fq,Rm)	575
9.4 Sistema con una Línea principal de tiempos	528	Tiempo de operación de la función F1,R2 en el ramal 1	576
9.4.1 Ubicación de un conector de enlace horizontal	529	9.9.3.4 Función dependiente de temporizadores localizados en un ramal (encendido) y línea principal (apagado) (Fq,Rm)	577
9.4.2 Conector de enlace vertical	530	Ecuaciones de temporizadores	582
9.4.3 Conector de enlace con varias direcciones en su trayectoria	531	Función localizada en la línea principal	583
9.4.4 Conector de enlace en el cuarto cuadrante	532	Función dependiente de línea principal y ramales	584
9.4.5 Ecuaciones de las variables lógicas del sistema	533	Funciones dependientes de ramales	584
Ecuaciones lógicas de las funciones de salida	533		
Ecuaciones de las funciones de tiempo	534		
9.5 Cálculos requeridos en un sistema con una Línea principal	537	9.10 Funciones de entrada como condiciones externas de operación	588
9.5.1 Cálculo del tiempo de encendido de las funciones de salida	538	Ecuaciones de las funciones de salida	590
9.6 Sistemas con una Línea principal y subrutinas de tiempos	544	9.11 Memorias y temporizadores	597
Cálculo de P_{T_2} y P_{T_4}	548	Desplegado de mensajes	608
		9.12 Ejercicios resueltos	604
		9.13 Problemas y preguntas	622

CAP TULO 10	627	
Sistemas secuenciales electroneumáticos industriales	627	11.1.1 Verificaciones periódicas en sistemas hidráulicos 680
10.1 Introducción	627	11.1.2 Elementos de control de un sistema secuencial electrohidráulico 682
Círculo eléctrico	628	Círculo eléctrico 682
Círculo neumático	628	Círculo hidráulico 682
10.2 Elementos de control de un sistema secuencial electroneumático	629	11.2 Tipos de bombas hidráulicas 683
Dispositivos de entrada	629	Bombas de engranes 684
Dispositivos de procesamiento	630	Bombas de pistones 685
Dispositivos de salida	630	Bombas de paletas 685
10.3 Tipos de mandos en sistemas secuenciales electroneumáticos	631	11.3 Tipos de mandos en sistemas secuenciales electrohidráulicos 686
Válvula del tipo monoestable	631	Válvula del tipo monoestable 686
Válvula del tipo biestable	631	Válvula del tipo biestable 686
Válvula de tres posiciones	632	Válvula de tres posiciones 687
10.4 Diseño del diagrama de funcionamiento de un sistema electroneumático	633	11.4 Diagrama de funcionamiento en un sistema electrohidráulico 687
Selección de válvulas direccionales	637	Ecuaciones del sistema 695
10.5 Ecuaciones lógicas de un sistema electroneumático	641	11.5 Mtodo temporizadores en cascada aplicado a sistemas electrohidráulicos 696
10.6 Mtodo de la memoria de estado en automatismos electroneumáticos	644	Ejemplos a partir del diagrama de funcionamiento 698
10.7 El presostato y vacuostato en un automatismo electroneumático	655	
10.7.1 Presostato	656	CAP TULO 12 703
10.7.2 Vacuostato	658	
10.8 Temporizadores en cascada en un automatismo electroneumático	659	Introducción a los sistemas analógicos 703
10.9 Contadores en un automatismo electroneumático	664	12.1 Introducción 703
10.10 Aplicaciones industriales	665	12.2 Clasificación de señales 704
10.11 Ejercicios a resolver	677	12.2.1 De acuerdo a la naturaleza de la variable 704
		12.2.2 Señales estocásticas y señales deterministas 705
		12.2.3 Señales digitales y señales analógicas 705
		Clasificación de las señales de acuerdo a su naturaleza temporal 705
		Clasificación de las señales de acuerdo a su naturaleza en magnitud 706
		12.3 Atributos de una señal analógica 707
		12.4 Sistemas 710
		12.5 Procesamiento analógico de una señal analógica 712
		12.5.1 El amplificador operacional 712
		12.5.2 Op amp en lazo abierto 713
		12.5.3 Op amp en lazo cerrado 714
CAP TULO 11	679	
Introducción a los sistemas electrohidráulicos	679	
11.1 Introducción	679	

Amplificador inversor	715	Ejemplo de uso del asistente para configurar instrucción PID	780
Amplificador no inversor	716		
Buffer o Seguidor	716	12.11 Sintonizaci n	786
Amplificador Diferenciat or	717	12.11.1 Reglas de sintonización de Zeiger-Nichols	786
Amplificador de instrumentaci ón	718	12.11.2 Sintonización de PID en MicroWin	789
Derivador e Integrador	719		
12.6 Procesamiento digital de una se al anal gica	720	BIBLIOGRAF A	791
12.6.1 Convertidor AD	721		
12.6.3 Errores en el cuantificador	724		
12.6.4 Convertidor de aproximaciones sucesivas	728		
12.6.5 Convertidor tipo flash	730		
12.6.6 Convertidor DA	732		
12.6.6.1 Convertidor R-2R	734		
12.7 M dulos anal gicos de la familia S7-200	736		
12.7.1 Módulos analógicos en el S7-200 - CPU 22X	737		
12.7.2 Direccionalamiento	738		
Direccionamiento de un dato analógico	738		
12.7.3 Codificaci ón	740		
12.7.4 Especificaciones de los módulos analógicos	744		
12.7.5 Configuraci ón y calibraci ón de los módulos de entrada	745		
12.7.6 Diagramas de conexi ón	748		
Conexi ón de una salida	748		
Entrada no usada	751		
12.8 Ejemplos	758		
12.8.1 Primer ejemplo: Prueba del módulo analógico	758		
12.8.2 Ejemplo 2: Alarmas	759		
12.8.3 El concepto de escala	760		
Escala	761		
12.8.4 Control de velocidad de conve yor	766		
12.8.5 Control ON-OFF	768		
12.9 Control en lazo cerrado	771		
12.9.1 El control proporcional	772		
12.9.2 El control proporcional m ás integral	774		
12.9.3 El control proporcional + i ntegral + derivativo	777		
12.10 Control PID implementado con el S7-200	779		

EL AUTOR

Saturnino Soria Tello

Saturnino Soria Tello es Ingeniero en Control y Computación por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León y Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica por la misma institución.

Es profesor en el Departamento de Control y Automatización de la misma Facultad. Ha participado en congresos publicando el método "Temporizadores en Cascada" y el método "Memoria de Estado" aplicado a sistemas neumáticos basados en neumática tradicional.

Dentro de sus actividades profesionales se ha desempeñado en la industria del procesamiento del plástico básicamente en las áreas de control de procesos y mantenimiento, en ésta última área en Líneas de Producción, Servicios Generales y de Máquinas Inyectoras y Sopladoras. Ha participado en el arranque de nuevos procesos, en proyectos de transferencia y puesta en marcha de maquinaria industrial de la misma industria del plástico.

Las áreas de investigación son sistemas automáticos industriales, sistemas automáticos basados en electroneumática y neumática tradicional, sistemas hidráulicos y aplicación de nuevas tecnologías en el uso eficiente de la energía eléctrica.

PR LOGO

El origen de la presente obra es la necesidad de encontrar una bibliografía adecuada, dirigida a estudiantes de ingeniería mecánica y eléctrica de nivel medio superior y superior, así como a personal técnico interesado en sistemas automáticos industriales, que aborde desde un punto de vista teórico-práctico los temas actuales más relevantes en automatización industrial. En este sentido, y con la finalidad de mantener un equilibrio entre los fundamentos teóricos y los aspectos prácticos, se incluyen copias autorizadas tanto de programas de simulación de electroneumática y electrohidráulica de las principales firmas comerciales, así como de programas de controladores lógicos programables, con programación por operadores lógicos y lógica de contactos.

Las soluciones propuestas se apoyan con diversos programas para realizar simulaciones de los ejemplos que incluye el libro. Como se sabe, hoy en día la simulación es una herramienta de gran ayuda para todo aquel que se interese en aprender a solucionar problemas de automatización industrial.

Adicionalmente, se presenta un nuevo procedimiento para la solución de problemas secuenciales asíncronos: el método de la memoria interna (MI). Con este método es posible desarrollar sistemas secuenciales automáticos, tanto asíncronos como síncronos. El propósito de esta obra es plantear una metodología estructurada, clara y concisa, para la solución de problemas de automatización industrial que, en la mayoría de los casos, los ingenieros resolvían con base en su experiencia en el área o de manera empírica.

Para poder adentrar al lector en el área de la automatización industrial, en este libro únicamente se tratan ejemplos y problemas de sistemas discretos, ya que éstos son los que predominan a nivel industrial.

DESCARGA DE LOS PROGRAMAS CITADOS EN EL LIBRO

Desde la dirección electrónica:

<http://libroweb.alfaomega.com.mx>

Podrá descargar los siguientes programas de demostración:

- FluidSim de Festo.
- Millenium III de Crouzet.
- MicroWin para el PLC S7-200 de Siemens.
- Videos didácticos.

CAP TULO 1

Introducción a los sistemas automáticos industriales

1.1 Introducción

Un sistema automático industrial es un conjunto de dispositivos eléctricos, mecánicos, electrónicos, o la combinación de ellos, los cuales pueden estar interconectados entre sí para controlar un proceso. El objetivo de este sistema es dar un resultado en forma común, que sea repetitivo en la variable que va a ser controlada, en algunos casos dentro de un margen de error, y en otros más críticos cuya operación debe ser sin error.

El error se define como la diferencia entre el valor obtenido (medido) y el valor deseado (referencia) en la variable o variables que se quiere controlar. Cuando se tiene un error diferente a cero se utiliza esta información para poder mantener el error dentro de márgenes aceptables. En otras ocasiones la variable que se va a controlar no se puede medir; en este caso es posible que exista un error. Esto permite distinguir entre dos formas de controlar una variable.

La automatización es la tecnología que se encarga de aplicar en un sistema industrial la mecánica, electrónica y los sistemas de computación.

Este tipo de tecnologías incluye:

- Máquina-herramientas automáticas para procesar partes metálicas.
- Robots industriales.
- Sistemas de inspección automáticos para el control de la calidad.
- Maquinaria para procesos industriales.

Tipos de sistemas automáticos

Los sistemas automáticos pueden ser clasificados básicamente en tres tipos:

- Sistemas de automatización fija.
- Sistemas de automatización programable.
- Sistemas de automatización flexible.

Sistemas de automatización fija. Se utilizan cuando la producción es de alto volumen y por lo tanto se puede justificar el elevado costo del diseño del equipo especializado para el procesamiento del producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas.

El inconveniente de esta clase de automatización es su ciclo de vida, el cual está de acuerdo con la vigencia del producto en el mercado. En la Fig.1-1 se observa un ejemplo de una línea de ensamble automático.

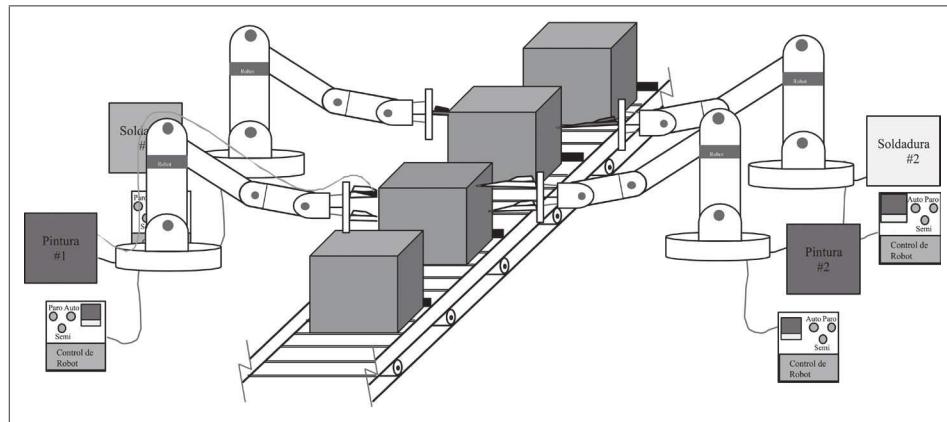


Fig. 1-1. Línea de ensamble automático.

Sistemas de automatización programable: La aplicación de este tipo de sistemas se da en volúmenes de producción relativamente bajos. Puesto que hay una gran diversidad de productos que pueden ser manufacturados bajo este concepto, el equipo de producción se diseña para adaptarse a las variaciones de las configuraciones del producto.

La secuencia de operación se controla mediante un programa que se expresa como instrucciones codificadas para que el sistema pueda interpretarlas. De este modo es posible preparar y programar nuevos programas en el equipo para producir nuevos productos. Ejemplos de ello son las máquinas-herramientas de control numérico, robots industriales y maquinaria industrial automatizada con base en controladores lógicos programables (PLC) (Fig.1-2).

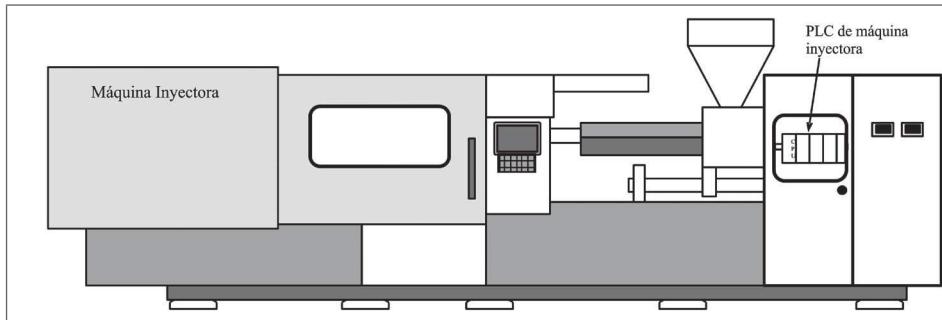


Fig. 1-2. Maquinaria industrial automatizada con base en PLC.

Sistemas de automatización flexible. Este tipo de sistemas es una extensión de la automatización programable. Dicho concepto se ha desarrollado en los últimos años y es capaz de producir una variedad de productos o partes sin perder mucho en pasar de un producto a otro, que por lo regular es tiempo programado.

Algunas características de la automatización flexible son: i) producción continua de la mezcla de productos, ii) tasa de producción media, iii) flexibilidad a las variaciones del diseño del producto. Un ejemplo de este sistema es la celda de manufactura automatizada con base en PLC (Fig.1-3).

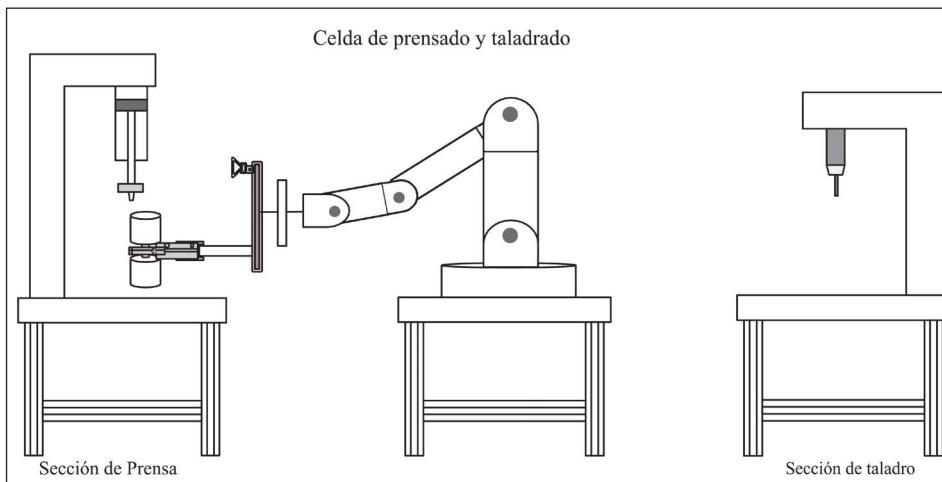


Fig.1-3. Celda de manufactura automatizada con base en PLC.

Lazos de control

De acuerdo con la conexión de los dispositivos del sistema automático industrial, existen dos tipos de lazos de control: lazo abierto y lazo cerrado, cada uno con su campo de aplicación.

1.1.1 Sistema de lazo abierto discreto

En los sistemas de lazo abierto no se realizan mediciones de la variable que se va a controlar (Fig.1-4), y generalmente se diseñan con base en el tiempo o por conteo. En un sistema industrial de lazo abierto el error se identifica de manera empírica en la mayoría de las aplicaciones, a través de los sentidos de un operador. Por lo tanto, este tipo de sistemas son muy sencillos en su construcción y no requieren de mucha tecnología, además de ser en general económicos.

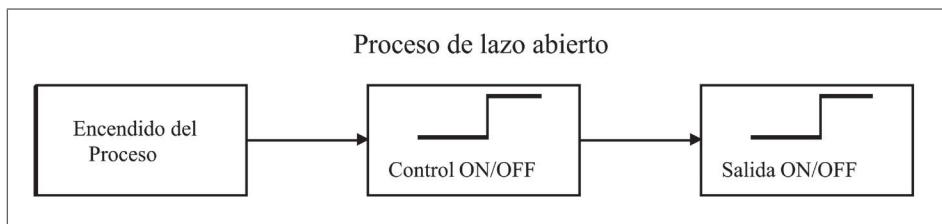


Fig. 1-4. Sistema de lazo abierto controlado por tiempo.

La Fig.1-4 muestra un sistema donde no hay señal retroalimentada y en que el valor preestablecido puede ser un valor de tiempo o conteo, el cual se ejecuta durante el proceso y activa o desactiva un dispositivo de salida. En consecuencia, el ajuste de tiempos de activación y desactivación se basa en el conocimiento del proceso.

A continuación se analiza una prensa industrial como la de la Fig.1-5, la cual está construida con un cilindro de doble efecto (1A), una electroválvula (SA), dos botones manuales (IZ y DE) y un compresor (C). El ciclo de operación es el siguiente: un operador instala dentro de la prensa el producto que se va a ensamblar al oprimir los botones de IZ y DE se habilita el solenoide SA que mueve el cilindro hacia abajo, ejecutando una fuerza entre las piezas que se va a unir. No se observa sensor alguno en esta prensa, lo que implica que el tiempo de prensado se ejecuta por el operador, ya que al quitar las manos de los botones se retrae el cilindro.

Puesto que se trata de un sistema basado en tiempo y sin algún sensor, no es posible observar la variable que se va a controlar –la cual es la presión ejercida en las piezas que van a unirse– de manera que la valoración de la variable la realiza el operador a través de sus sentidos. Es por ello que a los sistemas de lazo abierto se les considera sistemas manuales.

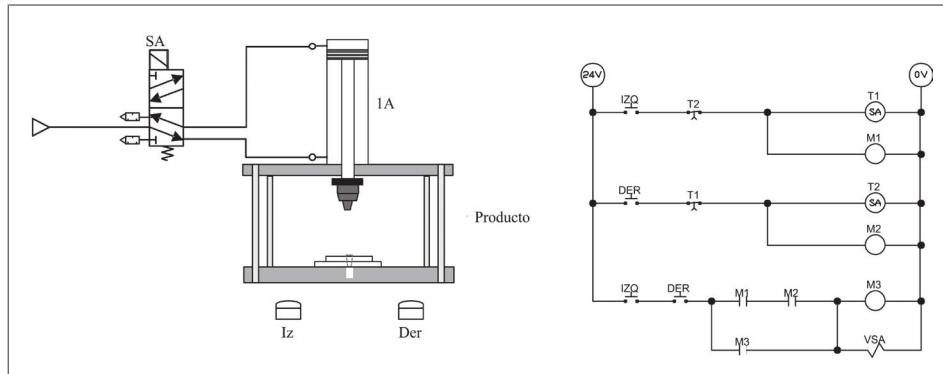


Fig.1-5. Prensa electroneumática y control eléctrico de prensa.

Siguiendo con el ejemplo anterior, se le puede agregar al cilindro sensores de proximidad para detectar el fin e inicio de carrera, lo que daría un mejor control con base en el tiempo. La diferencia de este sistema es el tiempo de prensado, el cual no está dado por los sentidos del operador, sino por un sensor de fin de carrera que se encarga de habilitarlo. Esto implica que ahora se tiene un tiempo efectivo de prensado que no se tenía en el ejemplo anterior, ya que el tiempo en que se mantenía operando la prensa era estimado por el operador.

De esta forma se mejoró el control sin tener una retroalimentación de la variable controlada; los sensores que se agregaron son de posición y el valor preestablecido del temporizador debe ser directamente proporcional al tiempo que la prensa estará aplicando fuerza al producto que va a ser ensamblado.

La Fig.1-6 muestra la prensa con sensores de proximidad ($Ls1$ y $Ls2$) que ubican la posición del émbolo del cilindro. Al detectar el sensor $Ls2$, habilita un temporizador (representado en la imagen derecha de la Fig.1-6, el cual es parte del control eléctrico. El proceso es el siguiente: al oprimir los botones manuales IZ y DE se habilita la solenoide SA y desplaza el cilindro hacia abajo; al llegar al fin de carrera, por medio del control eléctrico retiene la solenoide SA , lo que indica que el operador puede soltar los botones y empieza transcurrir un tiempo. Una vez que termine dicho tiempo retrae el cilindro y al llegar la posición inicial queda listo para ser habilitado nuevamente.

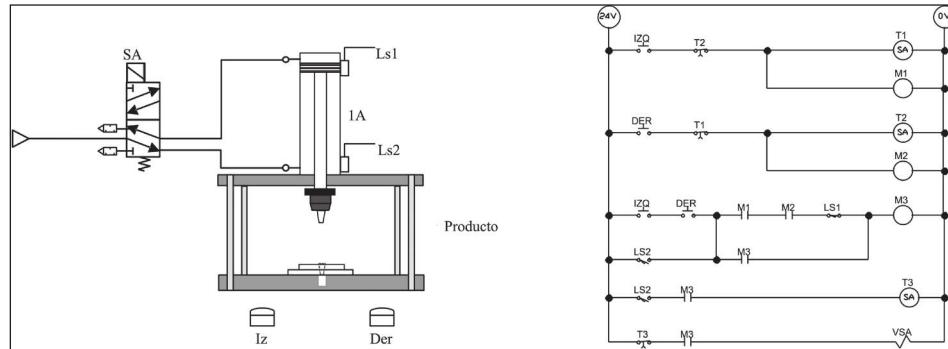


Fig.1-6. Prensa electroneumática con sensores y control eléctrico de prensa con sensores.

1.1.2 Sistema de lazo cerrado discreto

A diferencia de los sistemas de lazo abierto, en los sistemas de lazo cerrado se observa la variable que se va a controlar. Estos sistemas pueden ser muy precisos en el valor de la variable es factible determinar un rango de error; la precisión del sistema depende de varios factores como son: el dispositivo que va a retroalimentar la variable, tipo de control ya sea PID o control ON/OFF, tipo de respuesta del dispositivo de salida y algoritmo de control que se desarrolle.

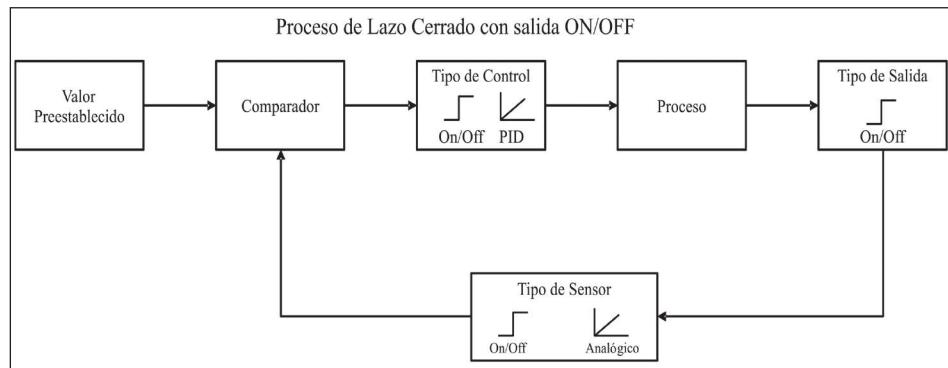
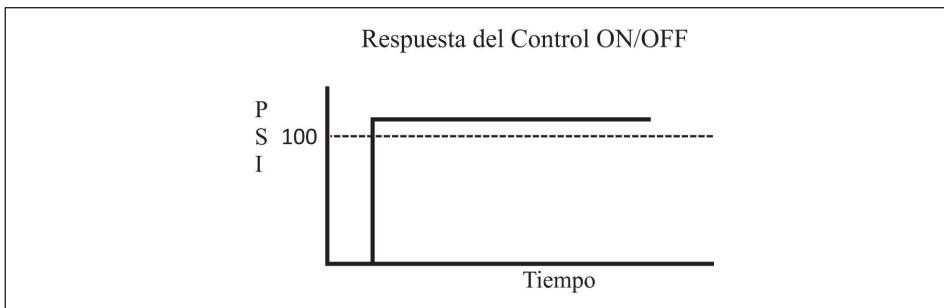


Fig.1-7. Control de lazo cerrado con respuesta ON/OFF.

El sistema de lazo cerrado con respuesta discreta mostrado en la Fig.1-7 muestra un valor preestablecido, el cual es el valor requerido para realizar un trabajo o controlar un proceso. Este valor envía una señal a un comparador –en este caso un comparador discreto– el cual se encarga de discriminar si el valor de la variable llegó al requerido o no. En caso de que no haya llegado al valor, el control actúa manteniendo la variable energizada hasta que llegue al valor preestablecido.

El control ON/OFF no tiene respuesta variable en el tiempo, simplemente verifica que la variable esté dentro de un rango de valor preestablecido. El diseño de este control es más complicado comparado con el sistema de lazo abierto y contiene más dispositivos de control. El valor preestablecido es el valor de la variable que se requiere tener al final o durante el proceso. En algunos procesos es suficiente sobre-pasar un rango como el que se ve en la Fig.1-8, donde se está sobre pasando el valor de 100 PSI (libras por pulgada cuadrada).



En el diseño de sistemas automáticos de lazo cerrado con respuesta discreta, debe considerar que siempre va a existir un error por lo que es importante establecer un ancho de banda muerta donde va a estar oscilando la variable a controlar. En esta modalidad y en la de sistemas de lazo abierto van a ser considerados los ejemplos y diseños de sistemas automáticos que se analizaron en este libro.

Analizando la prensa industrial que se vio en los sistemas de lazo abierto, se agregó un sensor de presión con respuesta discreta llamado SP (imagen izquierda de la Fig.1-9). La lógica del circuito de control es la misma que se analizó en los sistemas de lazo abierto (se agregó monitoreo de presión). Se puede observar en la Fig.1-9 que el temporizador T3 no va a funcionar hasta que no se habilite el SP, es decir, hasta que llegue a 100 PSI la presión ejercida en el producto que va a ser ensamblado, lo cual indica que T3 es el tiempo que se ejercerá presión al producto.

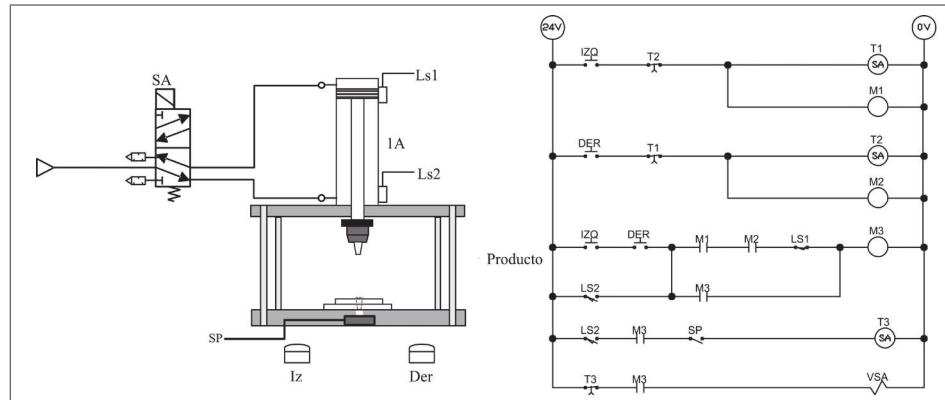


Fig.1-9. Prensa neumática con retroalimentación de presión y circuito de control.

1.1.3 Sistema de lazo cerrado analógico

Un sistema en lazo cerrado con salida analógica, es más preciso, debido a que tenderá a un error mínimo de la variable controlada. El control PID, está compuesto por un control proporcional, integral y derivativo. La Fig.1-10, muestra el lazo de control de un sistema en lazo cerrado con salida analógica.

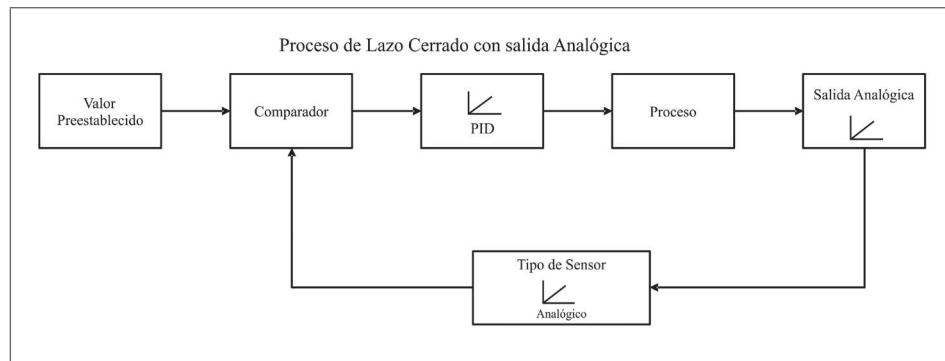


Fig.1-10. Lazo de control de lazo cerrado con salida analógica.

La Fig.1-11 muestra la respuesta de un proceso con un controlador PID. La variable que ve es la presión ejercida por una prensa (analizada en los ejemplos anteriores), donde el valor preestablecido es de 100 PSI, y como se puede observar el error es mínimo. También se puede apreciar que el valor de la variable sube desde el valor preestablecido y cae por debajo del valor hasta llegar a un punto donde se mantiene dentro de una banda.

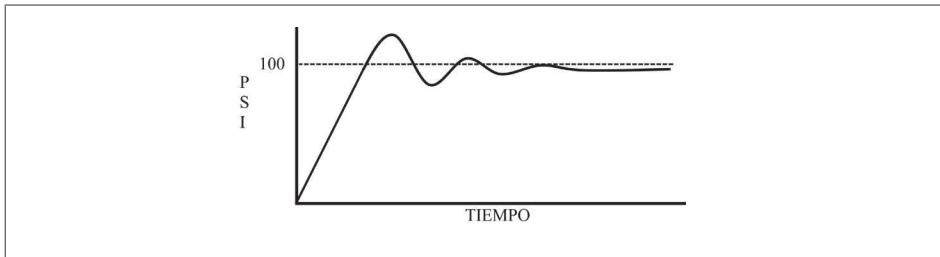


Fig.1-11. Respuesta del control con salida analógica y control PID.

Para obtener la respuesta anterior, se cambió la válvula SA con respuesta discreta utilizada en los ejemplos anteriores, por una válvula proporcional, y el sensor de presión con respuesta discreta por un sensor de presión con respuesta analógica. Véase la Fig.1-12.

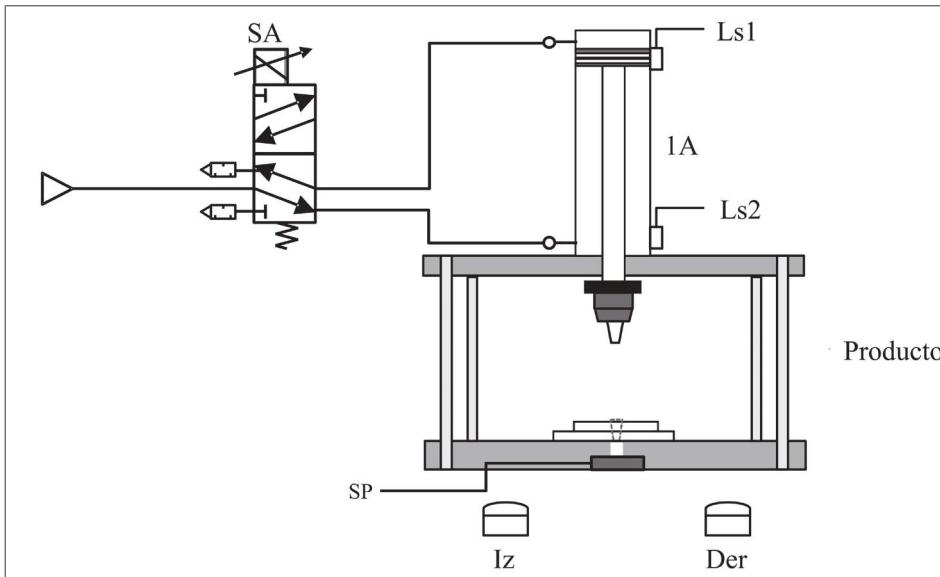


Fig.1-12. Prensa industrial con válvula y sensor de presión proporcional.

1.2 Sistemas de eventos discretos

Los sistemas automáticos industriales pueden ser de eventos discretos, de eventos analógicos o combinados. Un evento discreto es aquel que sólo puede discriminar entre dos valores “1” o “0”, y va a estar estructurado de variables de entrada, variables de salida y memorias internas. A partir de esto podemos definir que una variable lógica de entrada se considera como cualquier dispositivo captador de señal discreta donde los valores que adquiere son “1” o “0”, abierto o cerrado, respectivamente, mientras que la variable lógica de salida se considera como cualquier dispositivo que requiere se le aplique un voltaje del tipo discreto “1” o “0”, que son respectivamente presencia o ausencia de voltaje en la variable de salida. Un ejemplo de ello es el encendido y apagado de una lámpara, la cual al aplicarle voltaje se considera que tiene una respuesta “1” y al removerle el voltaje tiene una respuesta “0”. La Fig.1-13 muestra una variable lógica de entrada discreta llamada “B” y una variable lógica de salida discreta denominada “F”.

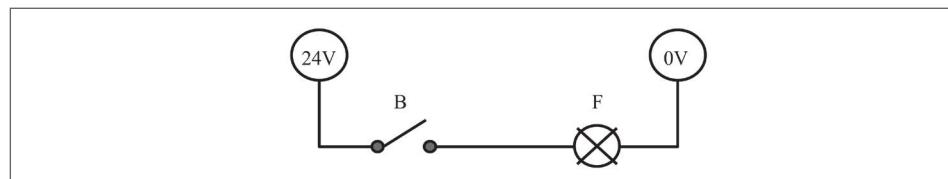


Fig.1-13. Variable discreta B=0.

Por su parte, la Fig. 1-14 muestra la variable discreta B con un valor de “1” ($B=1$) debido a que está en estado de encendido, por lo tanto la variable $F=1$.

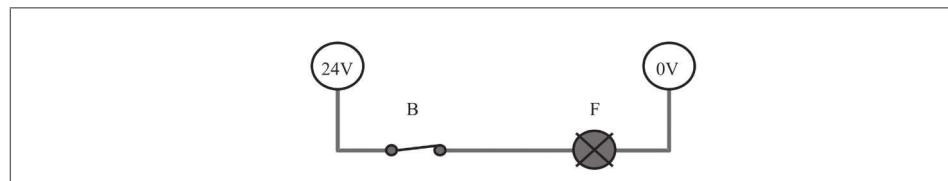


Fig.1-14. Variable discreta B=1.

Se puede obtener una ecuación mediante técnicas de tabla de verdad (Fig.1-15) que describa el funcionamiento del ejemplo anterior.

Tabla de Verdad		
Combinación	Entrada	Salida
	B	F
1	0	0
2	1	1
1	0	0

Tabla 1-1. Tabla de verdad del ejemplo anterior.

La ecuación que se obtiene es: $F=B$

Otra herramienta que se utiliza en el diseño de sistemas de eventos discretos es el diagrama de estados del sistema, en el cual se grafica cada estado del proceso, y una vez elaborado este diagrama se puede obtener una tabla de estados. La Fig. 1-16 muestra el diagrama de estados de un sistema de eventos discretos.

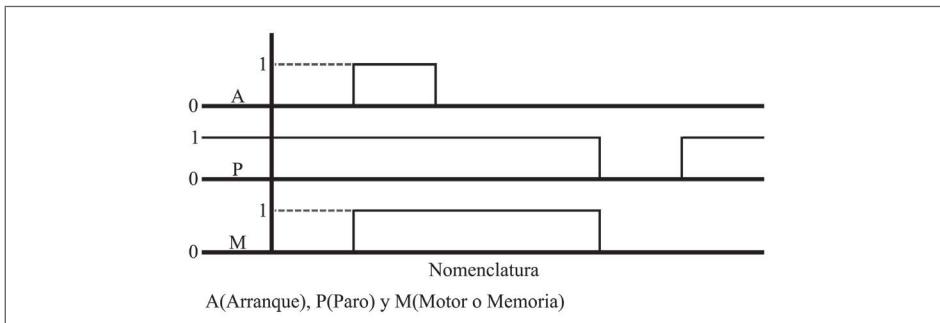


Fig. 1-15. Diagrama de estados.

1.3 Sistemas combinacionales y secuenciales

Los sistemas automáticos industriales pueden ser del tipo combinacional o secuencial. La mayoría de los sistemas industriales son secuenciales, y pueden ser síncronos o asíncronos en lazo abierto o lazo cerrado. La estructura de un sistema combinacional o secuencial se establece mediante variables de entrada discretas en valor y variables discretas de salidas, y la secuencia se representa por un control eléctrico o secuencia programada en un controlador lógico programable.

1.3.1 Sistemas combinacionales

Un sistema combinacional es aquel donde el valor de las salidas de cada combinación sólo va a depender del valor que tengan las entradas en esa combinación y no recuerda estados anteriores, es decir, no tiene memoria, por lo tanto se puede considerar como un sistema puntual. En este tipo de sistema los dispositivos de salida solamente dependen de los valores que tengan las entradas en ese momento; esto se podría resumir como: valores idénticos en entradas producen valores idénticos en salidas. La estructura de un sistema combinacional se basa en variables de entrada, compuertas lógicas –también llamado circuito lógico de control– y variables de salida. El circuito combinacional al recibir señales de entradas genera valores

que manda a las variables de salida. La estructura de un sistema combinacional se muestra en el diagrama de bloques de la Fig.1-17.

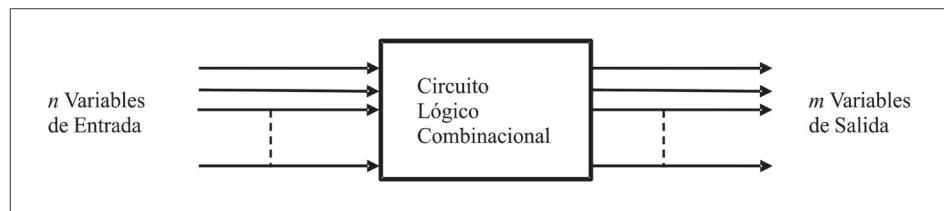


Fig. 1-16. Diagrama de bloques de un sistema combinacional.

En la Fig.1-18 se presenta un sistema combinacional, el cual está construido con tres sensores, tres lámparas indicadoras y el circuito lógico combinacional. El sistema va a identificar tres tamaños de monedas: moneda pequeña (P), moneda mediana (M) y moneda grande (G); los focos indicadores se van a encender al detectar el tamaño de la moneda.

Al pasar la moneda pequeña se habilita el sensor 1 y se enciende la lámpara identificada con la letra P; al pasar la moneda mediana se habilitan los sensores 1 y 2 y sólo debe de encender la lámpara identificada con la letra M, y al pasar la moneda grande se habilitan los tres sensores 1, 2 y 3 y únicamente se encenderá la lámpara con la letra G, y así sucesivamente. El sistema sólo va a contar con tres posibles combinaciones.

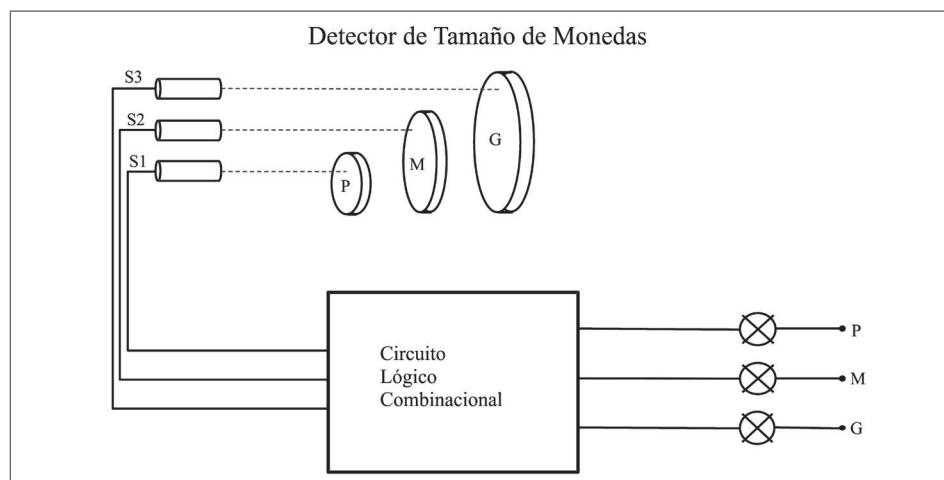


Fig.1-17. Sistema combinacional.

El circuito lógico combinacional se puede desarrollar mediante las técnicas utilizadas para el desarrollo de tablas de verdad. La tabla de verdad para el ejemplo del detector de monedas se representa en la Fig.1-19.

Como se puede observar, solamente se menciona que existe un circuito lógico para poder obtener los valores de las salidas, la cual no se desarrolla debido a que por el momento sólo nos interesa entender el concepto de un sistema combinacional.

Los valores “0” y “1” representan en forma discreta la presencia o ausencia de señal: con “1” se representa la presencia y con “0” se representa la ausencia de señal de dispositivos de entrada o salida.

Combinación	Entradas			Salidas		
	S1	S2	S3	P	M	G
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	1	0	0
3	1	1	0	0	1	0
4	1	1	1	0	0	1

Tabla 1-2. Tabla de verdad de un sistema combinacional.

En la tabla de verdad se identificaron las combinaciones, pero no es imperativo que se tengan que cumplir en una forma ascendente o descendente. Si se observa en la Fig.1-20 la primera sesión, sí está de manera ascendente, pero la combinación que sigue puede ser cualquiera de las tres posibles combinaciones.

Como lo muestra el ejemplo, después de la combinación 3 sigue la 2, y en el siguiente ciclo puede tener otra distribución de combinaciones, lo cual indica que los valores obtenidos son en forma individual.

A continuación se presenta una propuesta para la solución de este problema, donde se utiliza tres sensores ópticos y tres lámparas indicadoras; en el recuadro se debe considerar el circuito que va a ser desarrollado, ya sea con un controlador lógico programable, con operadores lógicos o con simple relevación.

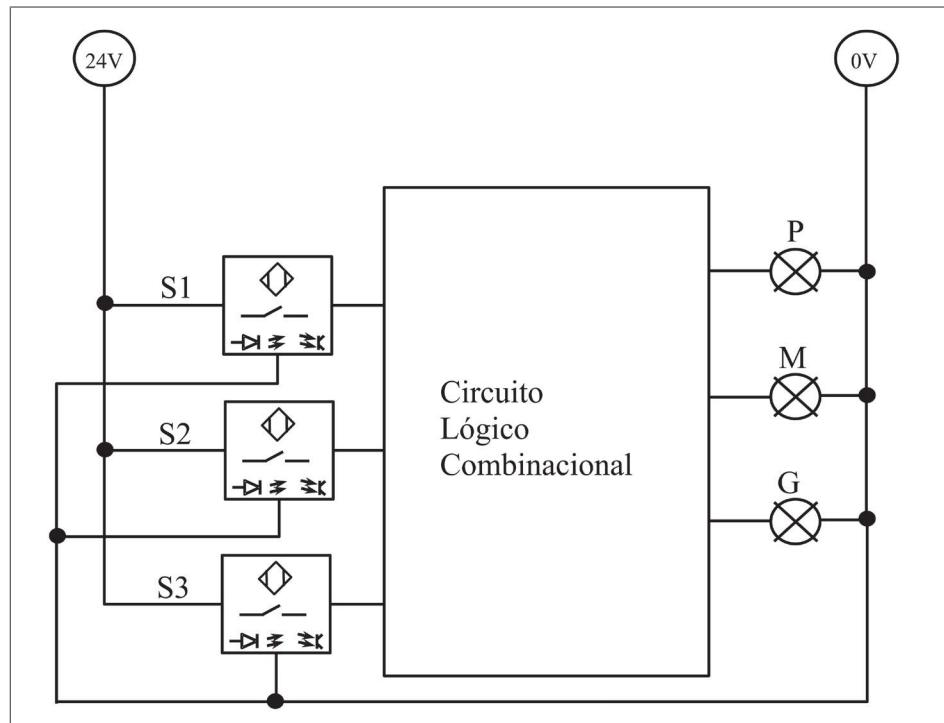


Fig.1-18. Estructura del sistema combinacional detector de tamaño de monedas.

1.3.2 Sistemas secuenciales

En un sistema secuencial el valor de las salidas de cada estado del proceso depende de los valores de las entradas en ese estado y de los valores que hayan tenido las entradas y salidas en los estados anteriores; esto significa que los sistemas secuenciales tienen memoria, lo cual se puede resumir como: valores idénticos en entradas pueden producir valores diferentes en las salidas. La estructura de un sistema secuencial se establece mediante un circuito lógico combinacional y elementos de memoria. Los sistemas secuenciales pueden ser del tipo asíncrono o síncrono, de lazo abierto o lazo cerrado, y están construidos con variables de entrada, compuertas lógicas –también llamado circuito lógico de control– y variables de salida. El circuito secuencial al recibir las señales de las entradas y recordar los estados anteriores, genera los valores que manda a las variables de salida.

La estructura de un sistema secuencial se muestra en el diagrama de bloques de la Fig.1-21. La señal de reloj se utiliza en los sistemas síncronos y se removería para un sistema asíncrono.

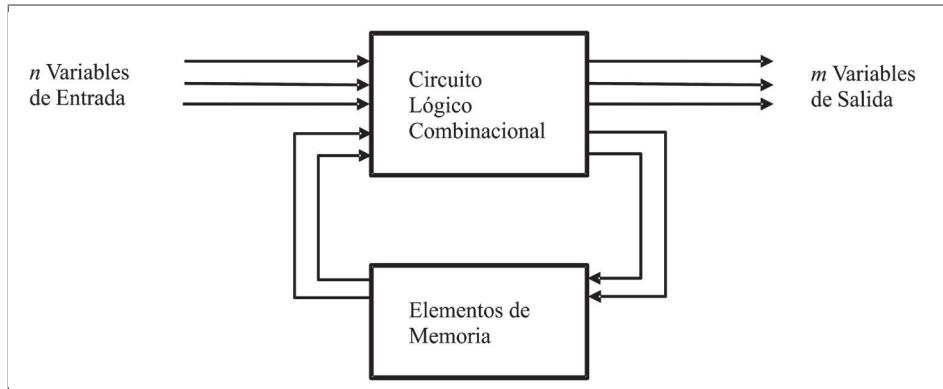


Fig.1-19. Estructura de un sistema secuencial.

El sistema secuencial más común y sencillo es el paro y arranque, que por lo regular se usa para arrancar o parar un motor o una máquina. También se considera como el set y reset de un sistema, y es el sistema de memoria más sencillo debido a que el valor de memoria es unitario. El sistema consta de dos botones del tipo empujar para habilitar –uno normalmente abierto que se llama A (arranque) y uno normalmente cerrado que se denomina P (paro)–, un dispositivo de salida –que en este caso se considera un contactor llamado M–, y un circuito lógico secuencial (véase la Fig.1-22). La secuencia es la siguiente: en estado estable el contactor está deshabilitado; al oprimir el botón A se habilita el contactor M y como efecto se energiza el motor, y al soltar el botón el motor se mantiene funcionando, mientras que al operar el botón P se para el motor y se mantiene en este estado hasta que se habilite otra vez el botón A.

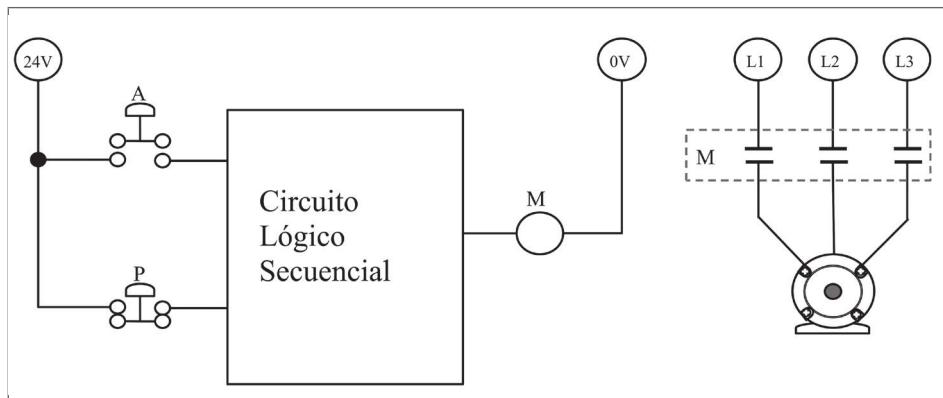


Fig.1-20. Sistema secuencial de paro y arranque de un motor.

Como se puede observar en la tabla de estados, es un sistema secuencial debido a que se tienen dos estados iguales en cuanto al valor de las entradas, pero diferentes en cuanto al valor de la salida: son los estados 1 y 3, por lo tanto aquí es donde se aplica el concepto de que los sistemas secuenciales tienen memoria,

debido a que el sistema debe de recordar si está en el estado 1 o en el estado 3. En la tabla de la Fig.1-23 se aprecian los cuatro posibles estados que deben de estar presentes en la secuencia.

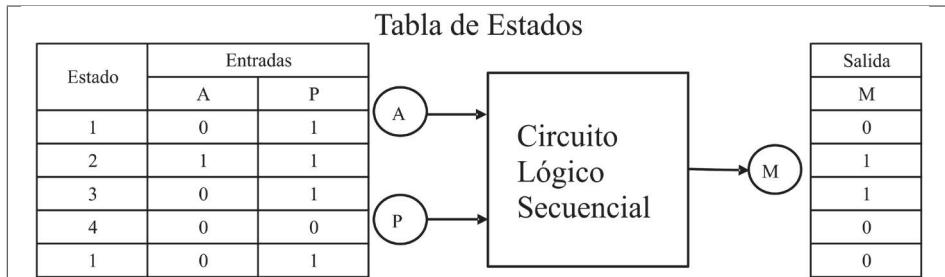


Fig.1-21. Tabla de estados de un sistema secuencial.

A diferencia de un sistema combinacional, en los sistemas secuenciales siempre van a suceder los estados en forma ascendente y no de manera aleatoria. Este sistema se considera asíncrono, ya que no contiene una variable de tiempo dentro de su secuencia.

1.4 Reconversión de equipo

En la actualidad la reutilización y actualización de equipo es una de las áreas que algunas compañías han visto como potenciales áreas de oportunidad para reducir costos de operación, y es precisamente en este sector donde el personal de diseño de equipo o maquinaria debe de tener la visión para que los equipos puedan crecer o modificarse, ya sea para efectuar otros procesos o simplemente tener ciertos cambios para incrementar la productividad y la calidad.

En lo que respecta a la actualización de equipo, algunas compañías diseñadoras de máquinas y equipos industriales empezaron a ofrecer servicios de actualización de equipo sobre todo en maquinaria con alto valor económico. Un ejemplo sería una máquina diseñada con el concepto de relevación o control electrónico dedicado, que podría actualizarse al instalarle un sistema basado en el controlador lógico programable (PLC), que es un sistema automático moderno, y cambiarle el concepto de control automático dedicado por el de control automático genérico, lo cual le da al equipo unos años más de vida de operación y sin ningún problema en cuanto al suministro de refacciones para sus mantenimientos.

1.4.1 Estudio de factibilidad

Este es uno de los principales estudios que se debe realizar antes de hacer una propuesta formal de un cambio en una máquina, un proceso o una celda de manufactura. En este estudio es imperativo analizar diversos puntos tanto del producto como del proceso actual. Entre estos puntos destacan los siguientes.

Factibilidad técnica

En este punto se debe considerar que los dispositivos que van a integrar la automatización deben de ser comercializados en el lugar donde se encuentre la compañía dueña del equipo o proceso. Entre más comunes sean los dispositivos que se utilizan en la integración de la automatización, más fácil es vender el proyecto y más sencillo es mantener activo el equipo sin tener tiempos de espera cuando la máquina requiera el cambio de algún dispositivo o simplemente mantenimiento.

Factibilidad de diseño

Si se va a actualizar una máquina o un proceso que ya existe en una línea de producción, se debe de verificar sea flexible en cuanto a aceptar una actualización. Algunos procesos realmente no tienen esta capacidad y si la maquinaria o equipo ya es muy antiguo, en ocasiones sí es conveniente buscar la adquisición de un equipo nuevo. Un ejemplo de ello es cuando la estructura mecánica de la máquina está muy deteriorada, de tal manera que ya no es conveniente realizar la inversión en la actualización de equipo.

Tiempo de diseño e implementación

El tiempo requerido para el diseño la mayoría de las veces no interrumpe la operación del proceso, ya que por lo regular se utilizan programas que ayudan a realizar una simulación lo más apegada al proceso o equipo que va a automatizarse. Este tiempo puede definirse como tiempo de escritorio ya que es aquí donde se realiza la ingeniería.

En cambio, el tiempo de la implementación es el más crítico si se trata de la actualización de una máquina o proceso, puesto que se tienen que ajustar los tiempos para poder “retirar” de producción dicha máquina o proceso, teniendo como problema principal el riesgo de que al realizarse la implementación se tengan que realizar ajustes ya con el proceso trabajando.

1.5 Costo-beneficio

El costo-beneficio es otro de los puntos que se deben considerar al presentar un proyecto de automatización o reconversión de un proceso. Dentro de los costos debe analizarse desde el porcentaje de desperdicio hasta el nivel de reducción de accidentes. Una de las desventajas de la automatización –o ventaja, según el punto de vista– es que se requiere de personal preparado para el desarrollo y mantenimiento de los sistemas requeridos por los procesos, por lo que el área de automatización requerirá constantemente de personal especializado.

Los pasos para realizar un análisis de costo-beneficio deben de ser adecuados al tamaño y tipo de proceso. A continuación se exponen dichos pasos.

01. Si existe más de una propuesta, se debe reunir datos importantes de cada una de ellas.
02. Determinar los costos de cada una de las propuestas; algunos costos son exactos, mientras que otros deberán de ser estimados.
03. Obtener los costos totales de cada una de las propuestas.
04. Determinar los beneficios en costo para cada una de las propuestas.
05. Ejecutar la relación costo-beneficio, donde los beneficios se localicen en el numerador y los costos en el denominador.

$$\frac{\text{Beneficios}}{\text{Costos}}$$

06. Comparar el resultado de las diferentes propuestas; la mejor solución en términos financieros es la que tenga la relación más alta.

Procesos manuales

Hoy en día existen algunos procesos que sólo pueden ser realizados en forma manual; a éstos se les denomina procesos artesanales; sin embargo algunos de estos procesos sí pueden ser automatizados. Por ejemplo, si el costo del proyecto sobrepasa el 80% del costo del proceso trabajando en forma manual, se dice que no es rentable; pero si se tiene la idea de reacondicionar el equipo automatizado mediante pequeños cambios para otro proceso que esté por implementarse, se puede volver rentable. En resumen, hasta el momento no se sabe de algún proyecto que no sea rentable, sin embargo hay algunos procesos en que no es posible aplicar la automatización; a éstos se les llama productos completamente artesanales.

En seguida se enumeran algunos de los beneficios inmediatos que se obtienen al automatizar:

- Reducción del desperdicio de materia prima.
- Incremento en la calidad del producto.

- Reducción de riesgos en la operación.
- Incremento de la producción.
- Estaciones de trabajo ergonómicas.

1.6 Retorno de la inversión

Al desarrollar un proyecto de automatización o reconversión de equipo se debe considerar la amortización del costo de la tecnología utilizada. En este sentido, algunos puntos que ayudan a que sea más atractiva la inversión es el uso de tecnologías que se puedan reutilizar en otros procesos. También debe considerarse el empleo de tecnología de punta, cuyas ventajas consisten en el tiempo que perdura vigente dicha tecnología y en la recuperación de la inversión, los cuales son elementos determinantes para la elección del equipo en la implementación de un nuevo proceso automatizado.

Por ejemplo, el retorno de la inversión al aplicar un robot en un proceso automatizado, es de 2.5 años aproximadamente, dependiendo del grado de dificultad de las actividades que vaya a realizar el robot, mientras que su vida útil depende del mantenimiento preventivo y predictivo que se le dé; si estos mantenimientos son los adecuados en forma y tiempo, el equipo puede durar más de 10 años, el cual es el periodo medio de vida útil de un robot. Desde luego, hay que considerar que las tecnologías cambian constantemente y es obvio que en diez años el equipo será obsoleto en cuanto a tecnología se refiere, pero funcional para procesos que no requieran de mucha precisión.

El retorno de la inversión de un robot del tipo industrial se obtiene con la siguiente ecuación

$$P = C/[W + I + D - (M + S)]$$

Donde:

P= # de años para recuperar la inversión

C= Costo total del sistema

W= Sueldo anual de trabajadores

I= Ahorro en productividad

D= Depreciación permitida

M=Costo de mantenimiento

S= Costo del personal de apoyo

1.7 Preguntas de estudio

07. Defina qué es un sistema automático industrial.
08. ¿Cómo se le llama a la diferencia entre el valor obtenido y el deseado en un sistema de control?
09. ¿Con base en qué se diseñan los sistemas de control de lazo abierto?
10. ¿Cuál es la principal diferencia entre un sistema de lazo abierto y uno de lazo cerrado?
11. ¿Cuáles son los factores de los que depende la precisión de un sistema de lazo cerrado del tipo discreto?
12. ¿Cómo es la respuesta de un control ON/OFF en el tiempo?
13. ¿Por qué es importante establecer un ancho de banda muerta en un sistema de lazo cerrado?
14. ¿En qué sistemas de lazo cerrado se utiliza el control PID?
15. ¿Qué tipos de controles tiene en su estructura el control PID y cómo es su respuesta en el tiempo?
16. ¿Qué es un sistema combinacional?
17. ¿Qué dispositivos componen la estructura de un sistema combinacional?
18. ¿De qué valores dependen los valores de las salidas en un sistema secuencial?
19. ¿Qué dispositivos componen la estructura de un sistema secuencial?
20. Mencione el sistema secuencial más utilizado.

CAP TULO 2

Sistemas automáticos con base en relevadores

2.1 Introducción

Las primeras máquinas automáticas se desarrollaron con base en relevadores teniendo dos etapas: una de control y una de potencia eléctrica. La etapa de control está constituida por relevadores de baja capacidad en conducción de corriente y voltaje, mientras que la etapa de potencia por relevadores con capacidades de conducción de altos voltajes y altas corrientes.

En la actualidad no predominan estos sistemas basados en relevadores, ya que el avance tecnológico ha hecho que estos sistemas emigren hacia nuevas tecnologías más fáciles de utilizar y de reprogramar, cuyas funciones hacen más "inteligente" el proceso o equipo, con capacidad de memoria para poder recordar y graficar el comportamiento del proceso o variables que se va a controlar, con un panel de control que ocupa menos espacio y que hace más fácil la detección de fallas, etc. Estas son algunas ventajas de los sistemas basados en controladores lógicos programables, no obstante que en el circuito de potencia se mantiene el uso del contactor debido a que estos controles no manejan altas corrientes en sus salidas

2.2 Relevadores de control y de potencia

Estos dos dispositivos le dan estructura a las dos etapas de un sistema automático. La etapa de control, aparte de estar construida con relevadores de control, puede tener temporizadores, además de todos los dispositivos que intervienen para el desarrollo de la secuencia. Los componentes de la etapa de potencia son los relevadores de potencia (también llamado contactor) y los dispositivos finales del sistema automático, por ejemplo motores, bobinas, etcétera.

2.2.1 Relevador electromecánico

Los circuitos de control automático contienen uno o más relevadores principalmente porque el relevador confiere flexibilidad a los circuitos de control.

Los relevadores se emplean generalmente para aceptar información de un dispositivo sensible a niveles de corriente, de voltaje, de temperatura y la convierten en un nivel apropiado de potencia. Estos dispositivos detectores utilizados conjuntamente con los relevadores reciben el nombre de dispositivos pilotos y están proyectados para que sean sensibles o detecten magnitudes físicas tales como las tres fases y la secuencia de las mismas en un sistema trifásico, corriente eléctrica, tensión, sobrecarga, frecuencia y muchas otras. El tipo de relevador apropiado que se va a utilizar en un circuito de control está determinado por el tipo de detector que le transmite la información.

A continuación se menciona algunos tipos de relevadores.

Relevador detector de fases y secuencia

Este relevador (Fig. 2-1) se emplea para proteger circuitos trifásicos y tiene la capacidad de detectar anomalías como la falta de una de las fases; a falta de una de ellas el circuito debe de ser protegido. También protege al invertir el sentido de las fases del sistema trifásico; cuando se invierte la secuencia debe de proteger a la carga desactivando el circuito eléctrico de control. Otra protección es la de bajo voltaje.

La forma en que opera es la siguiente: se define un sentido de fases como normal y lo compara con el orden como se presentan; también vigila el nivel de tensión entre las fases. En condiciones normales el relevador está activado. Su campo de aplicación se encuentra en los sistemas automáticos que contengan motores trifásicos.

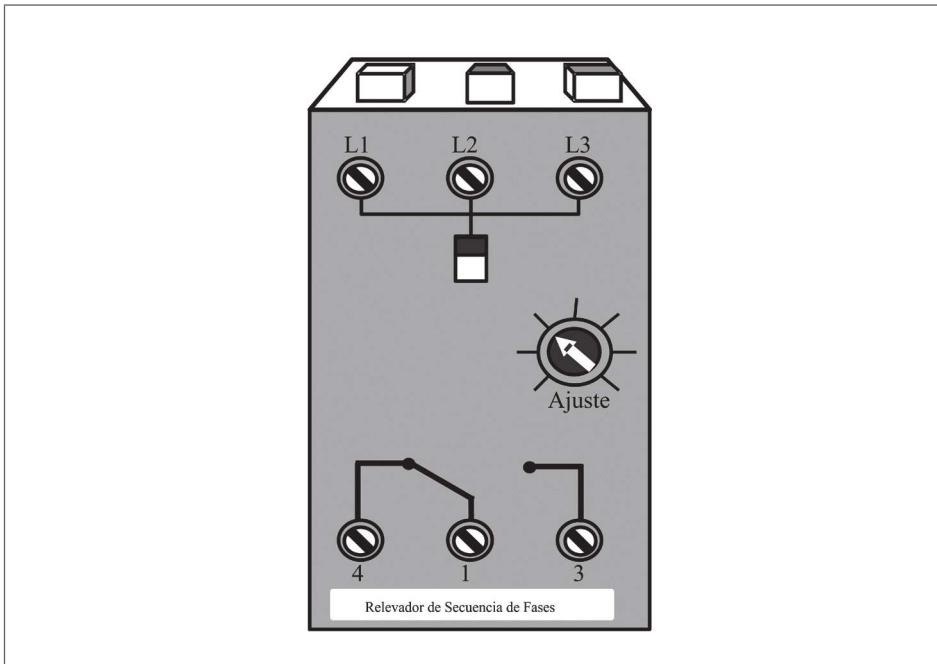


Fig. 2-1. Relevador detector de fases y secuencia.

Relevador de sobrecarga

El relevador de sobrecarga (Fig.2-2) se encuentra, en una u otra forma, en todos los arrancadores de motores. Al agregarle este relevador como forma de protección contra las sobrecargas a un contactor ordinario, se convierte en un arrancador de motor. Esta unidad realiza la función de protección contra sobrecarga y la protección contra falla de la fase en el circuito del motor. El requisito básico para la protección contra las sobrecargas es que el motor puede trabajar a potencia nominal, pero que se impide su funcionamiento al producirse cualquier sobrecarga prolongada o importante.

Cuando un motor está sobrecargado mecánicamente, su corriente aumenta, lo que a su vez hace que aumente la temperatura del propio motor y sus devanados, lo que provoca un aumento de corriente y de temperatura a consecuencia de la falla, por lo que se debe activar la protección del relevador.

Existen dos tipos de relevadores de sobrecarga empleados generalmente en los arrancadores de un motor trifásico. El primero utiliza un metal con bajo punto de fusión que retiene una rueda dentada que al ser liberada produce la apertura de un juego de contactos intercalados en el circuito de control que activa la bobina del arrancador. El segundo tipo usa una lámina bimetálica para el desenganche del mecanismo de disparo y para abrir los contactos del circuito de la bobina.

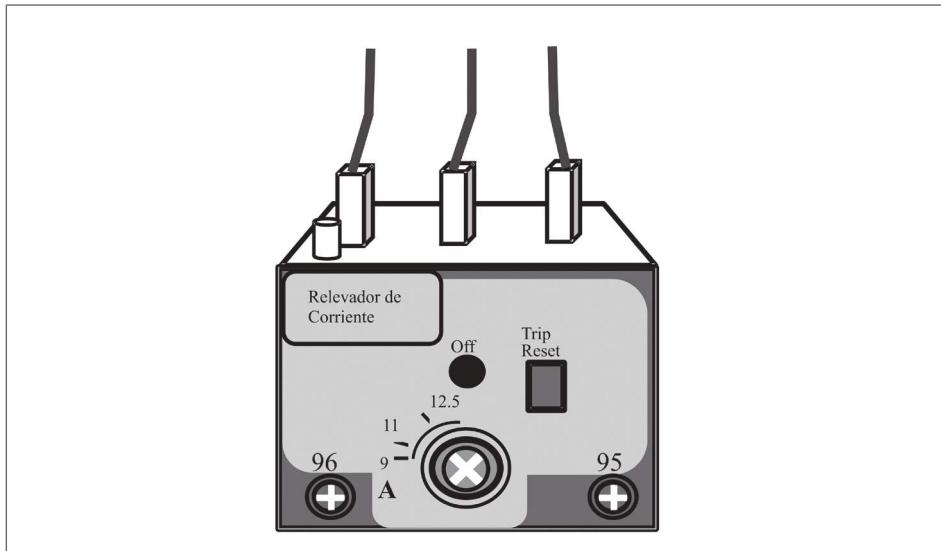


Fig. 2-2. Relevador de sobrecarga

Relevador electromecánico de control

Este relevador es un interruptor operado electromecánicamente, el cual está compuesto por una bobina, núcleo, contacto móvil, contacto fijo y resorte. Tiene al menos un contacto normalmente abierto (NA), otros además tienen un contacto normalmente cerrado (NC); al conjunto de ambos contactos se le llama juego de contactos.

Para su funcionamiento la bobina del relevador requiere una corriente muy pequeña y este relevador se emplea para controlar circuitos de altas corrientes. Opera de la siguiente manera: al aplicarle el nivel de voltaje requerido a la bobina, ésta genera un campo electromagnético que a su vez genera una fuerza suficientemente grande para vencer la constante de elasticidad del resorte, lo que provoca el movimiento de un contacto móvil, cambia de estados los contactos, cierra el NA y abre el NC.

La Fig. 2-3 muestra la imagen de un relevador seccionado.

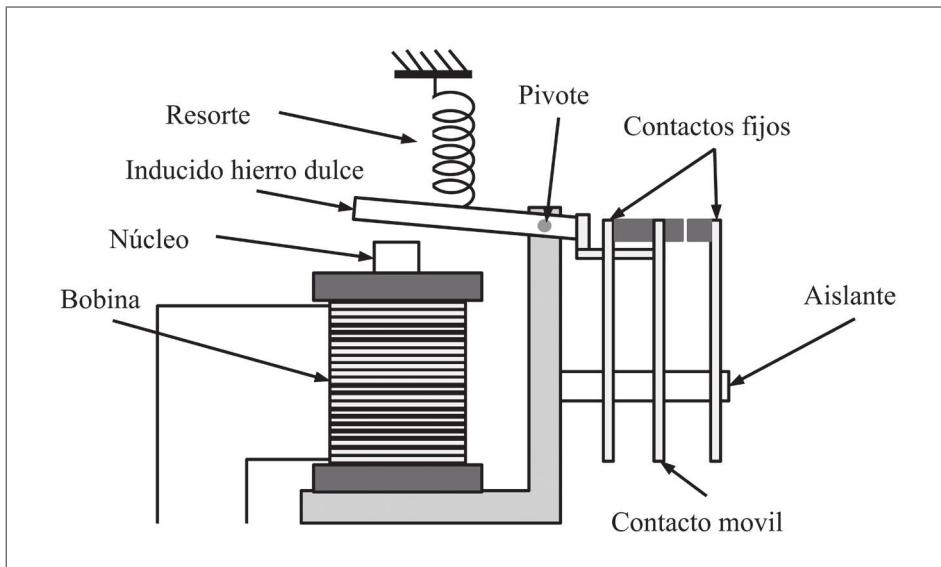


Fig. 2-3. Estructura de un relevador electromecánico

El relevador electromecánico tiene aislamiento galvánico entre la bobina y el juego de contactos, lo que permite manejar diferentes voltajes en éstos. En el ejemplo de la Fig 2-4 se ve que el nivel de voltaje de la bobina es de 24VCD y el nivel de voltaje que requiere la carga que va a operar con el contacto el relevador es de 120 VCA; incluso el nivel de corriente que circula por la bobina comparado con el nivel de corriente que circula por la carga son totalmente diferentes y suele ser más bajo en la bobina.

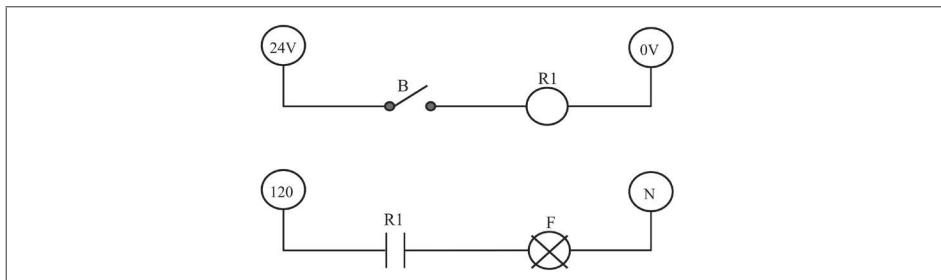


Fig. 2-4. Niveles de voltaje de un relevador electromecánico.

El aislamiento galvánico es una de sus características eléctricas que lo hace figurar como parte de los sistemas automáticos industriales, e incluso los equipos o procesos más complejos lo siguen utilizando como dispositivo de una secuencia o como dispositivo de una interfase electromecánica. La característica de aislamiento galvánico del relevador es fundamental en la aplicación como dispositivo de una interfase electromecánica, ya que debido a que maneja contactos secos lo convierte

en un dispositivo ideal en el manejo de señales eléctricas, donde no se conoce los niveles de voltaje.

Un contacto seco es un interruptor libre de potencial eléctrico; para que se pueda utilizar se le debe aplicar una señal de voltaje. Ejemplo de éste es el arranque y paro a distancia de un control de velocidad de corriente alterna, donde el relevador se encarga de cerrar o abrir un contacto ya que el voltaje es proporcionado por el propio equipo y la mayoría de las veces son pequeños los niveles de voltaje y corriente directa. En la aplicación que se muestra en la Fig. 2-5 el relevador debe de tener dos juegos de contactos, uno para realizar la retención y otro para emitir la señal de cerrar el circuito de la terminal 12 a la 18.

La conexión entre el relevador y el control de velocidad se realiza por las terminales 12 y 18; al operar el botón R se activa la bobina RUN/STOP y se cierran los contactos manteniéndose así hasta que se active el botón S, que es cuando vuelven a su estado inicial.

El relevador electromecánico no es candidato a ser aplicado en sistemas que requieran altas velocidades de respuesta, debido a la distancia que tiene que recorrer el contacto móvil para realizar el cambio de estados de los contactos.

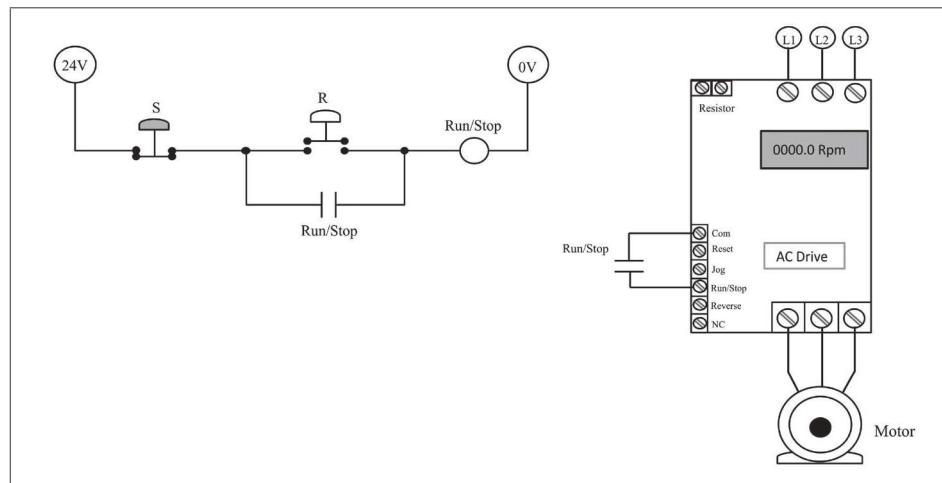


Fig. 2-5. Aplicación de un relevador como interfase electromecánica.

Efecto del viaje de los contactos de un relevador

Al habilitarse la bobina del relevador cambian de estado los contactos; si se tiene un relevador con un contacto abierto y uno cerrado, en la transición hay un instante en que los dos contactos están abiertos produciendo un efecto de circuito abierto para ambos contactos.

El efecto del viaje del contacto móvil en un relevador se presenta con un circuito eléctrico construido con dos lámparas y un relevador con dos contactos, uno NA y otro NC.

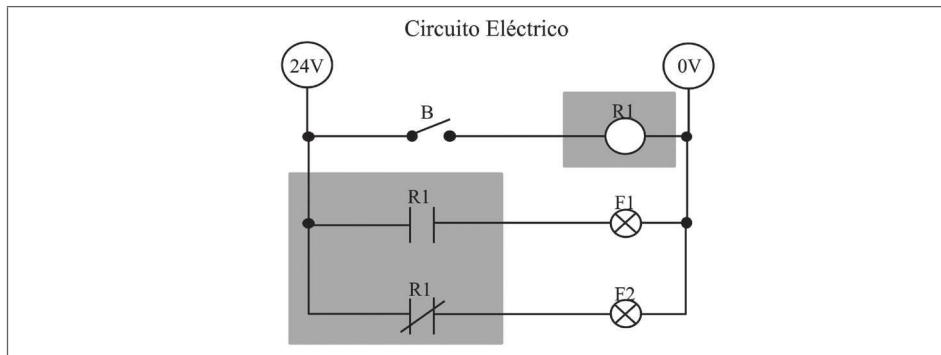


Fig. 2-6

Hay pocas herramientas que se pueden utilizar en la expresión de un sistema con base en relevadores; se van a utilizar dos de ellas: una es la respuesta mediante un gráfico o diagrama de funcionamiento, el cual se expresa mediante barras dónde se van a representar los valores de encendido como un “1” y de apagado como un “0”; también se expresa cada cambio de estado en contactos, dispositivos de entrada y bobinas. Esta fue la primera herramienta que se utilizó para expresar la secuencia de un sistema. La segunda herramienta que se va a analizar es a través de ecuaciones, donde cada una de las variables de salida se exprese mediante una ecuación.

Con base en el ejemplo anterior, en la Fig. 2-7 se analiza el diagrama de funcionamiento, en el cual se dispone de un espacio para el botón (B), la bobina del relevador (R1), los contactos cerrado y abierto de R1, así como para las funciones de salida F1 (foco1) y F2 (foco2).

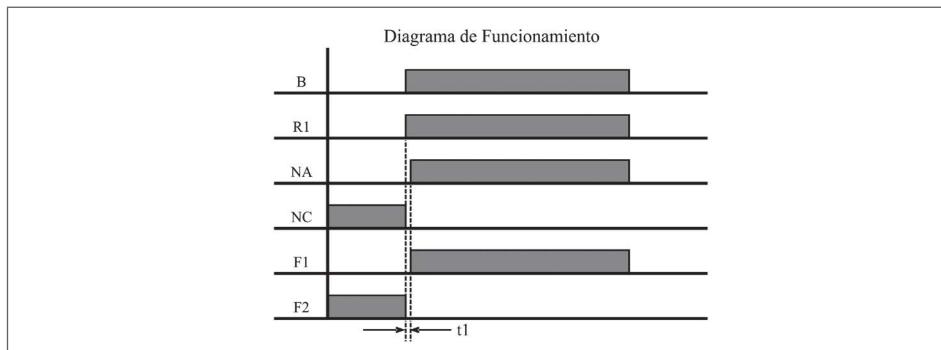


Fig. 2-7. Diagrama de funcionamiento.

El diagrama muestra la operación real del circuito; se puede ver el desfasamiento en tiempo entre los contactos NA y NC, mostrado por t1; este desfasamiento se debe al desplazamiento del contacto móvil entre los contactos fijos, lo que significa que va a existir un instante (t1) en que no va a tener ningún contacto cerrado. Esta es una de las desventajas de los relevadores electromecánicos y debe considerarse al diseñar sistemas automáticos con base en relevadores electromecánicos, puesto que este retardo puede ocasionar traslape o desfasamiento en las funciones de un sistema y no dar el resultado esperado.

2.2.2 El relevador de potencia o contactor

Este relevador, también llamado contactor, es diferente al relevador de control por manejar entre los bornes de sus contactos alta corriente y elevados niveles de voltaje. Asimismo, este dispositivo tiene aislamiento galvánico entre la bobina y los contactos, lo que permite manejar niveles de voltaje diferentes entre la bobina y los contactos. Pueden manejar cargas directas como pequeños y grandes motores, equipo calefactor, transformadores, etcétera.

Este dispositivo está construido con una bobina, entrehierro, resorte, juego de contactos fijos y juego de contactos móviles, normalmente abiertos. Algunos dispositivos tienen contactos auxiliares para obtener señales de control, las cuales pueden formar parte del control eléctrico.

En la Fig. 2-8 se aprecia un contactor modelo 3RH1122 de la marca Siemens con unidad de contactos auxiliares, dos contactos NA y 2 NC con montaje frontal.

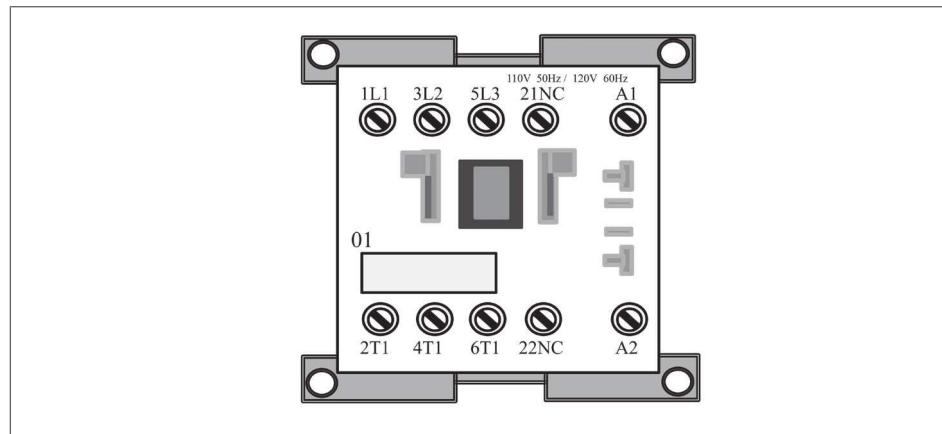


Fig. 2-8. ¿Contactor modelo 3RH1122 de Siemens?

El contactor (M) de la Fig. 2-9 está controlando el encendido y paro de un motor trifásico y es parte del circuito de potencia. El circuito de control tiene un relevador

(R1), un botón de arranque (A) y un botón de paro (P); estos símbolos son parte de un diagrama de control de un equipo industrial. Se considera que el contactor no tiene contactos auxiliares de control ya que requiere de un relevador “R1” para activarlo.

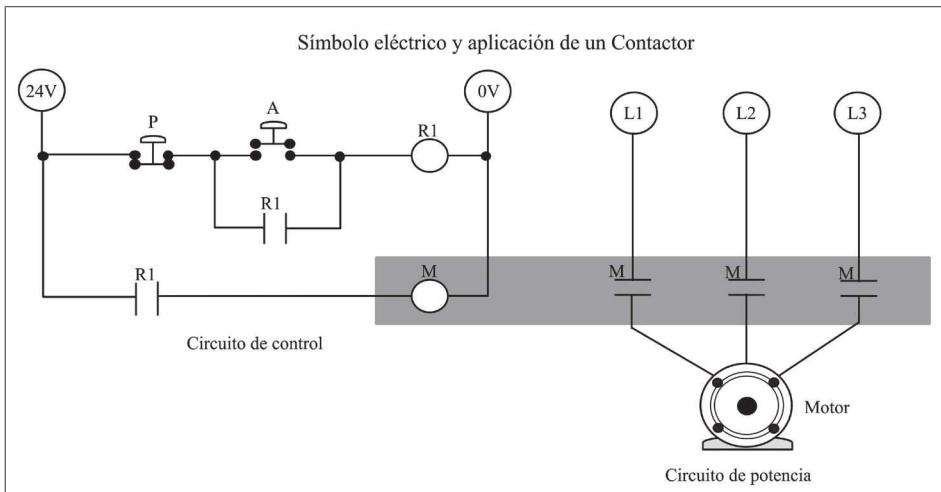


Fig. 2-9. Contactor que controla el encendido de un motor trifásico.

El contactor (MC1) de la Fig. 2-10 está controlando el encendido y paro de un motor trifásico; el contacto AMC1 es un contacto auxiliar del contactor y se utiliza para retener energizada la bobina del contactor; esto hace más sencillo el diseño del diagrama de control y como puede observarse no se requiere de un relevador auxiliar como el que se necesitó en la Fig. 2-9.

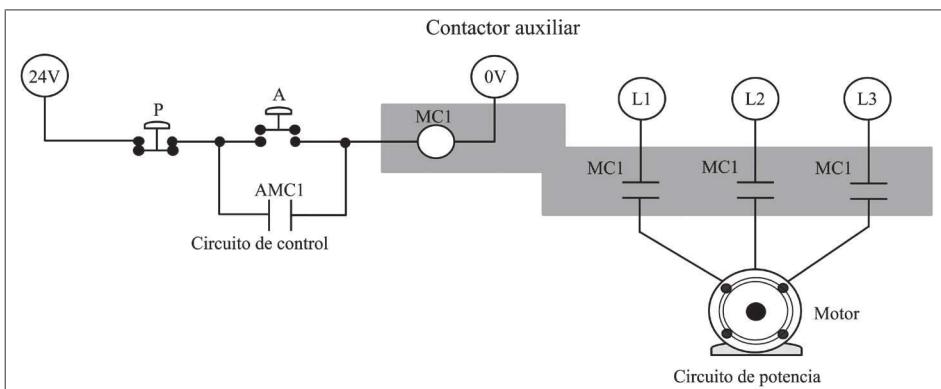


Fig. 2-10. Contactor con contacto auxiliar.

2.2.3 Relevador operado por tiempo

El relevador operado por tiempo, conocido también como temporizador o *timer* en inglés, tiene dos tipos fundamentales de operación: el temporizador con retardo para encender, denominado TON por sus siglas en inglés, y el temporizador con retardo para apagar, también llamado TOF por sus siglas en inglés. Actualmente existe una gran variedad de temporizadores de acuerdo con su forma de operación, pero están dentro del tipo TON y TOF.

Este relevador operado por tiempo consta la mayoría de las veces de un reloj electrónico, y en muy pocas ocasiones de un motor eléctrico y engranes que reducen la velocidad del motor y dan como ajuste una relación de tiempo. Por ejemplo, una vuelta del mecanismo es igual a un segundo, lo cual se representa en los diagramas eléctricos por valor preestablecido (PR) y un relevador electromecánico. El reloj electrónico en algunos dispositivos obtiene la frecuencia de la fuente de alimentación, pero otros más precisos la obtienen de un oscilador de cristal de cuarzo.

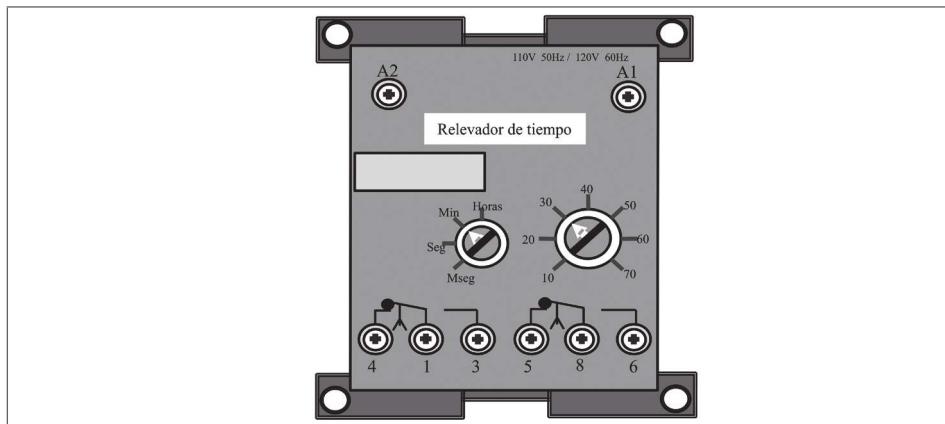


Fig. 2-11

Solución de sistemas automáticos con base en relevadores

Como se sabe, los sistemas automáticos industriales pueden ser de dos tipos: combinacional o secuencial, o la combinación de ambos. Los del tipo combinacional son los más sencillos de resolver ya que cuentan con el apoyo de la tabla de verdad y ecuaciones del sistema, mientras que los sistemas secuenciales

se van a resolver con el apoyo del diagrama de funcionamiento, a partir del cual se obtiene una ecuación para cada variable y cada ecuación se representa en el diagrama de control o mando.

Funciones lógicas con relevadores

Se puede representar las funciones lógicas con relevadores. Las operaciones más comunes son “AND”, “OR” y la función “NOT”; por el momento las funciones lógicas sólo se van a identificar como los siguientes circuitos:

AND es el circuito serie (Fig. 2-12)

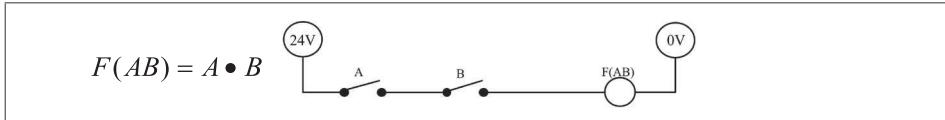


Fig. 2-12

Donde:

OR es el circuito paralelo (Fig. 2-13)

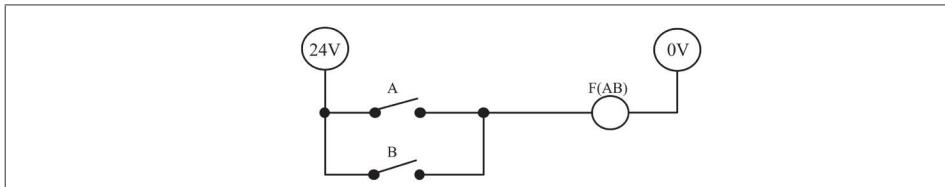
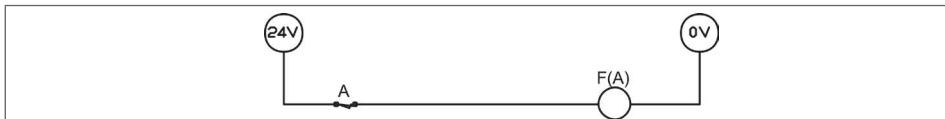


Fig. 2-13

Donde: $F(AB) = A + B$

NOT es el contacto o interruptor normalmente cerrado (Fig. 2-14)



Donde: $F(A) = \overline{A}$

La conjugación de los tres operadores da como resultado operaciones lógicas que pueden ser representados con diagramas eléctricos estructurados por relevadores electromecánicos.

2.3.1 Sistema combinacional con base en relevadores

La solución de este tipo de sistemas se va a realizar utilizando la tabla de verdad y a partir de ésta se obtienen las ecuaciones para después representarlas en un diagrama de control. En seguida se presentan dos ejemplos de sistemas del tipo combinacional solucionados con ambas técnicas, no obstante que hasta el momento no se hayan explicado estas técnicas, las cuales se expondrán en los próximos capítulos.

Problema 1: Situación actual

Una máquina tragamonedas acepta tres tamaños de monedas: pequeña (P), mediana (M) y grande (G). Se requiere diseñar parte del sistema automático, el cual se encargue de discriminar el tamaño de la moneda. El sistema está equipado con tres lámparas, una para cada tamaño de moneda, que debe de encenderse al momento en que identifique el tamaño de la moneda que está pasando. Es importante mencionar que la lámpara sólo va a estar encendida mientras pasa la moneda, de lo contrario va a estar apagada. Obténgase los siguientes incisos:

- a. Esquemático del sistema
- b. Identificación de entradas y salidas
- c. Diagrama de funcionamiento
- d. Diagrama control con relevadores

Solución

a. Esquemático del sistema

Se va a considerar que los sensores utilizados son del tipo óptico y que están alineados de tal manera que si pasa la moneda pequeña, solamente detecte el sensor localizado en la posición inferior, mientras que si pasa una moneda mediana los sensores localizados en la posición media e inferior deberán de enviar señal, y si pasa una moneda grande los tres sensores deben de mandar señal de la presencia de la moneda. El resultado del análisis se representa en el esquema de la Fig. 2-15.

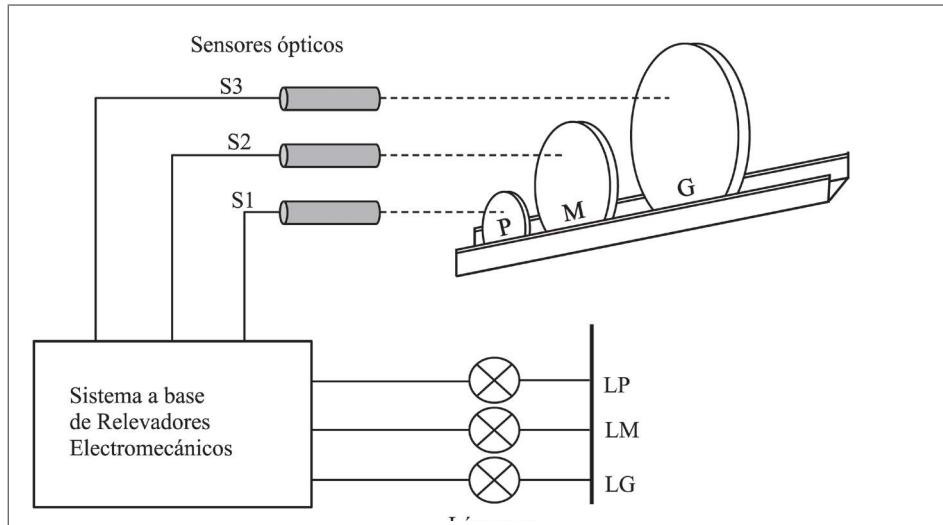


Fig. 2-15. Esquema del sistema.

Se puede observar que si sólo detecta el sensor S1, se debe de encender la lámpara P; si detectan S1 y S2 se debe de encender la lámpara M, y si detectan S1, S2 y S3 se debe de encender la lámpara G.

b. Identificación de entradas y salidas

El sistema es muy básico y es fácil de identificar las entradas y salidas. Hay que recordar que como entrada se definió a todo dispositivo capaz de captar una señal y transmitirla a otros dispositivos capaces de interpretar dicha señal.

En el ejemplo anterior las entradas son los tres sensores S1, S2 y S3.

Las salidas del sistema se refieren a todo dispositivo que se enciende o apaga mediante una lógica como resultado de las funciones generadas por los dispositivos de entrada.

En el ejemplo visto, las salidas son las lámparas P, M y G.

c. Diagrama de funcionamiento

Este diagrama se obtiene de la explicación de funcionamiento del circuito y su construcción se hace con base en barras que identifican la activación de cada una de las variables de entrada, de salida o funciones de conversión de señal.

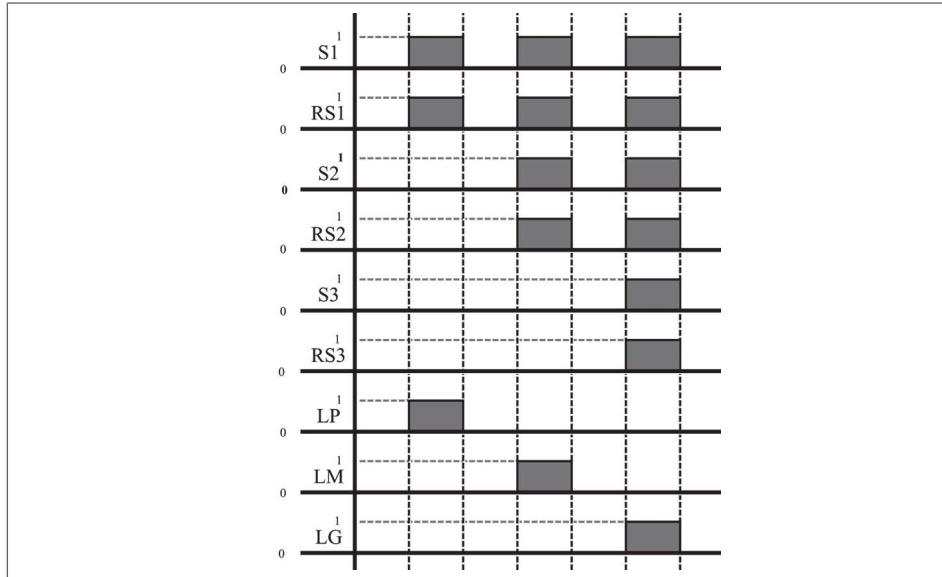


Fig. 2-16. Diagrama de funcionamiento.

El diagrama de funcionamiento de la Fig. 2-16 muestra que es necesario utilizar relevadores como conversores de señales de los sensores, debido a que se requiere obtener más de una señal y los sensores sólo disponen de una salida. De aquí se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$RS1 = S1$$

$$RS2 = S2$$

$$RS3 = S3$$

donde: "S" son entradas o los sensores y "RS" son bobinas de relevadores de control.

De este diagrama de funcionamiento también se tiene las ecuaciones de las variables de salida; los valores de 1 se consideran como valores afirmados o presencia de la variable, y los valores de 0 como valores negados o ausencia de la variable.

De este diagrama de funcionamiento también se tiene las ecuaciones de las variables de salida; los valores de 1 se consideran como valores afirmados o

$$LP = RS1 \bullet \overline{RS2} \bullet \overline{RS3}$$

$$LM = RS1 \bullet RS2 \bullet \overline{RS3}$$

$$LG = RS1 \bullet RS2 \bullet RS3$$

presencia de la variable, y los valores de 0 como valores negados o ausencia de la variable.

Las variables LP, LM y LG son salidas y las variables RS1, RS2 y RS3 son contactos o variables de entradas. Las lámparas indicadoras se denominan

"L" y los contactos de los relevadores se llaman "RS". El símbolo "_" indica la negación de una variable, lo que significa que son contactos NC (normalmente cerrados). Con estas ecuaciones ya se puede implementar el diagrama de control con relevadores.

Sin embargo, se puede obtener RS1 como factor común de las tres ecuaciones, esto para utilizar un relevador con un contacto, pues de otra manera se requiere uno con tres contactos. Lo mismo pasa con RS3, se puede sacar como factor común para LM y LP, y así utilizar un relevador de un contacto abierto y uno cerrado para RS3.

d. Diagrama eléctrico del sistema combinacional

Tomando en cuenta las consideraciones para los relevadores RS1 y RS3, se realiza el diagrama de relevación para las ecuaciones obtenidas.

Puede observarse en la Fig. 2-17 que se utilizan relevadores como interfase para obtener más de una señal de los sensores.

El diagrama muestra que RS2 requiere tener tres juegos de contactos, RS3 dos y RS1 uno.

Las bobinas de los relevadores, las lámparas y los sensores son de 24 VCD.

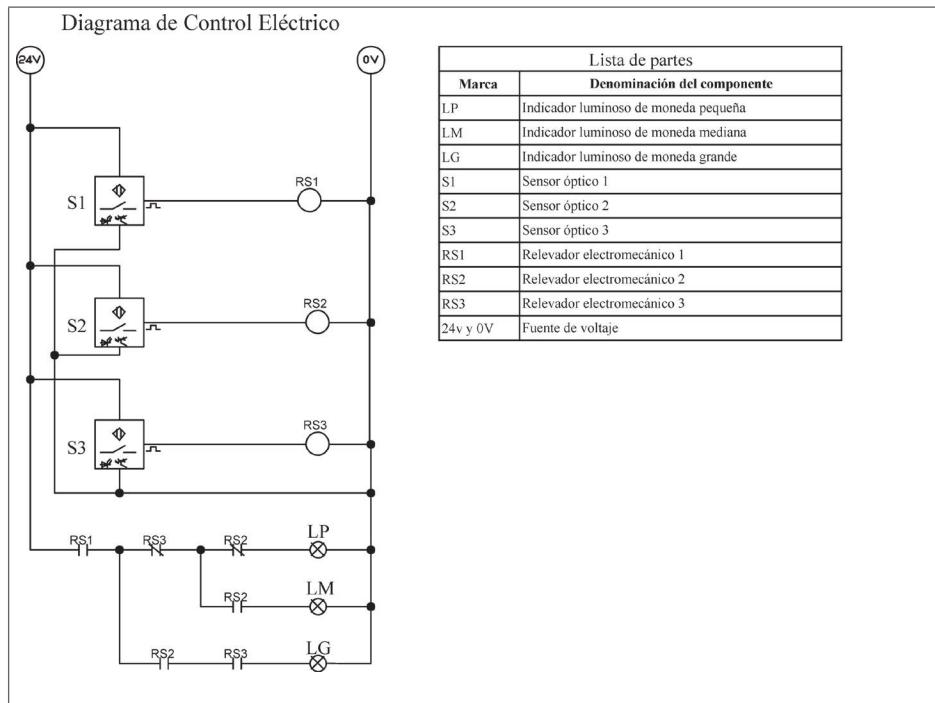


Fig. 2-17. Diagrama eléctrico y lista de partes del circuito a implementar.

Problema 2: Situación actual

Un sistema de transporte de producto mediante bandas transportadoras se encarga de llevar el producto a una banda final. Los productos están clasificados como producto pequeño (P) y producto grande (G); la banda final está seccionada por tres espacios llamados A, B y C.

El producto pequeño sólo requiere de un espacio de la banda y el producto grande requiere dos espacios contiguos. Los productos son detectados por sensores ópticos del tipo difuso: el sensor SA detecta producto en el espacio A de la banda, el SB para el espacio B y el SC para el espacio C.

El sistema tiene un semáforo de lámparas que indica el tipo de producto que se puede poner sobre la banda. Las condiciones del encendido de las lámparas son las siguientes:

- Al existir los tres espacios libres deben de encender las dos lámparas.
- Al existir dos espacios contiguos libres sólo debe de encender la lámpara G.
- La lámpara P va a estar encendida al estar dos espacios no contiguos libres.
- Las dos lámparas van a estar apagadas al existir cero espacios libres.

Encuéntrese los siguientes incisos:

- a. Diagrama esquemático
- b. Identificación de entradas y salidas
- c. Tabla de verdad del sistema
- d. Diagrama eléctrico

Solución

a. Esquema

El esquema de la Fig. 2-18 muestra la banda seccionada; las secciones están divididas por las líneas A, B y C; los sensores se identifican como SA, SB y SC, y las lámparas son P para producto pequeño y G para producto grande.

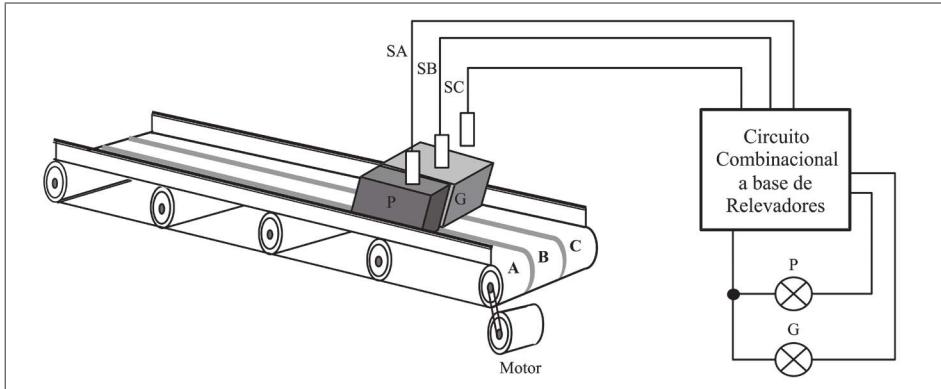


Fig. 2-18. Esquema de la banda con identificación de tamaño de producto.

b. Identificación de entradas y salidas

Las entradas del sistema son los observadores del proceso, en este caso los tres sensores SA, SB y SC son los dispositivos de entrada. Los dispositivos de salida del sistema son las dos lámparas localizadas en el semáforo de tamaño de caja e identificadas como P y G.

c. Tabla de verdad

En este ejemplo se va a trabajar con la tabla de verdad, que es otra de las herramientas que pueden utilizarse en la solución de sistemas del tipo combinacional. De acuerdo con las condiciones que se explicaron en la situación actual, se obtiene la siguiente tabla de verdad (Fig. 2-19).

Tabla de verdad				
SA	SB	SC	LP	LG
0	0	0	1	1
0	0	1	1	1
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
1	0	0	1	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0

Fig. 2-19. Tabla de verdad.

Un “0” en las entradas significa que el sensor no está detectando producto alguno, por lo tanto el espacio está disponible. El “1” significa que están ocupados los espacios, mientras que en las salidas el “0” significa que está apagada la lámpara y el “1” lo contrario.

De la tabla de verdad se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$P = \overline{SA} \bullet \overline{SB} \bullet \overline{SC}$$

$$G = \overline{SA} \bullet \overline{SB} \bullet SC + \overline{SA} \bullet SB \bullet SC + SA \bullet \overline{SB} \bullet \overline{SC}$$

Esta ecuación se puede minimizar al obtener como factor común \overline{SB} , cuyo resultado es la siguiente ecuación

$$G = \overline{SB} (\overline{SA} \bullet \overline{SC} + \overline{SA} \bullet SC + SA \bullet \overline{SC})$$

Se puede seguir reduciendo la misma ecuación obteniendo como factor común \overline{SA} , cuyo resultado es

$$G = \overline{SB} (\overline{SA} (\overline{SC} + SC) + SA \bullet \overline{SC})$$

Como la implementación es con relevadores electromecánicos y una de sus desventajas es el número reducido en contactos abiertos y cerrados, la selección se realiza basado en el número de contactos requeridos.

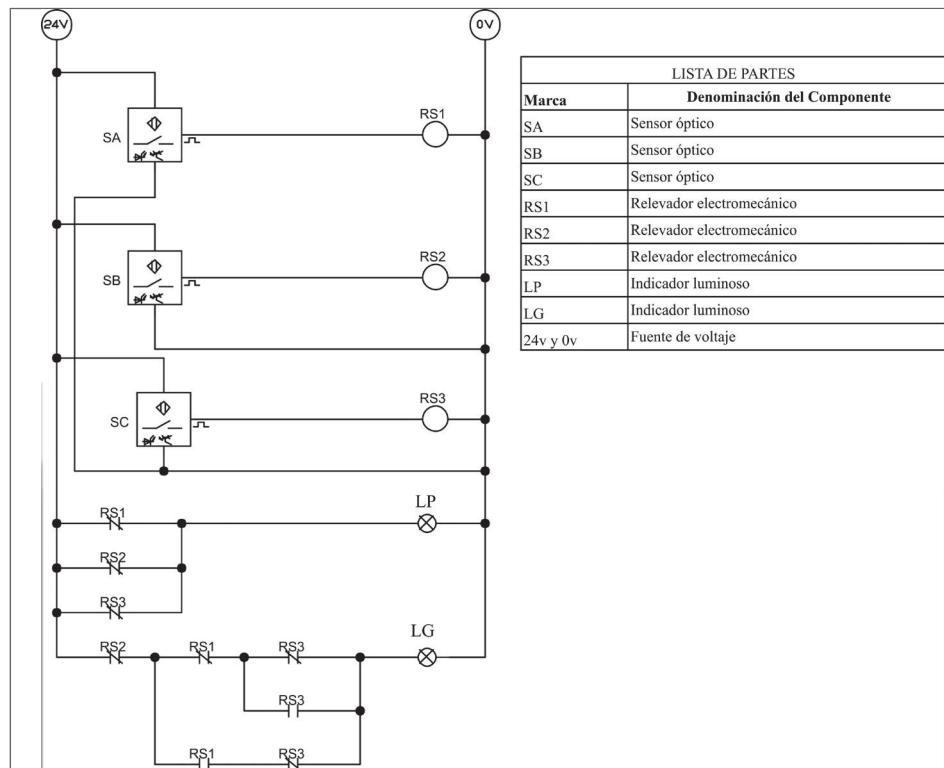


Fig. 2-20. Diagrama eléctrico con base en relevadores del sistema de banda.

Conclusiones

Los dos ejemplos muestran que las combinaciones siempre tienen el mismo resultado, siendo ésta la característica principal de los sistemas del tipo combinacional. Esto los limita en las aplicaciones industriales.

2.3.2 Sistema secuencial con base en relevadores

Los sistemas secuenciales con base en relevadores fueron los primeros sistemas utilizados en la solución de sistemas automáticos, cuando no existían muchas técnicas para la solución de las secuencias. Sin embargo, en la actualidad existen varias técnicas, la mayoría de ellas limitadas a emplearse en sistemas basados en PLC y no en sistemas basados en relevación.

Una de las herramientas utilizadas para diseño de sistemas basados en relevadores es el diagrama de operación, también llamado diagrama de funcionamiento, en el cual se representa el encendido y apagado de todos los dispositivos de control, de potencia y los dispositivos finales de operación.

Los sistemas secuenciales están compuestos por estados, en los cuales hay cambios en los dispositivos de salida, en los dispositivos de entrada o en ambos.

Problema 3: Situación actual

Un motor trifásico requiere de ser encendido con un botón normalmente abierto (N.A.) no sostenido, y puede ser apagado con un botón normalmente cerrado (N.C.) el cual hay que empujar para operar. En estado inicial el motor está apagado, al operar el botón de arranque se habilita el motor y al remover la señal del botón de arranque debe quedarse encendido el motor; al operar el botón de paro el motor se debe de apagar.

Solución

- a. De acuerdo con la secuencia que se menciona en la situación actual, se tienen dos entradas: un botón A (arranque) y P (paro), y una salida llamada R1 (relevador de control).

El diagrama de estados se obtiene a partir del conocimiento del funcionamiento de cada dispositivo. La Fig. 2-21 muestra el diagrama de estados, el cual tiene cuatro estados identificados como E1, E2, E3 y E4. El estado E1 es el estado estable; el E2 es el estado en el cual se habilita el circuito; en el estado 3 (E3) se deshabilita el botón de arranque y se mantiene el circuito en operación; en el estado 4 (E4) se habilita el botón de paro y se deshabilita el relevador R1, volviendo al estado estable del proceso.

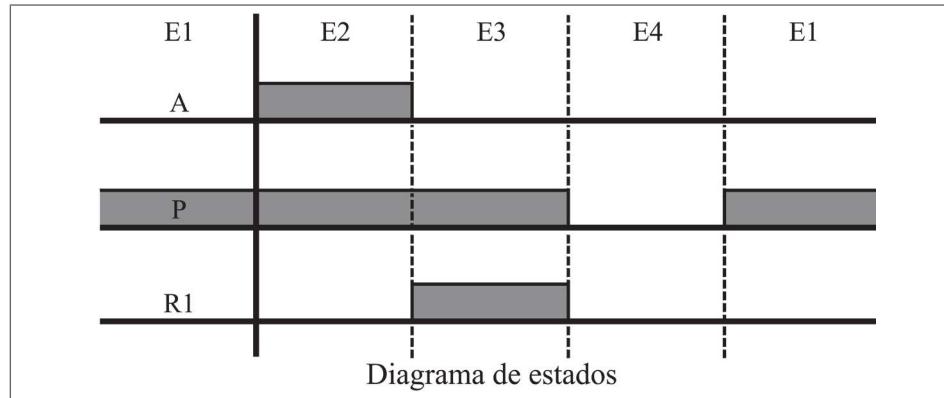


Fig. 2-21. Diagrama de operación.

b. A partir del diagrama de operación es posible obtener el circuito de control (Fig. 2-22).

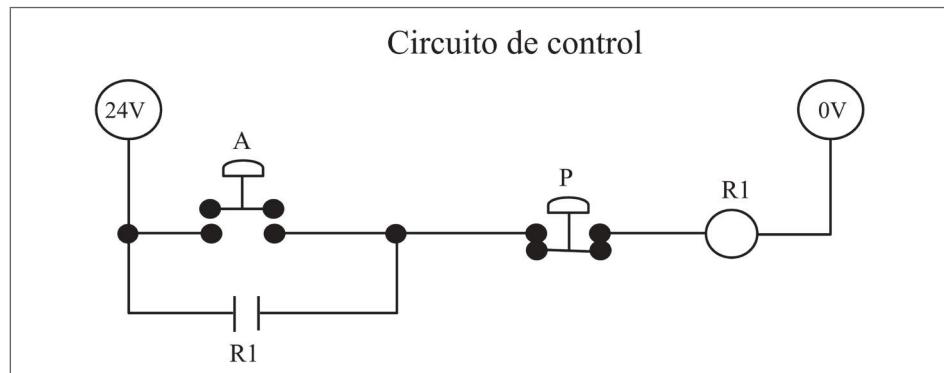


Fig. 2-22. Circuito de control

c. Debido a que se requiere habilitar un motor trifásico, el circuito de control no es suficiente y entonces debe agregarse un contactor para poder habilitar el motor (Fig. 2-23).

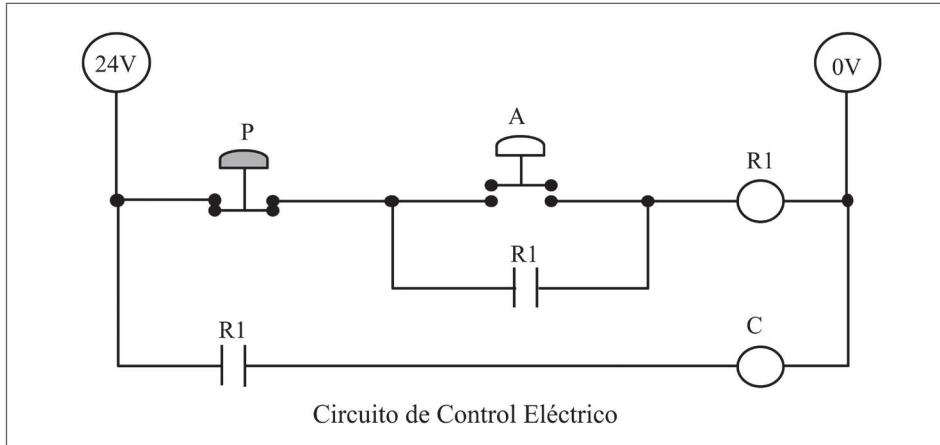


Fig. 2-23. Circuito de control y contactor.

- d. El diagrama completo incluye el diagrama de control, el diagrama de potencia y el diagrama de estados del proceso (Fig. 2-24).

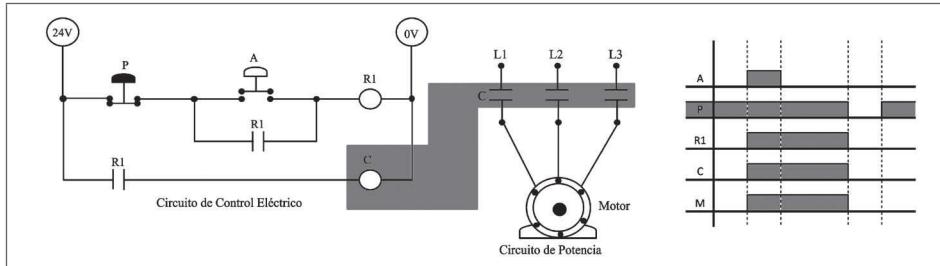


Fig. 2-24. Diagrama de estados, circuito de control y circuito de potencia.

Nota: En el diagrama no se incluyen las protecciones eléctricas tanto principales como de control.

Problema 4: Situación actual

Se requiere diseñar un sistema de control de una banda transportadora de prueba de calidad. Dicha banda gira en sentido derecho; el sistema se pone en marcha mediante un botón pulsador normalmente abierto (NA) y se pone en paro con un botón pulsador normalmente cerrado (NC). El motor de la banda es un motor trifásico de CA. Se requiere diseñar la siguiente secuencia: al poner en marcha el sistema, el motor se pone en marcha con rotación en el sentido de las manecillas del reloj por un periodo de 5 minutos. Una vez que transcurrió el tiempo de marcha, el motor para durante 3 minutos e inmediatamente después de este tiempo el motor se pone en marcha otra vez durante el mismo espacio de tiempo de 5 minutos. Esta es la secuencia natural del proceso; el sistema se pone en paro al habilitar el botón de paro, el cual puede ser operado en cualquier momento de la secuencia.

Solución

- a. De acuerdo con la secuencia que se menciona en la situación actual, se puede decir que se tienen dos temporizadores, ya que son dos ajustes de tiempo totalmente diferentes: un botón de paro normalmente cerrado (NC) y un botón de arranque normalmente abierto (NA), así como un contactor y un relevador auxiliar para asegurar la función de paro y arranque. El diagrama de tiempos de la figura 2.25 muestra el proceso y el encendido y apagado de los dispositivos.

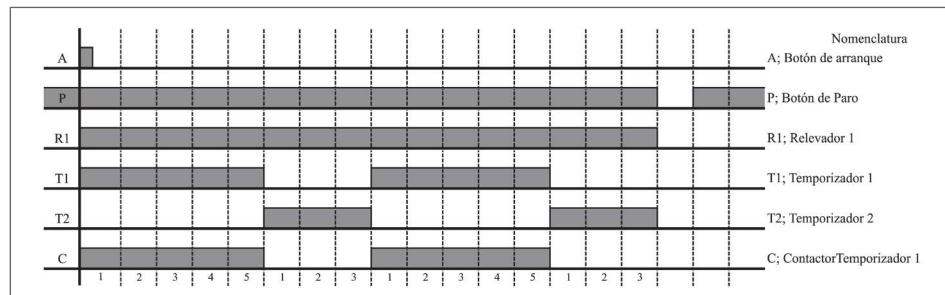


Fig. 2.25. Diagrama de operación y nomenclatura.

- b. Se analizó el diagrama de operación para poder obtener el diagrama del circuito de control. A continuación se analiza el diagrama de operación paso a paso para entenderlo mejor.

Paso 1. Al habilitar el interruptor A se energizan el relevador R1, el valor preestablecido del temporizador T1 y la bobina del contactor C.

Paso 2. Al terminar el valor preestablecido de T1, se energiza el valor preestablecido de T2 y se apaga la bobina del contactor C.

Paso 3. Al terminar el valor preestablecido del temporizador T2, se vuelve a energizar el contactor y el valor preestablecido de T1.

Paso 4. Al habilitar el botón de paro en cualquier momento, debe de inicializarse el circuito completo.

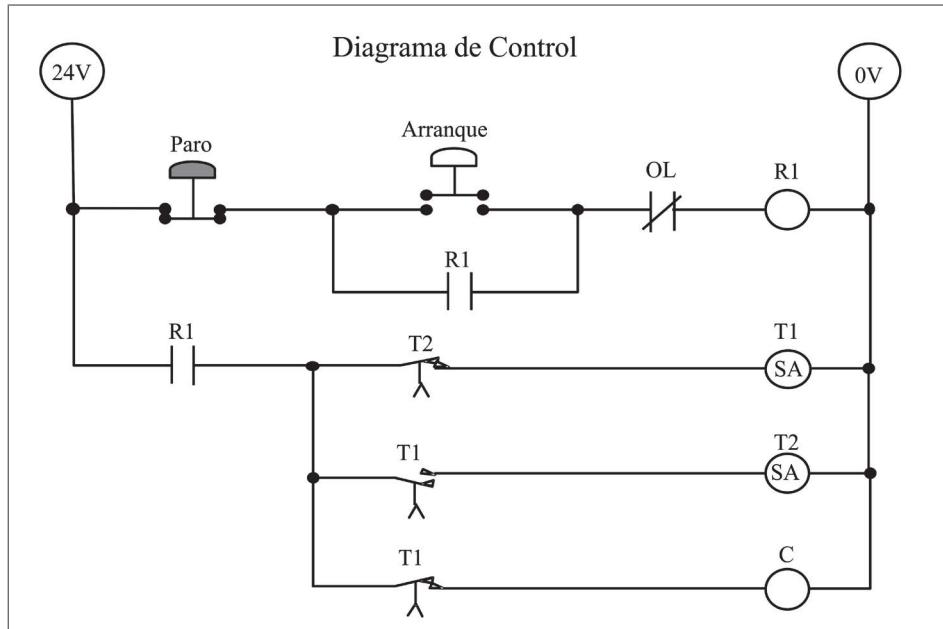


Fig. 2-26. Diagrama de control.

En el ejemplo de la Fig. 2-26 se está considerando la protección de sobrecarga OL, lo que indica que el contactor tiene un relevador auxiliar. Esta protección es un contacto auxiliar del contactor C y se activa cuando detecta una sobre-corriente en el motor.

- c Despues de haber diseñado el diagrama de control, se hace la interconexión con la etapa de potencia, en la cual se considera a los contactos del contactor, la alimentación de la fuente de voltaje trifásica y el motor eléctrico de corriente alterna (Fig. 2-27). No se consideran las protecciones de las fuentes de voltaje tanto de control como de potencia.

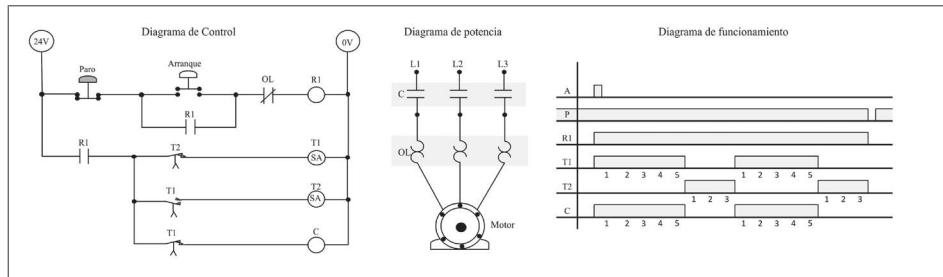


Fig. 2.27. Diagramas de control, potencia y funcionamiento.

Conclusiones

Los dos ejemplos muestran cómo los estados de las salidas en un sistema secuencial dependen también de los estados anteriores de las entradas, mientras que el ejemplo 3 es la aplicación más sencilla de un sistema secuencial.

El diagrama de operación es una herramienta que se emplea en la solución de los sistemas secuenciales, donde se muestra la operación de uno o más de un ciclo. Como se vio, este diagrama es de gran apoyo para el personal de servicio en el análisis de fallas del sistema.

2.4 Desventajas de los sistemas con base en relevadores

En la actualidad existen dispositivos más complejos que el relevador electromecánico: desde el relevador de estado sólido cuya respuesta en la apertura y cierre de sus contactos es más rápida que el relevador electromecánico, pasando por relevadores electrónicos programables con software propio para poder programar algunas líneas de control, hasta llegar al controlador lógico programable.

La principal desventaja del relevador electromecánico sin duda es la limitante que tiene en cuanto al número de contactos que puede manejar. En seguida se mencionan otras desventajas de los relevadores que los hace poco utilizables en el diseño de circuitos de control de los sistemas automáticos industriales.

- El tiempo de respuesta en la apertura o cierre de los contactos. Al diseñar el circuito de control de un sistema automático con base en relevadores, se debe considerar esta desventaja, ya que se pueden traslapar funciones u operaciones del propio control.
- El espacio que ocupa el relevador en un panel de control. En el diseño de los equipos automáticos industriales uno de los aspectos que se consideran es el espacio que se le dedica al panel de control, en el cual se alojan todos los dispositivos eléctricos. Por lo general los sistemas basados en relevadores tienen paneles de control muy grandes, lo cual es directamente proporcional al número de dispositivos que se ubiquen dentro del panel de control.
- Otra desventaja de los sistemas con base en relevadores es el tiempo que se requiere actualizar el proceso o hacerlo crecer, ya que para realizar esto se necesita analizar por completo el sistema, y además la modificación se realiza en forma física.

- Los sistemas basados en relevadores tienen un tiempo de vida limitado y se necesita un sistema de mantenimiento muy estricto. El alambrado de muchos relevadores en un sistema muy grande es muy complicado, y si existen fallas su detección es muy tediosa y lenta. El nuevo controlador (PLC) tenía que ser fácilmente programable, su vida útil tenía que ser larga y ser resistente a ambientes difíciles.

Estas son sólo algunas desventajas de los sistemas basados en relevadores.

Funciones lógicas con relevadores

A partir de un sistema de relevación industrial se puede obtener las ecuaciones que representan a cada uno de los dispositivos que van a ser controlados, como motores, relevadores, lámparas indicadoras, etcétera.

A continuación se muestra un ejemplo de un molino industrial compuesto por un motor soplador y el motor del molino. El equipo tiene un detector de secuencia de fase por la importancia del sentido de giro del motor, y con este dispositivo se evita daños al equipo. También, para evitar riesgos en la operación, el equipo tiene interruptores de seguridad que protegen al abrir las puertas del equipo se debe de apagar el molino.

En la Fig. 2-28 se puede observar que los dos motores tienen la protección de sobrecarga eléctrica, convirtiéndose en una condición para el circuito de control.

Como ejercicio de estudio, a partir del diagrama de la Fig. 2-28 exprésense mediante ecuaciones los contactores principales 1M y 2M.

$$1M =$$

$$2M =$$

2.5 Preguntas de estudio

01. Mencione las etapas en que está estructurado un sistema automático con base en relevadores.
02. Mencione los componentes del relevador electromecánico.
03. Defina el relevador electromecánico.
04. Defina el contactor.
05. Defina un sistema del tipo combinacional.
06. Defina un sistema del tipo secuencial.
07. ¿Cuál de los dos sistemas tiene más aplicación a nivel industrial, el combinacional o el secuencial?
08. ¿Cuántas funciones básicas de tiempo existen? Explique cada una de ellas.
09. El circuito de control de paro y arranque, ¿es un sistema del tipo combinacional o secuencial?, y explique por qué.
10. A partir del circuito de control de la Fig. 2-29 obtenga los siguientes incisos: a) ecuaciones para R1, T1, T2 y F; b) el diagrama de tiempos.

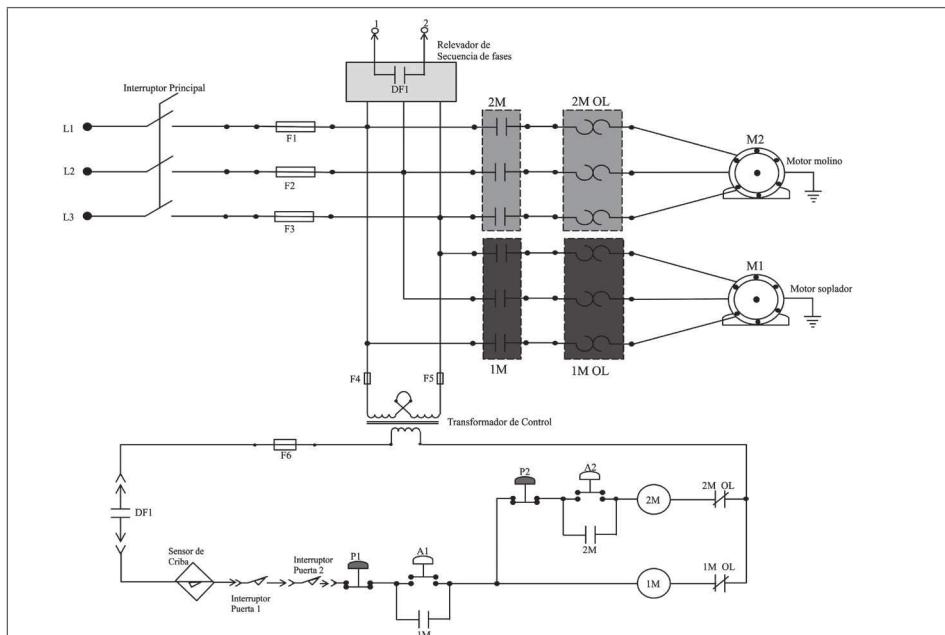


Fig. 2-28. Diagrama de control eléctrico de un molino industrial.

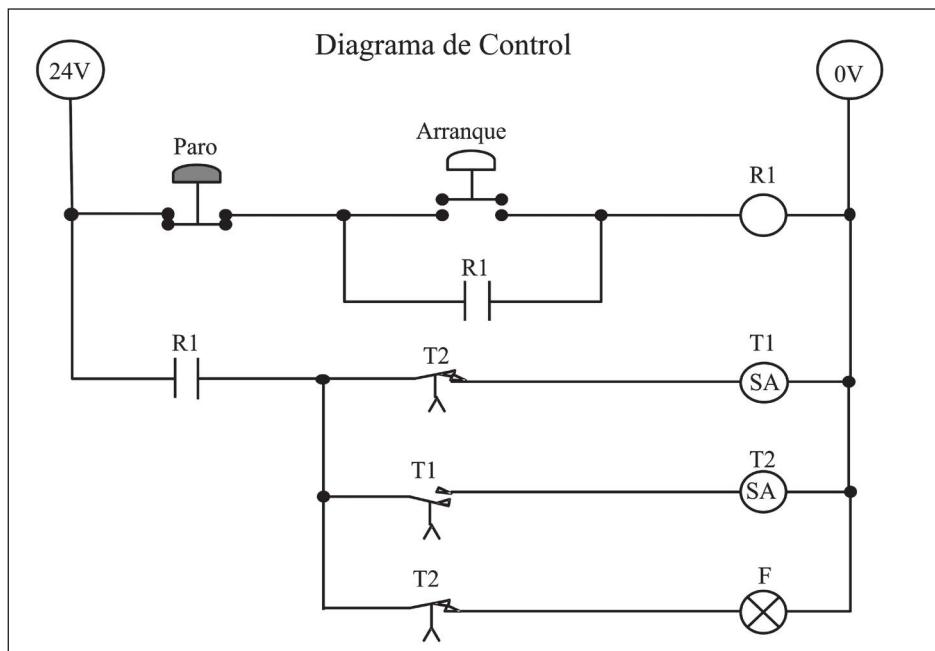


Fig. 2-29. Diagrama de control.

CAP TULO 3

Controlador l gico programable (PLC)

3.1 Introducci n

El avance tecnológico ha propiciado el desarrollo de equipos que facilitan el trabajo en todas las actividades, así como de equipos más inteligentes en todas las áreas, y los sistemas automáticos no han sido la excepción. Este desarrollo tecnológico trajo consigo el controlador lógico programable, PLC por sus siglas en inglés, el cual se ha convertido en la línea que marca la diferencia entre los sistemas automáticos industriales con base en relevadores y los sistemas actuales.

Un sistema de control industrial automático trabaja con una secuencia de instrucciones lógicas generadas mediante un programador manual o una computadora, secuencia que se almacena en la memoria del PLC para trabajar en forma independiente.

Esta familia de controles se distingue de otros controladores automáticos en que pueden reutilizarse al poder ser reprogramados para controlar cualquier otro proceso industrial, a diferencia de los denominados controladores de uso específico, los cuales sólo pueden controlar un tipo específico de máquina.

También llamado autómata programable, el PLC surgió en los años sesenta en los Estados Unidos por necesidades de la industria automotriz y su propósito principal fue eliminar el enorme costo que significaba el reemplazo de un sistema de control basado en relevadores. Su fecha de creación coincide con la era del microprocesador; fue la primera máquina con lenguaje y programada mediante un programador manual o una computadora personal, considerado en sus inicios como un calculador lógico cuyo juego de instrucciones se orienta hacia los sistemas del tipo secuencial y combinacional.

Utiliza varios lenguajes de programación; entre los más utilizados están: programación por instrucciones; diagrama de lógica escalera (LADDER) también llamado diagrama de lógica de contactos; operadores lógicos, y programación por bloque de

funciones. Todos estos lenguajes permiten implementar tanto algoritmos complejos como sencillos mediante simples diagramas de flujo, fáciles de interpretar y programar.

El autómata programable satisface las exigencias tanto de procesos continuos como discontinuos. Los completamente discretos pueden controlar sólo variables discretas, mientras que los discretos-análogicos, aparte de regular variables discretas, pueden regular variables analógicas como presión, temperatura, nivel, caudal, etc., y contienen algoritmos PID; ambos pueden controlar también funciones asociadas de tiempo, conteo, lógica, matemáticas y funciones de comunicación multiprotocolos que le permitirían interconectarse con otros dispositivos.

Un sistema automático industrial basado en PLC consta de dispositivos de entradas, dispositivos de salida y el programa lógico almacenado en la memoria del PLC (Fig. 3-1).

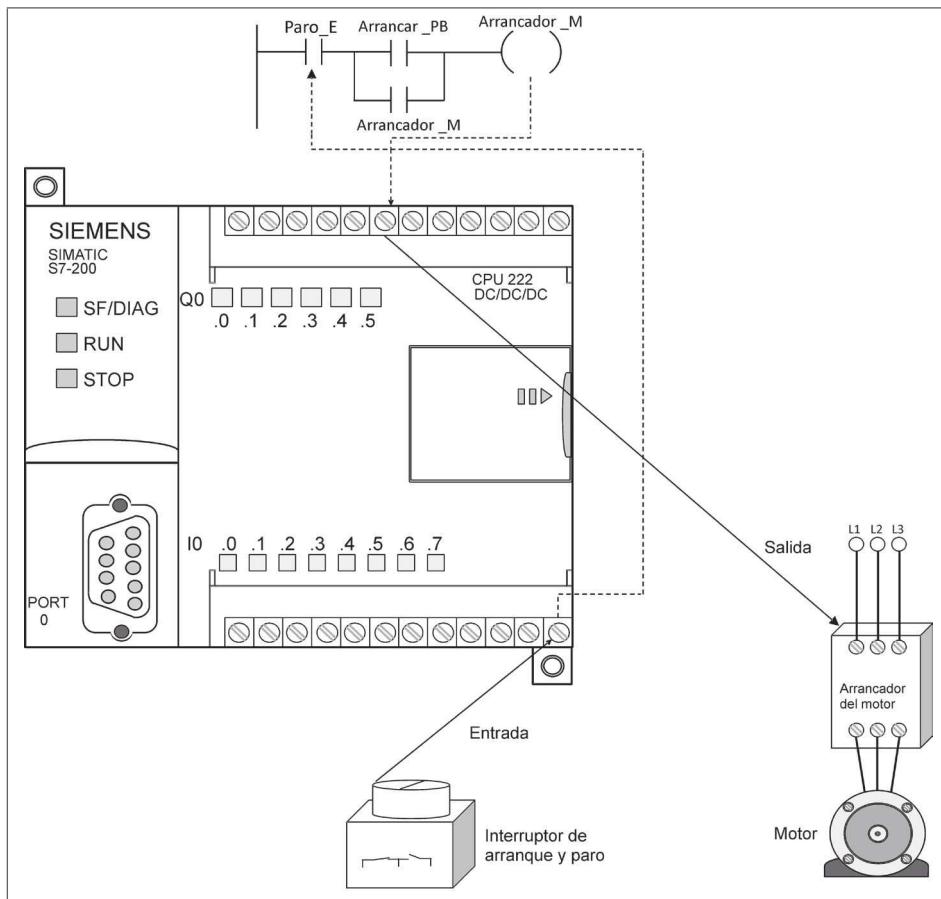


Fig. 3-1. Sistema automático basado en PLC

3.1.1 Ventajas de los sistemas automáticos industriales (SAI) con base en PLC

Comparados con los sistemas basados en relevadores, los sistemas basados en PLC muestran varias ventajas que van desde el costo, ya que suelen ser más económicos, pasando por ser más compactos, hasta llegar a la reutilización de equipo, sólo por mencionar algunas. Además, entre más complejo sea el sistema más ventajas va a tener. Incluso existen sistemas automáticos que no pueden ser desarrollados con relevadores electromecánicos, algunas veces debido al tiempo de respuesta que requiere el sistema, otras por la complejidad y en algunas otras por funciones especiales que requiera el sistema. En seguida se describen estas ventajas.

- **Costo.** La implementación de sistemas automáticos industriales (SAI) con base en PLC, es económica aun para los procesos más sencillos. El tiempo de retorno de la inversión es una de las formas en que se puede evaluar si es “costeable” implementar un sistema con base en PLC; por lo regular el tiempo de retorno de la inversión es corto en sistemas complejos o de gran tamaño, y en los sistemas pequeños o sencillos sólo en algunas ocasiones suele ser largo.

Otro concepto es el costo de operación, donde se debe considerar que estos sistemas requieren menos mantenimiento y menos remplazo de piezas, lo que resulta en tiempos de operación continuos en las líneas de producción y costos reducidos de mantenimiento.

- **Espacio.** El espacio que requieren los equipos industriales se ha reducido al utilizar el PLC como dispositivo central de control, lo cual ha impulsado a las compañías dedicadas a la manufactura de maquinaria industrial a ofrecer una máquina robusta en cuanto funcionamiento y control de las variables, pero con dimensiones estéticas.

El espacio dedicado a las líneas de producción se ha ido reduciendo, obligando a que los equipos o maquinaria industrial utilizada en los procesos de producción, sea cada vez más eficiente en la utilización de espacio.

- **Reutilización de equipo.** Esta ventaja se relaciona directamente con el costo beneficio y es una actividad que han adoptado algunas compañías manufactureras de maquinaria industrial al realizar actualizaciones de equipo y utilizar el control del equipo original.

Esto hace referencia a la realización de actualizaciones de equipo en las que el PLC sólo se reprograme para desempeñar la nueva tarea, lo cual contribuye a que no se deseche toda la maquinaria al 100%, sino que sólo se actualice.

3.2 Estructura interna de un PLC

Se basa en cinco partes fundamentales: de inicio, la parte fundamental del controlador es el CPU; después la fuente de voltaje necesaria para encender todos los dispositivos; módulos de entrada, módulos de salida –ambos módulos actúan como interfase entre el controlador y el mundo real–; bus de datos por donde fluye la información y el programador externo que puede estar a cargo de una computadora personal o un programador manual.

La estructura de un PLC modular se aprecia en la Fig. 3-2; si se quiere ver la estructura de un controlador compacto sólo aplica un módulo de entrada y un módulo de salida.

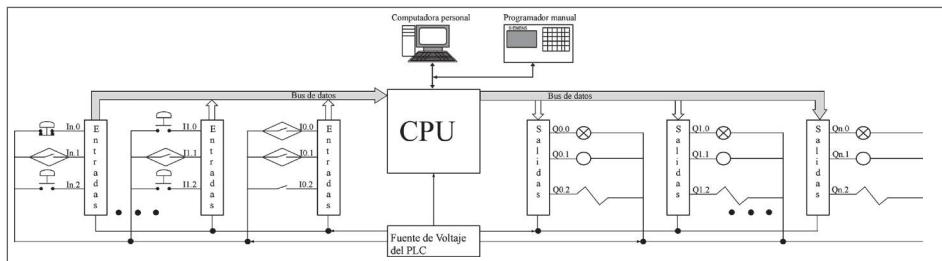


Fig. 3-2. Estructura de un PLC del tipo modular

PLC del tipo compacto

Los controladores lógicos programables están clasificados en compactos y modulares. Los compactos son un solo módulo en el cual se incluye el CPU, una cantidad reducida de entradas y salidas, el puerto de comunicaciones para el programador manual o la interfase para la computadora personal, la fuente de voltaje y algunos incluyen un conector para agregar un módulo de expansión, y así añadir más entradas y salidas al sistema.

El PLC S7-200 incorpora en una carcasa un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y de salida que conforman un PLC del tipo compacto (Fig. 3-3).

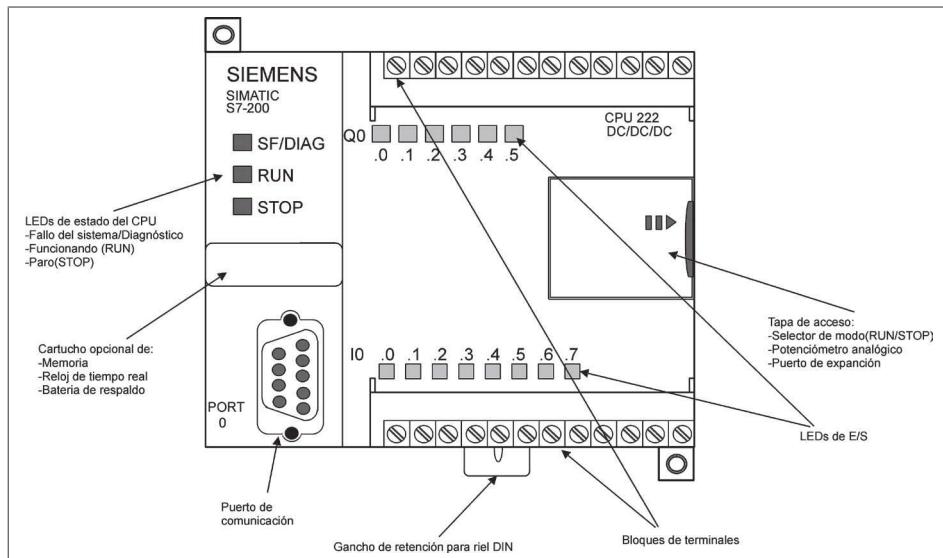


Fig. 3-3 PCL S7-200.

Controles modulares

El PLC del tipo modular está estructurado con un rack principal que contiene varias ranuras en las cuales se insertan los módulos. En forma inicial se ubica a la fuente de alimentación (PS) y en forma posterior se ubica al CPU, el cual por lo regular contiene el puerto de comunicaciones donde se conecta el programador manual o la interfase para la computadora; después se ubican a los módulos de entradas, los módulos de salidas y los módulos especiales, como por ejemplo el módulo de posicionamiento y los módulos de entradas y salidas análogas. Tiene también un conector para agregarle un rack de expansiones y así poder solucionar procesos que demanden más entradas y salidas. Una de las familias modulares del PLC Siemens es el S7-300 (Fig. 3-4).

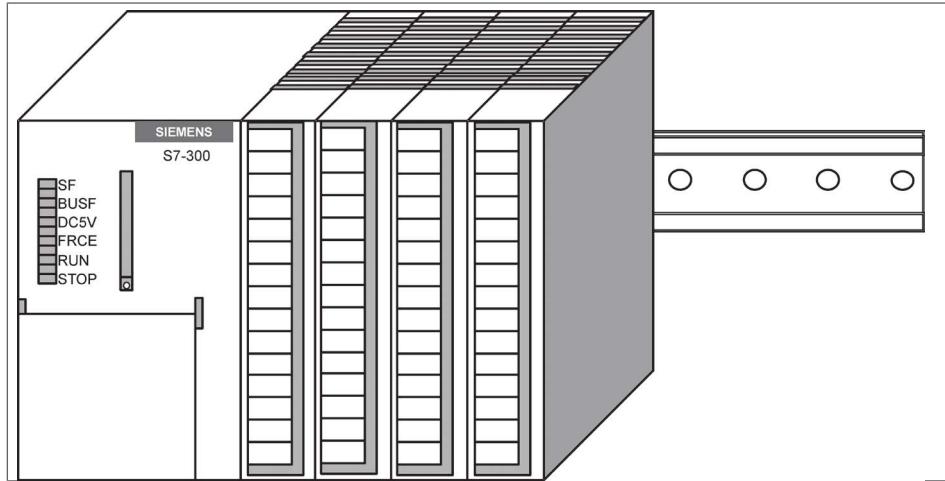


Fig. 3-4. PLC modular Siemens S7-300.

Unidad central de procesamiento (CPU)

Es el corazón del autómata programable. En la mayoría de los PLC, este dispositivo es un microprocesador, pero en una minoría se utilizan microcontroladores; la diferencia entre ambos dispositivos radica principalmente en la capacidad de memoria o instrucciones que cada uno puede manejar, así como en el tiempo de escaneo del programa: el microcontrolador es más lento comparado con el microprocesador. En conclusión, el controlador con microprocesador tiene más funciones que el controlador basado en microcontrolador. Sin embargo, cada uno tiene su campo de aplicación.

Las funciones que se encarga de realizar la CPU en el PLC son:

- Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no excede un determinado tiempo máximo (tiempo de ciclo máximo).
- Ejecutar el programa generado por el usuario.
- Crear una imagen de las entradas y salidas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas.
- Actualizar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas obtenida al final del ciclo de ejecución del programa de usuario.
- Verificación del sistema.

Tiempo de scan

Es el tiempo que requiere la CPU para realizar un diagnóstico interno e identificar fallas en el funcionamiento del CPU, así como leer los estados actuales de las entradas, ejecutar el programa lógico almacenado en la memoria y actualizar datos en el módulo de salidas.

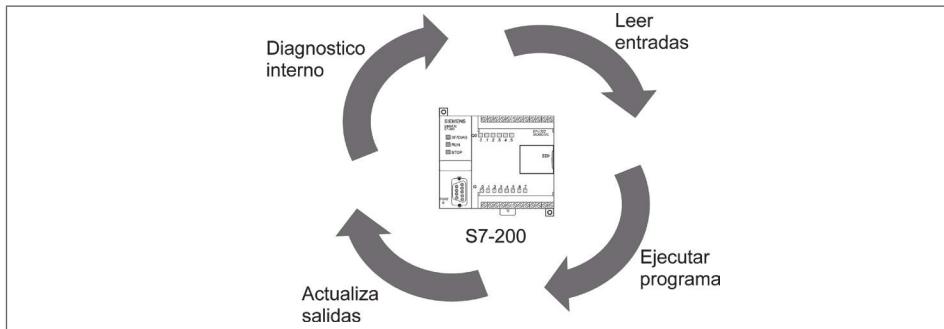


Fig. 3-5. Tiempo de scan.

Diagnóstico interno

El PLC revisa su electrónica en busca de defectos en la batería, en el programa de la lógica interna, CPU, memoria, y defectos de entradas y salidas.

Barido de entradas

Durante este proceso el CPU lee los valores de entrada disponibles en los circuitos electrónicos de las tarjetas de entrada y copia sus valores en la memoria. Esto hace al PLC más rápido y evita casos en que una entrada cambia entre el principio y el final del programa. Existen también funciones especiales del PLC que leen las entradas directamente y evitan el uso de las tablas de imagen.

Ejecución de la lógica

Basado en la tabla de imágenes de entradas, el programa es ejecutado un paso a la vez, y al mismo tiempo se va actualizando en memoria la tabla de imágenes de salida. El S7-200 ejecuta las operaciones del programa y guarda los valores en las distintas áreas de memoria.

Barrido de salidas

La tabla de imagen de salida es copiada desde la memoria hacia los circuitos integrados de salida, entonces se accionan los dispositivos de salida (relevadores, transistores, TRIAC, etc.). El PLC puede ver la entrada on/off solamente durante el tiempo de barrido de entrada.

En el PLC S7-200 la ejecución del programa de usuario depende de si el PLC está en modo STOP o RUN; se ejecutará al estar en modo RUN.

	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU224XP CPU224XPsI	CPU 226
Dimensiones Físicas (mm)	90 x 80 x 62	90 x 80 x 62	120.5 x 80 x 62	140 x 80 x 62	190 x 80 x 62
Memoria del Programa					
con edición en runtime	4096 bytes	4096 bytes	8192 bytes	12288 bytes	16384 bytes
sin edición en runtime	4096 bytes	4096 bytes	12288 bytes	16384 bytes	24576 bytes
Memoria de Backup	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
E/S Integradas					
Digitales	6E/4S	8E/6S	14E/10S	14E/10S	24E/16S
Analógicas				2E/1S	
Módulos de ampliación	0 módulos	2 módulos	7 módulos	7 módulos	7 módulos
Potenciómetro Analógico	1	1	2	2	2
Reloj de tiempo real	Cartucho	Cartucho	Incorporado	Incorporado	Incorporado
Puertos de Comunicación	1 RS-485	1 RS-485	1 RS-485	2 RS-485	2 RS-485
Velocidad de ejecución booleana	0 22 microsegundos/operación				
	Aritmética con coma flotante				

Tabla 3-1. Tabla comparativa de CPU's S7-200.

Fuente de voltaje (PS)

Su función principal es generar los niveles de voltaje necesarios para activar la electrónica y una fuente de 24 VCD para uso externo con amperaje limitado. Se puede utilizar para alimentar algunos dispositivos de entrada o activar entradas que requieran bajos niveles de corriente.

En los primeros controladores el voltaje de alimentación tenía que ser seleccionado 120 o 220VCA. El dispositivo interno que tienen estos controles es un transformador reductor que como salida tiene los niveles de voltaje que requiere la electrónica interna del controlador. La selección del nivel de voltaje de entrada se realizaba por medio de un selector o conectando en diferentes puntos la alimentación de voltaje, lo que causaba posibles errores con consecuencias de daños al controlador. Otro punto es que el voltaje de estos niveles en las plantas industriales normalmente tiene variaciones, lo que provocaba daños al controlador y se realizaban reparaciones

frecuentes a los controladores, desde cambios de fusible hasta reparaciones mayores a la fuente de voltaje de los PLC.

La Fig. 3-6 muestra la fuente de un PLC en la cual se tiene que seleccionar el voltaje. Se puede observar tres puntos de conexión: uno llamado H y dos denominados N; el nivel de voltaje de alimentación es de 115/230VCA.

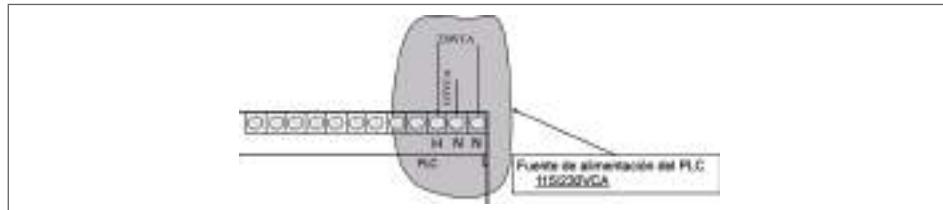


Fig. 3-6. Fuente de voltaje de un PLC.

El avance en la electrónica ha dado paso al diseño de nuevas fuentes de voltaje, y en los nuevos controles se ha cambiado la fuente transformador por una fuente reguladora de voltaje, lo que permite aceptar un rango muy amplio de voltajes de alimentación; estos niveles van desde 85 VCA a 265 VCA, y si se aplica un nivel de voltaje de 120 VCA, por mucha variación que exista en la línea de voltaje estará dentro de rango.

Existe un grupo pequeño de controladores a los que se les aplica voltaje de 24VCD. En las imágenes de la Fig. 3-7 se aprecia las fuentes de voltaje de corriente directa y de corriente alterna en controladores Siemens de la familia S7-200.

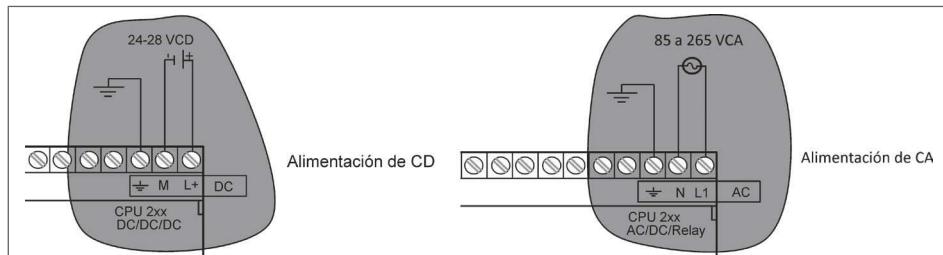


Fig. 3-7. Fuentes de voltaje de corriente directa y de corriente alterna en controladores Siemens de la familia S7-200.

3.3 Módulo de entradas discretas

La función principal de estos módulos es colectar la información de los dispositivos de entradas y mandarla al procesador convertidas en niveles lógicos de “1” como presencia de voltaje y “0” como ausencia de voltaje, lo cual es para ejecutar las funciones programadas en el CPU. Aunque también hay módulos analógicos, en este texto sólo se van a analizar módulos discretos.

Los módulos de entrada discreta pueden ser de voltaje de corriente directa (VCD) o de corriente alterna (VCA). Los dispositivos utilizados para mandar las señales a los módulos de entrada discretos son interruptores, botones, sensores, contactos de relevadores y todo aquel dispositivo que pueda interrumpir un voltaje y enviar una señal eléctrica. En los módulos de VCD la señal puede ser positiva o negativa hacia el punto de la entrada, lo que depende de qué tipo de sensores se utilice: si se utilizan interruptores, botones o contactos de relevadores, esta polaridad no tiene relevancia debido a que estos dispositivos pueden interrumpir la señal positiva o la señal negativa, lo cual va a depender del sistema en que se esté aplicando el dispositivo.

Módulos de entrada de VCD

Estos módulos reciben señales eléctricas de fuentes de corriente directa y hay dos únicas formas de interrumpir una fuente de voltaje de corriente directa: interrumpiendo la línea positiva o la línea negativa de la fuente. El concepto de sink y source –palabras en inglés que se usan para definir el tipo de señal en los módulos de VCD– se refiere precisamente al tipo de señal que se aplica a la electrónica de la entrada. Cuando se requiere mandarle una señal negativa al PLC o se va a interrumpir el negativo de la fuente se utiliza el término source, mientras que el término sink se emplea cuando se le aplica una señal positiva o se interrumpe el positivo de la fuente. La Fig. 3-8 muestra un módulo de entradas con la opción de señal positiva y negativa hacia la entrada.

El acoplamiento de una señal de entrada en un PLC lo realiza un circuito acoplado en forma óptica; esto evita que al aplicar por error un voltaje mayor al requerido a una entrada del control, dicho voltaje no llegue al CPU, sea retenido en el circuito óptico y no sufra un daño irreversible el controlador.

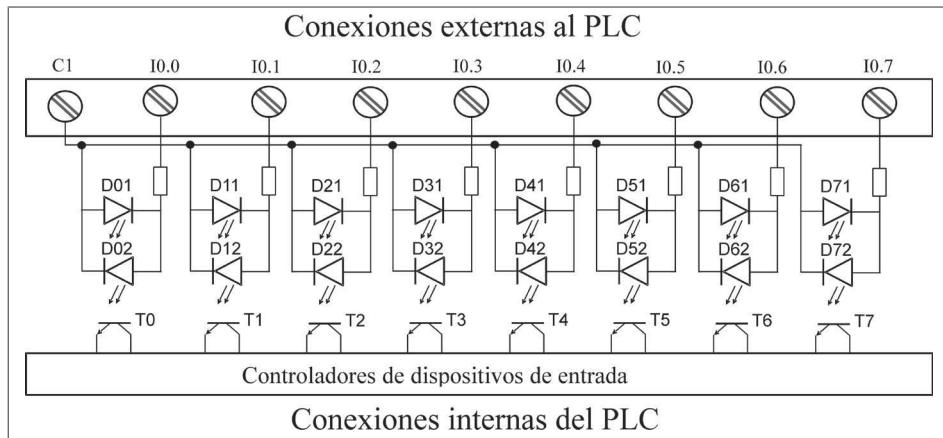


Fig. 3-8 Módulo de entrada de un PLC con opción Sink y Source.

En la Fig. 3-8 también se observa a los diodos conectados en paralelo inverso del circuito opto-acoplado aceptando ambas señales negativas y positivas; si el PLC sólo acepta señales positivas, significa que la electrónica interna únicamente cuenta con los diodos D1, D2, hasta el Dn; si sólo acepta señales negativas, sólo cuenta con los diodos D12, D21, hasta el Dn1. Existen controladores en el que se pueden configurar las entradas para aceptar señal positiva o negativa, dependiendo del sistema que se va a utilizar.

El voltaje de alimentación de las entradas de VCD por lo regular es de 24 VCD, lo cual está dentro del nivel de voltaje que manejan la mayoría de los dispositivos que funcionan como entradas al controlador.

Módulos de entrada positiva de VCD (sink)

Estos módulos tienen dos características, una de ellas es que solamente aceptan señales positivas de la fuente de voltaje, por lo tanto el común del módulo de entradas va conectado al negativo de la fuente de corriente directa. Si se requiere conectar un dispositivo que interrumpa el negativo, se tendría que utilizar un relevador como conversor de señal.

El módulo de entradas es SINK, por lo tanto los dispositivos de entrada deben de ser SOURCE. La Fig. 3-9 muestra el módulo de entradas de la CPU 221.

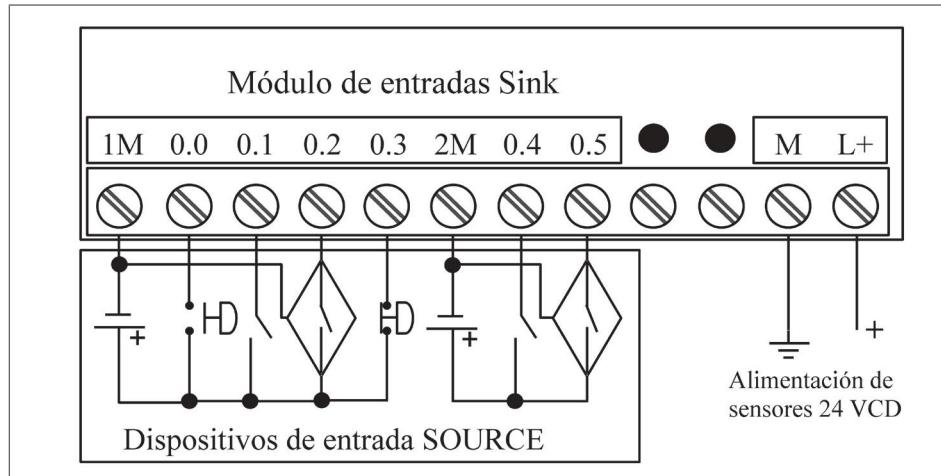


Fig.3-9. Módulo de entrada SINK y dispositivos de entrada SOURCE.

El sentido de la corriente proveniente de una fuente de corriente directa, va del negativo al positivo. Al interrumpir el positivo mediante los dispositivos de entrada, el flujo de corriente es hacia el módulo de entradas del controlador, razón por la cual se llama SINK o drenado de corriente. La Fig. 3-10 muestra dos sensores que interrumpen el positivo de la fuente para los dispositivos localizados en las entradas I0.0, I0.1, I0.3 e I0.4; es irrelevante para la señal que están interrumpiendo ya que no cuentan con polaridad.

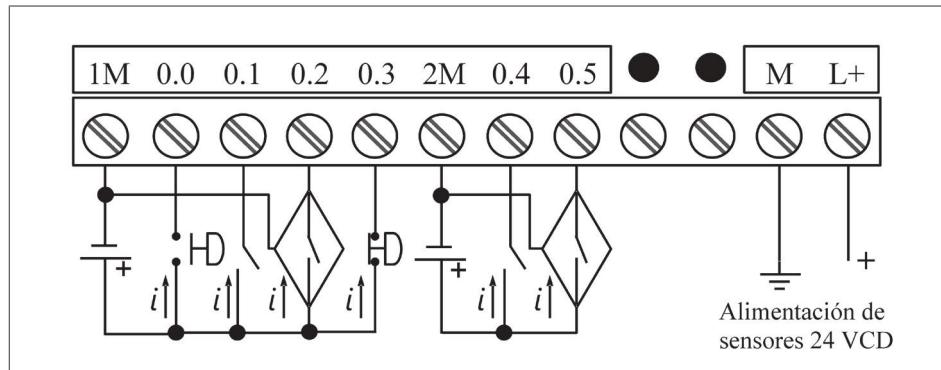


Fig. 3-10. Dirección de la corriente en un módulo SINK-SOURCE.

Módulos de entrada de VCD tipo SOURCE

Estos módulos reciben señales negativas provenientes de fuentes de voltaje pasando a través de dispositivos que puedan manejar este tipo de señal. Para realizar una conexión entre el PLC y los dispositivos de entradas se debe de dar la

configuración correspondiente, donde el módulo de entradas debe ser SOURCE y los dispositivos de entrada deben ser SINK. La Fig. 3-11 muestra el módulo de entradas de la CPU 221 configurado como SOURCE.

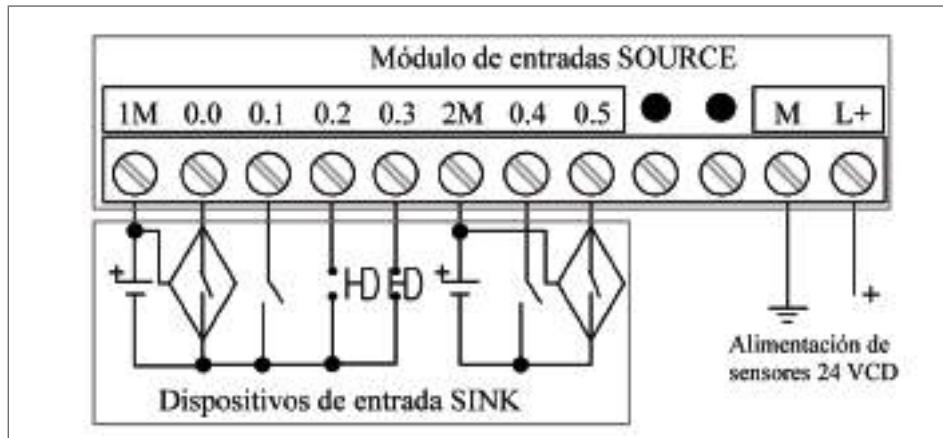


Fig. 3-11. Módulo de PLC configurado como SOURCE y dispositivos SINK.

El flujo de corriente en esta configuración es del módulo de entradas del PLC hacia los dispositivos de entrada, razón por la cual se le conoce como SOURCE a las entradas del PLC o fuente, y a los dispositivos de entrada se les llama dispositivos SINK por drenar la corriente. La Fig. 3-12 muestra cómo fluye la corriente entre el módulo de entradas del PLC y los dispositivos de entradas.

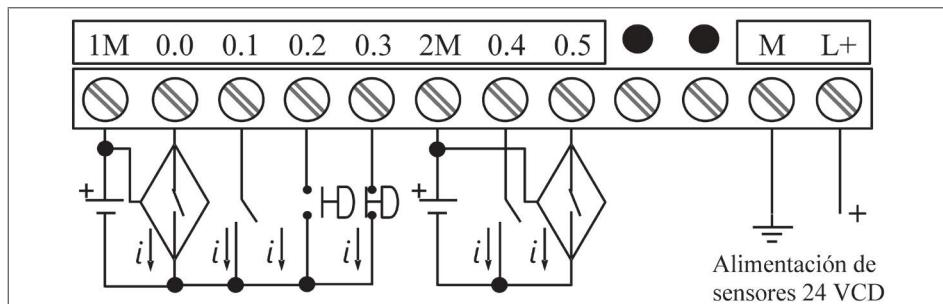


Fig. 3-12. Dirección de la corriente en una configuración SOURCE-SINK.

Módulos de entrada de VCA

La construcción de los módulos de entrada de voltaje de corriente alterna, se basa en un puente rectificador de onda completa y un circuito acoplado en forma óptica; el nivel de voltaje normalmente es de 115 y puede ser de corriente directa (VCD) o de corriente alterna (VCA), la aplicación del voltaje de corriente alterna es más común dentro de las dos aplicaciones mencionadas. Su aplicación se reduce ya que se limita a

circuitos en que el voltaje de control está dentro de estos niveles. La Fig. 3-13 muestra la configuración interna de un PLC con entradas de corriente alterna.

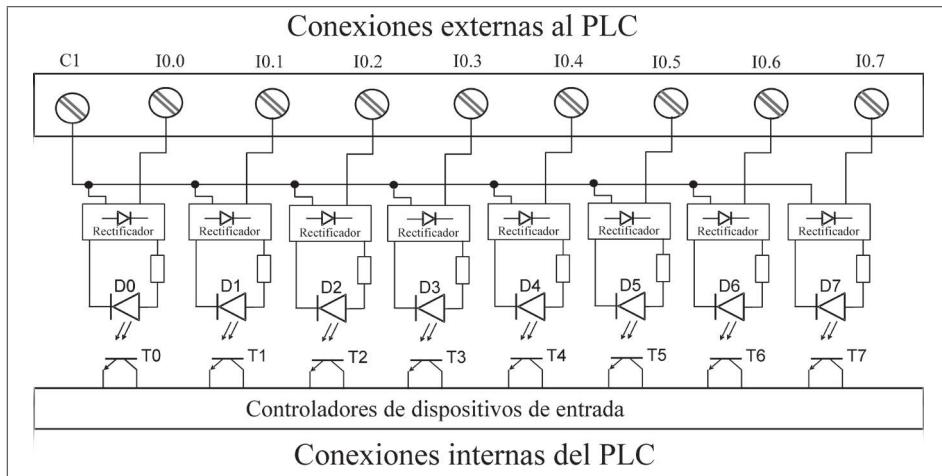


Fig. 3-13 Estructura interna de un PLC con entradas de VCA.

3.4 Módulo de salidas discretas

La función principal de este módulo es mandar señales al exterior; convierte los valores lógicos “1” en circuito cerrado y “0” en circuito abierto. Los niveles de corriente que manejan estos módulos de salida son del orden de los miliamperes (mA); en otros son del orden de amperes (A) teniendo como máximo 2 A.

Los módulos de salida pueden ser de voltaje de corriente directa (VCD), voltaje de corriente alterna (VCA) y módulos con salida de relevador. Cada uno de ellos tienen sus ventajas y desventajas y sus límites de aplicación, lo cual va a depender del tipo de dispositivos que maneje el sistema y de los niveles de voltaje aplicados a los dispositivos conectados a las salidas del PLC.

El número de entradas y salidas va desde seis en los PLC “compactos”, hasta varios miles en PLC modulares.

Módulo de salida de VCD

Este tipo de módulos tiene limitada sus aplicaciones a controles con voltaje de corriente directa; el voltaje normalmente es de 24 VCD. Como dispositivo de salida tiene un transistor tipo MOSFET, con el cual se disminuye el riesgo de daño al no tener partes en movimiento como el módulo que tiene un relevador como dispositivo de salida.

Una de las ventajas de este tipo de salidas es que tienen buena respuesta a altas frecuencias. La Fig. 3-14 muestra una sección de un módulo de un PLC CPU 221 con salidas de VCD.

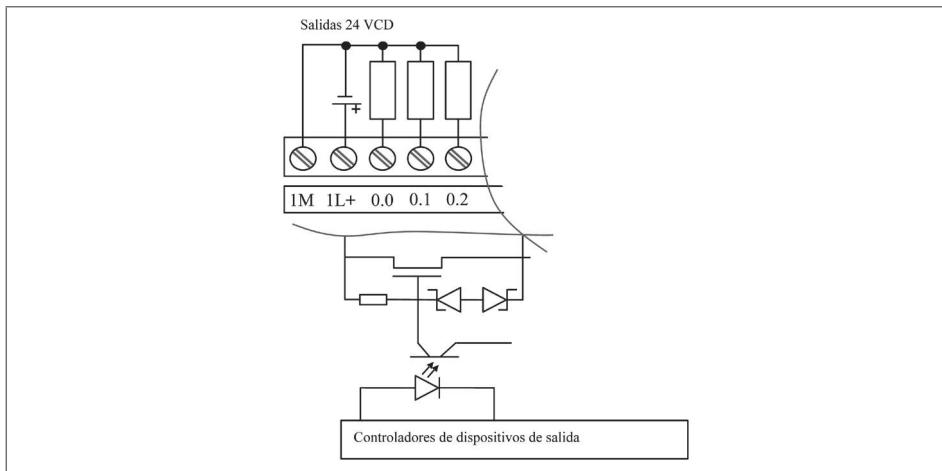


Fig. 3-14. Sección de un módulo de un PLC CPU 221 con salidas de VCD.

Módulo de salida de VCA

El campo de aplicación de este tipo de módulo está limitado a controles que tienen niveles de voltaje de corriente alterna en el voltaje de control. Como dispositivo de salida maneja un dispositivo electrónico llamado triodo de CA o TRIAC por sus siglas en inglés; en los sistemas en que se aplique este módulo debe de manejar sólo dispositivos de salida de VCA; pueden ser tanto inductivas como resistivas. Véase la Fig. 3-15.

A este tipo de módulos no se le debe suministrar niveles de voltaje de corriente directa ya que provocarían un mal funcionamiento del controlador.

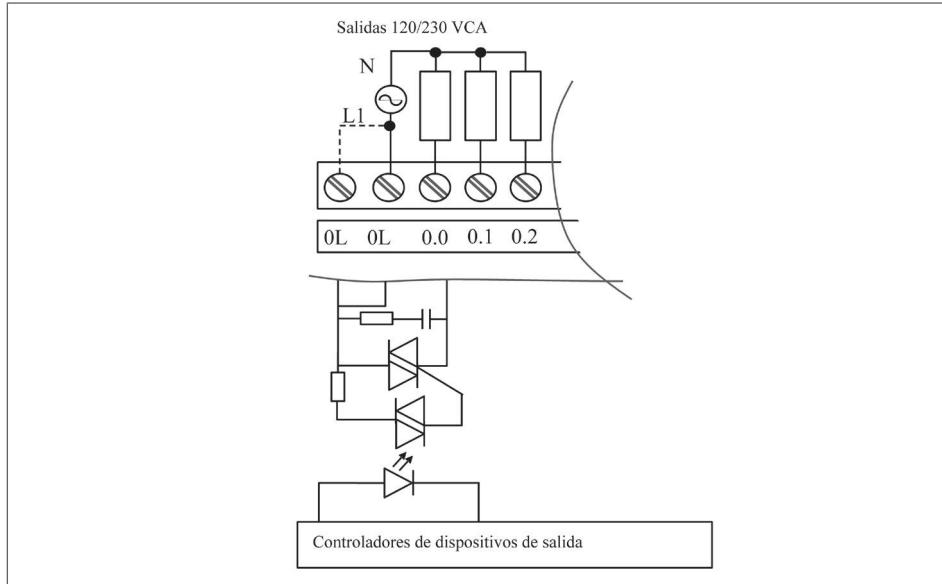


Fig. 3-15. Módulo de salida de VCA.

Módulo de salida tipo relevador

Es uno de los módulos más utilizados en los autómatas programables debido a su versatilidad en el manejo tanto voltajes de corriente directa como de corriente alterna. Como dispositivo de salida tiene un pequeño relevador del que se obtiene un interruptor seco, el cual es un contacto que no da voltaje con el solo hecho de cerrar el contacto, sino que hay que aplicarle en uno de sus bornes una de las líneas del voltaje a aplicar a la carga; con este módulo se puede tener un sistema con cargas mixtas en voltaje. Véase la Fig. 3-16.

Se debe tener cuidado al seleccionar la carga que se va a conectar a estos módulos, ya que si se sobrepasa el nivel de corriente puede tener problemas de desgaste prematuro el relevador de salida. Este tipo de salidas no soporta activaciones a altas velocidades.

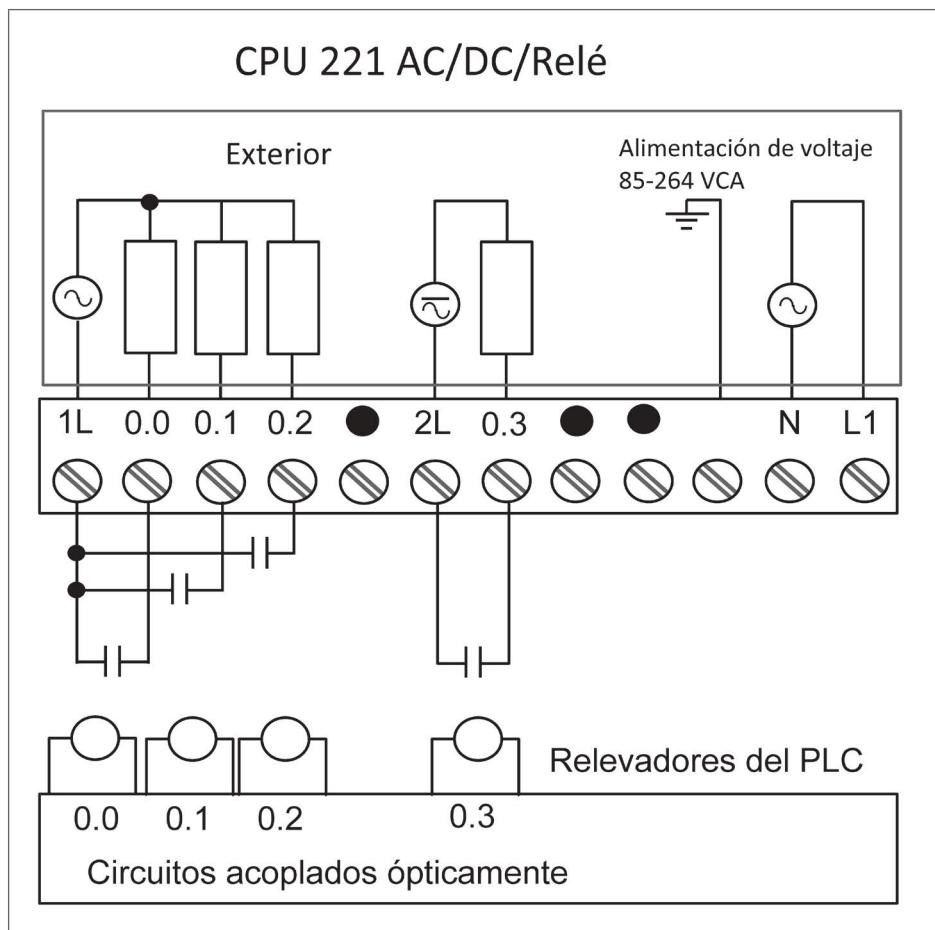


Fig. 3-16. Módulo de salida tipo relevador

Es común en este tipo de módulos que se dañen los contactos de los relevadores ya sea por tiempo de funcionamiento o por sobrecarga eléctrica, la cual puede ser generada por un corto circuito.

3.5 Comunicaciones con el PLC

El PLC debe disponer de alguna forma de programación mediante un puerto de comunicaciones por el cual se puede conectar al mundo exterior mediante cualquiera de los dispositivos que se exponen a continuación.

Unidad de programación manual

Suele llamarse también programador manual y se parece físicamente a una calculadora (Fig. 3-17). Es la forma más simple de programar el autómata y se suele reservar para pequeñas modificaciones del programa o para la lectura de datos en el lugar de colocación del autómata. Su desventaja es que se programa mediante instrucciones; suelen ser de máximo cuatro renglones los más avanzados.

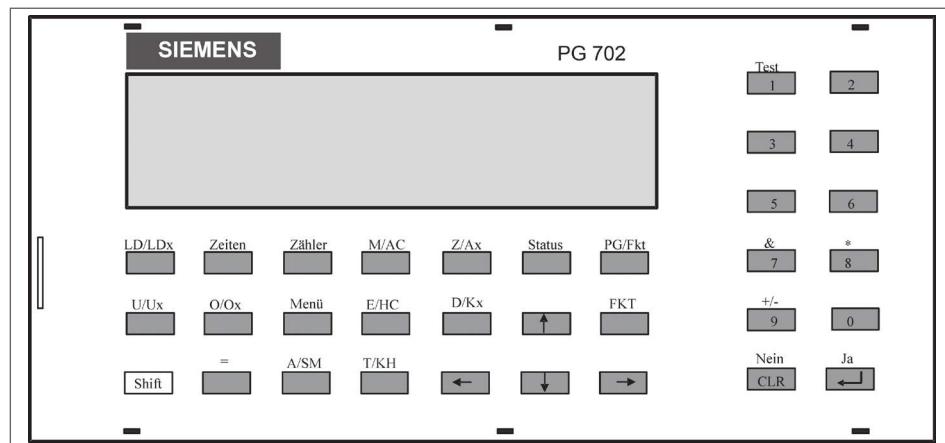


Fig.3-17. Unidad de programación manual

Interfase de programación y computadora personal

Es el modo más común de programar un PLC en la actualidad. El grupo de dispositivos está compuesto por una computadora personal, interfase electrónica y el programa, ambos de la misma marca del PLC. El avance tecnológico ha provocado que los costos de las computadoras personales sean accesibles, por lo tanto la computadora se ha convertido en la que más se utiliza para programar el PLC. Mediante el programa y la computadora personal se le graban previamente las instrucciones o funciones que va a ejecutar el PLC. En algunas marcas este puerto funciona también como puerto de comunicación para dispositivos periféricos.

La ventaja de utilizar la computadora consiste en que es más versátil, ya que se pueden ver más de un renglón o instrucción, es posible visualizar cualquier sección

del programa rápidamente y se puede imprimir en forma sencilla sin requerir ningún dispositivo adicional.

La comunicación entre un PLC y una computadora personal se realiza mediante formatos o protocolos de comunicación ya establecidos, los cuales no son más que un lenguaje que interpreta el programa realizado con la computadora y hace la conversión correcta para que sea grabado en el PLC; para esto se requiere de un cable de comunicaciones. En otros PLC se requiere también de una interfase que ayude a transmitir los datos en forma digital en la comunicación entre el PLC y la computadora. Las interfaces están compuestas de dispositivos electrónicos; si se utiliza cable de comunicación serial, éste sólo requiere tener bien configurada la ubicación de cada uno de los cables entre los conectores. Véase la Fig. 3-18.

Los protocolos más utilizados en la comunicación son el RS232 y el RS422; el prefijo "RS", del inglés *recommended standard*, indica norma recomendada.

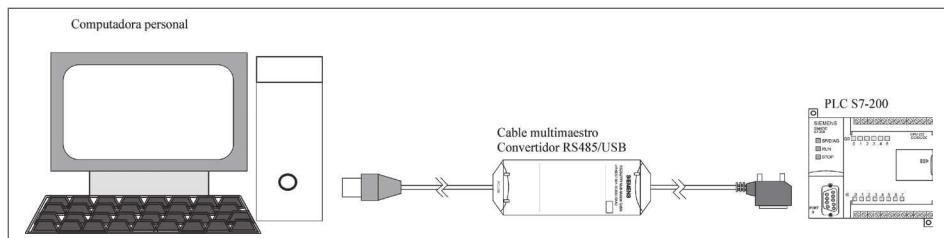


Fig.3-18. Interfase de programación y computadora personal

Cable de interfase

Este cable se usa para el PLC S7-200 de Siemens; el conector RS-232 se conecta a la computadora y el RS-485 al PLC. El módulo intermedio es un dispositivo electrónico que realiza la conversión de los protocolos de comunicación. Véase la Fig. 3-18.

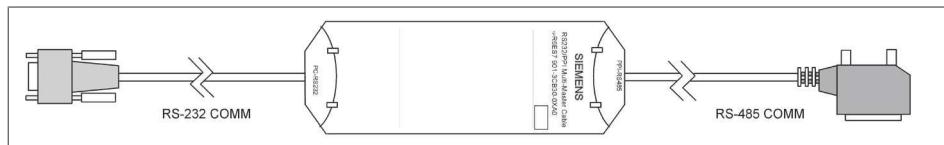


Fig. 3-19. Cable de interfase de programación para el PLC S7-200 de Siemens.

El conversor de protocolos tiene dispositivos indicadores que indican el estado de la comunicación.

Actualmente las computadoras es común que cuenten con puertos USB en lugar de puertos de conexión del tipo DB-9; para esto dicho cable de interfase tiene la presentación de USB por el lado del puerto RS-232. Véase la Fig. 3-20.

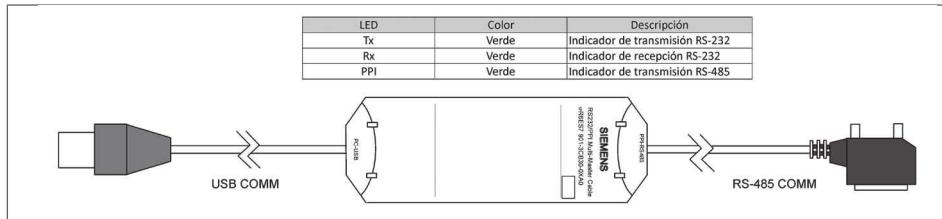


Fig. 3-20. Cable de interfase de programación USB – RS-485.

3.6 Tipos de programación

Podría decirse que el flujo de información en el PLC es a partir de las entradas, donde se colecta la información, posteriormente pasa al CPU en donde es procesada, lo que causa una actualización de parámetros y funciones, y de acuerdo con las instrucciones que se le hayan programado al controlador va a ocasionar una actualización de los dispositivos de salida.

Para poder programar un PLC desde una computadora personal se requiere tener el programa o software del PLC, el cual no es genérico y cada marca tiene su propio software. El programa es el conjunto de instrucciones cargadas previamente en el controlador y con las cuales el PLC va a tomar decisiones.

La programación de los controladores puede realizarse mediante varios formatos o tipos de programación como la programación por instrucciones, funciones lógicas y lógica de contactos; cualquiera de estas técnicas que se utilice soluciona los problemas de automatización.

El tiempo que tarda el controlador en captar el estado de las entradas, ejecutar las operaciones dadas en el programa y actualizar el estado de las salidas se le llama tiempo de SCAN.

3.6.1 Programación con instrucciones

Este tipo de programación es en formato de texto. Una de las ventajas de esta técnica es que puede ser programada con el programador manual llamado hand held en inglés, y también con la computadora. En los inicios del controlador sólo existían los programadores manuales y esta técnica era la que predominaba, sin embargo ya no es común por lo complicado que es realizar programas complejos. Esta técnica también puede usarse con el software del PLC y por lo regular se recurre a este tipo

de programación cuando no se cuenta con el programa del PLC y se tiene el programador manual. Véase la Fig. 3-21.

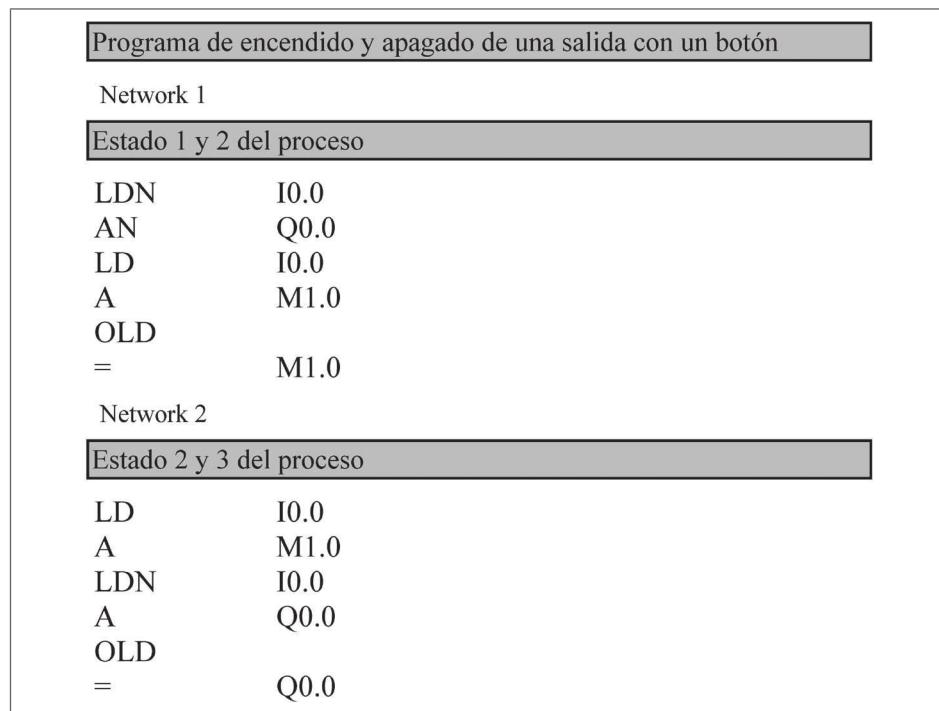


Fig. 3-21. Programa de un PLC estructurado mediante instrucciones.

3.6.2 Programación con funciones lógicas

Esta técnica se aplica en pequeños PLC. El programa se basa en los operadores AND, OR, NOT, EXOR y EXNOR, y en tablas de funciones lógicas ya preestablecidas (Fig. 3-22). El tipo de problemas que se pueden resolver con esta técnica son desde el nivel básico hasta el nivel medio. En la solución de sistemas automáticos con este tipo de programación se pueden utilizar todas las técnicas empleadas en la solución de sistemas digitales.

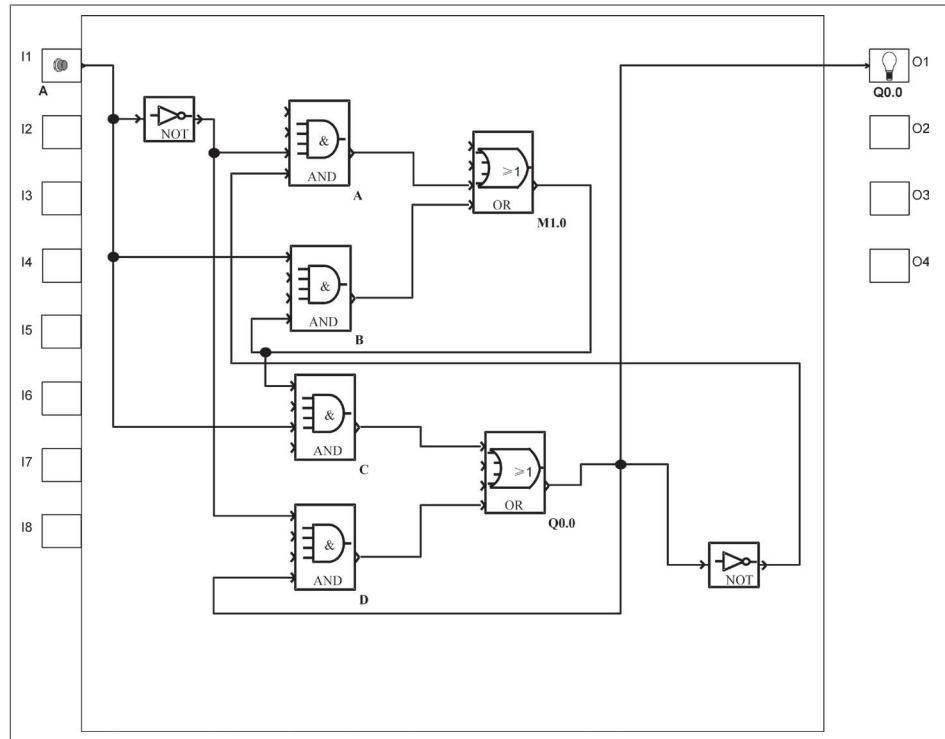


Fig. 3-22. Programa de un PLC estructurado mediante funciones lógicas

3.6.3 Programación con lógica de contactos

También llamada programación mediante diagrama escalera, es la técnica más recurrida en la solución de problemas de programación. La mayoría de los PLC se pueden programar con esta técnica, y es posible resolver desde problemas sencillos hasta muy complejos.

La técnica consiste en utilizar memorias internas o relevadores internos, contactos de memorias internas o de variables de salida, dispositivos de entrada y salida. El término escalera se debe a que se trazan dos líneas verticales paralelas y en medio de ellas se encuentran ubicados los “escalones”, los cuales contienen contactos y bobinas; del lado izquierdo se ubican los contactos y del lado derecho se ubican las bobinas, lo que da una apariencia de escalera. El arreglo de los contactos es en serie, paralelo o la combinación de ambos. Véase la Fig. 3-23.

En esta técnica de programación una entrada cableada se representa por un símbolo llamado contacto, el cual puede ser normalmente cerrado NC o normalmente abierto NA. Un contacto normalmente abierto permite que la corriente circule cuando

está cerrado, y un contacto normalmente cerrado permite que circule la corriente cuando el contacto físico está abierto.

Una salida cableada se representa con un símbolo llamado bobina. Cuando la bobina recibe voltaje, la salida se activa.

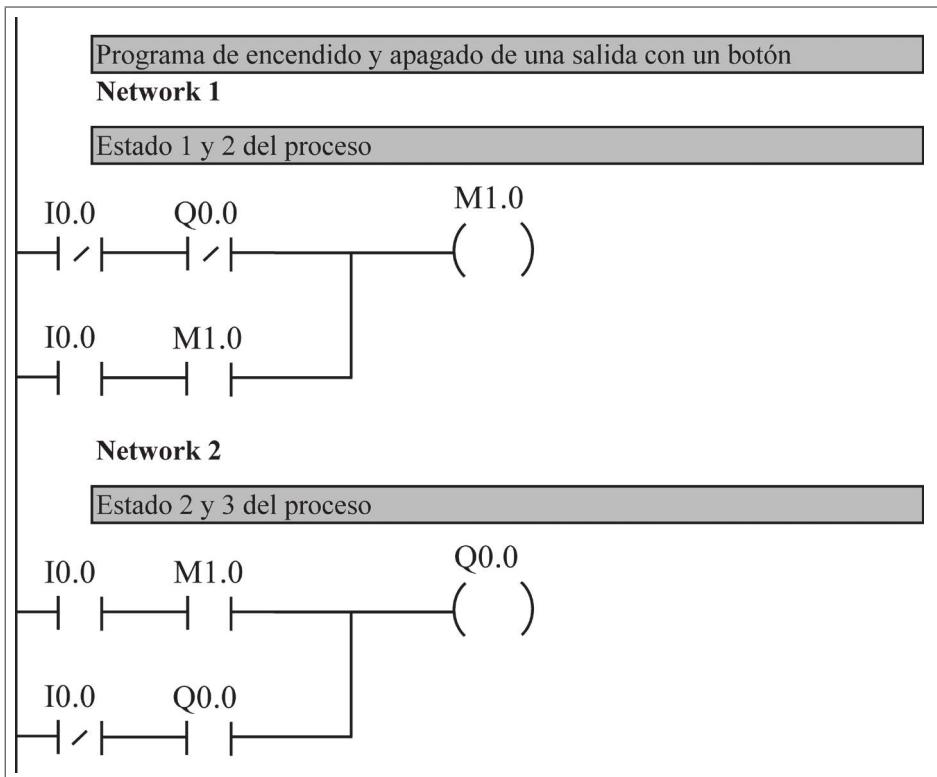


Fig. 3-23. Programa de un PLC estructurado mediante diagrama escalera.

3.7 Selección del PLC

La selección del PLC se convierte en la tarea más importante al realizar un nuevo proyecto de automatización y la decisión que se tome va a repercutir en futuras acciones, desde el mantener en buenas condiciones de operación al equipo o proceso automatizado, hasta el crecimiento del equipo o agregarle nuevas funciones.

al mismo equipo o proceso. Se sugieren los siguientes pasos para realizar en forma metódica una selección del PLC.

Paso 1. Seleccionar la marca del PLC; para esto se sugiere seleccionar marcas de prestigio que se comercialicen en el lugar donde se encuentre el proceso o la máquina que se va a automatizar. También se debe considerar que la tecnología de dicha marca sea la más reciente y actualizada, y que el PLC tenga la posibilidad de poder crecer sin que esto signifique demasiada inversión. En algunas ocasiones es conveniente preguntarle al cliente si tiene preferencia en alguna marca específica, ya que esto contribuye a que el cliente se sienta como parte del proyecto.

Paso 2. Una vez que se ha identificado las salidas, se sigue ahora con la identificación técnica de las entradas; se sugiere la siguiente tabla de datos (Tabla 3-2).

Entradas		
Cantidad		
Voltaje	VCA	
	VCD	
Tipo de Entrada	Sink(-)	
	Source(+)	
Analógica/Discreta		
Amperaje		

Tabla 3-2 Características técnicas de las entradas

Paso 3. Se definen las características técnicas de las salidas para condensar toda la información técnica; se sugiere la siguiente tabla de datos (Tabla 3-3).

Salidas		
Cantidad		
Voltaje	VCA	
	VCD	
Tipo de Salida	Inductivo	
	Resistivo	
Analógica/Discreta		
Amperaje		

Tabla 3-3 Características técnicas de las salidas.

Cuando se selecciona la cantidad de entradas y salidas se deben de agregar por lo menos dos entradas y dos salidas de refacción, como una medida a futuro en caso de que se llegara a dañar cualquiera de los dos dispositivos, pues sólo se reprogramaría y se cambiaría la conexión física del nuevo dispositivo.

Paso 4. Una vez identificadas las entradas y salidas se selecciona una familia de la marca elegida y de ésta se selecciona un PLC que cumpla con las necesidades del proyecto.

Ejemplo 3-1

Se va a automatizar una máquina para usarla en una línea de ensamble. El sistema tiene seis entradas de 24 VCD: dos son interruptores de límite, dos son botones pulsadores normalmente abiertos y dos son sensores, de los cuales uno es SINK y el otro es SOURCE. Tiene cuatro salidas: dos cargas inductivas de 24 VCD y las otras dos resistivas de 110VCA. Encontrar una marca de PLC y seleccionar una familia de la marca que seleccionó. Elíjase un PLC explicando las razones de dicha elección.

Solución

Primero se selecciona la marca del PLC, que en este caso es SIEMENS. A continuación se procede a la elección de una familia para el proyecto. Dado que el número de entradas son seis y cuatro salidas, se selecciona un PLC compacto; la familia que se elige es S7-200.

Entradas

Las entradas se pueden dividir en tres SINK y tres SOURCE, lo cual se facilita debido a que los interruptores y botones pulsadores son inherentes a la polaridad.

Se utiliza la tabla de entradas (Tabla 3-4) para definir el amperaje y verificar si se puede usar la fuente externa propia del controlador.

Entradas		
Cantidad		6
Voltaje	VCA	N/A
	VCD	24
Tipo de Entrada	Sink(-)	3
	Source(+)	3
Analógica/Discreta	Discreta	
Amperaje	$(4 \times 2.5\text{mA}) + (2 \times 75.0\text{mA}) = 160\text{mA}$	

Tabla 3-4. Entradas para definir el amperaje.

Salida

Se utiliza la tabla de salidas para el análisis (Tabla 3-5).

Salidas		
Cantidad		2
Voltaje	VCA	N/A
	VCD	2
Tipo de Salida	Inductivo	2
	Resistivo	N/A
Analógica/Discreta	Discreta	
Amperaje	$2 \times 150\text{mA} = 300\text{mA}$	

Salidas		
Cantidad		2
Voltaje	VCA	2
	VCD	N/A
Tipo de Salida	Inductivo	N/A
	Resistivo	2
Analógica/Discreta	Discreta	
Amperaje	$2 \times 50\text{mA} = 100\text{mA}$	

Tabla 3-5. Salidas para el análisis.

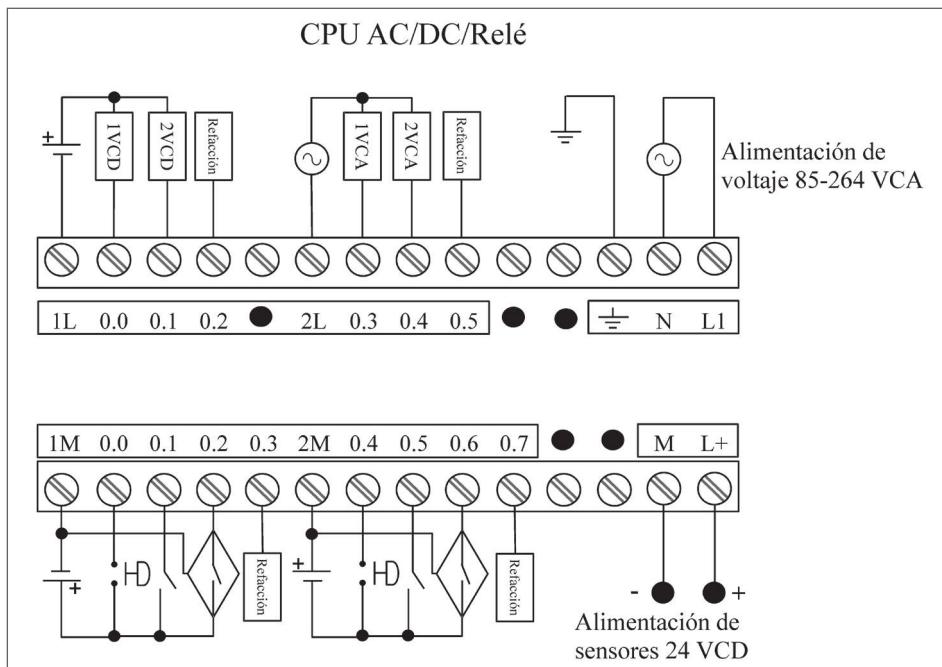
La corriente de la fuente de voltaje de 24VCD se considera la suma del consumo de las entradas y salidas del sistema, por lo que con una fuente de 24VCD @ 1A es suficiente.

Selección del PLC

De la familia S7-200 se selecciona el siguiente PLC que cumple con el número de entradas y salidas:

- CPU 222 AC/DC/relevador con ocho entradas, seis salidas (6ES7 212-1BB23-0XB0)

Con la elección de este CPU se tienen: dos entradas y dos salidas para futuros usos, ya sea como refacción o para crecimiento del equipo que se va a automatizar, una salida de VCA y una de VCD. De las entradas se dejan como refacción 1 Sink y 1 Source; la distribución de las entradas y salidas del CPU se muestra en la Fig. 3-24.



El CPU 221 cumple con los mínimos requerimientos de seis entradas y cuatro salidas. Únicamente existe el problema de la distribución de las entradas y salidas; las entradas se dividen en dos grupos: cuatro y dos, y las salidas se dividen en grupos de tres y uno, por lo que se complica la solución con este CPU.

3.8 Preguntas de estudio

01. Defina qué significan en español las siglas PLC.
02. ¿Cuál es la función de un PLC en un sistema automatizado?
03. Defina qué es un PLC.
04. Mencione algunas ventajas de utilizar el PLC en un sistema automatizado.
05. ¿Qué es un programador manual?
06. ¿Qué tipo de señal de la fuente de VCD se le aplica a una entrada Sink de un PLC?
07. ¿Qué sentido tiene la corriente en una entrada Sink de un PLC?
08. ¿Qué tipo de señal de la fuente de VCD se le aplica a una entrada Source de un PLC?
09. ¿Qué sentido debe de tener la corriente que es conectada a una entrada Source de un PLC?
10. ¿Qué tipo de fuente de voltaje se conecta a una salida tipo relevador?
11. ¿Qué tipo de fuente de voltaje se conecta cuando se utiliza una salida tipo transistor?
12. ¿Qué tipo de fuente de voltaje se conecta a una salida tipo TRIAC?
13. Además de la computadora, ¿qué otros dispositivos se requieren para programar un PLC desde una computadora?
14. ¿Qué tipo de formato se utiliza en la programación por instrucciones?
Mencione una ventaja de este tipo de programación.
15. ¿En qué consiste la programación de las funciones lógicas?
16. ¿Qué dispositivos componen un escalón en la programación de lógica de contactos?
17. ¿Cuál es la función de una interfase de comunicación?
18. ¿Qué dispositivos pueden ser utilizados como entradas en un sistema basado en PLC?
19. ¿Qué significa el término contacto seco?
20. ¿Qué es el tiempo de SCAN?
21. ¿Cuáles son las funciones que se encarga de realizar el CPU de un PLC?

CAP TULO 4

Sistemas autom ticos basados en funciones l gicas

4.1 Introducci n

La programación basada en funciones lógicas es uno de los tipos de programación de un PLC. Con este tipo de programación se puede resolver sistemas del tipo combinacional y secuencial. Además, la aplicación de este tipo de programación reducida es muy didáctica y se instrumenta como una introducción a la programación de lógica escalera. En este capítulo se va a solucionar problemas del tipo combinacional y secuencial mediante esta programación basada en funciones lógicas.

Los pasos a seguir para resolver un sistema con base en este tipo de programación son los siguientes:

- Obtener la tabla de estados o la tabla de verdad, lo cual depende de si la secuencia propuesta es secuencial o combinacional, respectivamente.
- Obtener las ecuaciones de las tablas que representan la lógica del sistema.
- Representar las ecuaciones en un diagrama con operadores lógicos.
- Transferir el programa a un PLC que acepte este tipo de programación.
- Poner en marcha el sistema con base en PLC.

Existen varias marcas de PLC que se pueden programar con esta técnica, siendo una de ellas Crouzet™. El presente capítulo se va apoyar en el uso del software de este micro-PLC, con el propósito de explicar de manera práctica los ejemplos que se analicen. El software se llama Crouzet Software Millenium II y permite la programación del controlador, simulación, monitoreo y supervisión. De esta forma se puede realizar un programa desde la computadora y realizar simulaciones fuera de línea,

lo cual facilita comprobar que el resultado realmente cumple con los requerimientos previstos, y en caso contrario permite realizar los ajustes necesarios para obtener el resultado requerido, sin la necesidad de realizar la implementación física. El micro PLC de Crouzet se muestra en la Fig. 4-1 y se agrega la descripción de los modelos SA12 y SA20 (Tabla 4-1), que son de los modelos más pequeños de esta marca.

MODELO	ENTRADAS	SALIDAS	FUENTE
SA12	8	4 Relevadores	24 VCD
	8	4 Relevadores	100-240 VCA
	8	4 Relevadores	24 VCA
	8	4 Estáticas	24 VCD
SA20	12	8 Relevadores	24 VCD
	12	8 Relevadores	100-240 VCA
	12	8 Relevadores	24 VCA
	12	8 Estáticas	24 VCD

Tabla 4-1. Descripción de los modelos SA12 y SA20.

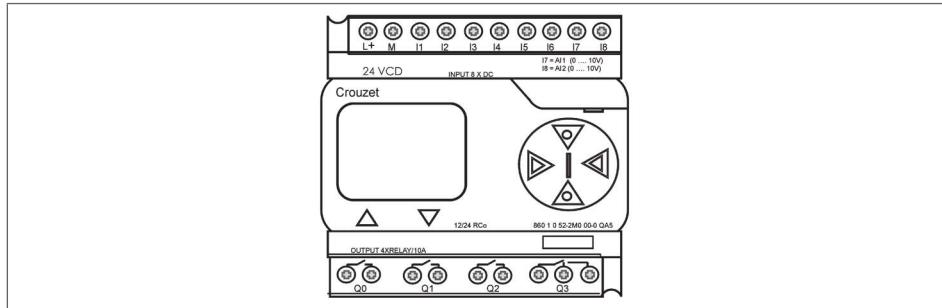


Fig. 4-1. PLC Crouzet.

La solución de circuitos de control con este tipo de programación se facilita por los valores que toman las variables de entrada y los valores de las variables de salida, que son del tipo discreto; a estos valores también se les denomina niveles lógicos. Una variable discreta es una cantidad que puede, en diferentes ocasiones, tener el valor de “0” o “1”.

Niveles lógicos

Los niveles lógicos de un sistema discreto están dados por los valores “0” y “1”, los cuales en realidad no representan números, sino que en su lugar representan el estado de una variable conocido como el *nivel lógico*. En la Tabla 4-2 se presentan algunos de los niveles lógicos que más se usan.

(0)Lógico	(1)Lógico
Desactivado	Activado
Interruptor abierto	Interruptor cerrado
Ausencia de Objeto	Presencia de objeto

Tabla 4-2. Algunos niveles lógicos.

4.2 Introducción a las funciones lógicas

Las funciones lógicas, también llamadas compuertas lógicas, se usan para resolver operaciones lógicas del tipo discreto. Son tres las funciones principales: la primera es la condición, a la que también se denomina “AND” en inglés, y en español “Y”; la segunda es la adición, llamada “OR” y “O” en español. De estas funciones se pueden obtener los complementos aplicándoles una negación a la salida de la función para tener como resultado la función “NAND” y “NOR”, respectivamente. La tercera es la negación “NOT” en inglés y “NO” en español, con la cual es posible generar los complementos de cualquier función o variable. Existen dos funciones más que son el resultado de mezclar las tres funciones básicas: “EXOR” y “EXNOR”. Cada una de las funciones tiene su símbolo lógico y una tabla de verdad.

Tablas de verdad

La tabla de verdad es la representación numérica de la combinación de los valores lógicos de todas las variables de entrada, lo que da por resultado una función o variable de salida, donde los valores lógicos son cero y uno y se representan en la línea vertical.

Las funciones lógicas tienen más de una entrada y sólo una salida. La tabla de verdad muestra la manera en que el circuito va a responder a las diferentes combinaciones de niveles lógicos que se vayan a presentar; es necesario considerar todas las combinaciones posibles.

Entradas		Salida	Entradas			Salida
A	B	F(AB)	A	B	C	F(ABC)
0	0	?	0	0	0	?
0	1	?	0	0	1	?
1	0	?	0	1	0	?
1	1	?	0	1	1	?
			1	0	0	?
			1	0	1	?
			1	1	0	?
			1	1	1	?

Tabla 4-3

La respuesta en ambas tablas no está definida ya que depende de la respuesta de las funciones, razón por la cual tienen el signo de interrogación como respuesta.

Las señales de entrada provienen de dispositivos discretos, los cuales pueden ser interruptores, sensores o cualquier dispositivo capaz de generar la señal discreta, lo que produce señales de salida del tipo discreto la cual va acorde a la función o funciones lógicas que se esté aplicando.



Fig. 4-2. Señales de entrada provenientes de dispositivos discretos.

4.2.1 Función lógica AND (Y)

A y B son dos variables lógicas independientes. Cuando A y B se aplican a la multiplicación AND, el resultado F de AB, F (AB), se puede expresar de la siguiente manera:

$$F(AB) = A \cdot B$$

En esta expresión el signo (\cdot) representa la operación booleana de la multiplicación AND; las reglas de este operador se representan en una tabla de verdad. Al observar la tabla se advierte que la multiplicación AND es igual a la multiplicación ordinaria (Fig. 4-3).

A	B	F(AB)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Diagrama de un circuito lógico AND. Se muestra una puerta AND con dos entradas (A y B) y una salida (F(AB)=A · B).

Fig. 4-3.

Siempre que A o B sean cero, su producto es cero. Cuando A y B son 1, el resultado de la multiplicación es 1. Se puede definir que en la operación AND el resultado será 1 siempre y cuando todas sus entradas sean 1, de otra manera será cero.

La expresión $F=A \cdot B$ se lee F es igual a A y B; el símbolo de multiplicación se omite por lo general como en el álgebra ordinaria, de modo que la expresión se transforma en $F=AB$. Debe recordarse que la operación AND es igual a la multiplicación ordinaria.

El operador lógico AND se programa directamente en el PLC Crouzet™; el símbolo es el siguiente: tiene cuatro variables discretas de entrada; si se utilizan las cuatro entradas se tienen 16 combinaciones posibles, sin embargo se pueden utilizar sólo las entradas requeridas.

A	B	C	D	F(ABCD)
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1

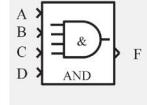


Tabla 4-4.

Las variables de entrada A, B, C y D en un PLC pueden ser sensores, interruptores, botones o cualesquier dispositivo que lleve una señal de voltaje a una entrada del controlador. La salida F puede ir directamente a una salida física o a una entrada de otra función lógica dentro del mismo programa.

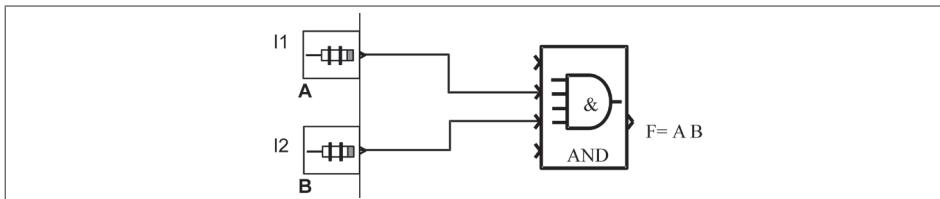


Fig. 4-4. Fuente de voltaje de un PLC.

En el diagrama de la Fig. 4-4 se observa que para que F sea verdadera se requiere que A y B se habiliten las dos a la vez, de otra manera F es negada o igual a cero.

4.2.2 Función lógica OR (0)

Este operador es la adición, si A y B representan dos variables lógicas independientes. Cuando se combinan ambas variables con la adición OR, el resultado es F (AB) y se expresa de la siguiente manera:

$$F(AB) = A + B$$

En esta ecuación el signo + no denota a la suma ordinaria, sino la adición OR; las reglas se dan en la siguiente tabla de verdad.

A	B	F(AB)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

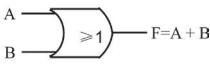


Fig. 4-5.

Al observar la tabla de verdad se advierte que la operación OR es la misma que la suma ordinaria, excepto donde $A=B=1$ la suma OR es 1 y no como en la adición ordinaria, que es 2. Esto resulta fácil sólo al recordar que el máximo valor que puede tomar una variable es 1. Este mismo resultado sería si se tiene $F(ABC) = A+B+C$, en caso en que $A=B=C=1$.

Por lo tanto, se deduce que en la adición OR el valor será 1 si uno o más valores de las entradas son igual a 1.

La expresión $F(AB) = A+B$ se puede leer como F de AB es igual a A más B , o como F de AB es igual a A OR B ; se pueden usar ambas expresiones. Lo más importante es que el signo de suma representa la adición OR, como lo define la tabla de verdad y no la suma ordinaria.

A	B	C	D	$F(ABCD)$
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

Tabla 4-5.

El operador lógico OR se programa directamente en el PLC Crouzet™. Tiene cuatro variables discretas de entrada; si se utilizan las cuatro entradas se tienen 16 combinaciones posibles, sin embargo se pueden utilizar sólo las entradas requeridas.

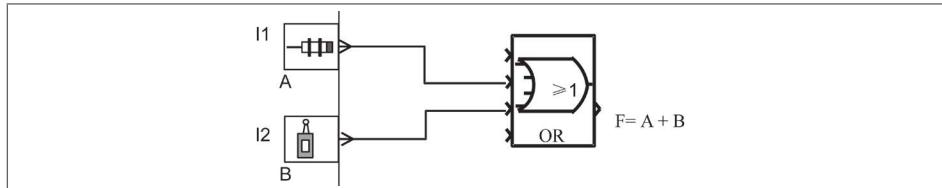


Fig. 4-6.

4.2.3 Función lógica NOT (NO)

Este operador se denomina la negación lógica. Puede efectuarse con una sola variable discreta de entrada, en lo cual difiere de las funciones AND y OR. También se le conoce como función complemento. Por ejemplo, si la variable A se somete a la operación NOT, el resultado es $F(A)$ y se puede expresar como:

$$F(A) = \bar{A}$$

donde: la barra sobrepuerta representa la operación NOT. Esta expresión se lee F de A es igual a NOT A, o bien F de A es igual al negado de A, o también F de A es igual al complemento de A. Cada una de estas expresiones se utiliza frecuentemente y todas denotan que el valor lógico de $F(A) = \bar{A}$, que es un valor lógico contrario al valor de A. La tabla de verdad aclara esto en los casos donde $A=0$ y $A=1$.

A	F(A)
0	1
1	0

$A \xrightarrow{\text{NOT}} F(A) = \bar{A}$

Fig. 4-7.

Esta operación se conoce asimismo como inversión o complementación y dichos términos se utilizarán como sinónimos en este libro; simplemente se usará la barra sobrepuerta en cada variable discreta para representar su complemento.

El operador lógico NOT se programa directamente en el PLC Crouzet™; el símbolo se muestra en la Fig. 4-8:

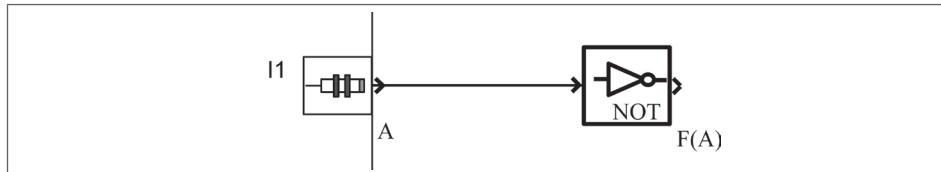


Fig. 4-8.

La negación al ser combinada con las funciones "AND" y "OR" se obtienen los complementos de ambas funciones, NAND y NOR.

4.3 Ecuaciones de sistemas combinacionales

La solución de los sistemas del tipo combinacional se realiza con el apoyo de la tabla de verdad del sistema, de la cual se obtiene a su vez la ecuación que va a representar a la variable discreta de salida. En esta ecuación sólo se consideran las combinaciones que tengan como resultado el valor lógico de "1". Una tabla de verdad puede tener más de una salida, lo cual depende de que el sistema tenga más de una salida.

Tabla de verdad de un sistema combinacional

La tabla de verdad de un sistema combinacional está compuesta por los valores lógicos de todas las variables de entrada del sistema; de estos valores se tiene como resultado los valores lógicos de las variables lógicas de salida. El número de variables puede ser desde una variable hasta las que sean necesarias.

La siguiente tabla muestra un sistema de tres variables lógicas de entrada y dos funciones o variables lógicas de salida.

A	B	C	F1(ABC)	F2(ABC)
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
1	0	0	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

Tabla 4-6.

Esta tabla de verdad tiene dos funciones de salida F1 y F2, cada una con valores diferentes, por lo que se debe de obtener una ecuación para cada salida y ser representada cada una de ellas en un programa para el PLC Crouzet.

De la tabla de verdad se obtienen la ecuación del sistema que va a describir a la variable de salida; dicha ecuación está compuesta por los términos en que se afirma la variable de salida.

4.3.1 Número de combinaciones del sistema

El número de posibles combinaciones de un sistema combinacional es igual a 2^n , donde n es el número de variables lógicas de entrada. Tomando como ejemplo la tabla de verdad anterior se tiene que el sistema cuenta con tres variables de entrada, cuyo resultado es:

$$2^n, \text{ donde } n = 3, \text{ entonces } 2^3 = 8 \text{ posibles combinaciones}$$

La tabla muestra las ocho posibles combinaciones y se observa que los valores de las funciones F1 y F2 son verdaderos sólo en algunas de las combinaciones. F1 es verdadera en las combinaciones 2, 3 y 8, y F2 es verdadera en las combinaciones 5, 6 y 8. En una tabla de verdad se pueden considerar todas las combinaciones posibles o sólo las combinaciones en que las funciones son afirmadas, lo que da por resultado las siguientes tablas de verdad.

A	B	C	F1(ABC)	A	B	C	F2(ABC)
0	0	1	1	1	0	0	1
0	1	0	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4-7

Después de tener la tabla de verdad, el siguiente paso es obtener las ecuaciones del sistema, donde el número de ecuaciones es igual al número de variables lógicas de salida.

Ecuaciones del sistema

Los sistemas automáticos discretos del tipo combinacional, se pueden representar con una o más ecuaciones o medianate una tabla de verdad. Las ecuaciones están compuestas por las tres funciones lógicas AND, OR y NOT. Siempre que se vea una función igual a un conjunto de funciones lógicas compuestas por variables lógicas de entrada, va a entenderse que son las condiciones que se requieren cumplir para que la variable o función de salida sea verdadera o tenga como respuesta el valor de "1" lógico. En seguida se muestran las dos ecuaciones de las funciones mostradas en las tablas de verdad; se observa que ambas ecuaciones tienen tres términos que están compuestos por las tres variables de entradas unidas con el operador AND. Una vez que se obtienen los tres términos, se suman con el operador OR para dar como resultado las ecuaciones que representan a las dos funciones de salida.

Ecuaciones 4-1

$$F_1(ABC) = \overline{ABC} + \overline{A}\overline{BC} + ABC$$

$$F_2(ABC) = \overline{AB}\overline{C} + \overline{ABC} + ABC$$

Una vez que se tiene las ecuaciones del sistema, es posible construir un programa con base en funciones lógicas mediante el software del PLC Crouzet y también obtenerse la simulación, lo que asegura el funcionamiento del resultado obtenido.

Al realizar el análisis de las ecuaciones, se concluye que se requieren tres funciones "AND" con tres entradas, tres funciones "NOT" y una función "OR" con tres entradas, esto para cada una de las funciones resueltas F1 y F2.

En la Fig. 4-9 se aprecia el diagrama de las funciones. El sistema tiene tres variables lógicas de entrada A, B y C. A partir de las variables se conectan las funciones lógicas para dar como resultado las dos funciones de salida. Nótese que las funciones negadas tienen la barra colocada en la parte superior de la variable fuente.

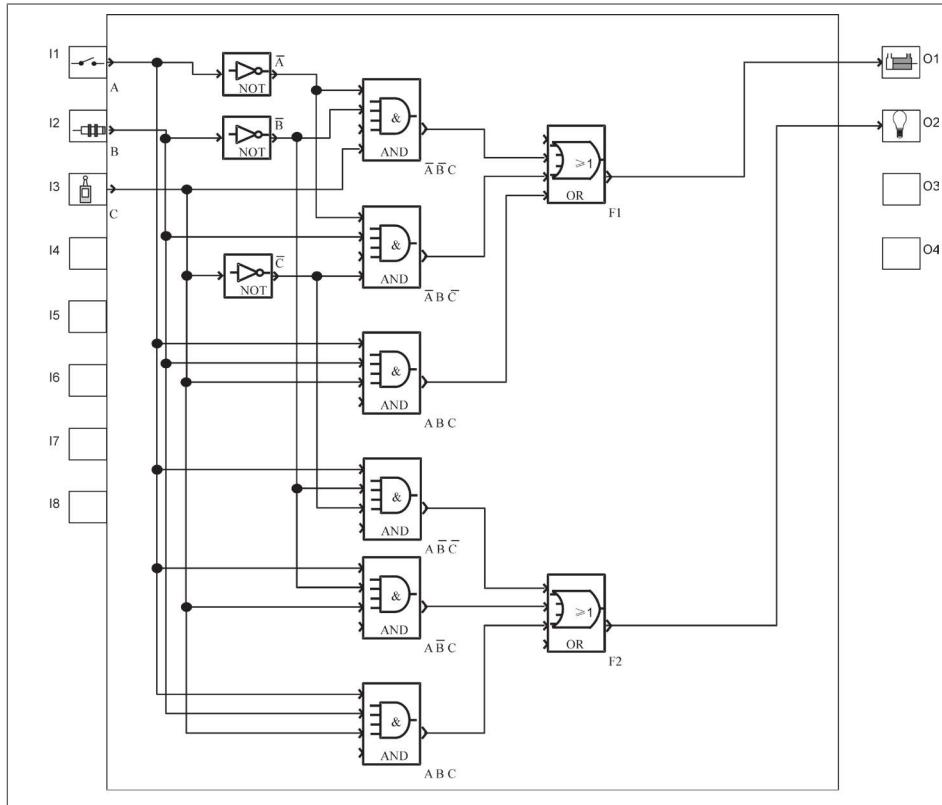


Fig. 4-9 Diagrama de las funciones.

Recordando que las variables de entrada son dispositivos del tipo discreto, en este caso se tiene a un interruptor cuya función es abierto o cerrado (A), la variable (B) es un sensor y su función es presencia o ausencia de objeto y la tercera variable es (C) un interruptor de límite y su función es abrir o cerrar un circuito.

4.3.2 Programa con el software del PLC Crouzet

Después de haber realizado el análisis del sistema, el paso siguiente es generar un programa que pueda ser simulado en el software del PLC Crouzet y realizar la simulación para comprobar el buen funcionamiento de todas las condiciones del sistema.

En la implementación del programa, las variables lógicas de entrada A, B y C pueden representarse mediante cualquier tipo de dispositivo que interrumpe un voltaje. En el presente estudio se representan por medio de interruptores. La función de salida se puede representar con cualquier dispositivo que requiera la aplicación de un voltaje; en este caso, las funciones F1 y F2 se representan con un cilindro y un foco, respectivamente. Para desarrollar el diagrama se selecciona en el software del Crouzet un nuevo programa y se elige una categoría de PLC, el **SA12**, y después se selecciona el tipo de controlador, el **SA12R24VDC**. Es posible escoger cualquier otro tipo de controlador e incluso si se tiene un PLC Crouzet, se debe de seleccionar la categoría y tipo de controlador para que el programa desarrollado pueda descargarse en el controlador.

Las variables lógicas de entrada únicamente se arrastran a la casilla donde físicamente se van a conectar. Lo mismo sucede con las variables lógicas de salida: se localizan en la casilla donde se va a conectar las variables lógicas de salida y las funciones lógicas se arrastran dentro del área de trabajo; las conexiones se realizan con sólo arrastrar de un punto a otro, siempre y cuando se trate de una salida a una entrada. Si son dos entradas o dos salidas no se puede realizar la conexión.

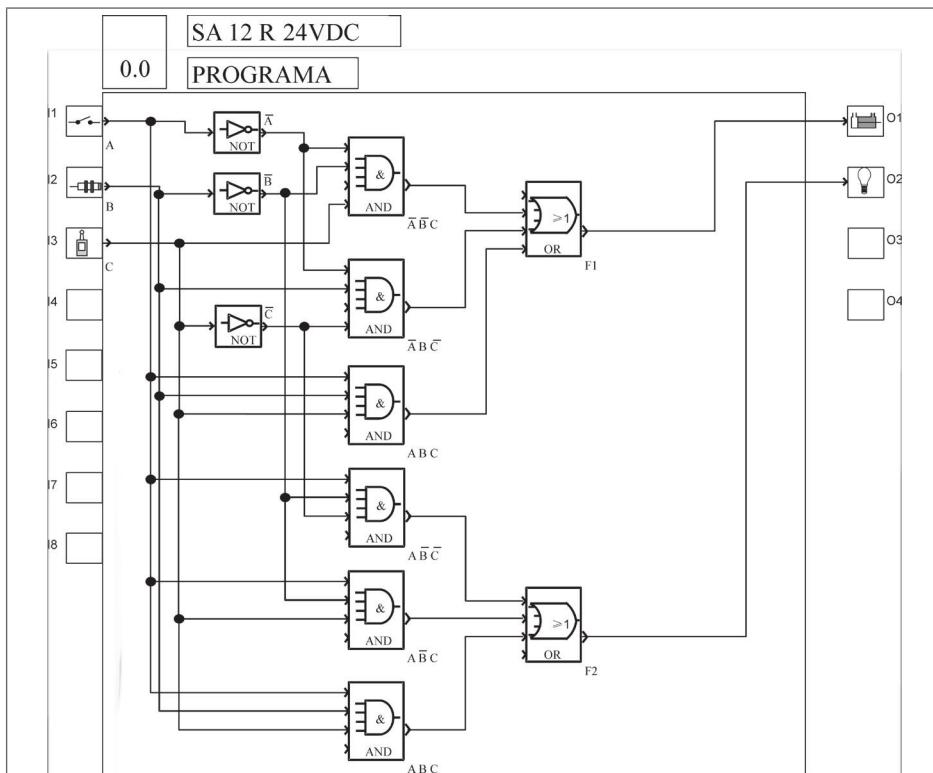


Fig. 4-10. Diagrama elaborado con software de Crouzet.

Como se puede observar, en la implantación del programa se están utilizando seis funciones lógicas AND, dos funciones lógicas OR y tres funciones lógicas NOT.

Simulación con el programa Crouzet

La simulación de los sistemas automáticos es una de las grandes ventajas de algunos programas de controladores lógicos programables. La ventaja radica en que se puede hacer una corrida del programa sin estar conectado al controlador, con lo cual se puede realizar un análisis práctico de la solución que se obtuvo de manera analítica, o hacer los ajustes necesarios para obtener el resultado requerido. Este trabajo todavía es de escritorio, lo que ayuda a reducir el tiempo de la implementación del sistema.

El circuito tiene ocho posibles combinaciones y el número de pasos de la simulación es igual al número de combinaciones (esto si se quiere validar todas las combinaciones). En seguida se presentan las simulaciones de todas las combinaciones.

Cada simulación representa una combinación; se muestran los valores de las variables de entrada y la variable de salida.

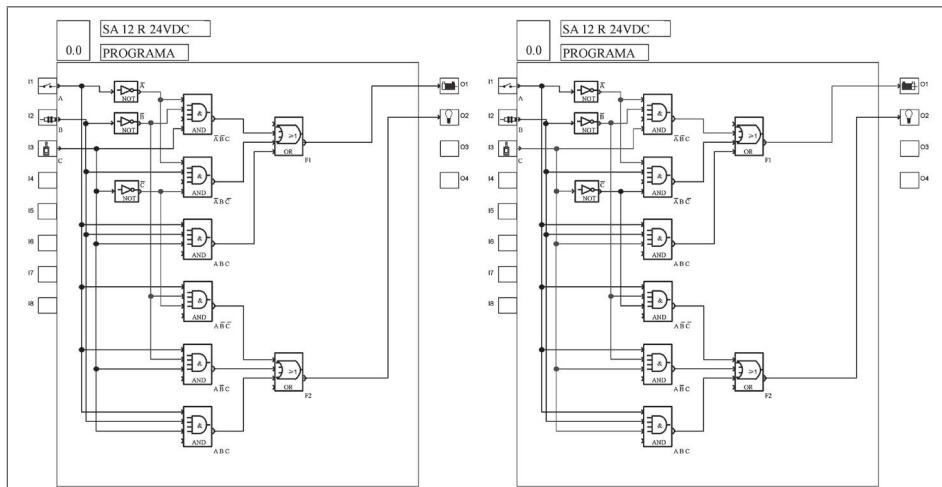


Fig.4-11. Simulación de las combinaciones 1 y 2.

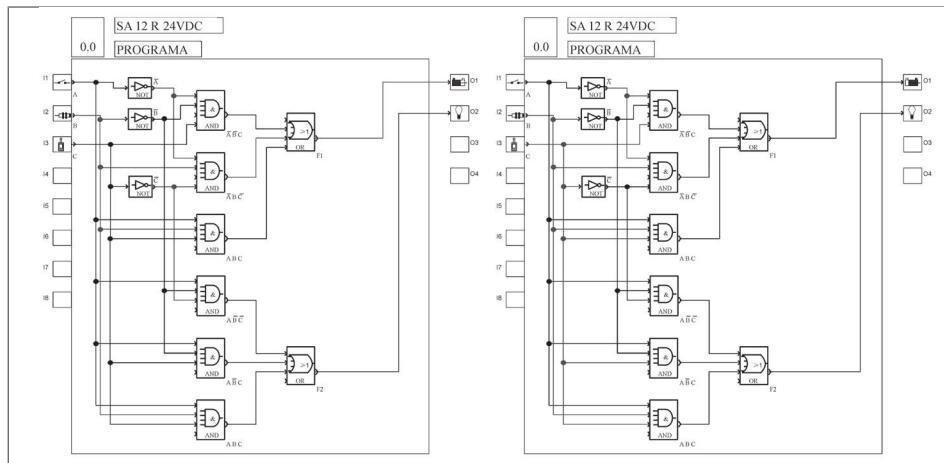


Fig. 4.12 Simulación de las combinaciones 3 y 4.

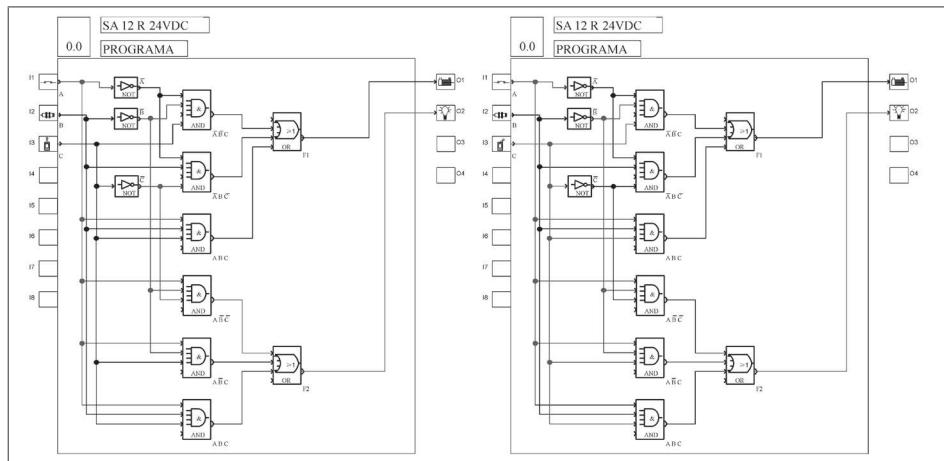


Fig. 4.13. Simulación de las combinaciones 5 y 6.

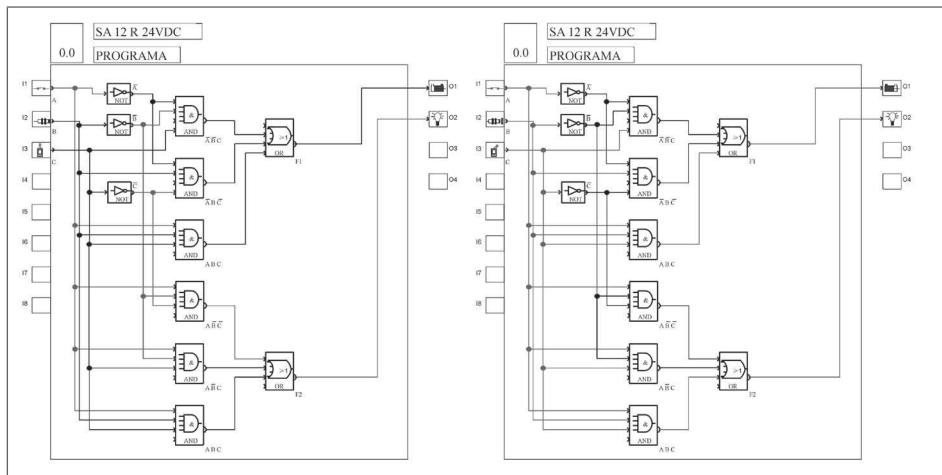


Figura 4.14. Simulación de las combinaciones 7 y 8.

La simulación de las combinaciones se presenta en forma ascendente, pero en la práctica se pueden presentar de manera aleatoria.

Una vez comprobada la buena operación del sistema, el siguiente paso es la implementación física y esto se inicia con el diagrama de conexiones eléctricas de las entradas y salidas del PLC.

Problema resuelto 4-1

En una empresa los tres directivos identificados como A, B y C se distribuyen las acciones en las siguientes proporciones A=45%, B=30% y C=25%. Se requiere diseñar una máquina de escrutinio sabiendo que cada miembro tiene un porcentaje de voto igual al porcentaje del número de sus acciones y para aprobar una votación el resultado debe de ser mayor al 50%.

- Identificación del número de entradas y salidas.
- Explique por qué el sistema es combinacional.
- Desarrolle la tabla de verdad.
- Obtenga la ecuación o ecuaciones del sistema.
- Desarrollo del diagrama con el PLC Crouzet.

Solución

- Primero se identifica el número de entradas y salida. Los directivos A, B y C son las entradas debido a que de ellos depende el valor de la salida, la cual se denominará F= Voto, por lo tanto se tiene un sistema con tres entradas y una salida.

- b. La forma en que se van a presentar los valores es aleatoria, y para cada combinación va a existir un valor de salida, independientemente del orden en que aparezcan, e incluso puede darse el caso de que algunas combinaciones no aparezcan, sin embargo se tienen que tomar en cuenta en el desarrollo del problema.

c. Desarrollo de la tabla de verdad

El sistema tiene tres entradas, por lo tanto puede tener ocho posibles combinaciones. El valor de la salida “F” es igual a “1” cuando la suma del porcentaje de la votación sea mayor al 50%.

Combinación	A=45	B=30	C=25	F>50
1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	1
5	1	0	0	0
6	1	0	1	1
7	1	1	0	1
8	1	1	1	1

Tabla 4-8.

En conclusión, se puede definir que F es verdadera siempre que sean verdaderas dos o más variables de entrada, de otra manera va a ser falsa.

d. Ecuación o ecuaciones del sistema

Para este sistema sólo se va a obtener una ecuación y es para obtener F. Se van a considerar únicamente las combinaciones donde F es afirmada; los valores de A, B y C se van a unir con la función “Y” y los cuatro valores afirmados de F se van a unir con la función “O”. El resultado de lo anterior es la Ecuación 4-2.

Ecuación 4-2

$$F = \bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot B \cdot \bar{C} + A \cdot B \cdot C$$

La ecuación obtenida se puede reducir utilizando las técnicas del álgebra de Boole que se usa en el diseño de sistemas digitales con base en circuitos integrados. Sin embargo, en este caso se va a implementar sin modificaciones. Después de obtener la ecuación el paso siguiente es el desarrollo del circuito con funciones lógicas con el software del PLC Crouzet y después se realiza la simulación correspondiente.

e. Diagrama con funciones lógicas

El diagrama con funciones lógicas se obtiene a partir de la Ecuación 4-2, de donde se puede deducir que se requieren tres operadores “NO”, cuatro operadores “Y” de tres entradas y un operador “O” con cuatro entradas, cuyo resultado es el diagrama que muestra la Fig. 4-15.

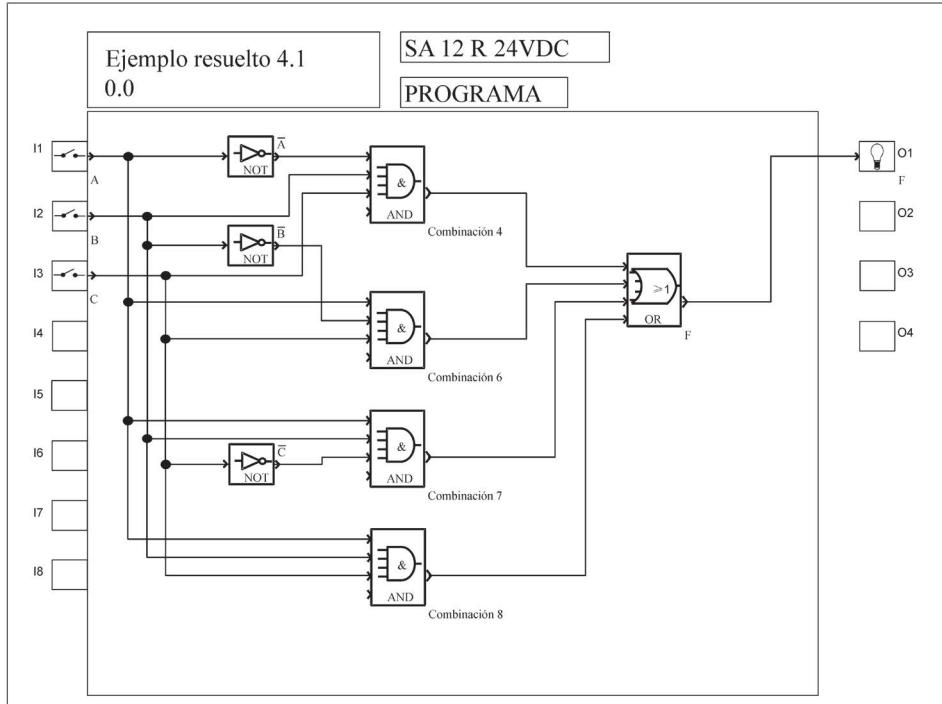


Fig. 4-15. Diagrama con funciones lógicas.

Problema resuelto 4-2

Un depósito se llena con una bomba (F) que extrae agua de un pozo. El depósito dispone de tres sensores de nivel A, B y C (Fig. 4-16), un relevador de tiempo que se encarga de mandar una salida '0' si es de noche (de 20:00 a 8:00) y '1' si es de día. Desarrollar el circuito que controle el llenado del depósito de tal forma que se cumplan las siguientes condiciones:

- Durante el día sólo se debe de llenar el depósito hasta llegar al nivel del sensor A, siempre y cuando el nivel de agua descienda por debajo del sensor C.
- Por la noche el depósito se debe de llenar hasta el sensor B, siempre y cuando el nivel de agua descienda por debajo del sensor C.

Resolver los siguientes incisos.

- a. Identifique el número de entradas y salidas que tiene el sistema.
- b. Explique por qué el sistema es combinacional.
- c. Desarrolle la tabla de verdad de acuerdo con las condiciones de operación.
- d. Obtenga la ecuación de la función de salida.

e) Desarrollo del diagrama con funciones lógicas para el PLC Crouzet.

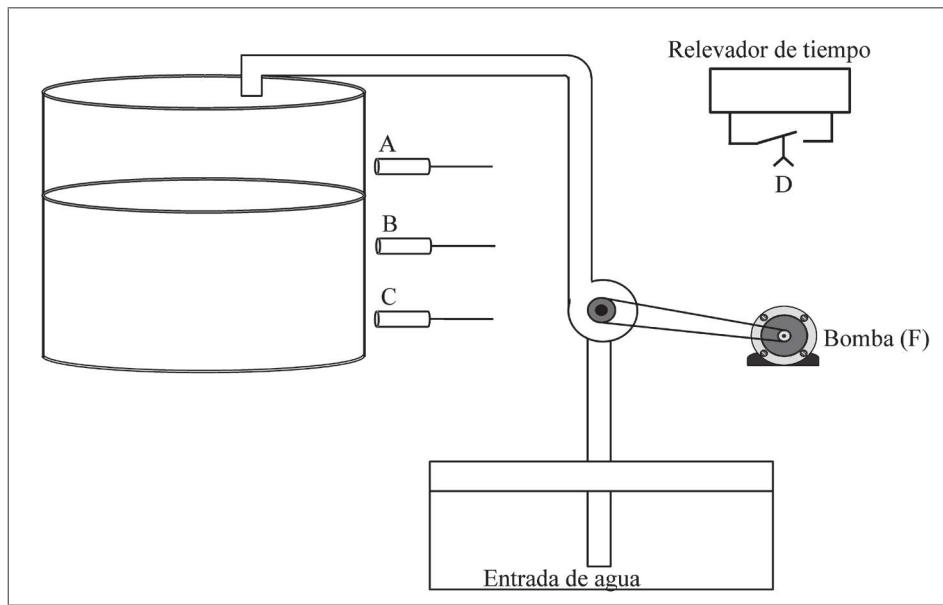


Fig. 4-16.

Solución

- Primero se identifica las entradas y salidas. Los sensores A, B y C y la señal obtenida del relevador de tiempo D son las entradas del sistema, debido a que según el valor que tengan va a depender si funciona la bomba. La salida del sistema es la bomba "F". Por lo tanto, el sistema tiene cuatro entradas y una salida.
- El sistema es del tipo combinacional debido a que el valor de la bomba depende de los valores que tengan las entradas en ese momento, es decir: a valores iguales de las entradas, valores iguales de la salida.
- Desarrollo de la tabla de verdad

El sistema tiene cuatro entradas, por lo tanto puede tener 16 combinaciones, sin embargo sólo algunas combinaciones van a poner en función a la bomba y son las que describen las condiciones del problema. Asimismo, algunas de las combinaciones no van a poder suceder por la lógica del sistema. En seguida se presenta la tabla de verdad del sistema, la cual está compuesta por el número de combinación, las cuatro entradas A, B, C y D, y la salida F.

D	C	B	A	F(ABCD)
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	0	1
1	1	1	1	0

Tabla 4-9.

Las combinaciones que no pueden suceder es factible tomarlas como alarmas, lo que hará más inteligente al sistema. Las combinaciones son las siguientes:

- Combinaciones 5 y 6, ya que no es posible que el sensor “B” detecte nivel y el sensor “C” que está en un nivel más bajo no detecte. Detectan una anomalía en el sensor “B” o el sensor “C”.
- Combinaciones 9 y 10. No es posible que el sensor “A” detecte nivel y los dos sensores “B” y “C” no detecten teniendo un nivel más bajo que el sensor “A”. Posible anomalía en el sensor “A”.
- Combinaciones 11 y 12. Posible falla en el sensor “A” o el sensor “B”.
- Combinaciones 13 y 14. Posible falla en el sensor “C”

d. Ecuación o ecuaciones del sistema

Para este sistema sólo se va a obtener una ecuación y es para obtener F. Únicamente se van a considerar las combinaciones 1, 2, 3, 4 y 8, que son donde F es afirmada. Se van a obtener los valores de cada combinación para ser unidos o sumados por la función “OR”.

Ecuaci n 4-3

$$F = \overline{A} \overline{B} \overline{C} D + \overline{A} \overline{B} C \overline{D} + \overline{A} B \overline{C} D + \overline{A} B \overline{C} \overline{D} + A \overline{B} \overline{C} \overline{D}$$

La ecuación está compuesta por los siguientes cinco términos:

$$\text{Término 1} = \overline{A} \overline{B} \overline{C} D$$

$$\text{Término 2} = \overline{A} \overline{B} C D$$

$$\text{Término 3} = \overline{A} B C D$$

$$\text{Término 4} = \overline{A} \overline{B} C \overline{D}$$

$$\text{Término 5} = \overline{A} \overline{B} \overline{C} \overline{D}$$

El resultado de la ecuación en función de los cinco términos queda de la siguiente manera:

Ecuaci n 4-4

$$F = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$$

Cada término es el resultado de una función lógica AND. La ecuación obtenida se puede simplificar utilizando el álgebra de Boole, sin embargo en este libro no se desarrolla el tema, por lo tanto la implementación del circuito se realiza sin cambio alguno.

- e. Desarrollo del diagrama para el PLC Crouzet.

El diagrama se obtiene con funciones lógicas a partir de la ecuación obtenida (Fig. 4-17):

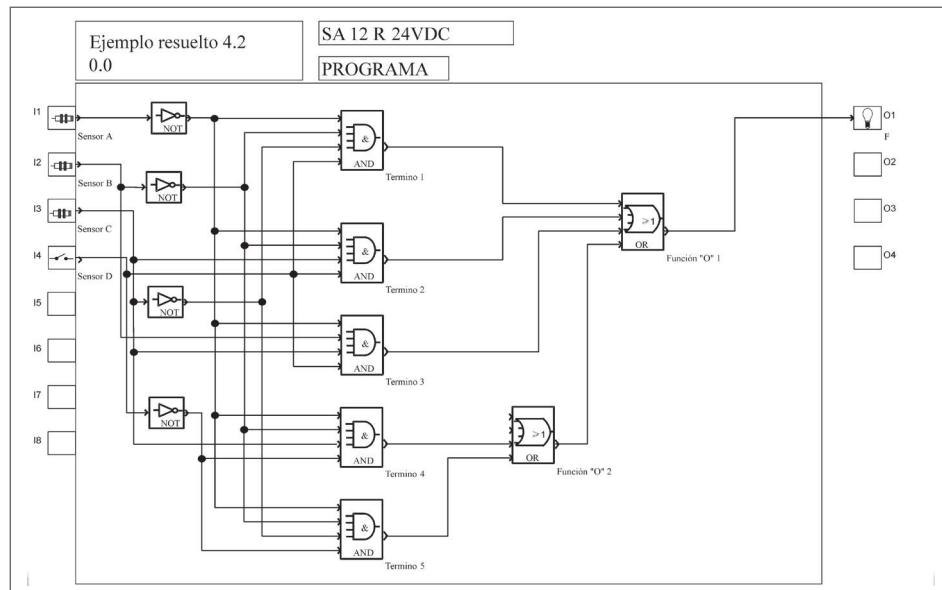


Fig. 4-17. Diagrama para el PLC Crouzet.

Los ejemplos resueltos muestran lo sencillo que son los sistemas del tipo combinatorial, razón por la cual es reducida la aplicación de estos sistemas a nivel industrial.

4.4 Ecuaciones de sistemas secuenciales

Los sistemas secuenciales están compuestos por variables lógicas de entrada, funciones lógicas o programa lógico localizado en el PLC, y variables lógicas de salida.

La lógica o programa lógico de un sistema secuencial puede ser diseñado con base en operadores lógicos. Cada variable de salida se expresa mediante ecuaciones que se obtienen a partir de una tabla de estados. En la tabla de estados se representan todos los pasos de la secuencia, incluso aquellos en que la variable o variables de salida son cero o está apagada dicha variable.

El sistema secuencial más sencillo que se utiliza a nivel industrial es el paro y arranque de un motor o de cualquier función. Este sistema tiene dos variables de entrada que por lo general son dos botones manuales, uno de ellos normalmente abierto considerado el botón de arranque, y el otro botón normalmente cerrado considerado el botón de paro. El sistema tiene una variable de salida del tipo discreto. Los botones son del tipo empujar para operar

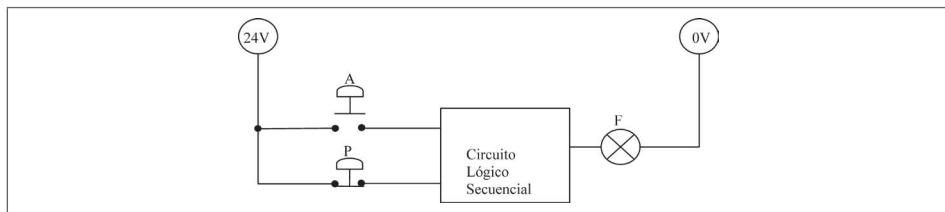


Fig. 4-18. Nomenclatura del circuito. A: arranque, P: paro y F: función.

En los sistemas secuenciales es más complicado obtener la solución y para hacerlo se requiere de métodos que ayuden en esta tarea. La ventaja de utilizar un método para obtener la solución, en comparación con una persona experimentada en el área, consiste en que la solución es confiable y comprobable desde un punto de vista analítico.

A continuación se muestra el método de un estado de memoria para solucionar problemas sencillos y con muy pocas variables lógicas de salida.

4.4.1 M todo de “un estado de memoria”

Una de las metodologías para solucionar este tipo de secuencias es la aplicación de un estado de memoria a la tabla de estados, y consiste en "aprovechar" que el valor lógico de cierto estado de una variable de salida tiene el mismo valor lógico del estado anterior, sin importar que los valores de las entradas sean diferentes. Esto facilita la aplicación de la técnica, la cual consiste en aplicar una variable lógica de la función de salida a la propia función de salida.

Esta metodología aplica en sistemas secuenciales con muy pocos estados ya que es imposible aplicar un estado de memoria a sistemas que contengan una gran cantidad de estados.

Tabla de estado

Es la representación gráfica de todos los estados de la secuencia que empieza con el estado inicial, pasa por los estados intermedios, llega al estado final y termina con el estado inicial del segundo ciclo. Los estados iniciales tanto del primer ciclo como del segundo ciclo y posteriores deben de ser igual en valor; si esto se cumple, asegura que el sistema es secuencial y que se están considerando todos los estados o pasos del sistema que se esté analizando.

La construcción de la tabla de estados se hace con base en los valores de las variables lógicas de entrada y las variables lógicas de salida. Los valores contenidos en la tabla de estados son del tipo discreto; el tamaño de la tabla va a ser proporcional al número de pasos de la secuencia.

Tabla natural del proceso				Nomenclatura
Estado	Variables de entrada		Variables de salida	
	VE1	VE2	VS1	
1	VE1,1	VE2,1	VS1,1	VE1: Variable de entrada 1; VE2: Variable de entrada 2
2	VE1,2	VE2,2	VS1,2	VE1,1: Valor lógico de Variable de entrada 1 en el estado 1
3	VE1,3	VE2,3	VS1,3	VE1,2: Valor lógico de Variable de entrada 1 en el estado 2
4	VE1,4	VE2,4	VS1,4	VE2,1: Valor lógico de Variable de entrada 2 en el estado 1
1	VE1,1	VE2,1	VS1,1	VE2,2: Valor lógico de Variable de entrada 2 en el estado 2
				VS1,1: Valor lógico de Variable de salida 1 en el estado 1
				VS1: Variable de salida 1
				VS1,2: Valor lógico de Variable de salida 1 en el estado 2

Tabla 4-10.

Estado

Se le considera estado de proceso a cada uno de los pasos de un sistema asíncrono en lazo y se representa en la tabla de estados de la secuencia mediante una combinación de valores lógicos de las variables de entrada y variables de salida. En cada estado se tiene un resultado de la variable o variables de salida a una combinación de estados de las variables de entrada.

Problema resuelto 4-3

Se requiere diseñar un sistema de paro y arranque. El sistema consta de dos botones, uno normalmente abierto, llamado botón de arranque, y otro normalmente cerrado denominado botón de paro, y tiene una función “F” como salida (Fig. 4-19).

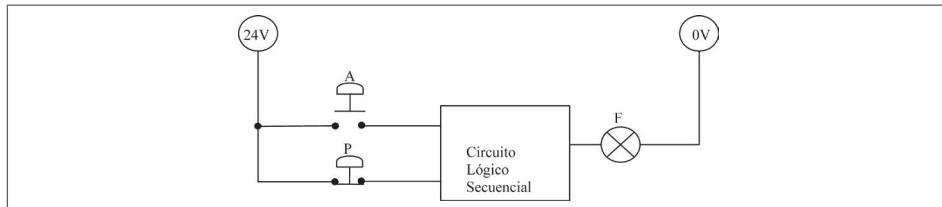


Fig. 4-19 Sistema de paro y arranque.

En la siguiente tabla se muestran los estados de la secuencia del sistema paro y arranque de una función. Asimismo se aprecian los cuatro estados del proceso y termina con el primer estado del segundo ciclo para asegurar que se están considerando todos los estados del sistema.

Estado	A	P	F	Ciclo
1	0	1	0	1
2	1	1	1	1
3	0	1	1	1
4	0	0	0	1
1	0	1	0	2

Tabla 4-11.

En la tabla se observa que los estados 1 y 3 son iguales en los valores de entrada y diferente en el valor de la salida, por lo que no se puede resolver la secuencia si no se agrega el valor de memoria al sistema, que haga iguales en valor a los estados 1 y 3.

La aplicación de un estado de memoria en la tabla se realiza añadiéndole una variable de la salida del mismo sistema; es decir, se agregaría una variable “F”. Muy pocos sistemas están dentro de esta modalidad y éste que aquí se presenta es uno de ellos; por lo tanto, si se añade una variable “F” se agregaría a los estados 1 y 3. Los valores de esta variable son en el estado 1 igual a “0” y en el estado 3 igual a “1”; el análisis es el siguiente:

Estado 1

$A=0$ y $P=1$ entonces $F=F$. Este estado es el inicial, por lo tanto el valor de F es igual a cero, debido a que antes del inicio la función es igual a cero.

Estado 2

$A=1$ y $P=1$ entonces $F=1$. El cambio de valor en la variable de entrada A genera que F se encienda, $F=1$.

Estado 3

$A=0$ y $P=1$ entonces $F=F$. Al soltar el botón A éste regresa a su posición inicial, lo que provoca que sea un cero la variable A y el valor de F sigue siendo un “1” debido a que en este estado va a recordar el valor del estado anterior, el cual es un “1”.

Estado 4

$A=0$ y $P=0$ entonces $F=0$. El cambio de valor en la variable P genera un cero en la variable F, es decir $F=0$.

Estado 1 del segundo ciclo y posteriores

$A=0$ y $P=1$ entonces $F=F$. Este es el estado inicial del segundo ciclo de la secuencia, es decir el sistema ha llegado a su inicio pero del segundo ciclo. El valor de F es igual a cero.

Tabla con memoria

La siguiente tabla incluye la variable lógica F, con lo que queda lista la tabla para poder obtener la ecuación del sistema.

Estado	A	P	F	Ciclo
1	0	1	F	1
2	1	1	1	1
3	0	1	F	1
4	0	0	0	1
1	0	1	F	2

Tabla 4-12.

Ecuación del sistema

La ecuación del sistema se obtiene de los estados 2 y 1; ahora los estados 1 y 3 son iguales en valor, por lo tanto para la ecuación es suficiente tomar sólo uno de ellos. La ecuación es la siguiente:

$$\boxed{Ecuación F = A \cdot P + \bar{A} \cdot P \cdot F}$$

La ecuación está compuesta por dos términos: uno de ellos es el valor de las variables de entrada del estado 2 y el segundo término es el valor de las variables de entrada y el valor de la variable de salida. Una vez obtenida la ecuación, se representa en un diagrama con operadores lógicos.

El diagrama con operadores lógicos está compuesto por dos operadores AND, un operador OR y un NOT. En la Fig. 4-20 se muestra el diagrama realizado con el software del PLC Crouzet.

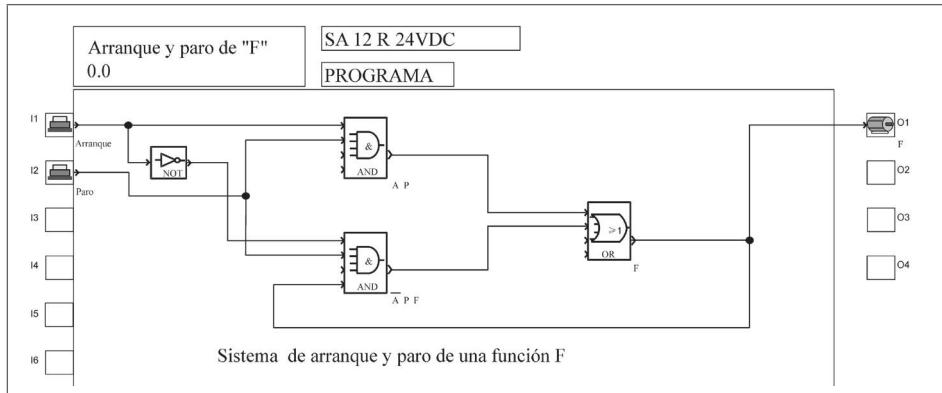


Fig. 4-20. Diagrama realizado con el software del PLC Crouzet.

La simulación del sistema se muestra paso a paso y es posible observar los valores obtenidos de las variables de entrada y de la variable de salida.

Estado 1

$$A=0, P=I \text{ y } F=F$$

Este es el estado inicial, donde el valor de F va a recordar su estado anterior; es decir, el valor de F es igual a cero. Véase la Fig. 4-21.

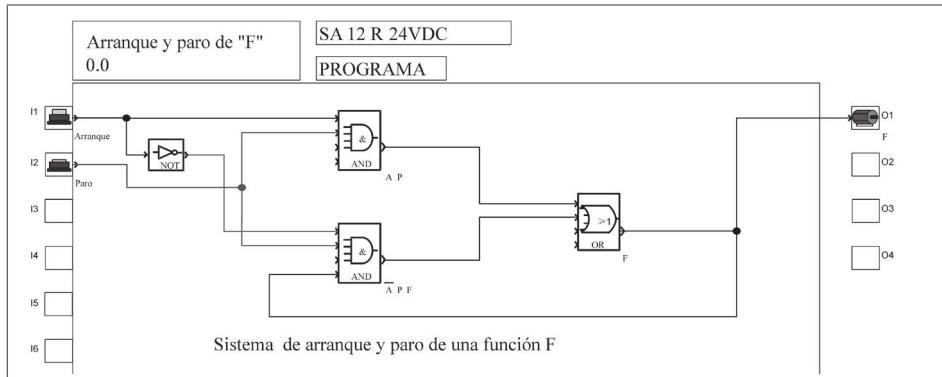


Fig. 4-21. Estado 1.

Estado 2

$$A=I, P=I \text{ y } F=I$$

Este es el estado en que se enciende la variable F; el botón de arranque se habilita (Fig. 4-22).

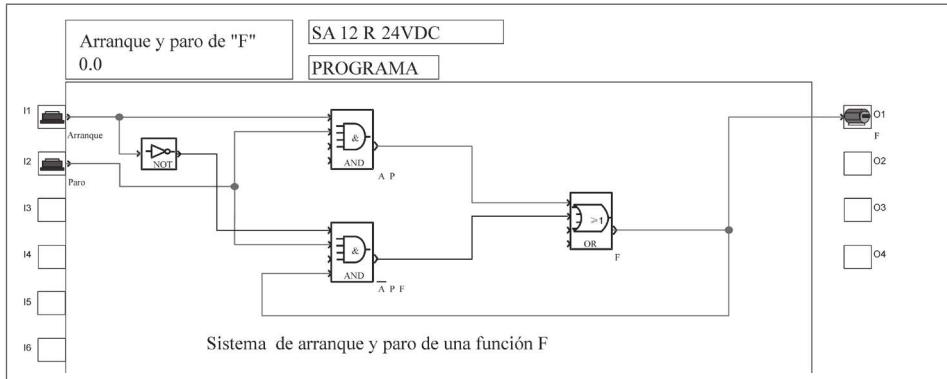


Figura 4.22. Estado 2.

Estado 3

$$A=0, P=1 \text{ y } F=1$$

Debido a que el botón de arranque es un botón de empujar para operar, al remover la mano del botón se regresa por el efecto del resorte, lo que da un cero como valor a la entrada A (Fig. 4-23).

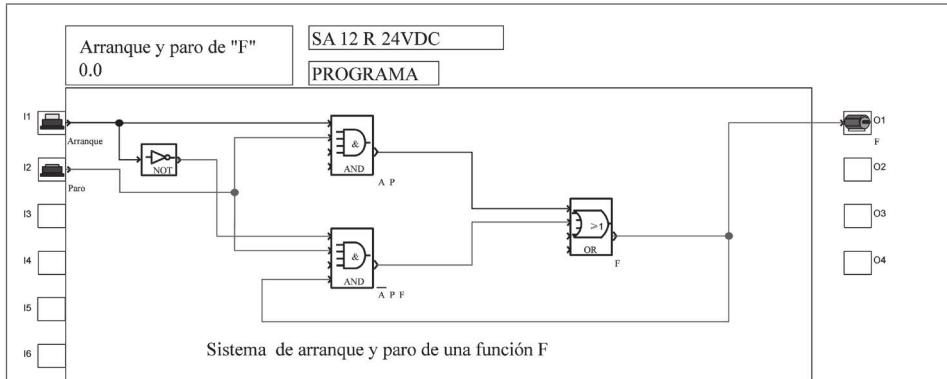


Fig. 4-23. Estado 3.

Estado 4

$$A=0, P=0 \text{ y } F=0$$

Al habilitar el botón de paro se deshabilita la función F (Fig. 4-24).

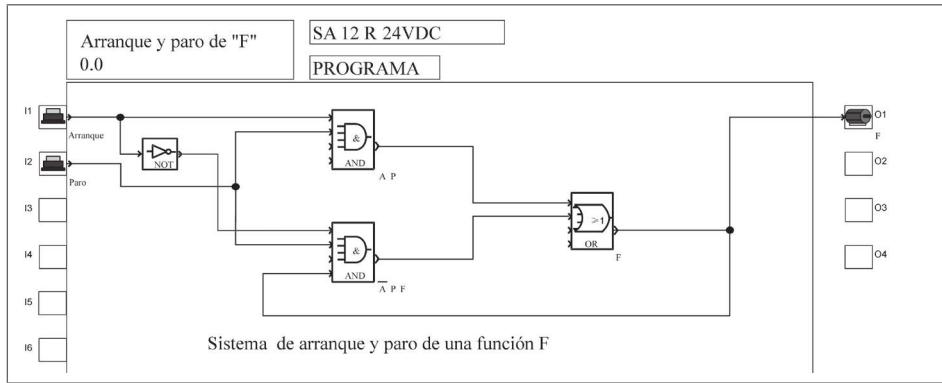


Fig. 4-24. Estado 4.

Estado 1

$$A=0, P=1 \text{ y } F=0$$

Al deshabilitar el botón de paro o removérse la activación del botón, por efecto del resorte regresa y cierra el contacto, lo que vuelve al estado inicial del sistema, el cual es el estado 1 del segundo ciclo o posteriores. Véase la Fig. 4-25.

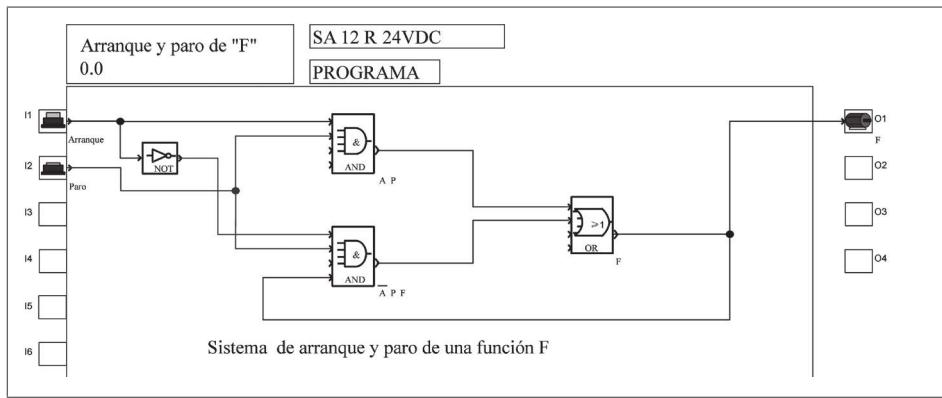


Fig. 4-25. Regreso al estado inicial del sistema.

Cabe mencionar que la aplicación del método de un estado de memoria el cual fue aplicado para la solución del sistema de paro y arranque tiene sus limitantes, ya que únicamente aplica en un porcentaje pequeño de los sistemas secuenciales, por lo que no se debe considerar como solución única. En el siguiente capítulo se expondrá una metodología que ayuda a resolver sistemas que no están dentro de la solución del método "un estado de memoria".

Representación de funciones lógicas con lógica de contactos

Las funciones lógicas pueden representarse mediante circuitos eléctricos con interruptores. Cuando un interruptor proviene de un relevador normalmente se le llama contacto. A este tipo de circuitos se les denomina diagrama de lógica de contactos o diagrama de lógica de escalera. La representación de las funciones lógicas con circuito de lógica de contactos se analiza a continuación.

Función lógica AND con circuito de lógica de contactos

Para analizar el circuito de lógica de contactos se toma como apoyo la tabla de verdad de la función, con dos variables lógicas de entrada: A y B.

A	B	F(AB)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 4-13

Esta función ya se analizó y se llegó a la conclusión de que para que la función de salida sea verdadera, se requiere que los valores de las dos variables de entrada sean verdaderos. Haciendo la analogía con un circuito eléctrico, se trataría del circuito serie. Véase la Fig. 4-26.

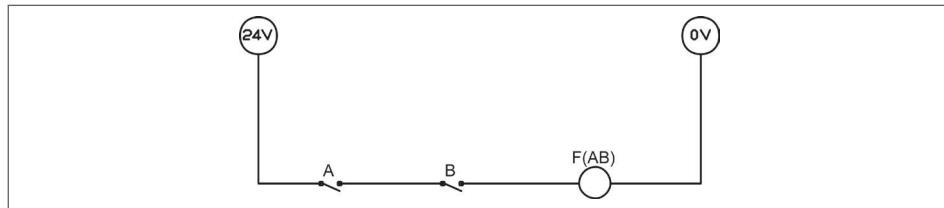


Fig. 4-26. Representación de un circuito serie.

Para que F de AB se encienda, ambos interruptores A y B deben de estar cerrados a la vez. Conclusión: la función lógica AND se va a representar con el circuito serie en circuitos eléctricos.

La representación en circuito de lógica de contactos, conocida también como diagrama escalera, se muestra en la Fig. 4-27.

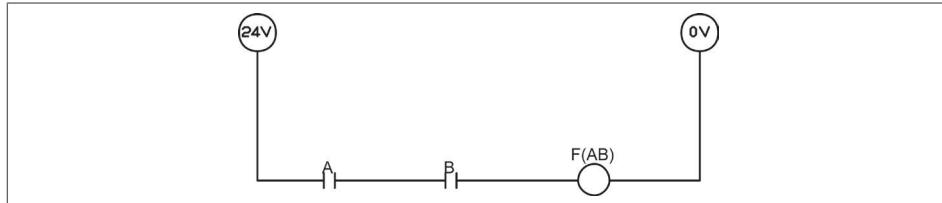


Fig. 4.27. Circuito de lógica de contactos o diagrama escalera.

Función lógica OR con circuito de lógica de contactos

Al analizar la tabla de verdad de esta función se observa la tabla de verdad de la función OR, la cual indica que basta con que una de las funciones de entrada sea verdadera, para que la función de salida sea también verdadera. Se toma una tabla de verdad de dos variables lógicas de entrada A y B.

A	B	F(AB)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabla 4.-14.

Si una de las funciones de entrada es verdadera o ambas son verdaderas, se llega a la conclusión de que el circuito eléctrico análogo a esta función es el circuito paralelo (Fig. 4-28).

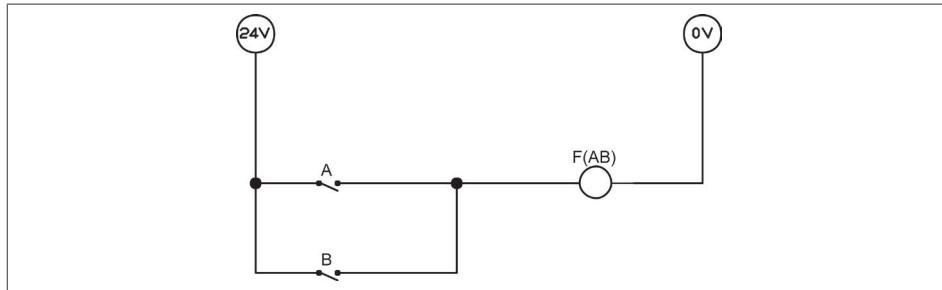


Fig. 4-28. Circuito paralelo.

Para que F de AB se encienda, uno de los interruptores A o B o ambos deben de estar cerrados.

La Fig. 4-29 muestra la representación en forma de circuito de lógica de contactos o diagrama escalera.

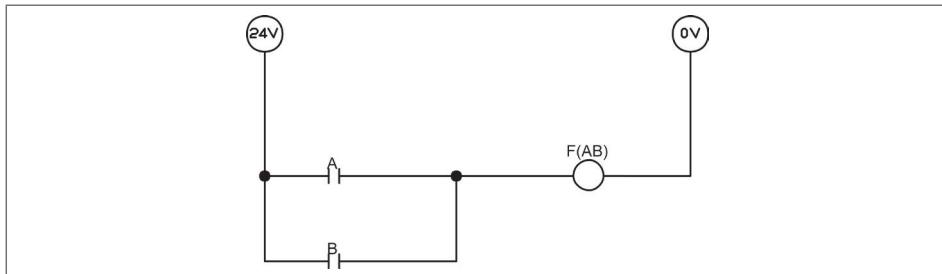


Fig. 4-29. Circuito de lógica de contactos o diagrama escalera.

Función lógica NOT con circuito de lógica de contactos

Se sabe que esta función es de una variable de entrada y se tiene como referencia la tabla de verdad de la función.

A	F(AB)
1	0
0	1

Tabla 4-15.

Con base en dicha tabla se deduce que si A no está activada, la función de salida sí lo está, y si está activada A la función de salida no lo está; por lo tanto se deduce que el circuito eléctrico análogo es el interruptor normalmente cerrado (Fig. 4-30).

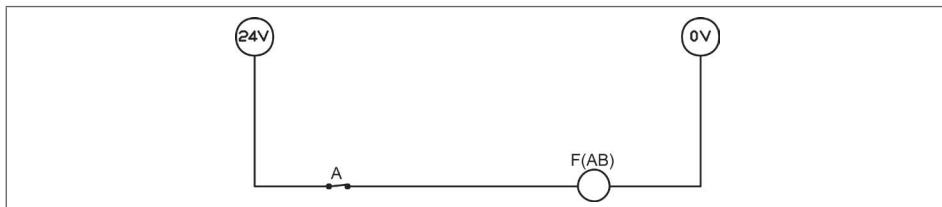


Fig. 4-30 .Interruptor normalmente cerrado.

La Fig. 4-31 muestra la representación en circuito de lógica de contactos o diagrama escalera.



Fig. 4-31 .Circuito de lógica de contactos o diagrama escalera.

Función	Ecuación lógica	Símbolos			Tabla de verdad	Cronograma															
		Norma MIL	Norma IEC	Circuito físico con contactos																	
OR	$S = A + B$				<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	
A	B	S																			
0	0	0																			
0	1	1																			
1	0	1																			
1	1	1																			
AND	$S = A \cdot B$				<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	
A	B	S																			
0	0	0																			
0	1	0																			
1	0	0																			
1	1	1																			
NOT	$S = \overline{A}$				<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	S	0	1	1	0										
A	S																				
0	1																				
1	0																				

Tabla 4-15. Tabla comparativa de las funciones lógicas.

En conclusión, las tres funciones tienen como resultado los siguientes circuitos eléctricos básicos: el circuito serie, el circuito paralelo y el contacto NC. Con la combinación de estos circuitos se logran circuitos complejos que son la solución en sistemas muy complejos.

Ecuaciones de sistemas automáticos con circuitos de lógica de contactos

Los sistemas automáticos pueden representarse mediante tablas de estado o de verdad dependiendo del tipo de sistema que se trate, ya sea secuencial o combinacional, respectivamente. También es posible representarlos por medio de las ecuaciones propias del sistema. De cada una de las representaciones se puede obtener un diagrama de lógica de contactos o de operadores lógicos según el resultado que se requiera, el cual va a depender del tipo de PLC que se tenga.

Es evidente que las tablas representan en forma sencilla el funcionamiento del sistema y hacen más práctica su explicación. A partir de las tablas elaboradas se obtienen las ecuaciones, para después representar el sistema en un diagrama con operadores lógicos o en un diagrama con lógica de contactos.

En el siguiente ejemplo se tiene una ecuación que representa un sistema del tipo combinacional.

$$F = \bar{A} \bar{B} \bar{C} + \bar{A} B C + A \bar{B} C$$

Como se puede ver en la ecuación, hay tres multiplicaciones sumadas entre sí, al igual que en las matemáticas simples, y para este caso, primero se debe resolver la multiplicación y posteriormente la suma; esto es cuando la resultante de la función es una suma. Si se requiere obtener el diagrama de lógica de contactos de esta ecuación, es indistinto con qué multiplicación iniciar. En la Fig. 4-29 se muestra el circuito que se obtuvo con la ecuación anterior.

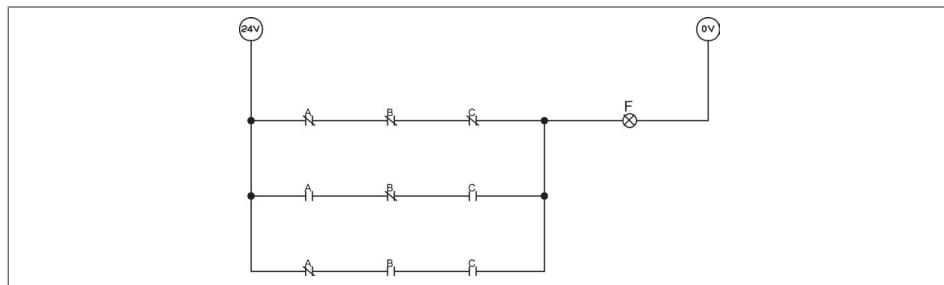


Fig. 4-32. Circuito que se obtuvo con la ecuación que representa un sistema del tipo combinacional.

Al igual que en las matemáticas simples, se puede observar que de los tres términos se puede obtener **A** negada o **B** negada o **C** afirmada como factor común. Para este ejemplo se va a tomar a **A** negada como factor común, lo que da la siguiente ecuación:

$$F = \bar{A} (\bar{B} \bar{C} + B C) + A \bar{B} C$$

La suma de los dos términos es el resultado de la función: un término es una multiplicación directa y el otro término es una multiplicación de una suma; en este término para implementarlo en lógica de contactos primero debe realizarse la suma y después la multiplicación. El diagrama es el siguiente.

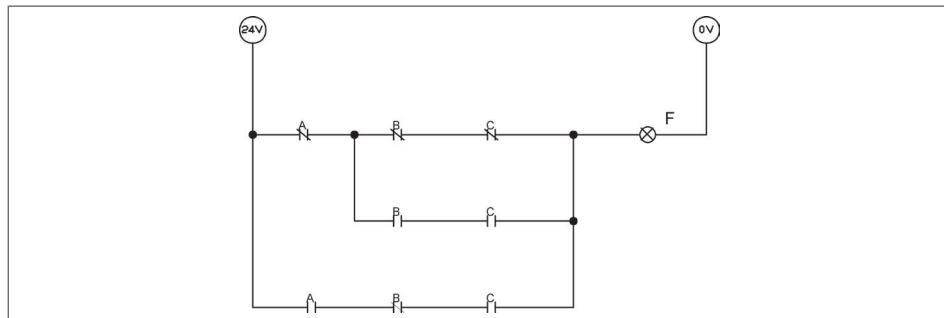


Fig. 4-33. Circuito de lógica contactos de la función simplificada.

En algunas ecuaciones al obtener factores comunes es factible tener resultados que se pueden reducir aún más aplicando los teoremas del álgebra de Boole.

Igebra booleana

El álgebra booleana, llamada así en honor de su descubridor George Boole, explica cómo convertir las proposiciones lógicas en símbolos matemáticos y cómo aplicar ciertas reglas muy simples para determinar la verdad o falsedad de proposiciones relacionadas entre sí.

El álgebra booleana se puede aplicar al diseño y simplificación de circuitos con base en relevadores, gracias a la demostración que hizo Claude E. Shanon. Los teoremas de esta álgebra se aplican a circuitos de lógica de contactos que se exponen en este libro.

Teoremas de Igebra booleana

Cada teorema se demuestra a través de circuitos de lógica de contactos; las variables lógicas de entrada son A y B, y la función de salida es F.

Primer teorema

Se analizará este teorema por medio de circuito de lógica de contactos. La variable A es un contacto proveniente de un relevador llamado A y la función de salida F puede ser un relevador o un dispositivo luminoso (Fig. 4-34).

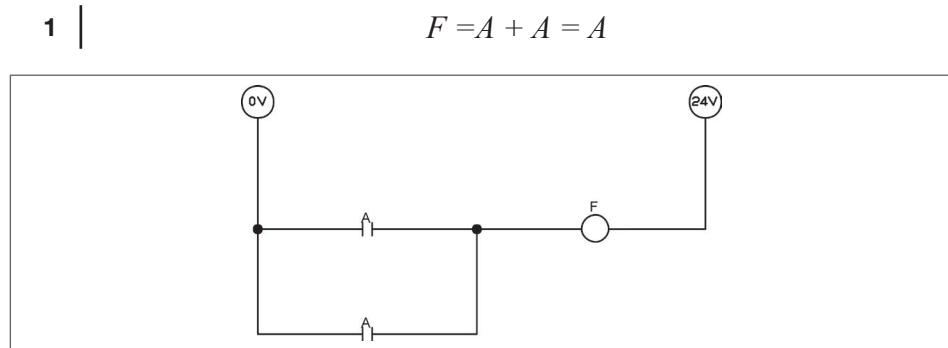


Fig. 4-34

En este teorema se observa que al sumar la misma variable lógica de entrada, el resultado es la misma variable. Al analizar este teorema con circuito de lógica de contactos, la variable A es un contacto proveniente de un relevador denominado A (Fig. 4-35):

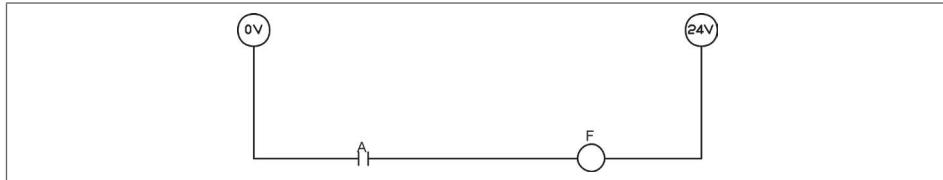


Fig. 4-35

Segundo teorema

La suma de los complementos de una misma variable da como resultado la unidad (Fig. 4-36).

$$2 \quad | \quad F = A + \bar{A} = 1$$

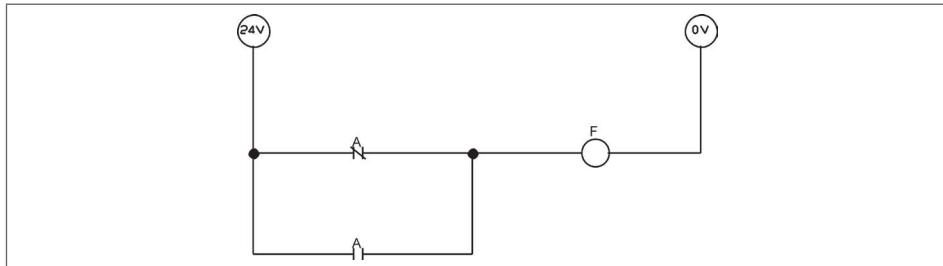


Fig. 4-36

La respuesta de este teorema es la unidad; éste se representa con un cable directo que conecta la función de salida directamente a la fuente de alimentación. El resultado de ello es el diagrama de la Fig. 4-37:

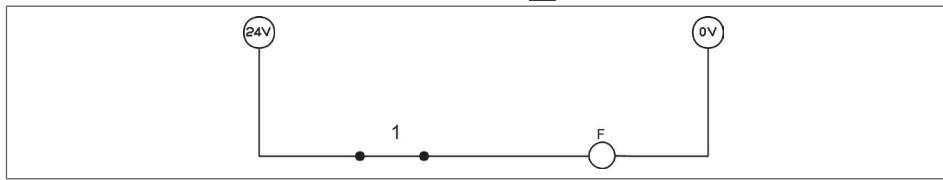


Fig. 4-37

Tercer teorema

La multiplicación de una variable lógica de entrada por la misma variable lógica da como resultado a F (véase la Fig. 4-38):

$$3 \quad | \quad F = A \cdot A = A$$

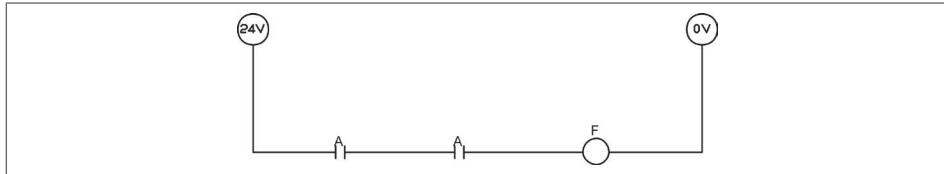


Fig. 4-38

En el circuito se observa una redundancia en la variable A, por lo que es suficiente mostrar a A sólo una vez (Fig. 4-39):

$$F = A$$

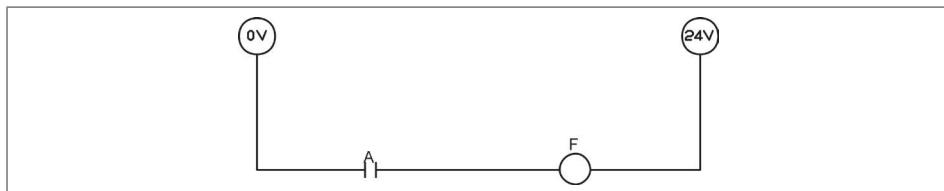


Fig. 4-39

Cuarto teorema

Al igual que en las matemáticas ordinarias cualquier variable o número sumado con cero es igual a la variable o número dependiendo del caso, para el nuestro es la suma de la variable A.

4

$$F = A + 0 = A$$

El valor de cero en esta ecuación se representa con el circuito abierto (Fig. 4-40).

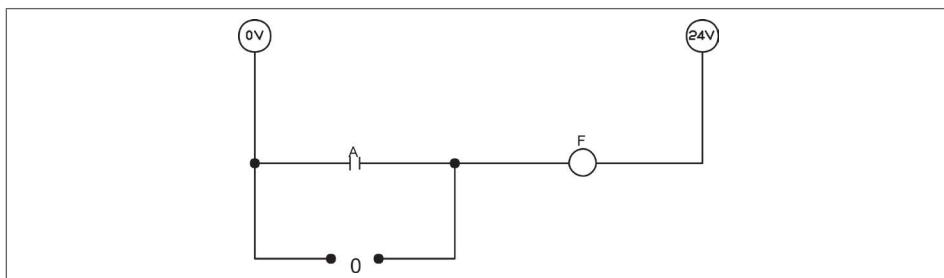


Fig. 4-40. Circuito abierto.

Dado que el circuito abierto es igual a cero, se deduce de este diagrama que no tiene efecto alguno sobre la respuesta del sistema, por lo que no es necesario y se omite su representación en la ecuación final del sistema, cuyo resultado es la siguiente función.

$$F = A$$



Fig. 4-41.

Quinto teorema

En las matemáticas simples cuando se multiplica cualquier número o variable por 1, es igual a la misma variable o número. En nuestro caso la variable A se multiplica por 1, por lo tanto el resultado es A

$$5 \quad | \quad F = A \cdot 1 = A$$

El número 1 se representa con un cable que conecta un extremo de la variable de entrada con un extremo de la variable de salida. Como se puede observar en la Fig. 4-42 el cable denominado 1 está entre la variable de entrada A y la variable de salida F:

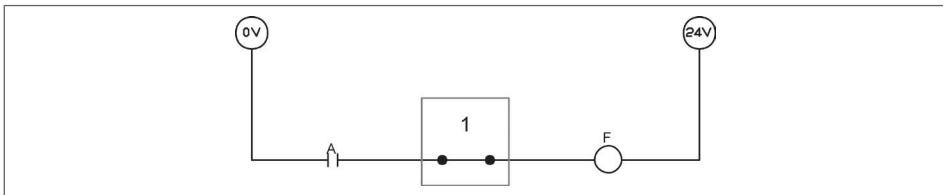


Fig. 4-42.

Eliminando el número 1 se conectan las variables entre sí de manera directa, lo cual da el resultado obtenido en forma matemática. Véase la Fig. 4-43.

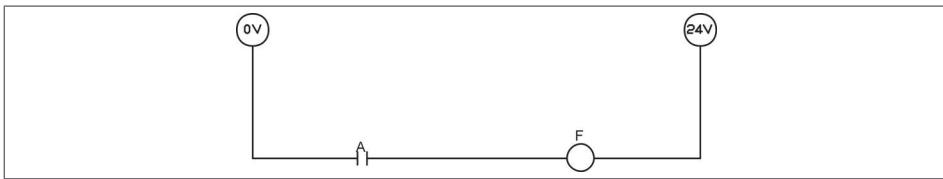


Fig. 4-43.

Sexto teorema

Este teorema se relaciona con la multiplicación ordinaria, la cual dice que cualquier número o variable multiplicada por el cero su resultado es cero; lo mismo sucede con este teorema: cualquier variable lógica de entrada multiplicada por cero es igual a cero.

$$6 \quad | \quad F = A \cdot 0 = 0$$

Recordando que el valor cero es igual al circuito abierto en un diagrama de contacto de contactos (Fig. 4-44).

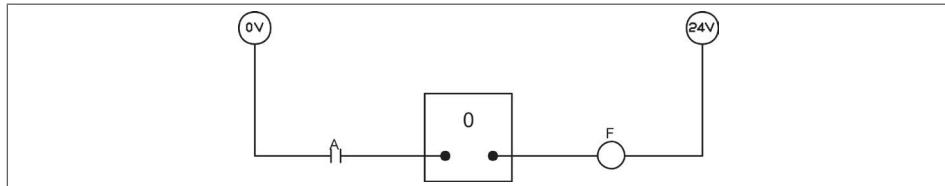


Fig. 4-44.

Cuyo resultado es el circuito abierto, ya que la variable de entrada A se elimina por estar en serie con el circuito abierto (Fig. 4-45).

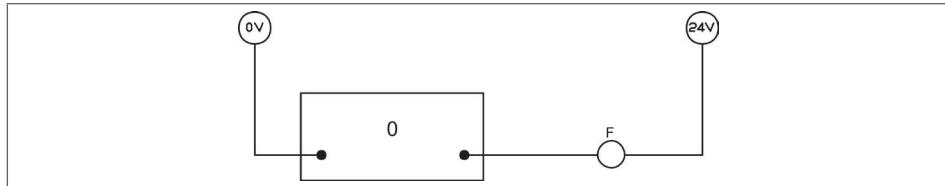


Fig. 4-45.

Síntesis del teorema

Este teorema afirma que cualquier variable que se aplique a un operador OR con 1, el resultado siempre será 1. Recordando que la salida de un operador OR es 1 con que sólo una de las entradas sea 1, sin importar que valor tenga la otra variable lógica de entrada.

$$7 \quad | \quad F = A + I = 1$$

Si se recuerda que el valor 1 es un cable y que el circuito eléctrico análogo del operador OR es el circuito paralelo, se tiene el siguiente circuito como resultado (Fig. 4-46).

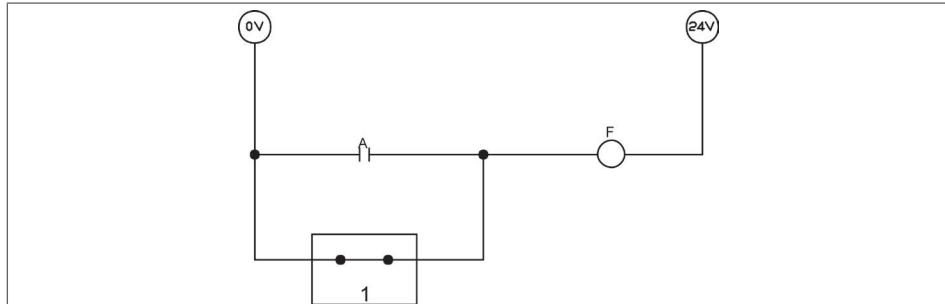


Fig. 4-46.

Indistintamente qué valor tome la variable A, se denota del circuito paralelo que siempre va a predominar el cable conectado entre los bornes de A, por lo que el resultado de este teorema es "1" lógico (Fig. 4-47).

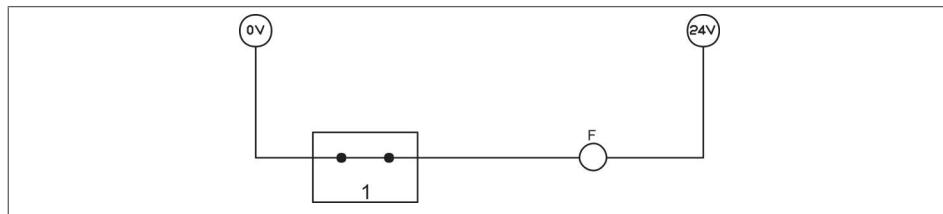


Fig. 4-47.

Teoremas con mltiples variables

Los siguientes teoremas implican más de una variable.

Octavo teorema

Dos variables se multiplican entre sí y el resultado se suma con una de las mismas variables.

$$8 \quad | \quad F = (A B) + A = A$$

El circuito equivalente para este teorema es el que muestra la Fig. 4-48.

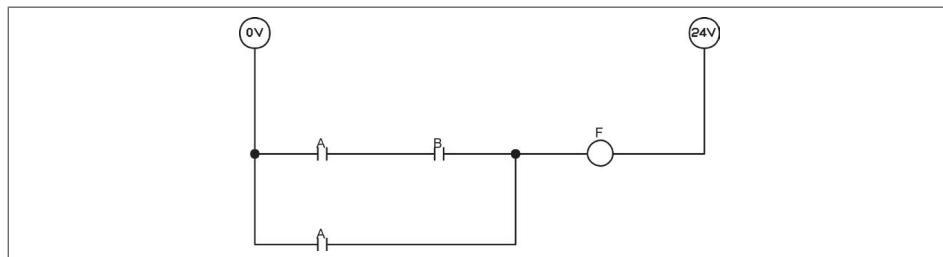


Fig. 4-48.

Del circuito se deduce que la variable A es la que predomina, sin importar qué valor tenga la variable lógica B, cuyo resultado es el siguiente circuito (Fig. 4-49).



Fig. 4-49.

Noveno teorema

Dos variables se suman entre sí y el resultado se multiplica con una de las mismas variables.

9 |

$$F = A(A + B) = A$$

El circuito equivalente para este teorema es el siguiente (Fig. 4-50).

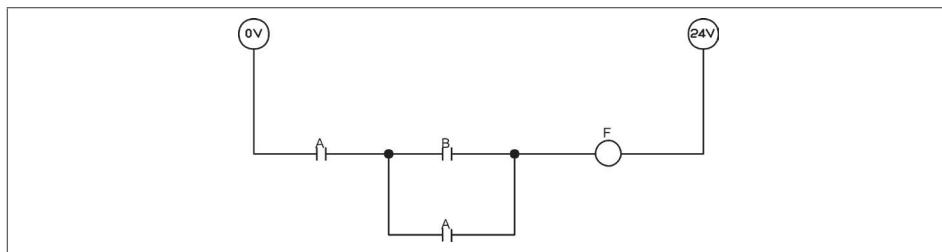


Fig. 4-50.

Como se puede observar, el contacto de A al estar en paralelo con la variable lógica B, ésta no tiene efecto alguno sobre el resultado de la ecuación, por lo que se puede prescindir de esta variable, cuyo resultado es el diagrama de la Fig. 4-51.



Fig. 4-51.

Décimo teorema

Este teorema no tiene equivalente en las matemáticas ordinarias; en la expresión se denota una multiplicación de dos variables donde una de ellas es negada y el resultado de la multiplicación se suma con el afirmado de la variable que es negada. La expresión es la siguiente.

10 |

$$F = A + (\overline{A}B) = A + B$$

El circuito equivalente para este teorema es el siguiente (Fig. 4-52).

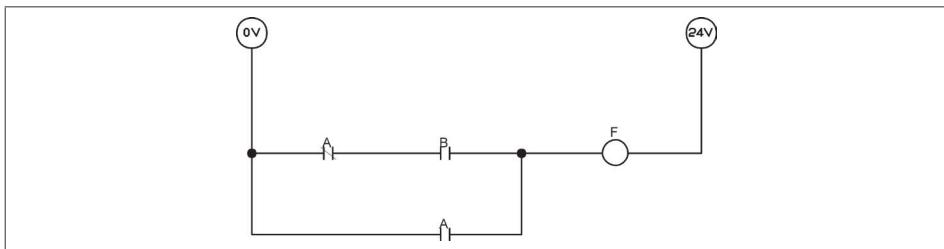


Fig. 4-52.

El resultado de este teorema es igual a la suma de los afirmados de las dos variables cuyo resultado es el diagrama de la Fig. 4-53.

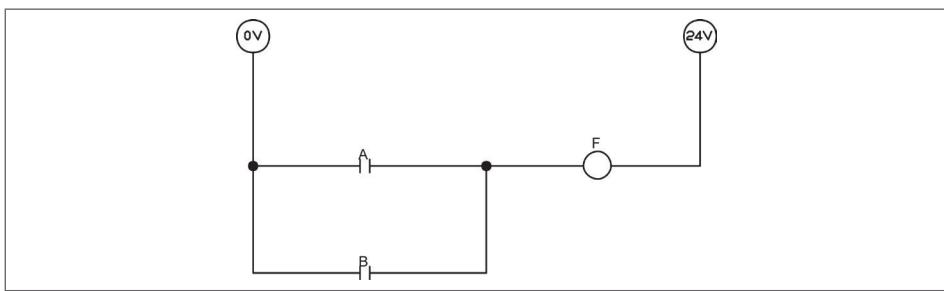


Fig. 4-53.

Estos diez teoremas son los que más se aplican en la reducción de ecuaciones de sistemas combinacionales o secuenciales y se utilizarán en la reducción de las ecuaciones de los problemas resueltos y propuestos.

Ejemplos resueltos

Se presentan varios problemas propuestos del tipo combinacional y secuencial, en cada uno de ellos hay que resolver los incisos que se le indican.

01. Para poner en marcha un motor trifásico se requiere tres interruptores (A, B y C), de tal forma que debe de funcionar bajo las siguientes condiciones:
 - Cuando esté cerrado solamente B.
 - Cuando estén cerrados simultáneamente A y B y no lo esté C.
 - Cuando estén cerrados simultáneamente A y C y no lo esté B.
- a. Determine la tabla que representa al sistema e identifique si dicho sistema es secuencial o combinacional.
 - b. Determine la función lógica que modela el control del motor.
 - c. Dibuje el esquema eléctrico del control del motor.

Solución

- a. Determine la tabla del sistema.

La tabla se determina a partir de las condiciones de operación del sistema; las tres condiciones mencionadas deben transferirse a una tabla, quedando los valores que se muestran a continuación. Se va a identificar al cero como contacto abierto y a uno como contacto cerrado.

A	B	C	F(ABC)
0	1	0	1
1	1	0	1
1	0	1	1

Tabla 4-17.

Al no tener mismos valores de entradas y diferentes valores de salida, se determina que esta es una tabla de verdad de un sistema del tipo combinacional, y que la tabla completa tiene ocho posibles combinaciones, la cual se muestra en seguida.

A	B	C	F(ABC)
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Tabla 4-18.

- b. Determinar la función lógica que modela el control del motor.

La ecuación de la función va a estar construida por los tres términos donde la función es verdadera, cuyo resultado es la siguiente ecuación de variable de salida discreta

$$F(ABC) = \overline{A} \overline{B} \overline{C} + A \overline{B} C + A B \overline{C}$$

- c. Dibuje el esquema eléctrico del control del motor.

La ecuación se puede representar mediante el circuito con operadores lógicos (Fig. 4-54) y el circuito de lógica de contactos (Fig. 4-55).

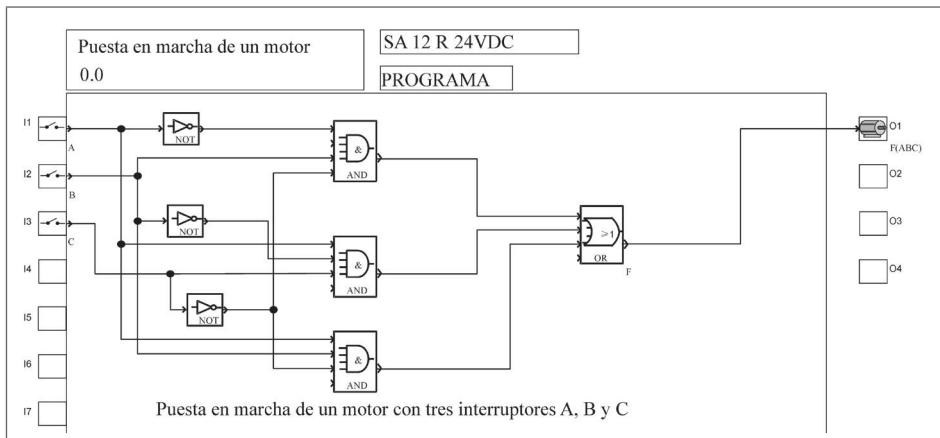


Fig. 4-54 Circuito con operadores lógicos.

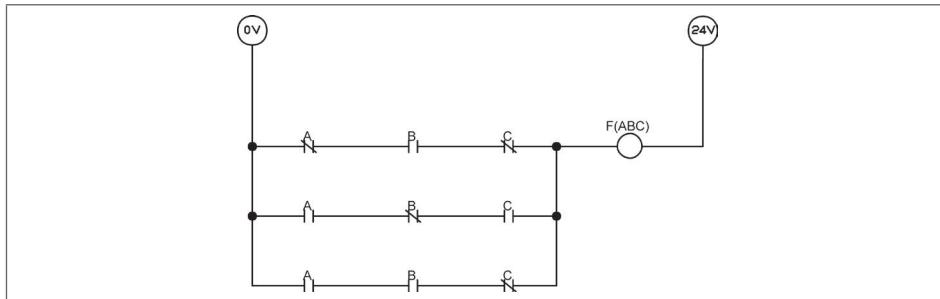


Fig. 4-55 Circuito con lógica de contactos.

Reduciendo la ecuación de la función se puede obtener factores comunes de los dos renglones, se obtiene a la variable A como factor común, cuyo resultado es:

$$F(ABC) = \overline{A} \overline{B} \overline{C} + A (\overline{B} C + B \overline{C})$$

y el siguiente diagrama eléctrico (Fig. 4-56):

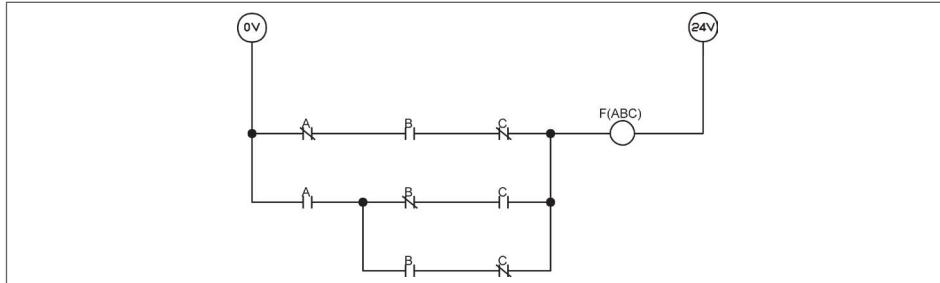


Fig. 4-56. Diagrama eléctrico.

Cualquiera de los dos circuitos es correcto.

02. Diseñar el circuito con operadores lógicos y lógica de contactos de un sistema que tiene cuatro variables lógicas de entrada del tipo discreto (X, Y, Z, V) y dos variables de lógicas de salida (F, G); las condiciones de funcionamiento del sistema se muestran enseguida:

Si $XY = 00$, entonces $F = Z$ y $G = V$.

Si $XY = 01$, entonces $F = 0$ y $G = Z + V$.

Si $XY = 10$, entonces $F = ZV$ y $G = 0$.

Si $XY = 11$, entonces $F = YZ$ y $G = XV$.

- Determine la tabla que representa a las dos variables lógicas de salida F y G , e identifique si el sistema es secuencial o combinacional.
- Determine las ecuaciones que modelan a las funciones F y G .
- Dibuje el diagrama de lógica de contactos que dan solución a las dos variables lógicas de salida.

Solución

- Desarrollo de la tabla del sistema.

De las condiciones de operación del sistema se obtiene la tabla que da como resultado al sistema, la tabla es de un sistema combinacional y se define así debido a que las variables de salida son el resultado de la combinación de los valores de las variables lógicas de entrada. La tabla se muestra enseguida con todas las posibles combinaciones del sistema, las cuales son 16.

X	Y	Z	V	F(XYZV)	F(XYZV)
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0
0	1	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	1

Tabla 4-19.

- Determine las ecuaciones que modela a las funciones F y G .

Se deben de obtener dos ecuaciones, una para cada función de salida; los términos de cada ecuación se obtienen de los valores afirmados de cada función.

La ecuación de $F(XYZV)$ debe tener cinco términos, las combinaciones 3, 4, 12, 15 y 16, cuyo resultado es la siguiente ecuación:

$$F(XYZV) = \overline{XYZV} + \overline{XYZV} + \overline{XYZV} + XYZ\overline{V} + XYZV$$

La ecuación de la función $G(XYZV)$ tiene siete términos localizados en las combinaciones 2, 4, 6, 7, 8, 14 y 16; se obtiene la siguiente ecuación:

$$G(XYZV) = \overline{XYZV} + \overline{XYZV} + \overline{XYZV} + \overline{XYZV} + \overline{XYZV} + XY\overline{ZV} + XYZV$$

- c. Dibuje el diagrama de lógica de contactos que dan solución a las dos variables lógicas de salida.

El diagrama de lógica de contactos se muestra en su forma directa en la Fig. 4-57. Otra manera de representar las ecuaciones es obtener factores comunes en cada una de las funciones de salida.

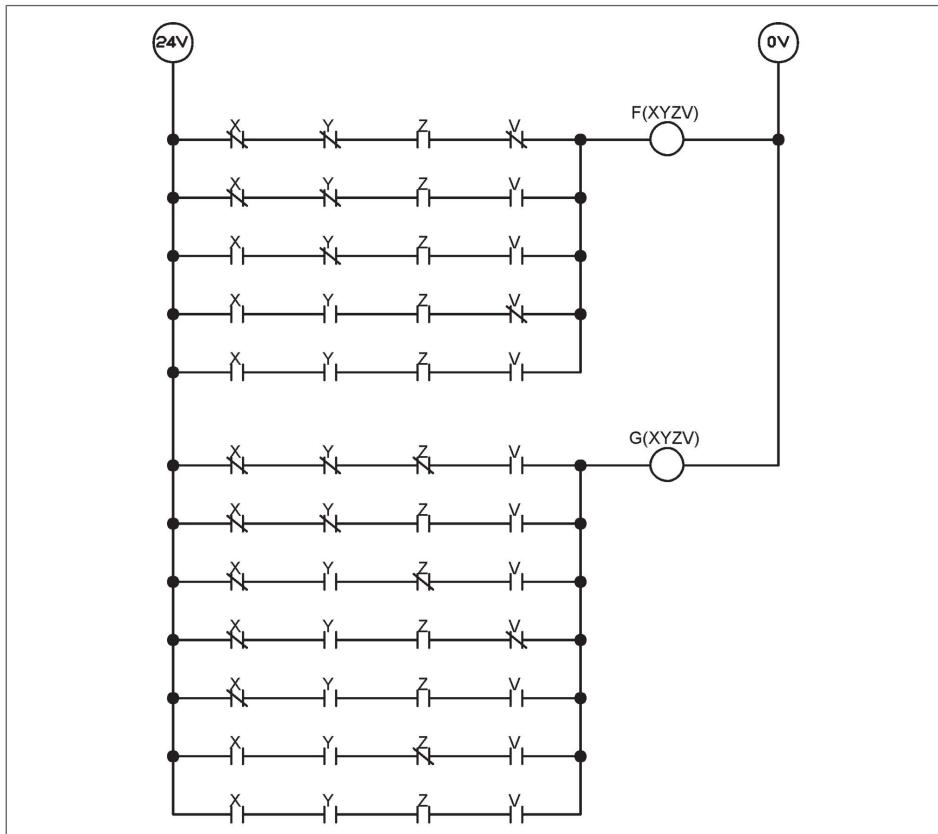


Fig. 4-57.

Si se obtienen factores comunes en ambas funciones de salida, las ecuaciones cambian. Para la función $F(XYZV)$ se obtienen como factor común a X y Y negadas de los dos primeros términos y para los dos siguientes términos se obtiene a X , Z y V como factor común, cuyo resultado es la siguiente ecuación:

$$F(XYZV) = \overline{XY}(\overline{Z}\overline{V} + ZV) + XZV(\overline{Y} + Y)$$

Aplicando el segundo teorema, donde se reduce la función

$$F(XYZV) = \overline{XY}(\overline{Z}\overline{V} + ZV) + XZV$$

La ecuación de $G(XYZV)$ también puede tener factores comunes de los dos primeros términos de esta función; se puede obtener a X y Y negadas como los factores; para los tres términos siguientes se obtiene a X negada y a Y afirmada como los factores comunes; de los dos últimos términos se obtiene a X , Y y Z afirmados como factores comunes, cuyo resultado es la siguiente ecuación:

$$G(XYZV) = \overline{XY}(\overline{Z}\overline{V} + ZV) + \overline{X}Y(\overline{Z}\overline{V} + ZV + Z\overline{V}) + XYV(\overline{Z} + Z)$$

También se aplica el segundo teorema a $(\overline{Z} + Z) = I$, cuyo resultado es la ecuación:

$$G(XYZV) = \overline{XY}(\overline{Z}\overline{V} + ZV) + \overline{X}Y(\overline{Z}\overline{V} + ZV + Z\overline{V}) + XYV$$

El diagrama con factores comunes de ambas funciones de salida se muestra en la Fig. 4-58.

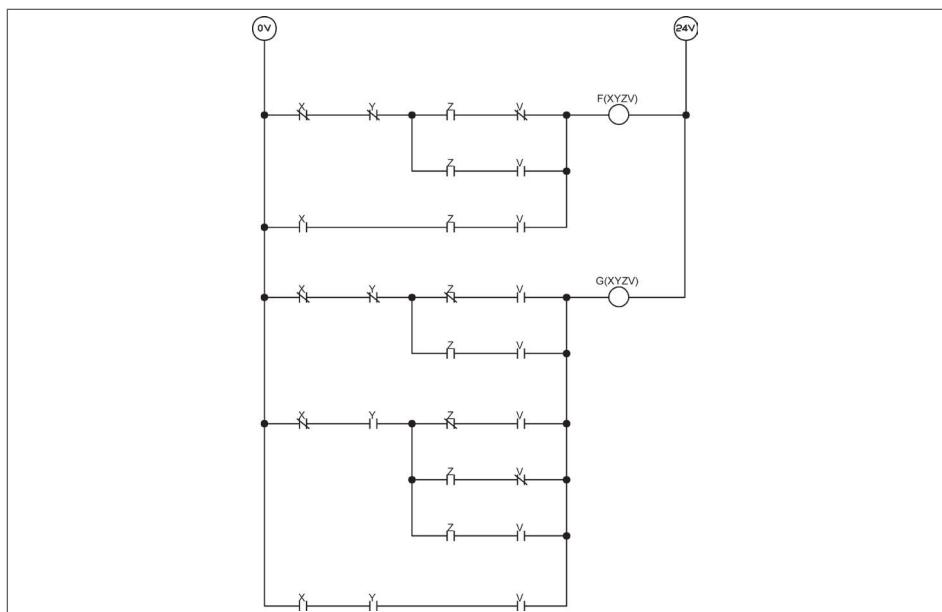


Fig. 4-58. Diagrama de lógica de contactos.

03. A partir del siguiente diagrama de lógica de contactos (Fig. 4-59), obténgase las ecuaciones que representan a cada una de las funciones.

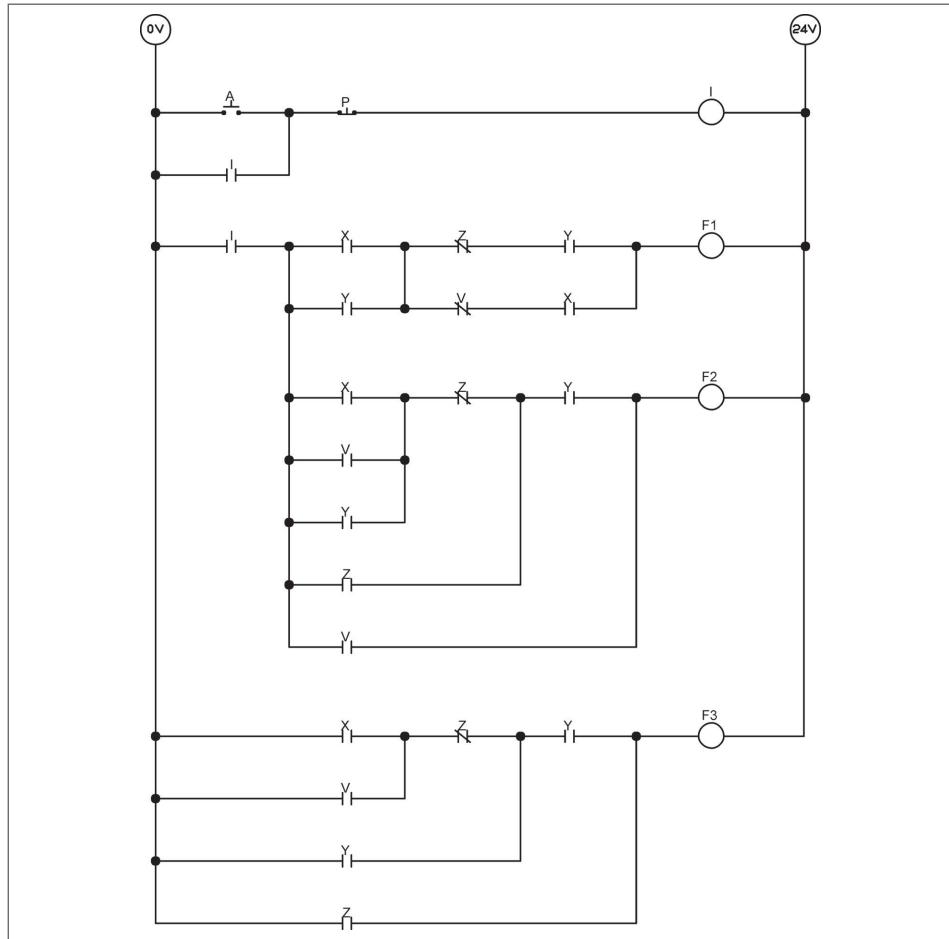


Fig. 4-59.

Solución

Se va a obtener las ecuaciones de las cuatro funciones de salida identificadas como I, F1, F2 y F3.

- Obtención de la función lógica de salida I.

$$I = (A + I) \bar{P}$$

Nótese que el valor de P es negado debido a que es un botón normalmente cerrado; si el circuito se estuviera programando en PLC la variable P debería ser afirmada, ya que la negación se realiza en forma física.

- b. Solución de la función lógica de salida F1.

En la obtención de la ecuación de F1 se observa una suma de X y Y, y una suma de dos multiplicaciones. Iniciamos con la suma de las dos multiplicaciones.

$$F1 = (\overline{Z} Y + \overline{V} X)$$

Se multiplica con la suma de X y Y, y el resultado se multiplica por I, quedando la siguiente ecuación.

$$F1 = (\overline{Z} Y + \overline{V} X) (X + Y) I$$

- c. Encontrar la ecuación para F2.

Primero se realiza la suma de las tres variables X, V e Y, después de esto se realiza la multiplicación del resultado por la Z negada

$$F2 = (((((X + V + Y) \overline{Z}) + Z) Y) + V) I$$

- d. Encontrar la ecuación para F3.

$$F3 = (((((X + V) \overline{Z}) + Y) Y) + Z)$$

04. Un sistema de bombeo contiene un mezclador, una bomba y dos sensores de nivel: nivel alto NA y nivel bajo NB (Fig. 4-60). La secuencia es la siguiente:

Llenado de líquido

- Si ambos sensores no detectan nivel se enciende la bomba y el mezclador está apagado.
- Al detectar nivel el sensor NB sigue encendida la bomba.
- Al detectar nivel el sensor NA se apaga la bomba e inicia el funcionamiento el mezclador.

Consumo de líquido

- Al no detectar nivel el sensor NA, permanece apagada la bomba y encendido el mezclador.
- Al no detectar nivel el sensor NB, se enciende la bomba y se apaga el mezclador.

Obtenga los siguientes puntos:

- La tabla natural del proceso.
- Solucione el sistema con un el método de un estado de memoria.
- Ecuaciones de las variables de salida.
- Circuito con lógica de contactos.

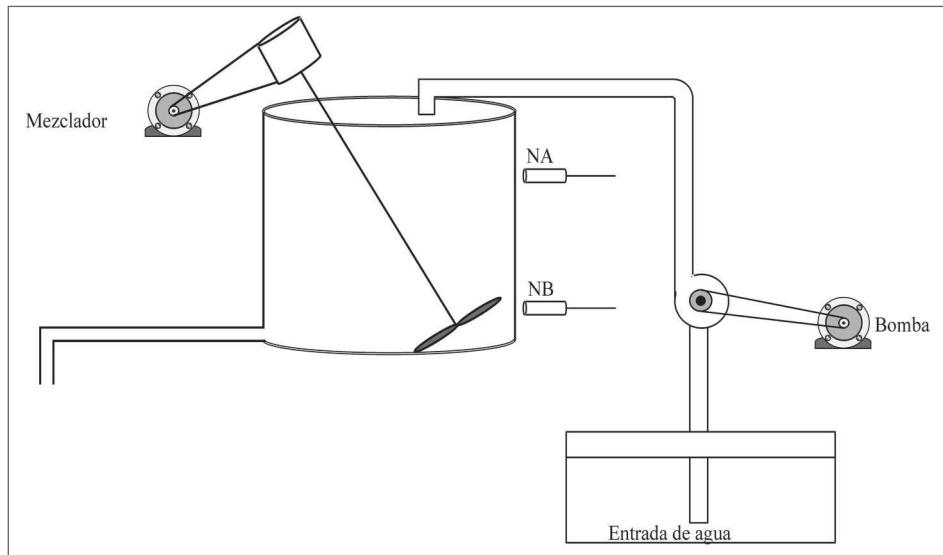


Fig. 4-60. Esquemático del sistema de control de nivel.

- Tabla natural del proceso.

Esta tabla se obtiene de la secuencia establecida y explicada en el problema.

NA	NB	B1	M
0	0	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	0	0	1
0	0	1	0

Tabla 4-20.

El sistema muestra cuatro estados con dos estados incongruentes en valor para cada una de las variables.

- b. Solucione el sistema con el método de un estado de memoria.

Para solucionar los estados incongruentes en valor, que son para B1 el segundo y cuarto estado, y para M los mismos estados, se aplica una variable discreta a los estados de las mismas variables lógicas de salida. La tabla queda de la siguiente manera:

NA	NB	B1	M
0	0	1	0
1	0	B1	M
1	1	0	1
1	0	B1	M
0	0	1	0

Tabla 4-21.

- c. Ecuaciones de las variables de salida.

$$B1 = \overline{NA} \overline{NB} + \overline{NA} NB B1 \\ M = NA NB M + NA NB$$

- d. Circuito con lógica de contactos (Fig. 4-61):

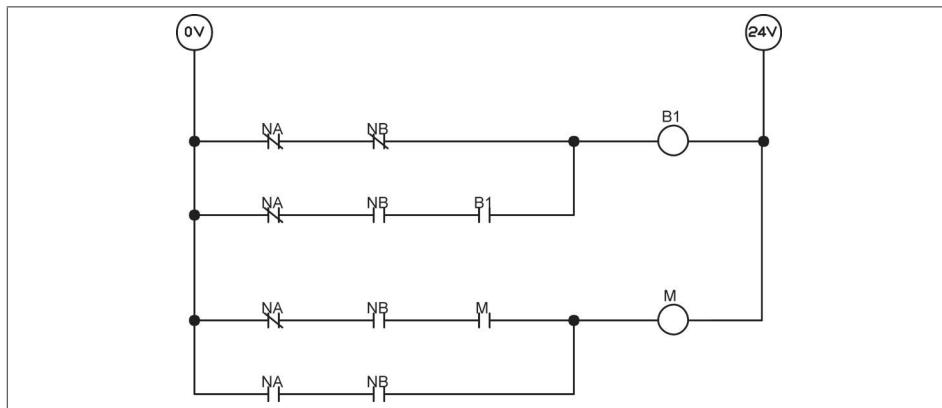


Fig. 4-61

4.5 Preguntas y problemas de estudio

01. ¿Cómo se llama la tabla que representa a un sistema del tipo combinacional?
02. ¿Cómo se llama la tabla que representa a un sistema del tipo secuencial?
03. Además de tablas, ¿de qué otra manera se representa a un sistema?
04. Qué operador representa al circuito serie.
05. Qué operador representa al circuito paralelo.
06. En un sistema combinacional, ¿qué significa ?
07. En un interruptor el nivel lógico de cero “0”, ¿equivale a circuito abierto o cerrado?
08. ¿Cuál es el sistema secuencial más sencillo y utilizado a nivel industrial?

Problemas

01. El encendido y el apagado de una lámpara se controla con tres interruptores. La lámpara se debe de encender cuando al menos dos de los tres interruptores están cerrados.
 - a. Construir la tabla del circuito.
 - b. Obtener la ecuación que dé como afirmada a la función de la lámpara.
 - c. Obtener el diagrama de lógica de contactos de la función obtenida.
02. Un depósito de líquido es alimentado por cuatro bombas de 5, 10, 15 y 20 l/s (litros por segundo). A la salida del depósito hay cuatro válvulas de 5, 10, 20 y 20 l/s. Puede haber cualquier combinación de bombas paradas y bombas trabajando. Diseñar el circuito de control con lógica de contactos de las válvulas, para que siempre se cumplan las siguientes condiciones:

Condición 1. El caudal de salida del depósito debe ser mayor que el de entrada.

Condición 2. Se debe abrir el menor número de válvulas para que se cumpla el inciso a. En caso de existir varias posibilidades, se tomará si es posible aquella que tenga menor caudal de salida. Si no es posible, se tomará una de ellas al azar.

- a. Obtener las ecuaciones lógicas del control de las válvulas.
- b. Obtener el diagrama con operadores lógicos.

- c. Obtener el diagrama con lógica de contactos.
03. Un sistema de bombeo contiene una válvula de salida (VSA), un sistema de arranque y paro, una bomba y dos sensores de nivel: nivel alto NA y nivel bajo NB (Fig. 4-62). El sistema de arranque y paro es prioritario respecto al sistema de control de nivel. La secuencia es la siguiente:

Llenado de líquido

- Si ambos sensores no detectan nivel se enciende la bomba y la válvula de salida (VSA) esta cerrada.
- Al detectar nivel el sensor NB sigue encendida la bomba.
- Al detectar nivel el sensor NA, se apaga la bomba y la válvula de salida (VSA) se abre.

Consumo de líquido

- Al no detectar nivel el sensor NA, permanece apagada la bomba y la válvula de salida sigue abierta.
- Al no detectar nivel el sensor NB, se enciende la bomba y se cierra la válvula de salida (VSA).

Obtenga los siguientes puntos:

- a. La tabla natural del proceso de los dos sistemas; arranque y paro y control de nivel.
- b. Solucione el sistema con el método de un estado de memoria.
- c. Ecuaciones de las variables de salida.
- d. Circuito con lógica de contactos.

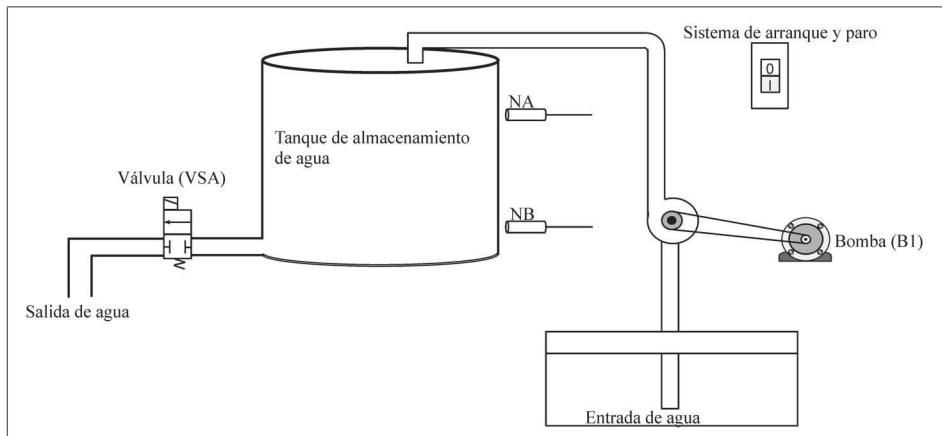


Fig. 4-62. Esquemático del sistema de control de nivel y arranque y paro.

04. De los siguientes diagramas de lógica de contactos (Fig. 4-63, 4-64, 4-65 y 4-66) encuentre la ecuación para cada una de las variables de salida.

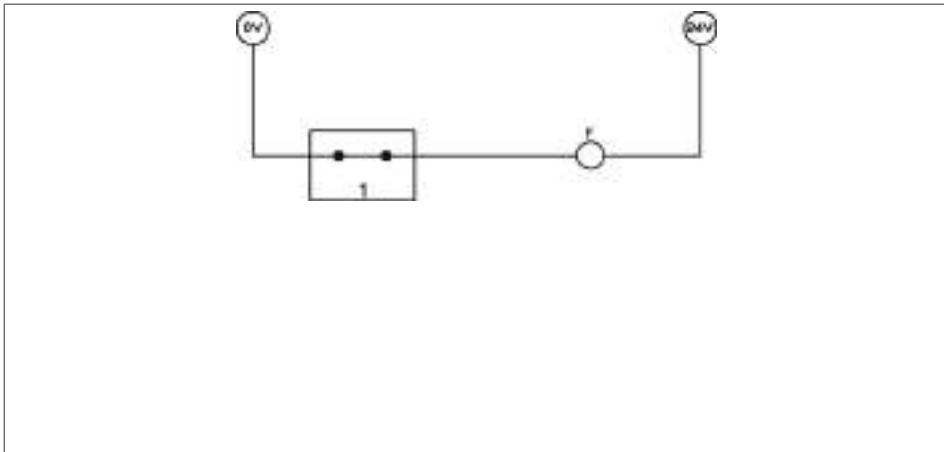


Fig. 4-63.

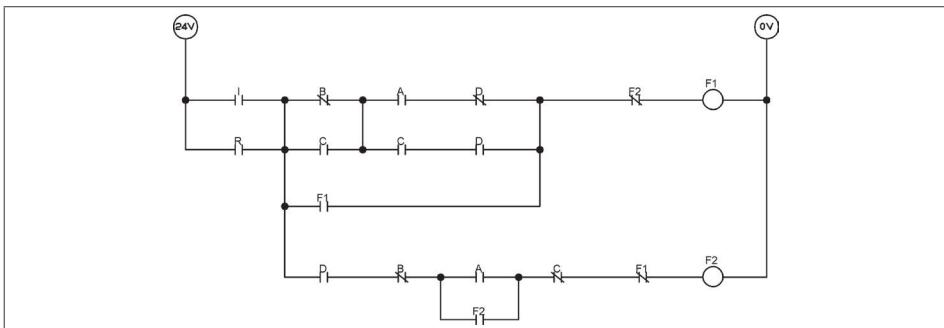


Fig. 4-64.

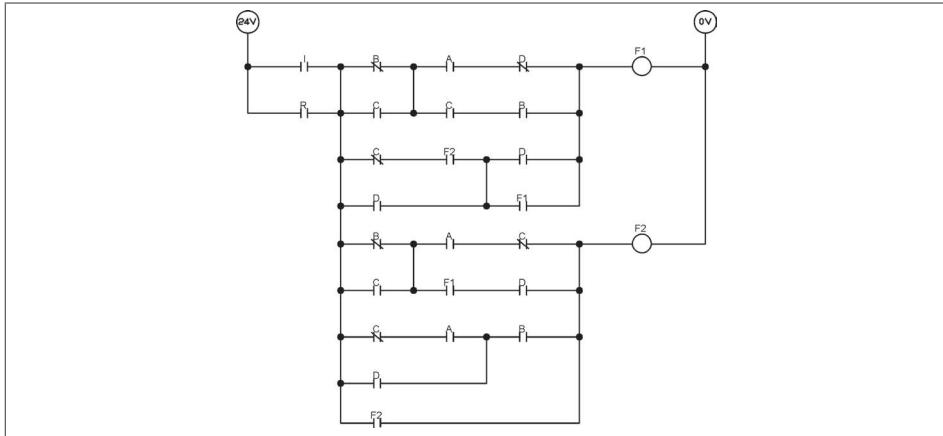


Fig. 4-65.

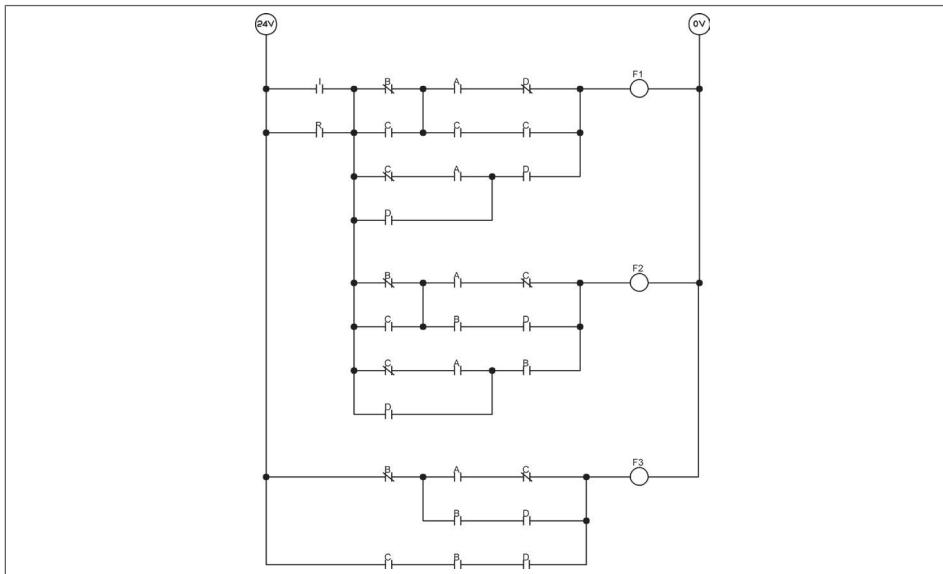


Fig. 4-66.

05. La operación de prensado se realiza con un pistón neumático activado por una electroválvula. El interruptor D debe de estar cerrado para que funcione el pistón, baje hasta la posición B e inmediatamente suba hasta la posición de reposo determinada por el sensor de posición A de la Fig. 4-67, y vuelve a desplazarse hasta detectar al sensor B y así sucesivamente hasta que el interruptor D sea apagado.

- a. Compruebe que la siguiente tabla de estados representa el comportamiento del sistema.

D	A	B	Vs
0	1	0	0
1	1	0	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	0	0	0
1	1	0	1

Tabla 4-22.

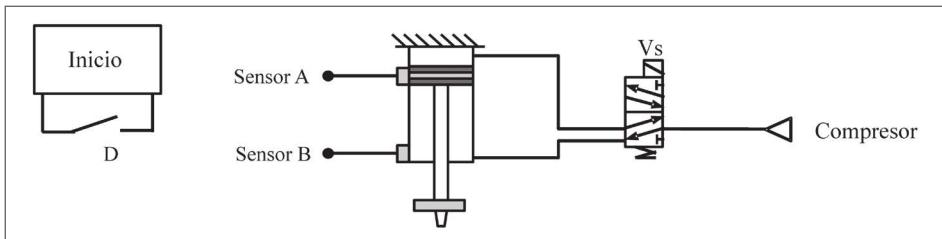


Fig. 4-67. Esquemático de prensa neumática.

- b. La ecuación de VS
 c. Diagrama con lógica de contactos que represente la ecuación de VS.

CAP TULO 5

M todo de “la memoria interna”

5.1 Introducción

Los sistemas automáticos industriales que requieren de la aplicación de más de un estado de memoria para su solución, necesitan otra metodología diferente a “un estado de memoria”. En este capítulo se propone el método de “la memoria interna”, cuya característica fundamental es generar múltiples estados de memoria, una memoria para cada cambio de estado. Este método ayuda a solucionar cualquier tipo de problema secuencial del tipo asíncrono.

La metodología propuesta se basa en la construcción de un esquema y una serie de reglas muy sencillas. La solución se deriva de esta estructura y proporciona una manera rápida, efectiva y sencilla de obtener una solución.

Para aplicar el método se requiere conocer el número de las variables lógicas de entrada y variables lógicas de salida, el número de pasos de la secuencia natural del proceso y los valores de todas las variables en cada estado de la secuencia. La tabla natural del proceso debe incluir todos los estados de la secuencia, incluyendo los estados en que la variable o variables de salida son cero.

La aplicación de sistemas automáticos en la industria moderna es una necesidad. En algunos casos se aplica nueva tecnología de manera novedosa, mientras que en otros simplemente la tecnología es modernizada. Un elemento esencial en la automatización fue el relevador, el cual hoy en día se sustituye con el uso de modernos equipos de controladores lógicos programables (PLC). A pesar de estos avances, permanece la esencia del problema de relevación: se requiere resolver la programación de un dispositivo para obtener una determinada secuencia a entradas específicas.

Un sistema secuencial asíncrono en lazo sigue los pasos ya estipulados por la propia naturaleza del proceso, sin estar sincronizado o comparado por una variable de tiempo, lo que hace difícil de predecir cuánto tiempo se va a demorar el sistema en cada estado, y por consecuencia es difícil predecir cuánto tiempo se va a demorar en un ciclo completo.

La representación gráfica de estos sistemas se realiza mediante un diagrama de flujo en el cual se representan todos los estados del sistema, mientras que la parte analítica se realiza a través del desarrollo de una tabla natural del proceso. El diagrama de flujo está compuesto por los estados del sistema, los cuales se unen mediante conectores de enlace que simbolizan la unión o cambio de estado, iniciando con el estado 1 seguido de los estados posteriores y regresando al mismo estado 1; también indican la dirección en que fluye la información entre los estados. La Fig. 5-1 muestra un sistema secuencial asíncrono con “n” estados.

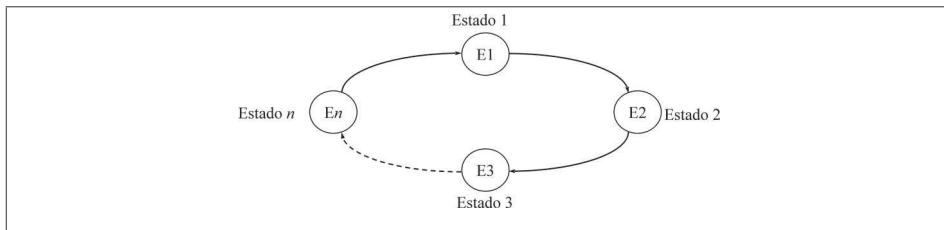


Fig. 5-1. Sistema secuencial con n estados..

5.1.1 Lmites de aplicación

El método de la memoria interna aplica en sistemas de relevación digital y no en sistemas de relevación electromecánica. La diferencia entre ambos relevadores es la respuesta en la activación y desactivación de los contactos. El relevador digital está presente en los lenguajes de programación de los controladores lógicos programables y en los programas de computadora utilizados para la simulación de sistemas de control eléctrico.

Como se mencionó, la diferencia entre el relevador electromecánico y el relevador digital es la respuesta en la activación de los contactos que dependen de ellos; el relevador electromecánico tiene un retardo implícito en la distancia que tiene que recorrer el contacto móvil para tocar o retirarse del contacto fijo. Este movimiento se realiza durante el cambio de estado de los contactos. Por su parte, el relevador digital cambia de estado a sus contactos en el mismo momento que se energiza la bobina; esto indica que no existe tiempo de retardo en la activación y desactivación de los contactos. Esta forma de operar del relevador digital es la razón en la cual se basa el “método de la memoria interna”.

Relevador digital

El circuito de la Fig. 5-2 muestra al relevador digital M0.1, el cual tiene dos contactos, uno normalmente abierto y otro normalmente cerrado; asimismo muestra la respuesta de un relevador digital en un programa de simulación, en el que fue programado el cierre y apertura de un contacto.

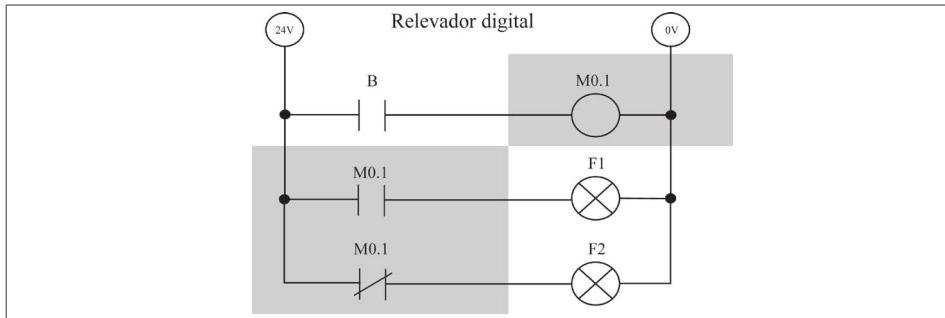


Fig. 5-2. Relevador digital.

La gráfica (Tabla 5-1) muestra la respuesta de un relevador digital, en que se aprecia que no hay retardo en el cambio de estados de los contactos. Esta respuesta se obtiene de un programa de simulación. La respuesta que se obtiene es el encendido y apagado de los indicadores luminosos identificados como F1 y F2. Dicha simulación se realizó con el programa FluidSIM® de FESTO.

Denominación del componente	Marca	Diagrama	
Contacto normalmente abierto	B	1	
Relevador digital	M0.1	1	
Indicador luminoso	F1	1	
Indicador luminoso	F2	1	

Tabla 5-1. Respuesta de un relevador digital programado con el FluidSIM.

Relevador en el PLC Siemens [1]

En los controladores lógicos programables el relevador se considera como una memoria: al encender o apagar una memoria, cambian de estado los contactos dependientes de esta memoria, los cuales se pueden utilizar como relés de control para almacenar el estado inmediato de una operación u otra información de control. El ejemplo muestra cómo se estructura una memoria en el software MicroWin de Siemens.

Bit: M [dirección del bit], ejemplo M0.0

Un diagrama con el mismo PLC incluyendo una memoria (M0.0) y controlando dos salidas (Q0.0 y Q0.1) muestran que al momento de que se active I0.0, en el mismo instante se va a habilitar Q0.0 y se apaga Q0.1. Véase la Fig. 5-3.

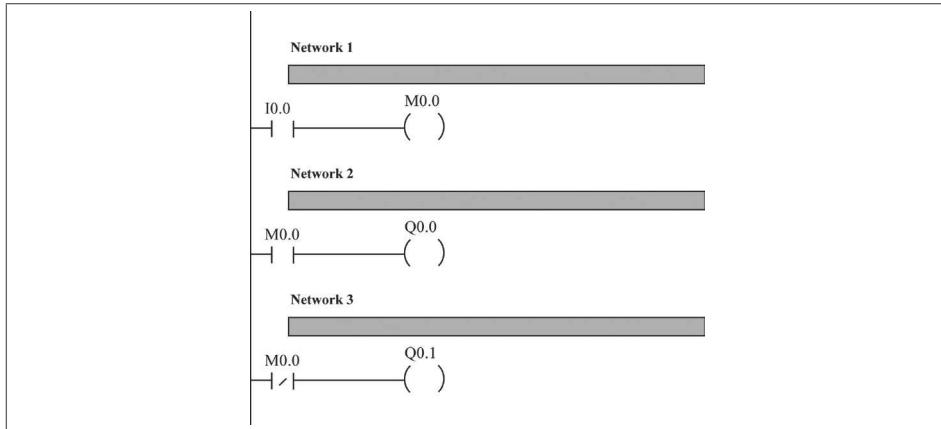


Fig. 5-3.

5.2 M todo de “la memoria interna”

Una parte fundamental de la metodología es recordar cambios de estado en un sistema secuencial. Al existir cambios de estado en las variables de entrada el sistema está en operación y las variables de salida pueden cambiar de valor lógico o permanecer con el mismo valor; esto denota que un sistema secuencial efectivamente tiene memoria.

Con el solo hecho de que existan cambios en las variables lógicas de entrada, es suficiente para que el sistema esté en operación; de otra manera, si no hay cambios en las variables de entrada y el sistema secuencial no contiene la variable tiempo dentro de su estructura, esto indica que el sistema se quedó estable en uno de los estados, lo que es lo mismo que el sistema se quedó parado.

La siguiente tabla de estados muestra un proceso con dos variables lógicas de entrada, A y B, y dos variables lógicas de salida, SALIDA1 y SALIDA2.

Estado	A	B	Salida 1	Salida 2
1	0	0	1	0
2	0	1	1	0
3	1	1	0	1
4	0	1	0	1
1	0	0	1	0

Tabla. 5-2.

El sistema tiene cuatro estados y en la tabla de estados se denota que regresa al estado inicial; con esto se está considerando todo un ciclo y por lo tanto se están considerando todos los posibles estados del sistema.

Para que el sistema opere de manera constante se requiere que los valores de las entradas también aparezcan en forma constante; si se detiene por alguna razón en algún estado, significa que los valores de las entradas se quedaron sin tener cambio alguno.

5.2.1 Memoria interna

Es un dispositivo del tipo binario, sólo tiene dos estados: encendido o apagado. Consta de una bobina la cual debe de ser activada para que los contactos que dependen de ella puedan cambiar de estado. Con estos cambios de estado se activan o desactivan funciones ya sea de salidas o de memorias. Es el dispositivo lógico en que se basa el método llamado “memoria interna”, y es el resultado de los cambios de estado del proceso, y se generan para ayudar a recordar los cambios de estado del proceso.

La memoria interna se utiliza sólo como medio para solucionar un sistema secuencial, debido a que es difícil obtener una solución para la o las variables de salida con aplicar solamente los valores de las variables de entrada. Se le describe como interna dado que es una variable que no sale al exterior de manera directa, sino en forma indirecta al ser parte de una ecuación que representa a una variable de salida. La memoria interna en un controlador lógico programable (PLC) se denomina *relevador interno* en algunos controladores, mientras que en otros se le llama simplemente *memoria*, y en algunos otros controladores son bits internos.

Cada cambio de estado en el proceso genera una memoria interna, la cual se representa con una ecuación resultante de la aplicación del operador lógico “OR” a los valores de los términos que intervienen en el cambio de estado. Cada estado se representa con el operador “AND”, el cual tiene como entradas todos los valores de las variables lógicas de entrada en su estado natural; algunas variables de entrada pueden tener valor cero, lo que implica aplicar un operador lógico “NOT” como la negación propia de la variable.

La ecuación del estado de memoria tiene mínimo dos términos, los cuales se aplican a un operador “OR”. Los términos son el resultado de aplicar a las entradas del operador “AND” los valores de las variables lógicas de entrada en sus estados naturales.

El número de estados del proceso es igual al número de memorias internas que se tienen que generar, pues se sabe que la función de las memorias es recordar cambios de estado en el proceso.

La variable que va a representar a la memoria interna es la letra “M”, con números consecutivos para verificar que coincida el número de estados del proceso con el número de memorias que se requieren generar. El diagrama de la Fig. 5-4 tiene cinco memorias internas:

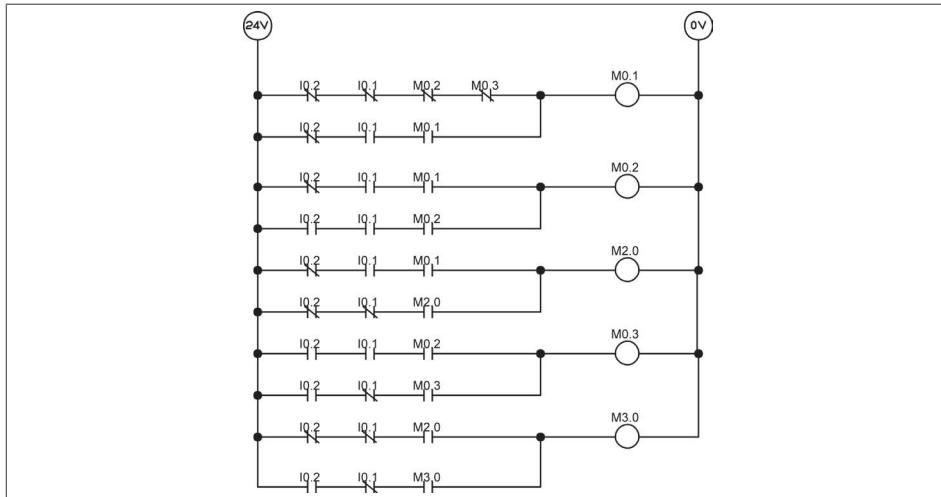


Fig. 5-4. Diagrama con cinco memorias internas.

5.2.2 Metodología de la memoria interna

El método de la memoria interna se aplica en cuatro pasos y es necesario que sucedan en el orden que se presentan.

Paso 1. Obtener la tabla natural del proceso.

Paso 2. Desarrollar la tabla de memorias.

Paso 3. Obtener las ecuaciones de las memorias y variables lógicas de salida.

Paso 4. Representar las ecuaciones del sistema en un diagrama escalera o en un diagrama con operadores lógicos.

5.2.2.1 Tabla natural del proceso

Es la representación analítica paso a paso de un sistema secuencial. Para obtener esta tabla es necesario conocer los valores lógicos que tienen las variables lógicas de entrada y las variables lógicas de salida en cada estado del proceso que

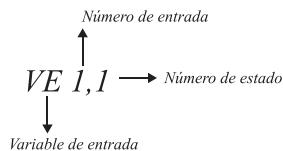
se va a analizar. Consta básicamente de dos columnas: la columna de los valores lógicos de las variables de entrada y la de los valores lógicos de las variables de salida.

La siguiente tabla muestra un sistema de cuatro estados con dos variables de entrada y una de salida y presenta la manera en que se construye una tabla natural del proceso.

Tabla natural del proceso			
Estado	Variables de entrada		Variables de salida
	VE1	VE2	VS1
1	VE1,1	VE2,1	VS1,1
2	VE1,2	VE2,2	VS1,2
3	VE1,3	VE2,3	VS1,3
4	VE1,4	VE2,4	VS1,4
1	VE1,1	VE2,1	VS1,1

Tabla 5-3.

Donde:



Los valores de ambas variables son los necesarios para tener como efecto final el resultado esperado. En esta tabla se debe de incluir a todos los estados, incluyendo aquellos en que la variable de salida es cero.

Tabla natural de proceso de un sistema con n estados

La tabla representa un sistema secuencial con “ n ” números de estados y está construida por “ n ” números de variables lógicas de entrada y de variables lógicas de salida.

Es importante que la tabla inicie con el estado 1 del primer ciclo y termine con el estado 1 del segundo ciclo, con lo cual se aseguran fundamentalmente dos aspectos: que el sistema es secuencial y que todos los estados del sistema han sido considerados.

Estado	Tabla natural del proceso									
	Variables de entrada					Variables de salida				
	VE1	VE2	* * *	VEn-1	VEn	VSI	VS2	* * *	VSn-1	VSn
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	VSI,1	VS2,1	* * *	VSn-1,1	VSn,1
2	VE1,2	VE2,2	* * *	VEn-1,2	VEn,2	VSI,2	VS2,2	* * *	VSn-1,2	VSn,2
3	VE1,3	VE2,3	* * *	VEn-1,3	VEn,3	VSI,3	VS2,3	* * *	VSn-1,3	VSn,3
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
n-1	VE1,n-1	VE2,n-1	* * *	VEn-1,n-1	VEn,n-1	VSI,n-1	VS2,n-1	* * *	VSn-1,n-1	VSn,n-1
n	VE1,n	VE2,n	* * *	VEn-1,n	VEn,n	VSI,n	VS2,n	* * *	VSn-1,n	VSn,n
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	VSI,1	VS2,1	* * *	VSn-1,1	VSn,1

Tabla 5-4

5.2.2.2 Tabla de memorias

Una vez que se tiene la tabla natural del proceso, se procede a obtener la tabla de memorias, lo cual consiste en llenar la tabla natural del proceso con las variables lógicas llamadas memoria. El número de memorias que se va a utilizar es igual al número de estados del sistema. A partir de la tabla anterior se deduce que el sistema tiene “ n ” estados, de manera que para su solución se requiere generar “ n ” estados de memoria.

Para que sea evidente la manera en que se obtiene la tabla de memorias, se va a analizar estado por estado el llenado de la tabla.

Primer estado

Este estado de la tabla es el más crítico de todo el sistema, y su desarrollo se inicia haciendo el primer valor de la memoria 1 (M_1) igual a 1, $M_1=1$; en este mismo estado el valor de la última memoria, en este caso “ M_n ”, es igual a su propia variable $M_n=M_n$; todas las demás memorias en este mismo estado tienen un valor de cero “0”.

Segundo estado

El valor de M_1 es igual a su propio valor, es decir $M_1=M_1$; haciendo esta igualdad la memoria M_1 va a recordar su estado anterior, teniendo M_1 un valor lógico de “1”, esto debido a que el estado anterior de esta memoria es precisamente “1”, pero no se le asigna este valor lógico, sino se le asigna el valor de la misma variable, M_1 , con lo cual ya se está generando un estado de memoria. También en este mismo estado se enciende la memoria M_2 , dándole un valor lógico de “1”, quedando entonces $M_2 = 1$; el valor de las otras memorias sigue siendo un “0” lógico.

Tercer estado

En este estado el valor de M_1 es igual a “0” y el valor de M_2 , es $M_2=M_2$, lo que indica que M_2 va a recordar su estado anterior; el valor lógico es “1”; la asignación del valor de M_2 obedece a la generación de estados de memorias.

n Estado

Este es el último estado de la secuencia, y las memorias con valor son sólo M_{n-1} y M_n ; las restantes tienen valor lógico “0”. El valor de la memoria M_{n-1} es igual a su propio valor, pero en lugar de darle el valor lógico de “1” se le aplica la variable lógica de la propia memoria, $M_{n-1}=M_{n-1}$ y el valor de la memoria M_n , que es la última memoria del sistema y tiene un valor lógico de “1”, y con este valor se da por terminada la tabla de memorias.

Generación de la tabla natural del proceso y de memorias

Una vez que se analizaron los valores de los estados anteriores, éstos pueden representarse en una tabla que se construye con los valores de las variables lógicas de entrada, de salida y las memorias. El resultado es la siguiente tabla.

Estado	Variables de entrada					Variables de salida					Memorias				
	VEn1	VEn2	* * *	VEn-1	VEn	VS1	VS2	* * *	VSn-1	VSn	M1	M2	* * *	Mn-1	Mn
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	VS1,1	VS2,1	* * *	VSn-1,1	VSn,1	1	0	* * *	0	Mn
2	VE1,2	VE2,2	* * *	VEn-1,2	VEn,2	VS1,2	VS2,2	* * *	VSn-1,2	VSn,2	1	1	* * *	0	0
3	VE1,3	VE2,3	* * *	VEn-1,3	VEn,3	VS1,3	VS2,3	* * *	VSn-1,3	VSn,3	0	M2	* * *	0	0
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
n-1	VE1,n-1	VE2,n-1	* * *	VEn-1,n-1	VEn,n-1	VS1,n-1	VS2,n-1	* * *	VSn-1,n-1	VSn,n-1	0	0	* * *	1	0
n	VE1,n	VE2,n	* * *	VEn-1,n	VEn,n	VS1,n	VS2,n	* * *	VSn-1,n	VSn,n	0	0	* * *	Mn-1	1
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	VS1,1	VS2,1	* * *	VSn-1,1	VSn,1	1	0	* * *	0	Mn

Tabla 5-5.

En resumen, se genera una memoria para cada cambio de estado. En la tabla se observa que en el cambio de estado de 1 a 2 se genera la memoria M₁, mientras que entre el estado 2 y 3 se genera la memoria M₂ y así sucesivamente hasta llegar al último estado, en donde la transición del último estado al primer estado del segundo ciclo se genera la memoria M_n, siendo ésta la última memoria de la tabla.

5.3 Ecuaciones de las memorias

Después de obtener la tabla natural del proceso y de memorias, se puede obtener una ecuación para cada variable de salida y cada variable de memoria. Esta representación analítica debe de estar estructurada por dos o más términos, los cuales en las ecuaciones de las variables de salida van a depender del número de estados en que la variable sea afirmada.

Ecuaciones de memorias

Los términos de las ecuaciones de las memorias van a contener sólo valores de las variables de entrada y valores de las propias memorias. Removiendo la tabla de las variables de salida se obtiene la siguiente tabla, y a partir de ésta se van a obtener las ecuaciones de las variables de memoria, una para cada memoria.

Estado	Tabla natural del proceso y memorias									
	Variables de entrada					Memorias				
	VE1	VE2	* * *	VEn-1	VEn	M1	M2	* * *	Mn-1	Mn
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	1	0	* * *	0	Mn
2	VE1,2	VE2,2	* * *	VEn-1,2	VEn,2	M1	1	* * *	0	0
3	VE1,3	VE2,3	* * *	VEn-1,3	VEn,3	0	M2	* * *	0	0
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
n-1	VE1,n-1	VE2,n-1	* * *	VEn-1,n-1	VEn,n-1	0	0	* * *	1	0
n	VE1,n	VE2,n	* * *	VEn-1,n	VEn,n	0	0	* * *	Mn-1	1
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	1	0	* * *	0	Mn

Tabla 5-6.

De esta tabla se obtienen ecuaciones para las memorias M_1 , M_2 , M_{n-1} y M_n . Las ecuaciones son las siguientes:

Ecuación de M_1

Estado	Tabla natural del proceso y memorias									
	Variables de entrada					Memorias				
	VE1	VE2	* * *	VEn-1	VEn	M1	M2	* * *	Mn-1	Mn
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	1	0	* * *	0	Mn
2	VE1,2	VE2,2	* * *	VEn-1,2	VEn,2	M1	1	* * *	0	0
3	VE1,3	VE2,3	* * *	VEn-1,3	VEn,3	0	M2	* * *	0	0
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tabla 5-7.

El valor más crítico de todos es el primer término de la memoria M_1 ; en este valor se considera los estados negados de la memoria M_2 hasta la memoria M_{n-1} , el valor de M_n no se considera debido a que el valor numérico de esta variable en el estado 1 del primer ciclo es igual a “0” y el valor numérico cambia en el segundo ciclo, ya que el valor en este estado es igual a “1”. El segundo término de la ecuación tiene menos variables comparado con el primer término, lo cual se debe a que el segundo término tiene como datos sólo a los valores de las variables de entrada y a su propia variable.

Ecuación de M_1

$$M_1 = VE_{1,1} \cdot VE_{2,1} \cdot \dots \cdot VE_{n-1,1} \cdot VE_{n,1} \cdot \overline{M_2} \cdot \dots \cdot \overline{M_{n-1}} + VE_{1,2} \cdot VE_{2,2} \cdot \dots \cdot VE_{n-1,1} \cdot VE_{n,2} \cdot M_1$$

Ecuación de M_2

La memoria M_1 enciende a la siguiente memoria de la secuencia, que es M_2 ; en el estado 2 de la secuencia la memoria M_1 recuerda su estado anterior y a la vez esta misma memoria enciende a la memoria M_2 . La ecuación de esta memoria se presenta en seguida.

Tabla natural del proceso y memorias											
Estado	Variables de entrada					Memorias					
	VE1	VE2	* * *	VEn-1	VEn	M1	M2	* * *	Mn-1	Mn	
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	1	0	* * *	0	Mn	
2	VE1,2	VE2,2	* * *	VEn-1,2	VEn,2	M1	1	* * *	0	0	
3	VE1,3	VE2,3	* * *	VEn-1,3	VEn,3	0	M2	* * *	0	0	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

Tabla 5-8.

La ecuación de la memoria M_2 se obtiene de los valores de los estados 2 y 3 de la tabla $M_2 = VE_{1,2} \cdot VE_{2,2} \cdot \dots \cdot VE_{n-1,2} \cdot VEn_{,2} \cdot M_1 + VE_{1,3} \cdot VE_{2,3} \cdot \dots \cdot VE_{n-1,3} \cdot VEn_{,3} \cdot M_2$

Ecuación de M_{n-1}

Aunque no se muestra en la tabla de memorias, la memoria M_{n-2} enciende a la memoria M_{n-1} y debe considerarse en la ecuación de esta memoria.

Tabla natural del proceso y memorias											
Estado	Variables de entrada					Memorias					
	VE1	VE2	* * *	VEn-1	VEn	M1	M2	* * *	Mn-1	Mn	
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	1	0	* * *	0	Mn	
2	VE1,2	VE2,2	* * *	VEn-1,2	VEn,2	M1	1	* * *	0	0	
3	VE1,3	VE2,3	* * *	VEn-1,3	VEn,3	0	M2	* * *	0	0	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
n-1	VE1,n-1	VE2,n-1	* * *	VEn-1,n-1	VEn,n-1	0	0	* * *	1	0	
n	VE1,n	VE2,n	* * *	VEn-1,n	VEn,n	0	0	* * *	Mn-1	1	
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	1	0	* * *	0	Mn	

Tabla 5-9.

La ecuación de esta memoria se obtiene de los estados $n-1$ y n , cuyo resultado es la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación de } M_{n-1}$$

$$M_{n-1} = VE_{1,n-1} \cdot VE_{2,n-1} \cdot \dots \cdot VE_{n-1,n-1} \cdot VEn_{,n-1} \cdot M_{n-2} + VE_{1,n} \cdot VE_{2,n} \cdot \dots \cdot VE_{n-1,n} \cdot VEn_{,n} \cdot M_{n-1}$$

Ecuación de M_n

Esta memoria es la última de la secuencia y M_{n-1} es la que enciende a esta memoria, la cual ayuda a comprobar que el sistema es secuencial ya que los términos de la ecuación son precisamente el estado final del primer ciclo y el estado inicial del segundo ciclo.

Tabla natural del proceso y memorias											
Estado	Variables de entrada					Memorias					
	VE1	VE2	* * *	VEn-1	VEn	M1	M2	* * *	Mn-1	Mn	
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	1	0	* * *	0	Mn	
2	VE1,2	VE2,2	* * *	VEn-1,2	VEn,2	M1	1	* * *	0	0	
3	VE1,3	VE2,3	* * *	VEn-1,3	VEn,3	0	M2	* * *	0	0	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
n-1	VE1,n-1	VE2,n-1	* * *	VEn-1,n-1	VEn,n-1	0	0	* * *	1	0	
n	VE1,n	VE2,n	* * *	VEn-1,n	VEn,n	0	0	* * *	Mn-1	1	
1	VE1,1	VE2,1	* * *	VEn-1,1	VEn,1	1	0	* * *	0	Mn	

Tabla 5-10.

Ecuación de M_n

$M_n = VE_{1,n} \cdot VE_{2,n} \cdot \dots \cdot VE_{n-1,n} \cdot VE_{n,n} \cdot M_{n-1} + VE_{1,1} \cdot VE_{2,1} \cdot \dots \cdot VE_{n-1,1} \cdot VE_{n,1} \cdot M_1$
Con la ecuación de M_n quedan consideradas todas las ecuaciones de las memorias.

Ecuación general para M_1

La memoria M_1 , además de obtenerse paso a paso, se puede obtener de una ecuación general construida por un sistema de n estados y con m variables de entrada; esta memoria es la más crítica del sistema de memorias, y esta ecuación sólo aplica a la memoria M_1 .

Ecuación: 1

Ecuación general para M_1

$$M_1 = VE_{1,z} \rightarrow \bullet V \overset{m}{E}_{a,z} \bullet \underset{a=2}{\overline{(M_2 \rightarrow \bullet \overline{M_{n-1}})}} + VE_{1,(z+1)} \rightarrow \bullet V \overset{m}{E}_{a,(z+1)} \bullet M_1 \underset{a=2}{}$$

Donde:

n = Es la n -ésimo estado del sistema secuencial

m = Es la m -ésima variable de entrada

z = Es el z -ésimo estado del sistema se inicia con valor $z=1$

Ecuación general para M_{n-1}

Para el resto de las memorias del sistema se aplica la ecuación 2 desde la memoria M_2 hasta la memoria M_{n-1} , y está basada en un sistema con n estados y con m variables de entrada

Ecuación: 2

Ecuación general para M_{n-1}

$$M_{n-1} = \underset{n=2}{VE_{a,n}} \bullet M_{n-1} + \underset{a=1}{VE_{a,(n+1)}} \bullet M_n$$

Donde

n = Es la n -ésimo estado del sistema secuencial

m = Es la m -ésima variable de entrada

Ecuación general para M_n

Para el resto de las memorias del sistema se aplica la ecuación M_2 desde la memoria M_2 hasta la memoria M_{n-1} , y está basada en un sistema con n estados y con m variables de entrada.

Ecuación 3

Ecuación general para M_n

$$M_n = \sum_{a=1}^m VEA_{a,n} \cdot M_{n-1} + \sum_{a=1}^m VEA_{a,1} \cdot M_n$$

Donde:

n = Es la n -ésimo estado del sistema secuencial

m = Es la m -ésima variable de entrada

Ejemplo 1

Un sistema de control de nivel tiene dos sensores como entradas NA y NB, nivel alto y nivel bajo respectivamente, y como salida una bomba B1. La secuencia del sistema se presenta en la siguiente tabla de estados. Se requiere solucionar el sistema obteniendo primero la tabla con las memorias, después las ecuaciones para las mismas memorias y la función de salida que es la bomba (B1), así como representar estas ecuaciones en un diagrama de lógica de contactos.

Estado	NA	NB	B1
1	0	0	1
2	0	1	1
3	1	1	0
4	0	1	0
1	0	0	1

Tabla 5-11.

Solución

El sistema tiene cuatro estados; aplicando el método de la memoria interna se deben obtener cuatro memorias cuyo resultado es la siguiente tabla de estados con las memorias ya incluidas.

Tabla de estados con memorias							
Estado	NA	NB	B1	M1	M2	M3	M4
1	0	0	1	1	0	0	M4
2	0	1	1	M1	1	0	0
3	1	1	0	0	M2	1	0
4	0	1	0	0	0	M3	1
1	0	0	1	1	0	0	M4

Tabla 5-12.

Ecuaciones de las memorias

La ecuación M_1 se obtiene con la ecuación 1

$$M_1 = VEA_{1,1} \rightarrow \cdot VEA_{a,1} \cdot (\overline{M_2} \rightarrow \cdot \overline{M_{n-1}}) + VEA_{1,2} \rightarrow \cdot VEA_{a,2} \cdot M_1$$

$$a = 2 \qquad \qquad \qquad n = 4 \qquad \qquad \qquad a = 2$$

Donde: $m=2$ y $n=4$; al sustituir estos valores se obtiene el valor de M_1 .

$$M_1 = VE_{1,1} \rightarrow \cdot \overline{VE_{a,1}} \cdot (\overline{\overline{M}_2} \rightarrow \cdot \overline{\overline{M}_{n-1}}) + VE_{1,2} \rightarrow \cdot \overline{VE_{a,2}} \cdot M_1$$

$a = 2$ $n = 4$ $a = 2$

$$M_1 = VE_{1,1} \cdot VE_{2,1} \cdot \overline{M}_2 \cdot \overline{M}_3 + VE_{1,2} \cdot VE_{2,2} \cdot M_1$$

Comparando la tabla de valores lógicos con la tabla de las variables de entrada, se puede obtener los valores de las variables de entrada.

Estado	NA	NB	B1	M1	M2	M3	M4
1	0	0	1	1	0	0	M4
2	0	1	1	M1	1	0	0
3	1	1	0	0	M2	1	0
4	0	1	0	0	0	M3	1
1	0	0	1	1	0	0	M4

Estado	NA	NB	B1	M1	M2	M3	M4
1	VE1,1	VE2,1	1	1	0	0	M4
2	VE1,2	VE2,2	1	M1	1	0	0
3	VE1,3	VE2,3	0	0	M2	1	0
4	VE1,4	VE2,4	0	0	0	M3	1
1	VE1,1	VE2,1	1	1	0	0	M4

Tabla 5-13

cuyo resultado es la siguiente ecuación M1

$$M_1 = \overline{NA} \cdot \overline{NB} \cdot \overline{M}_2 \cdot \overline{M}_3 + \overline{NA} \cdot NB \cdot M_1$$

Las ecuaciones para M2 y M3 se obtienen utilizando la ecuación 2.

$$M_n = \overline{VE}_{a,n} \cdot M_{n-1} + \overline{VE}_{a,(n+1)} \cdot M_n$$

$n = 2$ $a = 1$ $a = 1$

Para $n=2$ y $m=2$

$$M_2 = VE_{1,2} \cdot VE_{2,2} \cdot M_1 + VE_{1,3} \cdot VE_{2,3} \cdot M_2$$

$$M_2 = \overline{NA} \cdot NB \cdot M_1 + NA \cdot NB \cdot M_2$$

Para $n=3$ y $m=2$

$$M_3 = VE_{1,3} \cdot VE_{2,3} \cdot M_2 + VE_{1,4} \cdot VE_{2,4} \cdot M_3$$

$$M_3 = NA \cdot NB \cdot M_2 + \overline{NA} \cdot NB \cdot M_3$$

Para obtener a M₄ se aplica la ecuación 3 con los valores n=4 y m=2

$$M_n = \sum_{a=1}^m VE_{a,n} \cdot M_{n-1} + \sum_{a=1}^m VE_{a,1} \cdot M_n$$

$$M_4 = VE_{1,4} \cdot VE_{2,4} \cdot M_3 + VE_{1,1} \cdot VE_{2,1} \cdot M_4$$

$$M_4 = A \cdot M_3 + \bar{A} \cdot M_4$$

Valores lógicos de las variables de entrada en el primer estado

Los valores lógicos de las variables de entrada localizados en el primer estado del sistema, son fundamentales para el método de la memoria interna. Éstos inician a la memoria M₁ con valor lógico 1, los valores de las variables de entrada son multiplicados con los valores negados de las memorias desde M₂ hasta M_{n-1} y con esto se asegura el encendido de la memoria M₁.

Este valor es el más largo de las ecuaciones obtenidas, ya que su función es que no se encienda la memoria M₁ en los estados próximos del sistema. Con la intención de reducir el número de variables que componen el término 1 de la memoria M₁, se presentan las únicas dos situaciones que se pueden presentar: cuando los valores de las variables de entrada del estado 1 del sistema no se repiten y cuando sí se repiten en los estados intermedios. A estos estados les llama valores lógicos del estado 1 únicos y valores lógicos del estado 1 repetidos, respectivamente. A continuación se explica cada una de estas situaciones.

Valores lógicos únicos en el estado 1

Cuando los valores del primer estado son únicos, es decir, no se repiten en los siguientes estados que componen al sistema, por lo tanto el valor inicial de M₁ se puede reducir significativamente a sólo los valores lógicos de entrada como condición, y se sigue obteniendo las memorias siguientes con la aplicación del método de la memoria interna. Esta disposición cambia a la ecuación 1 obtenida en forma general para la memoria M₁.

Ecuación 1:

$$M_1 = \sum_{a=1}^m VE_{a,z} \cdot (M_2 \rightarrow M_{n-1}) + \sum_{a=1}^m VE_{a,(z+1)} \cdot M_1$$

Al tener un sistema con valores lógicos únicos en el estado 1, esta ecuación cambia ya que no se debe considerar el negado de las memorias en el primer término; tomando en cuenta esto, el resultado es la ecuación 3.

Ecuación 3:

$$M_1 = VE_{1,1} \cdot \rightarrow \cdot VE_{a,1} + \sum_{a=1}^m VE_{a,(z+1)} \cdot M_1$$

Este cambio se aplica al ejemplo 1 para reducir el número de variables que componen a la ecuación de M1 en el primer término, cuyo resultado es la siguiente ecuación.

$$M_1 = VE_{1,1} \cdot VE_{2,1} + VE_{1,2} \cdot VE_{2,2} \cdot M_1$$

$$M_1 = \overline{NA} \cdot \overline{NB} + \overline{NA} \cdot NB \cdot M_1$$

Valores lógicos del estado 1 repetidos en estados intermedios

Cuando los valores de las entradas lógicas se repiten en algún estado intermedio, se puede reducir el primer término de la memoria 1 (M1); esta reducción consiste en no tomar en cuenta al negado de todas las memorias y sólo condicionar a los valores de entrada con el negado de la memoria del estado donde se repiten los valores de las entradas. Esta memoria se obtiene mediante la observación de la tabla de estados.

Ejemplo 2

Considere un sistema que contiene un botón de encendido llamado A y una función de salida denominada F, la cual va a encenderse con transiciones negativas de la entrada A. En la siguiente tabla se muestra la secuencia del sistema con las memorias ya incluidas.

Estado	A	F	M1	M2	M3	M4
1	0	0	1	0	0	M4
2	1	0	M1	1	0	0
3	0	1	0	M2	1	0
4	1	0	0	0	M3	1
1	0	0	1	0	0	M4

Tabla 5-14.

En esta tabla se puede observar que el valor de la entrada A se repite en el estado 3; por lo tanto, para reducir el número de variables del primer término de la ecuación de la memoria M1, éste se puede obtener sólo condicionando la entrada del sistema con el negado de la memoria M2.

Tomando esta disposición, se obtiene la ecuación de la memoria M1, cuyo resultado es la siguiente ecuación.

$$M_1 = \overline{A} \cdot \overline{M_2} + A \cdot M_1$$

Para aplicar la ecuación 2 y poder obtener las memorias M2, M3 y M4, se hace la analogía entre la tabla de estados dada con la tabla de las variables de entrada (VE).

Estado	A	F	M1	M2	M3	M4
1	0	0	1	0	0	M4
2	1	0	M1	1	0	0
3	0	1	0	M2	1	0
4	1	0	0	0	M3	1
1	0	0	1	0	0	M4
Estado	A	F	M1	M2	M3	M4
1	VE1,1	0	1	0	0	M4
2	VE1,2	0	M1	1	0	0
3	VE1,3	1	0	M2	1	0
4	VE1,4	0	0	0	M3	1
1	VE1,1	0	1	0	0	M4

Tabla 5-15.

Una vez hecha la analogía se obtienen las memorias M2 y M3 con la ecuación 2:

$$M_n = \sum_{a=1}^m V E_{a,n} \cdot M_{n-1} + \sum_{a=1}^m V E_{a,(n+1)} \cdot M_n$$

Para M=2, n=2 y m=1, aplicando la ecuación 2

$$M_2 = V E_{1,2} \cdot M_1 + V E_{1,3} \cdot M_2$$

$$M_2 = A \cdot M_1 + \bar{A} \cdot M_2 \quad \text{Ecuación de } M_2$$

Para M=3, n=3 y m=1 , aplicando la ecuación 2

$$M_3 = V E_{1,3} \cdot M_2 + V E_{1,4} \cdot M_3$$

$$M_3 = \bar{A} \cdot M_2 + A \cdot M_3 \quad \text{Ecuación de } M_3$$

Para M=4, n=4 y m=4, aplicando la ecuación 3

$$M_n = \sum_{a=1}^m V E_{a,n} \cdot M_{n-1} + \sum_{a=1}^m V E_{a,1} \cdot M_n$$

$$M_4 = V E_{1,4} \cdot M_3 + V E_{1,1} \cdot M_4$$

$$M_4 = A \cdot M_3 + \bar{A} \cdot M_4$$

5.4 Ecuaciones de las variables de salida

Después de obtener las ecuaciones de las memorias, el siguiente paso es obtener las ecuaciones de las variables de salida.

Las ecuaciones de las variables de salida están estructuradas con los términos de los estados donde la función es afirmada; éstos solo contienen valores de las memorias.

Los estados de las variables de salida están divididos en dos grupos: uno llamado “estados aislados” y el otro denominado “estados compartidos” de la tabla natural del proceso y memorias de funcionamiento.

Séase un sistema con n estados y con m variables de salida; para obtener los estados aislados y compartidos de las variables de salida VS_1 , VS_2 , VS_{n-1} y VS_n se les asignan valores con propósitos explicativos de la metodología, de tal manera que se pueda obtener una ecuación para cada variable de salida. Para obtener estas ecuaciones es conveniente remover de dicha tabla las columnas de los valores de las entradas, tal como se muestra en la siguiente tabla, lo cual ayuda a tener una mejor visión del resultado de las ecuaciones.

Estado	Tabla natural del proceso y memorias									
	Variables de salida					Memorias				
	VS1	VS2	* * *	VS _{n-1}	VS _n	M1	M2	* * *	M _{n-1}	M _n
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	M _n
2	0	1	* * *	1	1	M1	1	* * *	0	0
3	1	1	* * *	1	0	0	M2	* * *	0	0
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
n-1	1	0	* * *	0	0	0	0	* * *	1	0
n	0	0	* * *	1	0	0	0	* * *	M _{n-1}	1
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	M _n

Tabla 5-17.

Los dos grupos están representados en la tabla.

5.4.1 Estados aislados

Un estado aislado de una variable de salida es un valor lógico “1” localizado en la columna de la propia salida en que se va a obtener la ecuación. Dicho estado está flanqueado por dos niveles lógicos “0” en los estados anterior y posterior.

En seguida se obtienen las ecuaciones de las variables de salida. En cada una de ellas se explica si contienen estados aislados o compartidos y la forma en que se obtiene la ecuación.

El resultado de un estado aislado consiste en trazar una línea hacia las casillas de las memorias y al llegar a una casilla con un valor “M”, ésta se multiplica por la memoria subsecuente y este sería el resultado de un estado aislado.

Existe un caso único el cual se va a definir como “estado aislado en el primer estado de la secuencia” y es precisamente cuando se ubica un estado lógico “1” en el primer estado de la secuencia como resultado de una variable de salida, dando siempre el mismo resultado y es igual a la multiplicación de la memoria 1(M_1) y el negado de la memoria 2 (M_2), cuyo resultado es la siguiente ecuación.

$$M_1 \bullet \overline{M}_2$$

Ecuación de VS1

La variable VS1 presenta tres valores afirmados en la tabla que se muestra a continuación. El valor lógico localizado en el estado $n-1$ se va a considerar como un estado aislado, que tiene tres valores lógicos del tipo estados aislados: el primer estado aislado de VS1 está en el estado 1, el segundo está en el estado 3 y el tercero en el estado $n-1$ de la secuencia.

En los estados aislados se presentan dos casos: el primero es cuando el estado aislado se localiza en el estado inicial, estado 1, y el segundo caso es cuando el estado aislado está en cualquier otro estado diferente al estado inicial; los valores de ambos estados son diferentes. La ecuación de VS1 se obtiene sumando los valores de los estados 1, 3 y $n-1$.

Estado	Variables de salida					Memorias					
	VS1	VS2	* * *	VSn-1	VSn	M1	M2	* * *	Mn-1	Mn	
1	1	1	***	0	1	1	0	* * *	0	Mn	
2	0	1	* * *	1	1	M1	1	* * *	0	0	
3	1	1	***	1	0	0	M2	* * *	0	0	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
n-1	1	0	***	0	0	0	0	*****	1	0	
n	0	0	* * *	1	0	0	0	* * *	Mn-1	1	
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	Mn	

Tabla 5-18.

Estado aislado en el estado inicial

Aplicando el criterio de la definición de un estado aislado en el primer estado de la secuencia de la variable de salida VS1, se tiene que es igual a la siguiente ecuación.

Primer estado de VS1

$$VS1 = M_1 \bullet \overline{M}_2$$

Estados aislados en estados intermedios

Es el valor de la variable lógica de salida que se localiza en cualquier estado de la tabla excepto el estado 1; el valor de este estado se obtiene trazando una línea hasta encontrar un valor de memoria donde el valor es la variable M con un subíndice, y se condiciona mediante un operador AND con la memoria próxima inmediata; en este caso el valor de ambas memorias es afirmado, quedando el valor de la variable lógica de salida en el estado 3 y en el estado $n-1$ como sigue.

Segundo estado de VS1

$$VS_1 = M_2 \bullet M_3$$

La ecuación para el estado aislado localizado en el estado $n-1$ de la tabla, se obtiene de la misma forma que la ecuación del estado 3

Tercer estado de VS1

$$VS_1 = M_{n-2} \bullet M_{n-1}$$

Ecuación completa de VS1

La ecuación completa de la variable de salida es la suma de los tres valores obtenidos de manera individual, cuyo resultado es la siguiente ecuación.

Ecuación Completa de VS1

$$VS_1 = M_1 \bullet \overline{M_2} + M_2 \bullet M_3 + M_{n-2} \bullet M_{n-1}$$

5.4.2 Estados compartidos

Estados compartidos son dos o más estados lógicos afirmados de una variable de salida que comparten cambio de estado. Esto significa que son dos valores lógicos “1” y los valores de las variables de entrada sí cambian. Al igual que en estados aislados, la ecuación de la variable de salida va a estar estructurada sólo por las memorias.

En estados compartidos la ecuación de la variable de salida es igual a la memoria interna o suma de memorias internas en caso de que se tengan más de dos estados compartidos. En la tabla siguiente se muestra a la variable lógica de salida VS_2 , la cual presenta tres estados que comparten cambio de estado, y en seguida se obtiene la ecuación de VS_2 .

En la tabla se tienen dos grupos de estados compartidos: primero se obtiene el resultado de un grupo y posterior a esto se obtiene el resultado del segundo grupo de estados compartidos.

Estado	Tabla natural del proceso y memorias									
	Variables de salida		Memorias							
	VS1	VS2	* * *	VSn-1	VSn	M1	M2	* * *	Mn-1	Mn
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	Mn
2	0	1	* * *	1	1	M1	1	* * *	0	0
3	1	1	* * *	1	0	0	M2	* * *	0	0
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
n-1	1	0	* * *	0	0	0	0	* * *	1	0
n	0	0	* * *	1	0	0	0	* * *	Mn-1	1
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	Mn

Tabla 5-19.

Ecuación de VS₂

De manera inicial se obtiene el resultado para los estados compartidos localizados en el estado 1 y 2 de la secuencia; para esto se traza una línea desde el primer estado afirmado de la variable de salida y se busca en las casillas de las memorias un valor lógico “1”; una vez que se encuentra se verifica a qué memoria pertenece, haciendo igual estos dos valores lógicos “1” a esa memoria, entonces se ha encontrado el valor de los dos primeros valores afirmados de la variable de salida.

Al trazar la línea a partir del valor afirmado que se localiza en el estado 1, se encuentra que la variable de salida es igual.

Primer y segundo estado de VS₂

$$VS_2 = M_1$$

Como VS₂ tiene tres estados compartidos y ya se obtuvo el valor de los dos primeros estados, ahora se va a obtener la ecuación para los dos estados localizados en el estado 2 y 3 de la secuencia.

Estado	Tabla natural del proceso y memorias									
	Variables de salida		Memorias							
	VS1	VS2	* * *	VSn-1	VSn	M1	M2	* * *	Mn-1	Mn
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	Mn
2	0	1	* * *	1	1	M1	1	* * *	0	0
3	1	1	* * *	1	0	0	M2	* * *	0	0
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
n-1	1	0	* * *	0	0	0	0	* * *	1	0
n	0	0	* * *	1	0	0	0	* * *	Mn-1	1
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	Mn

Tabla 5-20.

El resultado se obtiene de igual forma: se traza una línea hasta llegar a la casilla de un valor lógico “1” de una de las memorias y se define que esta memoria es la resultante de estos dos estados lógicos de variable de salida, dando el siguiente valor.

Segundo y tercer estado de VS₂

$$VS_2 = M_2$$

La ecuación completa es la suma de los dos grupos de estados compartidos, cuyo resultado es la siguiente ecuación

Ecuación completa de VS₂

$$VS_2 = M_1 + M_2$$

Ecuación de VS_{n-1}

De acuerdo con los valores dados a las variables de salida en esta tabla, se observa que VS_{n-1} está compuesta por tres estados afirmados, dos de ellos son estados compartidos y el tercer estado es un estado aislado.

Estado	Tabla natural del proceso y memorias									
	Variables de salida				Memorias					
	VS1	VS2	* * *	VSn-I	VSn	M1	M2	* * *	Mn-I	Mn
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	Mn
2	0	1	* * *	1	1	M1	1	* * *	0	0
3	1	1	* * *	1	0	0	M2	* * *	0	0
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
n-1	1	0	* * *	0	0	0	0	* * *	1	0
n	0	0	* * *	1	0	0	0	* * *	Mn-1	1
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	Mn

Tabla 5-21.

Los estados compartidos están ubicados en el estado 2 y para el estado 3; se sigue el mismo método de estados compartidos para encontrar el valor de estos estados, cuyo resultado es el siguiente valor.

Segundo y tercer estado de VS1

$$VS_{n-1} = M_2$$

La ecuación para el estado aislado localizado en el estado n de la tabla, se obtiene trazando una línea que llega hasta la casilla de la memoria M_{n-1}, por lo que el resultado es la multiplicación de esta memoria con la memoria subsecuente, cuyo resultado es el siguiente.

Estado n de VS_{n-1}

$$VS_{n-1} = M_{n-1} \cdot M_n$$

La ecuación completa de esta variable de salida es la sumatoria de las dos ecuaciones que se obtuvieron de manera independiente.

Ecuación completa de V_{Sn-1}

$$VS_{n-1} = M_2 + (M_{n-1} \cdot M_n)$$

Ecuación de V_{Sn}

Para esta variable de salida la tabla sólo muestra dos valores lógicos “1” y están localizados en los estados 1 y 2 del sistema secuencial.

Estado	Tabla natural del proceso y memorias									
	Variables de salida		Memorias							
	VS1	VS2	* * *	VSn-1	VSn	M1	M2	* * *	Mn-1	Mn
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	Mn
2	0	1	* * *	1	1	M1	1	* * *	0	0
3	1	1	* * *	1	0	0	M2	* * *	0	0
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
n-1	1	0	* * *	0	0	0	0	* * *	1	0
n	0	0	* * *	1	0	0	0	* * *	Mn-1	1
1	1	1	* * *	0	1	1	0	* * *	0	Mn

Tabla 5-22.

Los valores lógicos que se muestran en esta función quedan dentro de la clasificación de estados compartidos, por lo tanto se sigue el método bajo este concepto, cuyo resultado es la siguiente ecuación.

Estado 1 y 2 de V_{Sn}

$$VS_n = M_1$$

Con esta variable de salida se terminan las ecuaciones del sistema. Estas variables son precisamente las salidas del proceso y representan los valores lógicos que van a estar tomando en cada estado de acuerdo con la naturaleza del proceso.

Obtención de las ecuaciones de las variables de salida

De los ejemplos analizados hasta el momento no se han obtenido las ecuaciones de las variables de salida, puesto que no se había explicado cómo actúa el método de la memoria interna para la obtención de las mismas.

Ejemplo 1

De la tabla de estados se debe obtener la ecuación que represente a la función de salida (B1); en ésta se va apoyar con el método de la memoria interna para obtenerla.

Estado	NA	NB	B1	M1	M2	M3	M4
1	0	0	1	1	0	0	M4
2	0	1	1	M1	1	0	0
3	1	1	0	0	M2	1	0
4	0	1	0	0	0	M3	1
1	0	0	1	1	0	0	M4

Tabla 5-23.

- El primer paso es ubicar cuántos valores lógicos afirmados tiene la función de salida; en este caso la función B1 tiene dos localizados en los estados 1 y 2 de la tabla.
- El segundo paso es ubicar en qué grupo se localizan a los estados afirmados de la variable; en este caso los valores lógicos caen en estados compartidos ya que los valores lógicos están seguidos

Estado	NA	NB	B1	M1	M2	M3	M4
1	0	0	1 1	1 M1	0	0	M4
2	0	1			1	0	0
3	1	1	0	0	M2	1	0
4	0	1	0	0	0	M3	1
1	0	0	1	1	0	0	M4

Tabla 5-24

- El tercer paso es aplicar el método de la memoria interna utilizando el criterio de estados compartidos; para esto se agrupan los dos valores lógicos y se traza una línea al llegar a la casilla de un “1” lógico; los dos valores agrupados son igual a esa memoria, cuyo resultado es la siguiente ecuación.

$$B1 = M1 \text{ Ecuación de salida}$$

Ejemplo 2

- La siguiente tabla muestra el comportamiento del ejemplo 2. Tiene sólo una función de salida llamada F. Se debe obtener la ecuación que represente a esta función con el apoyo del método de la memoria interna.

Estado	A	F	M1	M2	M3	M4
1	0	0	1	0	0	M4
2	1	0	M1	1	0	0
3	0	1	0	M2	1	0
4	1	0	0	0	M3	1
1	0	0	1	0	0	M4

Tabla 5-25.

- **Primer paso:** sólo tiene un valor lógico la función F.
- **Segundo paso:** identificar en qué grupo de los dos existentes queda localizado el valor lógico de F, al estar flanqueado por dos valores lógicos negados en los estados anterior y posterior.

Estado	A	F	M1	M2	M3	M4
1	0	0	1	0	0	M4
2	1	0	M1	1	0	0
3	0	1	0	M2	1	0
4	1	0	0	0	M3	1
1	0	0	1	0	0	M4

Tabla 5-26.

- **Tercer paso:** aplicar el método de la memoria interna utilizando el criterio de un estado aislado. Para este grupo se traza una línea hasta localizar una casilla con una “M” y ésta se multiplica por la memoria inmediata, ésta es la ecuación que representaría a la función. Para este ejemplo se llega a la

casilla de la memoria M2 y ésta se multiplica por la memoria posterior que es M2, cuyo resultado es el siguiente.

$$F = M_2 \cdot M_3 \quad \text{Ecuación de salida}$$

Reducción de memorias por límite de valores de la función de salida

De un sistema secuencial el resultado que se requiere es encender las funciones de salida, que de hecho en las ecuaciones de las propias funciones sólo son consideradas las condiciones para que éstas sean verdaderas. Por lo tanto, se puede reducir la tabla de estados sólo hasta donde la función o funciones de salida son verdaderas, con lo que se reduce el número de memorias que van a representarse en el diagrama de lógica de contactos. Esto hace una significativa reducción en el tamaño del diagrama de lógica de contactos y por supuesto reduce el tamaño de memoria requerido por el programa cuando se va a realizar el proyecto con un PLC.

Aplicando este criterio a los dos ejemplos que se resolvió, se tendrían los siguientes resultados.

Ejemplo 1

En este ejemplo la función de salida (B_1) es igual a la memoria 1 (M_1) y el sistema tiene cuatro memorias. Se puede reducir el número de memorias de cuatro a una, únicamente se tomaría a la memoria 1, y el resultado obtenido en campo va a ser el mismo, de tal manera que el sistema se reduce a sólo dos ecuaciones.

$$\text{Ecuación de la memoria 1 (}M_1\text{)}$$

$$M_1 = \overline{NA} \cdot \overline{NB} + \overline{NA} \cdot NB \cdot M_1$$

$$\text{Ecuación de la función de salida (}B_1\text{)}$$

$$B_1 = M_1$$

Si se aplica esta igualdad a la ecuación de la memoria M_1 , se comprueba mediante la siguiente ecuación que este sistema solamente requiere aplicar un estado de memoria.

$$B_1 = \overline{NA} \cdot \overline{NB} + \overline{NA} \cdot NB \cdot B_1$$

Ejemplo 2

En este ejemplo la función de salida (F) es igual a la multiplicación de las memorias 2 y 3; sólo tiene un valor lógico 1 y se localiza en el estado 3. Del sistema se obtuvo cuatro memorias por el número de estados; al reducir el número de memorias se tomaría sólo hasta la memoria 3 debido a que el resultado de la función la memoria de mayor rango es precisamente M_3 ; al tomar en cuenta esta reducción únicamente quedan las siguientes ecuaciones.

Ecuaciones de las memorias (M_1 , M_2 y M_3)

$$M_1 = \overline{A} \cdot \overline{M_2} + A \cdot M_1$$

$$M_2 = A \cdot M_1 + \overline{A} \cdot M_2$$

$$M_3 = \overline{A} \cdot M_2 + A \cdot M_3$$

Ecuación de la función de salida (F)

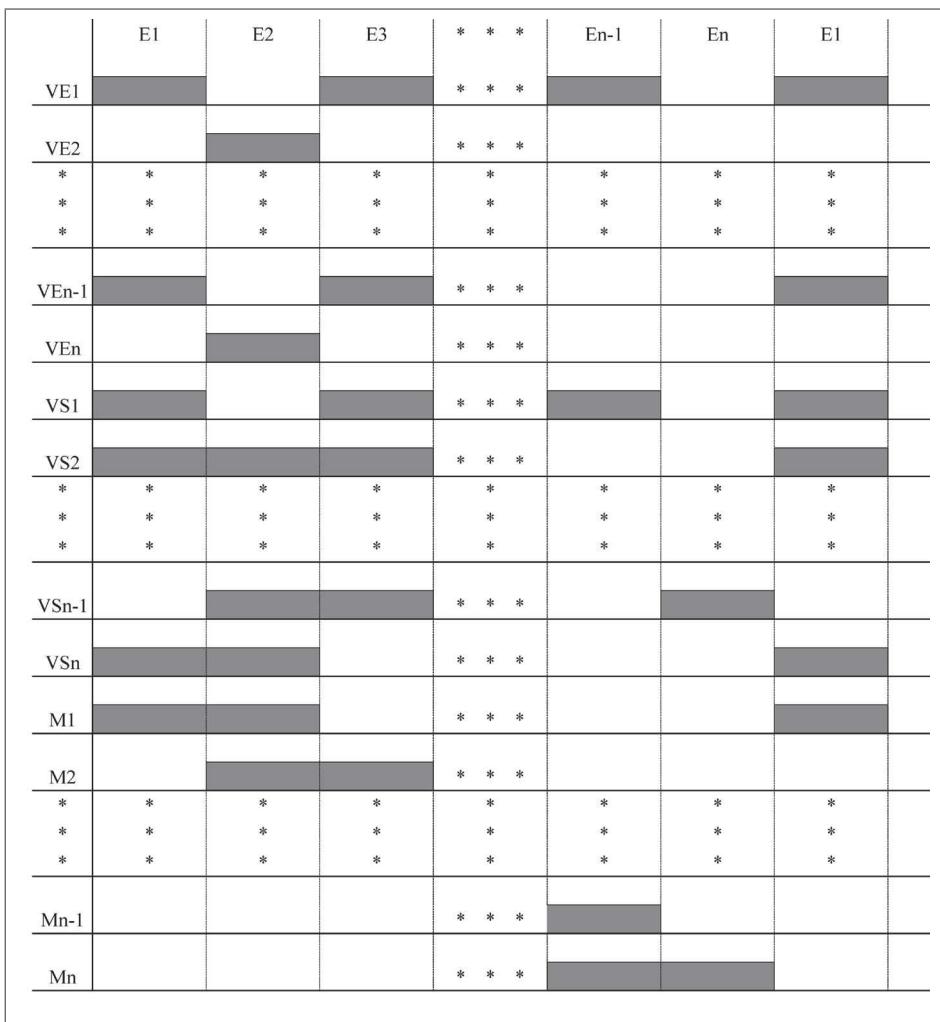
$$F = M_2 \cdot M_3$$

Con las cuatro ecuaciones mostradas se obtiene el mismo resultado al aplicarlo en un PLC.

Representación por diagrama de estados

Es posible representar un sistema secuencial mediante una tabla natural del proceso, la cual a su vez puede representarse en un diagrama de estados que es un gráfico estructurado por los valores de las variables de entrada, variables de salida y memorias. Este gráfico se divide por los estados del sistema, de tal manera que en cada estado se debe conocer el valor lógico de las variables y las memorias.

La representación mediante gráficos de estados es de gran ayuda en el análisis de fallas del sistema. La Fig. 5-5 muestra la representación de un sistema con n estados como un diagrama.

Fig. 5-5 . Diagrama de estados de un sistema con n estados.

De este grafico es factible obtener la tabla de estados del sistema, sin embargo hay que mencionar que al incrementarse el número de estados del sistema se hace más grande el gráfico. Al tener todos los valores lógicos del sistema en un solo gráfico, los métodos gráficos son de gran ayuda en la identificación de fallas y también facilitan la comprensión de la operación del sistema, por lo que la mayoría de los fabricantes de maquinaria optan por este tipo de gráficos.

5.5 Aplicación del diagrama de estados

El siguiente ejemplo se resuelve mediante el uso del diagrama de estados y se obtienen ecuaciones para cada una de las variables de salida y memorias.

Ejemplo 1

Sea el siguiente sistema secuencial que se muestra a través del diagrama de estados, en el se aprecia una variable de salida llamada F1 y una variable de entrada A. La secuencia del sistema se presenta por medio del diagrama de estados; en cada estado del sistema se observan los valores lógicos de las memorias.

	E1	E2	E3	E4	E1	
A						
F1						
M1						
M2						
M3						
M4						

Fig. 5-6.

La nomenclatura del diagrama de estados es la siguiente:

A es el botón no retentivo; esta es la variable de entrada

F1 es la función de salida

M1 es la memoria 1 del método de la memoria interna

M2 es la memoria 2

M3 es la memoria 3

M4 es la memoria 4

Para poder encontrar las ecuaciones del sistema se van a considerar los valores que tienen las memorias y la variable lógica de entrada en cada uno de los estados.

Los estados del sistema se muestran y analizan; en cada estado se obtienen los valores de las variables y las ecuaciones.

Estado 1

En este estado el valor que se va a encontrar es el primer valor de la memoria 1; este valor sólo va a considerar el valor de la variable de entrada y los valores de las memorias hasta la memoria M_{n-1} , cuyo resultado es llegar hasta la memoria M_3 , entonces el valor de M_1 es el siguiente:

	E1	E2	E3	E4	E1
A	0				
F1	0				
M1	1				
M2	0				
M3	0				
M4	0				

Fig. 5-7.

$$M_1 = \overline{A} \cdot \overline{M_2} \cdot \overline{M_3}$$

Estado 2

En este estado se obtienen dos términos; el segundo término de M_1 y el primer término de M_2 , recordando que cada memoria va a tener en su ecuación dos términos. El valor del segundo término de M_1 es el siguiente.

$$M_1 = A \cdot M_1$$

Al contar con los dos términos de la memoria M_1 se unen mediante el operador OR, también conocido como la suma simple, y cuyo resultado es la siguiente ecuación:

$$M_1 = \overline{A} \cdot \overline{M_2} \cdot \overline{M_3} + A \cdot M_1 \text{ Ecuación de } M_1$$

M_1 enciende a la memoria M_2 , entonces el primer valor de M_2 es igual al segundo valor de M_1 ; por lo tanto, el primer valor de M_2 es el siguiente:

	E1	E2	E3	E4	E1
A		1			
F1		1			
M1		M1			
M2		1			
M3		0			
M4		0			

Fig. 5-8.

$$M_2 = A \cdot M_1$$

Estado 3

En este estado los valores que se buscan son el segundo término de M_2 y el primer término de M_3 . El siguiente es el término dos de la memoria M_2 .

	E1	E2	E3	E4	E1
A			0		
F1			1		
M1			0		
M2			M2		
M3			1		
M4			0		

Fig. 5-9.

$$M_2 = \bar{A} \cdot M_2$$

La sumatoria de ambos términos da como resultado la ecuación de M_2

$$M_2 = A \cdot M_1 + \bar{A} \cdot M_2 \text{ Ecuación de la memoria } M2$$

El segundo término de la memoria 2 es el primer término de la memoria 3, cuyo resultado es el siguiente valor.

$$M_3 = \overline{A} \cdot M_2$$

Estado 4

En este estado los valores que se buscan son el segundo término de M_3 y el primer término de M_4 . El resultado que se tiene es el siguiente valor del segundo término de M_3 .

$$M_3 = A \cdot M_3$$

	E1	E2	E3	E4	E1
A				1	
F1				0	
M1				0	
M2				0	
M3				M3	
M4				1	

Fig. 5-10.

Cuyo resultado es la ecuación completa de M_3 :

$M_3 = \overline{A} \cdot M_2 + A \cdot M_3$ <i>Ecuación de M3</i>
--

El segundo término de la memoria 3 es el primer término de la memoria 4

$$M_4 = A \cdot M_3$$

Estado 1 (segundo ciclo)

En este estado los valores que se buscan son el segundo término de M_4 y el primer término de M_1 del segundo ciclo. El resultado que se tiene es el siguiente valor de M_4 .

$$M_4 = \overline{A} \cdot M_4$$

	E1	E2	E3	E4	
A					E1 0
F1					0
M1					1
M2					0
M3					0
M4					M4

Fig. 5-11.

Cuyo resultado es la ecuación completa de M_4 :

$$M_4 = A \cdot M_3 + \bar{A} \cdot M_4 \text{ Ecuación de } M_4$$

El primer término de la memoria 1 ya no es necesario encontrarlo ya que este valor fue el primero en obtenerse.

Ecuación de la función de salida

Para obtener la ecuación de la variable lógica de salida se compara la señal con alguna de las memorias; en este problema el resultado es M_2 ya que la señal de la variable lógica de salida es igual a la señal de la memoria 2, por lo tanto se obtiene la siguiente ecuación de F1.

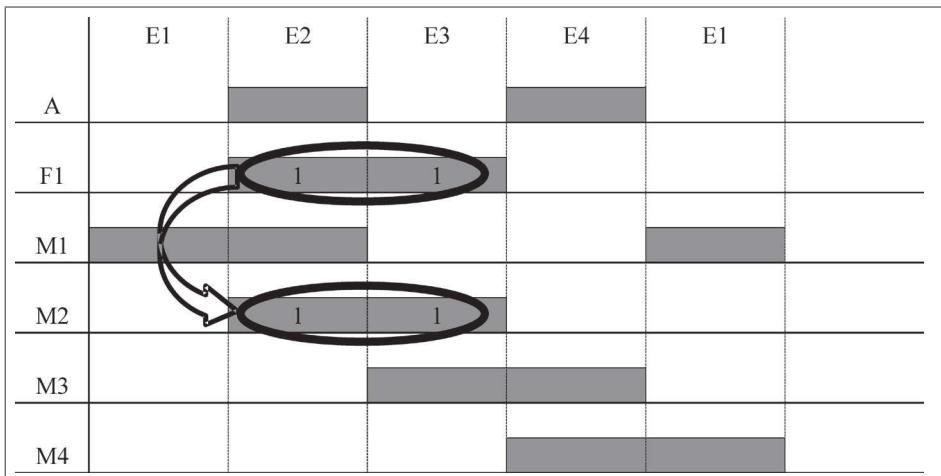


Fig. 5-12.

$$F_1 = M_2 \text{ Ecuación de la función de salida } F1$$

Los resultados obtenidos son los mismos si se hubiera utilizado el método de la memoria interna, las ecuaciones y el diagrama de lógica de contactos.

5.6 Lógica de contactos con ecuaciones

Las ecuaciones obtenidas están compuestas por los operadores lógicos NOT, AND y OR. Estas ecuaciones se representan en un diagrama de operadores lógicos o en un diagrama de lógica de contactos (o diagrama escalera) para programar un controlador lógico programable. Para ello hay que recordar el circuito eléctrico análogo de los operadores lógicos ahora ya combinados para dar resultado a una ecuación. La primera ecuación que se va a obtener con el diagrama de lógica de contactos es la ecuación de M_1 ; hay dos operadores AND, dos operadores NOT y un operador OR el cual es la salida de M_1 . Es necesario recordar que el operador AND es el circuito serie y operador OR es el circuito paralelo y el operador NOT es el contacto normalmente cerrado de una variable lógica.

Los elementos de un diagrama de lógica de relevación (también llamado diagrama de lógica de contactos) se componen básicamente de contactos abiertos, contactos cerrados y bobinas externas o internas.

Elementos de diagrama escalera	
	Bobina interna o externa
	Contacto normalmente cerrado (NC)
	Contacto normalmente abierto (NA)

Tabla 5-27.

Ecuaciones de memorias con lógica de contactos

Una vez obtenidas las ecuaciones del sistema, éstas pueden representarse en un diagrama de lógica de contactos y ser programarse en un PLC. Cada variable lógica de entrada se representa por medio de un contacto; las variables negadas se representan por un contacto normalmente cerrado, mientras que las memorias y variables de salida por relevadores.

Ecuación de M_1

La ecuación de M_1 se muestra en seguida y se puede representar en un diagrama de lógica de contactos.

$M_1 = E_1 V E_1 \cdot E_1 V E_2 \cdot \dots \cdot E_1 V E_{n-1} \cdot E_1 V E_n \cdot \overline{M_2} \cdot \dots \cdot \overline{M_{n-1}} + E_2 V E_1 \cdot E_2 V E_2 \cdot \dots \cdot E_2 V E_{n-1} \cdot E_2 V E_n \cdot M_1$

El diagrama que resulta de la representación de la memoria M_1 es el siguiente:

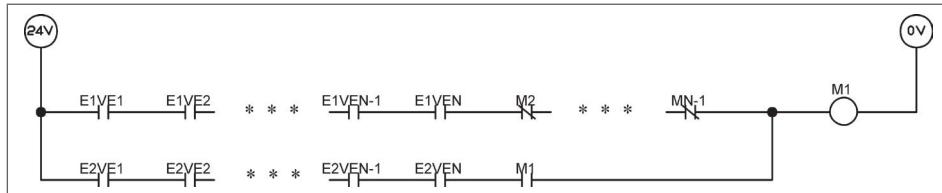


Fig. 5-13.

Ecuación de M_2

$M_2 = E_2 V E_1 \cdot E_2 V E_2 \cdot \dots \cdot E_2 V E_{n-1} \cdot E_2 V E_n \cdot M_1 + E_3 V E_1 \cdot E_3 V E_2 \cdot \dots \cdot E_3 V E_{n-1} \cdot E_3 V E_n \cdot M_2$

El diagrama que representa a la ecuación de M_2 es el siguiente; en él también se incluye a M_1 :

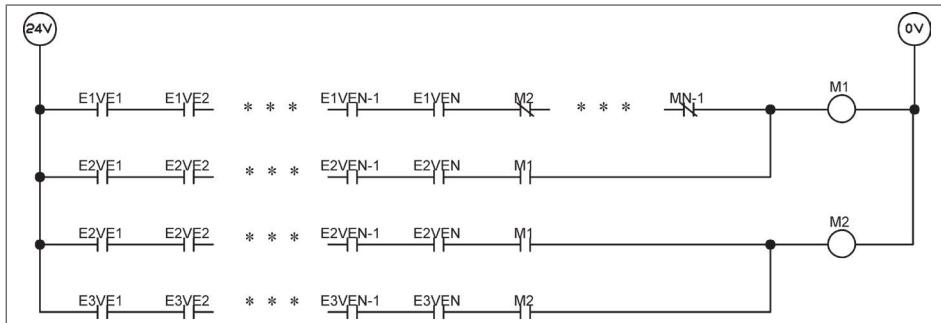


Fig. 5-14.

En el siguiente diagrama se representa hasta la ecuación M_{n-1}

Ecuación de M_{n-1}

$$M_{n-1} = E_{n-1}VE_1 \cdot E_{n-1}VE_2 \cdot \dots \cdot E_{n-1}VE_{n-1} \cdot E_{n-1}VE_n \cdot M_{n-2} + E_nVE_1 \cdot E_nVE_2 \cdot \dots \cdot E_nVE_{n-1} \cdot E_nVE_n \cdot M_{n-1}$$

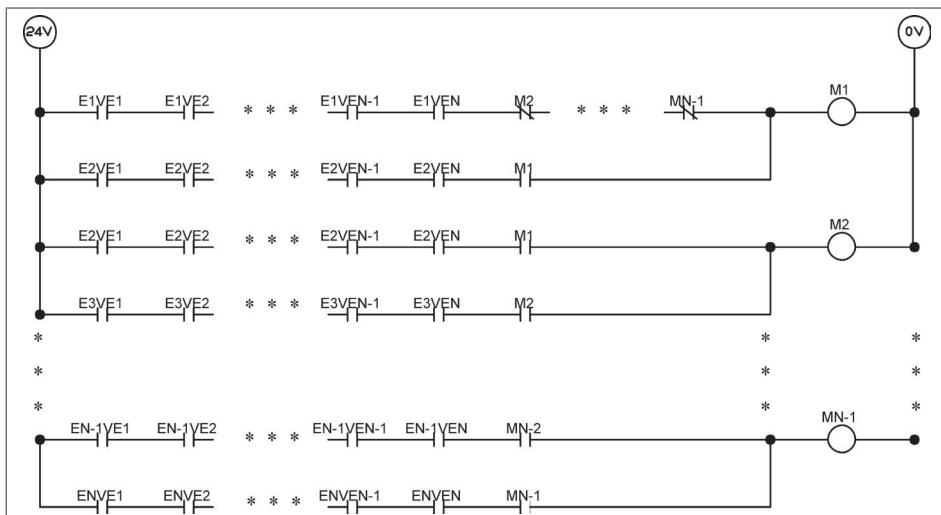


Fig. 5-15.

Para completar las ecuaciones de las memorias se sigue con la representación de la memoria M_n

Ecuación de M_n

$$M_n = E_nVE_1 \cdot E_nVE_2 \cdot \dots \cdot E_nVE_{n-1} \cdot E_nVE_n \cdot M_{n-1} + E_1VE_1 \cdot E_1VE_2 \cdot \dots \cdot E_1VE_{n-1} \cdot E_1VE_n \cdot M_n$$

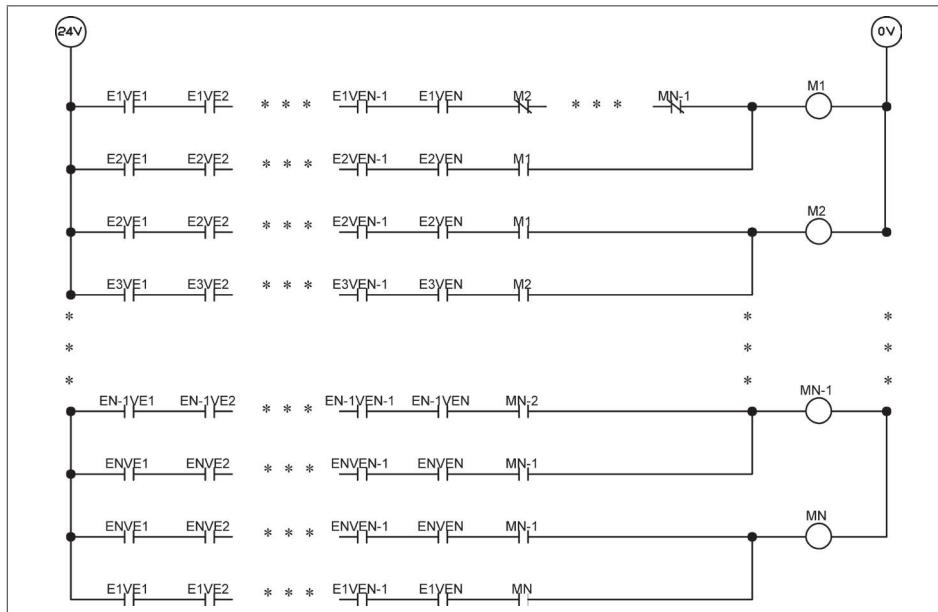


Fig. 5-16.

Ecuaciones de variables de salidas (vs) con lógica de contactos

Una vez obtenidas las ecuaciones de las variables lógicas de salidas, pueden representarse en un diagrama de lógica de contactos, el cual puede agregarse al diagrama que ya se desarrolló para las memorias.

Diagrama de lógica de contactos para VS₁

$$\text{Ecuación completa de } VS_1 \quad VS_1 = M_1 \cdot \overline{M_2} + M_2 \cdot M_3 + M_{n-2} \cdot M_{n-1}$$

La ecuación obtenida está compuesta por un operador OR de tres entradas, tres operadores AND de dos entradas y un operador NOT.

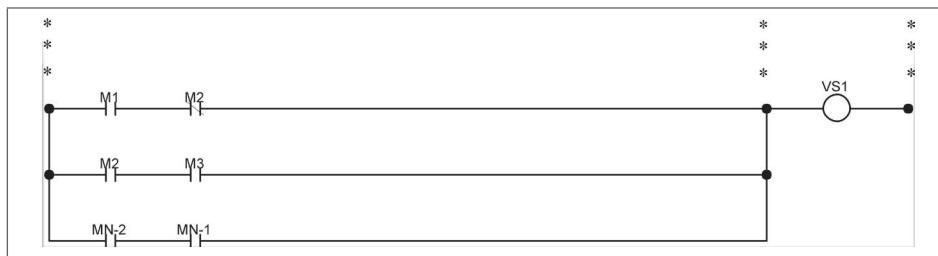


Fig. 5-17.

Diagrama de lógica de contactos de VS₂

Ecuación de VS₂, en el segundo y tercer estado $VS_{n-1} = M_2 + M_{n-1} \cdot M_n$

De la ecuación se define que el operador OR es el que da como resultado a la ecuación VS₂ y es de dos entradas.

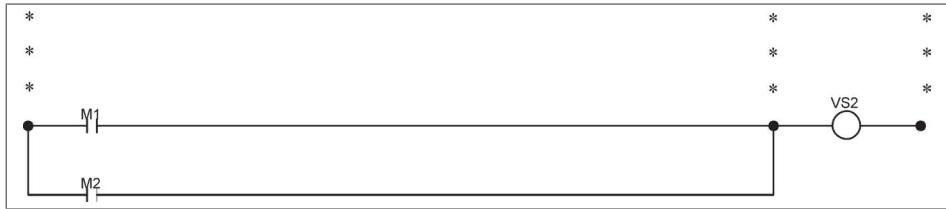


Fig. 5-18.

Diagrama de lógica de contactos de VS_{n-1}

Ecuación de VS_{n-1} sumando los valores individuales

$$VS_{n-1} = M_2 + M_{n-1} \cdot M_n$$

De la ecuación se define que esté compuesta por un operador AND de dos entradas y un operador OR como salida.

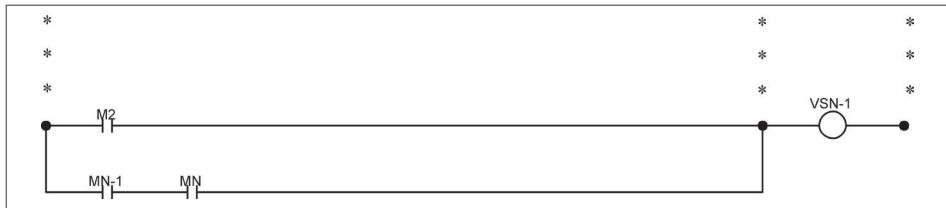


Fig. 5-19.

Diagrama de lógica de contactos de V_{Sn}

Ecuación de V_{Sn} sumando los valores individuales $VS_n = M_1$

De la ecuación se define que la variable V_{Sn} es igual a la memoria M₁.

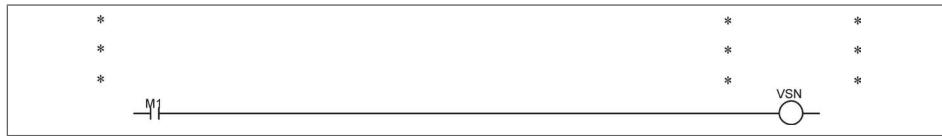


Fig. 5-20.

El diagrama completo se muestra en seguida:

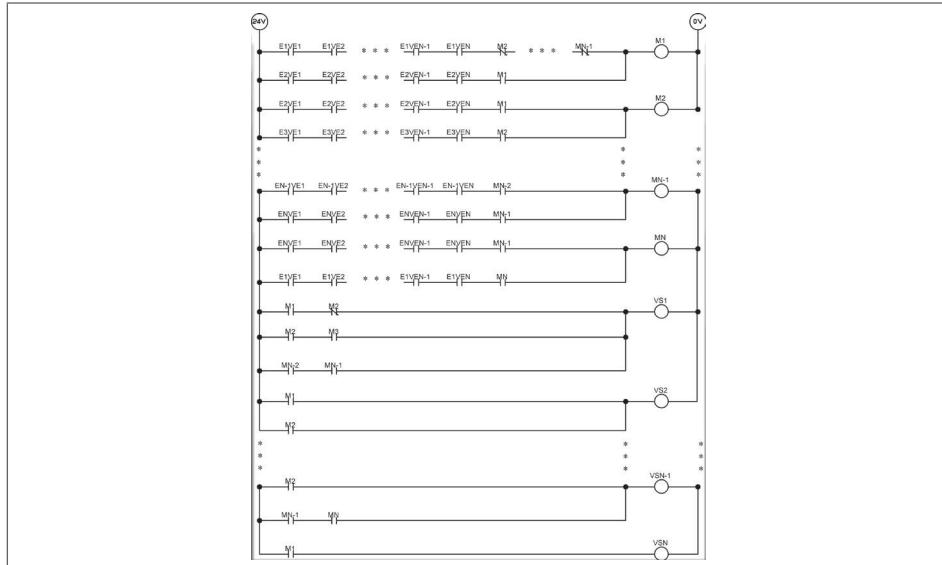


Fig. 5-21.

Diagrama de lógica de contactos de los dos ejemplos resueltos

Una vez obtenidas las ecuaciones de ambos ejemplos que fueron resueltos, se van a representar estas ecuaciones en un diagrama de lógica de contactos con el apoyo del programa de simulación FluidSim, y con este diagrama se finaliza el análisis de ambos ejemplos.

Ejemplo 1

De este ejemplo ya se obtuvieron las ecuaciones de las memorias y de la salida, ahora se va a obtener el diagrama de lógica de contactos. La función de salida se va a representar con un indicador luminoso; las ecuaciones son las siguientes:

$$M_1 = \overline{NA} \cdot \overline{NB} \cdot \overline{M_2} \cdot \overline{M_3} + \overline{NA} \cdot NB \cdot M_1$$

$$M_2 = \overline{NA} \cdot NB \cdot M_1 + NA \cdot NB \cdot M_2$$

$$M_3 = NA \cdot NB \cdot M_2 + \overline{NA} \cdot NB \cdot M_3$$

$$M_4 = \overline{NA} \cdot NB \cdot M_3 + \overline{NA} \cdot \overline{NB} \cdot M_4$$

$$B_1 = M_1$$

Al realizar el diagrama de lógica de contactos y su respectiva simulación con el FluidSim, se debe agregar dos señales de entrada llamadas NA y NB que activen a los relevadores respectivamente para realizar la simulación.

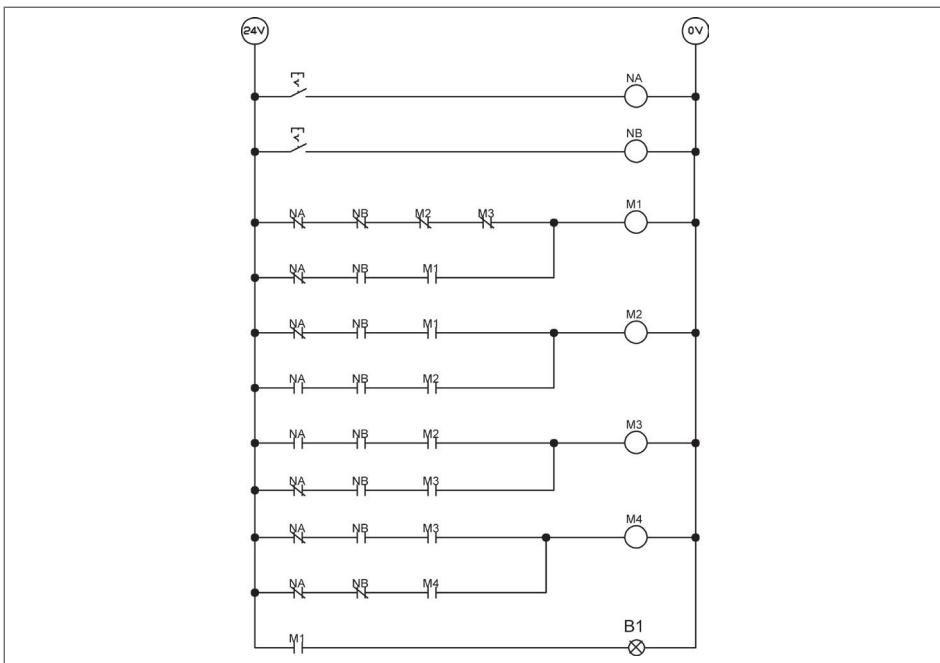


Fig. 5-22. Diagrama con cinco ecuaciones.

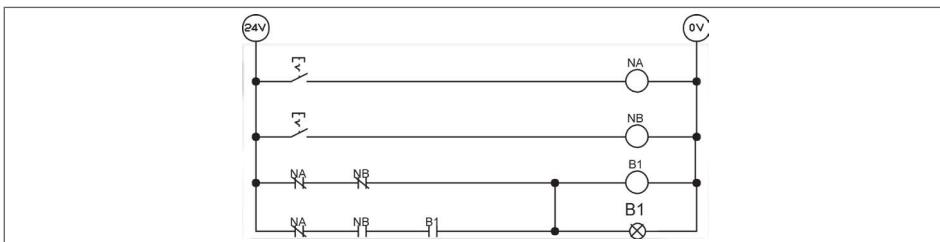


Fig. 5-23. Diagrama reducido con una ecuación.

Ejemplo 2

Las ecuaciones obtenidas para este ejemplo son las siguientes:

$$M_1 = \overline{A} \cdot \overline{M_2} + A \cdot M_1$$

$$M_2 = A \cdot M_1 + \overline{A} \cdot M_2$$

$$M_3 = \overline{A} \cdot M_2 + A \cdot M_3$$

$$M_4 = A \cdot M_3 + \overline{A} \cdot M_4$$

$$F = M_2 \cdot M_3$$

Las cinco funciones se representan en el siguiente diagrama. Para obtener los diferentes valores de A se obtienen de un relevador.

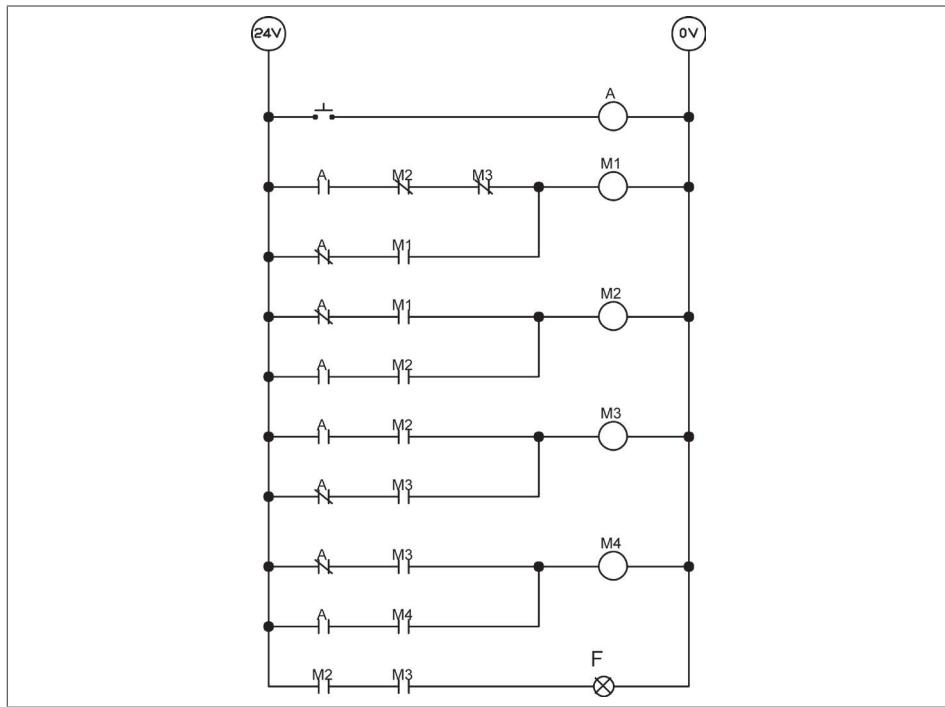


Tabla 5-24.

En seguida se muestra el diagrama reducido en funciones; solamente se recortó una memoria quedando en cuatro funciones más el relevador A.

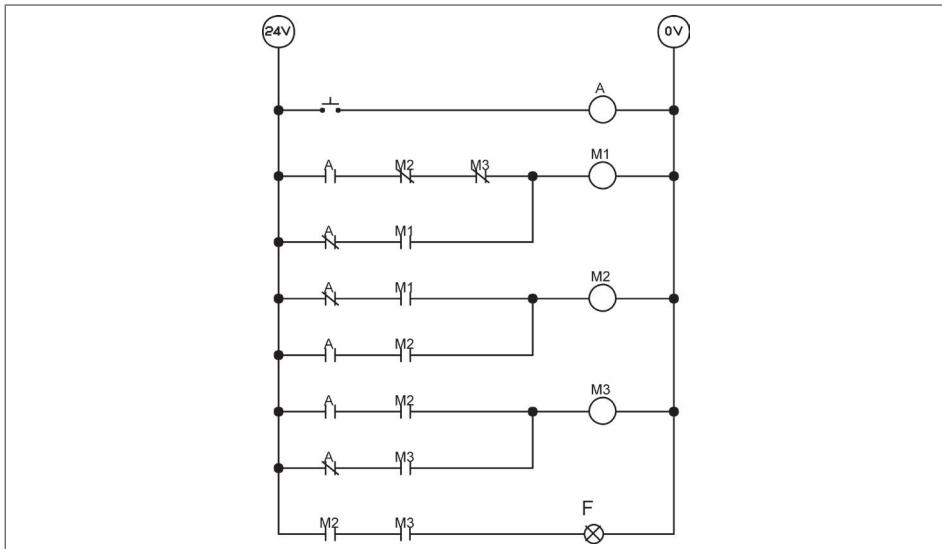


Fig. 5-25.

Sistemas con bifurcaciones y retroceso a estados inmediatos anteriores

Algunos sistemas secuenciales asíncronos suelen tener más de un camino para seleccionarse en su trayectoria. El método de la memoria interna aplica a este tipo de sistemas con una variante; el número de memorias es igual al número de estados. Este concepto es igual a la aplicación de un sistema sin bifurcación.

Las ecuaciones de las memorias tienen diferentes resultados en un sistema sin bifurcación, sobre todo si el sistema puede regresar a estados inmediatos anteriores y volver a regresar a un estado inmediato posterior. En estos sistemas las memorias no encienden a la inmediata siguiente, sino que sólo dependen de los valores lógicos de las entradas; esto aplica a todas las memorias que tenga el sistema, pero si recuerdan un cambio de estado.

Un ejemplo de este tipo de sistemas es un encoder de dos bits que puede detectar la rotación de un dispositivo giratorio como lo es la placa colocada en la flecha de un reductor con un inserto de metal y dos sensores del tipo inductivo. A continuación se muestra un ejemplo.

Ejemplo 1

Se presenta el esquema de un encoder de dos bits de un sistema que detecta rotación. Los sensores inductivos A y B detectan el metal de la media luna localizado en la media circunferencia, la cual está montada en una flecha de un moto-reductor de corriente directa. La rotación puede cambiar en cualquier momento de tal manera

que se debe representar el giro de rotación derecha mediante una lámpara con el letrero de rotación derecha y otra lámpara que identifique a la rotación izquierda. A partir de este ejemplo obtenga los siguientes puntos:

01. Tabla natural del proceso
02. Diagrama de estados del sistema
03. Tabla de memorias
04. Ecuaciones de las memorias
05. Ecuaciones de las funciones de salida
06. Diagrama de lógica de contactos con las ecuaciones obtenidas

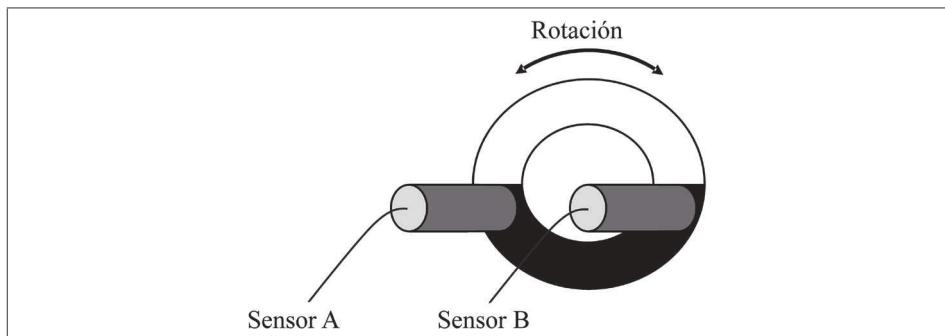


Fig. 5-26. Esquema del proceso.

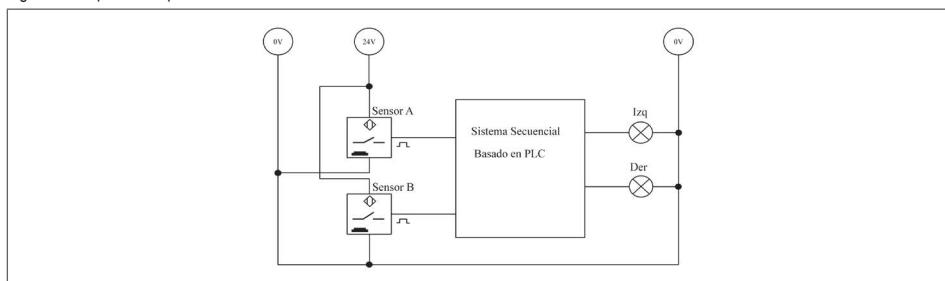


Fig. 5-27. Esquema eléctrico.

- 01. Tabla natural del proceso:** La característica de un encoder es la generación del código Gray¹. La particularidad de este código es que sólo cambia un bit en cada cambio de valor, de tal manera que el error es mínimo pues solamente cambia un bit a la vez. En seguida se muestra la tabla natural del proceso.

¹ El código Gray, nombrado así en honor al investigador Frank Gray, es un sistema de numeración binario en que los valores sucesivos difieren solamente en uno de sus dígitos.

A	B	Izq	Der
0	0	0	0
0	1	1	0
1	1	1	0
1	0	1	0
0	0	1	0
1	0	0	1
1	1	0	1
0	1	0	1
0	0	0	1

Tabla 5-28.

En la tabla natural del proceso se puede observar que en el primer estado los dos valores son “0”, de tal manera que en cada cambio de estado sólo cambia un bit.

- 02. Diagrama de estados del sistema:** La tabla natural del proceso se puede expresar en un diagrama de estados que muestre las posibles trayectorias del sistema, cuyo resultado sea las cuatro posibles trayectorias.

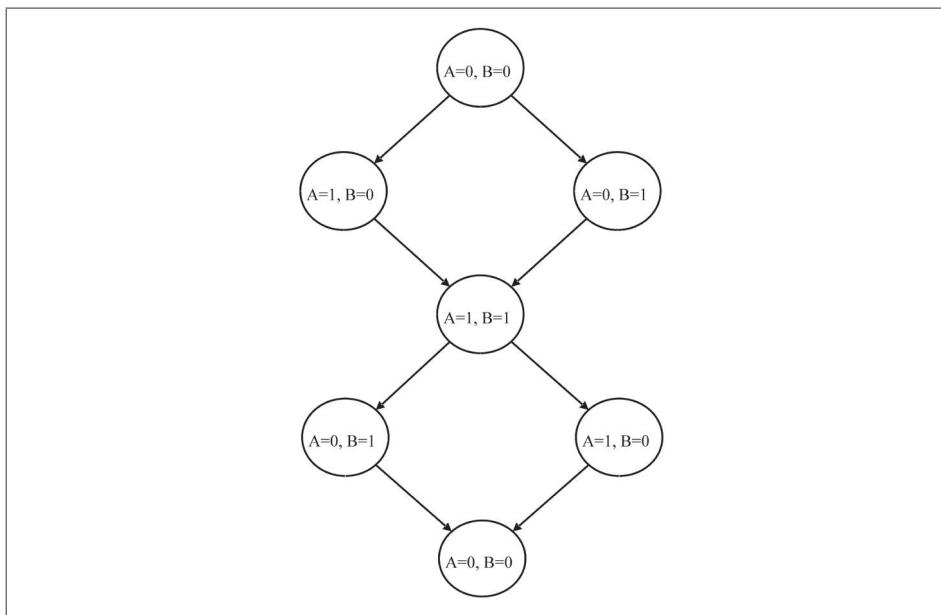


Fig. 5-28.

La interpretación de estas trayectorias indica que en cualquier momento puede pasar de rotación izquierda a rotación derecha. Considerando estas trayectorias se obtiene la tabla de memorias del sistema.

- 03. Tabla de memorias:** Una vez que se tiene la tabla natural del proceso se puede obtener la tabla de memorias. En este tipo de sistemas se aplica una variante de este método y es precisamente que las memorias no se van a encender entre sí como sucede en sistemas que no tienen bifurcaciones y mucho menos se puede retroceder en los estados, que es el caso que se está analizando.

Las memorias se encienden sólo por los valores lógicos de las entradas y memoriza el cambio de estado, de tal manera que el resultado de la tabla de memorias es el siguiente.

A	B	Izq	Der	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
0	0	0	0	1	0	0	M4	0	0	0	M8
0	1	1	0	M1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	M2	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	M3	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	M4	1	0	0	M8
1	0	0	1	0	0	0	0	M5	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	M6	1	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	M7	1
0	0	0	1	1	0	0	M4	1	0	0	M8

Tabla 5-29.

- 04. Ecuaciones de las memorias:** Las ecuaciones de las memorias se obtienen de esta tabla. La ecuación de la memoria 1 (M1) se ve que tiene cuatro términos de los cuales tres tienen los mismos valores de entrada; estos términos están identificados en la siguiente tabla.

A	B	Izq	Der	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
0	0	0	0	1	0	0	M4	0	0	0	M8
0	1	1	0	M1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	M2	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	M3	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	M4	1	0	0	M8
1	0	0	1	0	0	0	0	M5	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	M6	1	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	M7	1
0	0	0	1	1	0	0	M4	1	0	0	M8

Tabla 5-30.

Ecuación de M1

La ecuación de M1 está compuesta por los cuatro términos, pero nótese que el primero, tercero y cuarto términos son los mismos, por lo tanto la ecuación sólo está compuesta por dos términos, cuyo resultado es el siguiente.

$$M_1 = \overline{A} \overline{B} + \overline{A} B M_1$$

El primer término únicamente considera los valores de las entradas, no se consideran los valores de las memorias subsecuentes, lo cual indica que no se condicionan entre las memorias en el primer término.

Ecuación de M2

Esta ecuación está compuesta por dos términos cuyo resultado es:

$$M_2 = \overline{A} B + A B M_2$$

Las ecuaciones restantes se muestran enseguida:

$M_3 = A B + A \overline{B} M_3$
$M_4 = A \overline{B} + \overline{A} \overline{B} M_4$
$M_5 = \overline{A} \overline{B} + A \overline{B} M_5$
$M_6 = A \overline{B} + A B M_6$
$M_7 = A B + \overline{A} B M_7$
$M_8 = \overline{A} B + \overline{A} \overline{B} M_8$

Nótese que los valores de M4, M5 y M8 son idénticos a los valores de la memoria M1.

Ecuaciones de las funciones de salida iz y de

Los valores de las funciones de salida se van a considerar como estados aislados aunque estén compartiendo cambios de estado; la razón de ello se debe a que puede estar girando en sentido izquierdo y cambiar al sentido derecho en cualquier estado, por lo tanto se consideran estados aislados para ambas funciones de salida.

A	B	Izq	Der	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
0	0	0	0	1	0	0	M4	0	0	0	M8
0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	M2	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	M3	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	M4	1	0	0	M8
1	0	0	1	0	0	0	0	M5	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	M6	1	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	M7	1
0	0	0	1	1	0	0	M4	1	0	0	M8

Tabla 5-31.

05. Ecuaciones de funciones de salida: Tomando las consideraciones de que todos los estados son aislados se obtiene la siguiente ecuación para la lámpara de rotación izquierda:

$$I_Z = M_1 M_2 + M_2 M_3 + M_3 M_4 + M_4 M_1$$

La ecuación para la lámpara de rotación derecha es la siguiente:

$$D_e = M_5 M_6 + M_6 M_7 + M_7 M_8 + M_8 M_5$$

06. Diagrama de lógica de contactos: Una vez que se obtuvo las ecuaciones de las memorias y de las funciones de salida, pueden expresarse en un diagrama de lógica de contactos y obtener la simulación mediante el software FluidSim de Festo e implementarse en un PLC.

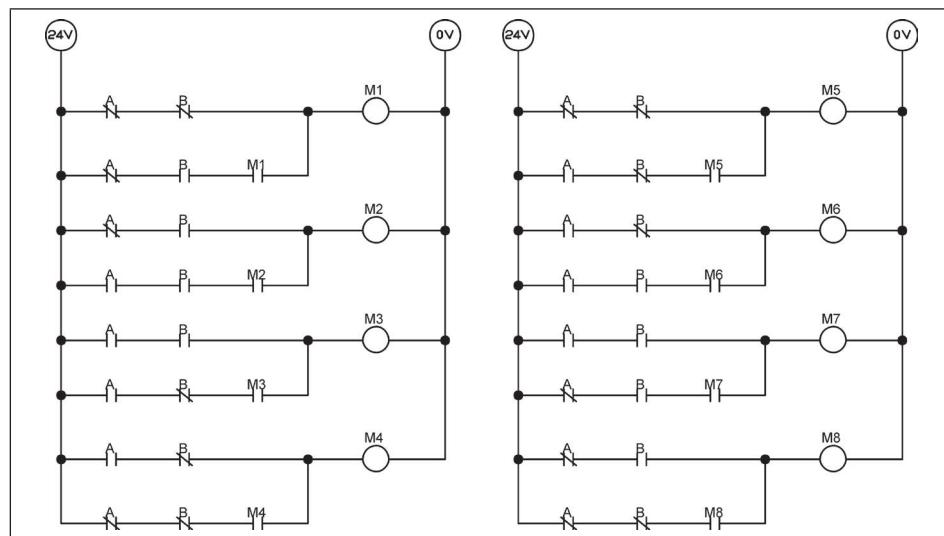


Fig. 5-29. Circuito de lógica de contactos de las memorias.

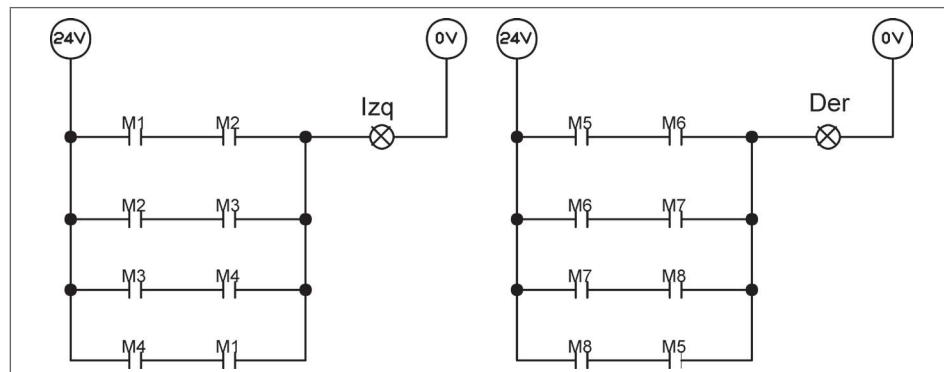


Fig. 5-30. Circuito de lógica de contactos de las funciones de salida.

Como el sistema tiene dos entradas, al realizarse la simulación se requiere que al sistema se le den valores de entrada precisamente para comprobar el desempeño del sistema, por lo que es necesario agregar dos botones que sean los encargados de proveer estos valores; para ello se agrega el siguiente circuito.

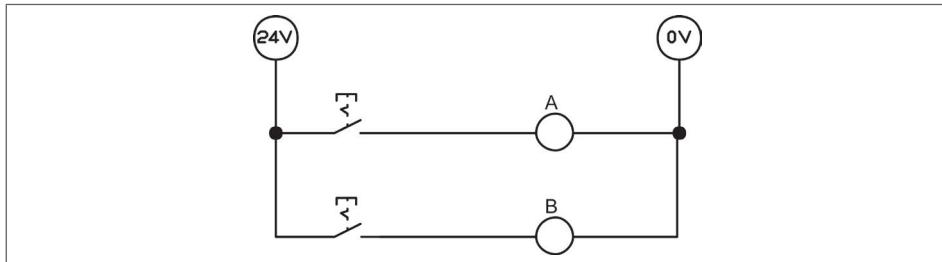


Fig. 5-31.

5.7 Ejercicios resueltos

Como parte de la práctica de la aplicación del método de la memoria interna propuesto en este capítulo para resolver sistemas secuenciales asíncronos, se presentan varios ejemplos resueltos y los resultados pueden simularse con el FluidSim de FESTO.

Ejemplo 5.7.1

Un sistema secuencial del tipo asíncrono consta del botón A del tipo empujar para operar normalmente abierto y un indicador luminoso llamado F1; el sistema requiere tener la siguiente secuencia:

- En forma inicial la función está apagada
- Al habilitar el botón A se habilita la función F1
- Al deshabilitar el botón A sigue habilitada la función F1
- Al habilitar otra vez el botón A se apaga la función F1
- Al deshabilitar el botón A permanece apagada la función F1

Se deben obtener los siguientes puntos:

01. Tabla natural del proceso y diagrama de estados
02. Tabla de memorias
03. Ecuaciones del sistema
04. Diagrama de lógica de contactos
05. Reducción del número de memorias por el límite de valores de la función de salida

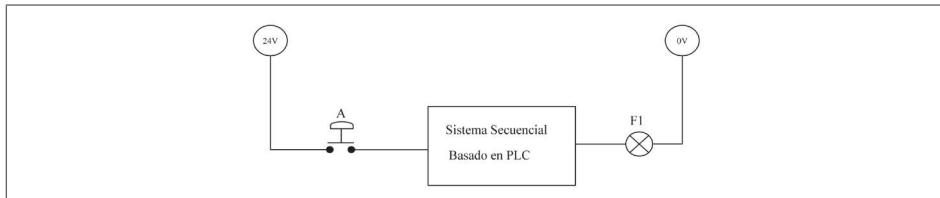


Fig. 5-32.

01. Tabla natural del proceso: A partir de la explicación de la secuencia paso a paso, se obtiene la tabla natural del proceso, y del esquema del sistema se define que tiene una variable lógica de entrada, llamada A, y una variable lógica de salida, llamada F1.

Estado	A	F1
1	0	0
2	1	1
3	0	1
4	1	0
1	0	0

Tabla 5-32.

De la tabla se define que el sistema tiene cuatro estados los cuales están representados en el siguiente diagrama de estados; de esta tabla también se define que sólo existe una trayectoria en el sistema y la aplicación del método de la memoria interna es sin bifurcaciones y retrocesos en los estados.

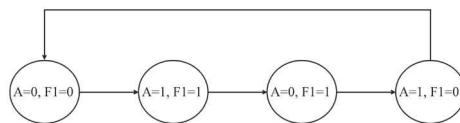


Fig. 5-33. Estados del sistema

02. Tabla de memorias: El número de memorias que se tienen que generar es igual al número de estados del sistema. El sistema secuencial tiene cuatro estados cuyo resultado es la generación de cuatro memorias, y su resultado es la siguiente tabla de memorias.

Estado	A	F1	M1	M2	M3	M4
1	0	0	1	0	0	M4
2	1	1	M1	1	0	0
3	0	1	0	M2	1	0
4	1	0	0	0	M3	1
1	0	0	1	0	0	M4

Tabla 5-33.

03. Ecuaciones del sistema: Primero se obtienen las ecuaciones de las memorias

$$M_1 = \overline{A} \cdot \overline{M_2} \cdot \overline{M_3} + A \cdot M_1$$

$$M_2 = A \cdot M_1 + \overline{A} \cdot M_2$$

$$M_3 = \overline{A} \cdot M_2 + A \cdot M_3$$

$$M_4 = A \cdot M_3 + \overline{A} \cdot M_4$$

Para encontrar la ecuación de la variable de salida, primero se debe identificar a qué grupo pertenece, estados aislados o compartidos, y puesto que los valores de F1 están en los estados 2 y 3, se define que son estados compartidos.

Estado	A	F1	M1	M2	M3	M4
1	0	0	1	0	0	M4
2	1	1	M1	1	0	0
3	0	1	0	M2	1	0
4	1	0	0	0	M3	1
1	0	0	1	0	0	M4

Tabla 5-34.

Cuyo resultado es la siguiente ecuación de la función F1

$$F_1 = M_2$$

04. Diagrama de lógica de contactos: Cada memoria y su respectiva ecuación constituyen un escalón del diagrama de lógica de contactos, siendo estas memorias el mecanismo lógico para obtener el resultado de la función de salida llamada F1. El resultado es el siguiente diagrama de lógica de contactos.

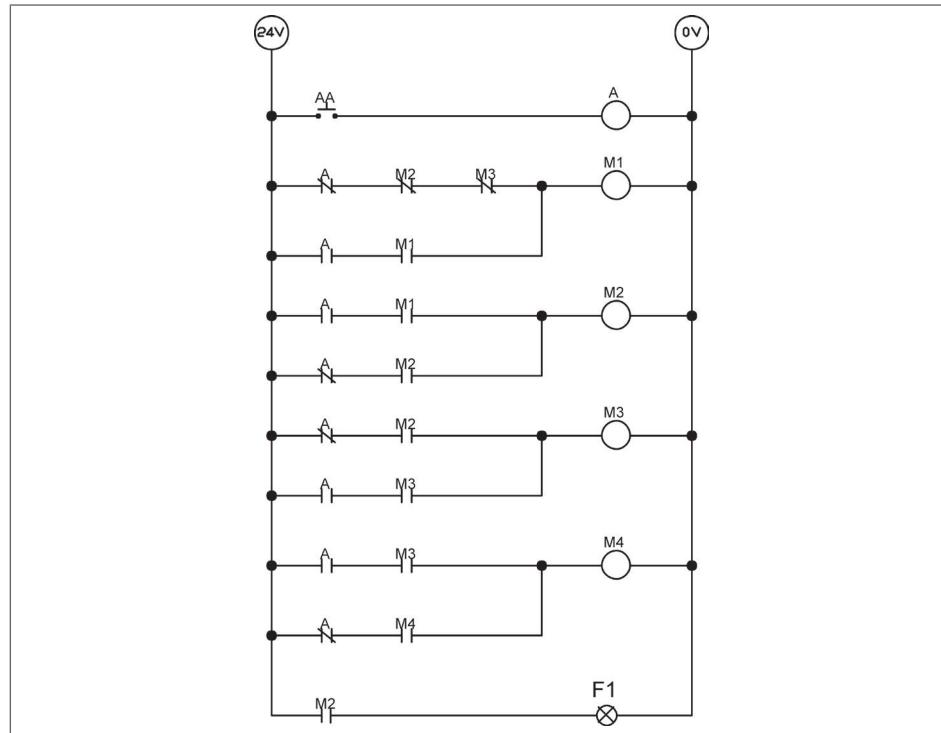


Fig. 5-34.

Se requiere de un botón AA con el cual se le den los valores de entrada al sistema y realizar la simulación correspondiente.

- 05. Reducción del número de memorias por límite de valores de la función de salida:** De este sistema se puede reducir el número de memorias al considerar que la función de salida es igual a la memoria 2 (M2), esto siempre y cuando no se le agreguen variables de salida dentro de los cuatro estados que aparecen en la tabla de estados. Por lo tanto, las memorias M3 y M4 pueden ser despreciadas. Al eliminar la memoria M3, ésta desaparece de la ecuación de la memoria M1. Con esta consideración las ecuaciones que representan al sistema son las siguientes.

$$M_1 = \overline{A} \cdot \overline{M_2} + A \cdot M_1$$

$$M_2 = A \cdot M_1 + \overline{A} \cdot M_2$$

$$F_1 = M_2$$

El siguiente diagrama representa a estas ecuaciones.

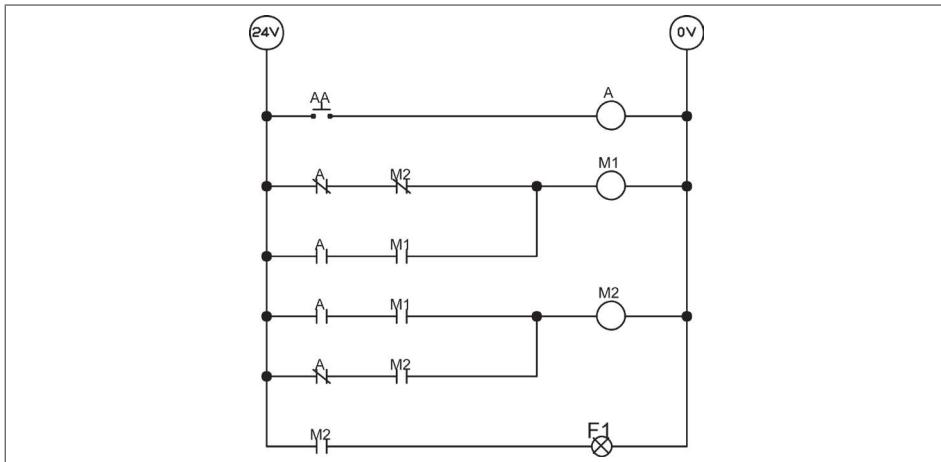


Fig. 5-35.

Ejemplo 5.7.2

Un sistema de control de nivel consta de dos sensores de nivel, sensor de nivel bajo (NB) y un sensor de nivel alto (NA); dos bombas identificadas como bomba 1 (B1) y bomba 2 (B2); una electroválvula de paso (VA) y un tanque de almacenamiento de líquido (Fig. 5-36). Considere los siguientes valores lógicos: en un sensor detectar líquido es igual a un valor lógico de "1" y no detectarlo es igual a un valor lógico de "0"; el valor lógico de las bombas es: apagado tienen el valor lógico de "0" y encendidas el valor lógico es "1". Las bombas van a estar trabajando en forma alterna: cuando trabaja la bomba 1, la bomba 2 está en espera y viceversa.

El problema que se desea resolver es desarrollar la siguiente secuencia: si no hay líquido se enciende la bomba 1, al detectar nivel el sensor NB, NB=1, sigue encendida la bomba 1 y se apaga al detectar nivel el sensor de nivel alto, NA=1; durante el llenado la válvula de paso está cerrada, VA=0, al llegar a nivel alto se apagan las bombas y se activa la válvula de paso para consumir el líquido; al no detectar nivel el sensor NB=0, se enciende ahora la bomba 2, al detectar agua el sensor de nivel bajo, NB=1, sigue encendida la bomba 2; se apaga al detectar agua el sensor de nivel alto, NA=1, y se habilita la válvula VA. Al vaciarse el tanque vuelve a iniciarse la secuencia.

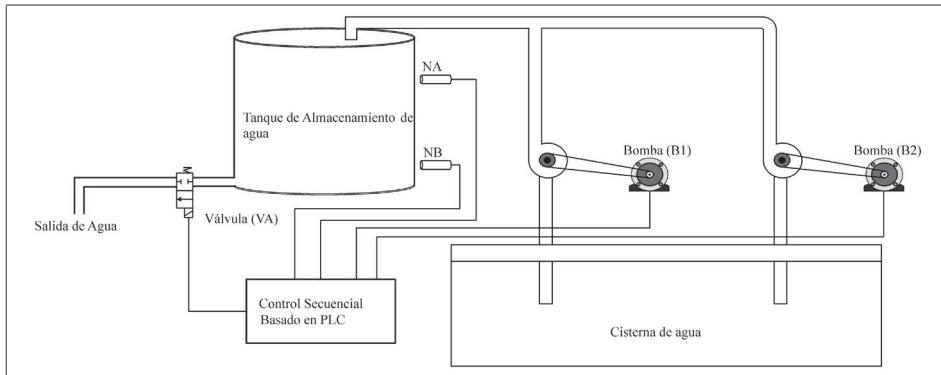


Fig. 5-36. Esquema del proceso.

Encuentre los siguientes puntos:

01. Tabla natural del proceso y diagrama de estados
02. Tabla de memorias
03. Ecuaciones del sistema
04. Diagrama de lógica de contactos
05. Reducción del número de memorias por el límite de valores de la función de salida

01. Tabla natural del proceso y diagrama de estados: De la secuencia que se pide se obtiene la tabla natural del proceso. La secuencia tiene dos etapas: una de llenado y una de consumo de líquido. Durante el llenado la válvula VA está cerrada y durante el consumo está abierta; se puede observar que el estado de la válvula VA es lo contrario a las bombas 1 y 2. La tabla siguiente muestra los ocho estados que resultan de la secuencia que se pide.

Estado	NA	NB	B1	B2	VA
1	0	0	1	0	0
2	0	1	1	0	0
3	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	1
5	0	0	0	1	0
6	0	1	0	1	0
7	1	1	0	0	1
8	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0

Tabla 5-35.

Las variables lógicas de entrada del proceso son los dos sensores de nivel: sensor de nivel alto (NA) y el sensor de nivel bajo (NB); las salidas son las dos bombas, bomba 1 y bomba 2, y la válvula de cierre localizada en la salida del agua (VA).

El diagrama de flujo de los estados del proceso es lineal, no hay bifurcaciones y en cada uno de los estados se muestran los valores de las variables lógicas de entrada y de salida.

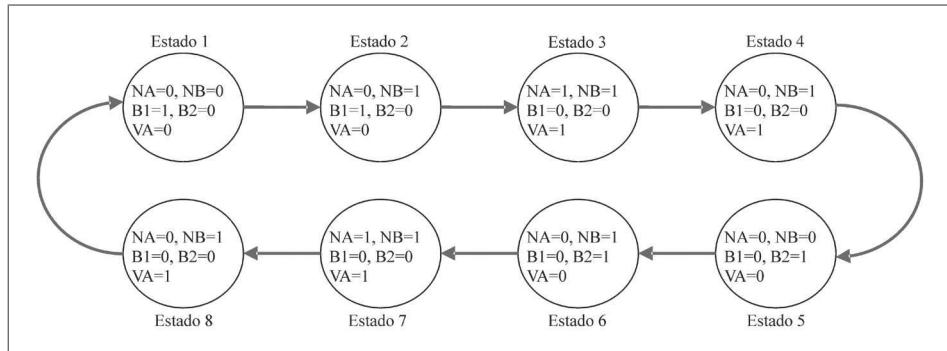


Fig. 5-37.

02. Tabla de memorias: Despues de obtener la tabla natural del proceso se realiza la tabla de memorias. El número de memorias es igual al número de estados.

$$\text{Número de estados} = \text{número de memorias}$$

$$8 \text{ estados} = 8 \text{ memorias } (M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7 \text{ y } M_8)$$

Estado	NA	NB	BI	B2	VA	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	M8
2	0	1	1	0	0	0	M1	1	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	1	0	M2	1	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	1	0	0	M3	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	0	M4	1	0	0	0
6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	M5	1	0	0
7	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	M6	1	0
8	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	M7	1
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	M8

Tabla 5-36. Tabla de memorias del sistema secuencial de bombas.

03. Ecuaciones del sistema: Se van a utilizar las ecuaciones generales para obtener las ecuaciones de las memorias, que en total son 11 ecuaciones, ocho para las memorias y tres para las funciones de salida.

Ecuaciones de M1

Para esta memoria se va a utilizar la siguiente ecuación

$$M_1 = VE_{1,1} \rightarrow \bullet VE_{a,1}^m \cdot (\overline{M}_2 \cdot \rightarrow \bullet \overline{M}_{n-1}^n) + VE_{1,2} \rightarrow \bullet VE_{a,2}^m \cdot M_1$$

a = 2 *n = 4* *a = 2*

Sustituyendo los valores de $m=2$ y $n=8$

$$M_1 = VE_{1,1} \rightarrow \bullet VE_{a,1}^2 \cdot (\overline{M}_2 \cdot \rightarrow \bullet \overline{M}_{n-1}^8) + VE_{1,2} \rightarrow \bullet VE_{a,2}^2 \cdot M_1$$

a = 2 *n = 4* *a = 2*

$$M_1 = VE_{1,1} \cdot VE_{2,1} \cdot \overline{M_2} \cdot \overline{M_3} \cdot \overline{M_4} \cdot \overline{M_5} \cdot \overline{M_6} \cdot \overline{M_7} + VE_{1,2} \cdot VE_{2,2} \cdot M_1$$

Sustituyendo los valores de variables de entrada queda la siguiente ecuación

$$M_1 = \overline{NA} \overline{NB} \overline{M_2} \overline{M_3} \overline{M_4} \overline{M_5} \overline{M_6} \overline{M_7} + \overline{NANBM_1}$$

Ecuaciones de M2 a M7

Para obtener las ecuaciones de estas memorias se va a utilizar la ecuación general

$$\begin{matrix} n-1 \\ M_n = \overline{VE}_{a,n} \cdot M_{n-1} + \overline{VE}_{a,(n+1)} \cdot M_n \\ a=1 \\ n=2 \end{matrix}$$

Sustituyendo los valores de $m=2$ y $n=8$

$$\begin{matrix} 8-1 \\ M_n = \overline{VE}_{a,n} \cdot M_{n-1} + \overline{VE}_{a,(n+1)} \cdot M_n \\ a=1 \\ n=2 \end{matrix}$$

Ecuación de M2

$$M_2 = VE_{1,2} VE_{2,2} \cdot M_1 + VE_{1,3} VE_{2,3} \cdot M_2$$

sustituyendo los valores de las variables de entrada se tiene la siguiente ecuación

$$M_2 = \overline{NANBM_1} + \overline{NANBM_2}$$

Las ecuaciones de las memorias M3 a M7 se obtienen con la misma ecuación general; también se pueden obtener por la misma práctica de obtener las ecuaciones

Ecuaciones de M3 a M7

$$M_3 = NANB M_2 + \overline{NANBM_3}$$

$$M_4 = \overline{NANB} M_3 + \overline{NANB} M_4$$

$$M_5 = \overline{NANB} M_4 + \overline{NANBM_5}$$

$$M_6 = \overline{NANBM_5} + \overline{NANBM_6}$$

$$M_7 = \overline{NANBM_6} + \overline{NANBM_7}$$

Ecuaciones de M8

Para esta memoria se va a utilizar la ecuación general

$$\begin{matrix} m \\ M_n = \overline{VE}_{a,n} \cdot M_{n-1} + \overline{VE}_{a,1} \cdot M_n \\ a=1 \\ n=1 \end{matrix}$$

Sustituyendo los valores de $m=2$ y $n=8$

$$M_8 = VE_{1,8} VE_{2,8} \bullet M_7 + VE_{1,1} VE_{2,1} \bullet M_8$$

sustituyendo los valores de las variables de entrada el resultado es la siguiente ecuación.

$$M_8 = \overline{NANBM}_7 + \overline{NANBM}_8$$

Ecuaciones de las variables lógicas de salida B1, B2 y VA

Para obtener las ecuaciones, primero se va a identificar en cuál de los dos grupos se localizan las funciones de salida y después se aplica el método de la memoria interna para obtener las ecuaciones.

Estado	NA	NB	B1	B2	VA	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	M8
2	0	1	1	0	0	M1	1	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	1	0	M2	1	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	1	0	0	M3	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	0	M4	1	0	0	0
6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	M5	1	0	0
7	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	M6	1	0
8	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	M7	1
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	M8

Tabla 5-37.

Las tres funciones de salida comparten cambios de estado; B1 comparte el cambio de 1 a 2, B2 comparte el cambio de 5 a 6 y VA tiene dos grupos de estados compartidos: en el primero comparten cambio de estado en 3 y 4 y en el segundo grupo comparte cambios de estado en 7 y 8. Al aplicar el método de la memoria se busca en las casillas de las memorias un valor lógico “1” y los valores son igual a la memoria dueña de la casilla.

<i>Ec. de B1</i>	$B_1 = M_1$	<i>Ec. de B2</i>	$B_2 = M_6$	<i>y la ecuación de VA</i>	$VA = M_3 + M_7$
------------------	-------------	------------------	-------------	----------------------------	------------------

04. Diagrama con lógica de contactos: El siguiente diagrama de lógica de contactos expresa a las ecuaciones obtenidas: las funciones de salida B1 y B2 son expresadas por relevadores y la solenoide se expresa precisamente con su símbolo. Este es un diagrama de control, no de fuerza.

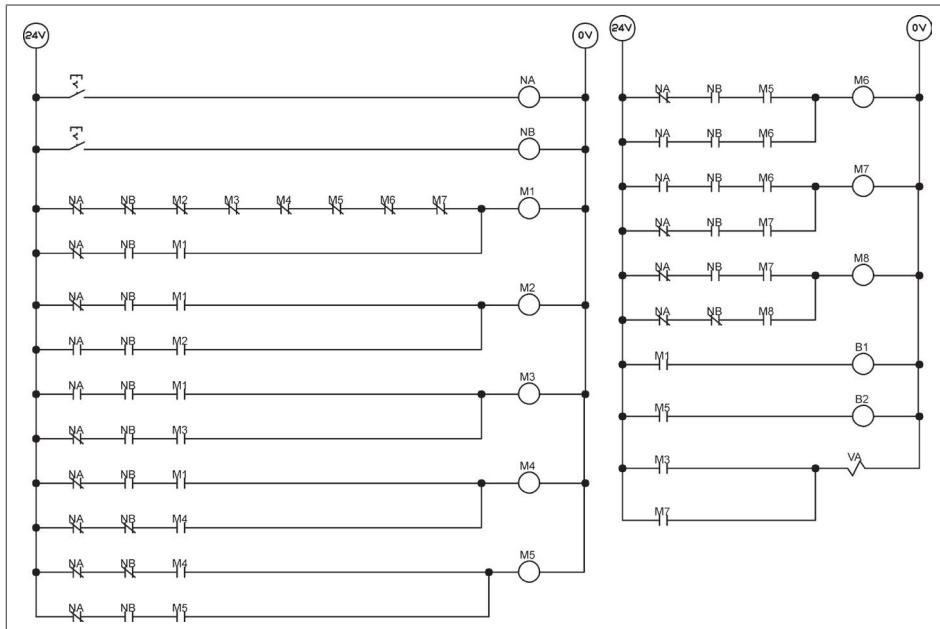


Fig. 5-38.

Con los botones que activan a NA y NB se le dan los valores al sistema.

En cada memoria se pueden obtener factor común y así reducir el tamaño del circuito.

$$M_1 = \overline{NA} (\overline{NB} M_2 M_3 M_4 M_5 M_6 M_7 + NBM_1)$$

$$M_2 = NB (\overline{NA} M_1 + NA M_2)$$

$$M_3 = NB (NA M_2 + \overline{NA} M_3)$$

$$M_4 = \overline{NA} (NB M_3 + \overline{NB} M_4)$$

$$M_5 = \overline{NA} (\overline{NB} M_4 + NBM_5)$$

$$M_6 = NB (\overline{NA} M_5 + NA M_6)$$

$$M_7 = NB (NA M_6 + \overline{NA} M_7)$$

$$M_8 = \overline{NA} (NBM_7 + \overline{NB} M_8)$$

Una vez obtenido el factor común de cada memoria, se observa que el factor común de M2 y M3 es el mismo, por lo que de estas dos ecuaciones se saca a NB como factor de común de ambas ecuaciones; lo mismo sucede con M4 y M5

y también con M6 y M7, de tal manera que si se obtiene estos factores comunes se tiene el siguiente diagrama de lógica de contactos.

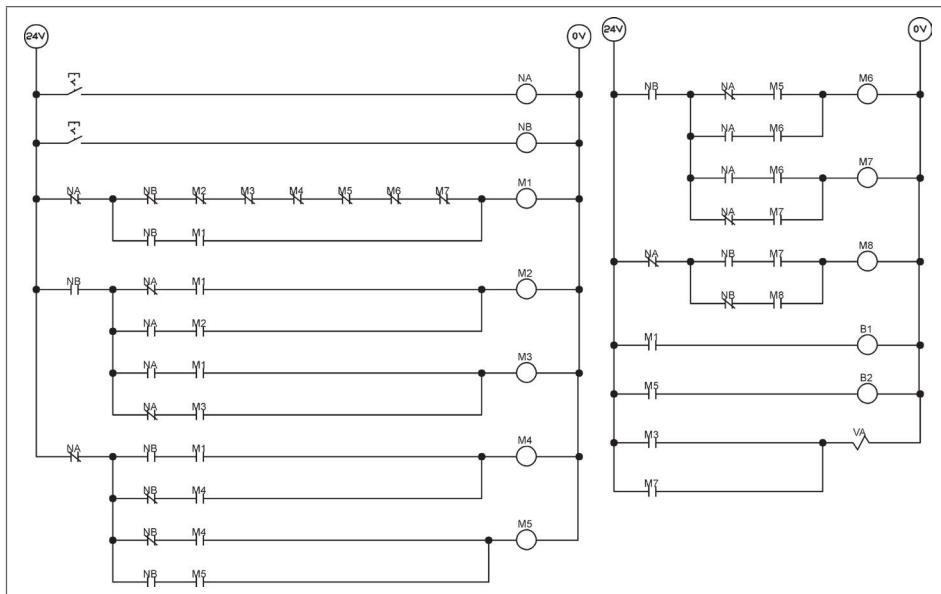


Fig. 5-39.

- 05. Reducción del número de memorias por el límite de valores de la función de salida:** Se puede reducir el número de elementos en el primer término de la memoria M1 y también se puede reducir el número de memorias por el límite de valores de la función de salida. A partir de la tabla se ve que los valores del primer estado se repiten y es precisamente en el estado 5, por lo que se pueden eliminar los negados de M2 a M4 y de M6 a M7 en la ecuación de la memoria 1 (M1), sólo se deja el negado de la memoria M5, quedando la siguiente ecuación.

$$M_1 = \overline{NA} (\overline{NB} \overline{M}_5 + NB M_1)$$

Se puede eliminar la ecuación de la memoria 8 debido a que las funciones de salida no la contemplan dentro de sus respectivas ecuaciones, sólo consideran hasta la memoria 7 (M7) y es la ecuación de VA.

Haciendo esta modificación a las ecuaciones, resulta el siguiente diagrama.

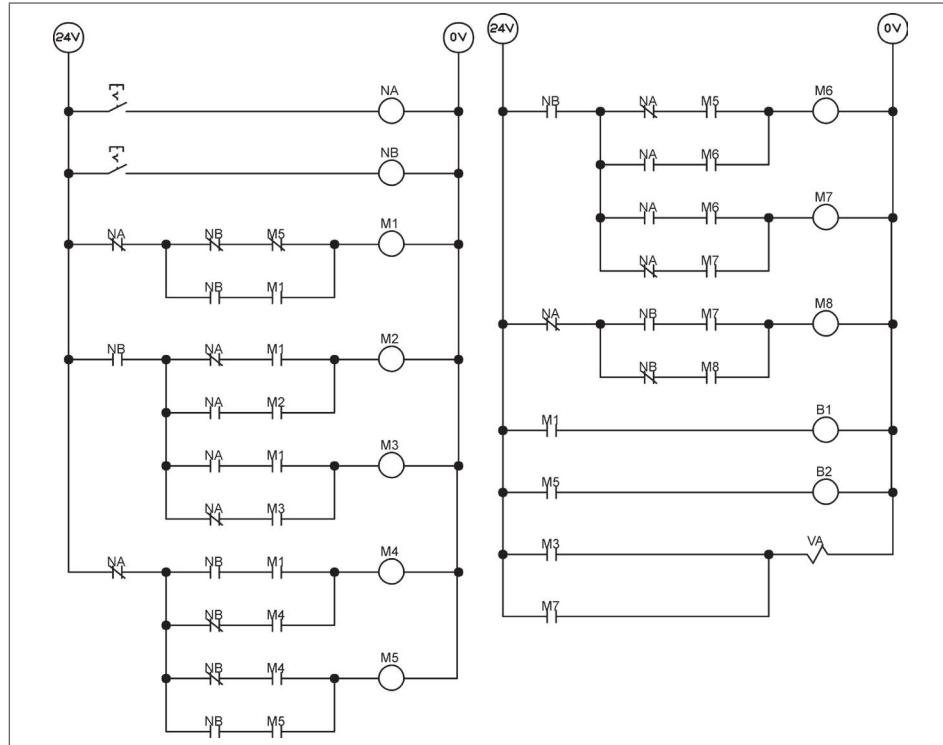


Fig. 5-40.

5.8 Simulación con el software FluidSIM-P™ de FESTO

La simulación o modelado de un sistema tiene grandes ventajas en el diseño de sistemas ya que es posible comprobar si el resultado es el esperado o de lo contrario se ajusta el sistema para obtener el resultado requerido. También es de gran apoyo en la enseñanza puesto que ayuda al estudiante o lector a comprobar los ejemplos propuestos.

En este libro se incluyen dos programas de demostración de FESTO con los cuales se pueden realizar simulaciones de sistemas automáticos. Uno de los programas incluidos es el FluidSim-P, el cual es una herramienta de simulación para obtener y desarrollar los conocimientos básicos de neumática y electroneumática. Los componentes neumáticos se explican mediante breves descripciones y el programa tiene un archivo de ayuda completamente en español.

En seguida se presenta la simulación del ejemplo 5.7.1 como demostración del funcionamiento del software. Cabe mencionar que no obstante que este software es de demostración, es factible realizar simulaciones desde las muy sencillas hasta las que son muy complejas; el único inconveniente es que no se puede imprimir ni grabar, sin embargo si realiza todas las funciones de simulación.

Paso 1

Al seleccionar el ícono en la computadora del programa FluidSim® despliega la versión del programa e información acerca del fabricante del mismo (Fig. 5-41).



Fig. 5-41.

Paso 2

Después de entrar al programa, se muestra la página principal para abrir un proyecto ya hecho o para desarrollar uno nuevo (Fig. 5-42).

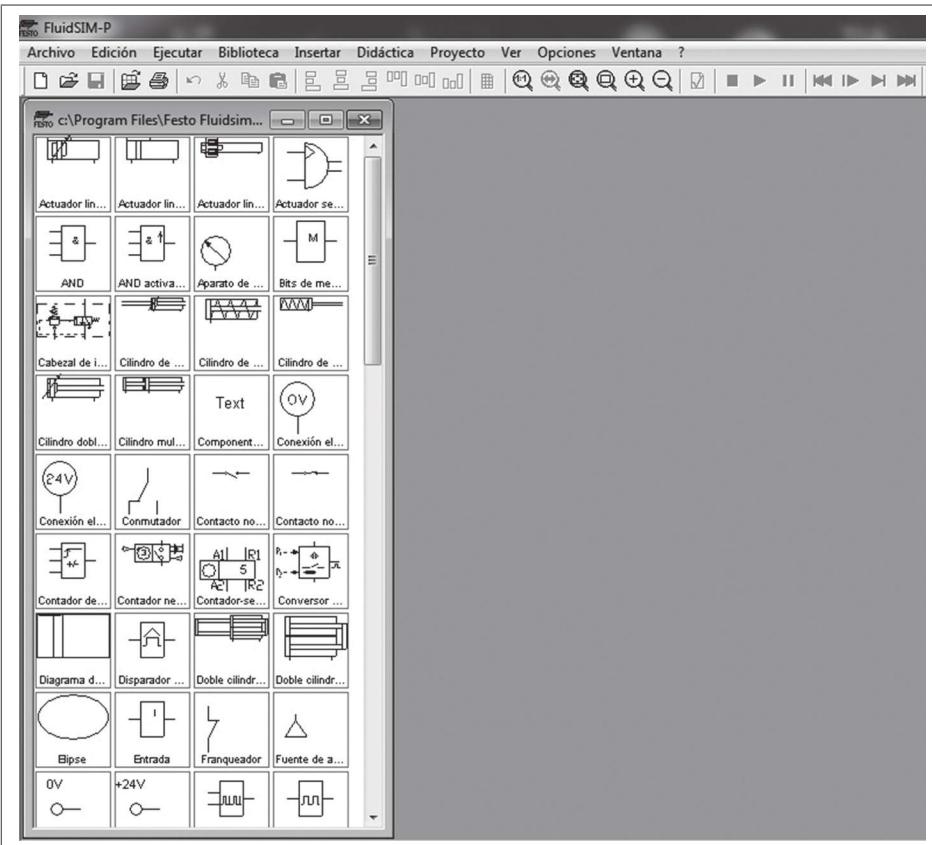


Fig. 5-42. Página principal del programa FluidSim®.

Paso 3

Si se va a implementar un nuevo proyecto, en este caso el diagrama de lógica de contactos que se obtuvo del ejemplo 5.1, se selecciona la pestaña “Insert” y en sus opciones se elige la pestaña “Ladder symbols”, en cuyas opciones a su vez se selecciona los dispositivos que va a requerir el proyecto (Fig. 5-43); se debe seleccionar una fuente de voltaje para poder conectar el proyecto que va a desarrollarse.

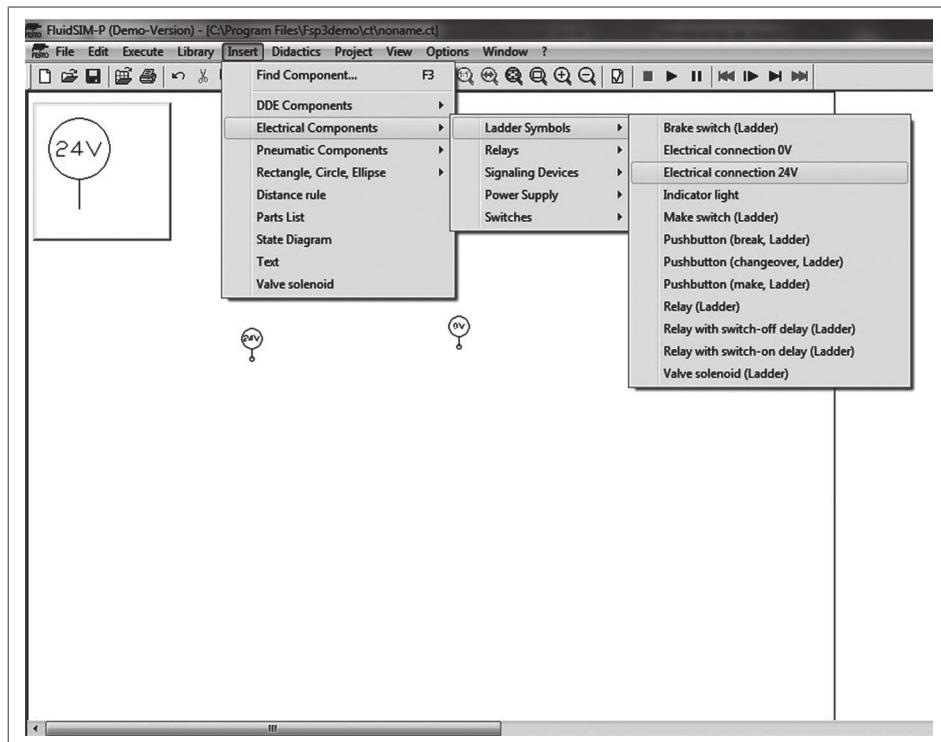


Fig. 5-43. Procedimiento para la implementación de un nuevo proyecto.

Paso 4

Después seleccionar la fuente de voltaje se eligen los dispositivos que constituyen el proyecto, como el “Pushbutton”, el “Relay”, “Make switch”, “Brake switch” y “Indicator light”, los cuales son los componentes que se requieren para implementar el circuito de lógica de contactos (Fig. 5-44).

Las conexiones se realizan haciendo una unión entre las terminales de los dispositivos y de este modo se obtiene el diagrama completo de lógica de contactos.

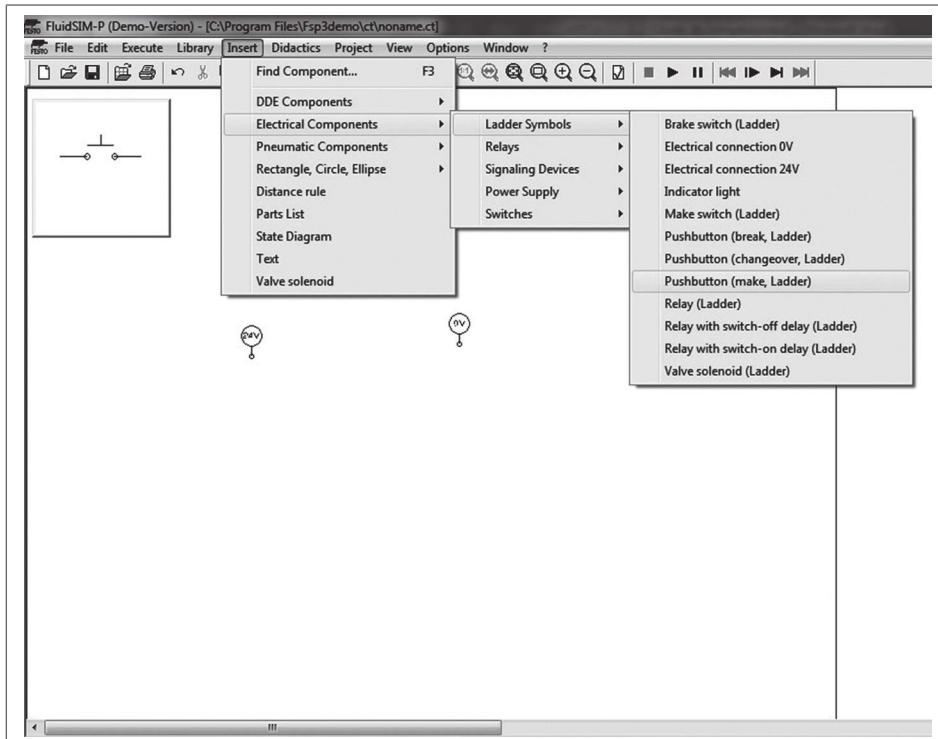


Fig. 5-44. Selección de los dispositivos que constituyen el proyecto.

Paso 5

Una vez que el diagrama está completo se empieza la simulación. En el diagrama se observa que el “pushbutton” habilita un relevador para poder obtener los ocho contactos que requiere el diagrama, de lo contrario es difícil realizar la simulación

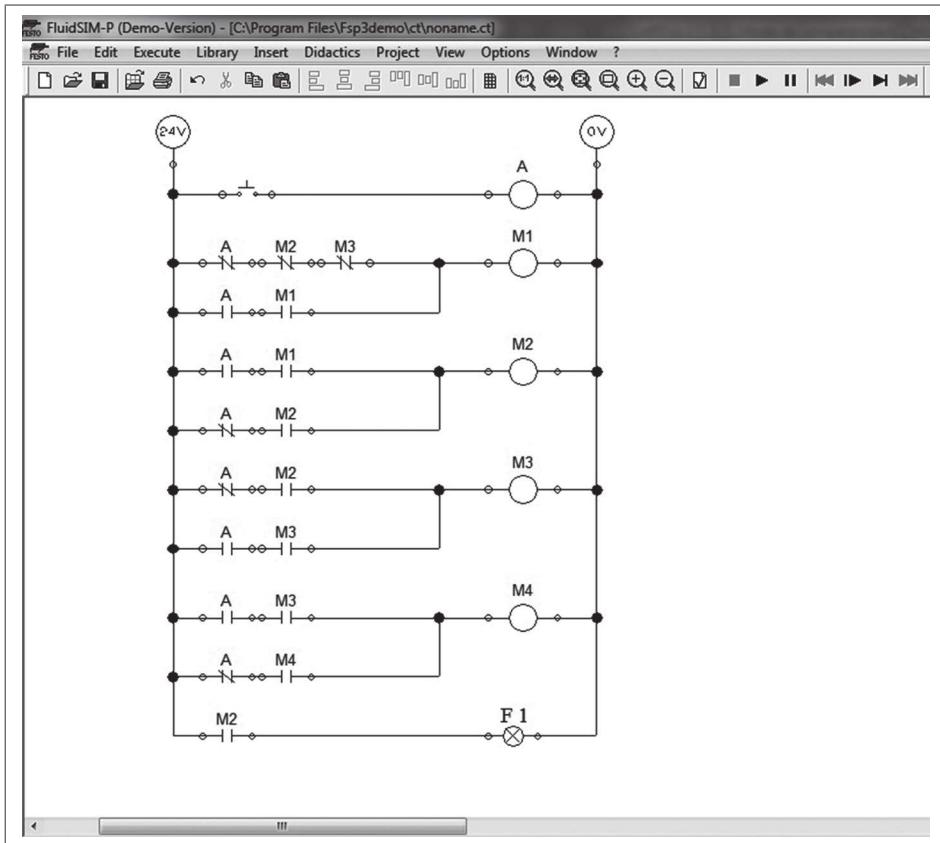


Fig. 5-45.

En seguida se presenta la simulación paso a paso, que es igual a la presentación de los estados del sistema. Para iniciar la simulación se requiere habilitar el ícono

Estado 1. En este estado los valores de las variables de entrada y salida y las memorias internas son los siguientes:

$$A=0, F1=0, M1=1, M2=0, M3=0, M4=M4=0$$

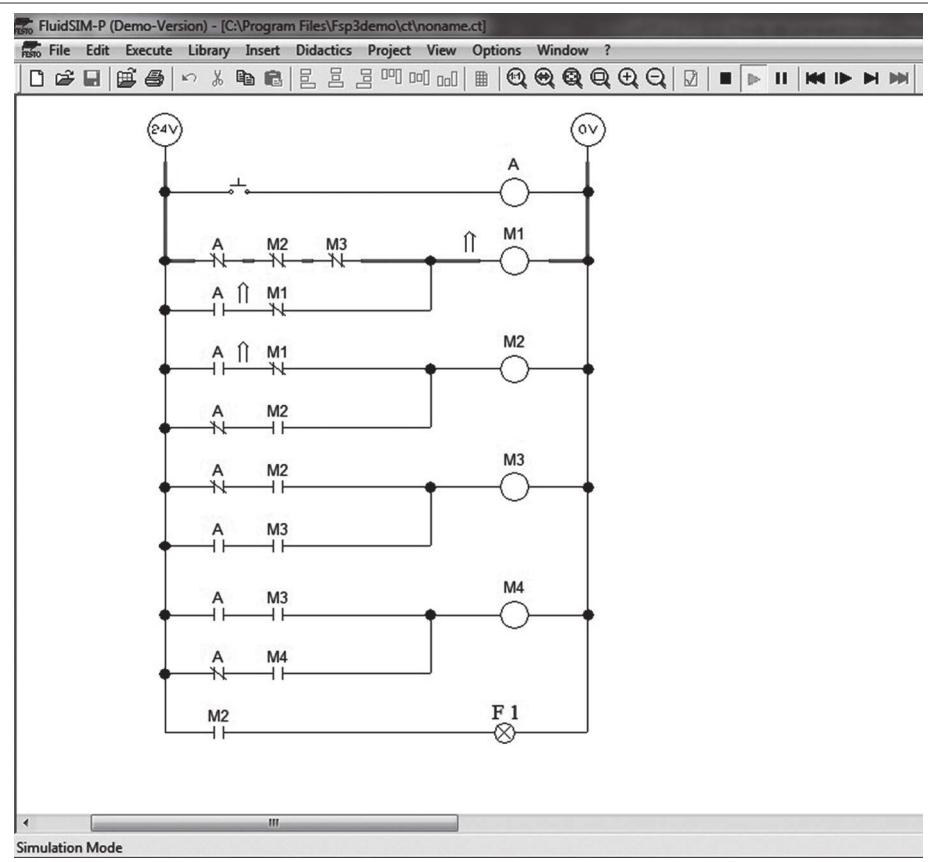


Fig. 5-46.

Estado 2. Los valores de la variable de entrada, de la variable de salida y de las memorias son las siguientes:

$$A=1, F1=1, M1=1, M2=1, M3=0, M4=0$$

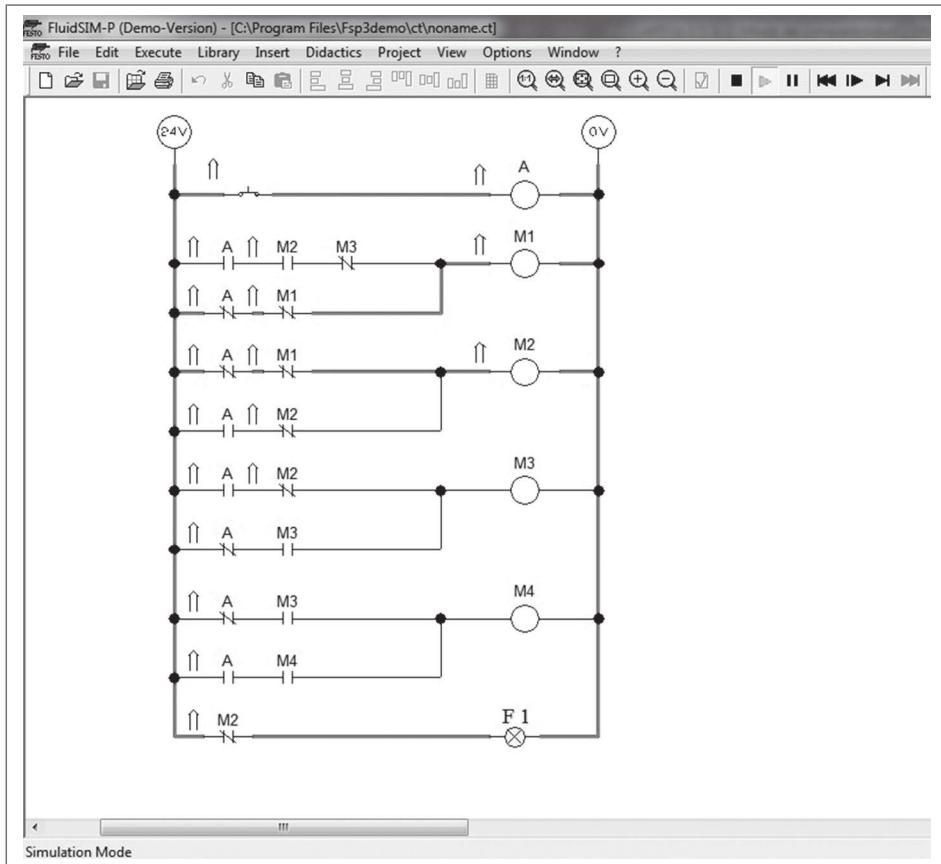


Fig. 5-47.

Estado 3. En este estado los valores de las variables son las siguientes:

$$A=0, F1=I, M1=0, M2=I, M3=I, M4=0$$

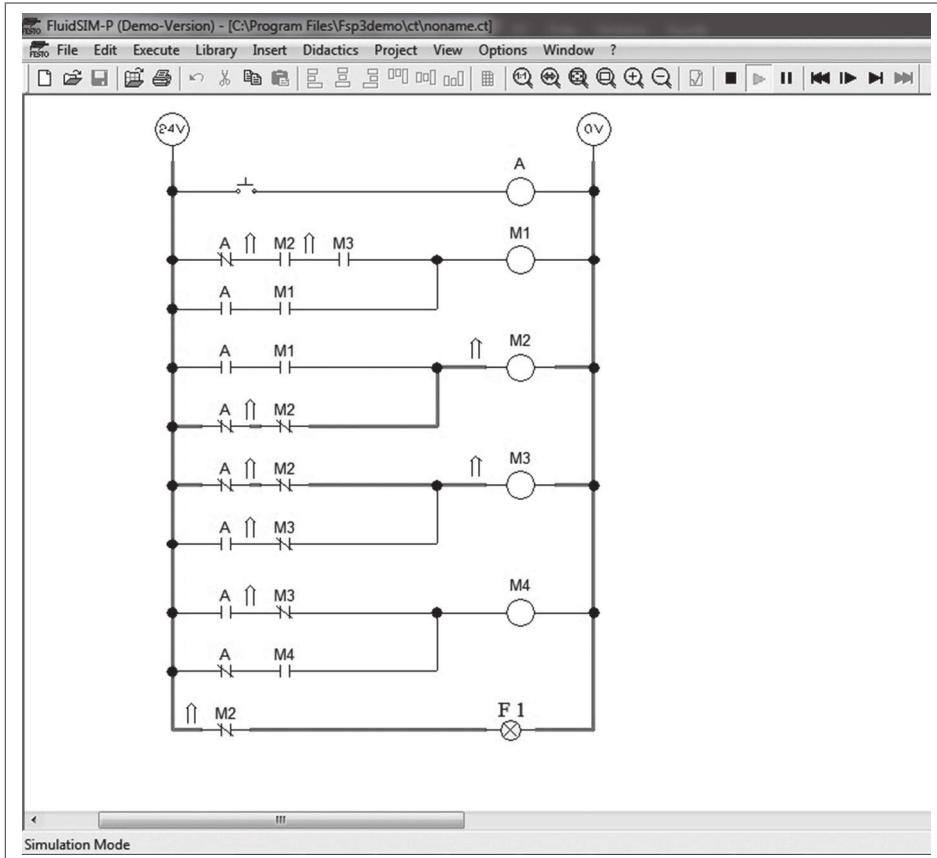


Fig. 5-48.

Estado 4. Los valores de las variables son los siguientes

$A=1, F1=0, M1=0, M2=0, M3=1, M4=1$

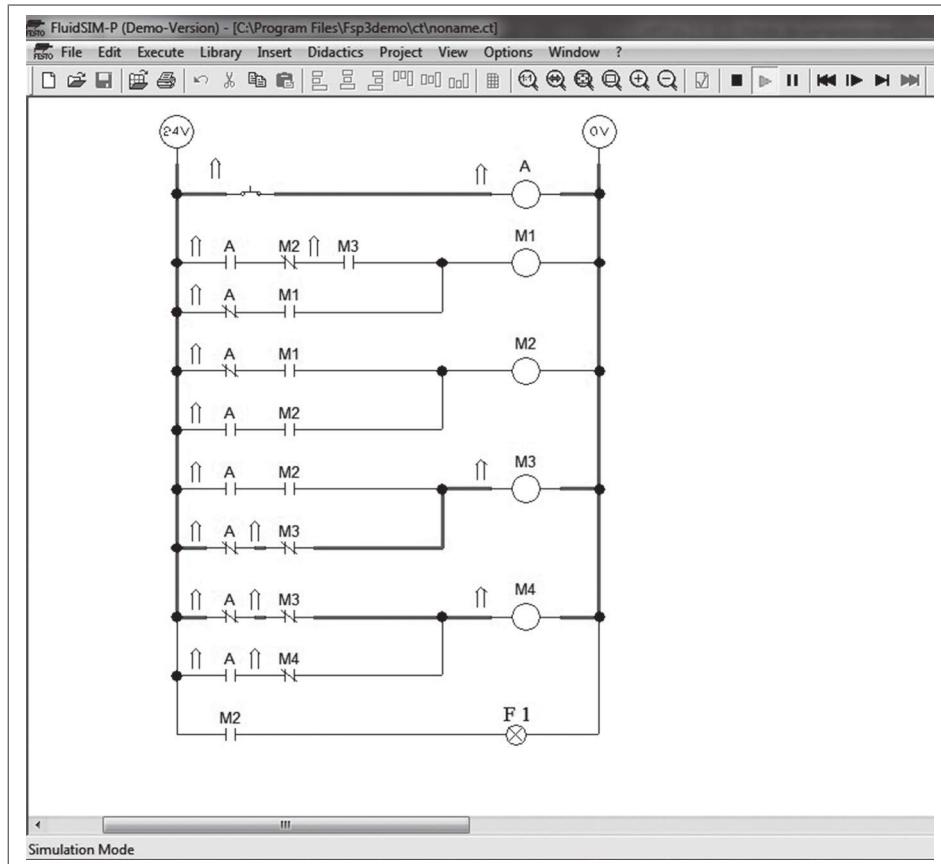


Fig. 5-49.

Estado 1. Del segundo ciclo. Una vez que se cumplen los 4 estados del sistema, se llega al estado de inicio, estado 1, del segundo ciclo, cuyo resultado son los valores siguientes:

$$A=0, F1=0, M1=1, M2=0, M3=0, M4=1$$

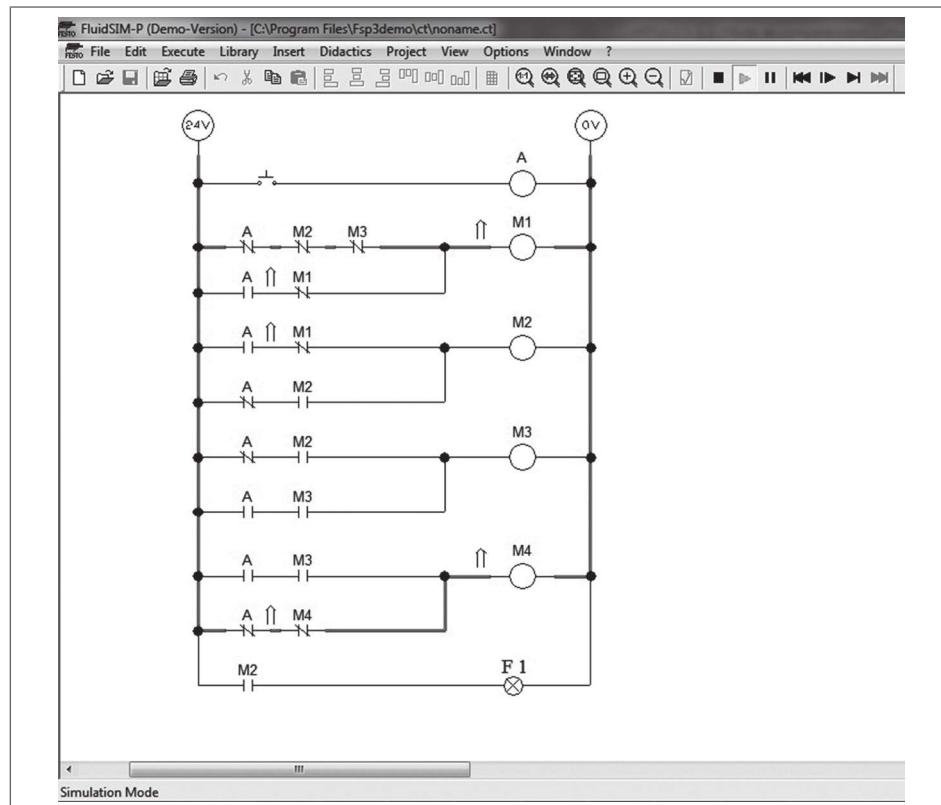


Fig. 5-50.

5.9 Ejercicios de estudio

Preguntas

01. ¿Cuál es la limitante del método de la memoria interna?
02. Explique la diferencia entre el relevador electromecánico y el relevador digital programado en un PLC.
03. ¿En qué operadores lógicos está basado el método de la memoria interna?
04. ¿Qué es lo que se representa en una tabla natural del proceso?

05. ¿Cuál es el término más crítico de la memoria 1?
06. ¿Qué es un estado aislado en una variable lógica de salida?
07. ¿Cómo se definen estados compartidos en una variable lógica de salida?
08. ¿Qué ventajas ofrecen los programas de simulación como el FluidSim de Festo?

Problemas

5.9.1 El sistema tiene un botón pulsar para activar (A) y tres funciones de salida F1, F2 y F3; el encendido de las tres funciones en forma secuencial es mediante transiciones negativas del botón pulsador (A).

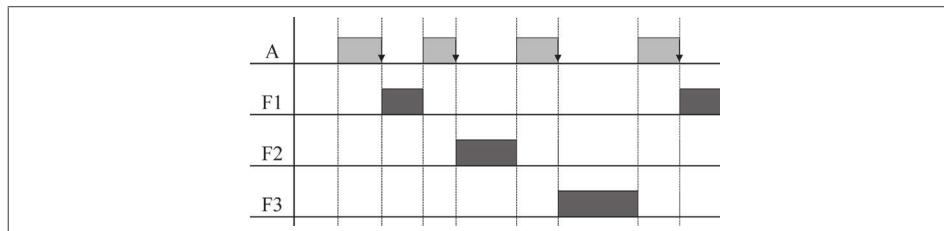


Fig. 5-51. Diagrama de estados del sistema.

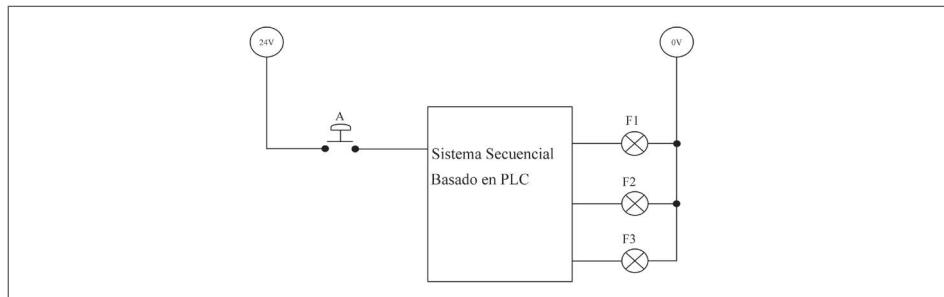


Fig. 5-52. Esquema del sistema.

Obtenga los siguientes puntos:

- a. Tabla natural del proceso
- b. Tabla de memorias
- c. Ecuaciones del sistema
- d. Diagrama de lógica de contactos
- e. Simulación con el FluidSim

5.9.2 Para el ejemplo 5.7.2 que fue resuelto, cambie la tabla natural del proceso por la siguiente tabla:

Estado	NA	NB	B1	B2	VA
1	0	0	1	1	0
2	0	1	1	0	0
3	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	1
5	0	0	1	1	0
6	0	1	0	1	0
7	1	1	0	0	1
8	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0

Tabla 5-39.

Compruebe que las ecuaciones de las memorias son las mismas, sólo cambian las ecuaciones de las funciones de salida B1 y B2; esto es una solución para llenar en menos tiempo el depósito de líquido.

Obtenga los siguientes puntos:

- Ecuaciones de las funciones B1 y B2
- Diagrama de lógica de contactos
- Simulación con el FluidSim

5.9.3 Un sistema secuencial asíncrono que se representa con el diagrama de estados de la Fig 5-53, está compuesto por una variable de entrada (A), botón pulsador y tres funciones de salida F1, F2 y F3. Obtenga los siguientes puntos:

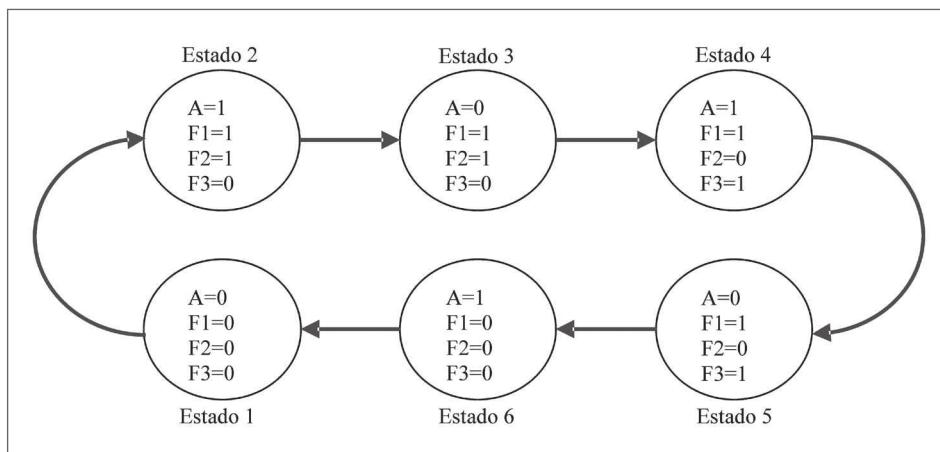


Fig. 5-53.

- Transfiera el diagrama de estados a una tabla natural del proceso
- Tabla de memorias
- Ecuaciones del sistema
- Represente en diagrama de lógica de contactos las ecuaciones obtenidas

e. Implemente el diagrama de lógica de contactos y obtenga la simulación con el software FluidSim.

5.9.4 Un sistema mezclador de dos líquidos que se muestra en la figura 5x, cuyo sistema consta de dos depósitos de líquido: líquido 1 y líquido 2, se requiere que realice una mezcla proporcional. Cada una de las proporciones de los líquidos va a estar dada por los sensores de nivel: el líquido 1 es el primero en ser suministrado y la cantidad de líquido está dada por los sensores de nivel bajo (NB) y el sensor de nivel medio (NM), lo que indica que la bomba 1 va a estar encendida hasta que el sensor NM detecte nivel. La cantidad de líquido 2 está dada por los sensores de NM y el sensor de nivel alto (NA), lo que indica que la bomba 2 va a encenderse desde que el sensor NM detecta líquido y se va a apagar hasta que se active el sensor NA. Mientras se están suministrando los líquidos la válvula VSE debe de estar abierta, es decir, desde que los sensores no detectan nivel ($NB=0$, $NM=0$ y $NA=0$) hasta que los tres sensores detectan nivel ($NB=1$, $NM=1$ y $NA=1$). Al habilitarse el sensor NM durante el llenado se debe de encender el motor mezclador (MM) y se apaga hasta que se consuma el líquido, esto es, los sensores NA, NM y NB no detectan nivel. La válvula VSA se debe de habilitar durante el consumo, es decir después de que NA, NM y NB detectan nivel y se debe de cerrar al momento en que los sensores no detectan nivel.

- Desarrolle la tabla natural del proceso incluyendo las memorias del sistema, que represente la secuencia explicada.
- Implemente el diagrama de lógica de contactos.
- Realice la simulación con el software del FluidSim del diagrama de lógica de contactos.

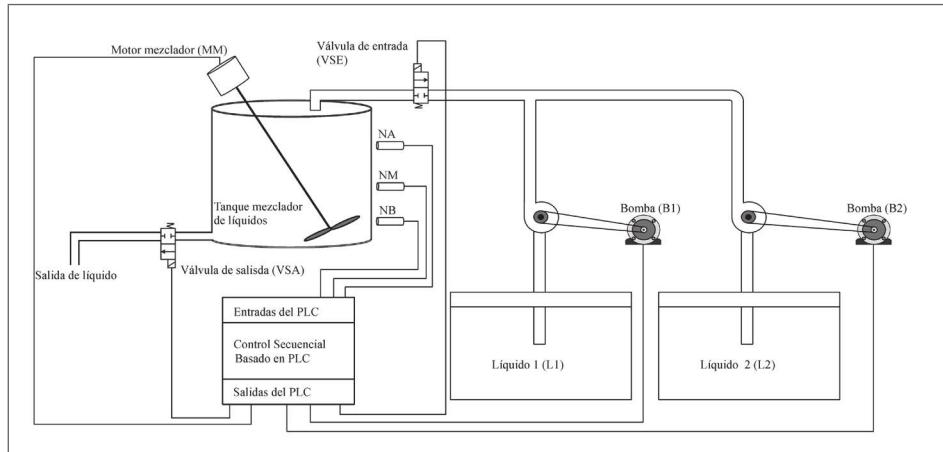


Fig. 5-54.

5.9.5 Un sistema de transporte de producto mediante bandas motorizadas está constituido por sensores (S1, S2, S3 y S4) y dos bandas (B1 y B2) (figura 5.x) con la siguiente secuencia:

- Al detectar producto el sensor 1 se enciende la banda 1 (B1) y la banda 2 (B2) sigue apagada.
- Al avanzar el producto sigue encendida B1 y apagada B2.
- Al detectar producto S2, se enciende B2 y sigue encendida B1
- Al detectar producto S3, se debe de apagar B1 y seguir encendida B2
- Al detectar producto S4, se debe de apagar B2.

NOTA: Consideré que hay momentos en que ningún sensor está activado y el producto debe seguir avanzando

- Diseñe y complete la tabla con el método de la memoria interna.
- Obtenga las ecuaciones para cada una de las memorias y variables del sistema.
- Desarrolle el diagrama con lógica de contactos y su respectiva simulación con el FluidSim.
- Mencione si el sistema es combinacional o secuencial y explique el porqué.

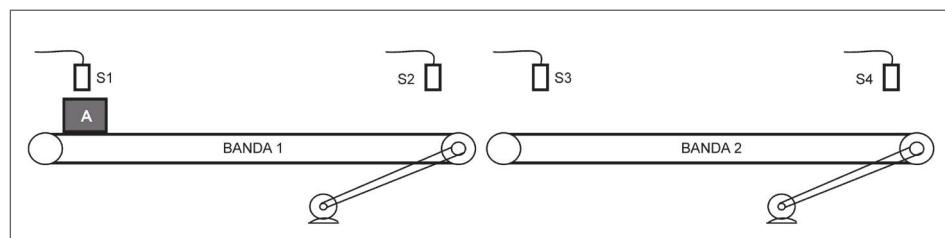


Fig. 5-55.

5.9.6 Una vía férrea con tráfico en ambos sentidos se cruza con una carretera en la cual se coloca una barrera gobernada por la salida F1 de un autómata asíncrono (Fig. 5-55). A 500 metros del punto de cruce se colocan dos sensores S1 y S2, respectivamente. A partir de un estado inicial en el que $F1=0$, la salida deberá pasar al estado 1 cuando se acerque un tren en cualquier sentido al rebasar su máquina los 500 m del cruce y deberá volver al estado 0 cuando el último vagón se aleje más de dicha distancia, independientemente de la longitud del tren. Diseñe dicho autómata asíncrono suponiendo que los trenes no van a cambiar la dirección de su marcha y que no puede haber más de uno en el cruce al mismo tiempo.

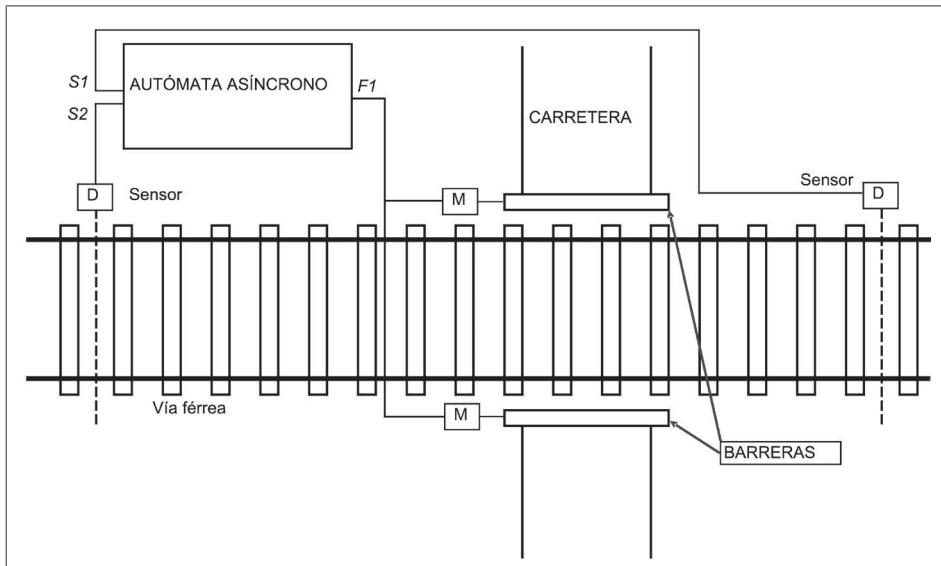


Fig. 5-56.

Compruebe que la siguiente tabla de memorias representa al sistema

S1	S2	F1	M1	M2	M3	M4	M5
0	0	0	1	0	0	0	M5
0	1	1	M1	1	0	0	0
1	0	1	M1	1	0	0	0
1	1	1	0	M2	1	1	0
0	0	1	0	M2	1	1	0
1	0	1	0	0	M3	0	1
0	1	1	0	0	0	M4	1
0	0	0	1	0	0	0	M5

Tabla 5-40.

Obtenga los siguientes puntos:

- Compruebe que el sistema tiene las cuatro trayectorias del diagrama de flujo de los estados que muestra la Fig. 5-57.
- De la tabla de memorias obtenga las ecuaciones del sistema.
- El diagrama de lógica de contactos que represente al sistema.
- La simulación del sistema con el software FluidSim.

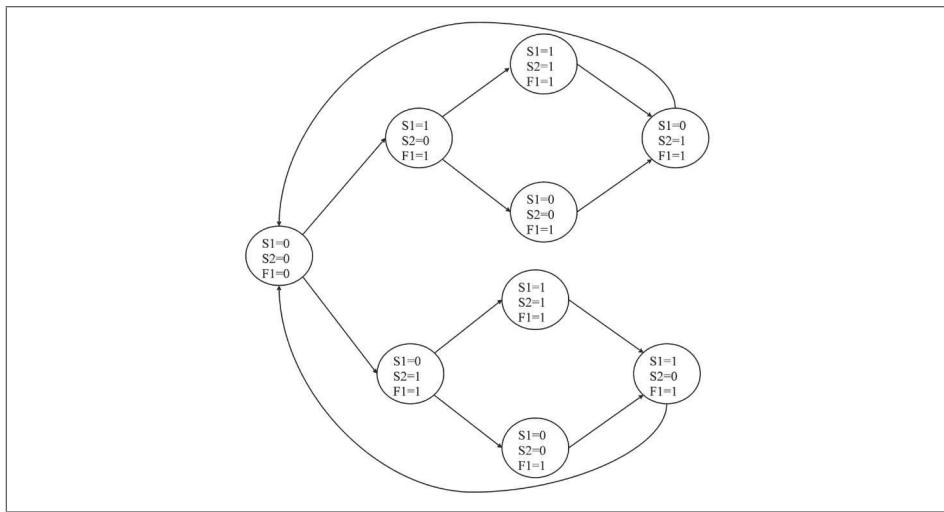


Fig. 5-57

CAP TULO 6

Sistemas secuenciales neumáticos

6.1 Introducción

En la segunda mitad del siglo XIX es cuando el aire comprimido adquiere importancia industrial e inicia la aplicación masiva de la neumática en la solución de sistemas secuenciales del tipo industrial, en los inicios aparecen poco a poco los componentes neumáticos con diseños estandarizados, tales como los cilindros neumáticos, las valvulas direccionales y tipos de pilotos. En los inicios cada usuario desarrollaba sus propios cilindros de acuerdo a sus necesidades ahora existen normas que estandarizan el diseño de estos dispositivos. Un punto importante de la estandarización de los componentes neumáticos es tener marcas que ofrezcan los mismos componentes bajo las mismas normas.

El término neumática es derivado del griego Pneumos o Pneuma (respiración, soplo) y es definido como la parte de la Física que se ocupa de la dinámica y de los fenómenos físicos relacionados con los gases. Es también el estudio de la conversión de la energía neumática en energía mecánica, a través de los respectivos elementos de trabajo.

Los sistemas neumáticos al igual que cualquier otro sistema muestran ventajas y limitaciones, al solucionar problemas secuenciales o aplicaciones básicas con neumática se deben de considerar las ventajas y limitaciones mostradas en la Tabla 6-1

Ventajas	Limitaciones
Bajos costos de operación. La rapidez en los movimientos neumáticos y la liberación del operador en efectuar operaciones repetitivas aumentando la productividad, reduciendo costos de operación.	Bajas velocidades. No se puede tener control en velocidades muy bajas, éstas son difíciles de ser obtenidas con el aire comprimido, debido a sus propiedades físicas.
Sistemas robustos. La robustez inherente de los controles neumáticos, los hace insensibles a vibraciones y golpes, permitiendo que acciones mecánicas del propio proceso sirvan de señal para la secuencia de operación.	Presiones moderadas. Los componentes neumáticos son normalmente proyectados y utilizados a una presión máxima de 1723,6kPa. Por lo tanto, las fuerzas envueltas son pequeñas comparadas a otros sistemas.
Facil implementación. Pequeñas modificaciones a las máquinas convencionales, junto a la disponibilidad de aire comprimido, son los requisitos necesarios para la implementación de los controles neumáticos.	Tratamiento del aire. El aire comprimido necesita de tratamiento para realizar el trabajo propuesto: se debe retirar las impurezas y eliminar la humedad para evitar la corrosión en los equipos, atascamientos u obstrucciones, así como mayores desgastes en partes móviles.
Resistencia a ambientes hostiles. Oscilaciones de temperatura, polvo, atmósfera corrosiva, humedad, sumersión en líquidos, son algunas de las características de resistencia de estos sistemas.	Contaminación sonora. El aire comprimido es un contaminante del medio cuando se efectúa la liberación del aire(Contaminación sonora) hacia la atmósfera, aun con silenciadores en los escapes se tiene esta contaminación.
Seguridad. Como los equipos neumáticos implican siempre presiones moderadas, llegan a ser seguros contra posibles accidentes: en equipos y personal de operación, además de evitar problemas de explosión.	
Reducción en número de accidentes. La fatiga del operador es uno de los principales factores de accidentes laborales; y la implementación de controles neumáticos reduce esta incidencia.	
Simplicidad en la operación. Los controles neumáticos no necesitan de operadores super-especializados para su operación.	
Económicos. Incremento de la producción con una inversión muy pequeña.	

Tabla 6-1. Ventajas y limitaciones al aplicar un sistema neumático .

Propiedades físicas del aire

La fuente de energía de un sistema neumático se obtiene del aire comprimido y para entender como es que se logra obtenerlo es importante conocer las propiedades físicas del aire.

A pesar de ser insípido, inodoro e incoloro, percibimos el aire a través de vientos, aviones y pájaros que en él flotan y se mueven; sentimos también su impacto sobre nuestro cuerpo. Concluimos fácilmente, que el aire tiene existencia real y concreta, ocupando un lugar en el espacio que nos rodea.

Compresibilidad

El aire, así como todos los gases, tiene la propiedad de ocupar todo el volumen de cualquier recipiente, adquiriendo su forma propia. Así, podemos encerrarlo en un recipiente con un volumen determinado y posteriormente provocarle una reducción de su volumen usando una de sus propiedades la compresibilidad. Podemos concluir que el aire permite reducir su volumen cuando está sujeto a la acción de una fuerza exterior. Esta propiedad se explica en la Fig. 6-1, al llenar un actuador de aire tiene un volumen V_0 y al aplicarle una fuerza al vástagos el aire se comprime teniendo como resultado un volumen V_f .

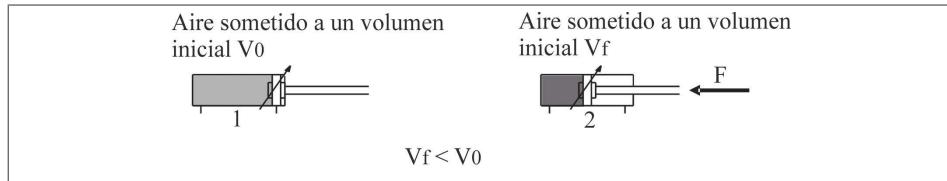


Fig.6-1. Volumen de aire sometido a una presión.

Elasticidad

Propiedad que permite al aire volver a su volumen inicial una vez desaparecida la presión o el efecto de una fuerza aplicada, la Fig. 6-2 muestra esta propiedad, al remover la fuerza aplicada al vástago del actuador lineal, el aire ejerce una fuerza con igual intensidad en todas las direcciones ocupando todo el volumen que lo engloba.

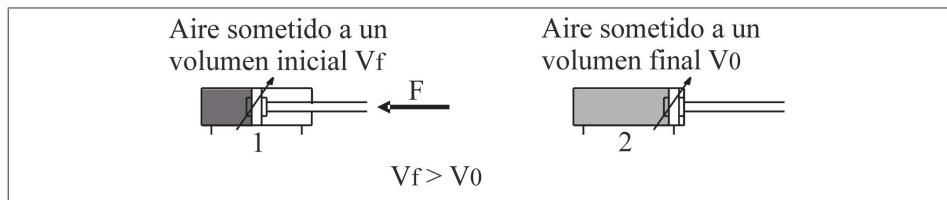


Fig. 6-2. Volumen de aire después de removerle una presión aplicada.

Expansibilidad

Propiedad del aire que le permite ocupar totalmente el volumen de cualquier recipiente, adquiriendo su forma. Un sistema como el de la Fig. 6-3 donde se muestra a la posición 1 con el acumulador de la izquierda cargado de aire a presión y las figuras de la derecha están llenas de aire a presión atmosférica al abrir la válvula en la posición 2 el sistema de figuras geométricas se llena de este aire igualando presiones en el acumulador y en las figuras.

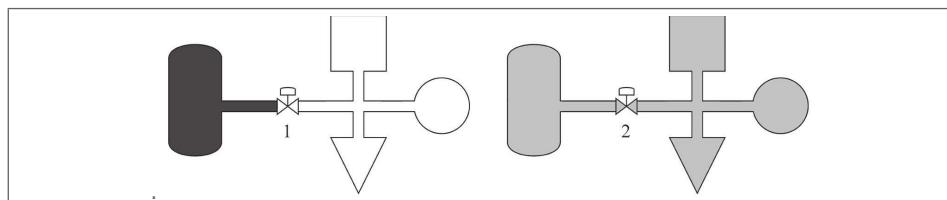


Fig. 6-3. El aire ocupa totalmente el volumen y adquiere la forma geométrica del deposito.

Seguridad

Insustituible en ambientes explosivos o con riesgo de incendio. Los actuadores neumáticos no se ven afectados por la sobrecarga ni producen calor, su aplicación es segura en ambientes de alto riesgo.

Simplicidad en el diseño y control

Los componentes neumáticos son de configuración sencilla y se montan fácilmente, proporcionando sistemas automatizados con un control relativamente sencillo

6.2 Sistema de generación de aire comprimido

El aire al ser captado de la atmósfera debe ser tratado para que sea utilizado en los sistemas neumáticos, si el tratamiento no es el adecuado se incrementaran las fallas y además se disminuirá la vida de los dispositivos que componen el sistema neumático.

Un sistema de generación de aire comprimido inicia con la generación de aire a presión realizada por un compresor, posteriormente el aire pasa a través de una serie de elementos que lo preparan antes de llegar al punto de consumo. Un sistema de generación de aire comprimido debe considerar los siguientes dispositivos además del compresor, enfriador posterior, tanque acumulador de presión y secador de aire.

Compresor

Los compresores son los equipos encargados de comprimir el aire para después ser alimentado a un sistema neumático, cuentan con un filtro de admisión para reducir la admisión de sólidos hacia la cámara de compresión, los compresores son definidos como máquinas destinadas a elevar la presión de un cierto volumen de aire, admitido en condiciones atmosféricas hasta una determinada presión y exigida en la ejecución de los trabajos realizados por el aire comprimido, el símbolo del compresor es mostrado en la Fig. 6-4. Los compresores están clasificados como compresor de desplazamiento positivo y compresor de desplazamiento dinámico.

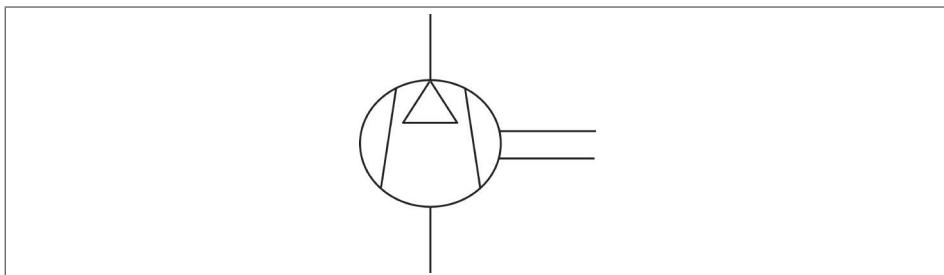


Fig.6-4. Símbolo del compresor.

Desplazamiento Positivo

Se basa fundamentalmente en la reducción de volumen. El aire es captado desde la atmósfera en una cámara aislada del medio exterior, donde su volumen es gradualmente disminuido, produciéndose una compresión. Cuando una cierta presión es alcanzada, provoca una apertura de las válvulas de descarga a la atmósfera para evitar una sobre presión que ponga en riesgo al propio equipo y al personal que esté en contacto con este equipo.

Desplazamiento Dinámico:

La elevación de presión es obtenida por medio de conversión de energía cinética en energía de presión, durante su paso a través del compresor. El aire admitido es colocado en contacto con los impulsores (rotor laminado) dotados de alta velocidad. Este aire es acelerado, alcanzando velocidades elevadas y consecuentemente los impulsores transmiten energía cinética al aire. Posteriormente, su salida es retardada por medio de difusores, obligando a una elevación de presión. Un difusor es un conducto que provoca disminución en la velocidad de circulación de un fluido, causando el aumento de la presión.

Enfriador posterior

El aire atmosférico es una mezcla de gases, en su mayoría de oxígeno y nitrógeno, es normal que contenga los siguientes tres tipos de contaminantes: agua, aceite y polvo. Las partículas de polvo son absorbidas de la atmósfera y suelen entrar a través del filtro de admisión, el aceite es captado de los vapores del aceite quemado de lubricación del compresor y es el responsable de manchas en los productos y el agua es responsable de malos funcionamientos de los dispositivos neumáticos y además de reducirle el tiempo de vida. Para reducir el agua en el sistema de aire comprimido se utilizan algunos dispositivos dentro de la generación de aire comprimido.

El enfriador posterior es simplemente un intercambiador de calor utilizado para enfriar el aire comprimido. Como consecuencia de este enfriamiento, se permite retirar cerca de 75% a 90% de vapor de agua contenido en el aire, así como los vapores de aceite; además de evitar que la línea de distribución sufra una dilatación, causada por la alta temperatura de descarga del aire.

El símbolo de un enfriador posterior es mostrado en la Fig. 6-5, está construido básicamente de dos partes: un cuerpo generalmente cilíndrico donde se alojan grupos de tubos de material con buena transferencia de calor, normalmente de cobre, por estos tubos circula el aire comprimido y por el exterior de ellos circula agua fría y la segunda parte es un separador de condensado con un punto de drenado.

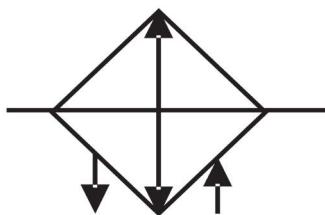


Fig. 6-5. Símbolo de enfriador posterior.

Tanque acumulador de presión

Un sistema de aire comprimido está dotado, generalmente, de uno o más recipientes, desempeñando una importante función junto a todo el proceso de producción de aire. En general, el recipiente posee las siguientes funciones:

- Almacenar el aire comprimido.
- Enfriar el aire ayudando a la eliminación de condensado.
- Compensar las fluctuaciones de presión en todo el sistema de distribución.
- Estabilizar el flujo de aire.
- Controlar la modulación de carga y descarga de los compresores

La construcción de los tanques acumuladores son normalizados y normalizados y varía de acuerdo al país donde esté en uso el tanque, ningún recipiente debe operar con una presión por encima de la presión máxima de trabajo permitida por el mismo tanque, deben de estar dotados de un manómetro, válvula de seguridad que evite una sobre presión en el tanque, también debe tener válvulas en la entrada y en la salida del tanque que ayuden a dejarlo fuera de servicio para su respectivo mantenimiento, es recomendable realizar un puente en la instalación de la tubería que al momento de dejar fuera el tanque, el servicio sea dirigido hacia un tanque de reserva para no interrumpir el servicio hacia la planta productiva, el símbolo del tanque acumulador es mostrado en la Fig. 6-6.

Los puntos de drenaje de los tanques deben de estar accesibles para ser operados manualmente en caso de emergencia, el drenaje debe estar localizado en el punto más bajo del tanque acumulador, es recomendable instalarle un válvula automática de drenado de agua.



Fig. 6-6. Tanque acumulador

Secador de aire

El método de remover la humedad del aire comprimido por refrigeración consiste en someter el aire a una temperatura suficientemente baja, con el fin de que la cantidad de agua existente sea retirada en gran parte y no perjudique de modo alguno el funcionamiento de los dispositivos neumáticos. La Fig. 6-7 muestra el símbolo de un secador de aire.

La operación mediante un secador del tipo refrigerativo es hacer pasar al aire comprimido en un intercambiador de calor a una temperatura entre 0.65 y 3.2 grados centígrados por medio de éste se enfriá al aire de tal manera que condensa el vapor de agua contenido en el aire y es purgada en un punto del propio equipo de manera automática.

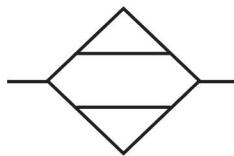


Fig. 6-7. Secador de aire.

Red de generación de aire comprimido

El número de dispositivos en una red de generación de aire comprimido puede variar dependiendo de las necesidades del sistema neumático, en aplicaciones del tipo industrial de gran tamaño es recomendable tomar en cuenta a todos los dispositivos antes mencionados como el enfriador posterior, el enfriador refrigerativo, es bueno considerar más de un tanque acumulador de presión para realizar el mantenimiento preventivo de los dispositivos que lo requieran, para poder hacer posible esto se requiere la instalación de puentes como lo muestra el punto 6 de la Fig. 6-8.

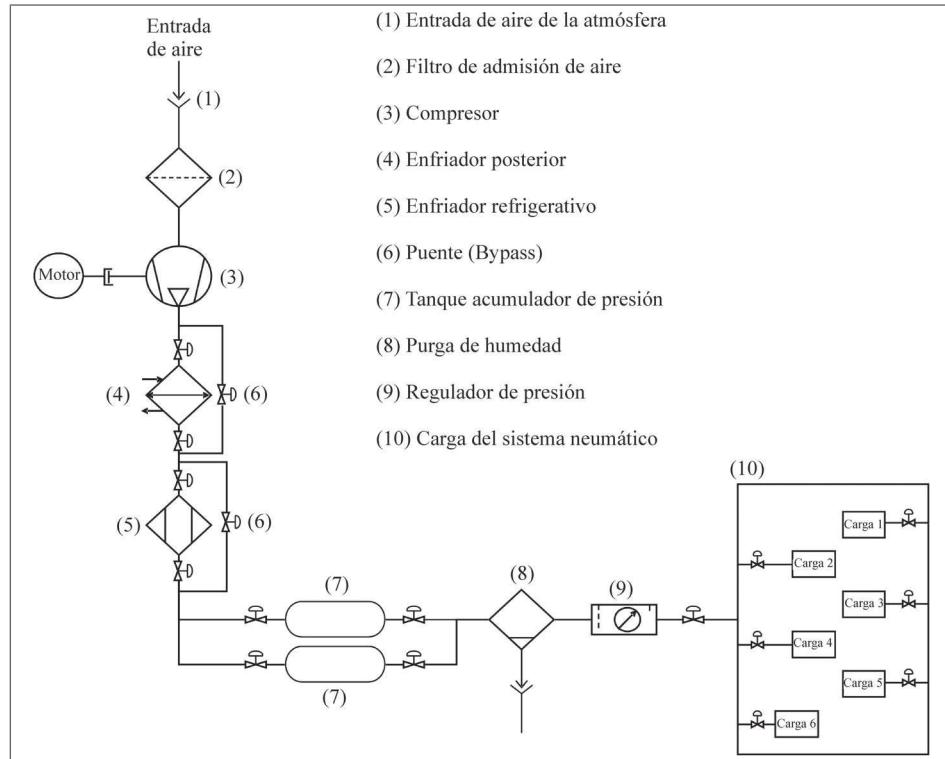


Fig. 6-8. Red industrial de generación de aire comprimido.

6.3 Sistemas automáticos neumáticos

En la industria existen maquinaria o procesos automáticos basados en este tipo de sistemas, su aplicación principal está enfocada en procesos localizados en ambientes hostiles y de alto riesgo donde la aplicación de sistemas eléctricos no sea posible.

Los automatismos neumáticos serán resueltos y se realizará la comprobación del buen funcionamiento con el apoyo del software FluidSim® de Festo se obtendrá la respuesta en el tiempo llamado diagrama de funcionamiento, donde aparecen todos los dispositivos del sistema y cada uno es graficado en el diagrama, el modelado que se realiza con el software es lo más apegado a la realidad de cómo funcionaría el circuito al implementarse físicamente el sistema.

Los sistemas neumáticos suelen ser comparados con los sistemas eléctricos y en algunos casos se realizan analogías para poder entender mejor un sistema neumático. Las magnitudes físicas que están presentes en los sistemas neumáticos son presión (P), consumo de aire también llamado gasto (Q), comparando estas variables con un sistema eléctrico son corriente y voltaje respectivamente.

Estructura de un sistema secuencial neumático

Un sistema secuencial del tipo neumático está estructurado por un elemento final de control o elemento de trabajo que se encarga de transformar la energía del aire comprimido en movimiento lineal, angular o giratorio y es llamado comúnmente como actuador.

Los elementos de ganancia controlan la velocidad de los actuadores y físicamente son válvulas reguladoras de flujo que normalmente incluyen una válvula de un solo sentido y su función es controlar el flujo en una sola dirección.

Los elementos de procesamiento abarcan desde las funciones matemáticas simples como la suma y multiplicación hasta la válvula direccional, donde su función es mezclar y obtener un resultado común de varias funciones neumáticas para después ser utilizada como condición del automatismo neumático.

Los dispositivos de entrada son encargados de captar señales externas de manera mecánica o magnética y las transfieren a señales de presión, para que sea utilizada dentro de la lógica de la secuencia.

Aunque no son parte de la lógica del automatismo neumático se requiere mostrar dos etapas de la estructura del sistema, una es la etapa de acondicionamiento de aire, esta etapa es fundamental en el cuidado de los elementos neumáticos y en el acondicionamiento de la presión del sistema, la segunda es la fuente de energía y es representada por un compresor.

Básicamente todos los sistemas automáticos neumáticos se van a representar con la estructura mostrada en la Fig. 6-9, cada etapa es identificada con los elementos que la agrupan.

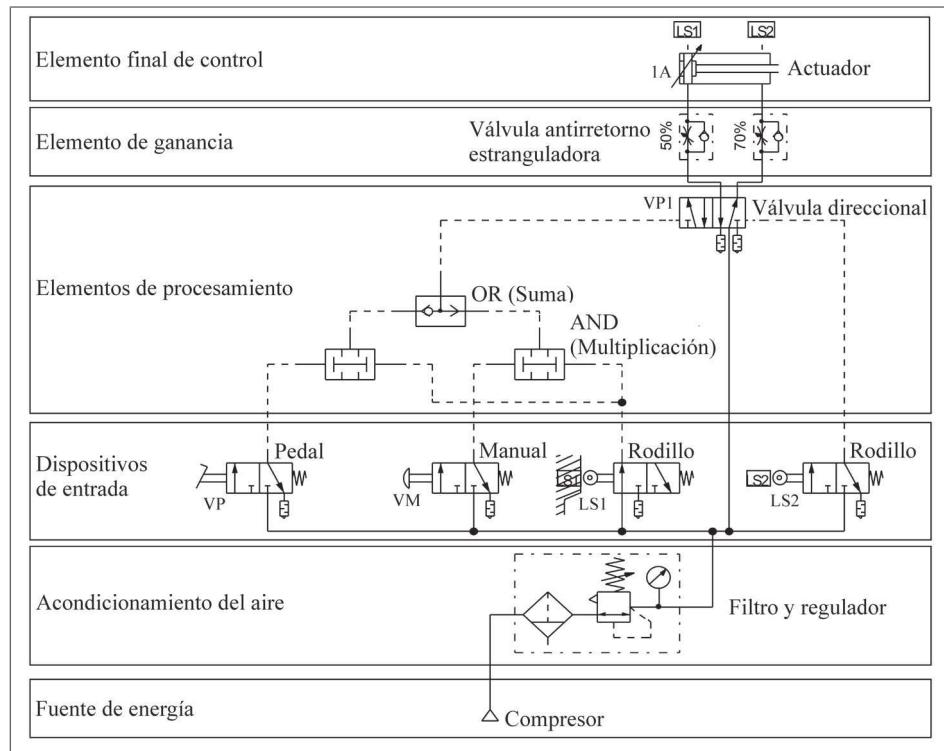


Fig. 6-9. Estructura de un sistema secuencial neumático.

6.4 Elementos final de control

Estos dispositivos se encargan de ejecutar el trabajo final para el que fue diseñado el sistema automático y son llamados actuadores y su función es convertir la energía neumática en movimiento lineal o angular, por esta razón se les llama también convertidores de energía. En un circuito cualquiera, el convertidor es unido mecánicamente a la carga. De esta manera, al ser influenciado por el aire comprimido, su energía es convertida en fuerza, que es transferida hacia la carga.

Los actuadores neumáticos se distinguen por su sencillo y compacto diseño, sin embargo se debe tomar en cuenta que su grado de eficacia es inferior al de los actuadores eléctricos, a pesar de que estos actuadores tienen que convertir varias

veces los movimientos según el tipo de engranaje y su capacidad reductora. Por su parte, el accionamiento directo de la neumática ofrece especialmente ventaja en actuadores pequeños al consumir una cantidad menor de aire. Los actuadores de acuerdo al desplazamiento que realizan están divididos en tres grupos: lineales, rotativos y oscilantes.

Movimiento lineal

- Cilindro de simple efecto
- Cilindro de doble efecto

Movimiento giratorio

- Motor neumático

Movimiento oscilatorio

- Actuador semigiratorio

6.4.1 Actuadores de movimiento lineal

El cilindro neumático también llamado actuador neumático es el más común y lo vamos a poder encontrar en la mayoría de los sistemas automáticos como elemento final de control, su trabajo consiste en el desplazamiento lineal de la carga, se tiene infinidad de construcciones en los cilindros, pero todos trabajan bajo el mismo principio.

La estructura de los actuadores lineales está constituida por una camisa, émbolo, vástago, tapa frontal, tapa trasera, empaques, puertos de conexión por donde fluye el aire comprimido, para extender ó retraer el vástago y resorte si se trata de un cilindro de efecto simple.

El principio de funcionamiento consiste en la compresión y descompresión de las cámaras que se forman con el émbolo, llamadas cámara A y B, provocando con esto el movimiento lineal del vástago, al comprimir la cámara A se debe descomprimir la cámara B para que exista movimiento, la descompresión se realiza con sólo abrir el camino del aire hacia la atmósfera.

Actuador lineal de simple efecto

En la Fig. 6-10 se muestran los cilindros de simple efecto en sus dos modalidades con el vástago retraído y vástago extendido, sólo cuentan con un puerto de conexión, en el cilindro 1A el puerto de conexión es el **A**, tiene el vástago retraído, el cilindro 2A el puerto de conexión es el **B** y tiene el vástago normalmente extendido.

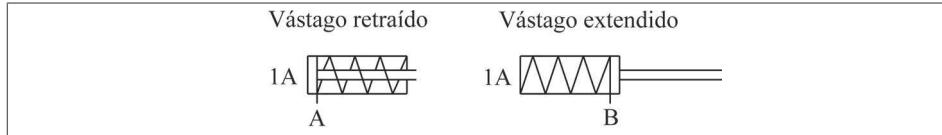


Fig.6-10. Actuador de simple efecto.

Estos cilindros sólo pueden ejecutar el trabajo en un sentido debido a que tienen un solo puerto y por lo tanto únicamente reciben presión para extender o retraer al vástagos. La función complementaria se logra mediante la operación de un resorte, el cálculo de este resorte se realiza de modo que haga regresar el émbolo a su posición inicial a una velocidad suficientemente alta. La estructura de este actuador se muestra en la Fig. 6-11.

Por su diseño y baja fuerza de aplicación estos cilindros sólo pueden ejecutar funciones de movimiento denominados de alimentación.

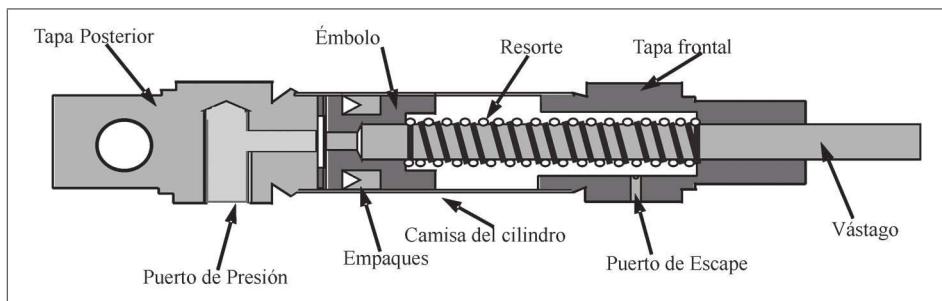


Fig.6-11. Estructura de un cilindro de efecto simple.

Actuador lineal de doble efecto

Estos actuadores ofrecen la ventaja de que pueden ejercer fuerza en ambos movimientos, retracción y extensión, esto debido a que cuenta con los dos puertos de conexión y para generar los dos movimientos se requiere que se le aplique presión por los dos puertos, no ambos a la vez, al aplicarle presión por un puerto el otro debe estar conectado a la atmósfera para que se pueda generar movimiento, el despresurizar la cámara a la atmósfera es una de las ventajas que tiene la neumática, al presurizar la cámara **A** se debe conectar a la atmósfera la cámara **B** de otra manera no habrá movimiento y viceversa. La identificación de las cámaras de un actuador de doble efecto es mostrado en la Fig. 6-12

Al aplicar presión por el puerto **A** se genera fuerza en el movimiento de extensión y al aplicar presión por el puerto **B** se genera fuerza en el movimiento de retracción, en el movimiento de extensión es donde el actuador va a generar más fuerza que en el movimiento de retracción esto es debido a la diferencia de áreas.

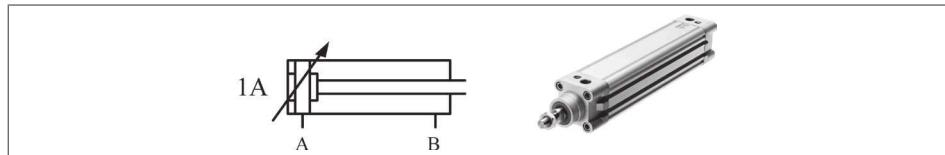


Fig.6-12. Símbolo del actuador de doble efecto y actuador DNC-32-PPV-A de FESTO.

La estructura de un actuador lineal de doble efecto es mostrada en la Fig. 6-13, los actuadores de doble efecto tienen la mayoría de las aplicaciones desde posicionamiento de carga hasta el frenado o traslado de cargas pesadas.

Cuando las masas que traslada el cilindro son muy grandes se debe evitar un choque brusco entre el émbolo y las tapas del cilindro para evitar daños irreversibles, esto se logra instalando un sistema de amortiguamiento que entra en acción momentos antes de que el cilindro alcance el fin de carrera, por lo regular este amortiguamiento es ajustable.

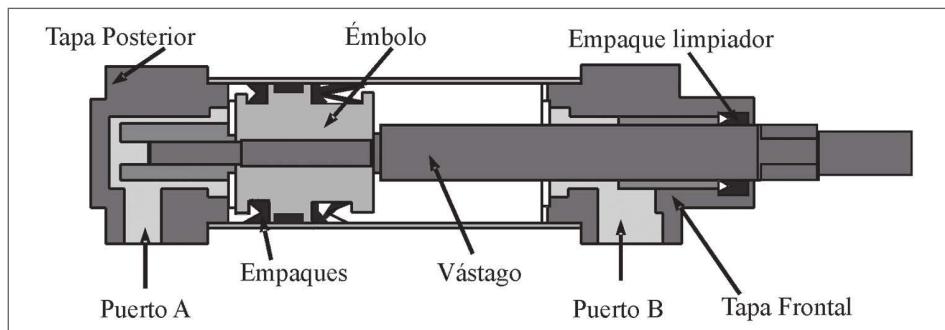


Fig. 6-13. Estructura de un actuador lineal neumático de doble efecto.

Diagrama espacio-fase

El desplazamiento de un cilindro de doble o simple efecto es representado en un diagrama Espacio-Fase, los desplazamientos de avance o de retroceso del vástago del cilindro, este efecto es debido a la distancia que tiene que recorrer el vástago en un periodo de tiempo, y el grado de inclinación es debido al ajuste de las válvulas de regulación de flujo que tenga el cilindro en ambos puertos de conexión, esta pendiente representa la velocidad de desplazamiento.

El diagrama espacio-fase expresa de forma gráfica la operación del cilindro y en sistemas con más de un cilindro expresa la interacción en los movimientos de los mismos. El apoyo de este diagrama consiste en mostrar la información de la operación del cilindro, en que momento se activa el avance y el retroceso, si el sistema neumático tiene más de un cilindro el diagrama mostrará la interconexión en sus movimientos.

El diagrama espacio-fase de la Fig. 6-14 muestra la respuesta de los movimientos de avance y retroceso de un actuador de 100mm de vástago.

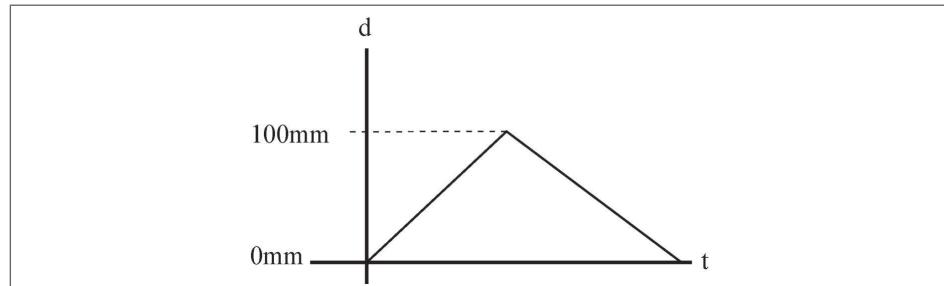


Fig. 6-14. Diagrama espacio-fase.

En la construcción del diagrama espacio-fase se deben de considerar los siguientes puntos:

- El ciclo de trabajo de cada dispositivo neumático será representado en el diagrama.
- Los ciclos de los distintos dispositivos serán representados uno a continuación de otro y de arriba hacia abajo.
- Se dibujarán dos líneas horizontales y paralelas para cada dispositivo neumático, como el diagrama mostrado en la Fig. 6-15.

La distancia entre ellos se considera como el "Espacio" y físicamente es el traslado de un vástago de posición retraída a extendida.

El diagrama muestra el espacio para la construcción de dos diagramas de espacio-fase para 2 actuadores lineales.

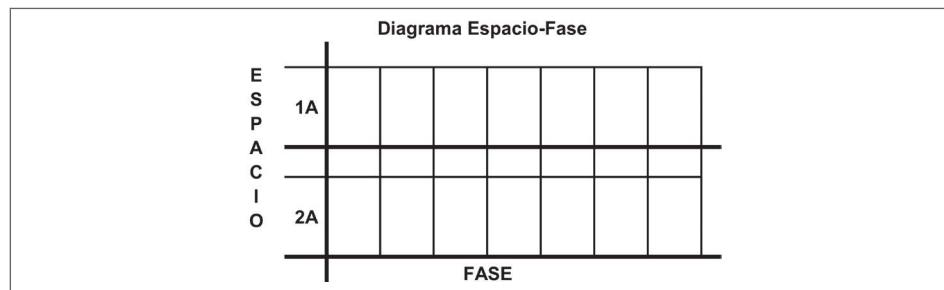


Fig. 6-15. Diagrama espacio-fase para dos actuadores.

Cuando se representan en un diagrama espacio-fase más de un cilindro es normal que exista conexión entre sus movimientos, puede ser sólo en el avance, en el retroceso o en ambos movimientos, la Fig. 6-16 muestra a dos actuadores neumáticos interconectados entre sí en ambos movimientos, generando de esta manera un sistema secuencial neumático.

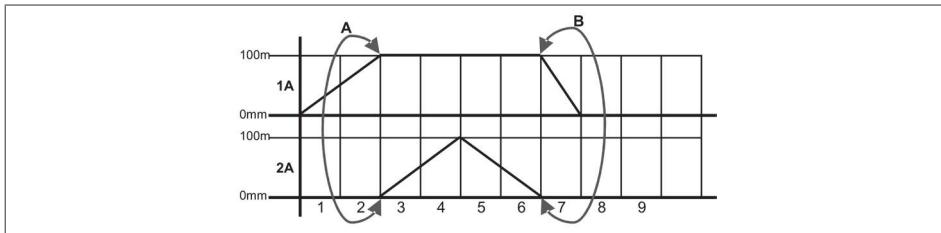


Fig. 6-16. Diagrama espacio-fase mostrando la interconexión de dos actuadores

Del diagrama se deduce que los dos cilindros dependen entre ellos de sus movimientos, del diagrama se puede leer lo siguiente:

- Al activarse el cilindro 1A y llegar al final de carrera inmediatamente se activa hacia la salida del cilindro 2A.
- Al activarse el cilindro 2A y llegar al final de su carrera se regresa en forma inmediata
- Al regresar al inicio de la carrera el cilindro 2A inmediatamente retrocede el cilindro 1A.
- Al llegar el cilindro 1A al inicio de su carrera el sistema está en su posición inicial.

Ésta es la secuencia del sistema representada en el diagrama espacio-fase, y la interconexión de ambos cilindros están marcadas por las líneas A y B. Al realizar el modelado de este sistema con el FluidSim se obtendría el siguiente diagrama espacio-fase mostrado en la Fig. 6-17.

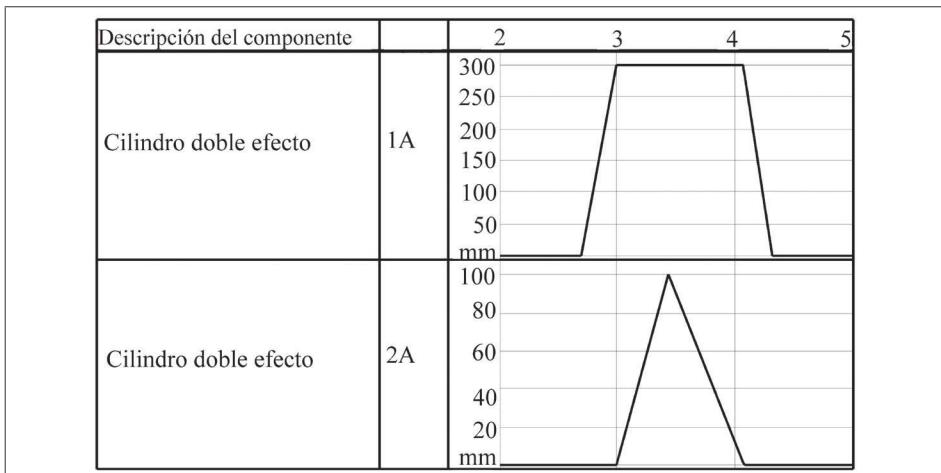


Fig. 6-17. Respuesta del FluidSim.

6.4.2 Actuadores de movimiento giratorio

Estos dispositivos transforman la energía neumática en movimiento giratorio continuo. Existen dos tipos de motores de acuerdo a su construcción: motores de pistones radiales y motores de paletas. Los motores pueden ser bidireccionales o unidireccionales y el símbolo para cada uno de los motores se muestran en la Fig. 6-18.

Los motores de paletas son más pequeños, livianos y menos costosos que los motores de pistones o con potencia similar. Su diseño y estructura son simples, y pueden funcionar en casi cualquier posición. Los motores de paletas son el tipo de motor neumático de uso más frecuente.

Los motores de pistones funcionan a velocidades más bajas que los motores de paletas. Tienen un excelente control de arranque y velocidad, son de alto par a bajas velocidades, su posición de operación estándar es horizontal.

La velocidad y la potencia de un motor son directamente proporcionales a la presión y al volumen de aire que se le suministre al motor ya sea en la entrada o en la salida del motor.

Características de los motores neumáticos:

- Son más pequeños en dimensiones y peso comparados con los motores eléctricos.
- Su simple construcción permite cierta facilidad en el mantenimiento.
- Puede tener paros continuos sin que se dañe el motor
- Soportan altas temperaturas y vibraciones sin afectar su funcionamiento

Un motor sin regulación de velocidad desarrolla la potencia máxima al 50 % de la velocidad cuando está sin carga conectada a la flecha, con regulación de velocidad alcanza su potencia máxima casi al 80% de la velocidad.

Los motores pueden ser acoplados mecánicamente en forma directa hacia la carga a ser movida o mediante una caja de transmisión para incrementar el torque.

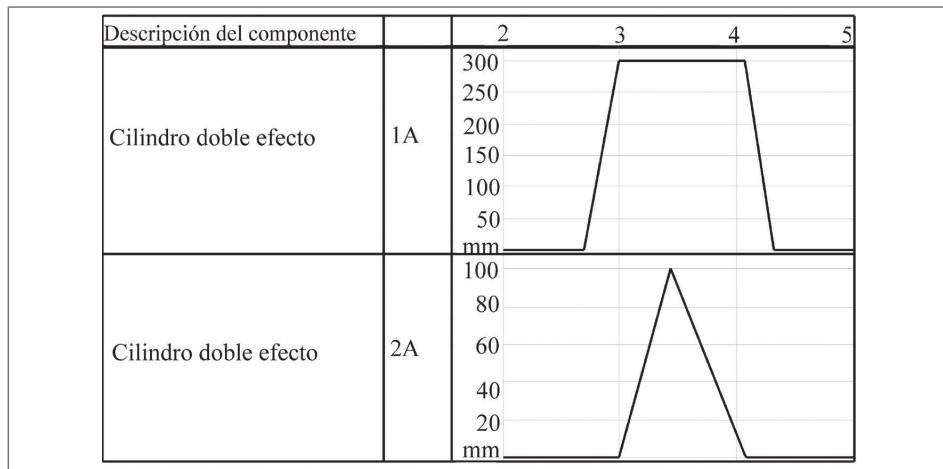


Fig. 6-18. Símbolos de motores neumáticos.

En la Fig. 6-19 se muestra el diagrama espacio-fase de un motor bidireccional, se debe mostrar ambas direcciones, izquierda y derecha, a diferencia el motor unidireccional sólo deberá de mostrar una dirección y ésta depende la dirección con que fue fabricado el motor.

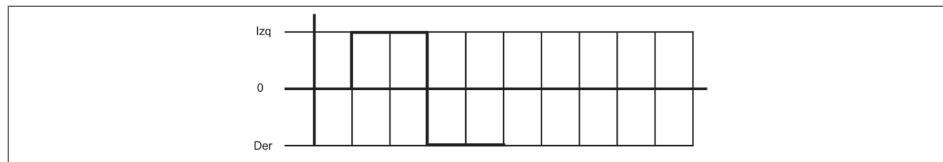


Fig. 6-19. Respuesta de un motor bidireccional .

6.4.3 Actuador oscilatorio

La Fig. 6-20 muestra a un actuador oscilatorio con la característica de no girar más de 360° , por lo regular giran en un rango de 0° a 270° , su aplicación es el traslado angular parcial de objetos, tienen dos cámaras a ser presurizadas una es para el avance y la otra para el regreso. El símbolo del actuador semigiratorio es mostrado en la siguiente figura.

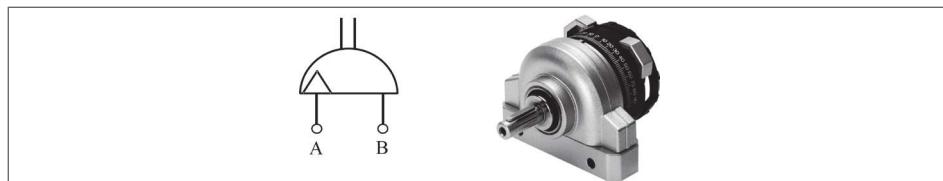


Fig. 6-20. Símbolo del actuador oscilatorio, actuador modelo DSR-16-180-P.

El diagrama de Espacio-Fase mostrado en la Fig. 6-21 es la respuesta de un actuador semigiratorio, dando una respuesta de un escalón.

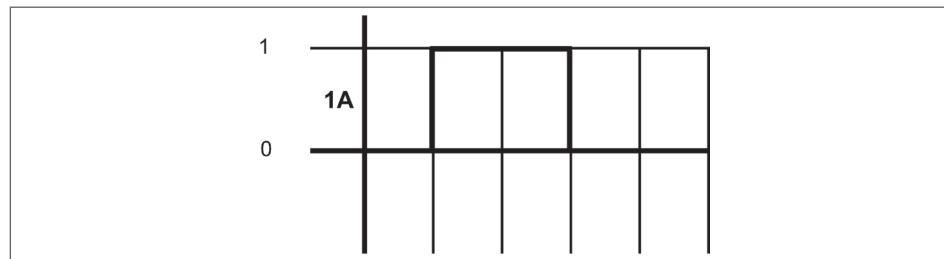


Fig. 6-21. Respuesta de un actuador oscilatorio.

6.5 ELEMENTOS DE GANANCIA

Como en cualquier otro sistema la precisión en los sistemas neumáticos es importante y en algunas aplicaciones se vuelve fundamental. La precisión en los sistemas neumáticos se logra controlando la ganancia del flujo de aire aplicado a los puertos de los actuadores, ésta es una ganancia del tipo proporcional, y se ejecuta aplicando más caudal de aire a los puertos de un actuador de esta manera se incrementa en forma proporcional la velocidad del actuador. Físicamente los elementos de ganancia son válvulas de control de flujo variable unidireccional o bidireccional como las mostradas en la Fig. 6-22.

V Válvula de Control de Flujo Variable Bidireccional

Esta válvula tiene un ajuste manual y es variable conforme a las necesidades propias del sistema, el ajuste aplica en ambos sentidos cuando se aplica presión al actuador y cuando se remueve la presión de la misma cámara. Este ajuste estará dando como resultado las pendientes de un actuador. La válvula 1 de la siguiente figura muestra a una válvula reguladora de flujo unidireccional.

V Válvula de Control de Flujo Unidireccional

Esta válvula es considerada como híbrida por poseer una válvula de retención con o sin resorte y en paralelo un dispositivo de control de flujo, componiendo una válvula de control unidireccional. El ajuste sólo aplica en una dirección y en el sentido opuesto el aire posee un flujo de paso libre. Cuando se desea ajustes finos, el elemento de control de flujo es dotado de una rosca micrométrica que permite este ajuste.

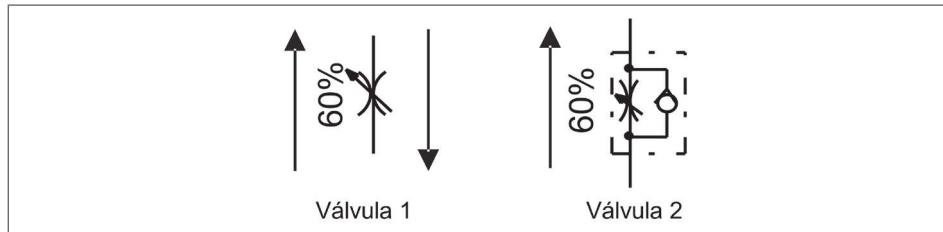


Fig. 6-22. Válvulas de regulación de flujo.

Control de Velocidad por el Aire de Entrada

El desplazamiento del émbolo en un cilindro ocurre en función del caudal de alimentación, como lo muestra el circuito neumático de la Fig. 6-23. Para poder controlar la velocidad de desplazamiento es necesario controlar el flujo. En este método se controla el flujo de alimentación del elemento de trabajo, y el aire contenido en su interior es expulsado a paso libre hacia la atmósfera.

Controlar la velocidad del actuador con el control de flujo hacia la alimentación determinará un movimiento irregular del cilindro, perjudicando al funcionamiento del equipo. El control de entrada es empleado en casos excepcionales, como por ejemplo en los cilindros de efecto simple.

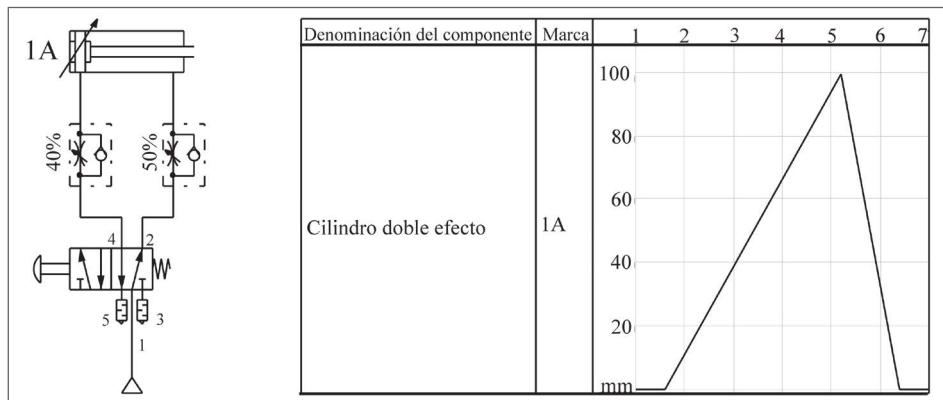


Fig 6-23. Regulación de flujo por la entrada de aire.

Control de Velocidad por el Aire de Salida

La tendencia de tener una velocidad de desplazamiento uniforme depende principalmente de la variación de la fuerza que se opone al movimiento. Es necesario encontrar el método para hacer que esta fuerza sea uniforme en su aplicación. En el campo de la aplicación industrial se requieren valores del desplazamiento cada vez más precisos. Si se requiere precisión se debe utilizar un sistema de control de velocidad con control en el flujo de salida del cilindro como el mostrado en la Fig. 6-24. Su principio consiste en efectuar el control de flujo solamente en la salida del aire almacenado en la cámara del cilindro, en cuanto la cámara opuesta recibe el flujo libre, con esto es posible eliminar el movimiento irregular del cilindro.

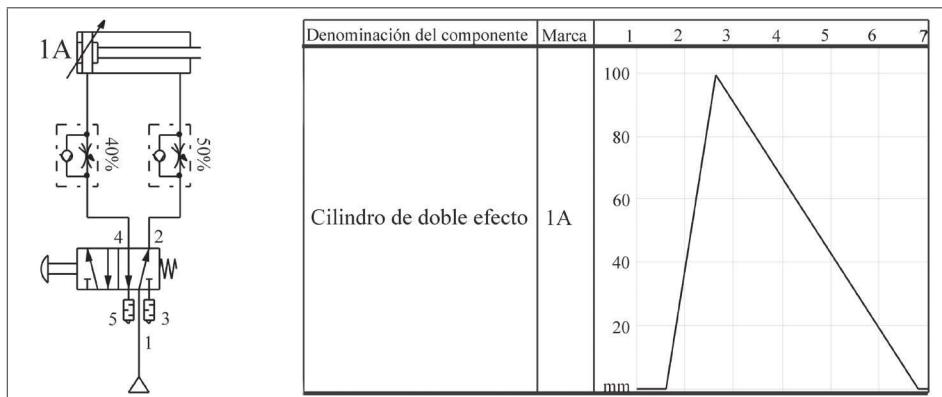


Fig. 6-24. Regulación de flujo por la salida de aire.

6.6 Elementos de procesamiento

En este grupo están las válvulas direccionales, las válvulas de simultaneidad, válvula selectora de circuito y válvulas auxiliares que normalmente son válvulas de tres vías 2 posiciones con pilotos neumáticos en ambas posiciones.

Válvulas direccionales

Como elementos de procesamiento están las válvulas direccionales, éstas son llamadas también las válvulas distribuidoras, las cuales actúan en base a la información procesada por las válvulas de suma y multiplicación, la información obtenida de

estas funciones matemáticas lógicas se procesa y en base a ella se activa una u otra posición de la válvula direccional. Se identifican por el número de vías y posiciones que tenga la válvula y por el tipo de pilotaje o activación que tenga en cada posición.

Posiciones

El número de posiciones de una válvula está dado por el número de rectángulos mostrados en su símbolo, la Fig. 6-25 muestra a una válvula de tres posiciones, para tener una válvula de dos posiciones desaparece la posición central quedando sólo A y B. Las posiciones son seleccionadas al activar el piloto de la posición deseada y por ende la posición complementaria debe quedar deshabilitada, esto es en válvulas de dos posiciones donde es sencillo discriminar una posición de otra, pero difícil en válvulas de tres posiciones, donde la posición inicial es la cero "0" y para seleccionar la posición A se debe de activar su respectivo piloto, y para seleccionar la posición B se debe activar el piloto de B.

Las posiciones son identificadas como A y B manteniendo la misma identificación de las cámaras del actuador, recordando que en un actuador lineal al aplicar presión neumática en A se debe extender y para regresarlo a su posición inicial se le debe de aplicar presión neumática en B.

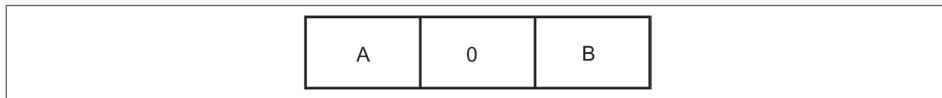


Fig. 6-25. Representación de las posiciones de una válvula direccional.

Vías

El número de vías está dado por el número de direcciones de la presión del aire mostradas en el símbolo de la válvula, incluso el bloqueo de la presión es considerada como una vía, el número de vías físicamente se pueden identificar por el número de puertos de conexión que tiene la válvula. La Fig. 6-26 muestra a dos posiciones con dos vías de comunicación cada una, la dirección de las flechas indican la dirección de la presión, nótense que en un sentido es hacia el actuador y en el complemento es hacia la atmósfera.

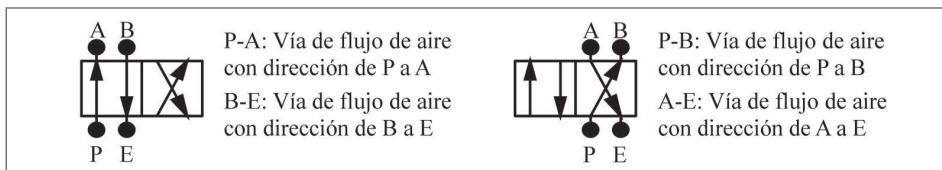


Fig. 6-26. Vías de una válvula direccional (P: Presión, E: Escape, A: Puerto A, B: Puerto B).

Tipos de piloto

El piloto en una válvula direccional es el encargado de seleccionar las posiciones de las válvulas, al activar un piloto se seleccionará la posición que controla ese piloto, la Fig. 6-27 muestra los cuatro tipos de pilotos más comunes: piloto eléctrico, neumático, mecánico, este último representado mediante el esfuerzo mecánico de un resorte.

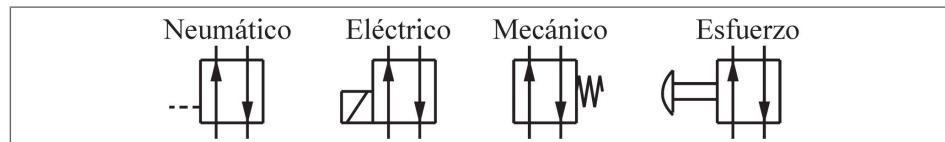


Fig. 6-27. Tipos de pilotos en válvulas direccionales..

En este capítulo sólo se estarán considerando los pilotos neumáticos y mecánicos. Cada uno de estos pilotos o activaciones de válvulas direccionales tienen su aplicación. Una válvula puede tener un tipo de piloto por A y otro tipo de piloto por B ó puede tener el mismo tipo de piloto en ambas posiciones.

Piloto neumático en A y retorno por resorte en B

Si una válvula tiene un piloto neumático en A y retornada por resorte en B, como la mostrada en la Fig. 6-28, para que se mantenga activa la posición A se debe mantener el piloto activado, se concluye que el tiempo que permanesca la presión en A es el tiempo que va a permanecer seleccionada la posición A de la válvula. Se dice que esta válvula no tiene memoria y es llamada válvula monoestable.

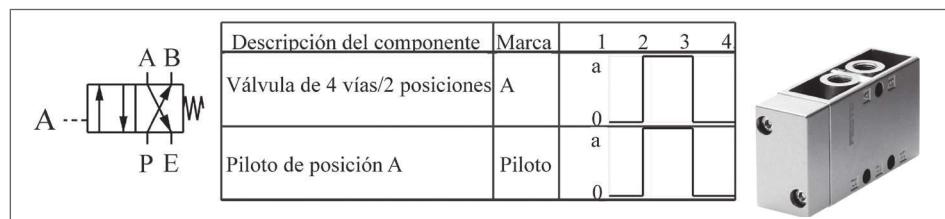


Fig 6-28. Válvula 4/2 piloto neumático en A y resorte en B.

Este mismo efecto se presenta en la válvula con piloto eléctrico en A y retorno por resorte en B, como la mostrada en la Fig. 6-29, todas las válvulas que sean retornadas por resorte ya sea por la posición A ó B van a tener la misma respuesta, el tiempo que permanezca activado el piloto de A es el tiempo que va a permanecer seleccionada la posición A.

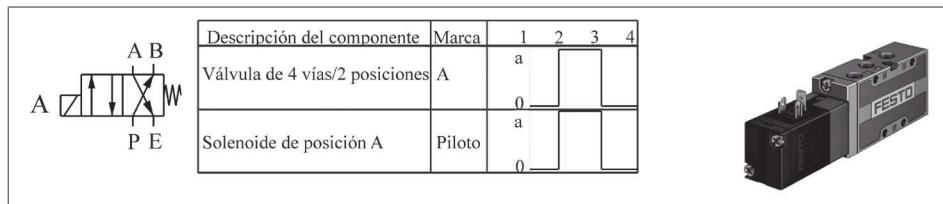


Fig. 6-29. Válvula direccional Festo MVH-5-1/8-B.

Pilotos neumáticos en A y en B

Una válvula con piloto neumático en ambas posiciones es mostrada en la Fig. 6-30, su comportamiento es diferente a la válvula que retorna con resorte en alguna de sus posiciones. Para habilitar la posición A de la válvula sólo se requiere un pequeño pulso de presión de aire para que se quede seleccionada y se regresará a la posición de B al aplicarle presión al puerto del piloto de B, esta característica hace que la válvula tenga memoria mecánica ya que si está seleccionada la posición A significa que el piloto de A es el último que fue activado, a esta válvula por su comportamiento de memoria se le llama biestable.

La duración de ambos pulsos puede ser instantánea, esta válvula al tener 2 pilotos neumáticos requiere de algún dispositivo de procesamiento o de entrada que suministre la presión piloto.

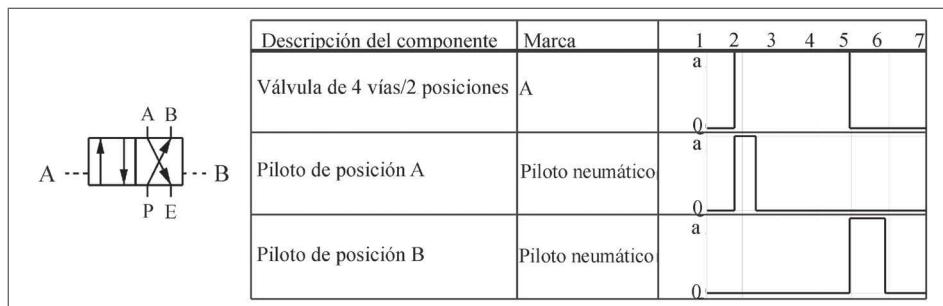


Fig. 6-30. Respuesta de una válvula 4/2 pilotos neumáticos en A y B.

Estructura de una válvula direccional

La estructura de una válvula direccional está constituida por un carrete, resorte centrador en caso de que aplique, solenoides en electroválvulas, pilotos manuales y puertos de conexión física. El carrete se va a deslizar en la carcasa para poder cambiar la dirección, abrir o cerrar el flujo del aire, los pilotos se encargan de seleccionar las posiciones de la válvula y los puertos son las conexiones físicas de la válvula. Existen varios fabricantes de válvulas a nivel mundial sin embargo la construcción de las válvulas están normalizadas.

Configuración de válvulas direccionales

Una de las grandes ventajas de las válvulas direccionales es que se pueden configurar tanto en vías como en posiciones, existen estándares en la configuración, sin embargo se pueden configurar de acuerdo a la aplicación, sólo que esto hace especial a las válvulas. Las configuraciones más comunes son mostradas enseguida.

Válvula 4/2

Esta nomenclatura indica que la válvula tiene 4 vías 2 posiciones, sin embargo falta información al no mencionar que tipo de piloto activan las posiciones, si es retorno por resorte indica que una de las posiciones va a estar seleccionada en forma inicial la complementaria hasta que se active el piloto correspondiente, la identificación de los puertos se muestra en la Fig. 6-31.

El símbolo que se muestra en seguida tiene piloto de esfuerzo mecánico para seleccionar la posición A y se retorna a la posición B por la acción del resorte.

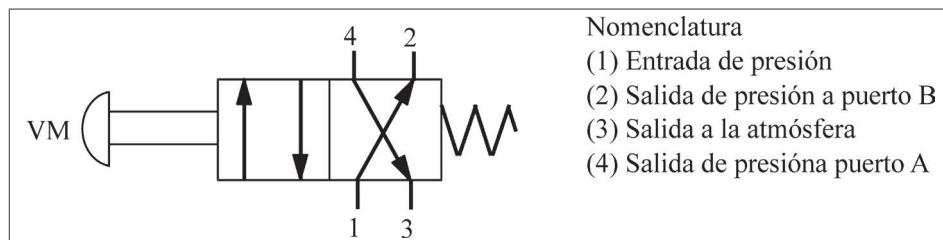


Fig. 6-31. Identificación de puertos de conexión de una válvula 4/2.

Esta válvula al tener dos salidas de presión puede controlar a un cilindro de doble efecto, este cilindro requiere la aplicación de dos presiones a diferente tiempo y esta válvula puede aplicarlas, al tener sólo una salida a la atmósfera (3) está compartida por ambas posiciones.

Válvula 5/2

Válvula de 5 vías 2 posiciones, con piloto configurable, esta válvula es parecida a la válvula 4/2, difieren en la salida a la atmósfera, cada posición tiene su propia salida, la identificación de los puertos de conexión se muestran en la Fig. 6-32.

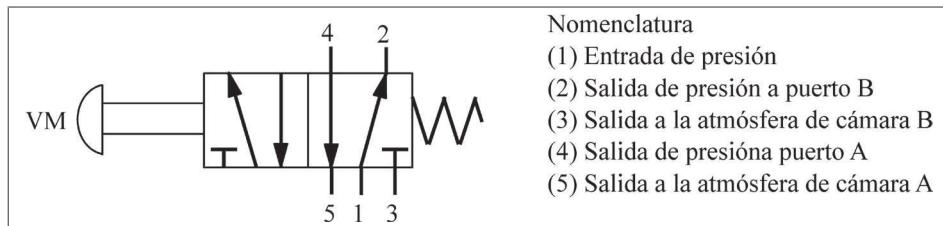


Fig. 6-32. Identificación puertos de conexión de una válvula 5/2.

Diagrama de mando de válvulas 4/2 y 5/2

El cambio de posición de las válvulas es representado gráficamente en un diagrama de mando, como el mostrado en la Fig. 6-33, el escalón es la representación gráfica de los cambios de posición en una válvula, en válvulas de 2 posiciones sólo se representa la posición A y en válvulas de 3 posiciones se deben de graficar las 3 posiciones, es necesario delimitar en que momento se activan cada una de las 3 posiciones. Al representarse sólo la posición A se da como entendido que es una válvula de dos posiciones, lo que indica que si no está presente la posición A está presente la posición B, este diagrama se obtiene con el programa FluidSim de Festo al insertar el diagrama de estados.

Descripción del componente	Marca	1	2	3	4	5	6
4 y 5 vías, 2 posiciones (Esfuerzo mecánico)	VM	a					

Fig. 6-33. Respuesta del FluidSim de una válvula de 2 posiciones.

En un diagrama de mando se representan todas las válvulas direccionales que tenga el sistema sin importar el tipo de piloto o vías y posiciones, con este diagrama se puede identificar la interconexión de las válvulas y al agregar el diagrama espacioso da como resultado el diagrama de funcionamiento, de él se pueden interpretar las conexiones neumáticas entre los dispositivos.

En el diagrama de mando se puede observar que al operar la válvula se selecciona la posición A, si la posición A no está activada, entonces la posición B es la que está activa.

El diagrama con la respuesta de un cilindro y la activación de la válvula direccional, entrega más información de la operación propia del sistema, este conjunto de diagramas da como resultado el diagrama de funcionamiento de un sistema neumático, como se muestra en la Fig. 6-34 a una válvula direccional activada manualmente por la posición A y retornada por resorte en la posición B.

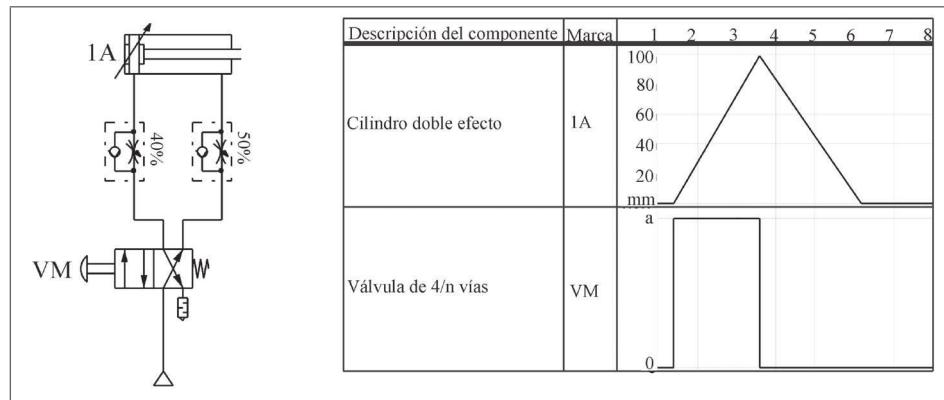


Fig. 6-34. Diagrama espacio-fase y de mando es igual al diagrama de funcionamiento.

Válvula 4/3 y 5/3

El símbolo de las válvulas de 4 y 5 vías en tres posiciones se muestran en la Fig. 6-35, al igual que las anteriores se les puede configurar el tipo de piloto, las posiciones son A, B y 0(cero), al tener tres posiciones se requiere de dos pilotos para seleccionar las posiciones A y B, la posición cero opera al momento de no seleccionar o activar ningún piloto, esta operación se logra mediante la función de dos resortes localizados en los extremos de la válvula.

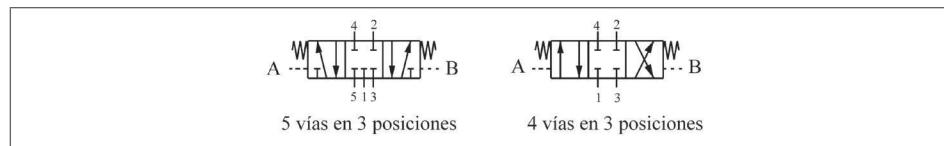


Fig. 6-35. Válvulas de tres posiciones.

El diagrama de mando de estas válvulas se muestra en la Fig. 6-36 obtenido con el FluidSim, con ellas se pueden obtener posiciones intermedias de los cilindros lineales, las posiciones A y B son operadas mediante pilotos neumáticos, mecánicos o eléctricos. El diagrama de mando de esta válvula se puede obtener con el programa FluidSim.

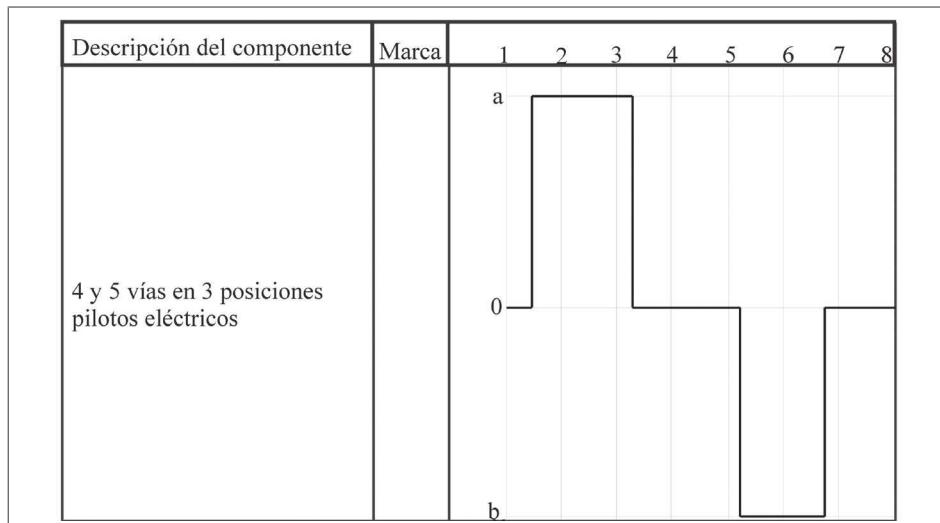


Fig. 6-36. Diagrama mando de una válvula de tres posiciones.

Esta válvula requiere la activación de piloto para ambas posiciones A y B, en el diagrama de la Fig. 6-37 se muestra a una válvula 4/3 con centros bloqueados, en forma inicial está seleccionada la posición central por el efecto de los resortes y para seleccionar la posición A ó B se requiere activar manualmente las válvulas de avance o retroceso.

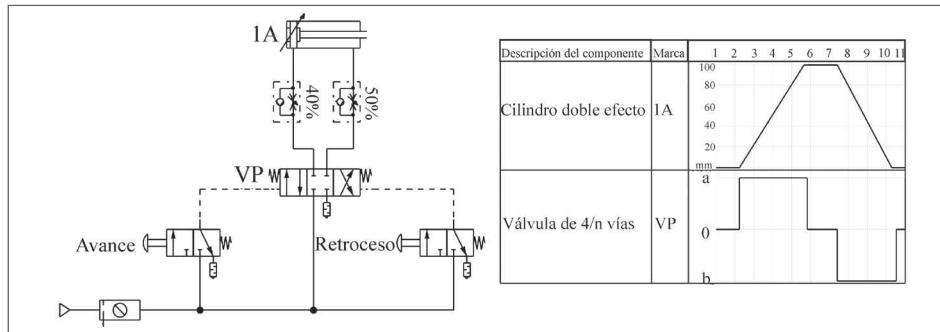


Fig. 6-37. Aplicación de una válvula de 3 posiciones y su diagrama de funcionamiento.

Válvula 3/2

La Fig. 6-38 muestra a una válvula de 3 vías 2 posiciones, los pilotos son configurables de acuerdo a las necesidades del sistema, esta válvula se caracteriza por tener una salida de presión y puede ser presión abierta o presión cerrada en la posición inicial, una válvula con presión abierta en la posición inicial se considera como

una función negada. Esta válvula puede activar sin ningún problema a un cilindro de efecto simple.

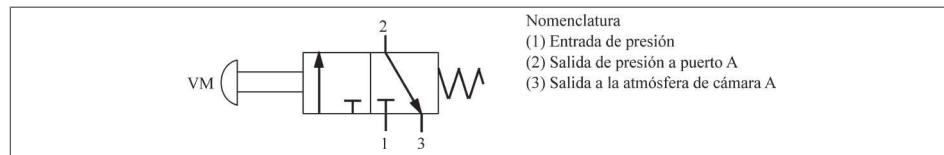


Fig. 6-38. Identificación de puertos de una válvula 3/2.

El gráfico de la Fig. 6-39 muestra la respuesta de esta válvula, nótese que es idéntica a la respuesta obtenida en una válvula 4/2, esto se debe a que el gráfico corresponde a las posiciones de las válvulas y ambas válvulas tienen dos posiciones.

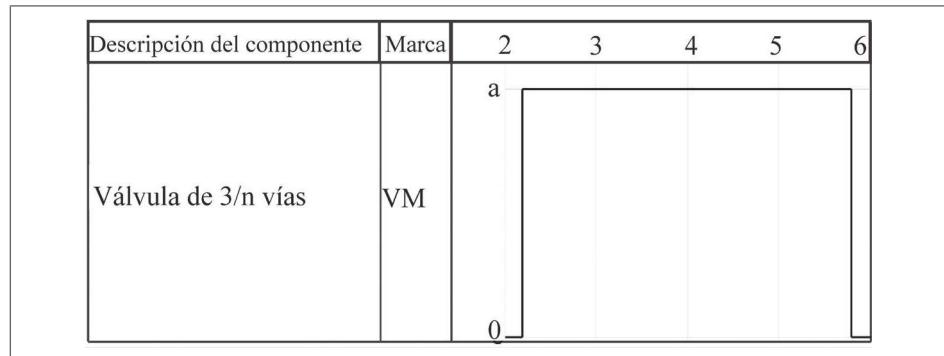


Fig. 6-39. Respuesta del FluidSim para una válvula 3/2.

La aplicación de esta válvula es como auxiliar, dispositivo de entrada al sistema secuencial neumático, válvula de mando directo o como sensores de inicio y fin de carrera en un cilindro lineal, como mando directo puede operar sin ningún problema a un cilindro de efecto simple como se muestra en la Fig. 6-40, siempre y cuando cumpla con el suministro del volumen de aire requerido por el actuador.

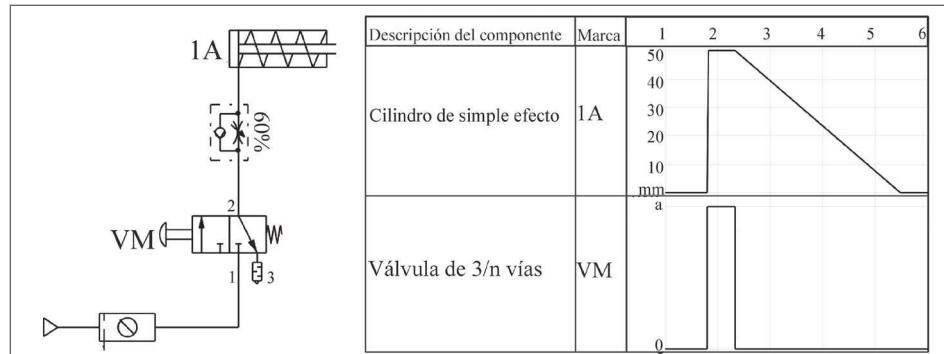


Fig. 6-40. Válvula 3/2 en la manipulación de un actuador de efecto simple.

Válvulas de simultaneidad

Válvula con dos señales de entrada y una señal de salida, al aplicar presión por una de las entradas sólo espera la presión por la otra entrada para que exista salida, también se le puede aplicar presión en forma simultánea por ambas entradas a la vez para obtener presión por la salida. Esta válvula es la función lógica AND en sistemas neumáticos o conexión serie de válvulas neumáticas, de acuerdo a la Fig. 6-41 se muestra que la válvula tiene dos entradas y una salida, ambas entradas deben de ser "1" lógico para que la función de salida sea "1", de otra manera el resultado en la salida es "0".

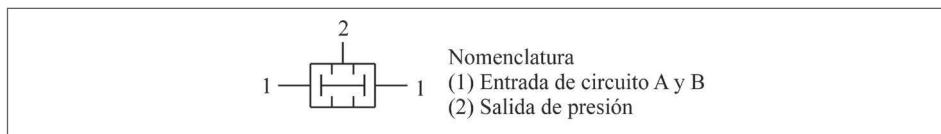


Fig. 6-41. Identificación de puertos de la válvula de simultaneidad.

La Fig. 6-42 muestra la aplicación de la operación AND con la válvula de simultaneidad también llamada multiplicación lógica de tal manera que se puede obtener una ecuación lógica que represente a $VP1(A)$ y a $VP1(B)$, para que se active $VP1(A)$ se requiere que VM y $LS1$ tengan valor lógico de "1" y para que se active $VP1(B)$ sólo se requiere que $LS2$ tenga un "1" lógico.

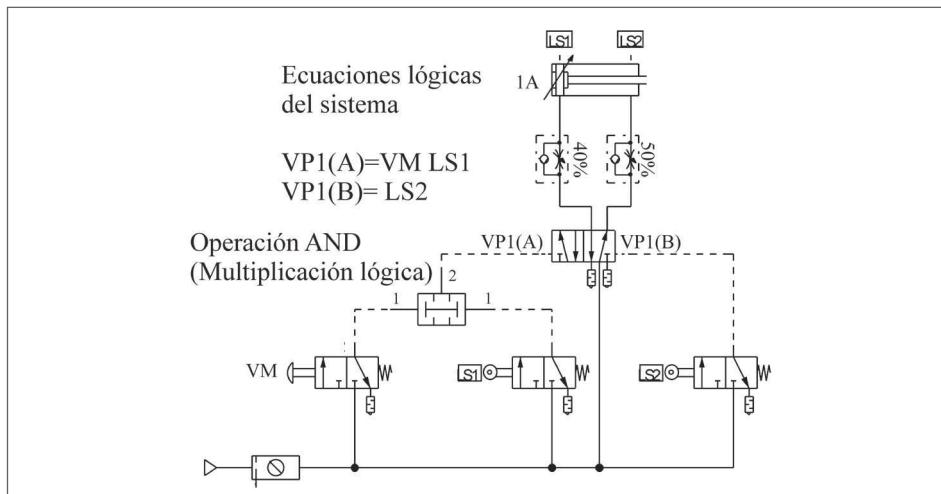


Fig. 6-42 Aplicación de la válvula de simultaneidad.

Válvula selectora de circuitos

Una de las válvulas de procesamiento de presión es la válvula selectora de dispositivos neumáticos, esta válvula tiene 2 entradas de presión y una salida como lo muestra la Fig. 6-43, su función se basa en que el aire comprimido que entra por las conexiones 1 sale por la conexión 2, si ambas entradas recibieran aire comprimido a diferente presión, la salida sería la correspondiente a la presión más alta. Esta válvula es la función lógica OR o la suma lógica y es aplicada a funciones neumáticas.

Esta válvula es necesaria cuando se van a sumar dos señales de presión las cuales pueden funcionar a destiempo o al mismo tiempo.

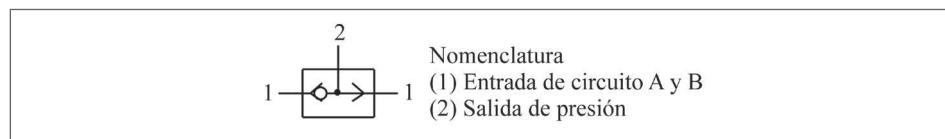


Fig. 6-43. Válvula selectora de circuitos.

Esta válvula no se representa por si sola en el diagrama de mando, esto es debido a que no se tienen que seleccionar posiciones. En la Fig. 6-44 se muestra un ejemplo de selección de funciones con esta válvula, en el diagrama se selecciona a la función obtenida por la válvula manual (VM) ó la válvula de pie (VP). Con una de las dos funciones que esté presente es suficiente para que se seleccione la posición A de la válvula principal (VP1).

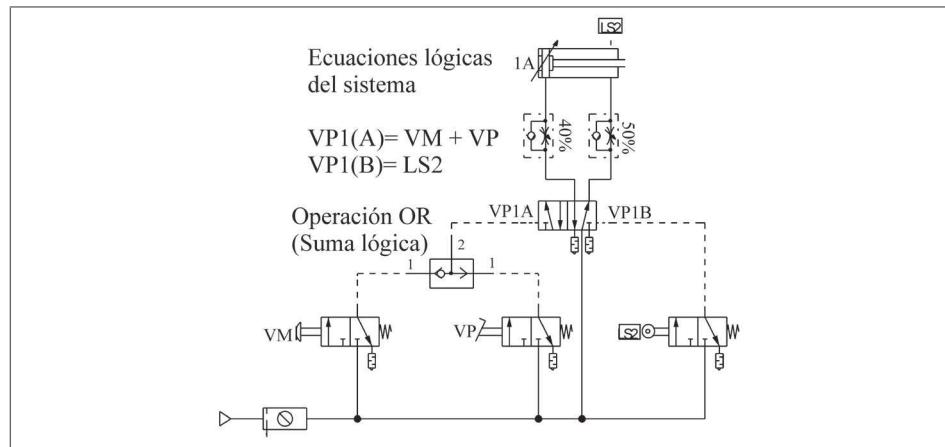


Fig. 6-44. Aplicación de la válvula selectora de circuitos como sumatoria lógica.

Si se quiere sustituir la válvula selectora de circuitos por una conexión T para unir a las válvulas VM y VP el resultado no es el mismo pues al seleccionar una de las dos válvulas la presión se va hacia la atmósfera, esta válvula no se puede sustituir en un diagrama de conexiones neumáticas.

6.7 Dispositivos de entrada

Como dispositivos de entrada se considera a toda válvula que cambia de posición mediante la acción externa de uno de sus pilotos, pueden ser activadas mecánicamente ya sea por el vástago de un cilindro o por la acción de un operador, también puede ser activadas magnéticamente por el émbolo de un cilindro, estas válvulas son consideradas de control ya que la mayoría de las veces no tienen capacidad para conducir grandes volúmenes de aire comprimido.

Las aplicaciones más comunes de estas válvulas son las operadas manualmente o por pie, válvulas de rodillo con aplicación de inicio y fin de carrera de un cilindro. La configuración más común es 3 vías y 2 posiciones.

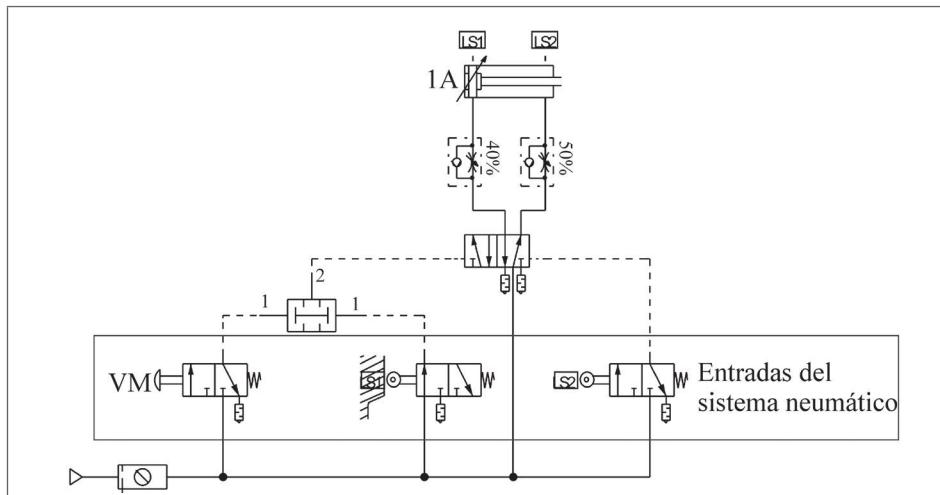


Fig. 6-45. Válvulas 3/2 como entradas al sistema secuencial neumático VM, LS1 y LS2.

6.8 Válvulas de retardo de tiempo y contador neumático

Los sistemas neumáticos tienen más campo de aplicación al agregarles válvulas de control de tiempo y válvulas de conteo de eventos. Las válvulas de tiempo ayudan a dar como resultado retardos en la respuesta de la aplicación de funciones, y la válvula de conteo de eventos ayuda a contar activations o desactivations de funciones neumáticas, estas válvulas forman parte del grupo de los elementos de procesamiento.

V Válvula de tiempo

Algunos sistemas neumáticos requieren de la aplicación del retardo de tiempo, ya sea para retardar la extensión o la retracción de un cilindro, este retardo permite desfasar funciones en tiempo, la Fig. 6-46 muestra las tres secciones que componen a esta válvula, una válvula reguladora de caudal unidireccional, un acumulador y una válvula direccional de 3 vías y 2 posiciones retornada por resorte.

La válvula reguladora de caudal se encarga de estrangular el volumen de aire que le llega al acumulador, al llenarse de aire, éste vence al resorte de la válvula 3/2, cambiando de posición B a la posición A, el retardo mostrado en el llenado del acumulador se convierte directamente en una función de tiempo. La válvula 3/2 quedará en operación si es que el piloto Z queda activado aún después de que el acumulador fue llenado. La función de la válvula unidireccional es liberar el aire que queda atrapado en el acumulador después de que se remueve el aire al piloto Z, este aire debe ir a un desfogue para que la válvula llegue a su estado original. El símbolo de la válvula es mostrado enseguida.

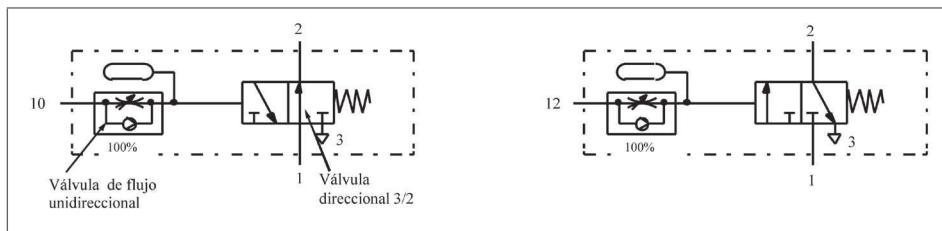


Fig. 6-46. Componentes de la válvula de tiempo.

Esta válvula tiene dos configuraciones, presión bloqueada o NC (normalmente cerrada) y presión abierta ó NA (normalmente abierta)

Una de las aplicaciones más comunes de esta válvula es la retención del cilindro en su estado de vástagos extendidos como lo muestra el diagrama de conexiones neumáticas de la Fig. 6-47.

El valor de tiempo depende de dos variables una el porcentaje de regulación y la otra la presión de aire comprimido que se le suministre al piloto Z (puerto de conexión 12), razón por la cual esta válvula no tiene graduación en su ajuste de tiempo, los ajustes se hacen a prueba y error. Esta desventaja se debe considerar al diseñar sistemas neumáticos con la variable de tiempo.

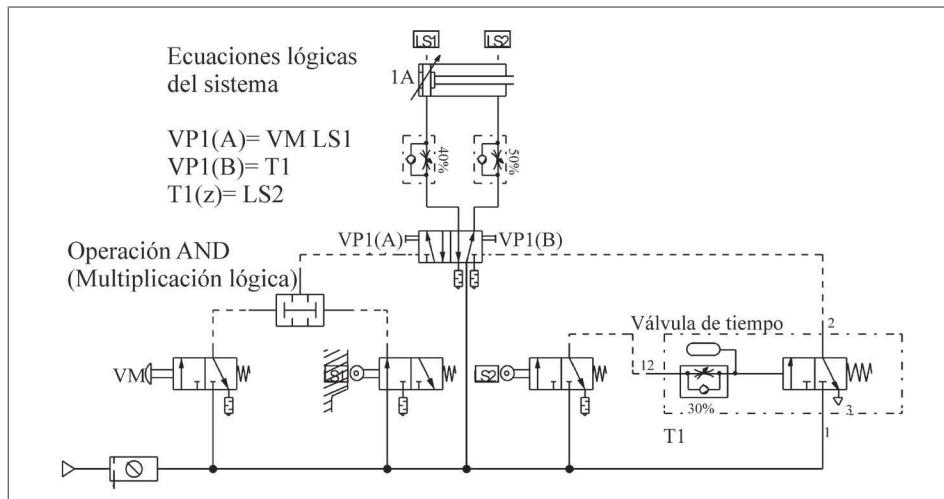


Fig. 6-47. Retención del vástago extendido del actuador 1A por la acción del temporizador T1.

Como parte de la práctica mediante la simulación con el programa FluidSim compruebe que al activar la válvula manual (VM) y con el cilindro en su posición inicial (retraído) se inicia el desplazamiento del cilindro, al llegar al final de la carrera tiene un retardo de tiempo para regresar, ésta es una de las aplicaciones comunes de la función tiempo en sistemas neumáticos.

Diagrama espacio-tiempo

Es la representación gráfica del funcionamiento de un actuador con la función de retardo de tiempo aplicada a las dos fases o sólo a una de ellas, retroceso y avance, el diagrama espacio-fase mostrado en la Fig. 6-48 muestra a la función como un estado de reposo en la función de vástago extendido, en algunos procesos es conocida como función de sostenimiento y específicamente es aplicar la fuerza desarrollada por el cilindro neumático por un periodo de tiempo determinado, una aplicación común de esta función es en prensas neumáticas.

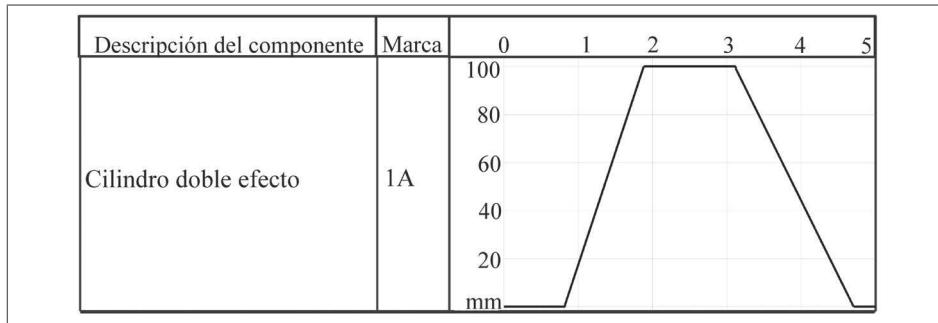


Fig. 6.48. Diagrama espacio-tiempo obtenido con el FluidSim.

Contador neumático

La válvula de conteo neumática es mostrada en la Fig. 6-49 con la identificación de los puertos de conexión que la componen, esta válvula registra señales neumáticas y su forma de conteo es del tipo descendente a partir de un valor preestablecido, al llegar al valor de cero el contador emite una señal neumática de salida que permanece presente hasta que se habilita la señal de inicialización. Esta válvula tiene 3 entradas de presión una para el conteo, otra para la señal de inicialización y una más para la presión que va a dejar pasar cuando termine el conteo.

Esta válvula cuenta desplazamientos ó retracciones de un cilindro, también evita que se repita una función dentro de la lógica de operación de un sistema secuencial neumático, haciendo más inteligente al sistema secuencial. El símbolo de esta válvula se muestra en la Fig. 6-49.

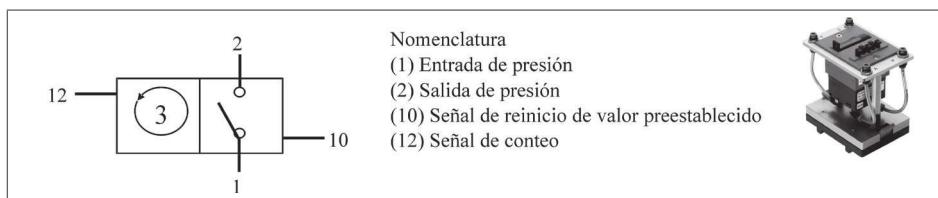


Fig. 6-49. Válvula Contador Festo.

La operación de esta válvula es la siguiente: Al aplicar presión al puerto de conexión 12, el número de eventos preestablecido se va a reducir de uno en uno hasta llegar a cero eventos por contar, en este momento se activa la conexión entre el puerto 1 y el puerto 2 dejando pasar la presión aplicada al puerto de conexión 1, al aplicar presión al puerto de conexión 10 el número de eventos que tenga el contador se va a reiniciar al número preestablecido. Lo más conveniente es reiniciar el contador hasta que haya contado todos los eventos. En la Fig. 6-50 se muestra un ejemplo de un sistema secuencial neumático que cuenta las activaciones del sensor de contacto de fin de carrera LS2.

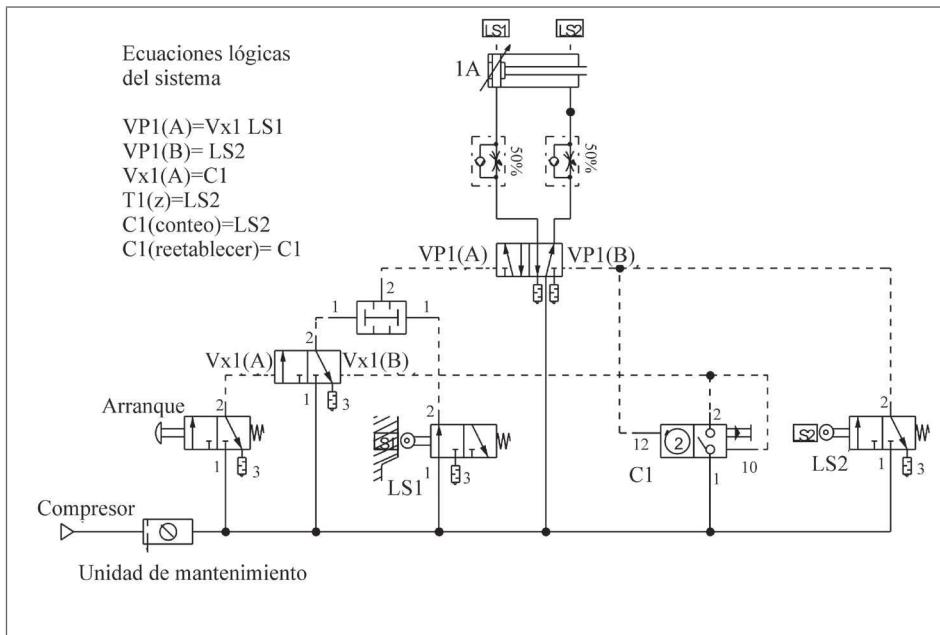


Fig. 6-50. Circuito neumático que cuenta las activaciones del sensor de contacto LS2.

Como parte de la práctica utilizando el software FluidSim compruebe el funcionamiento del circuito y obtenga sus conclusiones.

6.9 Sistemas de vacío

La palabra vacío, originaria del latín "Vacuus", significa vacío. El vacío es el estado de un gas cuya densidad molecular es inferior a la densidad del ambiente, y la presión es inferior a la atmosférica.

Los sistemas de vacío industriales están divididos básicamente en 4 categorías, sistemas de bajo, mediano, alto y ultra alto vacío, cada sistema tiene su aplicación específica. Dentro de la manipulación de objetos los sistemas de bajo vacío es el adecuado ya que no requiere de equipo costoso para ser generado y por el rango de vacío que se maneja el cual está en un rango de 759 a 1×10^{-3} Torr. Los dispositivos con que se puede generar este vacío son mediante bombas de vacío también llamados sopladores y generadores de vacío basados en el principio Venturi.

Principio de funcionamiento de un venturi

Al hacer fluir aire comprimido por una boquilla cónica, se produce un aumento de velocidad y una caída de presión. Este efecto recibe el nombre del físico italiano Giovanni Battista Venturi (1746-1822). Este principio es utilizado para generar vacío sin partes móviles.

Una de las aplicaciones del venturi en la neumática industrial es la manipulación de objetos en conjunto con una ventosa que es la encargada de ajustarse al objeto a ser manipulado. Venturi-ventosa es el arreglo más común en la manipulación de objetos en sistemas secuenciales automáticos del tipo industrial. La Fig. 6-51 muestra la dirección del flujo de aire dentro del Venturi y el acoplamiento de la ventosa con el objeto a ser trasladado.

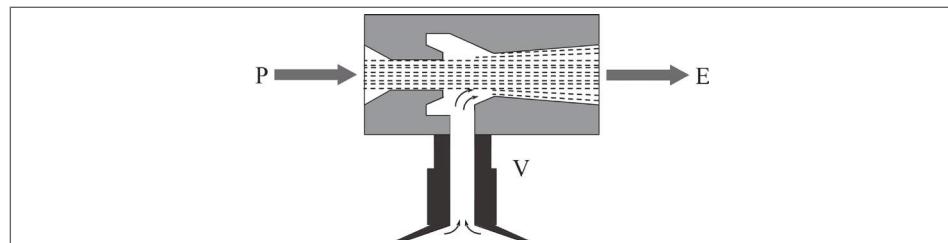


Fig. 6-51. P: Presión, E: Escape y V: Vacío.

El modo de operación consiste en: Al aplicar presión de aire al venturi (P) se genera un vacío en la ventosa (V) y existe flujo de aire por el escape (E), al remover la presión de entrada al sistema las presiones se igualan y se elimina el vacío. Físicamente se muestran en la Fig. 6-52 el tubo generador de vacío y una ventosa, mencionando que la ventosa tiene varias presentaciones, puede ser circular del tipo plano o de fuelle, en la figura se muestra una ventosa plana.



Fig. 6-52. Ventosa modelo ESS-30-SN de Festo, generador de vacío tipo venturi modelo VN-30 de Festo.

Los símbolos del conjunto ventosa y tubo generador de vacío son mostrados en la Fig. 6-53 y es de la forma en que son representados en un diagrama de conexiones neumáticas.

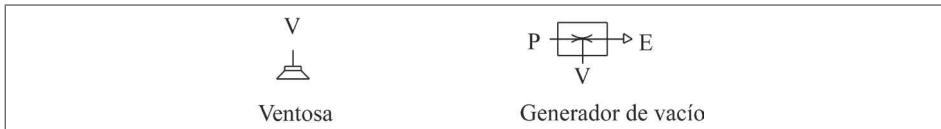


Fig. 6-53. Símbolo de ventosa y tubo generador de vacío.

La aplicación de un sistema de vacío se exemplifica con un sistema de manipulación de objetos (Fig. 6-54). La necesidad es trasladar un objeto a 180 grados del punto de origen, se utiliza un actuador neumático de media vuelta de giro, válvulas de límite de giro y un sistema de vacío. La ventosa está acoplada mecánicamente al eje del actuador semigiratorio mediante un brazo metálico.

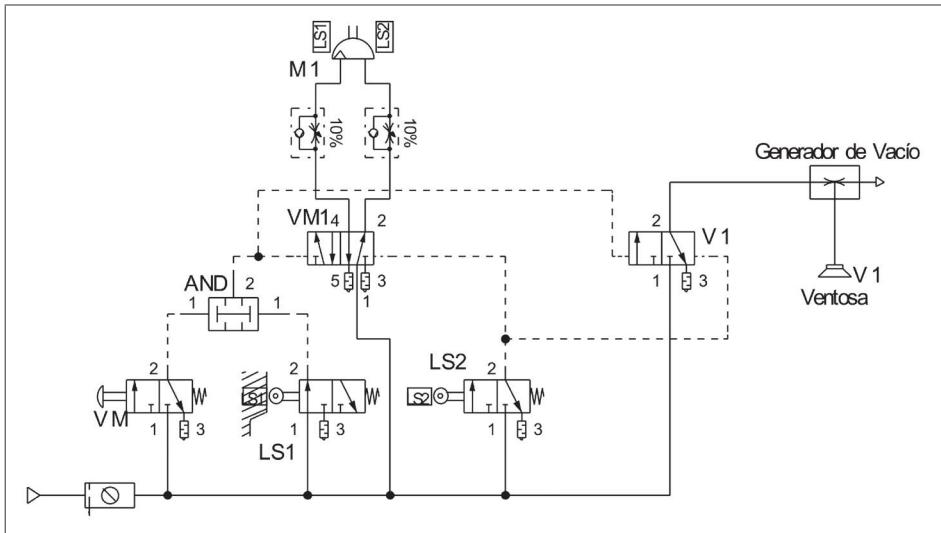


Fig. 6-54. Manipulación de objetos mediante venturi (generador de vacío) y ventosa.

El modo de operación consiste en activar la válvula manual y el sensor de contacto de inicio de giro (LS1) debe estar activado, el actuador girará a la derecha y a la vez se activa el sistema de vacío, al llegar al final del traslado se desconecta el vacío para depositar el objeto en el punto indicado y regresa el actuador al punto inicial, en espera de que se active otra vez la válvula manual.

6.10 Diseño de sistemas secuenciales neumáticos

La aplicación de sistemas automáticos del tipo neumático en la industria moderna sigue siendo una necesidad, al no contener dispositivos eléctricos en su estructura les da ventaja de aplicación en ambientes de alto riesgo.

En el diseño de estos sistemas cualquier método que se utilice deberá de conducir a tener como resultado diseños robustos en el funcionamiento, de tal manera que se puedan absorber alteraciones o errores humanos en el método de operación o simplemente fallas de alguno de los dispositivos neumáticos, y como protección y seguridad del propio personal y maquinaria de trabajo, el equipo o máquina no debería operar al suceder cualquiera de estas situaciones.

El diseño de automatismos neumáticos puede ser realizado en base a la experiencia del diseñador o en base a un método sistemático, en los problemas abordados en este capítulo se va a utilizar un método sistemático. La representación de una secuencia neumática puede ser mediante un diagrama de funcionamiento, una representación de vectores de desplazamiento o la representación de movimientos.

Esta representación es del tipo gráfica, y todos los dispositivos del sistema son representados en forma vertical de arriba hacia abajo, se inicia con la representación de los cilindros o actuadores, se sigue con las válvulas direccionales principales que controlan directamente a los actuadores, temporizadores y contadores, posterior a esto se sigue con las entradas del sistema que son válvulas de 3 vías 2 posiciones, se marca con una línea vertical los cambios de estados de los cilindros, estos cambios incluyen de dirección y de velocidad, y son marcados en todo el gráfico iniciando con el actuador y terminando con el último elemento de la secuencia.

La primera línea vertical del gráfico muestra la separación entre el sistema en reposo y el sistema en funcionamiento, por lo regular siempre hay un dispositivo que inicia el funcionamiento del sistema y éste hace la diferencia entre el reposo y funcionamiento del sistema secuencial. Con este gráfico se sustituye la explicación escrita del funcionamiento de un sistema neumático.

El siguiente gráfico (Fig. 6-55) muestra la interacción de dos actuadores lineales, y su secuencia es la siguiente:

- Al activar la válvula manual (VM) se activa la válvula principal 1 (VP1) y a su vez avanza el actuador lineal 1A
- Al llegar al final de su carrera el actuador 1A se activa la válvula principal 2 (VP2) e inicia su movimiento de avance el actuador 2A
- Al llegar a su posición final el actuador 2A inmediatamente se desactiva la posición A de VP2 y se regresa el actuador 2A.

- Al llegar a suposición inicial el actuador 2A, se desactiva la posición A de la válvula VP1 e inicia su regreso el actuador 1A.
- Al llegar a su posición inicial el actuador 1A, el sistema llega a su estado inicial.

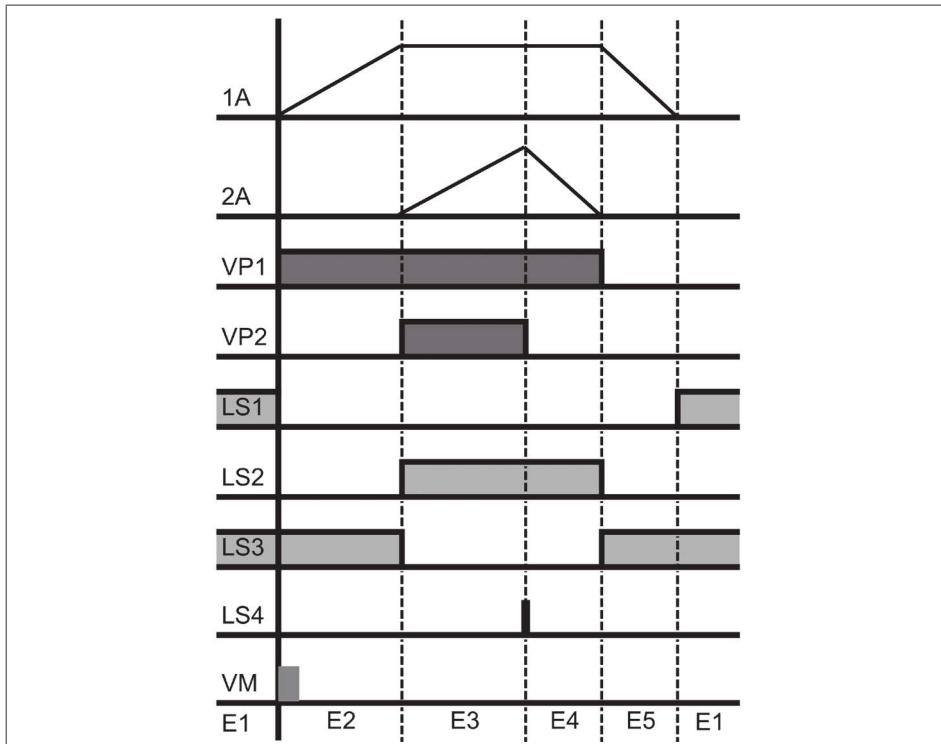


Fig. 6-55. Diagrama de funcionamiento de un sistema neumático.

El sistema cuenta con 5 transiciones de los dispositivos neumáticos representadas por las líneas verticales y a su vez cuenta con 5 estados delimitados entre las transiciones.

Representación mediante vectores de desplazamiento

Esta representación consiste en representar mediante un vector cada movimiento de un actuador lineal, la representación se hace necesaria cuando se interconectan dos o más actuadores, la representación de dos actuadores interconectados entre sí se realiza mediante los vectores de desplazamiento mostrando la dirección física de ambas fases de cada actuador, la coordinación de los cilindros se representa con el seguimiento de los vectores de cada uno de los actuadores, en el ejemplo mostrado (Fig. 6-56) al llegar a su final de la carrera el actuador 1A inicia el avance el actuador 2A, al llegar este actuador a su fin de carrera inmediatamente se regresa dando paso a que regrese el actuador 2A una vez que haya regresado el actuador 1A a su inicio de carrera.

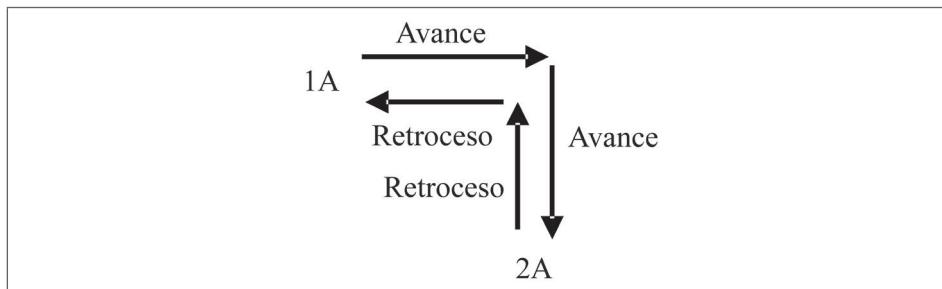


Fig. 6-56. Sistema neumático de dos actuadores.

La información que entrega este gráfico está muy limitada sin embargo ayuda a entender en forma muy general el funcionamiento de un sistema neumático.

Representación abreviada con signos

Se representan los cambios de estado de un sistema neumático mediante una tabla, los actuadores se representan mediante símbolos donde el símbolo "+" significa un desplazamiento de avance y el símbolo "-" indica un desplazamiento hacia el retroceso. Las válvulas son representadas por la posición que se activa en cada estado, dando una combinación de signos y posiciones de válvulas en cada estado.

La interacción de dos actuadores (1A y 2A) se muestra en la tabla 6-2, de donde se puede obtener la siguiente secuencia:

- El inicio del funcionamiento del sistema está a cargo de la válvula manual (VM) e inicia su desplazamiento hacia la salida el vástago del actuador 1A, por el símbolo positivo que se muestra en el estado 1.
- Al llegar a su fin de carrera el actuador 1A, se activa la válvula LS2 e inicia su desplazamiento a la salida el actuador 2A por el símbolo positivo que muestra en el estado 2.
- Al llegar a su fin de carrera el actuador 2A, se activa a la válvula LS4 e inicia su retroceso por el símbolo negativo que muestra en el estado 3.

- Al llegar el actuador 2A a su posición inicial, la válvula LS3 es activada e inicia el retroceso el actuador 1A.

ESTADO	ACTUADORES	
	1A	2A
1	+ , VM(A)	
2		+ , LS2 (A)
3		- , LS4 (A)
4	- , LS3 (A)	

Tabla. 6-2. Representación de la interacción de dos actuadores.

6.10.1 Diagrama de funcionamiento

Este diagrama es la suma del diagrama espacio-fase, diagrama de mando y diagrama espacio-tiempo (Fig. 6-57). Al tener agrupados los tres diagramas en uno, es fácil la comprensión del sistema neumático ya que se ve cuales inician y cuales terminan en cada cambio de estado, de este diagrama se obtienen ecuaciones lógicas para cada piloto neumático que active a una válvula direccional, el mismo diagrama indica que dispositivos son requeridos para el desarrollo del sistema neumático, el tipo de válvulas direccionales que se requieren y sus respectivos pilotos.

Al graficar a todos los dispositivos en un diagrama se puede entender mejor el funcionamiento del sistema, esto debido a que se puede observar claramente como interactúan los dispositivos del sistema, como se activan las válvulas de mando, como se activan las válvulas direccionales y a su vez como se activan los actuadores.

Es de gran ayuda en la detección de fallos, debido a que es fácil detectar en que parte de la secuencia se queda en espera el sistema o simplemente se puede observar que dispositivo es el que no está operando, ésta es una de las ventajas que ofrece el diagrama, poder ver en forma vertical que dispositivos deben de actuar en cada uno de los movimientos de los actuadores.

Este diagrama es el inicio en el diseño de un sistema neumático, y se puede obtener como resultado de la simulación con el programa FluidSim de FESTO, el diagrama de espacio-fase por sí solo no tiene suficiente información para el desarrollo de un diagrama de conexiones neumáticas, pero si es de gran ayuda en el inicio del diseño de un sistema neumático, el movimiento e interconexión en los movimientos de los actuadores es la representación gráfica de la solución a una situación o un problema propuesto.

Del diagrama espacio-fase se obtiene el diagrama de mando y puede tener como solución varios resultados sin embargo se debe tomar la más adecuada y segura.

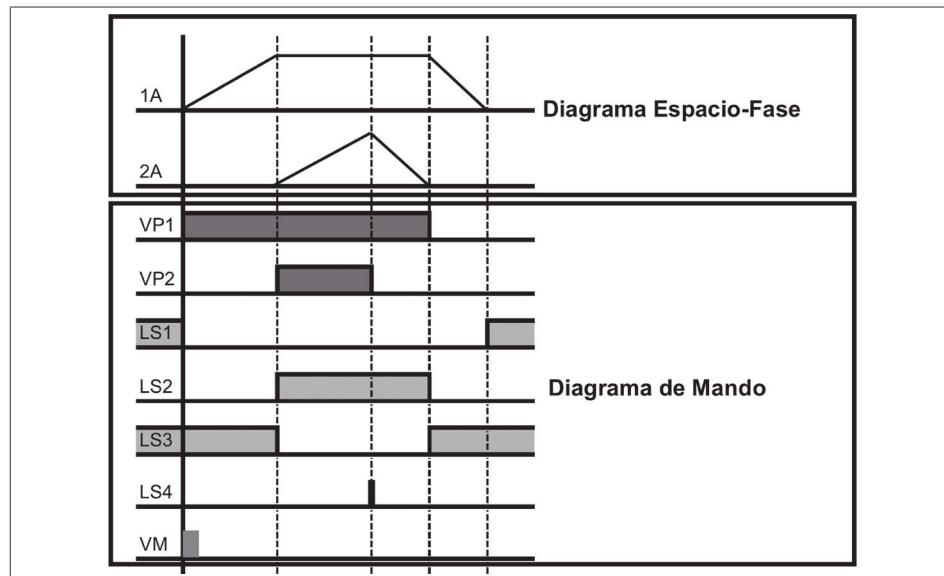


Fig. 6-57. El diagrama espacio-fase y de mando dan como resultado el diagrama de funcionamiento.

Representación de un diagrama de funcionamiento con ecuaciones lógicas

La representación analítica de un diagrama de funcionamiento es realizada mediante ecuaciones lógicas, una de las ventajas de los sistemas neumáticos es el comportamiento discreto muestran las válvulas direccionales por lo que es sencillo realizar la analogía entre los sistemas neumáticos y los sistemas eléctricos de forma digital, al igual que los sistemas digitales a los neumáticos se les puede aplicar la suma y multiplicación de funciones dando con esto la representación de los sistemas mediante ecuaciones lógicas.

Una válvula con pilotos neumáticos en ambas posiciones y con presión bloqueada en B (Fig. 6-58), la salida Vx1 va a tener presión neumática cuando exista un pulso instantáneo o una activación fija de presión por el piloto A y se va a desconectar la presión en Vx1 cuando se aplique un pulso instantáneo o una activación fija en B, concluyendo que con A se enciende la función Vx1 y con B se apaga. La función de salida de esta válvula es Vx1.

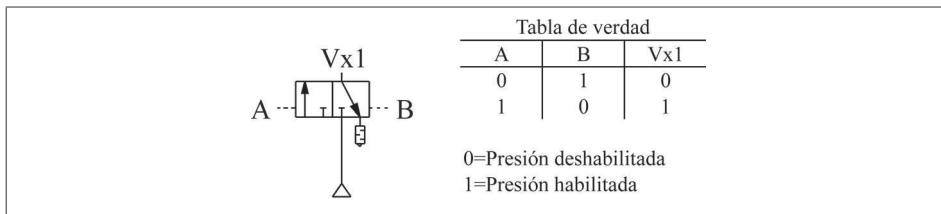


Fig. 6-58. Válvula presión bloqueada en B (Función afirmada).

La función de salida de esta válvula es Vx1.

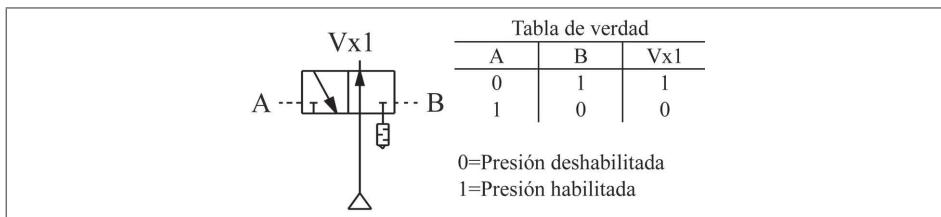


Fig. 6-59. Válvula con presión abierta en B (Función negada).

La función de salida de esta válvula es Vx1 negada función complementaria (Fig. 6-59). En las dos funciones anteriores cuando exista presión piloto por ambos puertos A y B se va activar la posición del piloto que fue activado primero.

Las funciones anteriores son para válvulas con dos pilotos neumáticos, también existen las funciones neumáticas con un solo piloto.

La función Vx1 mostrada en la Fig 6-60 tiene un solo piloto neumático de tal manera que la posición A es seleccionada sólo cuando existe presión piloto en A y el tiempo que dure el piloto es el tiempo que va a existir presión por la salida de Vx1.

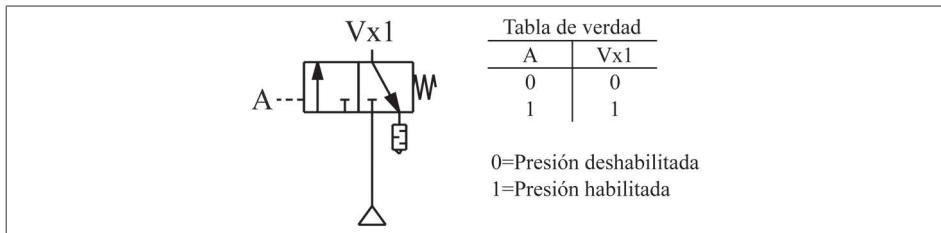


Fig. 6-60. Piloto neumático en A y retorno por resorte en B.

La función complementaria a la función anterior (Fig. 6-61) se realiza con una válvula direccional con presión abierta en B de tal manera que cuando se selecciona A se desconecta la presión por la salida de Vx1

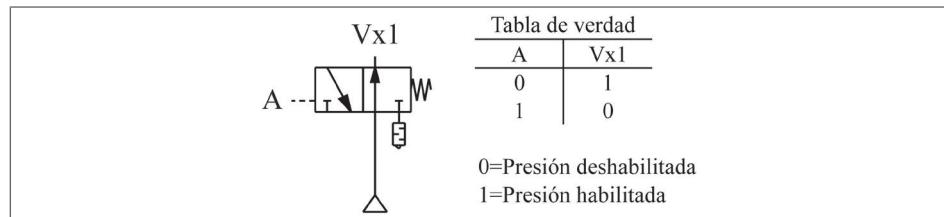


Fig. 6-61. Función complementaria.

Este análisis muestra el comportamiento discreto de las válvulas neumáticas facilitando la representación de sistemas neumáticos mediante ecuaciones lógicas obtenidas de un diagrama de funcionamiento.

6.11 Multiplicación y suma de funciones neumáticas discretas

Las funciones neumáticas provenientes de una válvula direccional, temporizador o contador son consideradas del tipo discreto, y la lógica que se aplica es: a la presencia de presión de aire se le aplica el valor lógico "1" y a la ausencia de presión de aire se le aplica el valor lógico "0". Los sistemas neumáticos al igual que los sistemas eléctricos tienen funciones negadas y afirmadas, entre ambos sistemas se realiza una analogía para tener un mejor entendimiento (Fig. 6-62). Una función es negada cuando existe presión en la salida de una válvula sin haber habilitado el piloto de la válvula direccional y la función es afirmada cuando no existe presión en la válvula hasta que se habilite el piloto de válvula direccional. Al considerarse sistemas del tipo discretos se les puede aplicar las funciones de multiplicación y suma para poder obtener el resultado de sistemas complejos.

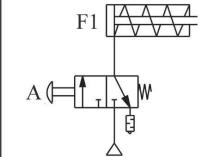
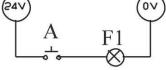
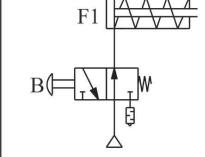
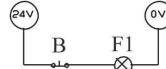
Analogía entre sistemas neumáticos y eléctricos		
Sistema neumático	Sistema eléctrico	Ecuación
		$F1 = A$
		$F1 = \overline{B}$

Fig. 6-62. Lógica afirmada y lógica negada en sistemas neumáticos.

Cada piloto neumático de una válvula direccional debe ser representado por una ecuación, el número de pilotos neumáticos existentes en un sistema secuencial es igual al número de ecuaciones que representan al sistema. Estas ecuaciones están construidas por las dos funciones matemáticas simples, suma y multiplicación lógica.

Multiplicación lógica de funciones neumáticas

Esta función se va analizar utilizando el ejemplo mostrado en la Fig. 6-63, el diagrama de funcionamiento muestra la secuencia de un sistema neumático compuesto por dos actuadores (1A y 2A) interconectados en sus movimientos.

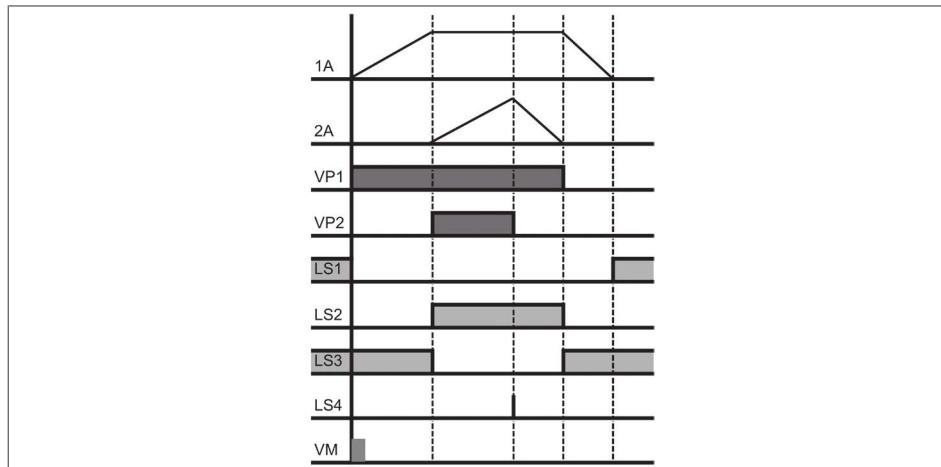


Fig. 6-63. Diagrama de funcionamiento de un sistema secuencial neumático.

La multiplicación lógica se va a utilizar cuando se requiera obtener un pulso de presión aportada por los pulsos de varias funciones neumáticas, también ayuda en la condición de funciones para habilitar o deshabilitar una o más funciones neumáticas.

Es común utilizar esta función matemática simple para obtener pulsos que no cubran toda la operación de los pilotos de la válvula principal, dirigiendo esta aplicación a válvulas que no tengan esfuerzos mecánicos que vencer como un resorte, las válvulas con pilotos neumáticos en ambas posiciones se encuentran dentro de esta categoría.

Del diagrama que se está considerando se toma la sección de las válvulas de mando (Fig. 6-64), se definen las válvulas que tienen la función de entrada, éstas son activadas por la acción de los actuadores o por la acción de una persona o por un objeto.

Las válvulas principales VP1 y VP2 son las que activan a los actuadores, del tipo de pilotos que éstas tengan va a depender el número de ecuaciones. Las ecuaciones que representan a estos pilotos van a estar construidas por las válvulas de entradas que son LS1, LS2, LS3, LS4 y VM.

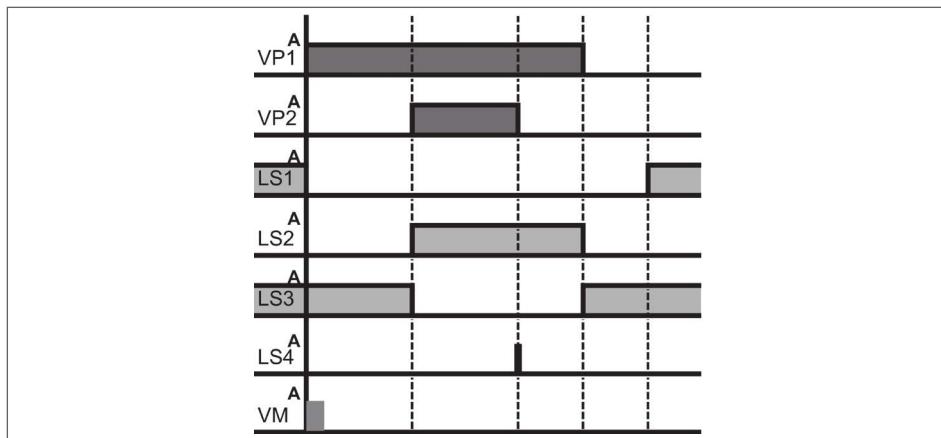


Fig. 6-64. Diagrama de mando.

Si se seleccionan a las válvulas VP1 y VP2 con pilotos neumáticos en A y B (Fig. 6-65) entonces se requiere obtener 4 ecuaciones, dos para los pilotos A y dos para los pilotos B de ambas válvulas.

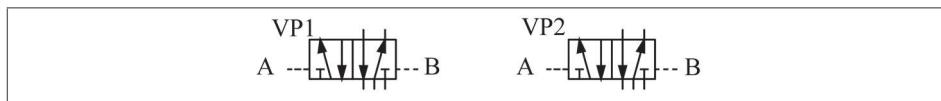


Fig. 6-65. VP1 y VP2 con pilotos neumáticos en ambas posiciones.

La posición A de VP1 requiere de un pulso instantáneo para activarse y quedar seleccionada en esa posición, para obtener una ecuación de este piloto se selecciona

el primer cambio de estado del sistema, la primera línea vertical, si se multiplican las posiciones A de las válvulas LS1, LS3 y VM da como resultado la siguiente ecuación.

$$VP1(A) = LS1 LS3 VM$$

Esta ecuación indica que ambos actuadores deben de estar en posición inicial para que pueda funcionar el sistema, ésta es la primera condición y la segunda es la activación de la válvula manual. La ecuación de VP2 para el piloto de A se vuelve crítica ya que si se realiza la multiplicación de LS2 y LS3 se activaría en el segundo y cuarto cambio de estado, para esta ecuación se debe agregar un dispositivo que distinga ambos cambios de estado, esto se aplicará más adelante en la solución de este problema. La multiplicación lógica es representada por la válvula de simultaneidad en un sistema secuencial neumático (Fig. 6-66).

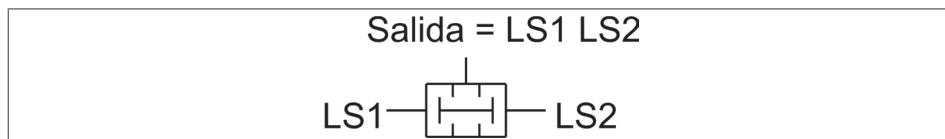


Fig. 6-66. Multiplicación lógica mediante la válvula de simultaneidad.

Sumatoria lógica de funciones neumáticas

Esta función matemática simple es aplicada para obtener el gráfico completo de alguna válvula direccional principal o de control (Vx) y es aplicable a válvulas que tienen un esfuerzo que vencer como un resorte, y por lo tanto son válvulas direccionales con un solo piloto, ésta es la necesidad de aplicar sumatoria lógica a un sistema secuencial neumático.

Para aplicar la sumatoria a las funciones neumáticas en el diagrama mostrado, se debe cambiar el piloto en las válvulas principales de tal manera que el piloto en B sea sustituido por un resorte, quedando estructuradas las válvulas como pilotos neumáticos en A y retorno por resorte en B (Fig. 6-67), al realizar este cambio, sólo se requieren obtener 2 ecuaciones para las válvulas principales además de las ecuaciones de las válvulas auxiliares que se agreguen.



Fig. 6-67. Válvulas pilotos neumáticos en A y resorte en B.

Al cambiar las válvulas principales también cambia el diagrama de funcionamiento debido a que no se puede aplicar la sumatoria con los dispositivos existentes, sin embargo se puede pensar que sumando a las funciones neumáticas LS3 y LS2 nos da como resultado la sumatoria requerida para la válvula principal 1 (VP1),

pero el problema es que la sumatoria de los dos dispositivos es “1” antes de activar el sistema a través de la válvula VM por lo tanto esta sumatoria lógica de LS3 y LS2 queda descartado como una posible solución, llegando a la conclusión que se requieren agregar dispositivos auxiliares que ayuden a realizar la suma, por lo tanto el diagrama debe sufrir modificaciones y esto consiste en agregarle funciones auxiliares, dando como resultado el diagrama mostrado en la Fig. 6-68, el número de funciones auxiliares y la ubicación en el diagrama de funcionamiento se explicará más adelante cuando se vean métodos analíticos para solucionar sistemas secuenciales neumáticos.

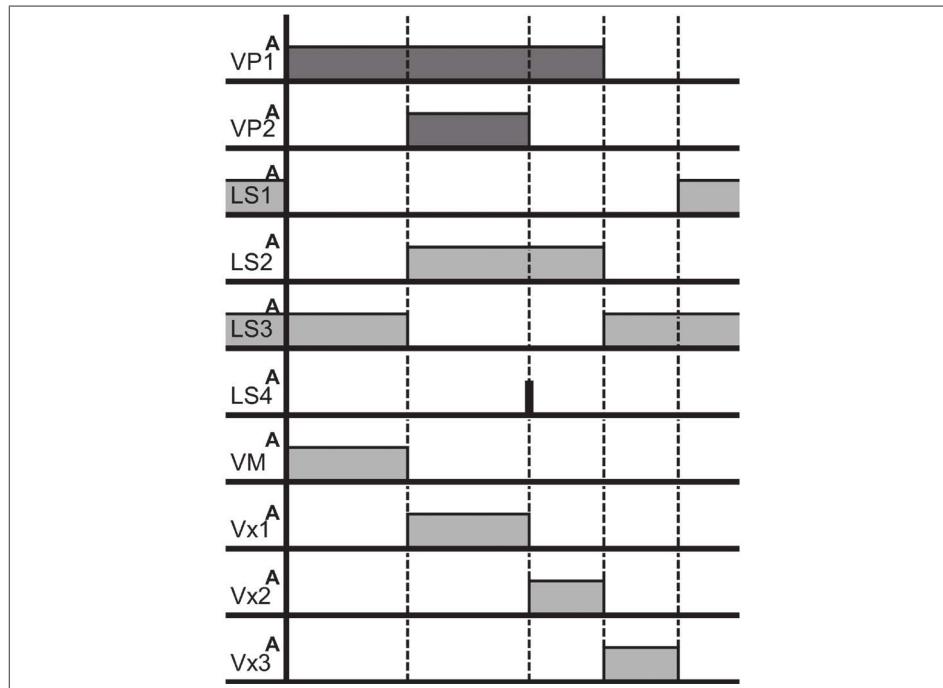


Fig. 6-68. Funciones auxiliares agregados al diagrama de funcionamiento.

Después de haber agregado las funciones neumáticas auxiliares (Vx) se puede obtener el resultado de $VP1$ realizando la sumatoria lógica de las tres válvulas que pueden representar el gráfico de la válvula dando como resultado la siguiente ecuación.

$$VP1(A) = VM + Vx1 + Vx2$$

Nótese que la suma de las tres funciones da como resultado el mismo diagrama mostrado por la válvula $VP1$. El circuito que representa a esta ecuación es la válvula selectora de circuitos (Fig. 6-69), para implementar esta ecuación se requiere de dos válvulas selectora de circuitos.

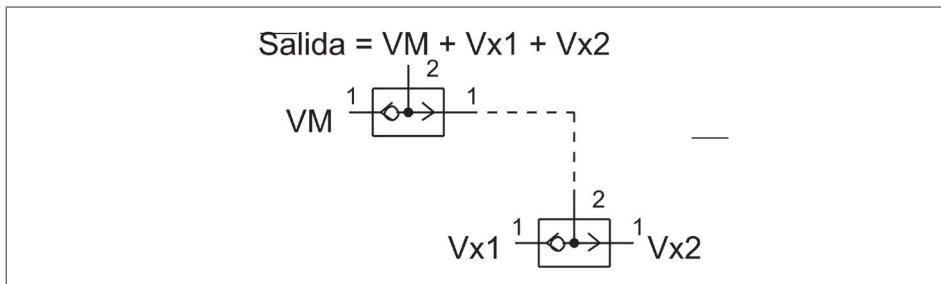


Fig. 6-69. Válvula selectora de circuitos como sumatoria lógica.

Ejemplos de ecuaciones lógicas en funciones neumáticas

Las ecuaciones lógicas de un sistema neumático están estructuradas por funciones neumáticas afirmadas y negadas, condicionadas por las operaciones lógicas AND y OR, multiplicación y suma lógica respectivamente. Se debe obtener una ecuación por cada piloto neumático de cualquier válvula direccional, también la función de tiempo debe tener una ecuación y es precisamente para el piloto z, otra función que debe tener dos ecuaciones una para cada piloto es la función contador, una es para el piloto que cuenta los ciclos la segunda para la función otro el que reestablece al contador.

Ejemplo 1

El diagrama mostrado en la Fig. 6-72 es parte de un sistema neumático, se debe obtener la ecuación que represente a la función 1.

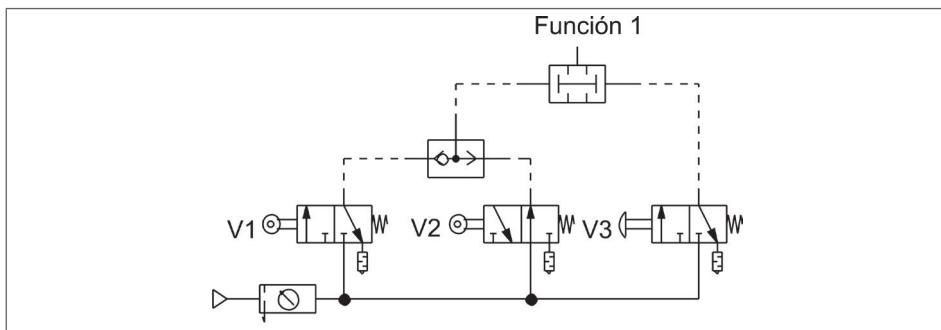


Fig. 6-70. Ejemplo 1.

Solución

Las dos funciones AND y OR son representadas por las válvulas de simultaneidad y la válvula selectora de circuitos, la función neumática V2 al tener presión abierta en la posición B se considera una función negada y es representada en la ecuación lógica como $V2$. Como la función de salida proviene precisamente de la salida de la válvula de simultaneidad, entonces la multiplicación lógica es la que representa a esta función 1.

La ecuación de la válvula selectora de circuitos es $(V1 + V2)$ que da como resultado la siguiente ecuación:

$$\text{Función 1} = (V1 + \overline{V2}) V3$$

Ejemplo 2

El circuito mostrado en la Fig. 6-71 también forma parte de un sistema neumático y se va a obtener la ecuación que represente a la función 2

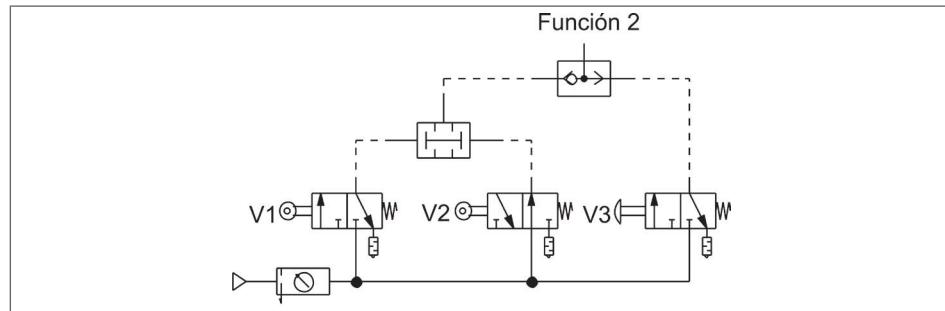


Fig. 6-71. Ejemplo 1.

En este circuito nótese que la función 2 proviene de una válvula selectora de circuitos por lo tanto la ecuación resultante es una sumatoria

$$\text{Función 2} = (V1 \overline{V2}) + V3$$

Ejemplo 3

La Fig. 6-72 muestra más elementos como parte de un sistema neumático se debe obtener las ecuaciones que representen a las funciones 1, 2 y 3.

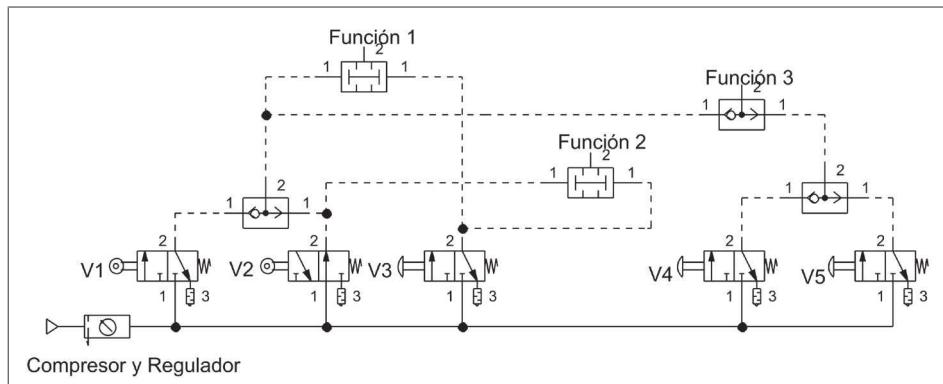


Fig. 6-72. Ejemplo 3 de ecuaciones lógicas.

Las funciones 1 y 2 al salir de una válvula de simultaneidad su resultado es la multiplicación y la función 3 proviene de una válvula selectora de circuitos su resultado es una suma.

$$\text{Función 1} = (V1 + \overline{V2}) \cdot V3$$

$$\text{Función 2} = \overline{V2} \cdot V3$$

$$\text{Función 3} = (V1 + \overline{V2}) + (V4 + V5)$$

Ejemplo 4

El diagrama mostrado en la Fig. 6-73 incluye la función tiempo dentro de su estructura y se deben encontrar las ecuaciones de las 4 funciones, para la función tiempo se debe obtener una ecuación para $T1(z)$. La función tiempo se debe de considerar negada por tener presión normalmente abierta.

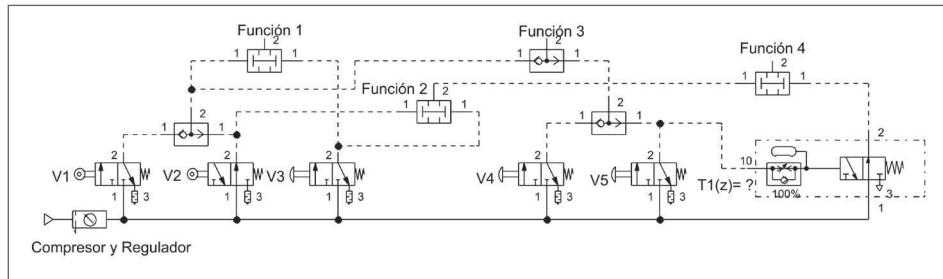


Fig. 6-73. Ejemplo 4 incluyendo la función tiempo con presión normalmente abierta.

Se presenta el resultado de las ecuaciones de las 4 funciones y del piloto neumático del temporizador.

$$\text{Función 1} = (V1 + \overline{V2}) V3$$

$$\text{Función 2} = \overline{V2} V3$$

$$\text{Función 3} = V1 + \overline{V2} + V4 + V5$$

$$\text{Función 3} = (\overline{V2} V3) + T1$$

$$T1(z) = V5$$

Ejemplo 5

El sistema mostrado en la Fig. 6-74 muestra una sección de un diagrama de conexiones neumáticas, este diagrama incluye al temporizador con presión abierta y presión cerrada y a la función de conteo.

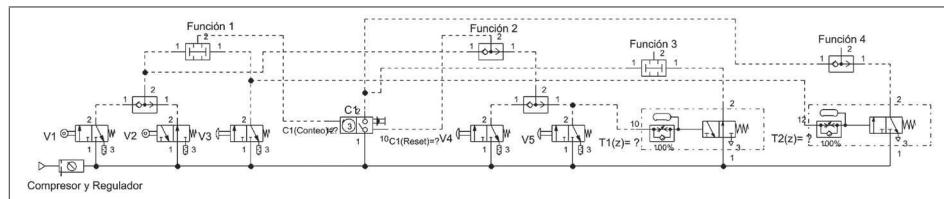


Fig. 6-74. Ejemplo 5 Diagrama de conexiones neumáticas que incluye al contador y al temporizador con presión normalmente abierta y presión normalmente cerrada

Se deben de obtener las ecuaciones para las 4 funciones, también se deben de obtener 2 ecuaciones una para cada piloto neumático z de los temporizadores y 2 ecuaciones para el contador una ecuación para el piloto de conteo y una ecuación para el piloto de reset.

Ecuaciones de las funciones

$$\text{Función 1} = (V1 + \overline{V2}) V3$$

$$\text{Función 2} = V1 + \overline{V2} + V4 + V5$$

$$\text{Función 3} = C1 \overline{T1}$$

$$\text{Función 4} = C1 T2$$

Ecuaciones de la función tiempo y de conteo

$$T1(z) = V5$$

$$T2(z) = V3$$

$$C1(\text{conteo}) = (V1 + \overline{V2}) V3$$

$$C1(\text{reset}) = V1 + \overline{V2} + V4 + V5$$

6.12 Diseño de un automatismo neumático con métodos analíticos

El diseño de un sistema se puede realizar mediante ecuaciones lógicas, con esto se pretende desarrollar el diseño de una manera metódica y efectiva, sin necesidad de tener vasta experiencia en el desarrollo de estos sistemas, después de obtener las ecuaciones éstas son transferidas a un diagrama de conexiones neumáticas, teniendo el diagrama de conexiones se debe poner a prueba su buen funcionamiento con el software FluidSim.

En algunos problemas no es posible obtener una solución efectiva con los dispositivos dados por los movimientos de los cilindros, esto es debido a que los pulsos que son la solución para las válvulas principales se repiten antes de que termine el ciclo.

La aplicación de válvulas auxiliares (Fig. 6-75), llamadas así por auxiliar al sistema neumático en obtener una solución efectiva y robusta en cuanto al funcionamiento se refiere, son válvulas de 3 vías 2 posiciones pilotos neumáticos en ambas posiciones. El piloto más crítico de una válvula direccional es el A, debido a que es el que se activa para obtener una función o un movimiento en los actuadores neumáticos, el piloto B es el que regresa a un actuador neumático a su estado inicial o apaga una función neumática.

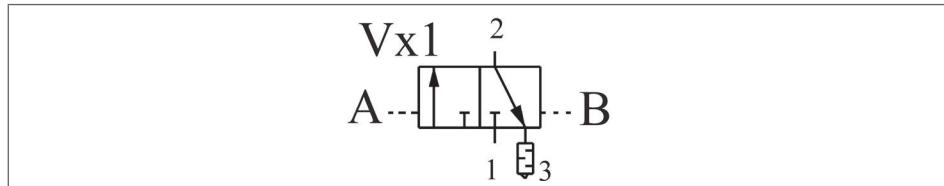


Fig. 6-75. Símbolo neumático de las válvulas auxiliares o memorias.

Las válvulas auxiliares son agregadas por los siguientes métodos, ubicación de un pulso instantáneo único, por aplicación de memorias entre pulsos de diferentes variables y por memorización de cambio de estado.

Ejemplo 1

Una prensa consta de dos actuadores neumáticos lineales de doble efecto, un actuador hace la función de guarda de protección y el segundo es la función de prensado, se debe considerar una válvula que indique las posiciones de inicio y fin de carrera de ambos actuadores, una válvula manual de inicio y las dos válvulas direccionales que mueven a los actuadores, al activar la válvula manual se debe activar inmediatamente el cilindro que hace la función de guarda de seguridad al llegar a su fin de carrera se debe activar el cilindro que hace la función de prensa, al llegar éste a su fin de carrera se debe regresar inmediatamente y al llegar a su inicio el cilindro de guarda

de seguridad debe iniciar su retroceso, llegando a su estado inicial. Esta secuencia es mostrada en el diagrama de funcionamiento de la Fig. 6-76.

- Defina la lista de partes, es importante definir el tipo de pilotos en las válvulas direccionales.
- Obtenga las ecuaciones del sistema, una para cada piloto neumático.
- Obtenga el diagrama de conexiones neumáticas
- Compruebe el funcionamiento del sistema con el software FluidSim.

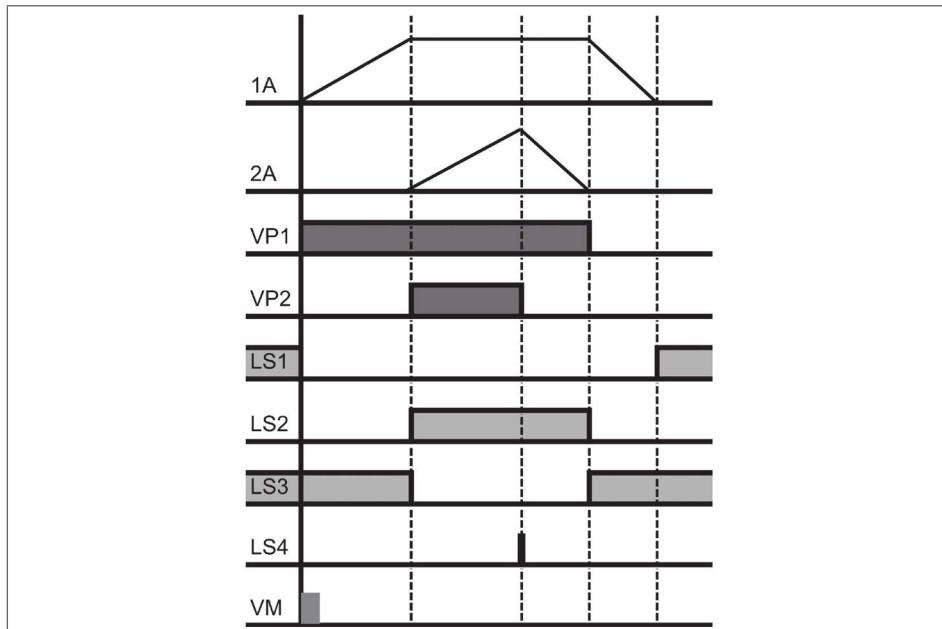


Fig. 6-76. Diagrama de funcionamiento de una prensa neumática.

Las pendientes de los actuadores son más lentas en el desplazamiento de avance y rápidas en el desplazamiento de retroceso.

Lista de partes

Los actuadores son cilindros de doble efecto, la razón es por las operaciones de manejo de carga pesada que van a realizar ambos actuadores.

Las válvulas direccionales VP1 y VP2 son 4 o 5 vías y dos posiciones, el número de vías es debido a que van a manejar actuadores de doble efecto, se van a seleccionar pilotos neumáticos en A y B de ambas válvulas direccionales.

Las válvulas de entrada LS1, LS2, LS3, LS4 y VM son pilotos de esfuerzo mecánico en A y retorno por resorte en B con presión bloqueada en B.

Ecuaciones del sistema

De las válvulas seleccionadas sólo las dos válvulas principales tienen pilotos neumáticos por lo que se requiere obtener 4 ecuaciones hasta el momento.

Ecuación de VP1 en su posición A

Esta ecuación se obtiene del primer cambio de estado y sucede cuando se activa la válvula manual VM. La ecuación de la posición A siempre es la más crítica ya que se debe analizar que el pulso que es obtenido como resultado no se debe repetir durante el ciclo ya que esto hace que el actuador salga de nueva cuenta sin ser requerido.

La ecuación de VP1 en la posición A es la multiplicación de LS1, LS3 y VM que son los dispositivos que están presentes en el cambio de estado, el sistema no va a operar aún y que la válvula manual sea activada si los dos actuadores no están en posición inicial, esto se hace presente al considerar a LS1 y LS3 como parte de la condición de activación del sistema.

$$VP1(A) = LS1 \bullet LS3 \bullet VM$$

Al analizar esta ecuación se ve que aunque se mantenga activa la válvula manual debido a una mala operación o a una falla del dispositivo VM, después de activarse el sistema las tres condiciones no aparecen al mismo tiempo de nueva cuenta, por lo que es segura esta ecuación.

La ecuación de la VP1 en la posición B, no se puede obtener con los dispositivos mostrados en el diagrama de funcionamiento, ya que si se toma a los dispositivos que actúan sobre la cuarta línea que es el cuarto cambio de estado, esta condición se repite en el segundo cambio de estado, por lo tanto se deben de agregar más dispositivos para obtener una ecuación que asegure el buen funcionamiento del sistema, mediante la diferenciación de los pulsos por estado.

Como apoyo en la solución de sistemas secuenciales neumáticos complejos se muestran tres métodos de trabajo que ayudan a obtener una solución efectiva en tiempo y forma que no requieren de experiencia sólo se requiere conocer el funcionamiento de las válvulas direccionales y las válvulas de simultaneidad y selectora de circuitos. Los métodos son:

- Método de Ubicación de un pulso único (PU)
- Método de memorización de pulsos de dos variables (MP)
- Método de memoria de estado (ME)

Cada uno de los métodos tiene su campo de aplicación y serán explicados en forma práctica mediante el desarrollo de un ejemplo.

M todo de ubicación de pulsos nico (PU)

Este método aplica a sistemas neumáticos que presenten en su gráfico de funcionamiento un pulso de alguno de los dispositivos de la secuencia, ya sea de una entrada, de un temporizador o de un contador. El método consiste en aplicar dos válvulas auxiliares una de ellas es activada en el primer cambio de estado, esto significa que se va activar el piloto A, y se va a desactivar con la aportación del pulso único, la segunda válvula es activada por el pulso único y desactivada por las condiciones iniciales del sistema neumático.

Límites de aplicación, no aplica cuando se tiene la aportación de más de un dispositivo con un pulso único. Su aplicación es sencilla y económica al generar solamente dos memorias, éstas también son llamadas válvulas auxiliares y se van a identificar como Vx1 y Vx2.

En este problema se puede aplicar este método (PU) por la aportación que hace LS4. La ubicación de las válvulas auxiliares es mostrada en el diagrama de funcionamiento de la Fig. 6-77, para estas dos válvulas se va a obtener una ecuación para cada uno de los pilotos, agregando 4 ecuaciones al sistema.

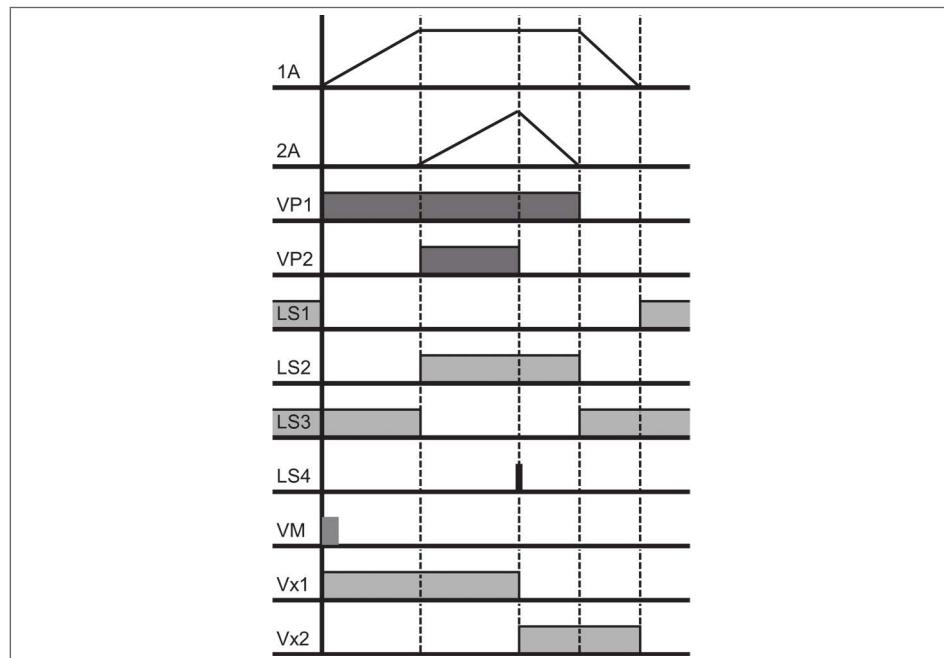


Fig. 6-77 .Diagrama de funcionamiento aplicando el método (PU).

Se deben de obtener un total de 8 ecuaciones, una para cada piloto de las válvulas direccionales VP1, VP2, Vx1 y Vx2.

Con el apoyo de las válvulas auxiliares se puede obtener una ecuación de VP1 en su posición B que no afecte en la activación cuando sucede el segundo cambio de estado, de tal manera que no se desactive hasta que suceda el cuarto cambio de estado, esta ecuación puede estar en función de una de las válvulas auxiliares, dando el siguiente resultado.

$$VP1(B) = LS2 LS3 Vx2$$

Al considerar a la válvula auxiliar Vx2, esta ecuación genera un pulso único dando un resultado robusto en funcionamiento.

Ecuación de VP2

Las ecuaciones de esta válvula se obtienen del segundo y tercer cambio de estado, mediante la multiplicación se van a condicionar los dispositivos que aparecen sobre los cambios de estado incluyendo las válvulas auxiliares.

$$VP2(A) = LS2 LS3 Vx1$$

La ecuación para la posición B de esta válvula se obtiene del tercer cambio de estado, la aportación de la válvula LS4 es un pulso por lo que puede condicionar directamente a la válvula.

$$VP2(B) = LS4$$

Otro resultado es condicionar el resultado con la válvula Vx2, pero no con Vx1 ya que no se activaría el resultado por la intersección de funciones.

Ecuaciones de las válvulas auxiliares

Estas válvulas deben de tener 2 ecuaciones una para cada piloto A y B. La ecuación de la válvula Vx1 en su posición A se obtiene del primer cambio de estado, para obtener un pulso instantáneo se debe multiplicar a los dispositivos que aparecen sobre este cambio de estado, dando la siguiente ecuación.

$$Vx1(A) = LS1 LS3 VM$$

Es importante que este pulso no se repita durante el ciclo ya que se activaría la válvula nueva cuenta sin ser necesario. Sin embargo esto no sucede por la condición de LS1. Para la posición B se utiliza el pulso obtenido de LS4 que está presente en el tercer cambio de estado.

$$Vx1(B) = LS4$$

La ecuación de $Vx2$ en su posición A se obtiene del tercer cambio de estado, y también se utiliza el pulso de LS4 para activar a esta válvula.

$$Vx2(A) = LS4$$

La posición en B de esta válvula se obtiene del quinto cambio de estado, que es el regreso del sistema secuencial a su estado inicial, dando la siguiente ecuación.

$$Vx2(B) = LS1 \ LS3$$

Con esta ecuación se completa el sistema y se puede realizar la simulación correspondiente con el programa del FluidSim.

Diagrama de conexiones neumáticas

Las ecuaciones obtenidas son transferidas a un diagrama de conexiones neumáticas mostrado en la Fig. 6-78, en cada función de suma o multiplicación lógica de funciones se muestra la ecuación con el fin de relacionar rápidamente el resultado analítico con el resultado obtenido con el FluidSim.

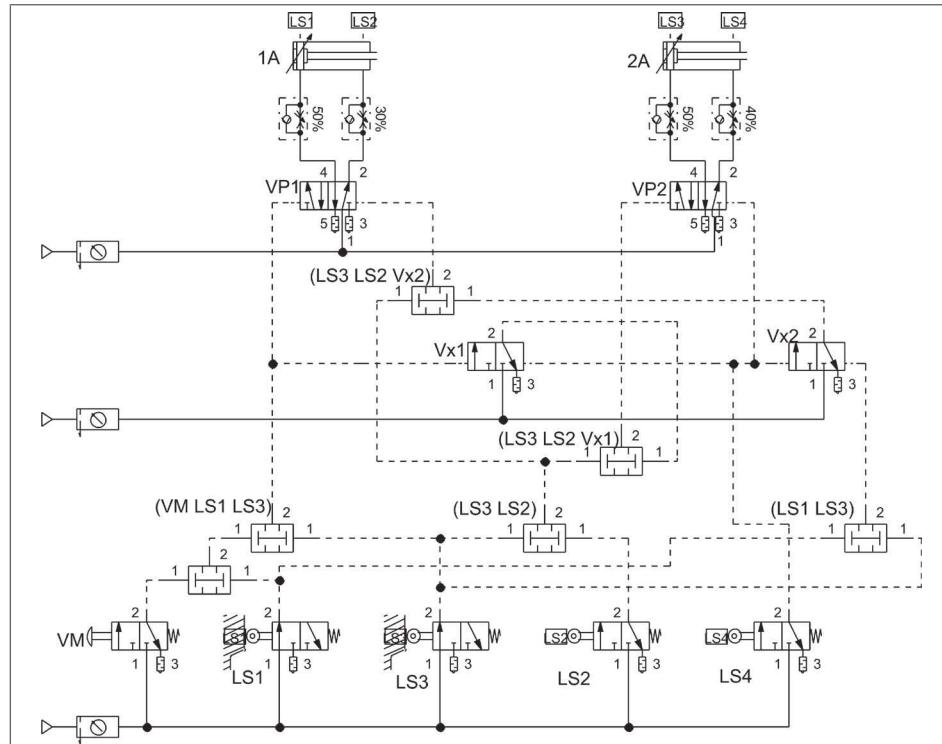


Fig. 6-78. Diagrama resultante de las ecuaciones obtenidas.

La lista de partes (Fig. 6-79) del diagrama obtenido incluye a todo dispositivo que esté presente en el diagrama de conexiones neumáticas, esta lista se obtiene del propio programa FluidSim.

Marca	Denominación del componente
1A	Cilindro doble efecto
	Válvula antirretorno estranguladora
	Válvula antirretorno estranguladora
VP1	Válvula de 5/n vías
2A	Cilindro doble efecto
	Válvula antirretorno estranguladora
	Válvula antirretorno estranguladora
VP2	Válvula de 5/n vías
LS1	Válvula de 3/n vías
(LS1 LS3)	Válvula de simultaneidad
LS3	Válvula de 3/n vías
LS2	Válvula de 3/n vías
LS4	Válvula de 3/n vías
Vx1	Válvula de 3/n vías
Vx2	Válvula de 3/n vías
VM	Válvula de 3/n vías
	Fuente de aire comprimido
	Válvula de simultaneidad
(LS3 LS2)	Válvula de simultaneidad
(LS3 LS2 Vx1)	Válvula de simultaneidad
(LS3 LS2 Vx2)	Válvula de simultaneidad
(VM LS1 LS3)	Válvula de simultaneidad
	Unidad de mantenimiento, representación simplificada
	Fuente de aire comprimido
	Unidad de mantenimiento, representación simplificada
	Fuente de aire comprimido
	Unidad de mantenimiento, representación simplificada

Fig. 6-79. Lista de partes obtenido con el FluidSim.

El diagrama de funcionamiento (Fig. 6-80) del propio sistema también se obtiene del propio programa y es comparado con el diagrama del propio problema.

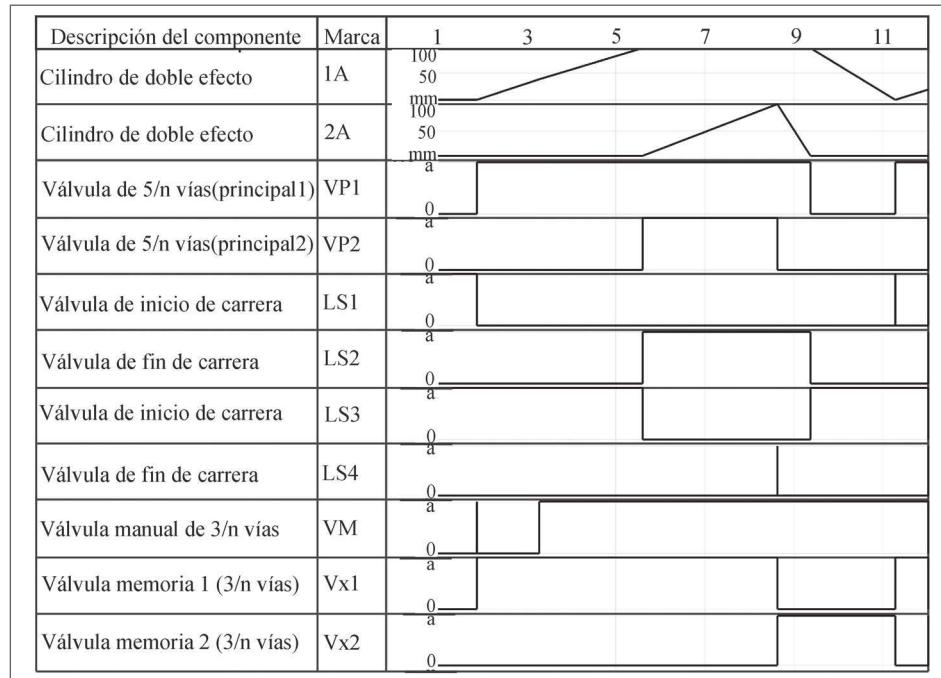


Fig. 6-80. Diagrama de funcionamiento obtenido con el FluidSim.

El diagrama obtenido con el FluidSim se puede comparar con el diagrama de funcionamiento que se dio al inicio del problema y que es mostrado en la Fig. 6-80, los resultados son idénticos a reserva de tener ajustes diferentes en las velocidades de desplazamiento de los actuadores.

M todo memorización de pulsos de dos variables (MP)

Este método consiste en generar tres memorias, la primer memoria (Vx1) se activa con el primer cambio de estado y es deshabilitada por el primer pulso que aparezca en la secuencia, este mismo pulso habilita a la segunda memoria (Vx2) y es desactivada por el segundo pulso instantáneo que aparezca en la secuencia, la tercera y última memoria (Vx3) se activa con este segundo pulso y es deshabilitada por las condiciones de inicio del propio sistema.

Límite de aplicación, este método acepta sistemas con no más de dos pulsos instantáneos en dos variables neumáticas, su aplicación es sencilla y económica al generar sólo tres memorias.

Ejemplo 2

La secuencia de un sistema de dos actuadores 1A y 2A se muestra en el siguiente diagrama de funcionamiento (Fig. 6-81), para solucionarlo se va aplicar el método de MP. Como se puede observar el sistema tiene dos pulsos instantáneos de tal manera que el método PU no se puede aplicar.

- Defina la lista de partes, es importante definir el tipo de pilotos en las válvulas direccionales.
- Obtenga las ecuaciones del sistema, una para cada piloto neumático.
- Obtenga el diagrama de conexiones neumáticas
- Compruebe el funcionamiento del sistema con el software FluidSim.

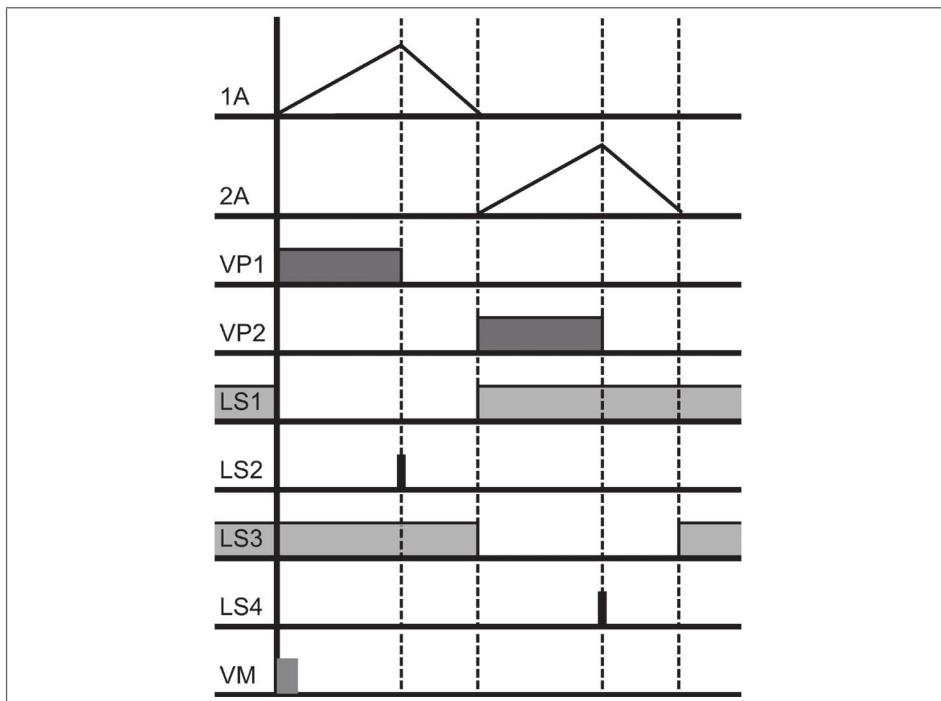


Fig. 6-81. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 2.

El sistema cuenta con dos pulsos instantáneos dados por las funciones neumáticas LS2 y LS4, al aplicar el método MP se deben de agregar 3 válvulas auxiliares, la primera válvula (Vx1) se habilita con el encendido del sistema y se desconecta con el pulso de LS2, en este estado se enciende la válvula 2 (Vx2) y se desconecta con el pulso instantáneo de la función neumática LS4, en este mismo cambio de estado se enciende la válvula auxiliar 3 (Vx3) y se desconecta con las condiciones de inicio

del sistema. El diagrama de la Fig. 6-82 es el resultado de transferir este análisis a un diagrama de funcionamiento.

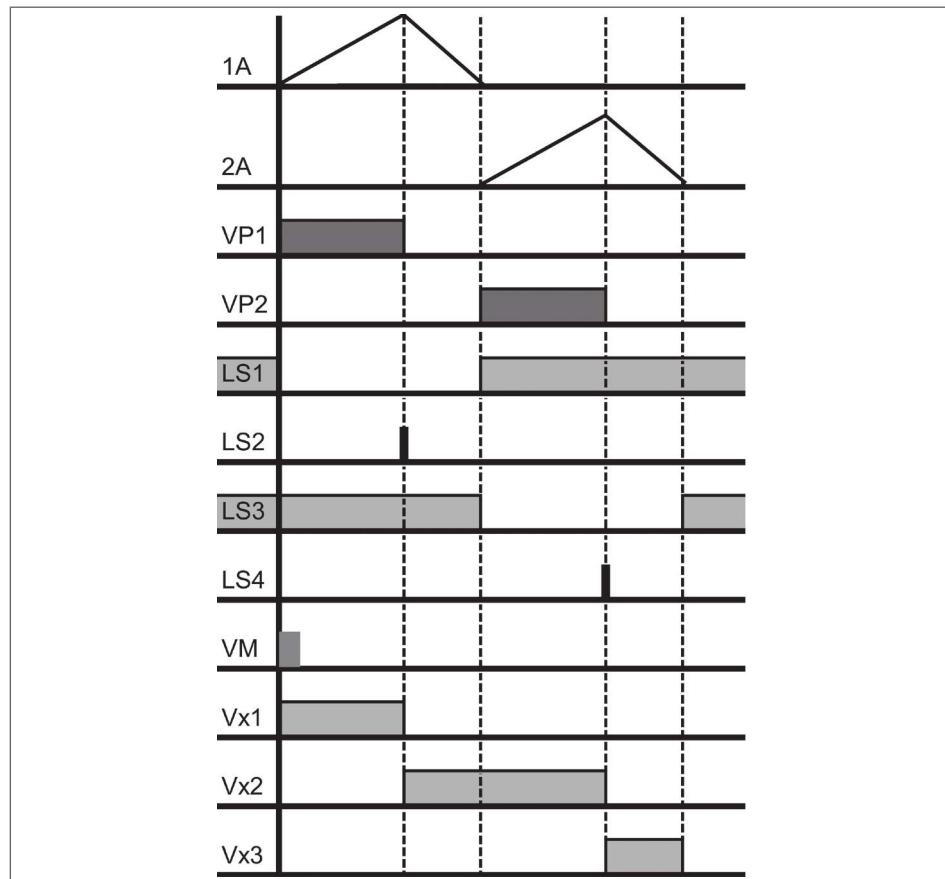


Fig. 6-82. Diagrama de funcionamiento utilizando el método MP.

Lista de partes

Del diagrama de funcionamiento se definen las características de los dispositivos que lo componen, los actuadores lineales 1A y 2A son de doble efecto, las válvulas VP1 y VP2 son 5 vías 2 posiciones pilotos neumáticos en ambas posiciones, las entradas del sistema neumático LS1, LS2, LS3, LS4 y VM son válvulas de 3 vías y 2 posiciones y las válvulas auxiliares son 3 vías 2 posiciones pilotos neumáticos por A y B. Hasta el momento no se enumeran las válvulas de simultaneidad y selectora de circuitos ya que no se sabe cuantas se van a requerir.

Ecuaciones del sistema

Se van a obtener 10 ecuaciones en total, 4 para los pilotos de las válvulas principales y 6 para las válvulas auxiliares.

Ecuación de VP1

Hay varias opciones para obtener la ecuación de esta válvula, pero es importante mantener un método y dentro de lo posible las ecuaciones de las válvulas principales deben de estar estructuradas por las válvulas auxiliares, tomando en cuenta esto se obtienen las ecuaciones de ambas válvulas principales.

Como se puede observar en el diagrama de funcionamiento el gráfico de la posición A de la válvula principal 1 (VP1) son iguales, entonces la ecuación es la siguiente.

$$V P1(A) = Vx1$$

Para la posición B de esta válvula se puede ver como posible solución a la multiplicación de los dispositivos que aparecen en el segundo cambio de estado, sin embargo si la válvula manual se quedara activada aunque esa no sea su función provocaría un mal funcionamiento del sistema, por lo que es conveniente que el diseño sea robusto, por lo tanto es importante asegurar que la válvula principal 1 aún y que reciba activación en el pulso A no se active si no se ha terminado el ciclo, esto se logra realizando una sumatoria de las dos válvulas auxiliares Vx2 y Vx3, dando la siguiente ecuación.

$$V P1(B) = Vx2 + Vx3$$

Ecuación de VP2

Para esta válvula en su posición A existe más de una opción que determina la ecuación de esta posición, sin embargo nótese que si se multiplica a dos dispositivos se obtiene el mismo gráfico de la válvula VP2.

$$V P2(A) = LS1 Vx2$$

La posición B al igual que las otras posiciones de las válvulas principales puede tener más de una solución, hay un dispositivo que tiene el mismo gráfico de la posición B de esta válvula y se desactiva justo al final del ciclo.

$$V P2(B) = Vx3$$

Ecuaciones de las válvulas auxiliares

Las ecuaciones de las válvulas auxiliares están estructuradas por las válvulas de entrada del sistema neumático.

La ecuación de la posición A de la válvula auxiliar 1 se obtiene de multiplicar a los dispositivos que aparecen en el primer cambio de estado.

$$Vx1(A) = LS1 LS3 VM$$

Para la posición B existe un pulso instantáneo de LS2

$$Vx1(B) = LS2$$

Ecuación para las válvulas Vx2 y Vx3

$$Vx2(A) = LS2$$

$$Vx2(B) = LS4$$

$$Vx3(A) = LS4$$

$$Vx3(B) = LS1 LS3$$

Con la ecuación de Vx3 en la posición B nótese que el sistema ha llegado a su posición inicial.

Diagrama de conexiones neumáticas

Las ecuaciones obtenidas son transferidas a un diagrama de conexiones neumáticas, dando como resultado el diagrama mostrado en la Fig. 6-83.

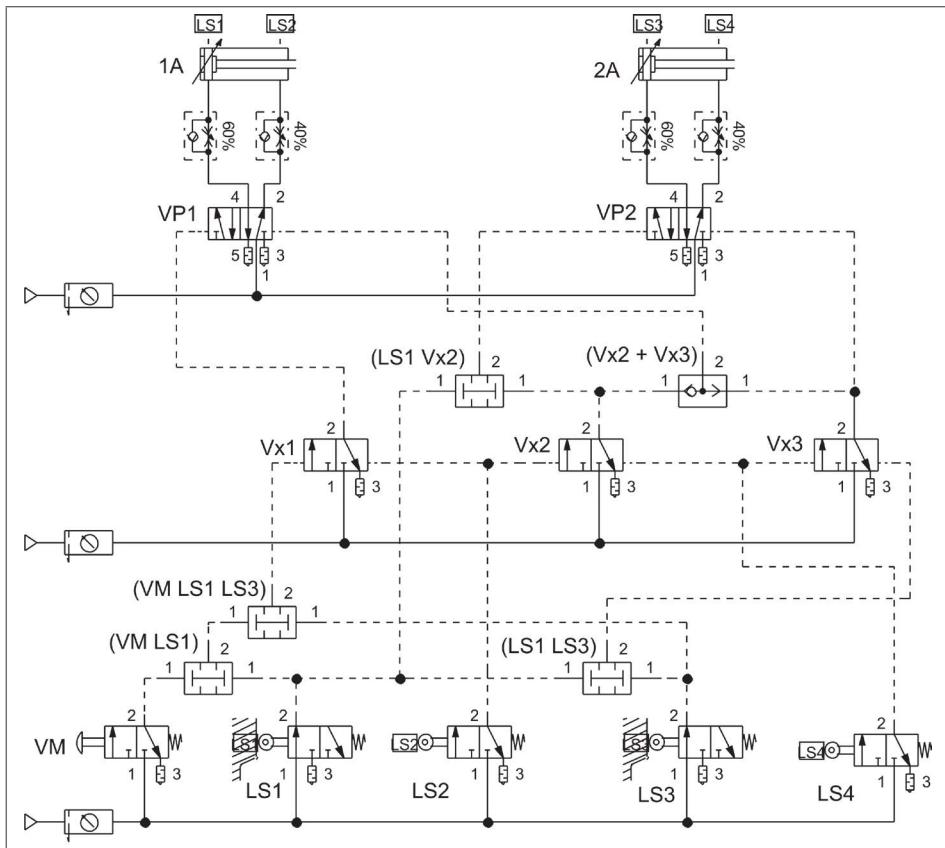


Fig. 6-83. Diagrama de conexiones neumáticas del ejemplo 2.

El diagrama de funcionamiento y la lista de material se obtienen con el FluidSim dando el resultado de la Fig. 6-84.

Descripción del componente	Marca		1 2 3 4 5 6 7 8 9		Marca	Descripción del componente
Cilindro doble efecto	1A		100 50 mm 100 50 mm		1A	Cilindro doble efecto
Cilindro doble efecto	2A					Válvula antirretorno estranguladora
Válvula de 5/n vías	VP1	a	0			Válvula antirretorno estranguladora
Válvula de 5/n vías	VP2	a	0		VP1	Válvula 5/n vías
Válvula de 3/n vías	LS1	a	0		2A	Cilindro doble efecto
Válvula de 3/n vías	LS2	a	0			Válvula antirretorno estranguladora
Válvula de 3/n vías	LS3	a	0			Válvula antirretorno estranguladora
Válvula de 3/n vías	LS4	a	0		VP2	Válvula 5/n vías
Válvula de 3/n vías	VM	a	0		LS1	Válvula de 3/n vías
Válvula de 3/n vías	Vx1	a	0		(VM LS1)	Válvula de simultaneidad
Válvula de 3/n vías	Vx2	a	0		LS2	Válvula de 3/n vías
Válvula de 3/n vías	Vx3	a	0		LS3	Válvula de 3/n vías

Fig. 6-84. Diagrama de funcionamiento y lista de partes del ejemplo 2.

M todo “memoria de estado (ME)”

El fundamento de este método es generar una memoria por cada cambio de estado, dando como resultado que el número de memorias a ser generado es igual al número de estados que presenta el sistema, estas memorias son válvulas direccionales 3/2 presión bloqueada en B y pilotos neumáticos en ambas posiciones, se debe obtener dos ecuaciones por cada memoria que se genere además de las ecuaciones para las válvulas principales.

Límites de aplicación, la única desventaja se sitúa en el tamaño del resultado, el cual es proporcional al número de estados y el número de ecuaciones requeridas para solucionar el sistema.

Las ecuaciones de las válvulas principales están estructuradas por las memorias y en algunos casos en la memoria 1 se consideran condiciones propias del sistema, ejemplo se puede condicionar por la memoria y las válvulas de inicio.

Las ecuaciones de encendido de las memorias Vx2 hasta la Vxn están estructuradas por la multiplicación de los dispositivos de entrada del sistema que aparecen en el cambio de estado que enciende a la memoria y por la memoria anterior, el apagado de la memoria se realiza aplicando la multiplicación a las entradas del propio sistema que aparecen en el cambio de estado donde se debe apagar la memoria, para la memoria Vx1 como es la memoria de inicio, es encendida por la

multiplicación de todas las entradas que aparecen en el primer cambio de estado y es apagada por la multiplicación de los dispositivos de entrada que aparecen en el segundo cambio de estado.

Ejemplo 3

El siguiente diagrama de funcionamiento (Fig. 6-85) muestra al mismo sistema neumático del ejemplo 1, con la variante que ambas válvulas principales son retorno por resorte en la posición B y piloto neumático en A.

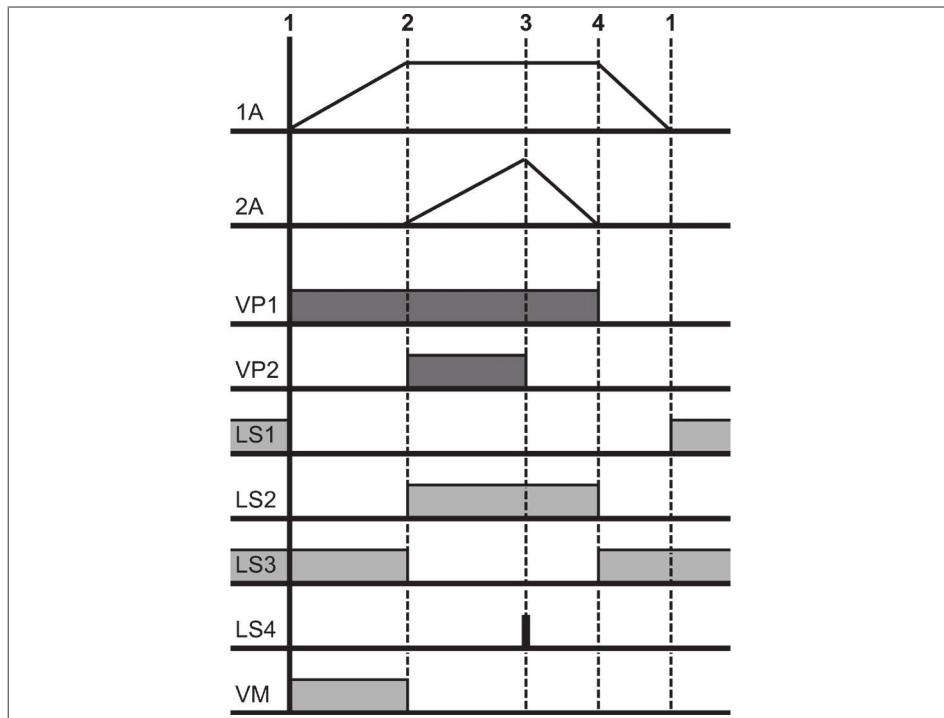


Fig. 6-85. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 3.

Del diagrama de funcionamiento obtenga los siguientes puntos.

- Obtenga las ecuaciones del sistema, una para cada piloto neumático.
- Obtenga el diagrama de conexiones neumáticas.
- Compruebe el funcionamiento del sistema con el software FluidSim.
- Lista de partes y diagrama de funcionamiento obtenido del FluidSim.

Del diagrama de funcionamiento se deduce que con los elementos que se muestran en él no se puede obtener una solución, se deben de agregar válvulas auxiliares que ayuden a obtener una solución robusta en funcionamiento.

Al utilizar válvulas con retorno por resorte en la posición B (Fig. 6-86), el piloto en la posición A se debe mantener habilitado hasta que se requiera que actúe la posición B ya que al remover el piloto de A inmediatamente se seleccionará la posición B.

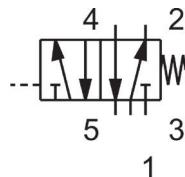


Fig. 6-86. Válvula retorno por resorte en B.

La válvula manual ahora abarca desde el primer al segundo cambio de estado como mínimo y como ideal, sin embargo al ser entradas manuales activadas por un operador es difícil que se esté en sincronía con el equipo y que va a desactivarse precisamente al llegar el actuador 1 a su fin de carrera por lo que hay que considerar que se va desactivarse después de que el mismo actuador ha llegado a su fin de carrera y la peor situación es que se quede activada la válvula manual, sin embargo aun así debe mantener su operación en forma normal, sólo se repetiría la operación en forma continua.

Aplicando el método ME a este ejemplo, se deben de generar 4 memorias, una para cada cambio de estado, de 1-2, 2-3, 3-4 y de 4-1, en un momento se puede pensar que la válvula manual puede hacer la función de la memoria 1 dado que tienen el mismo gráfico, sin embargo al considerar esto no se tiene la protección de posición de inicio del sistema. Aplicando este método da como resultado el siguiente diagrama de funcionamiento de la Fig. 6-86.

Diagrama de funcionamiento aplicando el m todo memoria de estado

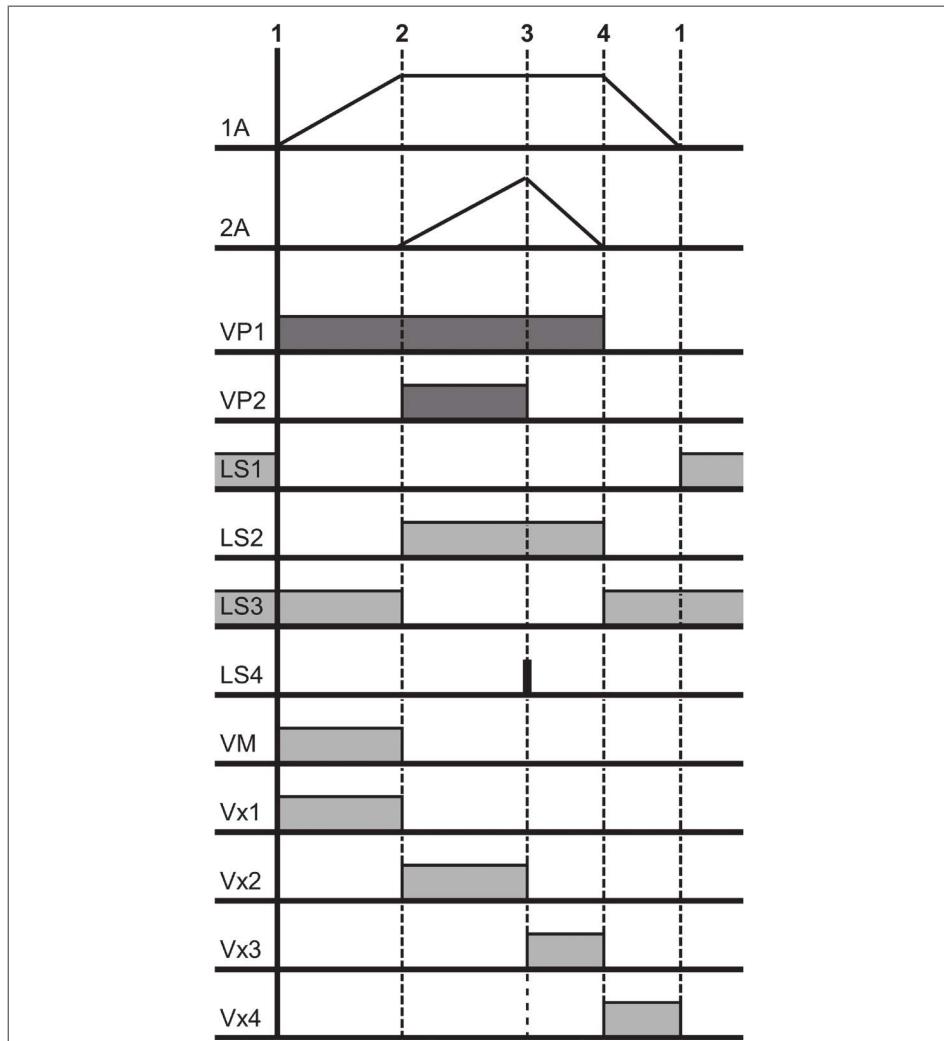


Fig.6-87. Diagrama de funcionamiento aplicando el método ME.

Ecuaciones del sistema

Se deben de obtener 10 ecuaciones, 2 para las válvulas principales y 8 para las válvulas auxiliares o memorias de estado.

Ecuación de VP1

$$VP1(A) = (VM \ Vx1) + Vx2 + Vx3$$

En esta ecuación al realizar la multiplicación de la válvula manual y la primer memoria Vx1 se está aplicando la seguridad de que el sistema esté ubicado en su estado inicial, para esto cuando se obtenga la ecuación de Vx1 se debe condicionar con las entradas del sistema que deben estar activadas como lo son LS1 y LS3.

Ecuación de VP2

$$VP2(A) = Vx2$$

En el gráfico se ve que ambas válvulas tienen el mismo resultado, razón por la cual se realiza esta igualdad.

Ecuación de Vx1

$$Vx1(A) = VM \ LS1 \ LS3$$

Esta multiplicación de funciones neumáticas indica que el sistema neumático debe estar en su estado inicial, de tal manera que LS1 y LS3 deben de estar activados y sólo está en espera de que la válvula manual se active.

$$Vx1(B) = LS2 \ LS3$$

Este resultado es obtenido del pulso que se genera en el cambio de estado 2, sin embargo este pulso se genera en el cambio de estado 4, no afectando al funcionamiento del sistema.

Ecuación de Vx2

$$Vx2(A) = Vx1 \ LS2 \ LS3$$

Si no se considera a Vx1 como parte de la ecuación entonces esta posición sería activada por segunda ocasión dentro del mismo ciclo cuando suceda el cambio de estado 4.

$$Vx2(B) = LS4$$

Este pulso es el único que sucede en el cambio de estado 3 y se ve que es el mismo que va activar a la siguiente memoria.

Ecuación de $Vx3$

$$Vx3(A) = Vx2 \ LS4$$

$$Vx3(B) = LS2 \ LS3$$

Este pulso está presente sobre el cambio de estado 2 no afecta el buen funcionamiento del sistema neumático, ya que esta posición es seleccionada durante el cambio de estado.

La ecuación de la memoria 4 o válvula $Vx4$ no se requiere obtenerla, puesto que no entra en función en ninguna de las ecuaciones ya obtenidas, sin embargo ayuda a identificar que el sistema ha llegado a su estado inicial.

Diagrama de conexiones neumáticas

La Fig. 6-88 muestra el diagrama de conexiones neumáticas obtenido de transferir las ecuaciones del sistema.

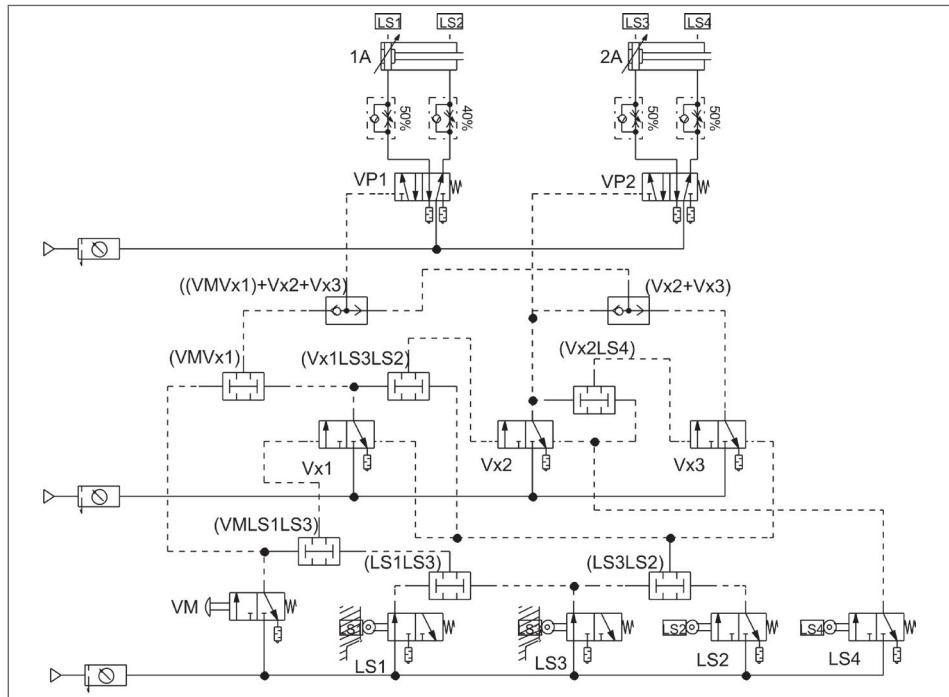


Fig. 6-88. Diagrama de conexiones neumáticas del ejemplo resuelto 3.

Diagrama de funcionamiento y lista de partes

El diagrama de funcionamiento y lista de partes (Fig. 6-89) se obtiene con el FluidSim

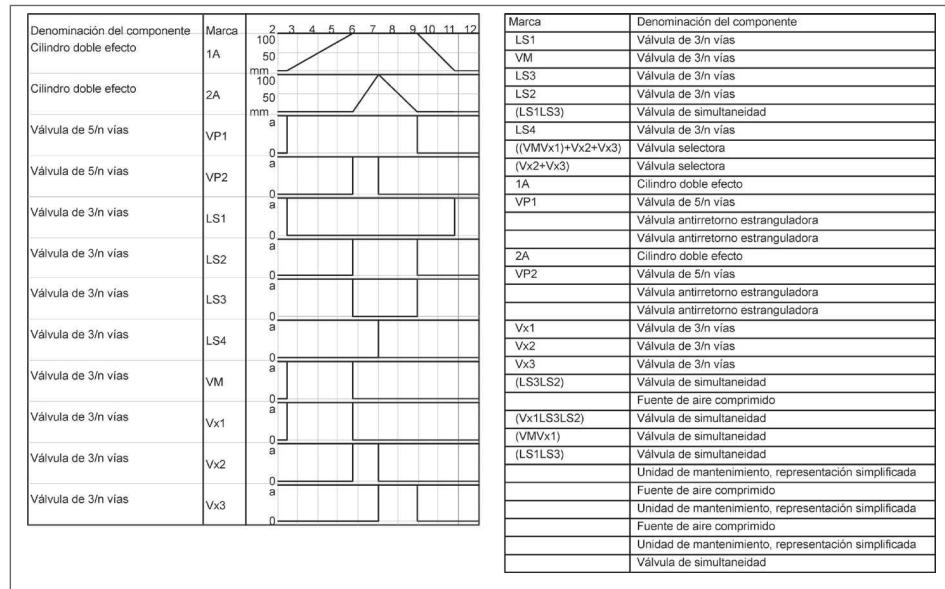


Fig. 6-89. Diagrama de funcionamiento y lista de partes del ejemplo resuelto 3.

Sistema secuencial neum tico con retardo de tiempo

La aplicación de la función tiempo en los sistemas secuenciales neumáticos es necesaria cuando se requiere de retardos de tiempo en la secuencia ya sea en la salida o en la retracción de un actuador lineal. La función tiempo tiene los dos modos de operación, presión bloqueada y presión normalmente abierta, en un diagrama de funcionamiento sólo se representa a la válvula 3/2, el piloto z no se representa de forma directa, recordando que este piloto requiere de la activación de un dispositivo de la secuencia que permanezca activado hasta que termine de contar el tiempo, recordando que este conteo no es en sí un conteo de tiempo, en realidad es el tiempo que tarda en llenarse el acumulador incluido en el temporizador.

Ejemplo 4

El siguiente diagrama de funcionamiento (Fig. 6-90) muestra la secuencia neuromática de dos actuadores lineales interconectado en el cambio de estado 5, el sistema cuenta con dos temporizadores identificados como T1 y T2.

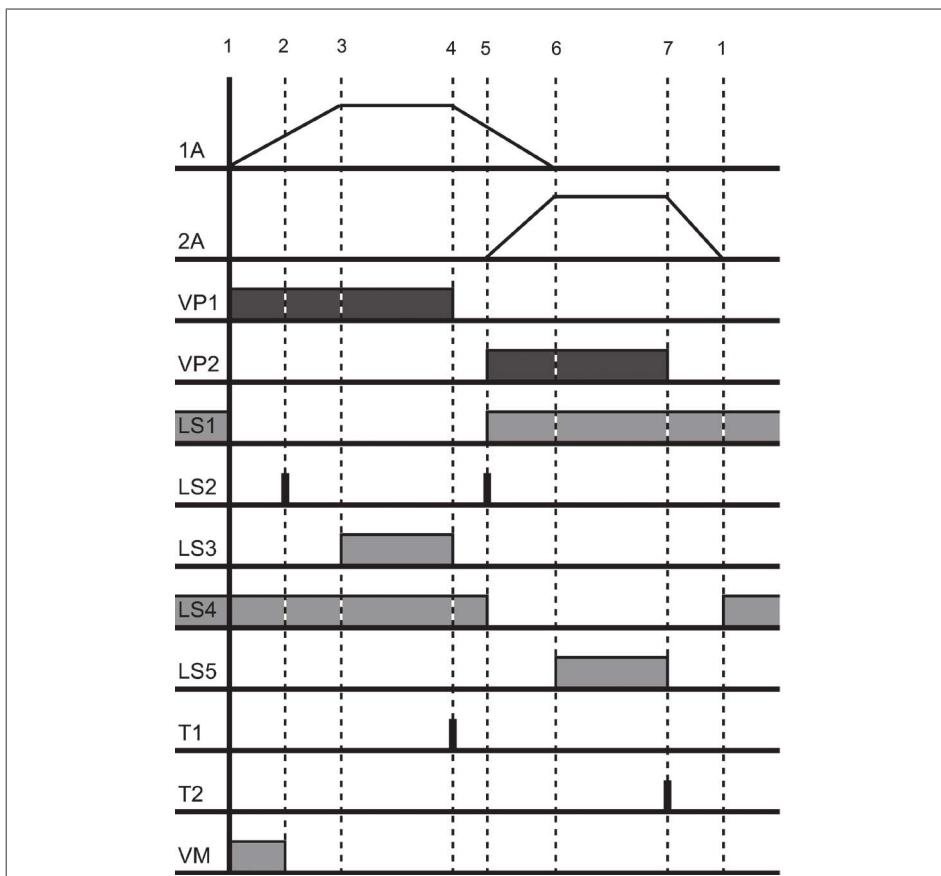


Fig. 6-90. Diagrama de funcionamiento.

a. Obtenga el diagrama de funcionamiento completo aplicando el método más apropiado de los tres métodos propuestos, considerando que las válvulas principales son pilotos neumáticos en A y retorno por resorte en B.

- Obtenga las ecuaciones del sistema.
- El diagrama de conexiones neumáticas.

Diagrama de funcionamiento

El método más apropiado para resolver la secuencia es el método de la memoria de estado (ME), los otros dos métodos PU y MP quedan descartados por la cantidad de pulsos instantáneos que tiene el sistema.

El sistema tiene 7 cambios de estado, aplicando el método ME es necesario generar 7 memorias. El siguiente diagrama de funcionamiento (Fig. 6-91) es el resultado de la aplicación del método ME, mostrando el número y localización de las memorias.

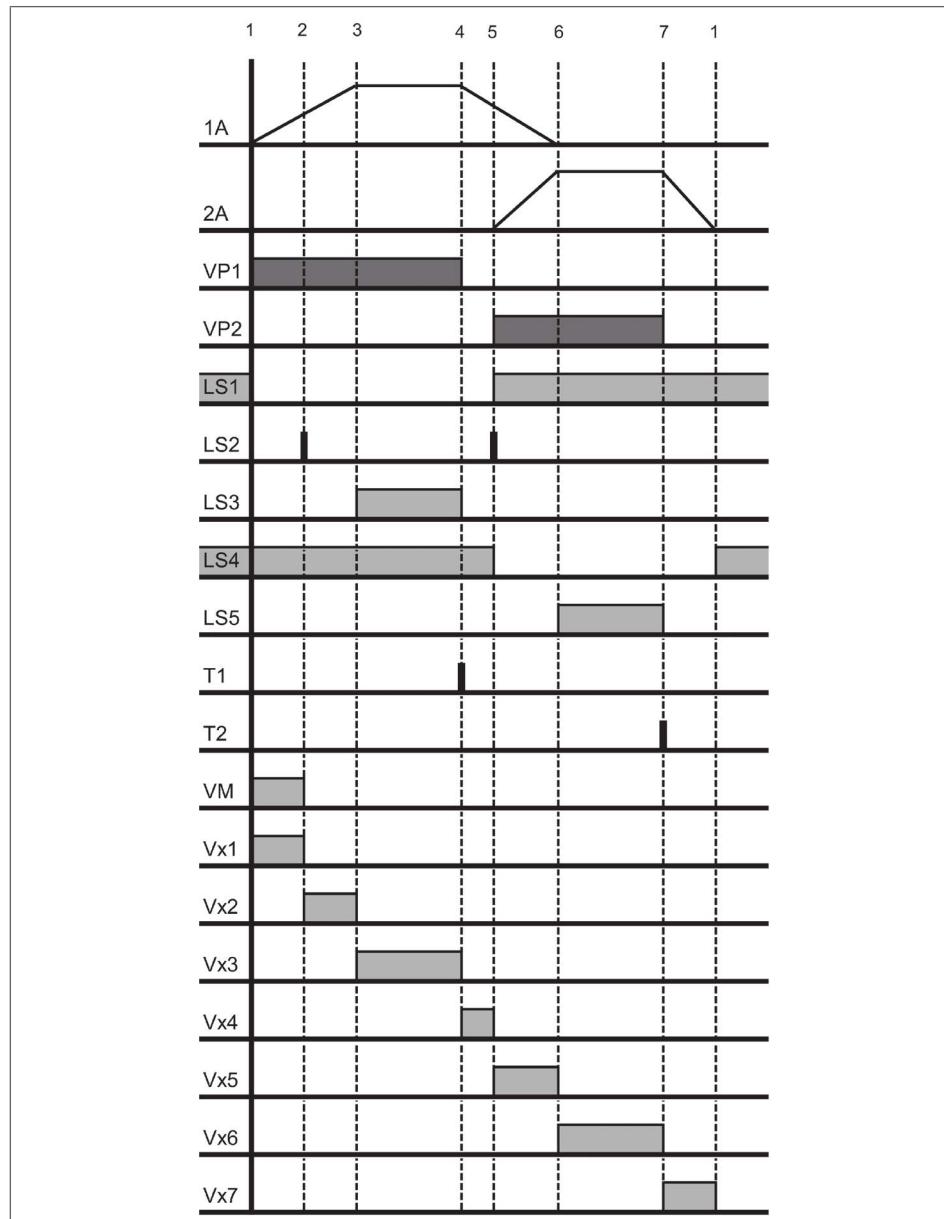


Fig. 6-91 Diagrama de funcionamiento aplicando el método ME.

La interconexión de ambos actuadores se realiza sólo con el interruptor LS2 durante el retroceso del actuador 1A, aunque en el diagrama parezca que los actuadores 1A y 2A están coordinados en llegar al mismo tiempo al inicio y fin de carrera respectivamente, esto no tiene relevancia en el desarrollo del sistema secuencial, ya que para lograrlo se requiere ajustar las regulaciones de los actuadores y también depende de la longitud de vástago de ambos.

Ecuaciones del sistema

Se deben de obtener 18 ecuaciones, 2 para las posiciones A de las válvulas principales, 14 para las válvulas auxiliares y 2 para los pilotos z de los temporizadores, estas ecuaciones se obtienen del diagrama de funcionamiento.

Ecuaciones de las válvulas principales

Las ecuaciones están estructuradas por las válvulas auxiliares, en este problema la válvula manual es parte de VP1 debido a que se activan al mismo tiempo.

$$VP1(A) = (VM \ Vx1) + Vx2 + Vx3$$

$$VP2(A) = Vx5 + Vx6$$

Ecuaciones de las válvulas auxiliares

Estas ecuaciones están estructuradas por las entradas del sistema que son LS1, LS2, LS3, LS4, LS5 y VM.

Ecuación de Vx1

$$Vx1(A) = VM \ LS1 \ LS4$$

$$Vx1(B) = LS2$$

Aunque se repite este pulso en el cambio de estado 5, no afecta al sistema ya que esta posición de Vx1 va a estar seleccionada desde el segundo cambio de estado.

Ecuación de Vx2

$$Vx2(A) = LS2 \ Vx1$$

$$Vx2(B) = LS3 \ LS4$$

El pulso de LS2 se repite en el quinto cambio de estado por lo que es necesario condicionar a esta posición con la válvula auxiliar Vx1

Ecuación de Vx3

$$Vx3(A) = LS3 \ LS4 \ Vx2$$

$$Vx3(B) = T1$$

En la posición A se debe multiplicar por Vx2 para obtener un pulso instantáneo, si no se realiza esta condición la retroalimentación de LS3 con el actuador 1A no se rompe dando como resultado que este actuador se quede extendido.

Ecuación de Vx4

$$Vx4(A) = Vx3 \ T1$$

$$Vx4(B) = LS2$$

Para la ecuación de esta memoria se utilizan los pulsos instantáneos ya generados.

Ecuación de Vx5

$$Vx5(A) = Vx4 \ LS2$$

$$Vx5(B) = LS1 \ LS5$$

Ecuación de Vx6

$$Vx6(A) = Vx5 \ LS5 \ LS1$$

$$Vx5(B) = T2$$

Ésta es la última ecuación de las memorias, la memoria Vx7 no es necesario obtenerla ya que no es requerida como condición en ninguna de las ecuaciones.

Ecuaciones de los pilotos “z” de las funciones tiempo

La conexión del piloto “z” de T1 es activado por la válvula de fin de carrera LS3 y el piloto “z” de T2 es activado por la válvula de fin de carrera LS5.

Obtenidas las ecuaciones del sistema estas pueden ser transferidas a un diagrama de conexiones neumáticas.

Diagrama de conexiones neumáticas

El diagrama de la Fig. 6-92 es el resultado de transferir las ecuaciones obtenidas a un diagrama de conexiones neumáticas.

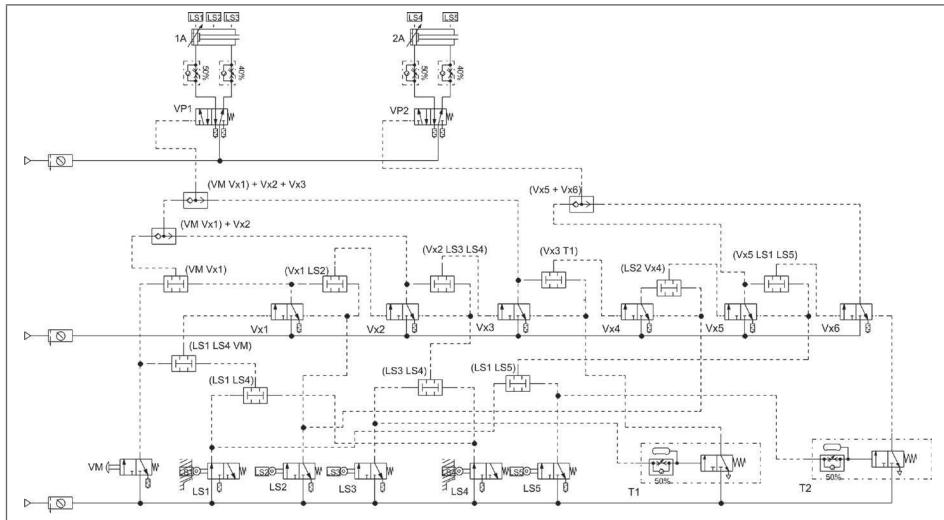


Fig. 6-92. Diagrama de conexiones neumáticas aplicando el método ME.

Sistema secuencial neumático con contador de eventos

La aplicación de la función de conteo se requiere en procesos automáticos con actividades repetitivas y donde no se justifique la supervisión de todos los eventos por una persona. Recordando que este dispositivo tiene 2 entradas de control, una entrada de la presión principal y una salida de la presión principal.

El contador neumático es del tipo decreciente, por lo tanto cada vez que reciba un pulso y este sea removido en el puerto 12 se decrementa el valor preestablecido, los sistemas secuenciales que tienen la función contador dentro de la estructura lógica se vuelve crítica la acción que reestablece al sistema, en procesos donde se requiere que esta función no sea activada por error se recomienda utilizar una válvula 3/2 activada por una llave.

Ejemplo 5

Una estación de prueba de compresiones en un laboratorio de calidad, está construido por un actuador lineal y debe realizar un número establecido de compresiones, la secuencia inicia al activar una válvula manual, con esto inicia su extensión el actuador, al llegar al final de la carrera permanece un tiempo extendido una vez que termine el tiempo se retrae llegando a su posición inicial, este ciclo se repite por 250 veces.

- a. Diagrama de natural del proceso
- b. Aplicación de método de trabajo
- c. Ecuaciones del sistema
- d. Diagrama de conexiones neumáticas

Diagrama natural del proceso

Este diagrama es el resultado de la representación de la secuencia del sistema neumático, sin la aplicación de un método de apoyo en la solución.

El sistema está compuesto por 1 válvula principal con pilotos neumáticos por ambas posiciones, un temporizador que haga el retardo de tiempo, dos válvulas de posición del actuador, inicio y fin de carrera respectivamente, una válvula manual que inicie la operación del sistema y un contador que se encargue de contar los ciclo de operación.

La secuencia explicada da como resultado el siguiente diagrama natural del proceso (Fig. 6-93).

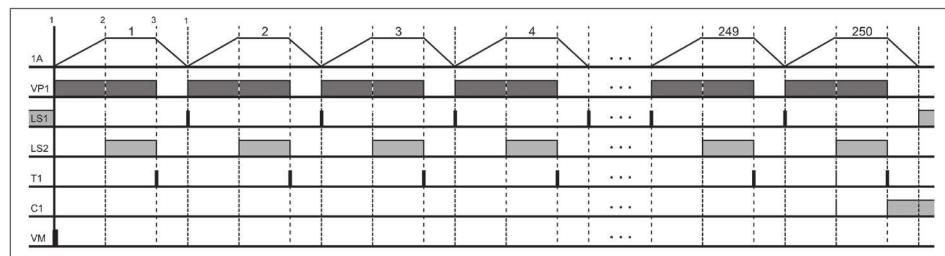


Fig. 6-93. Diagrama natural del proceso.

Aplicación de método de trabajo

El método que se puede aplicar es el PU debido al pulso único que genera el contador en el cambio de estado número 250, la válvula auxiliar se debe activar desde el primer cambio de estado y se debe desconectar hasta que termine el conteo. Aplicando este método da como resultado el diagrama mostrado en la Fig. 6-94.

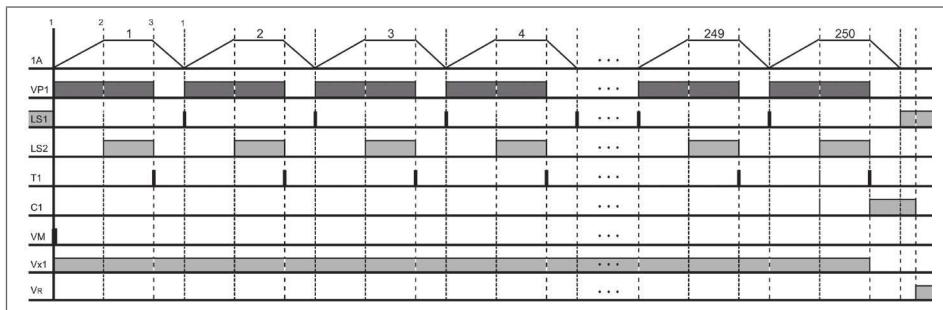


Fig. 6-94. Diagrama aplicando el método PU.

Ecuaciones del sistema

Las ecuaciones que se deben de obtener son 2 para la válvula principal, 2 para la válvula Vx1, 1 para el temporizador y 2 para el contador.

Ecuación de VP1

$$VP1(A) = LS1 \cdot Vx1$$

$$VP1(B) = T1 + C1$$

La sumatoria en la posición B asegura que al momento de que llegue a su conteo final se mantenga esta posición activada, en caso de que la válvula manual se quede activada por alguna razón de falla o por negligencia en la operación, con esta suma se asegura el buen funcionamiento del sistema inclusive esta anomalía en la operación.

Ecuación de Vx1

$$Vx1(A) = LS1 \cdot VM$$

$$Vx1(B) = C1$$

Ecuación de C1

Para este dispositivo se debe obtener una ecuación para el conteo y una ecuación para re establecer al contador, en los puertos de conexión 12 y 10 respectivamente. En el diagrama de funcionamiento obtenido por el FluidSim no se obtiene una respuesta de este dispositivo, sin embargo es importante considerar sus respectivas conexiones como parte de las ecuaciones del sistema, se va a representar como C1 (10) y C1 (12) haciendo énfasis en sus entradas de control.

$$C1(12) = T1$$

$$C1(10) = VR$$

La válvula VR se encarga de reestablecer al contador, esta válvula debe de ser del tipo llave de tal manera que sólo personal autorizado pueda reestablecer al sistema.

Del diagrama de funcionamiento se denota que dispositivo es el que se activa al finalizar el ciclo y es precisamente el pulso generado por el temporizador T1.

Ecuación de T1

Para este dispositivo se debe encontrar quien lo controla por el piloto z, recordando que el dispositivo debe permanecer activado por el tiempo ajustado en el propio temporizador como mínima operación.

$$T1(z) = LS2$$

Diagrama de conexiones neumáticas

Las ecuaciones son transferidas al diagrama de conexiones neumáticas mostrado en la Fig. 6-95.

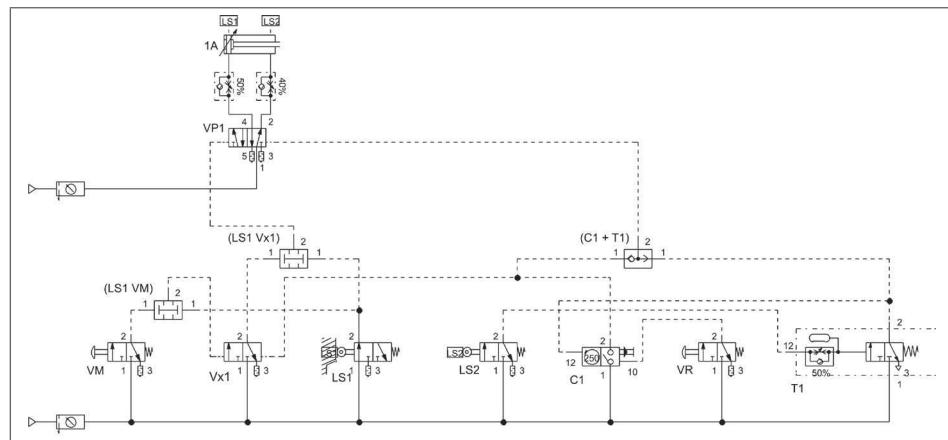


Fig. 6-95. Diagrama de conexiones neumáticas.

Manipulación de objetos mediante sistemas de vacío

Una de las aplicaciones del vacío en la industria es el traslado de objetos, y es una de las opciones a las que recurren los diseñadores de equipos o maquinaria, para esto se requiere de conocer algunas características físicas del objeto a ser manipulado como ejemplo dimensión, peso, porosidad, textura, temperatura y forma.

Las ventosas son el elemento más importante en la manipulación mediante vacío, de ellas y de la lógica del sistema depende el correcto funcionamiento.

Ejemplo 6

Un sistema de traslado de producto esta integrado con un actuador semigiratorio, un generador de vacío tipo venturi, un sensor de vacío y las válvulas direccionales que ayudan en el funcionamiento del sistema. La secuencia esta dada en el siguiente diagrama de funcionamiento (Fig. 6-96).

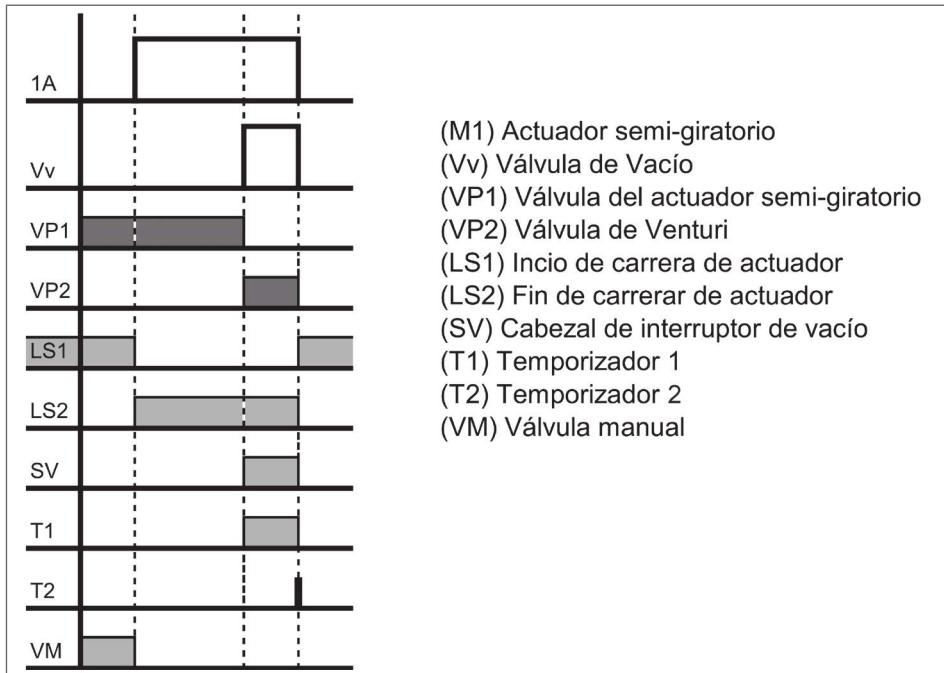


Fig. 6-96. Diagrama de funcionamiento del problema propuesto.

- Diagrama de funcionamiento aplicando algún método de trabajo
- Ecuaciones del sistema
- Diagrama de conexiones neumáticas

Diagrama de funcionamiento aplicando algún todo de trabajo

Las válvulas principales son 5 vías 2 posiciones, piloto neumático en A con retorno por resorte en B, para resolver el sistema tomando esta consideración de las válvulas principales se utiliza el método ME, el número de memorias requeridas es igual al número de estados, por lo tanto se deben de generar 3 memorias también llamadas válvulas auxiliares, obteniéndose el siguiente diagrama de funcionamiento (Fig. 6-97).

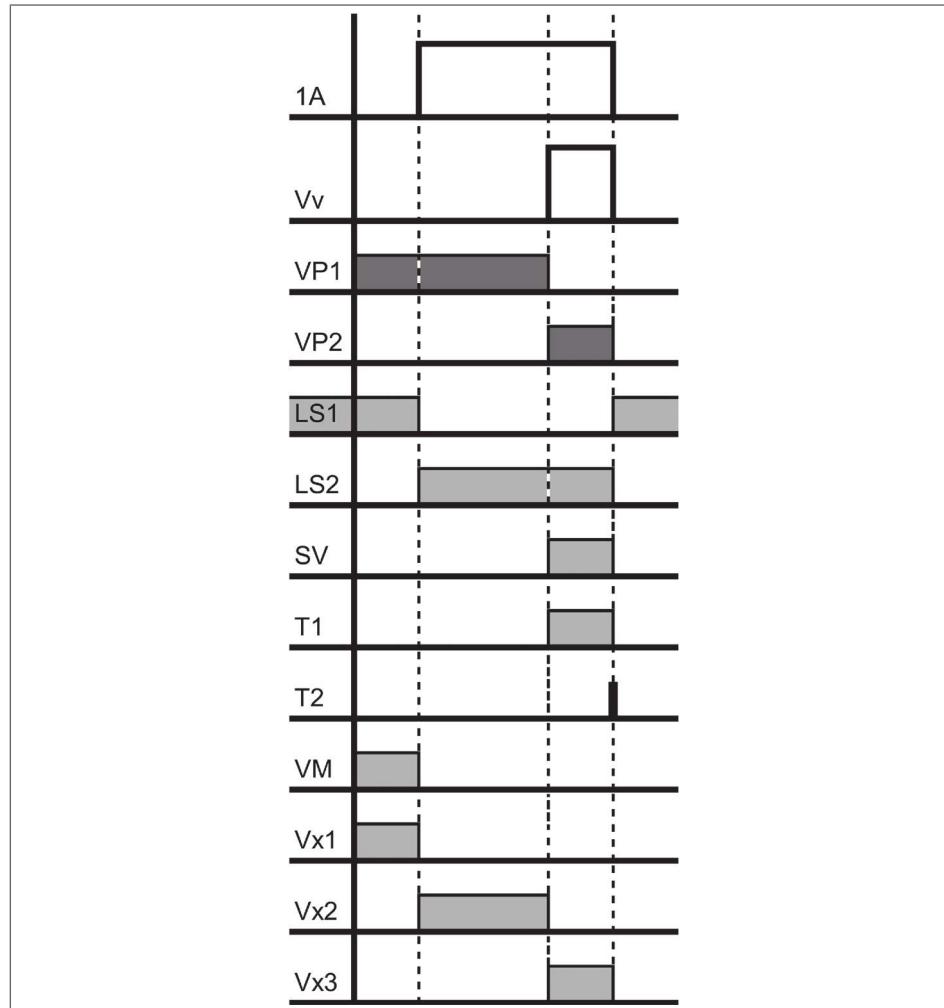


Fig. 6-97. Diagrama resultante de aplicar el método ME.

Ecuaciones del sistema

Se requiere obtener 2 ecuaciones para las válvulas principales, 2 ecuaciones para los temporizadores, una ecuación para el sensor de vacío (cabezal de vacío) y 6 ecuaciones para las válvulas auxiliares, dando un total de 11 ecuaciones.

Ecuaciones de las válvulas principales VP1 y VP2

$$VP1(A) = (VM \ Vx1) + Vx2$$

$$VP2(A) = Vx3$$

Las ecuaciones de las válvulas principales dentro de lo posible deben de estar en función de las válvulas auxiliares.

Ecuaciones de las válvulas auxiliares Vx1, Vx2 y Vx3

$$Vx1(A) = LS1 VM$$

$$Vx1(B) = LS2$$

La ecuación de la posición A se obtiene del primer cambio de estado y la posición B se obtiene del segundo cambio de estado.

Ecuación de Vx2

$$Vx2(A) = Vx1 LS2$$

$$Vx2(B) = SV$$

Ecuación de Vx3

$$Vx3(A) = Vx2 T1$$

$$Vx3(B) = T2$$

Ecuación de SV

Esta válvula es un sensor de vacío con piloto en el puerto (12) habilitado por el vacío cuando la ventosa toma al objeto a ser trasladado de lugar, mientras exista objeto en la ventosa y vacío este dispositivo estará activado. Por lo tanto se realiza la siguiente igualdad.

$$SV(12) = Ventosa$$

Para los temporizadores se debe obtener el dispositivo que controla al piloto dando como resultado las siguientes ecuaciones.

$$T1(z) = LS2$$

$$T2(z) = SV$$

Diagrama de conexiones neumáticas

Las ecuaciones obtenidas se muestran en el siguiente diagrama de funcionamiento (Fig. 6-98).

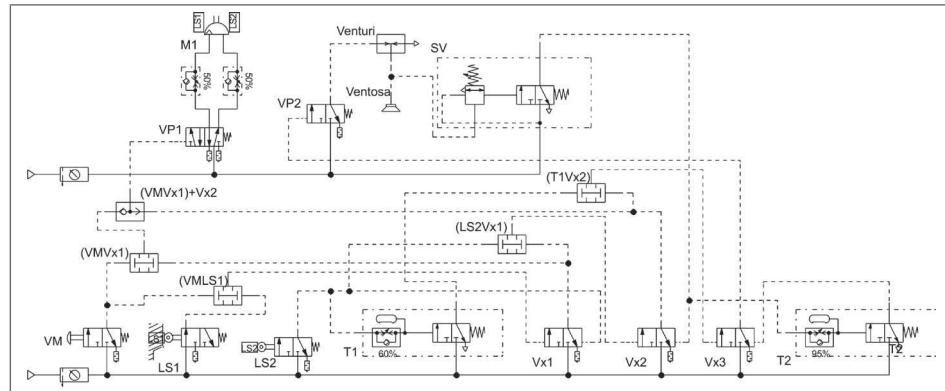


Fig. 6-98. Diagrama de conexiones neumáticas del ejemplo 6.

Para realizar la simulación de este sistema se debe considerar el inicio con la válvula manual (VM), cuando se active el venturi se deberá de simular que esta presente el objeto a ser trasladado activando sólo la ventosa.

El arreglo mecánico de este sistema es el siguiente: la ventosa está montada sobre un brazo metálico de una longitud de 20 centímetros, este brazo está sujeto a la flecha del actuador semigiratorio, de tal manera que cuando gira el actuador se realiza el giro del brazo junto con el objeto sostenido por el vacío llegando al punto final de traslado, en este punto se remueve el vacío localizando al objeto en su posición final.

Diagrama de funcionamiento y lista de partes

El diagrama de funcionamiento se obtiene de realizar la simulación correspondiente con el software del FluidSim y la lista de partes se puede obtener de este programa (Fig. 6-99).

Descripción del componente	Marca	1	2	3	4	5	6
Actuador semi-giratorio	M1	1					
Válvula principal	Vp1	a					
Válvula de control de venturi	Vp2	0					
Válvula de inicio de carrera	Ls1	0					
Válvula de fin de carrera	Ls2	a					
Válvula temporizadora	T1	0					
Válvula temporizadora	T2	0					
Válvula de memoria	Vx1	0					
Válvula de memoria	Vx2	a					
Válvula de memoria	Vx3	0					
Cabezal de interruptor de vacío	SV	a					

Marca	Descripción del componente
VP1	Válvula de 5/n vías
M1	Válvula antirretorno estranguladora
	Fuente de aire comprimido
LS1	Válvula de inicio de carrera
VM	Válvula de arranque manual
LS2	Válvula de fin de carrera
(VM Vx1)	Válvula de simultaneidad
	Unidad de mantenimiento
MI	Actuador semi-giratorio
T1	Válvula temporizadora, normalmente cerrada
Vx1	Válvula de memoria 1
Vx2	Válvula de memoria 2
Vx3	Válvula de memoria 3
T2	Válvula temporizadora, normalmente cerrada
(VM Vx1) + Vx2	Válvula selector
VP2	Válvula de control de Venturi
(VM LS1)	Válvula de simultaneidad
(LS2 Vx1)	Válvula de simultaneidad
Venturi	Tobera de succión de vacío
Ventosa	Tubo de aspiración
(T1 Vx2)	Válvula de simultaneidad
SV	Válvula vacuostato

Fig. 6-99. Diagrama de funcionamiento y lista de partes del ejemplo 6.

6.13 Ejemplos resueltos de sistemas secuenciales neumáticos

La aplicación de la neumática a nivel industrial en la solución de sistemas secuenciales se basa en las ventajas que ofrece sobre la hidráulica o los propios sistemas eléctricos. Sin embargo el desarrollo de la secuencia neumática se vuelve complicado cuando no se cuenta con una metodología que ayude a obtener un resultado efectivo en tiempo y forma, si el diseño es realizado en base a la experiencia práctica y a través del método de prueba y error, esto demandará tiempo y por supuesto al explicar la secuencia no se tendrá una base bien fundamentada del diseño realizado, el desarrollo mediante la experiencia es difícil que contemple el modo de prueba de falla, dando resultados muy sensibles a fallas de operación.

Como parte del estudio en el diseño de sistemas secuenciales neumáticos del tipo industrial se proponen dos problemas los cuales son resueltos con una de las tres metodologías propuestas en este capítulo.

Ejemplo 13.1

Se debe diseñar el diagrama de conexiones neumáticas de un sistema de transporte de cajas en dos mesas de trabajo que hacen el arreglo de dos ejes, la secuencia es la siguiente:

- Al detectar producto, por contacto, la válvula SP se activa un retardo de tiempo e inicia la activación el sistema neumático.
- Después que termina el retardo de tiempo inmediatamente se activa el actuador 1A, éste se encarga de transportar al producto al extremo opuesto.
- Al detectar presencia por contacto la válvula LS2 activa un retardo de tiempo para asegurar que el producto esté en el lugar adecuado para seguir con el traslado.
- Al terminar el retardo de tiempo inicia su regreso el actuador 1A.
- Al estar de regreso el actuador 1A y activar la válvula LS5 debe iniciar su desplazamiento hacia adelante el actuador 2A.
- El actuador 2A al llegar al final de su carrera y detectar producto por contacto la válvula LS4 activa un retardo de tiempo.
- Al terminar este retardo de tiempo y con el actuador 1A en su inicio de carrera, se activa el retroceso del actuador 2A.
- Deben de estar en la posición inicial ambos actuadores para que el sistema inicie un nuevo ciclo.

Esquem tico del sistema de traslado de producto

En el esquemático se muestra la dirección del traslado del producto (Fig. 6-100), LS2 y LS4 son las válvulas que deben de detectar al producto cuando los actuadores han llegado a su fin de carrera y la válvula LS5 va a detectar al empujador localizado en el vástago del actuador 1A. Las válvulas de rodillo son 3/2 monoestables.

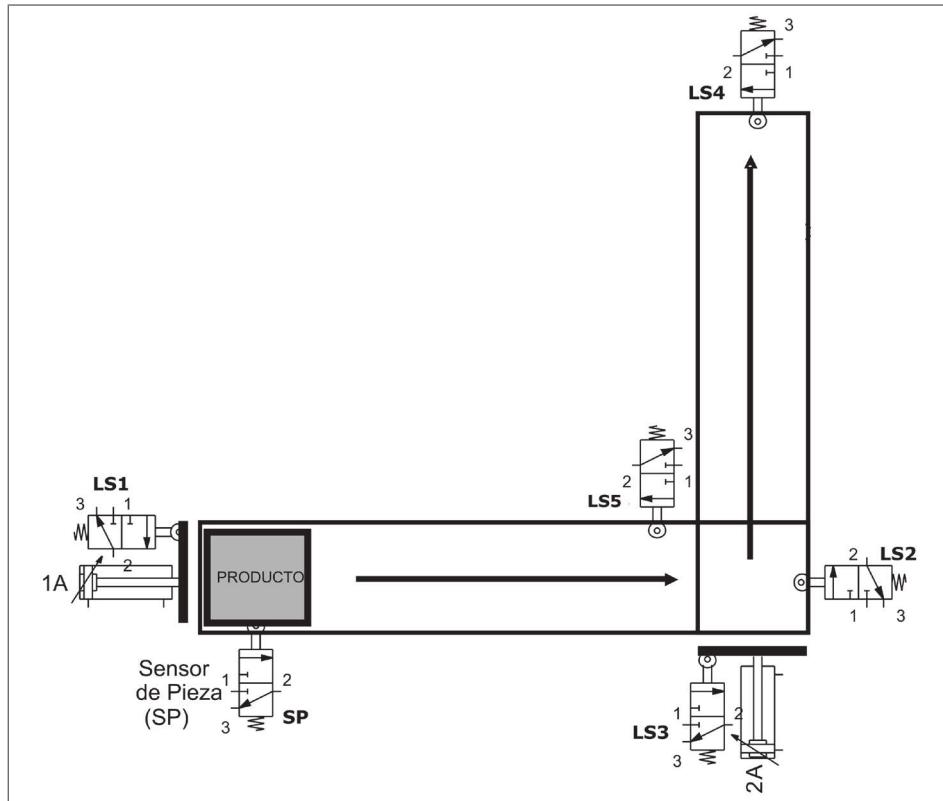


Fig. 6-100. Esquemático del transporte neumático de un producto en dos ejes.

De este ejemplo se van a obtener los siguientes incisos:

- Trasladar la secuencia a un diagrama de funcionamiento natural del proceso.
- Aplicar el método ME y obtener el diagrama de funcionamiento.
- Ecuaciones del sistema.
- Diagrama de conexiones neumáticas y simulación con el FluidSim.

Soluci n

Trasladar la secuencia a un diagrama de funcionamiento natural del proceso

Para trasladar la secuencia a un diagrama de funcionamiento natural del proceso (Fig. 6-101), se requiere considerar la secuencia con los componentes mostrados en el esquemático del problema a resolver, sin considerar la dificultad de la secuencia o la aplicación de algún método de trabajo que dé solución al ejemplo.

De inicio se consideran 2 válvulas principales, una para cada actuador con piloto neumático en la posición A y retorno por resorte en la posición B, tres temporizadores que realizan el retardo de las operaciones en el sistema y las 6 válvulas de rodillo bidireccional.

Diagrama de funcionamiento natural del proceso

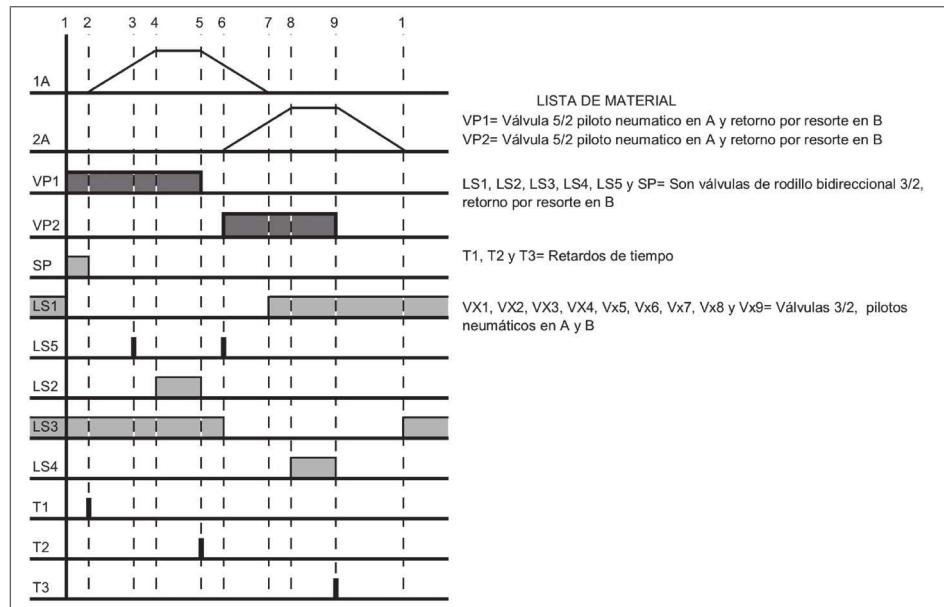


Fig. 6-101. Diagrama natural del proceso.

Aplicar el m todo “ME” y obtener el diagrama de funcionamiento

Después de analizar el diagrama de funcionamiento se identifican 9 estados, aplicando el método ME se deben de generar 9 memorias (Fig. 6-102), sin precisar hasta el momento cuantas memorias se van a requerir en realidad, las ecuaciones de las válvulas principales son las que nos van a indicar hasta que memoria se va a tener que generar, por lo pronto se consideran a las 9 memorias.

Diagrama de funcionamiento aplicando el m todo “ME”

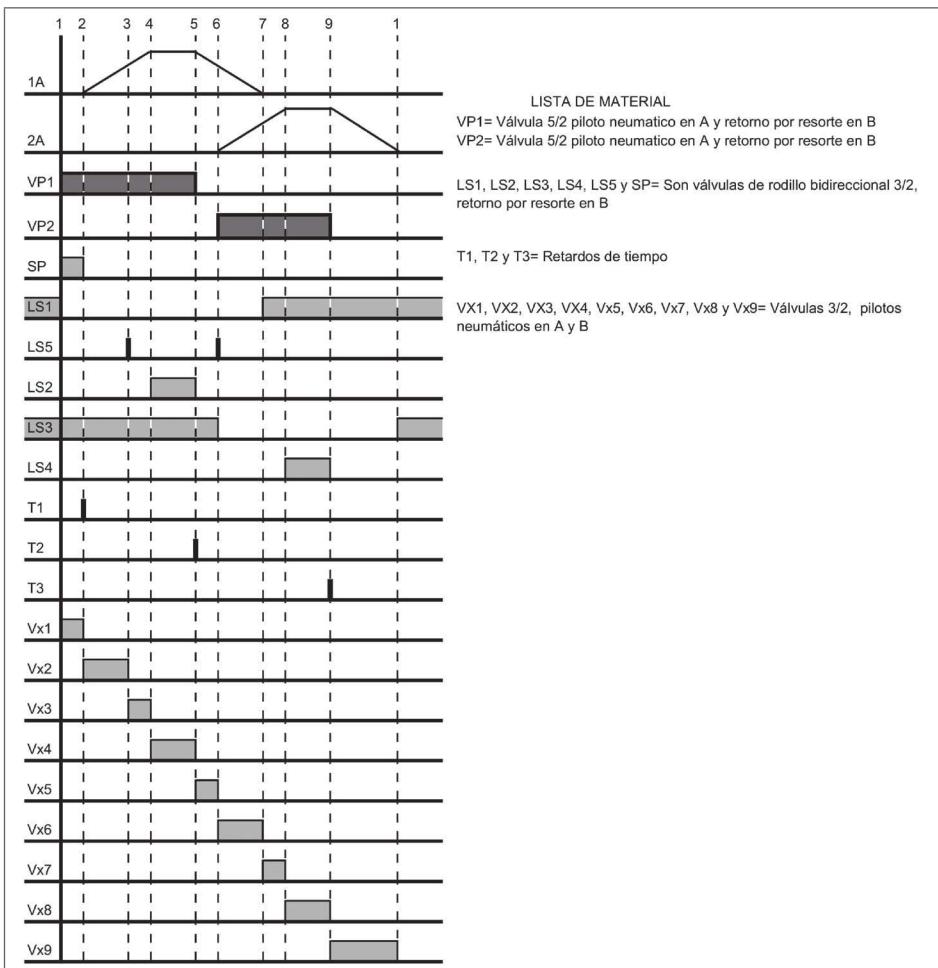


Fig. 6-102. Diagrama de funcionamiento con las 9 memorias incluidas.

Ecuaciones del sistema

Como se ha venido mencionando se debe obtener una ecuación para cada dispositivo exceptuando a los dispositivos de entrada y debe ser una ecuación para cada piloto neumático que tengan estas válvulas. Se inicia con las válvulas principales, por estas válvulas sólo se va a obtener una ecuación por cada válvula por el retorno por resorte en su posición B.

Ecuaciones de las válvulas principales VP1 y VP2

Las ecuaciones de estas válvulas se obtienen realizando la sumatoria de las memorias (Vx).

$$VP1(A) = Vx1 + Vx2 + Vx3 + Vx4$$

$$VP2(A) = Vx6 + Vx7 + Vx8$$

Ecuaciones de las memorias o válvulas auxiliares (Vx)

Como las ecuaciones de las válvulas principales sólo están considerando hasta la memoria 8 ($Vx8$) entonces sólo se van a generar 8 memorias, considerando que la memoria 9 nos indica que el sistema ha llegado a su estado inicial.

Ecuación de $Vx1$

$$Vx1(A) = LS1 LS3 SP$$

$$Vx1(B) = T1$$

La posición A es la más crítica y es necesario que no se repita el pulso que se está obteniendo al multiplicar los tres dispositivos durante el ciclo, el pulso de la posición B se puede repetir durante el ciclo y no es preocupante ya que la válvula está apagada.

Ecuación de $Vx2$

$$Vx2(A) = Vx1 T1$$

$$Vx2(B) = LS5$$

Para esta válvula se utilizan los pulsos instantáneos ya generados por el temporizador T1 y por la válvula LS5, esta válvula repite el pulso instantáneo en el cambio de estado número 6 lo que no afecta el buen funcionamiento del sistema.

Ecuación de $Vx3$

$$Vx3(A) = Vx2 LS5$$

$$Vx3(B) = LS2$$

De esta ecuación la posición A es la crítica ya que el pulso de LS5 se repite en el cambio de estado 6, por esta razón se condiciona mediante la multiplicación con la memoria Vx3, esto hace que sea único el pulso.

Ecuación de Vx4 y Vx5

$Vx4(A) = Vx3 LS2$
$Vx4(B) = T2$
$Vx5(A) = Vx4 T2$
$Vx5(B) = LS5$

Ecuación de Vx6

$Vx6(A) = LS5 Vx5$
$Vx6(B) = LS1$

De esta ecuación la posición A es crítica por el pulso LS5 que se repite en los estados 3 y 6 y si no se realiza una condición que dé como resultado un pulso solo en el cambio de estado 6, entonces se estará activando en el cambio de estado 3.

Ecuación de Vx7 y Vx7

$Vx7(A) = LS1 Vx6$
$Vx7(B) = LS4$
$Vx8(A) = LS4 Vx7$
$Vx8(B) = T3$

Ecuaciones de los temporizadores

Las ecuaciones de los temporizadores son para el piloto z, y se debe encontrar una ecuación para el piloto de cada uno de los temporizadores.

$T1(z) = Vx1$
$T2(z) = LS2$
$T3(z) = LS4$

Diagrama de conexiones neumáticas

Las ecuaciones obtenidas son transferidas a un diagrama de conexiones neumáticas (Fig. 6-103)

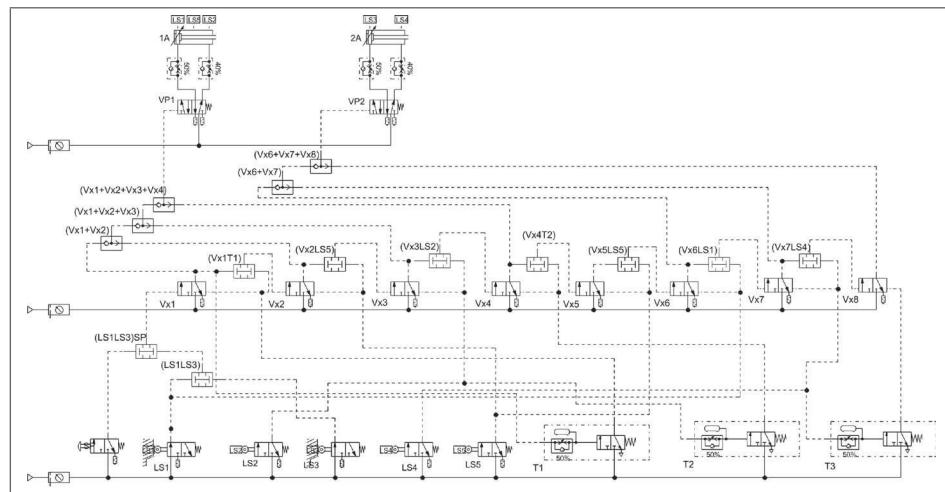


Fig. 6-103. Diagrama de conexiones neumáticas.

Ejemplo 13.2

Obtener el diagrama de conexiones neumáticas del sistema secuencial neumático mostrado en el diagrama natural del proceso, el sistema consta de dos actuadores neumáticos de doble efecto, dos válvulas principales con pilotos neumáticos por la posición A y retorno por resorte en la posición B y 5 válvulas de rodillo bidireccional que hacen la función de posición por contacto.

La secuencia que muestra el diagrama natural del proceso (Fig. 104) es la siguiente:

- Al habilitar la válvula manual el actuador 1A inicia su desplazamiento hacia delante.
- Al llegar a la mitad de su carrera inicia el desplazamiento del actuador 2A.
- Al llegar a su fin de carrera el actuador 1A, se regresa inmediatamente.
- El actuador 2A al llegar a su fin de carrera no se va a regresar hasta que el actuador 1A haya regresado por completo a su inicio de carrera.
- Al suceder ambas situaciones, el actuador 2A estará regresando a su inicio de carrera, con esto estará regresando el sistema neumático a su estado inicial.

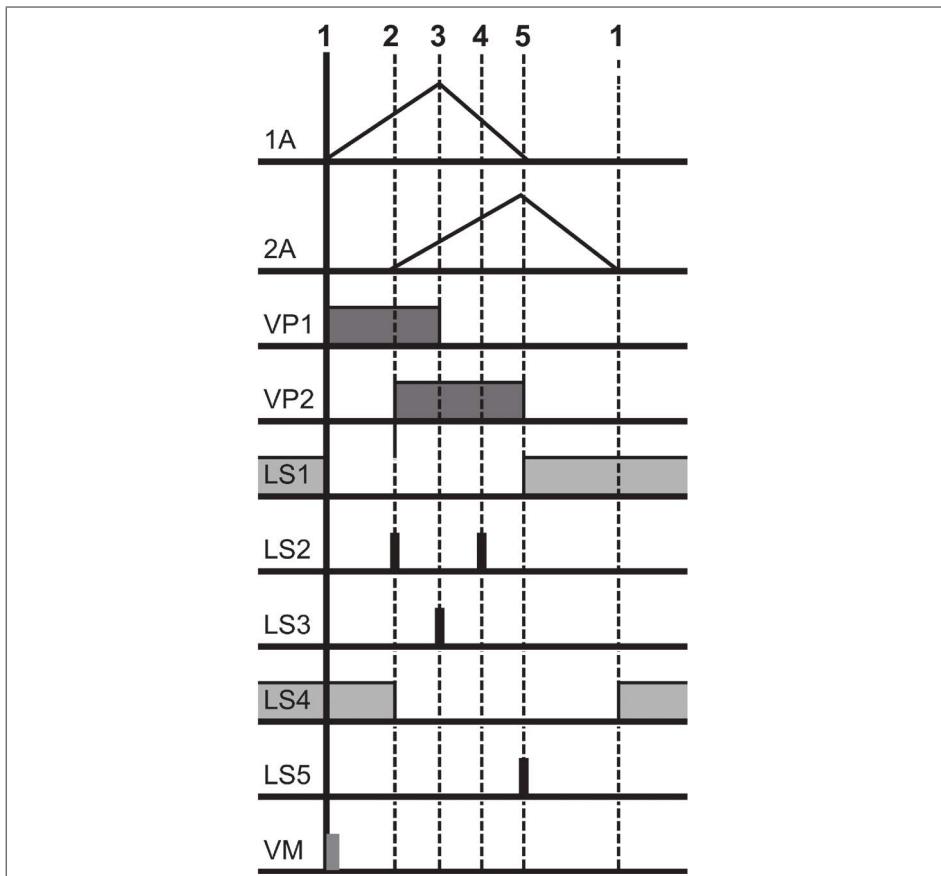


Fig. 6-104 Secuencia del problema mostrada en el diagrama natural del proceso.

Obtenga los siguientes incisos:

- Diagrama de funcionamiento aplicando el método ME.
- Ecuaciones del sistema.
- Diagrama de conexiones neumáticas y simulación con el FluidSim.

Diagrama de funcionamiento aplicando el m todo ME

El sistema cuenta con 5 estados por lo tanto se requiere generar 5 memorias (Vx), aplicando este método se obtiene el siguiente diagrama de funcionamiento con la inclusión de las memorias y se muestra en la Fig. 6-105.

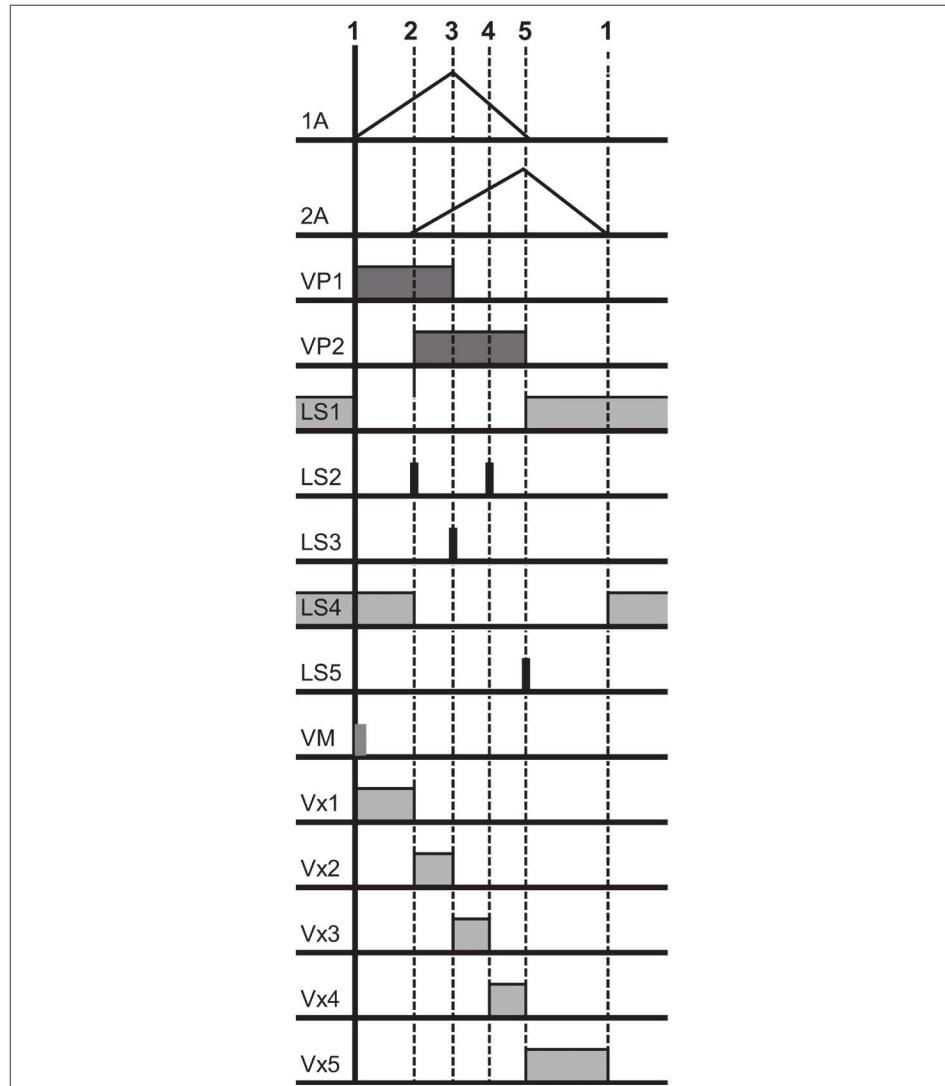


Fig. 6-105. Diagrama de funcionamiento con memorias incluidas.

Ecuaciones del sistema

Se deben de obtener 2 ecuaciones para las válvulas principales, ambas válvulas son con pilotos neumáticos en la posición A y retorno por resorte en la posición B, 10 ecuaciones para las memorias, éstas son válvulas del tipo biestable.

Ecuación de VP1 y VP2

Estas ecuaciones se obtienen de sumar la aportación lógica de las memorias generadas como se observa en el diagrama de funcionamiento, dando como resultado las siguientes ecuaciones.

$$VP1(A) = Vx1 + Vx2$$

$$VP2(A) = Vx2 + Vx3 + Vx4$$

Ecuaciones de las memorias Vx1, Vx2, Vx3, Vx4 y Vx5

Estas ecuaciones están estructuradas por las válvulas que hacen la función de sensores (LS) y las propias memorias (Vx), dando las siguientes ecuaciones.

$$Vx1(A) = LS1 LS4 VM$$

$$Vx1(B) = LS2$$

$$Vx2(A) = LS2 Vx1$$

$$Vx2(B) = LS3$$

$$Vx3(A) = LS3 Vx2$$

$$Vx3(B) = LS2$$

$$Vx4(A) = LS2 Vx3$$

$$Vx4(B) = LS5 LS1$$

$$Vx5(A) = LS5 Vx4$$

$$Vx5(B) = LS1 LS4$$

Como la memoria Vx5 no es requerida en ninguna de las ecuaciones obtenidas no se considera en el diagrama de conexiones neumáticas, sin embargo la ecuación de esta memoria nos indica que el sistema es secuencial al llegar a la condición de inicio LS1 y LS4.

En la posición B de la válvula Vx4 se condiciona que el actuador 1A llegue a su inicio de carrera para que el actuador 2A inicie su retroceso, esto se realiza al condicionar con LS1 a la ecuación de esta memoria.

Diagrama de conexiones neumáticas y simulación con el FluidSim

Las ecuaciones obtenidas son representadas en un diagrama de conexiones neumáticas dando el resultado mostrado en la Fig. 6-106.

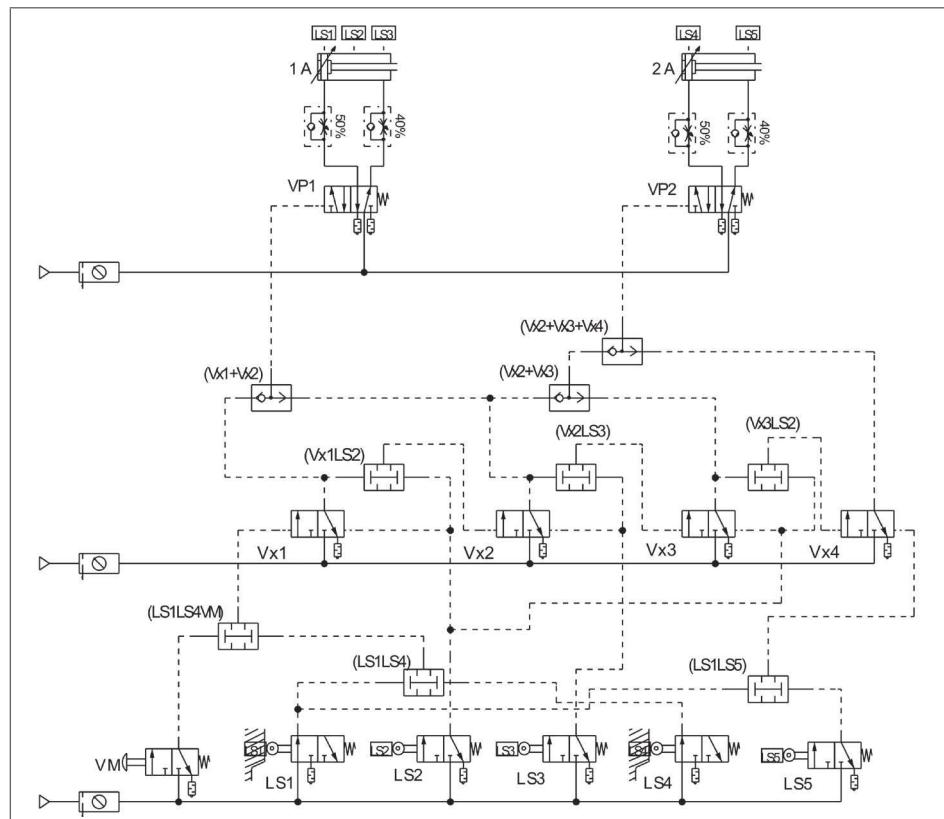


Fig. 6-106. Diagrama de conexiones neumáticas.

Como parte de la práctica en la simulación de sistemas secuenciales neumáticos con el FluidSim compruebe el funcionamiento de este diagrama de conexiones neumáticas moviendo los siguientes ajustes, el porcentaje de apertura de las válvulas reguladoras de flujo, la longitud de los vástagos de los actuadores lineales, la presión del sistema y obtenga conclusiones, estos puntos ponen a prueba de falla al sistema secuencial, también obtenga el diagrama de funcionamiento y lista de partes del sistema.

Ejemplo 13.3

El diagrama natural del proceso muestra a un actuador neumático lineal con dos velocidades en el avance, éstas son mostradas con el cambio en la pendiente de

salida del actuador lineal mostrado en la Fig. 6-107 en la solución se utiliza el método ME, se considera que la válvula VP1 es 5/3 con piloto neumático en A y B y centrada por resortes en la posición central los puertos son presurizados. La regulación de velocidad se puede realizar por control de flujo o de presión, en este problema se va a realizar por control de presión, el sistema cuenta con dos presiones PR1 es la presión normal de trabajo y PR2 es la presión de posición final del actuador lineal, ésta opera al 90 % de distancia del vástago del actuador, los valores de presión son PR1=100 PSI y PR2=50 PSI, esta última es seleccionada en la etapa de avance en la etapa de retroceso sólo actúa la presión PR1. Para lograr esto se deben tener dos válvulas que seleccionen a las presiones ya preestablecidas por dos reguladores de presión. Obtenga los siguientes incisos.

- Diagrama de funcionamiento aplicando el método ME.
- Ecuaciones del sistema.
- Diagrama de conexiones neumáticas y simulación con el FluidSim.

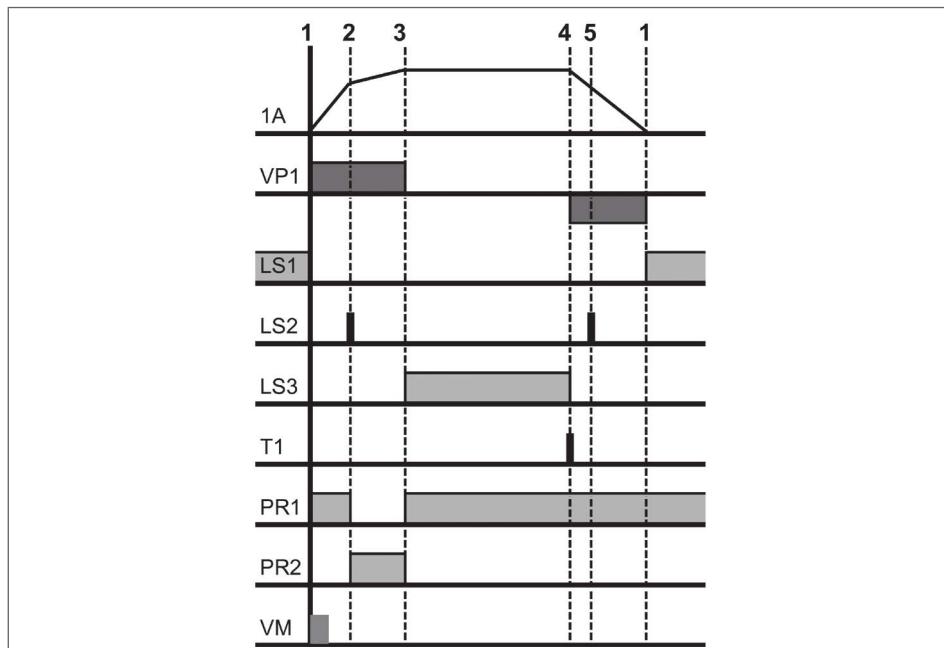


Fig. 6-107. Diagrama natural del proceso. Problema 13.3.

Diagrama de funcionamiento aplicando el m todo ME

Aplicando el método ME se obtienen 5 memorias, una por cada cambio de estado, dando como resultado el siguiente diagrama de funcionamiento (Fig. 6-108).

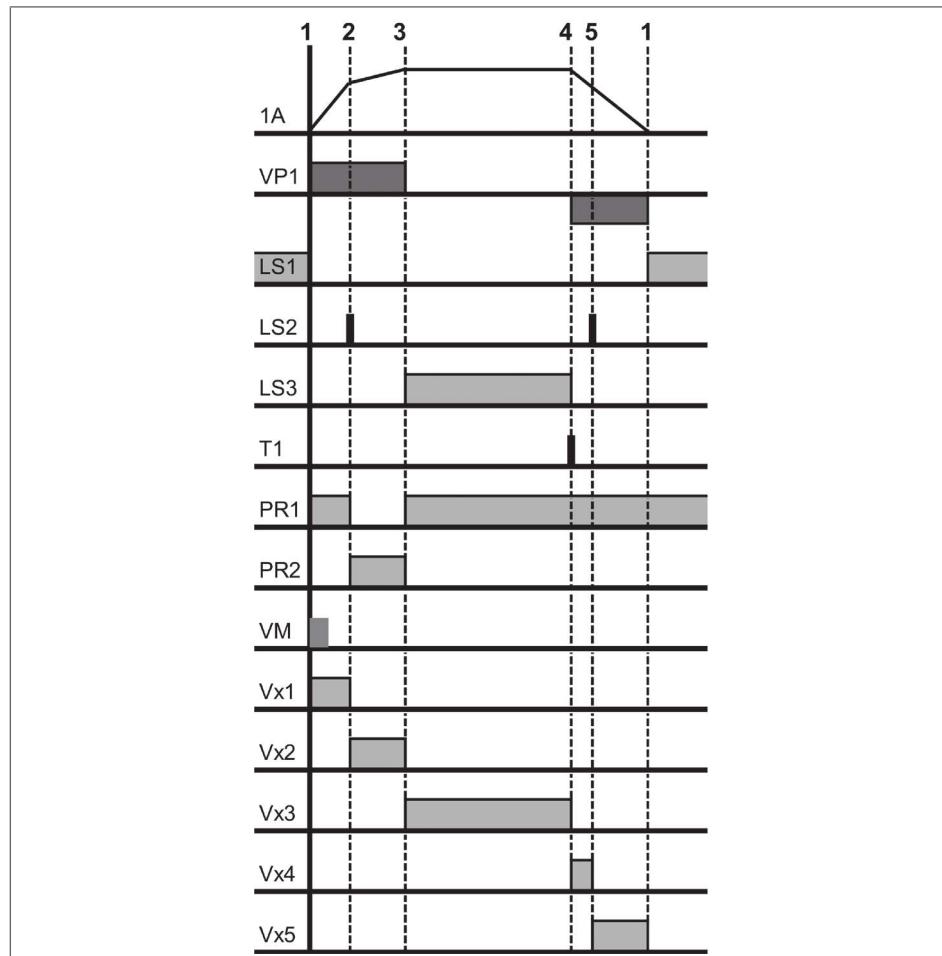


Fig. 6-108. Diagrama de funcionamiento con la aplicación de memorias.

Ecuaciones del sistema

Se deben de obtener 2 ecuaciones para la válvula principal, es una válvula 5/3 con centros presurizados.

Ecuación de VP1

Estas ecuaciones se obtienen de sumar la aportación de las memorias generadas, en la posición A se va a considerar que es necesario un pulso instantáneo de VM para activar el sistema y mantenerse activado.

$$\begin{aligned} VP1(B) &= Vx4 + Vx5 \\ VP1(A) &= Vx1 + Vx2 \end{aligned}$$

Ecuación de PR

Las válvulas que van a controlar las presiones de alimentación de la válvula principal son PR1 y PR2 y son válvulas 3/2 presión bloqueada y piloto neumático en A y retorno por resorte en B, la selección de esta válvula es porque tiene una sola salida de presión. Nótese que la presión principal aplicada a la válvula VP1 es PR1 o PR2, esta condición nos da como resultado aplicar la función suma a ambas presiones de tal manera que siempre está presente una presión u otra. Se deben de obtener dos ecuaciones estructuradas por la sumatoria de las memorias una para cada válvula.

$$PR1(A) = Vx1 + Vx3 + Vx4 + Vx5$$

$$PR2(A) = Vx2$$

Ecuaciones de las memorias Vx1, Vx2, Vx3, Vx4 y Vx5

Estas ecuaciones están estructuradas por las válvulas que hacen la función de sensores (LS) y las propias memorias (Vx), dando las siguientes ecuaciones.

$$\begin{array}{ll} Vx1(A) = LS1VM & Vx1(B) = LS2 \\ Vx2(A) = LS2Vx1 & Vx2(B) = LS3 \\ Vx3(A) = LS3Vx2 & Vx3(B) = T1 \\ Vx4(A) = T1Vx3 & Vx4(B) = LS2 \\ Vx5(A) = LS2Vx4 & Vx5(B) = LS1 \end{array}$$

Ecuaciones de T1

La ecuación de T1 es para obtener el piloto z

$$T1(z) = LS3$$

Diagrama de conexiones neumáticas

Las ecuaciones obtenidas son transferidas a un diagrama de conexiones neumáticas (Fig. 6-109).

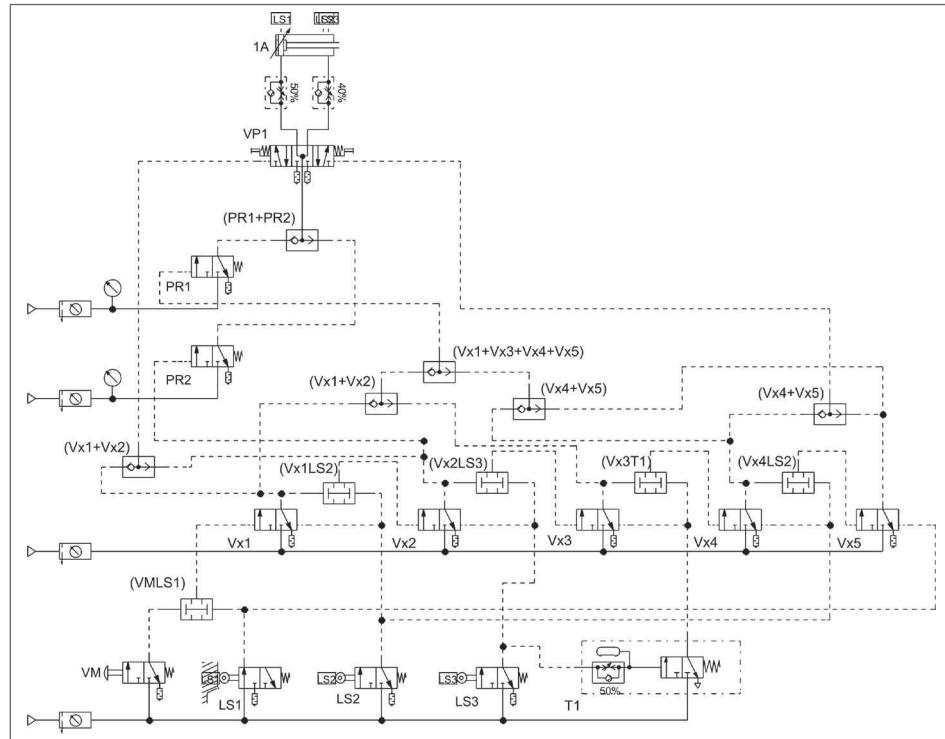


Fig. 6-109. Diagrama de conexiones neumáticas resultante de transferir las ecuaciones del sistema.

Diagrama de funcionamiento y lista de partes

El diagrama de funcionamiento es obtenido después de haber realizado la simulación con el FluidSim también se obtiene la lista de partes (Fig. 6-110).

Denominación del componente	Marca	Denominación del componente	Marca
Cilindro doble efecto	1A	Cilindro doble efecto	1A
Válvula antirretorno estranguladora	VP1	Válvula antirretorno estranguladora	VP1
Válvula de 3/n vías	LS1	Válvula de 3/n vías	LS1
Válvula de 3/n vías	LS2	Válvula de 3/n vías	LS2
Válvula de 3/n vías	LS3	Válvula de 3/n vías	LS3
Válvula de 3/n vías	Vx4	Válvula de 3/n vías	Vx4
Válvula de 3/n vías	Vx1	Válvula de 3/n vías	Vx1
Válvula de 3/n vías	Vx3	Válvula de 3/n vías	Vx3
Fuente de aire comprimido	VM	Fuente de aire comprimido	VM
Válvula de simultaneidad	(MLS1)	Válvula de simultaneidad	(MLS1)
Válvula de deseleración, normalmente cerrada	T1	Válvula de deseleración, normalmente cerrada	T1
Válvula selectora	(Vx1+Vx2)	Válvula selectora	(Vx1+Vx2)
Válvula selectora	(Vx4+Vx5)	Válvula selectora	(Vx4+Vx5)
Válvula selectora	(Vx1+Vx2)	Válvula selectora	(Vx1+Vx2)
Válvula de simultaneidad	(Vx2, LS3)	Válvula de simultaneidad	(Vx2, LS3)
Unidad de mantenimiento, representación simplificada		Unidad de mantenimiento, representación simplificada	
Fuente de aire comprimido		Fuente de aire comprimido	
Unidad de mantenimiento, representación simplificada		Unidad de mantenimiento, representación simplificada	
Válvula selectora	(Vx4+Vx5)	Válvula selectora	(Vx4+Vx5)
Válvula selectora	(Vx1+Vx3+Vx4+Vx5)	Válvula selectora	(Vx1+Vx3+Vx4+Vx5)
Válvula de simultaneidad	(Vx3T1)	Válvula de simultaneidad	(Vx3T1)
Válvula de simultaneidad	(Vx4LS2)	Válvula de simultaneidad	(Vx4LS2)
Válvula de simultaneidad	(Vx1LS2)	Válvula de simultaneidad	(Vx1LS2)
Válvula de 5/n vías	VP1	Válvula de 5/n vías	VP1
Válvula de 3/n vías	PR1	Válvula de 3/n vías	PR1
Aparato de medición de presión	PR1	Aparato de medición de presión	PR1
Fuente de aire comprimido	VM	Fuente de aire comprimido	VM
Unidad de mantenimiento, representación simplificada		Unidad de mantenimiento, representación simplificada	
Válvula de 3/n vías	PR2	Válvula de 3/n vías	PR2
Aparato de medición de presión	PR2	Aparato de medición de presión	PR2
Válvula de 3/n vías	Vx1	Válvula de 3/n vías	Vx1
Válvula de 3/n vías	Vx2	Válvula de 3/n vías	Vx2
Válvula de 3/n vías	Vx3	Válvula de 3/n vías	Vx3
Válvula de 3/n vías	Vx4	Válvula de 3/n vías	Vx4
Válvula de 3/n vías	Vx5	Válvula de 3/n vías	Vx5

Fig. 6-110. Diagrama de funcionamiento y lista de partes del problema analizado.

6.14 Preguntas y ejercicios de estudio

Preguntas

01. Mencione dos ventajas al utilizar sistemas neumáticos en la industria
02. Mencione dos limitantes de aplicar sistemas neumáticos en la industria
03. Mencione tres propiedades físicas del aire
04. ¿Qué dispositivo provee la energía neumática a un sistema neumático?
05. Mencione las dos clasificaciones de los compresores
06. ¿Cuales son los tres contaminantes básicos presentes en el aire?
07. ¿Cuál es la función del enfriador posterior?
08. Mencione dos funciones que realiza en un sistema neumático el tanque acumulador de presión.
09. ¿Cuál es la función de los elementos de ganancia en un sistema secuencial neumático?
10. ¿Qué dispositivos realizan la función de elementos finales de control?
11. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de un actuador neumático lineal?
12. ¿Hacia que procesos está enfocada la aplicación de la neumática pura?
13. Mencione tres etapas de la estructura de un sistema secuencial neumático.
14. ¿Cuantas entradas de presión requiere un actuador lineal de doble efecto?
15. ¿Qué componentes son representados en un diagrama Espacio-fase?
16. ¿Qué motor ofrece alto par a bajas velocidades?
17. ¿Cuál es la aplicación de un actuador oscilatorio?
18. ¿Qué elementos ayudan a mejorar la precisión en un sistema neumático?
19. ¿Como funciona una válvula de control de flujo variable bidireccional?
20. Explique en que consiste el control de la velocidad de un actuador neumático por la salida de aire
21. ¿Qué dispositivos constituyen a una válvula de control de flujo variable unidireccional?
22. En una válvula direccional a que se refiere cuando se menciona vías y posiciones
23. ¿Qué función tiene un piloto en una válvula direccional?

24. Mencione dos tipos de pilotos en válvulas direccionales.
25. ¿Cuántas salidas de presión tiene una válvula de 3/2?
26. ¿Cuántas vías y posiciones se requieren como mínimo en una válvula dirigida para controlar a un actuador de doble efecto?
27. ¿Qué tipos de pilotos en una válvula dirigida hacen que se comporte como una válvula con memoria?
28. En una válvula dirigida a qué tipo de pilotos se requiere mantenerlo activado, es decir no cuenta con memoria.
29. En una válvula dirigida de 5/2 identifique la función de cada uno de los puertos de presión (Fig. 6-111).

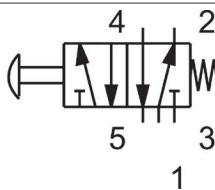


Fig. 6-111. Válvula dirigida 5/2.

30. Mencione que ventajas ofrece la válvula 5/2 comparada con la válvula 4/2, Fig. 6-112.

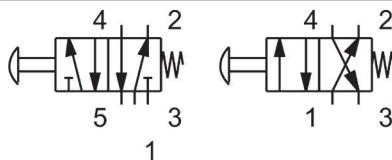


Fig. 6-112. Válvulas dirigidas 5/2 y 4/2.

31. En una válvula de tres posiciones identifique con A, B y Cero cada una de las posiciones mostradas en la Fig. 6-113.

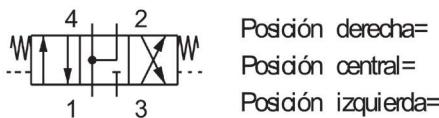


Fig. 6-113. Válvula de tres posiciones.

32. ¿Cuál es la función de un temporizador en un sistema secuencial neumático?
33. De las válvulas de tiempo mostradas en la Fig. 6-115, identifique cada uno de los dispositivos que la componen.

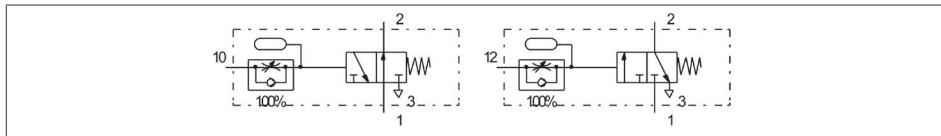


Fig. 6-114. Válvulas neumáticas de tiempo.

34. De las válvulas de tiempo identifique la función de cada uno de los puertos de presión.
35. ¿Cuál es la función del contador neumático en un sistema secuencial?
36. Identifique los puertos de presión neumática del contador mostrado en la Fig. 6-115.

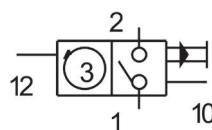


Fig. 6-115. Válvula neumática de conteo.

37. ¿A que nivel de presión de aire se le considera vacío?
38. ¿Cuál una de las principales aplicaciones del vacío en sistemas neumáticos industriales?
39. ¿Qué elementos de un sistema neumático son representados mediante el diagrama de funcionamiento?
40. ¿Qué función de la operación representa la primera línea vertical del gráfico de funcionamiento?
41. ¿Qué tipo de línea representa los cambios de estado en un diagrama natural del proceso?
42. Del diagrama de funcionamiento mostrado en la Fig. 6-116 identifique que dispositivos conforman al diagrama de mando

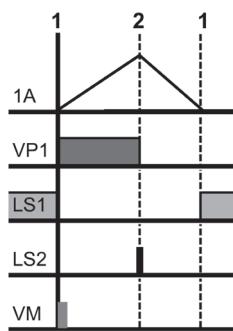


Fig. 6-116. Diagrama de funcionamiento.

43. ¿Qué comportamiento mostrado por las válvulas direccionales hace posible la representación mediante ecuaciones lógicas de un sistema neumático industrial?
44. ¿Cómo se llama la válvula que realiza la función de la multiplicación?
45. ¿Qué válvula realiza la función de la suma?
46. Mencione dos métodos analíticos utilizados en este texto para solucionar sistemas secuenciales neumáticos
47. ¿Cuál es el fundamento del método “Memoria de Estado” (ME)?
48. ¿Cuál es el límite de aplicación del método ME?
49. ¿Qué dispositivos conforman las ecuaciones de las válvulas principales?
50. ¿Qué válvula representa a una memoria en un diagrama de conexiones neumáticas?
51. ¿Cómo se define el número de memorias a ser generadas en el método ME?

Ejercicios propuestos

6.14-1 Obtenga las ecuaciones de las salidas 1 y 2 que representa a los diagramas de conexiones neumáticas mostrados en la Fig. 6-117.

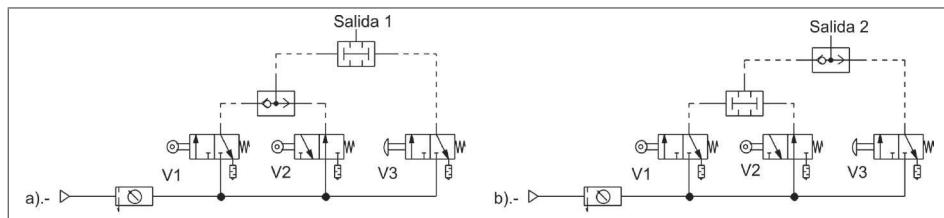


Fig. 6-117. Diagramas neumáticos con la suma y multiplicación lógica de funciones neumáticas.

6.14-2 El siguiente diagrama de funcionamiento (Fig. 6-118) representa a un actuador neumático del tipo lineal, obtenga lo siguiente.

- a. Obtenga las ecuaciones del sistema considerando que VP1 es una válvula 5/2 pilotos neumáticos en A y B.
- b. Transfiera las ecuaciones en un diagrama de conexiones neumáticas.
- c. Compruebe el buen funcionamiento del sistema con el FluidSim.

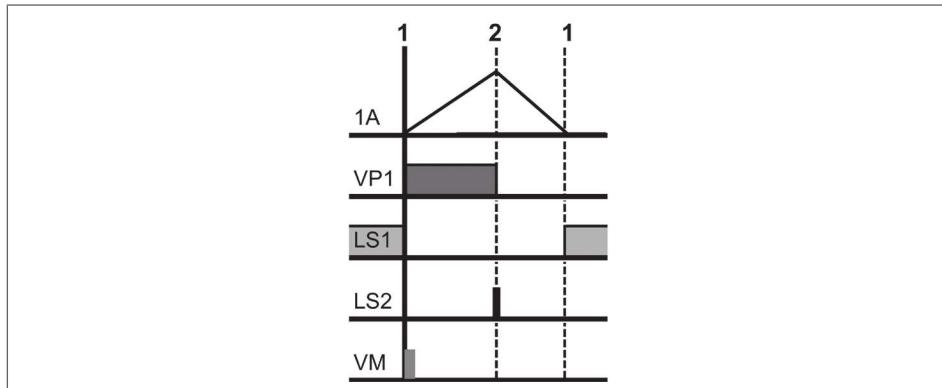


Fig. 6-118. Diagrama de funcionamiento problema 6.14-2.

6.14-3 El diagrama de funcionamiento de la Fig. 6-119 muestra a dos actuadores lineales interconectados entre sí en el cambio de estado 2, considere a la válvula LS2 de rodillo unidireccional. Para su solución aplique el método ME, debe obtener las cinco memorias. Las válvulas VP1 y VP2 son 5/2 con pilotos neumáticos en ambas posiciones.

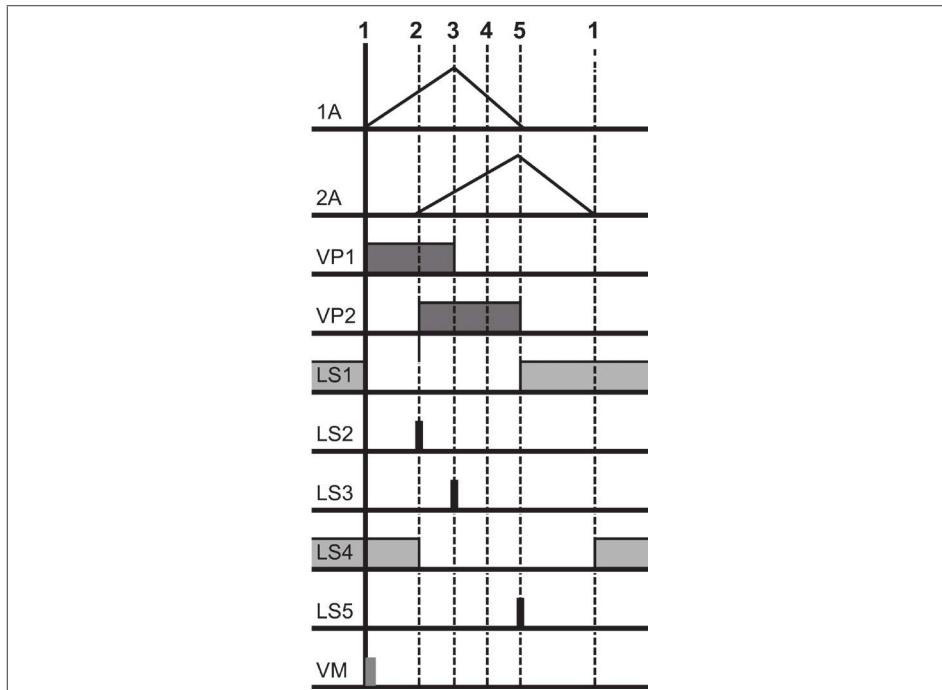


Fig. 6-119 Diagrama del problema 6.14-3.

- Obtenga el diagrama de funcionamiento con el método ME.
- Obtenga las ecuaciones del sistema.
- Transfiera las ecuaciones a un diagrama de conexiones neumáticas.
- Compruebe el buen funcionamiento del sistema con el FluidSim.

6.14-4 El diagrama de funcionamiento de la Fig. 6-120 muestra el funcionamiento de una prensa industrial (2A) con una guarda de protección física (1A), la prensa tiene control de velocidad en el 95% de la distancia del vástagos desacelerando el actuador 2A, este control se realiza mediante control de flujo dado por la válvula CF1 y es conectada en paralelo con la válvula de regulación de flujo unidireccional del actuador, esta válvula es activada cuando LS4 detecta presencia del vástagos, LS4 es una válvula de rodillo unidireccional que se activa solamente en la dirección de avance del actuador 2A, desaceleración tiene como objetivo posicionarse en forma pausada sobre el objeto a ser prensado, esto para evitar movimientos bruscos y sacar de posición al objeto. Las válvulas VP1 y VP2 son 5/2 pilotos neumáticos en A y retorno por resorte en B.

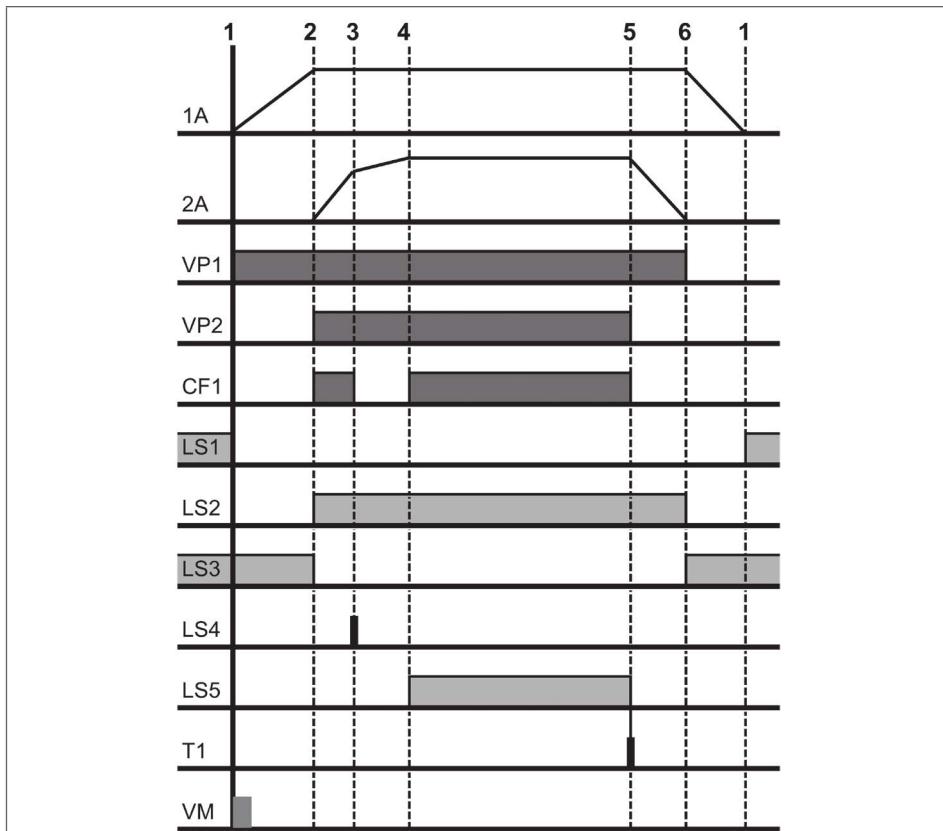


Fig. 6-120. Diagrama natural del proceso del problema 6.14-4.

Considere la siguiente conexión de la válvula CF1 y el rodillo unidireccional hacia la derecha con sentido al avance del actuador 2A como lo muestra la Fig. 6-121.

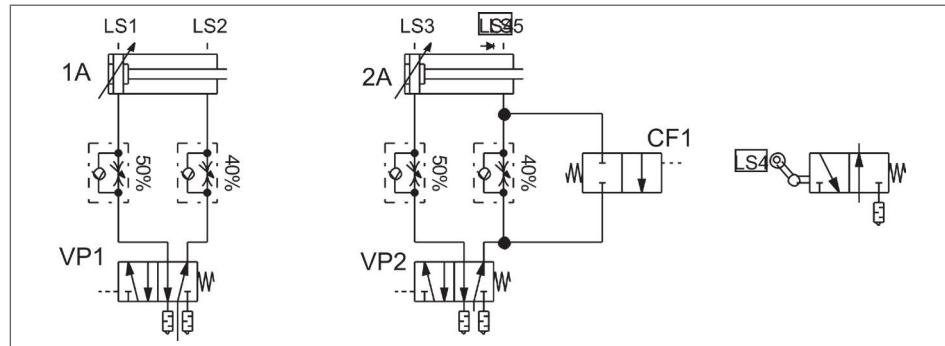


Fig. 6-121. Válvulas principales y conexión de la válvula de control de flujo.

- Obtenga el diagrama de funcionamiento con el método ME.
- Obtenga las ecuaciones del sistema.
- Transfiera las ecuaciones en un diagrama de conexiones neumáticas.
- Compruebe el buen funcionamiento del sistema con el FluidSim.

6.14-6 El siguiente diagrama de conexiones neumáticas mostrado en la Fig. 6-122, muestra a un actuador lineal activado a dos manos por un operador, demuestre que la protección de las dos manos está controlada por los temporizadores Tlzq y TDer, de tal manera que no se puede dejar activada una de las válvulas, de ser así no se activara el sistema.

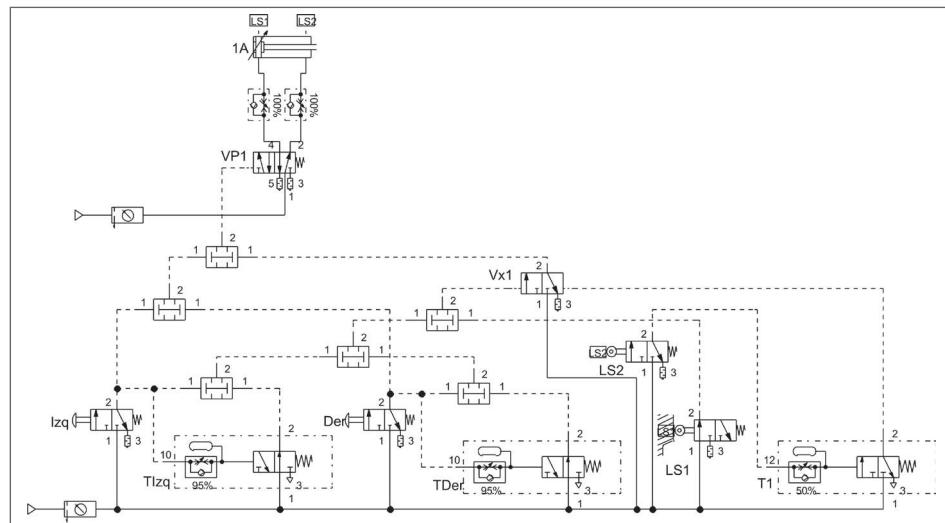


Fig. 6-122. Protección a dos manos de un operador.

- Obtenga las ecuaciones del sistema.
- Explique la secuencia del diagrama de conexiones neumáticas.
- Que sucede si se desactiva una de las válvulas manuales después de haberse activado el sistema y el actuador no haya llegado a su fin de carrera.

6.14-7. Compruebe mediante la simulación con el FluidSim que el sistema de conexiones neumáticas es el paro y arranque de una función neumática mostrado en la Fig. 6-123, en el diagrama la función a obtenerle una ecuación es VP1.

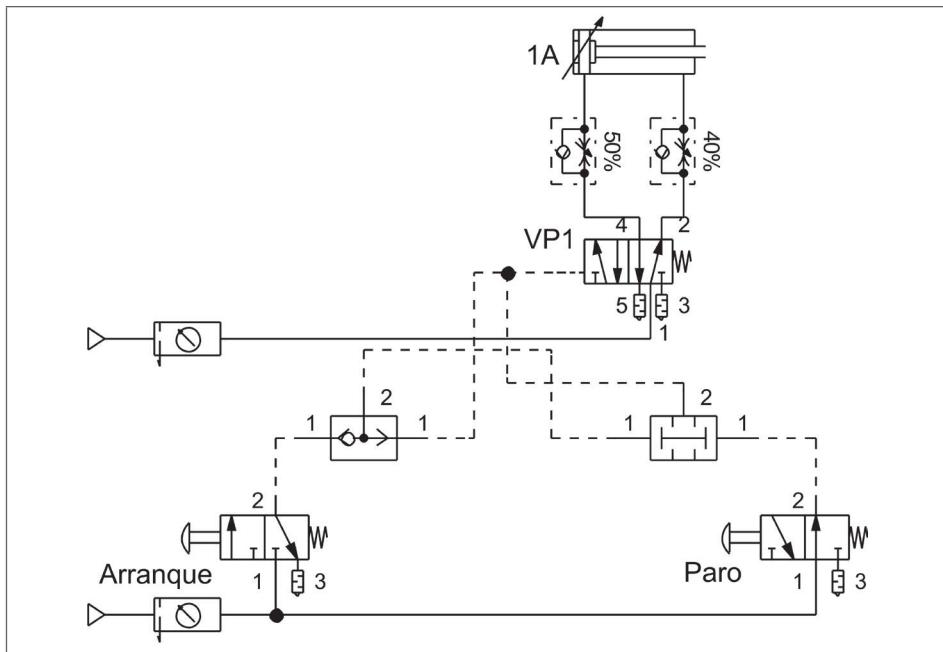


Fig. 6-123 Diagrama de paro y arranque de la función VP1.

- Obtenga la ecuación que representa al sistema neumático.
- Obtenga el diagrama de funcionamiento y lista de partes con el FluidSim.

6.14-8 El diagrama de funcionamiento mostrado en la Fig. 6-124 muestra la secuencia de un sistema neumático activado en tres ciclos mediante el contador C1, considere que el contador se reestablece con la multiplicación de $Vx2$ y LS1, y LS2 es la válvula encargada de decrementar al contador, la válvula VP1 tiene pilotos neumáticos en ambas posiciones. Sin agregar más dispositivos al diagrama mostrado encuentre los siguientes incisos.

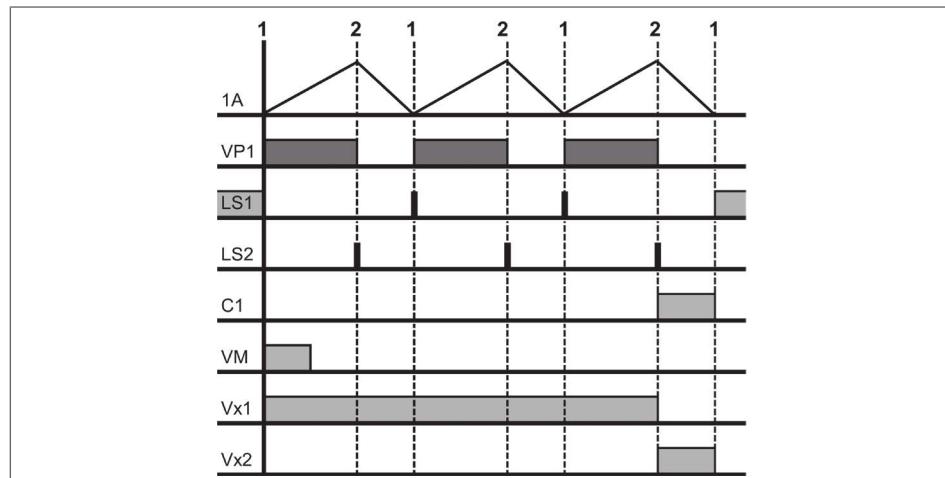


Fig. 6-124. Diagrama de funcionamiento con la función de conteo.

- Obtenga la ecuación de $VP1(A)$, $VP1(B)$, $Vx1(A)$, $Vx1(B)$, $Vx2(A)$, $Vx2(B)$, la conexión de los puertos 12 y 10 del contador.
 - Diagrama de conexiones neumáticas.
 - Simulación, diagrama de funcionamiento y lista de partes con el FluidSim.
- 6.14-9 De los siguientes diagramas de funcionamiento mostrados en las figuras 6-125 y 6-126. Obtenga los siguientes incisos
- Ecuaciones del sistema.
 - Diagrama de conexiones neumáticas.
 - Simulación con el FluidSim.
 - Lista de partes y diagrama de funcionamiento con el FluidSim.

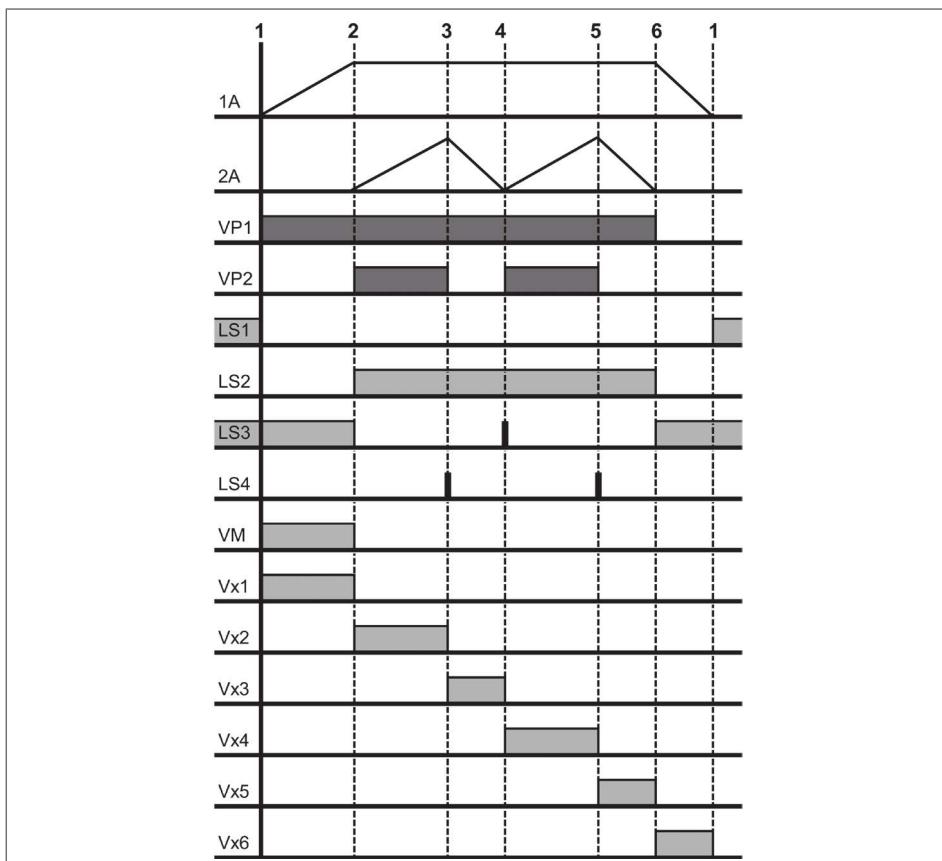


Fig. 6-125. Diagrama de funcionamiento 1.

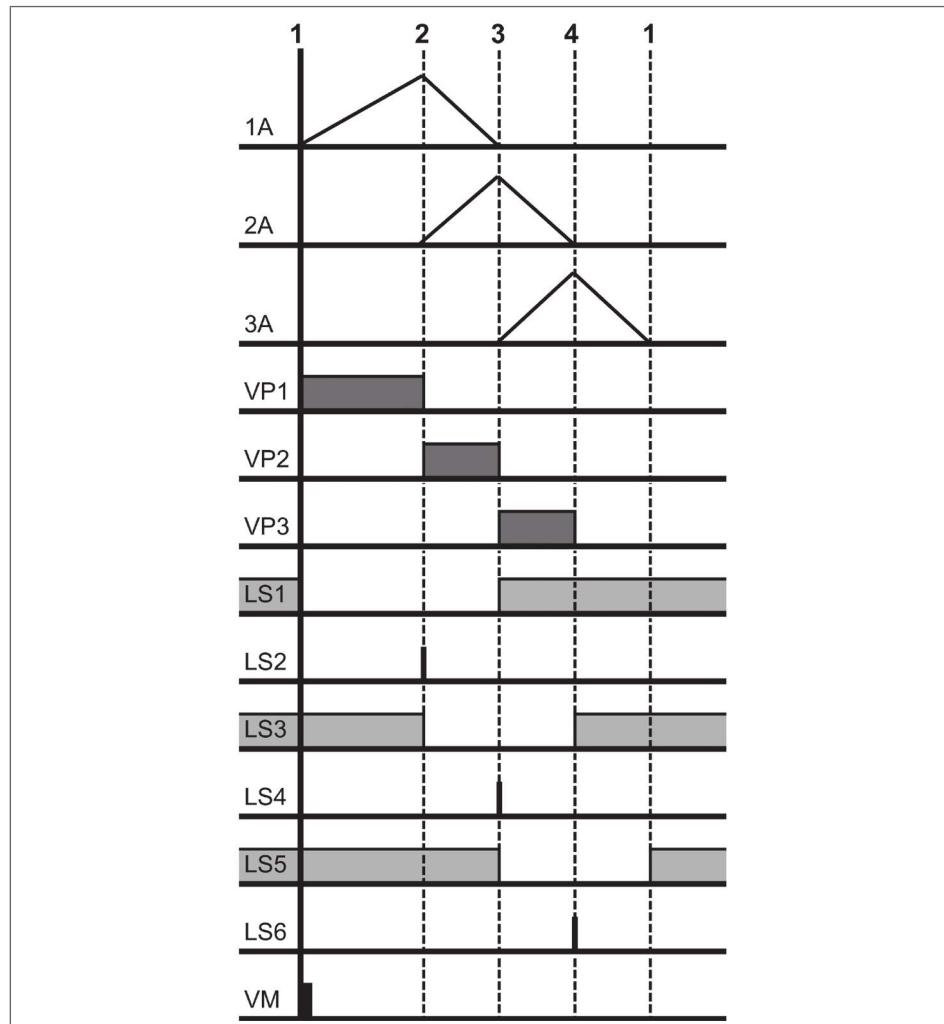


Fig. 6-126. Diagrama de funcionamiento 2.

6-14.10 Una prensa neumática industrial es mostrada en el esquemático de la Fig. 6-127, esta prensa es operada manualmente a dos manos y está compuesta por tres actuadores lineales 1A, 2A y 3A. El actuador 2A realiza la función de la prensa y debe activarse en un primer paso al 50% de su distancia en esta posición estará prensando al material A con el B y en el segundo paso viajara al 100% de la distancia y estará prensando al material C con el D. La secuencia de la prensa es la siguiente:

- Al habilitar los dos botones a la vez se debe activar el actuador 1A, si uno de los botones o ambos son removidos durante el viaje de la guarda, esta deberá de regresarse.
- Al llegar a su final de la carrera el actuador 1A, deberá de iniciar el avance de la prensa.
- Al llegar al 50% de su carrera el actuador 2A deberá de prensar el material A con el B por un período de tiempo determinado por un temporizador neumático.
- Al regresar a su inicio de carrera el actuador 2A, el actuador 3A moverá el soporte hacia la izquierda para que quede en posición de prensado los materiales C y D, y deberá alcanzar la posición de LS7.
- Después de estar en posición se activa la prensa con el desplazamiento del 100% para prensar al producto C y D, se tiene un tiempo de prensado.
- Al terminar el tiempo de prensado se regresa a su posición inicial el actuador 2A.
- Al llegar 2A a suposición inicial inicia su retroceso el actuador 3A.
- Al llegar a su inicio de carrera 3A inicia su retroceso el actuador 1A, llegando a su estado inicial.

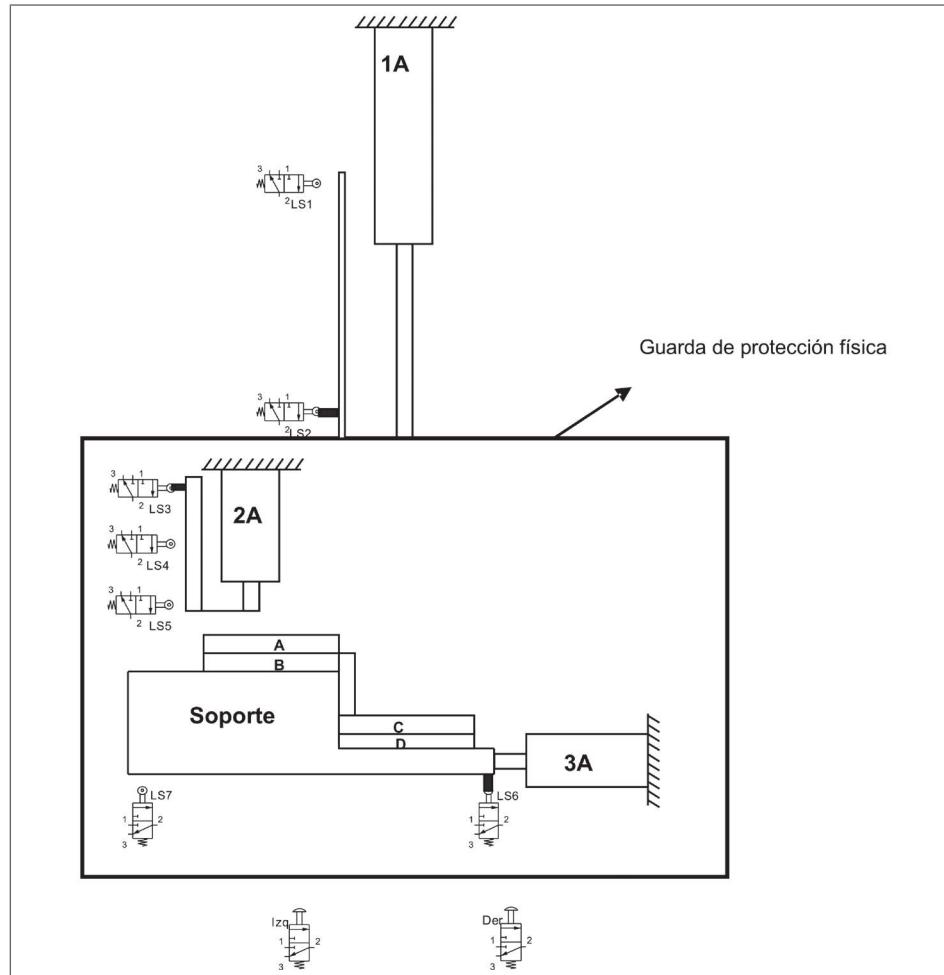


Fig. 6-127. Esquemático de la prensa del problema 6-14.10.

Considere el siguiente diagrama de funcionamiento natural del proceso, agréguele las memorias y las válvulas de carrera de las actuadores.

Considere las siguientes válvulas:

- La válvula VP1 (Actuador 1A) 5/2 piloto neumático en A y resorte en B.
- La válvula VP2 (Actuador 2A) 5/3 pilotos neumáticos en A y B y centrada por resorte en la posición cero, puertos bloqueados en la posición central.
- La válvula VP3 (Actuador 3A) 5/2 piloto neumático en A y resorte por B.

Considere el diagrama de funcionamiento con las memorias incluidas.

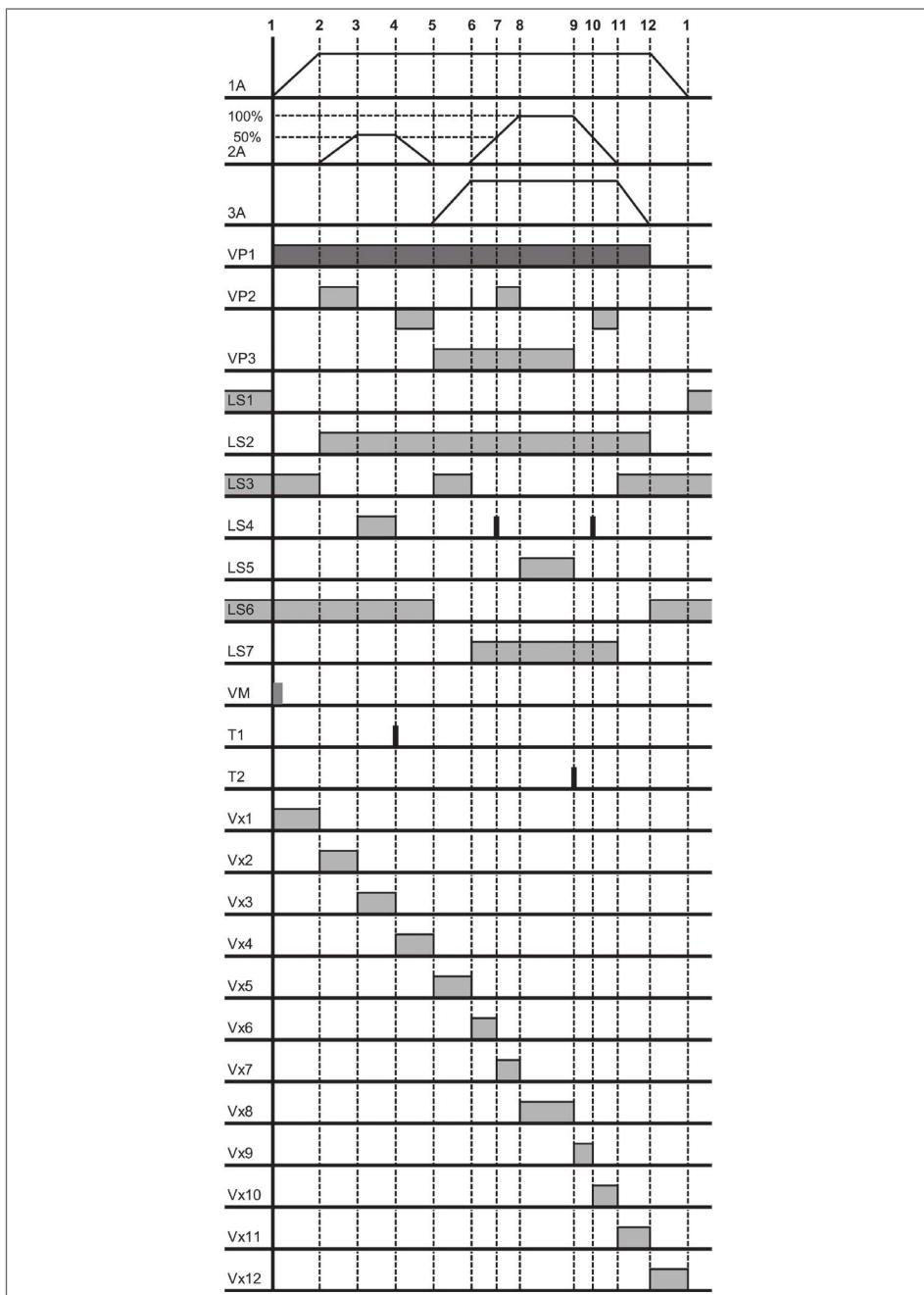


Fig. 6-128. Diagrama natural del proceso de los actuadores de la prensa incluyendo las memorias.

CAP TULO 7

Sensores de comportamiento discreto

7.1 Introducción

El monitoreo de las variables propias del proceso son una parte importante en los sistemas automáticos, pueden ser desde variables complejas, como presión y temperatura, hasta más sencillas, como el posicionamiento del vástagos de un actuador neumático aplicado en un circuito electroneumático como el que se muestra en la Fig. 7-1. Esto se logra mediante la aplicación de transductores y sensores a los sistemas automáticos.

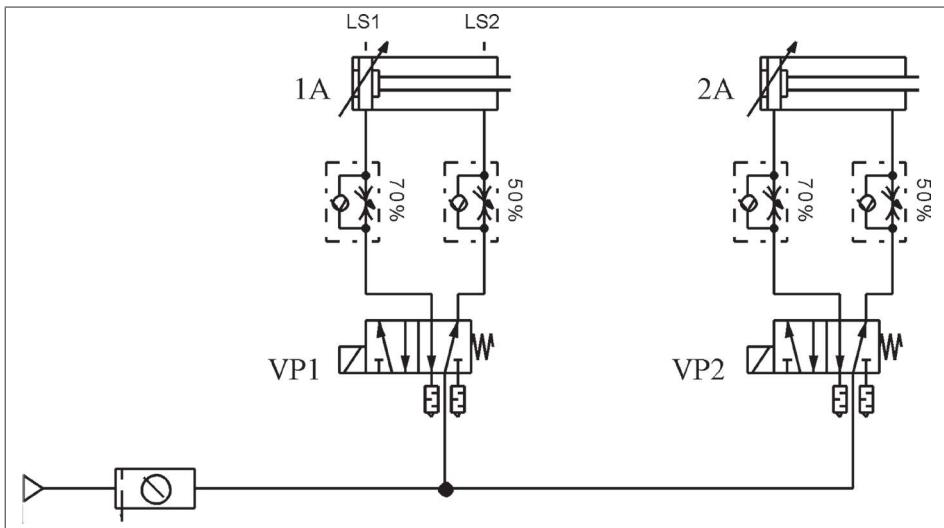


Fig. 7-1

En el ejemplo mostrado, el actuador neumático 1A cuenta con sensores de posicionamiento que identifican el inicio y fin de carrera, a este actuador es posible que se le pueda desarrollar un algoritmo en el controlador más inteligente que al que se le puede desarrollar al actuador 2A.

Si ambos actuadores van a desarrollar la función de prensado en un equipo industrial y esta función es el resultado de un tiempo preestablecido, el actuador neumático que va a tener un mejor control es 1A ya que cuenta con detección de fin de carrera por medio del sensor LS2; en ese momento se activaría el temporizador. Lo contrario sucede con el actuador 2A en el cual no existe un punto de referencia para iniciar la función tiempo para aplicar la presión. Esta sencilla comparación deja en claro lo importante que es la aplicación de los sensores en los sistemas automáticos.

Hoy en día los avances tecnológicos facilitan la existencia de sensores con mayor capacidad de procesamiento de datos. Con esto se ayuda a mejorar el funcionamiento de los procesos al proporcionarle más información del comportamiento del proceso al sistema que aloja a la lógica de control, el cual normalmente es un PLC. Se puede mejorar la toma de decisiones en base al algoritmo de control que esté grabado previamente en el PLC y la información recibida desde los sensores, de esto depende el grado de dificultad de las acciones o decisiones que vaya a tomar el sistema automático.

El sensor es el dispositivo que adapta las variables físicas del proceso en señales eléctricas para que los sistemas de control puedan interpretarlas, en algunos casos es posible que estos dispositivos sean conectados en forma directa sin requerir de ningún dispositivo adicional a las entradas del PLC, un sensor es considerado en la estructura de un sistema automático como el observador del proceso.

Los sensores se dividen en 2 principales grupos: sensores analógicos y sensores de proximidad del tipo discreto. Cada uno tiene su campo de aplicación en los sistemas automáticos. La aplicación de los sensores discretos es más sencilla comparada con los sensores del tipo analógico ya que éstos requieren un algoritmo de control más complicado. La Fig. 7-2 muestra cómo se agrupan los sensores de acuerdo al modo de operación.

Como primer punto se va a diferenciar la forma de funcionamiento de los dos grupos en que se dividen los sensores, también se diferenciará la aplicación de cada uno de ellos.

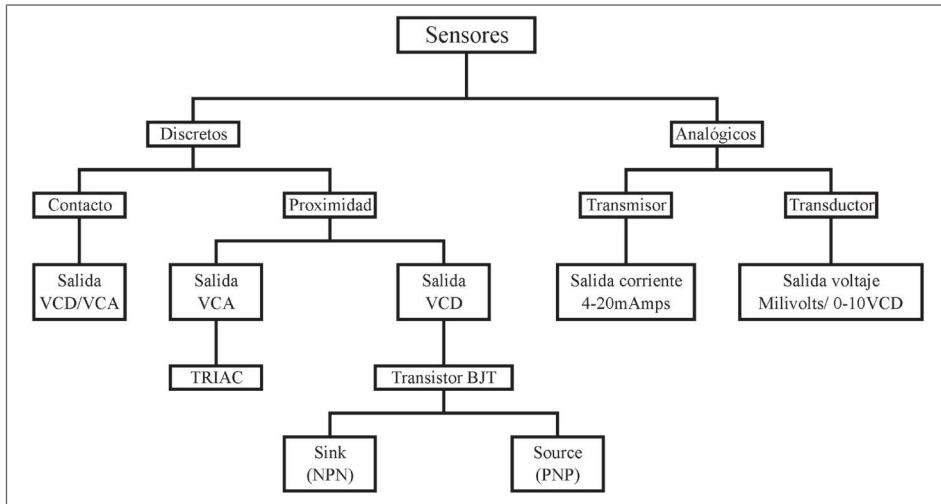


Fig. 7-2. Familia de sensores.

7.2 Transductores

Este tipo de sensores son utilizados para captar variables físicas con n valores de tal manera que proporcionan una señal analógica continua en el tiempo y puede ser voltaje en niveles de 0 a 10 VCD o en niveles de corriente de 4 a 20mA, esta señal analógica o forma de onda es equivalente a la variable física medida. Se muestra un ejemplo en la Fig. 7-3 en la que se mide la presión de un sistema hidráulico, el máximo valor que puede tener el sistema es de 1000psi. Si se aplica un sensor analógico de 0 a 10 VCD se tiene la respuesta mostrada en la salida del sensor, la presión se va a detectar en forma directa al estar el sensor en contacto con el aceite. Las gráficas son idénticas, solo tienen diferente variable de presión y voltaje.

Un transductor es un elemento o dispositivo que tiene la función de adaptar un tipo de energía a otro de tal manera que pueda ser interpretado por el sistema que aloja la lógica de control. En algunos casos el transductor suele incluir al sensor, en otros el sensor es conectado de forma separada.

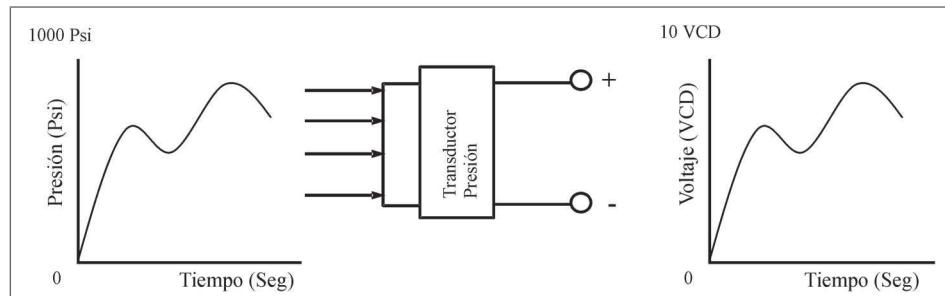


Fig. 7-3. Respuesta de un transductor de presión.

Hay una gran variedad de transductores, existen de desplazamiento o movimiento, velocidad, presión o fuerza, temperatura y luz, y pueden ser activos o pasivos. Los transductores pasivos no generan la señal eléctrica por sí mismos, se les tiene que aplicar un voltaje. Un ejemplo es un transductor de presión. Los transductores activos son aquellos que cuando detectan la variable a ser medida generan voltaje; un ejemplo es un termopar, al detectar temperatura genera inmediatamente el milivoltaje proporcional a la temperatura detectada.

Transductores de desplazamiento

Este tipo de transductores se divide en los siguientes cuatro grupos: medidores de grandes distancias, medidores de distancias cortas, pequeños desplazamientos y medidores de ángulos.

Medidores de grandes distancias

Los medidores de grandes distancias utilizan el principio del radar, el cual consiste en un sistema que mediante el uso de ondas electromagnéticas detecta la presencia y la distancia a la que se encuentran objetos que interceptan en su propagación. Por medio de una antena se emiten radiaciones electromagnéticas en una determinada dirección. Un receptor amplifica los ecos que recibe del objeto cuya distancia D se desea medir.

$$D = C \frac{\Delta t}{2}$$

Donde C es la velocidad de propagación de las ondas y Δt es el tiempo transcurrido desde que la onda es emitida hasta que se recibe. El radar se emplea en distancias mayores de 100 m, incluso más de 10 km.

Medidores de distancias cortas

En esta categoría están las aplicaciones de distancias de pocos metros y menores a un metro. El transductor más utilizado en esta aplicación es el potenciómetro

lineal con un porcentaje de +/- 1% de error, la respuesta de un potenciómetro lineal se muestra en la Fig. 7-4.

El potenciómetro normalmente es acoplado sobre un eje roscado, de tal manera que el movimiento determina la posición del elemento móvil cuya posición se requiere medir, la principal desventaja es el desgaste que produce el elemento móvil.

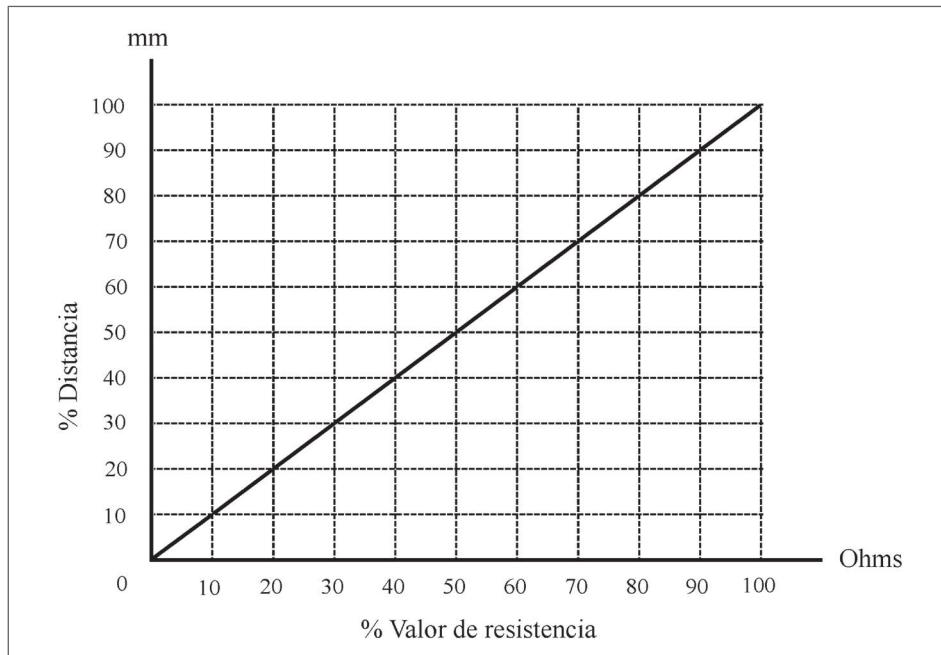


Fig. 7-4. Respuesta de un potenciómetro lineal.

Otro medidor de distancias cortas es el *encoder lineal* que está construido con una escala grabada en vidrio de bandas opacas y translúcidas alternadas. Los captadores de señal son de un tipo óptico, están alojados en el rotor que se desliza a través de la escala de vidrio y son los encargados de decodificar el código binario existente en la escala a señales eléctricas capaces de ser interpretadas por un controlador.

Existen dos tipos de encoders: los incrementales y los absolutos. Los primeros dan un determinado número de impulsos y requieren un contador para determinar la posición a partir de un origen de referencia y los segundos disponen de varias bandas en el rotor ordenadas de acuerdo a un código binario. La Fig. 7-5 muestra una banda graduada de un encoder incremental

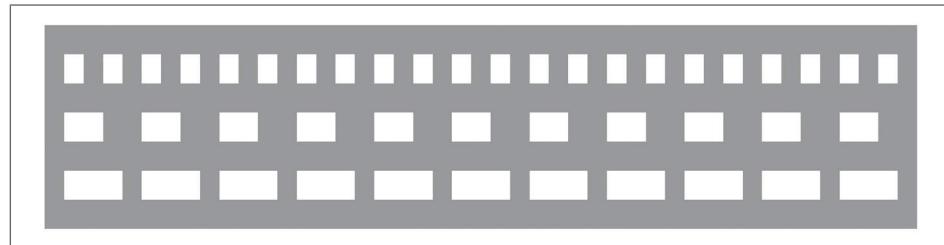


Fig.7-5. Banda de un encoder.

Medidores de pequeños desplazamientos

En este tipo de transductores existen los resistivos e inductivos. El más utilizado es el inductivo y el transductor que lo representa es el LVDT (Linear Variable Differential Transformer o Transformador Diferencial Variable Lineal). Éste es un dispositivo de sensado de posición que provee un voltaje de CA proporcional al desplazamiento de su núcleo que pasa a través de los arrollamientos. El LVDT provee una salida lineal para pequeños desplazamientos mientras el núcleo permanezca dentro del bobinado primario. La distancia está dada por la geometría del LVDT, ya que puede medir movimientos desde milésimas de pulgada hasta varias pulgadas. Este transductor es del tipo electromecánico, convierte el movimiento rectilíneo de un objeto, el cual está acoplado mecánicamente, en una señal eléctrica.

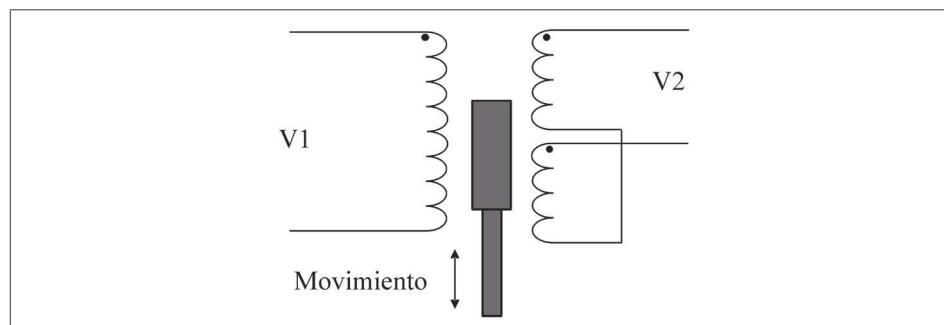


Fig 7-6. Devanados en un LVDT.

Transductores de presión o fuerza

Las galgas extensiométricas son sensores de deformación basados en la variación de la resistencia de un hilo conductor calibrado (Fig. 7-7) o resistencias construidas a base de pistas de semiconductor.

Se utilizan generalmente combinadas con muelles o piezas deformables para detectar en forma indirecta esfuerzos de tracción, tensión, compresión, etcétera.

La resistencia de las galgas de hilo está formada por un hilo en zigzag sobre un soporte elástico, con una orientación sobre la cual se encuentre la mayor longitud de hilo, el coeficiente de sensibilidad es muy pequeño y requieren de amplificadores de alta sensibilidad.

En las galgas del tipo semiconductor la variación de resistencia se produce simultáneamente por el efecto de alargamiento y estrechamiento de una pista de semiconductor y por el efecto piezoelectrónico, el cual consiste en una variación de la resistividad por la deformación del semiconductor.

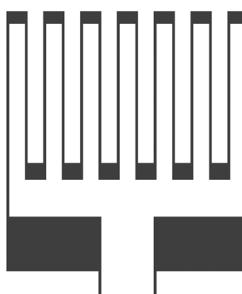


Fig. 7-7. Galga extensiométrica.

Transductores de velocidad

El comportamiento de estos transductores depende en gran medida del acoplamiento de ejes entre la parte móvil y el transductor, que debe ser flexible, pero sin tener holgura, ya que ésta influye de manera muy negativa en la estabilidad de los sistemas de lazo cerrado.

Estos transductores pertenecen a dos de los siguientes tipos: analógicos y digitales.

Dentro de los transductores analógicos se encuentra una dinamo tacométrica, un sincro y el resolver; dentro de los digitales se encuentra el encoder.

La *dinamo tacométrica* es en esencia un generador de corriente continua de imanes permanentes en el campo, el voltaje generado al girar el rotor es estrictamente proporcional a la velocidad angular de giro, la detección de giro es dada por la polaridad del voltaje generado.

El *sincro* es un transductor de posición angular y de velocidad del tipo electromagnético, el principio de funcionamiento se puede resumir diciendo que se trata de un transformador con uno de sus devanados rotativo. Existen diferentes tipos de sincros, dependiendo del número de devanados, pero las configuraciones más frecuentes son: primario alojado en el estator (monofásico) y el secundario alojado en el estator (trifásico). El principio de operación consiste en aplicar una tensión senoidal V_1 al devanado primario, se recogen en los devanados secundarios de cada una de

las fases tres tensiones e_1 , e_2 y e_3 (Fig. 7-8), cuya amplitud y fase con respecto a la tensión de primario depende de la posición angular del rotor.

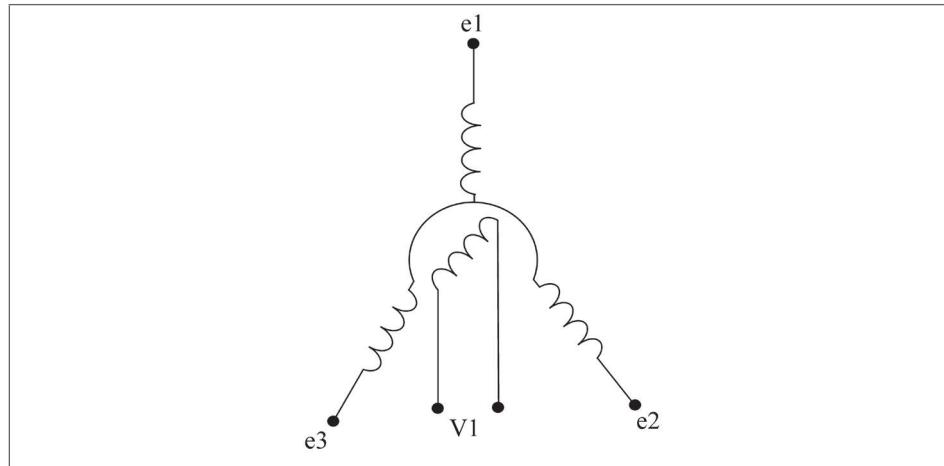


Fig. 7-8. Diagrama de un sincro.

El resolver es un sincro con una configuración particular: primario alojado en el estator y generalmente bifásico y el secundario alojado en el rotor monofásico o bifásico.

Los resolvers son sincros con la configuración diferente, los devanados del estator se alimentan generalmente en serie, lo que da un campo estacionario sobre un eje y los devanados del rotor se encargan de captar las tensiones

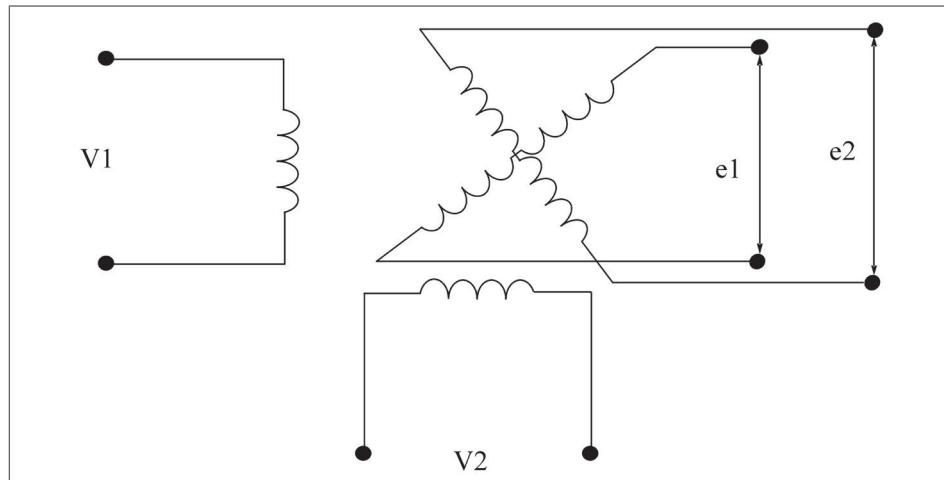


Fig. 7-9. Diagrama de un resolver

Transductores de temperatura

La temperatura es otra de las variables físicas a ser controladas en un proceso industrial, dependiendo del principio de funcionamiento se pueden distinguir en tres grupos:

01. *Termostatos* son interruptores que comutan a un cierto valor de temperatura con una cierta histéresis.
02. *Termorresistencias* son sensores pasivos del tipo analógico basados en el cambio de la resistividad eléctrica de algunos metales o semiconductores con la temperatura.
03. *Pirómetros de radiación* son sensores del tipo analógico, utilizables en general para altas temperaturas, están basados en la radiación térmica de los cuerpos calientes.

Los termostatos son sensores con salida tipo todo o nada, comutan a un cierto valor de temperatura. Los más simples están basados generalmente en la diferencia de dilatación de dos metales y los más sofisticados se suelen construir a base de un sensor del tipo analógico y uno o varios comparadores con histéresis. Los del tipo bimetálico se utilizan típicamente en sistemas de climatización y en algunas aplicaciones industriales como interruptores de protección de falla de ventilación.

Termopares

Son sensores activos del tipo analógico basados en el efecto Seebeck que consiste en la generación de una tensión eléctrica entre dos piezas de distintos metales unidas o soldadas por un extremo, cuando éste se calienta (unión caliente) y se mantienen los otros dos extremos a una temperatura inferior (unión fría). La fuerza electromotriz generada depende de la diferencia de temperaturas entre la unión fría y la unión caliente. Para ciertos materiales existe una relación bastante lineal entre la diferencia de la temperatura y la f.e.m, se deberán conectar los extremos fríos a conectores de cobre u otro metal y por el mismo efecto aparecerán unas f.e.m de contacto. La Tabla 7-1 muestra algunas de las uniones de metales y aleaciones más utilizadas en la construcción de los termopares, así como sus principales características.

Materiales	Tipo	Constante termoeléctrica	Rango de temperatura	Característica más relevante
Fe-Const	J	0.057mV/°C	0-600°C	Robustez
NiCr-Ni	K	0.041mV/°C	0-1000°C	Robustez
PtRh-Pt	R	0.012mV/°C	0-1600°C	Estabilidad
NiCr-Const	E	0.075mV/°C	0-600°C	Sensibilidad

Tabla. 7-1. Características de algunos termopares.

Termorresistencias

También llamados termistores, aprovechan la propiedad que experimentan los conductores de aumentar su resistencia eléctrica al aumentar la temperatura.

Se construyen sondas de temperatura, pero para ello se requiere un material cuyo coeficiente se mantenga relativamente constante y que dé una buena sensibilidad.

Los sensores NTC y PTC son esencialmente termorresistencias a base de semiconductor, suelen presentar coeficientes de sensibilidad mayores a los metales pero tienen pérdida en la linealidad.

Las PTC (Positive Temperature Coefficient) son resistencias construidas a base de óxidos de bario y titanio, muestran cambios bruscos de valor a partir de una cierta temperatura, precisamente esta temperatura de cambio es un parámetro característico de las PTC.

Las NTC (Negative Temperature Coefficient) son construidas a base de óxidos de hierro, cromo, cobalto, manganeso y níquel dopados con iones de titanio o litio. Debido al comportamiento poco lineal, se aplican básicamente en combinación con circuitos detectores de umbral como elementos todo o nada.

Pir metros de radiación

Medir temperatura con termopares y termorresistencias implica el contacto directo entre el transductor y el cuerpo cuya temperatura se desea medir. Sin embargo, este contacto resulta imposible si la temperatura a medir es superior al punto de fusión del material transductor o si el cuerpo caliente es muy pequeño y cambia su temperatura al efectuar la medida. En estos casos se pueden utilizar los pirómetros de radiación que miden la temperatura a partir de la radiación térmica que emiten los cuerpos calientes. La radiación emitida puede medirse en su totalidad o solo en una banda de frecuencias. Esto da como resultado dos tipos de pirómetros, de banda ancha o radiación y de banda estrecha o de brillo.

7.3 Sensores de comportamiento discreto

Estos sensores forman parte de la secuencia de un sistema automático. Su funcionamiento y manejo es sencillo si se comparan con los sensores analógicos. Incluso el programa de la secuencia suele ser más sencillo al aplicar a sensores del tipo discreto. Son sensores de todo o nada, por lo que las respuestas obtenidas son presencia o ausencia de objeto o de la variable a ser detectada, lo que da como respuesta un nivel lógico de "1" a la presencia y de "0" a la ausencia, como se muestra en la Fig. 7-10.

Este tipo de sensores está compuesto por dos grupos: sensores de contacto y sensores de no contacto, cada uno de ellos tiene su campo de aplicación.

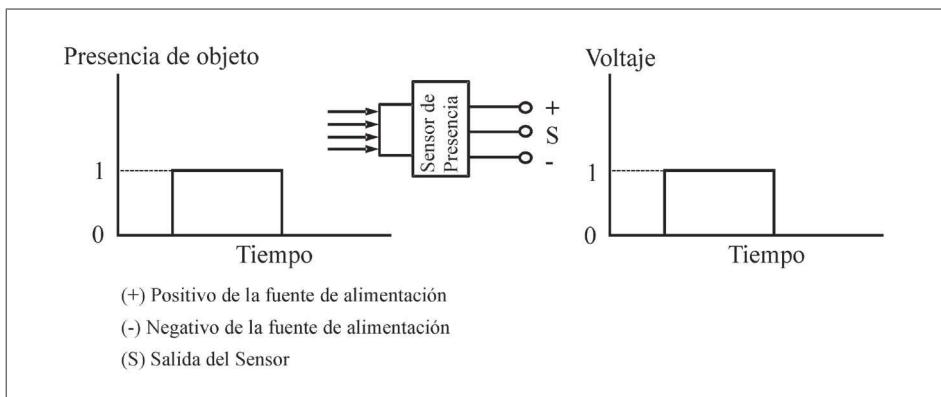


Fig. 7-10. Respuesta de un sensor del tipo discreto.

7.3.1 Sensores de objetos por contacto

Los interruptores de contacto son dispositivos electromecánicos o bimetálicos que detectan cambios a través del contacto físico directo con el objeto o variable a ser detectada. En ambos casos no se mide la variable, solo se detecta. Por lo regular este tipo de dispositivos son pasivos y robustos en su estructura mecánica de tal manera que aceptan un rango muy amplio de esfuerzos mecánicos.

Estos dispositivos son activados por esfuerzos mecánicos, debido a esto son robustos en su estructura mecánica, y presentan las siguientes ventajas: soportan altas corrientes, aceptan diferentes niveles de voltajes, aceptan voltajes de corriente alterna y de corriente directa, toleran variaciones en la línea de voltaje, su instalación no requiere conectores especiales y el diagnóstico de fallos es sencillo.

En la Fig. 7-11 se muestra la estructura de un interruptor, que es la siguiente:

- Accionador: es la parte del interruptor que va a estar en contacto con el objeto a ser detectado, existen varias presentaciones y se debe seleccionar la más adecuada a la aplicación.
- Cabeza: se encarga de aceptar el esfuerzo mecánico para mover un disyuntor interno.
- El bloque de contactos aloja físicamente al juego de contactos que normalmente son dos, un contacto normalmente abierto (N.A.) y uno normalmente cerrado (N.C.). En este bloque es donde se conecta eléctricamente el interruptor.
- El cuerpo del interruptor es el que le da robustez al dispositivo y es de donde se fija mecánicamente.

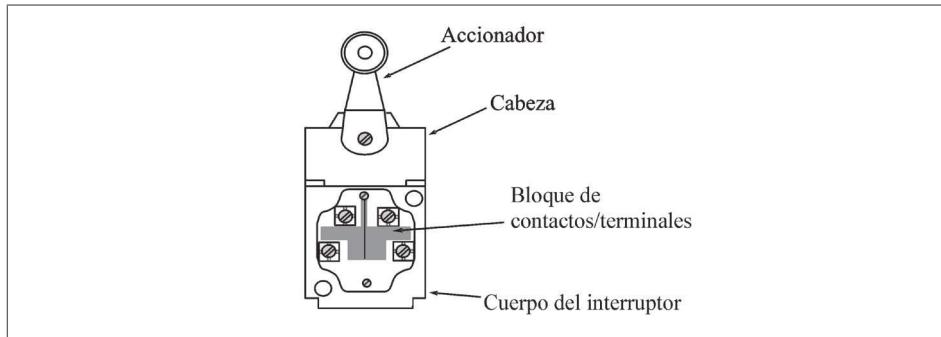


Fig. 7-11. Estructura de un interruptor de contacto.

La apertura y cierre de los contactos se realiza mediante la activación del disyuntor. Al aplicarle una fuerza externa éste es movido hasta alcanzar el desplazamiento completo del contacto móvil. Cuando esto sucede el estado lógico de los contactos cambia de tal manera que el contacto normalmente cerrado se abre y el contacto normalmente abierto se cierra. La Fig. 7-12 muestra cómo el disyuntor desplaza al contacto móvil para abrir y cerrar los contactos propios del interruptor.

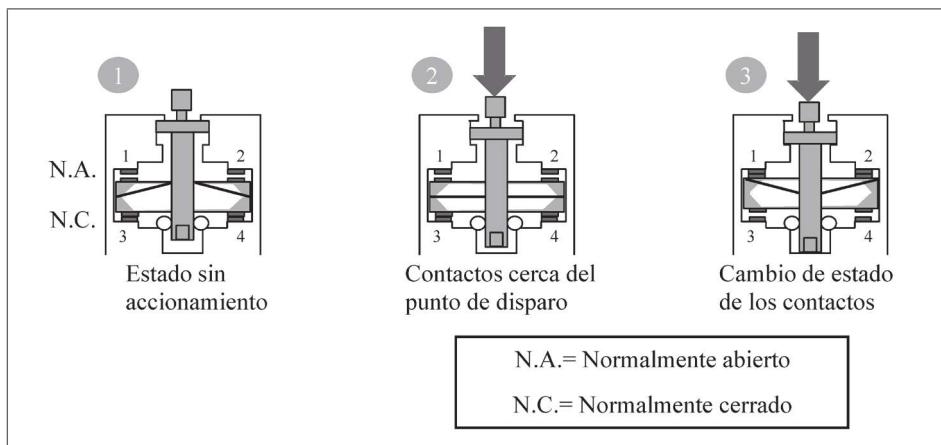


Fig. 7-12. Desplazamiento del disyuntor y cambio de estado de los contactos.

Aplicaciones

La aplicación más común es como dispositivo de fin de carrera y está limitada a que se pueda tener contacto físico con el objeto a ser detectado. Los interruptores de seguridad ofrecen resistencia a posibles interpolaciones y contactos de apertura directa, lo cual permite utilizarlos como protectores de máquinas y paros de emergencia de guardas de seguridad.

Una de las aplicaciones de este dispositivo es de seguridad redundante en movimiento de puertas o guardas de seguridad de máquinas industriales. La protección que brindan es la interrupción del ciclo de la máquina al momento de que el interruptor abre o cierra sus contactos; como ejemplo se muestra la guarda de una máquina con doble interruptor donde el LS2 en modo de protección debe estar activado y el LS1 debe estar desactivado, en modo de guarda abierta se intercambian las funciones.

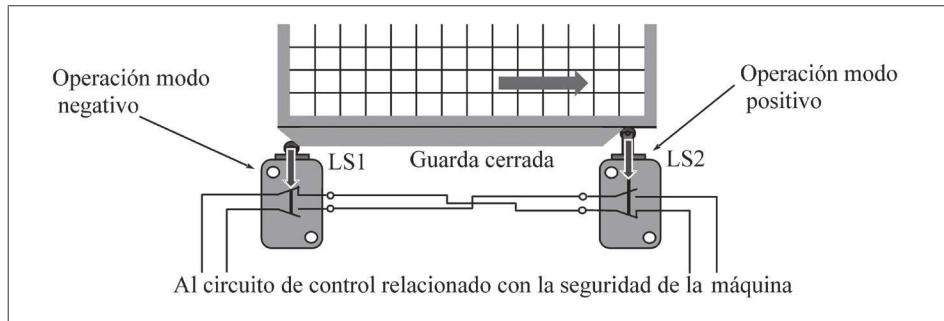


Fig. 7-13. Protección de guarda de seguridad.

En la Fig. 7-13 se muestran dos interruptores, LS1 y LS2, colocados en los extremos de la puerta de seguridad. Ambos detectan puerta abierta o cerrada y deben estar conectados al circuito de control normalmente en conexión serie y conectados principalmente con los dispositivos de paro de equipo. Si esta puerta de seguridad es parte de una máquina que utiliza hidráulica para mover sus cilindros, entonces al abrirse la puerta que está en operación se debe apagar la bomba e inhibir el ciclo, ya que ésta es la función de seguridad de la máquina. El siguiente circuito (Fig. 7-14) muestra la conexión de los dos dispositivos de seguridad conectados al sistema de paro del equipo donde se para al motor de la bomba hidráulica.

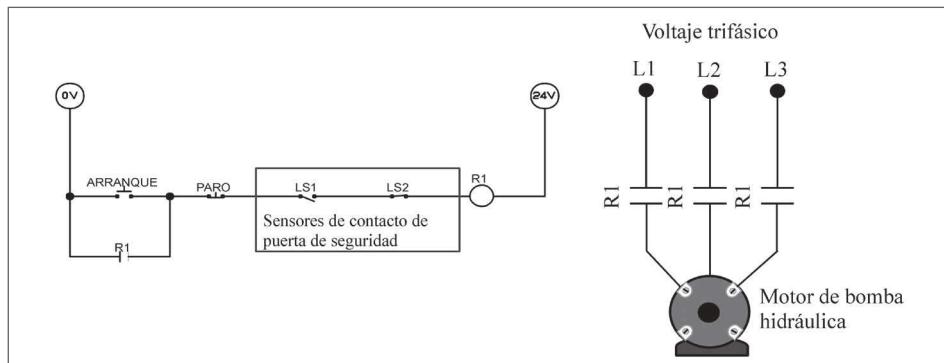


Fig. 7-14. Circuito de control de paro y arranque.

Otra aplicación es como dispositivo de seguridad en compuertas de alimentadores de material (Fig. 7-15). El interruptor LS1 detecta compuerta abierta y el interruptor LS2 cerrada. Además de mandar una señal al circuito de control para que

se ejecute una función se puede mandar una a un indicador luminoso que indique el estado de la compuerta, como se ve en la Fig. 7-15.

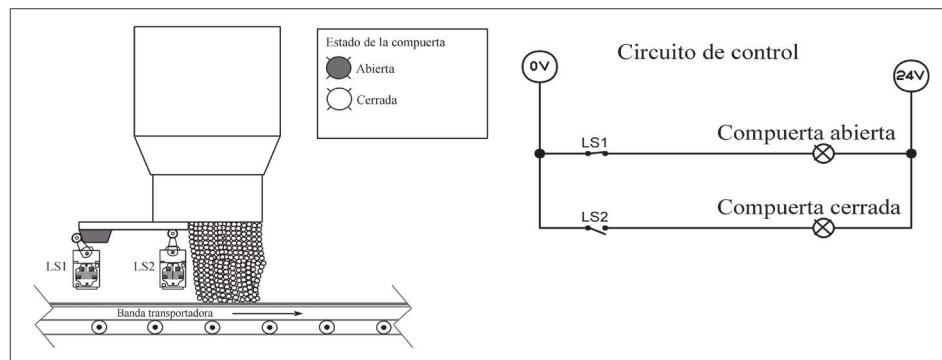


Fig. 7-15. Detectando el estado de una compuerta de material.

Existen ciertas ventajas y desventajas cuando se utilizan estos sensores de contacto también llamados interruptores de límite.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> Operación sencilla y visible Carcasa durable Elevada resistencia a condiciones ambientales Alta repetibilidad Alta capacidad en commutar cargas eléctricas Operación sencilla basada en las características de contactos NA y/o NC. 	<ul style="list-style-type: none"> Vida de los contactos más breve que los sensores de estado sólido Desgaste en los componentes mecánicos móviles Límite de aplicación al detectar por contacto.

Sensores de variables físicas por contacto

La respuesta de un sensor que detecta presencia o ausencia de una variable física por contacto físico con la variable es abrir o cerrar un circuito. En este tipo de sensores la activación se realiza dentro de un rango de operación de la variable que en algunos sensores puede ser ajustado, en otros ya viene definido de fábrica.

Termostato

Este tipo de sensores son del tipo discreto y su operación está basada en la diferencia de temperatura de dilatación de 2 metales. El termostato del tipo bimetálico y su símbolo eléctrico se muestran en la Fig. 7-16, este tipo de sensores tiene aplicaciones muy variadas desde proteger motores, compresores de sistemas de re-

frigeración, sistemas de calefacción, un ejemplo muy común esta en el encendido del abanico del radiador de un automóvil hasta como protección de máxima temperatura en un horno de curado de pintura.

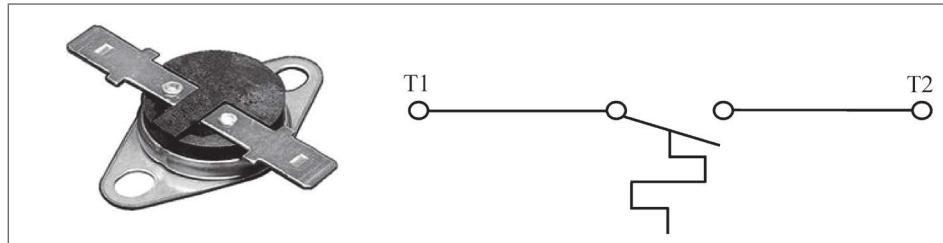


Fig. 7-16. Termostato del tipo bimetálico.

Presostato

El sensor de presión por contacto o presostato maneja un rango ajustable (Fig. 7-17). Su aplicación más común es en los sistemas de aire comprimido como controlador del encendido y apagado del compresor, se puede ajustar la mínima y máxima presión del sistema y un ejemplo es que el compresor pare al llegar a 120psi y arranque el compresor al bajar la presión del sistema hasta 80psi.

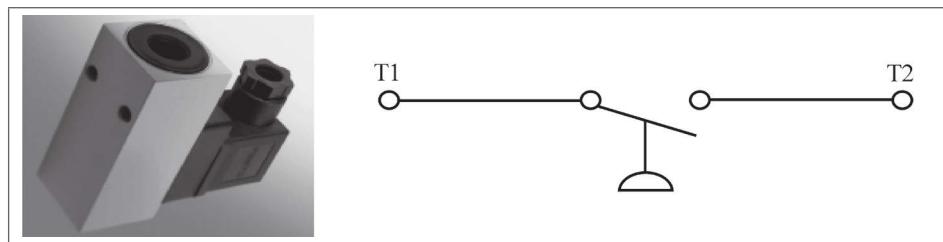


Fig. 7-17. Interruptor de presión marca FESTO y símbolo eléctrico.

Al graficar la respuesta de un interruptor de presión con una presión máxima de 120psi y una mínima de 80psi en el arranque, la gráfica de la Fig. 7-18 muestra un tiempo t_1 requerido para alcanzar la presión desde 0psi hasta 120psi. Cuando se consume el aire que está en el tanque acumulador, la presión tiende a caer. La rapidez va a depender de la carga neumática que tenga el sistema; para esto se requiere un tiempo t_2 . El rango de operación del presostato que se muestra en la gráfica es de 40psi, con una presión mínima de 80psi y una máxima de 120psi.

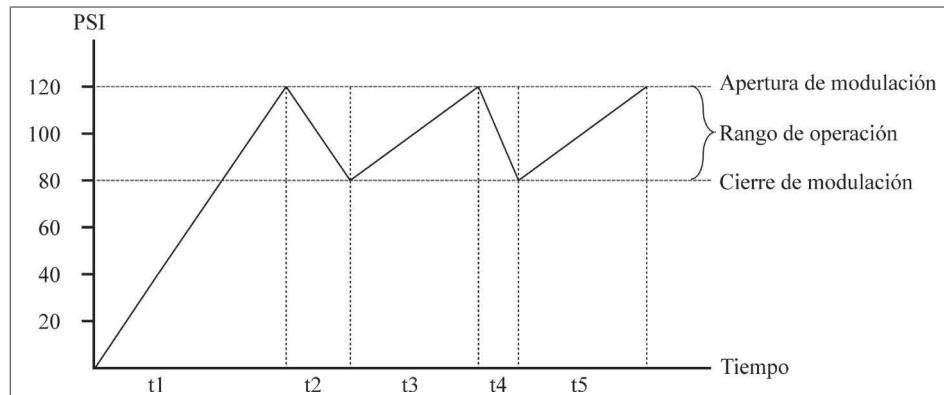


Fig. 7-18. Respuesta de un presostato.

Dentro de este tipo de sensores se encuentra el vacuostato, su característica es detectar presiones por debajo de la presión atmosférica, por lo que es utilizado como sensor de vacío en sistemas neumáticos con esta característica física.

7.3.2 Sensores de proximidad del tipo discretos

Los sensores de proximidad se caracterizan por no tener contacto con el objeto a ser detectado, operan generando un campo de energía o haz luminoso que depende de la característica de operación del sensor. El estado de su salida cambia ante variaciones o cambios en el campo o en el haz luminoso provocados por la interferencia de objetos, lo que da como resultado la detección a distancia de objetos.

La mayoría de los sensores de proximidad cuentan con salida de estado sólido y son a base de transistor, transistor efecto de campo, Triac y salida analógica; cada uno tiene su campo de aplicación. El del sensor con salida a Triac está en los sistemas donde el control o PLC tiene entradas de corriente alterna y el de salida a transistor se encuentra en los sistemas de voltaje de corriente continua.

La estructura de los sensores que se muestra en la Fig. 7-19 está constituida específicamente por el dispositivo que genera la señal de acuerdo al tipo de sensor, posterior a esto hay un convertidor de señal que se encarga de acoplar eléctricamente la señal que se manda a un amplificador para poder manejar los niveles de voltaje y corriente que puedan excitar al dispositivo electrónico de salida. La siguiente figura muestra en forma general la estructura de los sensores del tipo discreto.

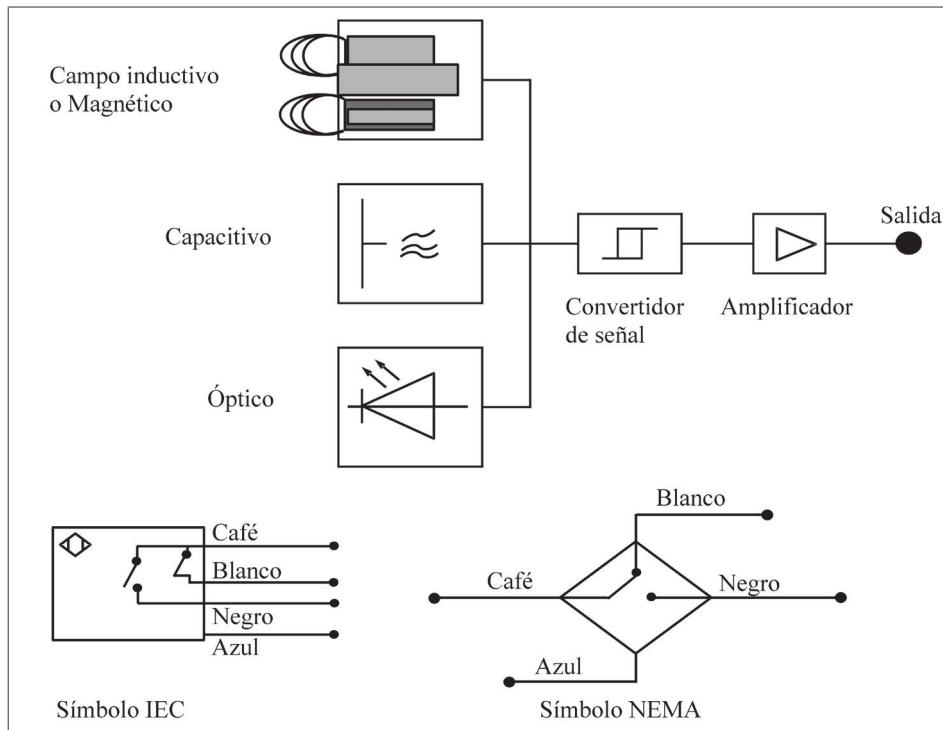


Fig. 7-19. Estructura de sensores discretos y símbolos IEC y ANSI.

Características y especificaciones de los sensores discretos

Cuando se especifica un sensor es importante comprender algunos términos comunes asociados con éstos. Además cabe mencionar que los términos varían entre los fabricantes, sin embargo los conceptos generales son los mismos.

Distancia de detección

Cuando se selecciona un sensor hay que tomar en cuenta la distancia en que se encuentra el objeto a ser detectado, para esto se deben conocer dos distancias: la distancia nominal y la distancia de detección efectiva de trabajo.

La distancia de detección nominal (Fig. 7-20) corresponde a la distancia de operación para la que fue diseñado el sensor y se obtiene mediante criterios estandarizados en condiciones normales.

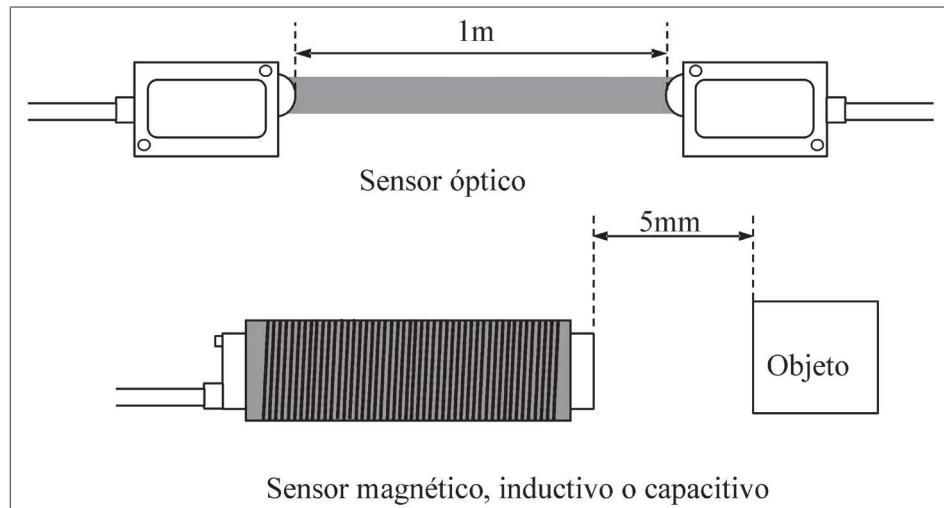


Fig. 7-20. Distancias nominales de sensores.

La distancia de detección efectiva de trabajo corresponde a la distancia de detección inicial, o de fábrica, del sensor que se logra en una aplicación estándar. Esta distancia se encuentra ubicada entre la distancia de detección nominal y la peor distancia de detección posible. Para esto influyen algunos factores, como la geometría, las características del acabado, en algunos casos los materiales de construcción del objeto a ser detectado y en otros influye también el ambiente de aplicación, de tal manera que se puede tener una distancia de detección efectiva de acuerdo al objeto. Si se utiliza el mismo sensor, para un objeto se tiene una distancia con una geometría y para otro, con geometría diferente, esta distancia puede ser mayor.

Factor de reducción

El factor de reducción registra la disminución de la distancia de operación y depende del tipo de material y el ambiente de trabajo en el cual el sensor esté operando. Este factor es una relación entre la distancia nominal y la distancia real que tiene el sensor en la aplicación.

$$R = \frac{S}{S_{nom}}$$

Histeresis

Al diferencial de operación se le llama histeresis (Fig. 7-21) y es la diferencia entre los puntos de operación de encendido y apagado del sensor, y sucede cuando se aleja el objeto de la cara del sensor. Esto se puede expresar como un porcen-

taje en la disminución de la distancia de detección. Sin una histéresis el sensor de proximidad se conecta y desconecta continuamente, lo que da como resultado la apariencia de un sistema oscilatorio difícil de controlar.

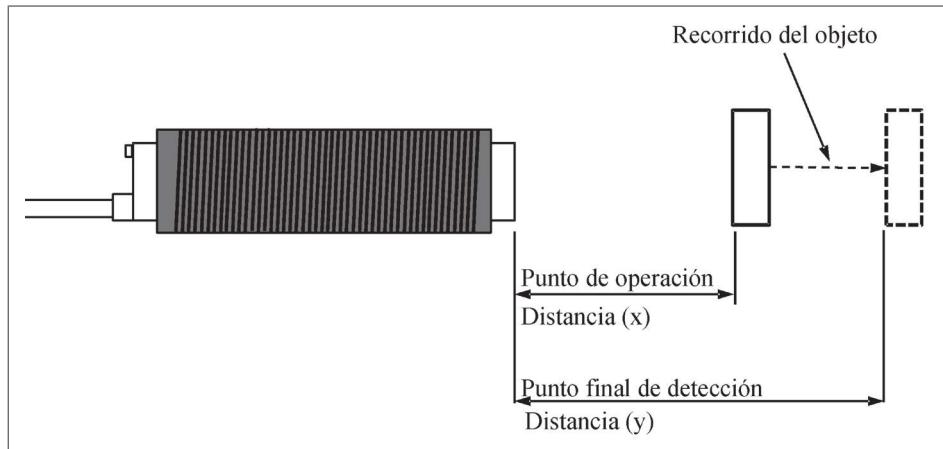


Fig. 7-21. Relación de la histéresis en un sensor.

Esta histéresis es representada por el siguiente porcentaje de operación:

$$\% \text{ diferencial} = \frac{\text{Distancia } y - \text{Distancia } x}{\text{Distancia } x}$$

Repetibilidad

La repetibilidad es la capacidad de un sensor de detectar el mismo objeto a la misma distancia todo el tiempo. Esta cifra se expresa como porcentaje de la distancia de detección nominal y se basa en datos obtenidos en un ambiente de operación controlada, donde la temperatura ambiente, el voltaje de alimentación y la carga conectada al sensor se mantienen constantes. Esta característica se puede representar por un porcentaje de distancia que se muestra en la Fig. 7-22.

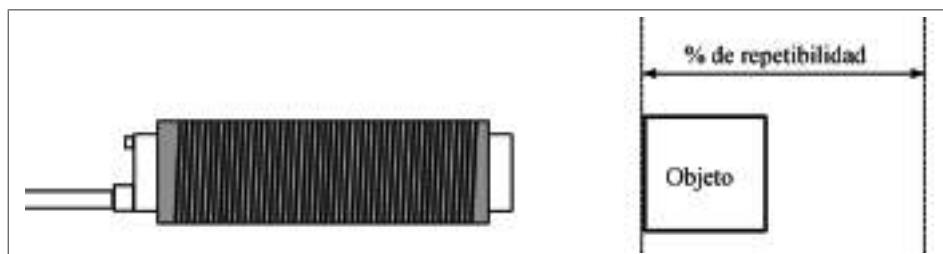


Fig. 7-22. Relación de repetibilidad en un sensor.

Frecuencia de conmutación

La frecuencia de conmutación corresponde a la cantidad de conmutaciones por segundo que se pueden alcanzar en condiciones normales y es la máxima frecuencia de conmutación en la salida a la que puede operar un sensor si mantiene todos los parámetros bajo especificación. En algunos sensores esta característica aparece en cantidad de operaciones por hora, en otros dispositivos está en hertz y en algunos otros está en cantidad de palabras por segundo.

La Fig. 7-23 muestra un sensor de proximidad del tipo inductivo que detecta el paso de una rueda dentada girando éste a una velocidad determinada. Esto da como resultado una cierta frecuencia de interrupción y el sensor debe ser capaz de detectar esta frecuencia.

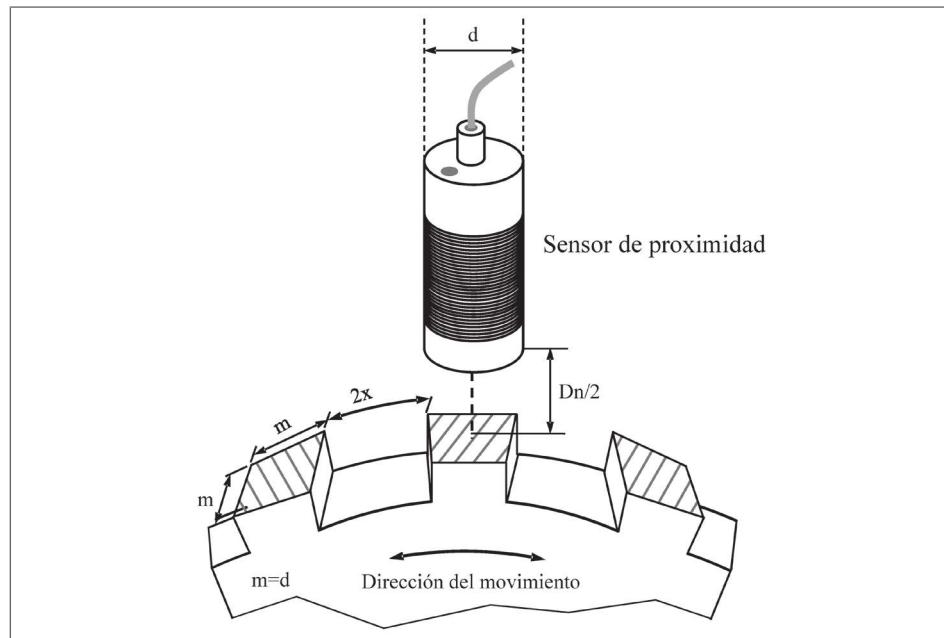


Fig. 7-23. Sensor sometido a una frecuencia en la respuesta.

Tiempo de respuesta

El tiempo de respuesta de un sensor corresponde al tiempo que transcurre entre la detección de un objeto y el cambio de estado del dispositivo de salida, el tiempo que transcurre de pasar de un estado de apagado a un estado de encendido y viceversa. También es el tiempo que el dispositivo de salida tarda en cambiar de estado cuando el sensor ya no detecta el objeto.

El tiempo de respuesta necesario para una aplicación específica se establece en función del tamaño del objeto y la velocidad a la que éste pasa ante el sensor.

Características eléctricas

Los sensores de proximidad cuentan con características eléctricas de operación que se van a tomar en consideración al conectarles una carga o simplemente al conectarlos a un sistema con PLC y éstas definen la aplicación del sensor.

Voltaje de operación

Es el valor mínimo y máximo del voltaje de alimentación. El voltaje de salida del sensor es igual al voltaje de alimentación si se le resta una caída de voltaje, la cual puede ser desde 5 volts hasta 1 volt.

Corriente en estado de operación

Es la máxima corriente que va a suministrar el sensor en operación continua. En base a esta corriente se debe calcular la potencia de la carga a ser conectada al sensor. En algunas ocasiones se conecta un relevador para poder obtener una función negada o simplemente se conecta como interfase para poder manejar corrientes o niveles de voltaje mayores a los que puede manejar el sensor en forma directa.

Corriente en estado de apagado

Es la corriente que fluye a través de la propia carga conectada al sensor. Cuando el sensor de proximidad está en estado de apagado, también se lo puede considerar como la corriente de fuga del sensor. Cuando se selecciona una carga se debe considerar este parámetro ya que se puede dar el caso de que esta corriente alcance a excitar la carga y se tengan habilitaciones del sensor en falso.

Corriente sin carga

Es la corriente requerida por la electrónica que constituye al sensor de proximidad, es la mínima corriente requerida para excitar al sensor de proximidad.

Corriente de cortocircuito

Ésta es la máxima corriente que puede soportar el dispositivo de salida por un período de tiempo muy corto en estado de encendido sin dañar al sensor. Al sobrepasar esta corriente y el tiempo, el sensor se daña y pueden suceder dos situaciones: que se quede en corto la salida del sensor o que se quede abierta.

Caída de voltaje

Es la diferencia de voltaje entre el voltaje de la fuente de alimentación y el voltaje de salida. El primero es el voltaje que suministra la fuente; el segundo, el voltaje medido entre el cable de salida del sensor y el negativo de la fuente de alimentación cuando el sensor está en funcionamiento.

7.4 Sensores de detección magnética

Los sensores de campo magnético son sensores de proximidad que responden a la presencia de un campo magnético permanente. La distancia de operación es proporcional a la intensidad del campo magnético.

Este sensor presenta dos tipos de construcción: uno de estado sólido y el otro del tipo reed switch. El sensor del tipo estado sólido es fabricado con material semiconductor (Fig. 7-24), éstos generan una señal eléctrica cuando son sometidos a la influencia de campos magnéticos.

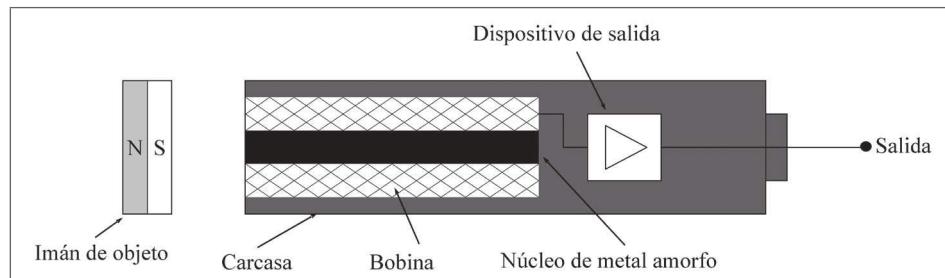


Fig. 7-24. Sensor magnético del tipo semiconductor.

El sensor del tipo reed switch consiste en un par de contactos ferrosos encerrados al vacío dentro de una cápsula sellada de vidrio (Fig. 7-25). Al acercarse a un campo magnético, los contactos del sensor se unen y cierran un circuito eléctrico. La rigidez de los contactos hará que se separen al desaparecer el campo magnético. Este sensor suele ser el más común en aplicaciones de electroneumática. Este es un sensor del tipo pasivo.

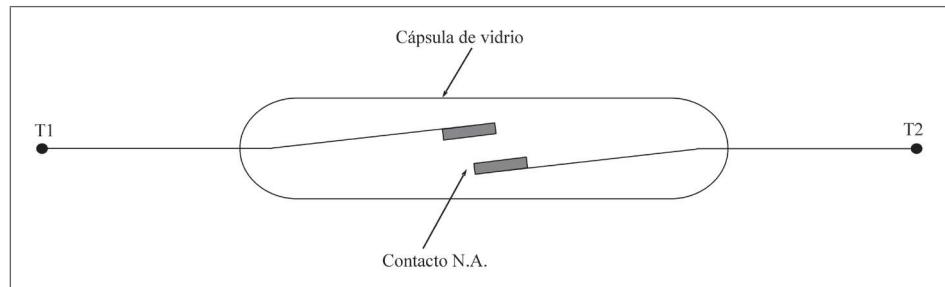


Fig. 7-25. Sensor magnético tipo reed switch.

Principio de funcionamiento

La curva de respuesta depende de la orientación de los imanes permanentes (Fig. 7-26). Al aproximarse un imán, el campo magnético externo se fortalece. Consecuentemente, disminuye la permeabilidad reversible del núcleo del cual depende la inductancia de una bobina y por lo tanto la inductancia de ésta se reduce. De esta manera la corriente aumenta a una tensión constante. Esta variación de corriente es la que utiliza el sensor para activar su salida de trabajo.

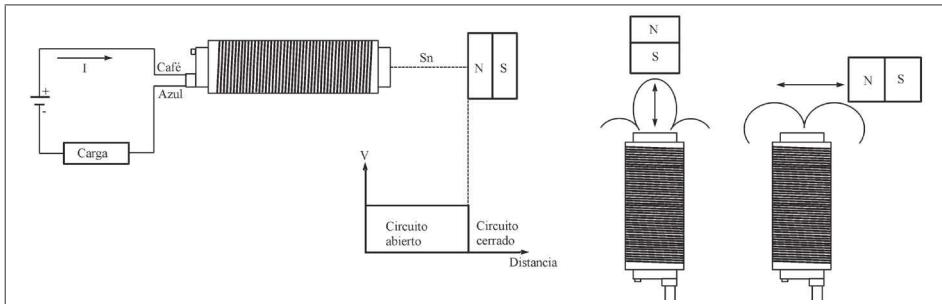


Fig. 7-26. Curva de respuesta de un sensor magnético.

Símbolo

Estos sensores son representados en un diagrama eléctrico con los símbolos presentados en la Fig. 7-27 y tiene tres posibles configuraciones: de dos, tres y cuatro hilos. Ambos se pueden utilizar en un diagrama de conexiones eléctricas, solo se tiene que respetar la polaridad al realizar la conexión eléctrica del sensor.

El estándar en la identificación de colores de los cables de sensores de corriente directa es la siguiente:

- Cable café, identifica el positivo de la fuente de alimentación aplicada al sensor.
- Cable azul, identifica el negativo de la fuente que alimenta al sensor.
- Cable negro, identifica la salida normalmente abierta (N.A.).
- Cable blanco, es utilizado para identificar la salida normalmente cerrada (N.C.).

En los sensores mostrados se identifican tres sensores con todas las posibles configuraciones que pueden tener

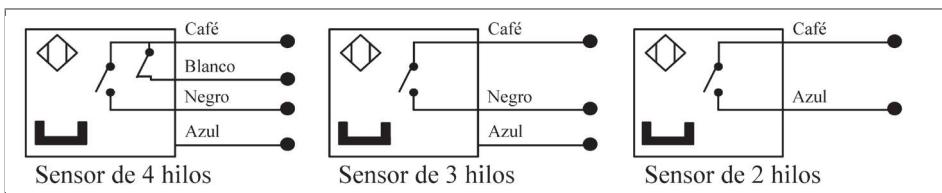


Fig. 7-27. Sensores inductivos con las tres posibles configuraciones.

Aplicación

La aplicación más común de los sensores magnéticos es en sistemas electromeumáticos y su función es detectar la posición del émbolo de los actuadores (Fig. 7-28) ayudado por la característica que tiene el campo magnético: poder pasar paredes. El émbolo contiene el imán y los sensores se fijan a la camisa del cilindro por la parte exterior. Cuando el émbolo se mueve y llega a la posición de los sensores, éstos cierran el circuito mandando una señal eléctrica la cual se utiliza como entrada a un controlador lógico programable. Otra aplicación es en maquinaria industrial para detectar guardas de seguridad abiertas, las cuales solo se deben abrir para el mantenimiento de la máquina, de tal manera que al abrirse la guarda se apaga la máquina.

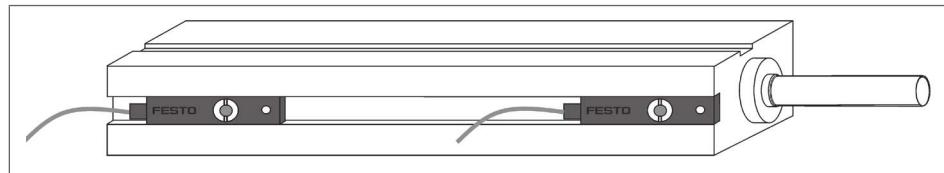


Fig. 7-28. Aplicación de sensores magnéticos en un actuador lineal.

Al aplicar este sensor en un sistema electromeumático éste forma parte del circuito de control eléctrico, como lo muestra la Fig. 7-29. El sensor magnético LS1 detecta el inicio de la carrera y el sensor LS2 detecta el fin de carrera del cilindro. Las señales de estos sensores pueden ir a un circuito secuencial para ser conectados al circuito de control o pueden ir a conectarse a las entradas de un controlador lógico programable

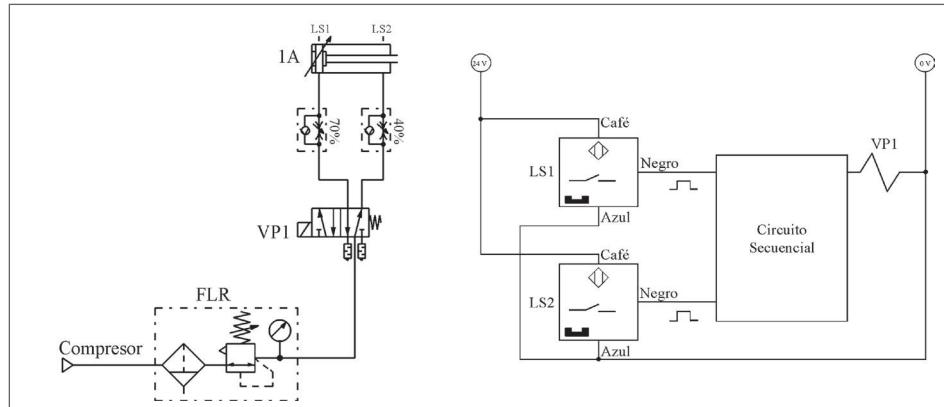


Fig. 7-29. Sensores magnéticos conectados en un sistema secuencial.

7.5 Sensores inductivos

Los sensores de proximidad inductivos son dispositivos de estado sólido diseñados para detectar objetos metálicos a distancia, reaccionan cuando se acerca este objeto sin establecer contacto directo con él. Una ventaja importante es inherente a ambientes muy sucios, donde su funcionamiento no se ve afectado por la acumulación de contaminantes tales como polvo, grasa, aceite u hollín en la cara sensora.

Estructura

La parte principal de este sensor es una bobina por la que fluye corriente alterna que genera un campo electromagnético y que a su vez es generada por un oscilador. Si un objeto metálico entra en el campo magnético, cambia la reacción de la bobina y por lo tanto también la amplitud de oscilación. Si se amplifica eléctricamente ese cambio, puede utilizarse como magnitud de medición. Debido al efecto de histéresis, la conmutación que se obtiene al mover el objeto hacia el sensor es diferente de aquella que se obtiene alejándolo de él.

Este sensor está compuesto por cuatro etapas principales (Fig. 7-30): etapa del circuito oscilador, etapa del circuito comparador, etapa de amplificación y etapa de conmutación.

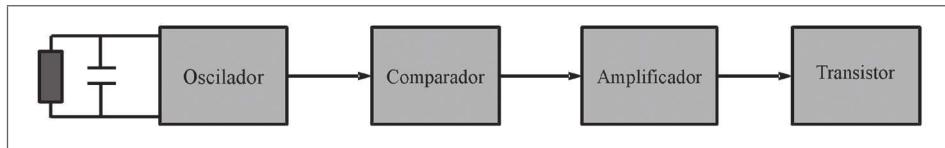


Fig. 7-30. Estructura de un sensor inductor.

Ventajas de este sensor debido a su comportamiento:

- Ausencia de desgaste mecánico y, por lo tanto, mayor duración.
- No se producen paros de máquina por causa de contactos sucios o dañados.
- Los contactos no vibran, por lo que no se producen errores de conmutación.
- Soportan altas frecuencias de conmutación.
- Son resistentes a vibraciones.
- Su diseño les permite tener una muy buena protección.
- Pueden montarse en distintas posiciones.

Principio de funcionamiento

Cuando se le aplica energía eléctrica al sensor, la etapa del oscilador inicia su función y consume una corriente constante y conocida, a una amplitud determinada. El campo electromagnético producido por la bobina del sensor se concentra por un anillo de ferrita. Ésta es la superficie activa del sensor o cara sensora.

Si en la proximidad de la superficie activa se encuentra un objeto metálico ferroso, en éste se inducen corrientes parásitas. La pérdida de energía lleva a una disminución de corriente en el circuito oscilador y por lo tanto su amplitud decrece. Esta variación en el oscilador es evaluada y como producto de la variación se genera una señal de comutación en el dispositivo de salida del sensor. La Fig. 7-31 muestra un sensor inductivo sin objeto a detectar y detectando un objeto.

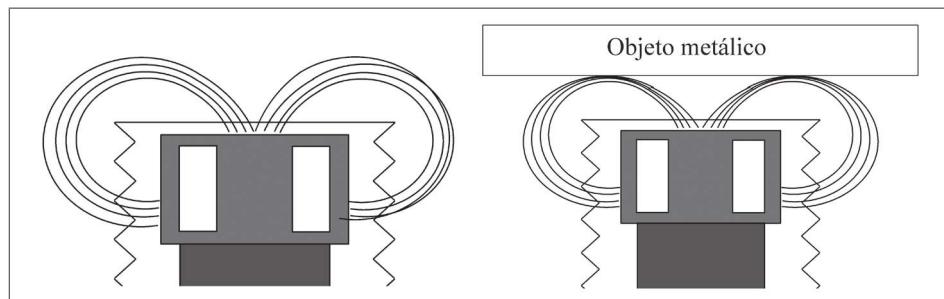


Fig. 7-31. Sensor inductivo en modo de espera y en operación.

Este sensor puede clasificarse básicamente en dos diseños: diseño blindado y diseño no blindado. La distancia de operación de un sensor de proximidad inductivo depende básicamente de dos principales características: del diámetro de la bobina de detección y del tipo de blindaje.

Diseño blindado

Los sensores blindados se fabrican con un anillo de blindaje alrededor del núcleo y la bobina. Este diseño es mostrado en la Fig. 7-32. Esto concentra el campo electromagnético frente a la cara del sensor. Físicamente estos sensores están cubiertos por una carcasa metálica que excluye la cara sensora. Este tipo de montaje es llamado *blindado* y también *enrazado*. La ventaja que muestra este tipo de construcción es que no existe interferencia mutua ya que dos sensores están a una distancia menor al diámetro de la cara de los sensores.

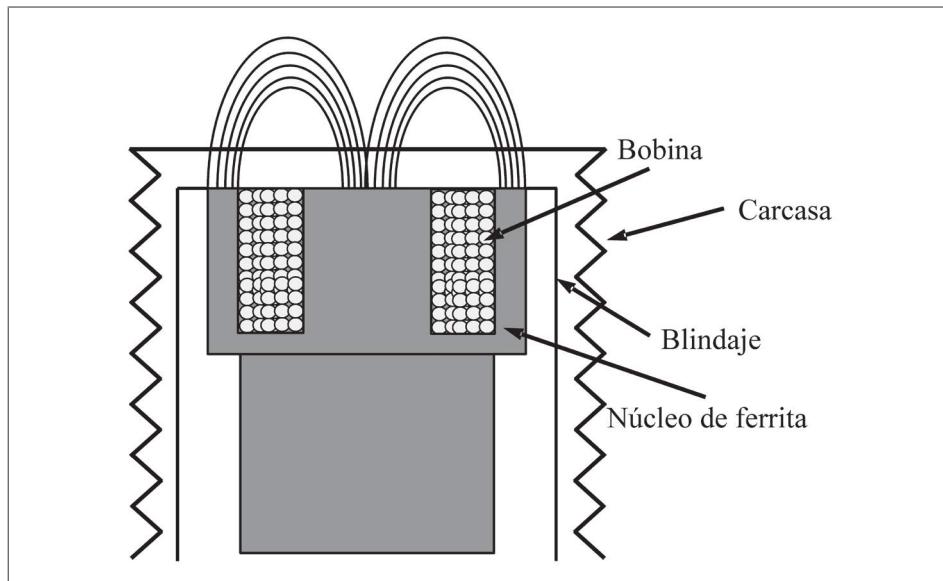


Fig. 7-32. Diseño blindado de un sensor inductor.

El diseño blindado permite montar el sensor en el metal que lo rodea de manera que quede al ras y que no cause una falsa activación (Fig. 7- 33). Su aplicación está dirigida a montajes en materiales ferrosos, son robustos a perturbaciones de campos magnéticos externos, lo que además facilita su aplicación en superficies completamente planas.

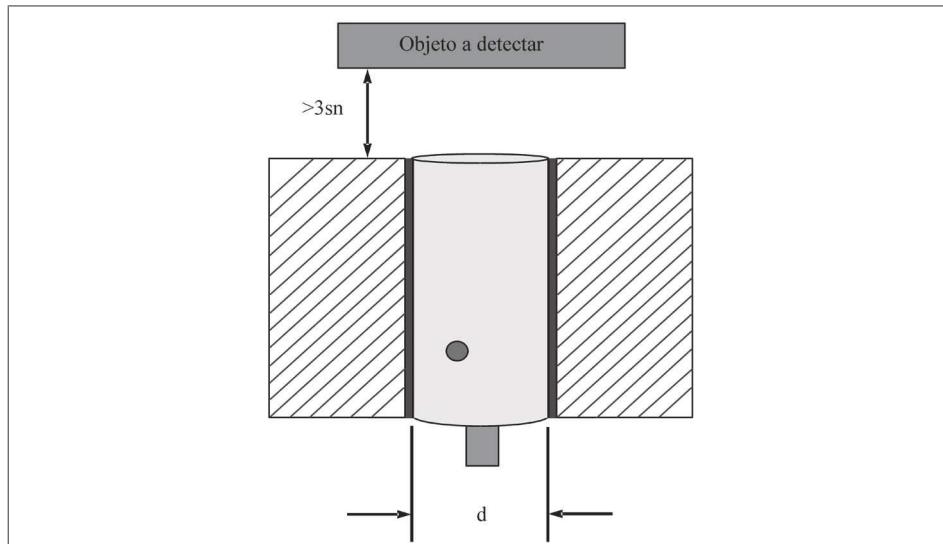


Fig. 7-33. Sensor inductor rasante.

Diseño no blindado

Los sensores no blindados en su fabricación no incluyen la banda metálica localizada alrededor del núcleo y la bobina que los sensores rasantes sí tienen. El campo electromagnético generado por un sensor no blindado no se concentra tanto frente a la cara del sensor como en un sensor blindado, lo que hace que éstos sean más sensibles a los metales que los rodean. Este tipo de diseño cuenta con un margen de detección de hasta un 50% más que el de un sensor blindado del mismo tamaño. Debido a este mayor margen, su aplicación va a objetos difíciles de detectar y que no pueden ser detectados por un sensor blindado (Fig. 7-34).

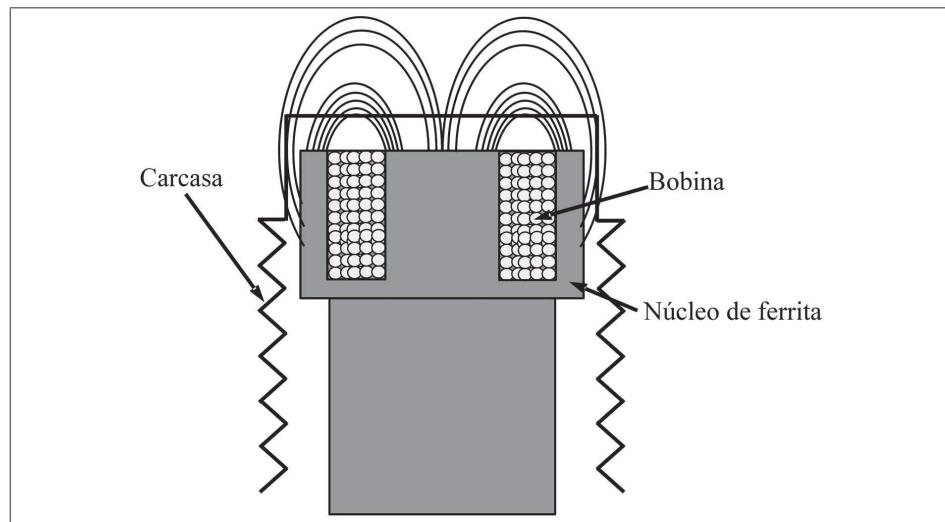


Fig. 7-34. Sensor inductivo no blindado (no rasante).

Los sensores no blindados no pueden embutirse en metal, lo que puede provocar falsos disparos. Estos sensores deben montarse con una zona no metálica alrededor de la cara de detección (Fig. 7-35). Su principal ventaja es que tienen un rango de sensado mayor que los sensores blindados, esto es aproximadamente 60%. El diámetro de la bobina de detección determina el espaciado entre los sensores. Los sensores no blindados deben colocarse más separados que los sensores blindados debido a que sus campos de detección se extienden lateralmente con respecto a la cara de detección y producen lecturas falsas si se superponen.

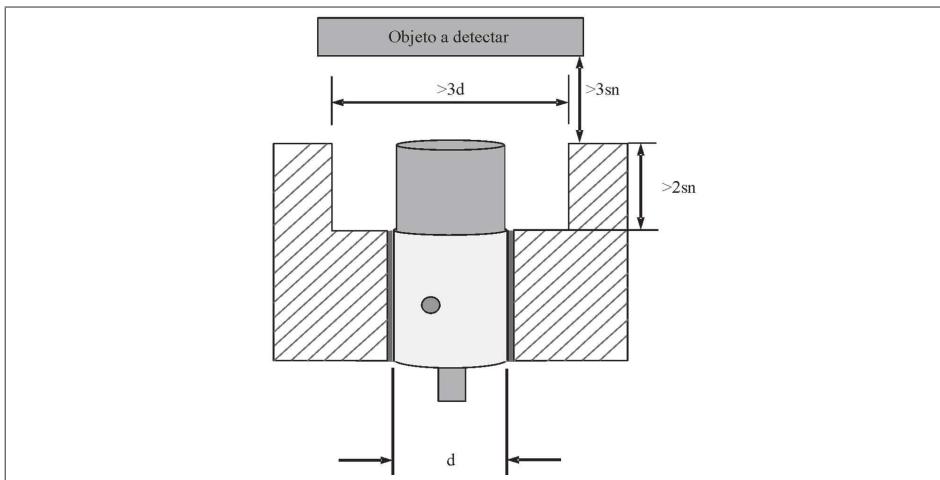


Fig. 7-35. Sensor no rasante.

La distancia entre el sensor y el área de montaje debe ser tres veces mayor al diámetro del sensor, esto con el fin de descartar una activación en falso del sensor. El sensor está apagado en forma segura cuando la distancia entre el objeto a detectar y la cara sensora corresponde a un mínimo de tres veces la distancia de operación nominal (Sn). La Fig. 7-36 muestra el esquemático de la distancia de sensado.

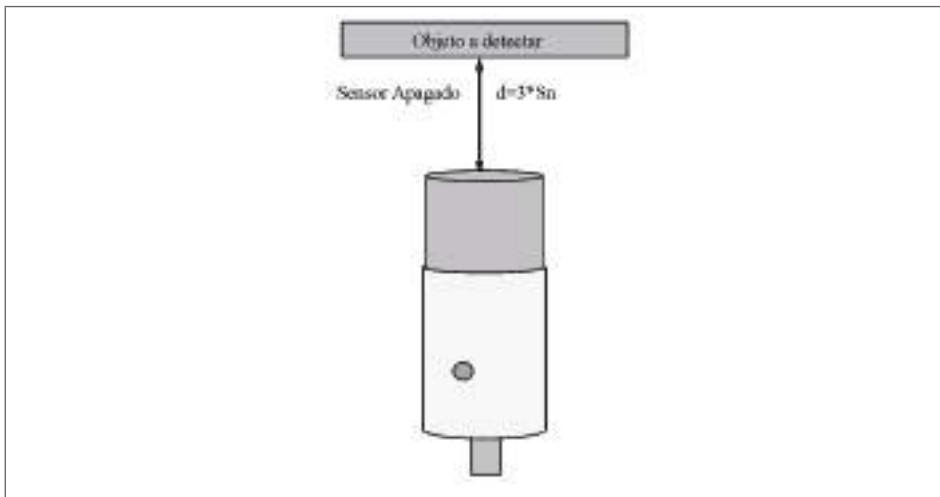


Fig. 7-36. Distancia de sensor apagado.

Factor de reducción

Es una disminución en la distancia de operación del sensor y esto es debido a la operación del sensor con un material diferente al estándar de diseño. Para el sensor inductivo se deben considerar los siguientes factores de reducción:

- Acero al carbón (1)
- Acero inoxidable (0.65 a 0.85)
- Bronce de 0.25 a 0.55
- Aluminio de 0.2 a 0.5
- Cobre 0.15 a 0.45

Estas reducciones deben ser consideradas al aplicar los sensores inductivos con cualquiera de los materiales no ferrosos.

Símbolo

El símbolo que representa un sensor inductivo en un diagrama eléctrico (Fig. 7-37) puede tener las tres posibles configuraciones: de dos, tres y cuatro hilos. Estos se pueden utilizar en un diagrama de conexiones eléctricas, solo se tiene que respetar la polarización de los cables especificada anteriormente.

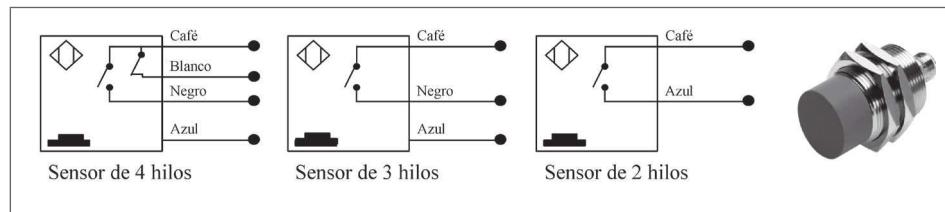


Fig. 7-37. Símbolo del sensor inductivo y sensor inductivo FESTO.

Aplicaciones

Este sensor es uno de los más utilizados en los sistemas automatizados, siempre se requiere detectar partes metálicas en movimiento. La Fig. 7-38 muestra dos sensores del tipo inductivo detectando la rotación de engrane.

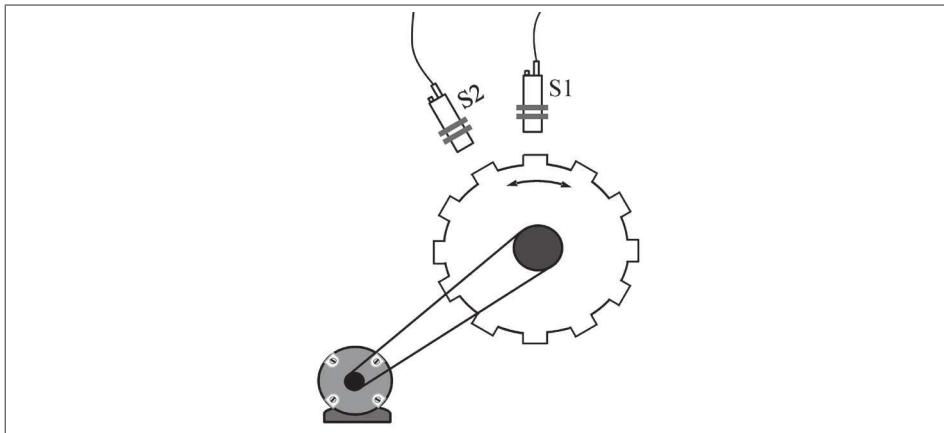


Fig. 7-38. Aplicación del sensor inductivo.

7.6 Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos detectan objetos metálicos y no metálicos, sólidos y líquidos, sin embargo es preferible utilizar sensores inductivos en las aplicaciones con objetos metálicos por su confiabilidad. Los sensores de proximidad capacitivos reaccionan a alteraciones en campos electrostáticos, bajo el principio de funcionamiento del capacitor, considerando que cualquier objeto en la naturaleza cuenta con una constante dieléctrica determinada.

La Fig. 7-39 muestra la estructura del sensor capacitivo y está compuesto por un electrodo sensor, un oscilador, un circuito de disparo, un amplificador y el dispositivo de salida.

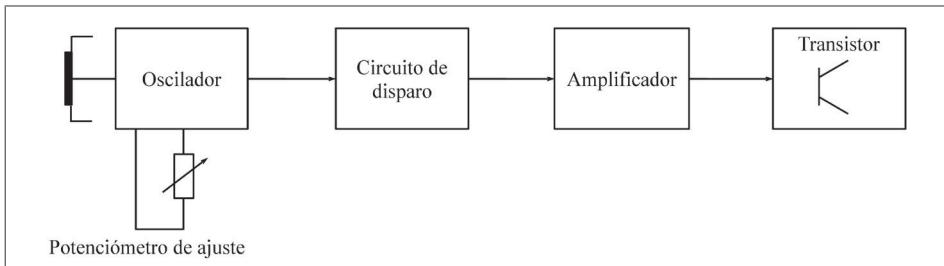


Fig. 7-39. Estructura de un sensor capacitivo.

Principio de operación

Al aplicar voltaje al sensor, se genera un campo electrostático que reacciona a los cambios de la capacitancia causados por la presencia de un objeto. Cuando el objeto se encuentra fuera del campo electrostático, el oscilador permanece inactivo, pero cuando el objeto se aproxima, se desarrolla un acoplamiento capacitivo entre éste y la sonda capacitiva. Cuando la capacitancia alcanza un límite especificado, el oscilador se activa, lo cual activa el circuito de disparo y genera una señal que es procesada por un amplificador y transferida a un dispositivo de salida que puede ser acoplado a un sistema basado en PLC o se le puede acoplar un relevador electromecánico como carga eléctrica.

La distancia de sensado depende principalmente de dos características: la primera es el tamaño del objeto a ser detectado y la segunda es la constante dieléctrica del objeto. Los objetos con constantes dieléctricas más altas son más fáciles de detectar que los que tienen valores más bajos.

Diseño blindado

Los sensores blindados cuentan con una banda de metal alrededor de la sonda. Esto ayuda a dirigir el campo electrostático hacia el frente del sensor, lo que permite un campo más concentrado. Al igual que los sensores inductivos, el diseño blindado permite embutir el sensor en el material circundante sin causar falsas activaciones.

Los sensores de proximidad capacitivos blindados (Fig. 7-40) son apropiados para la detección de materiales con constantes dieléctricas bajas (dificiles de detectar) debido a que sus campos electrostáticos son muy concentrados. Esto les permite detectar objetos que los sensores no blindados no pueden detectar.

Diseño no blindado

Los sensores no blindados no tienen una banda de metal alrededor de la sonda, por lo que su campo electrostático es menos concentrado. Algunos modelos no blindados cuentan con sondas de compensación para proporcionarle más estabilidad al sensor.

El campo electrostático de un sensor no blindado es menos concentrado que el de un modelo blindado. Esto hace que los sensores capacitivos no blindados sean ideales para detectar materiales con una constante dieléctrica alta (fáciles de detectar) o para diferenciar entre materiales con constantes bajas y altas.

Para ciertos objetos, los sensores de proximidad capacitivos no blindados tienen distancias de detección mayores que los modelos blindados. Los modelos no blindados equipados con una sonda de compensación pueden ignorar el polvo, el hollín, pequeñas cantidades de suciedad y pequeñas gotas de aceite o agua que se

acumulen sobre el sensor. La sonda de compensación también mejora la resistencia del sensor a las variaciones del nivel de humedad ambiental.

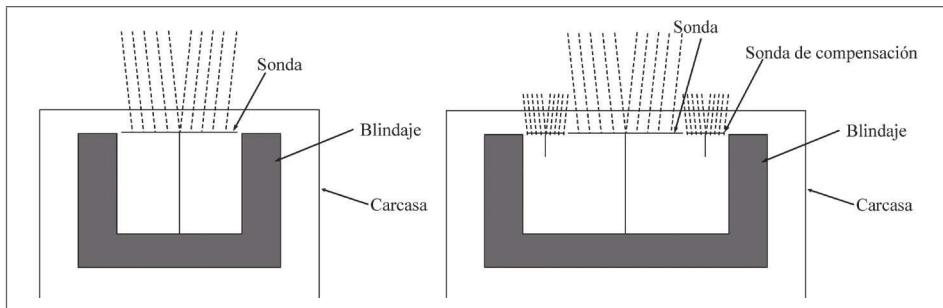


Fig. 7-40. Sensor blindado y no blindado.

Símbolo

El símbolo que representa un sensor capacitivo en un diagrama eléctrico es mostrado en la Fig. 7-41 y puede tener las tres posibles configuraciones: de dos, tres y cuatro hilos, y se pueden utilizar en un diagrama de conexiones eléctricas. Los colores de los cables se mantienen al estándar, que ya fue especificado anteriormente.

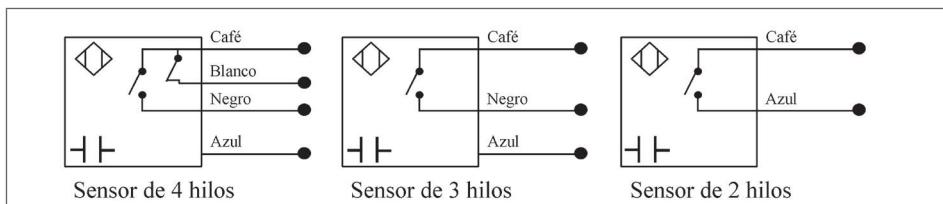


Fig. 7-41. Símbolo del sensor capacitivo.

Aplicaciones industriales

El sensor capacitivo se utiliza para sensados problemáticos, especialmente líquidos no conductivos o sólidos no metálicos. Si bien detectan sólidos y líquidos, su costo es superior al de los sensores inductivos, por lo tanto no se justifica aplicar un sensor capacitivo para detectar metales. Uno de los ejemplos más comunes es como detectores de nivel de sólidos o líquidos. La detección de nivel en una tolva (Fig. 7-42) puede realizarse a través de una ventana o mediante la incrustación en el material a ser detectado.

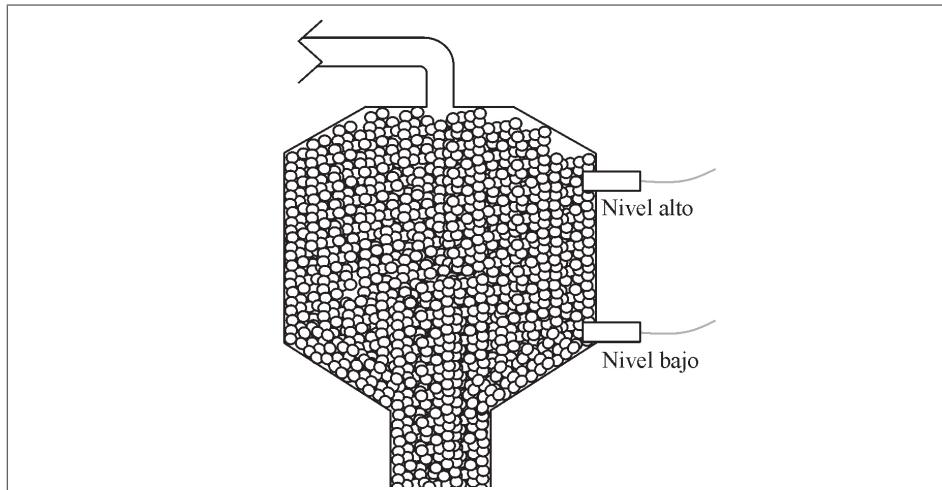


Fig. 7-42. Aplicación de detección nivel mediante sensores capacitivos.

Factor de reducción

El factor de reducción es directamente proporcional a la constante dieléctrica del material a ser detectado, para esto considere los siguientes valores:

- Todos los metales (1)
- Agua (1)
- Vidrio de 0.3 a 0.5
- Plástico de 0.3 a 0.6
- Cartón de 0.3 a 0.6
- Madera mojada de 0.2 a 0.7
- Aceite de 0.1 a 0.3

7.7 Sensores ópticos

Este tipo de sensores se basa en la capacidad que tienen algunos dispositivos de estado sólido de captar un haz luminoso del tipo infrarrojo y en algunos sensores más sofisticados el haz luminoso es del tipo laser. Estos dispositivos son fototransistores o fotodiodos. La razón por la cual se utilizan estas fuentes de luz es para evitar disparos en falso al detectar fuentes de luz localizadas alrededor del sensor.

Todos los sensores fotoeléctricos operan detectando un cambio en la cantidad de luz recibida por un fotodetector. El cambio de luz permite al sensor captar la presencia o ausencia del objeto así como su tamaño, reflectividad, opacidad, translucidez o color.

Estructura

En la Fig. 7-43 se muestra la estructura de un sensor óptico que está formada por una fuente y un detector de luz, un circuito lógico y un dispositivo de salida.

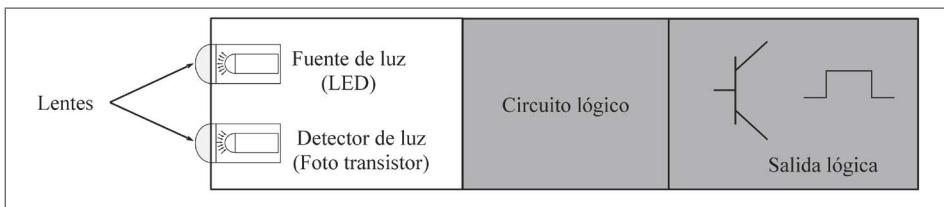


Fig. 7-43. Estructura de un sensor óptico.

Fuente de luz

La mayoría de los sensores fotoeléctricos utilizan un diodo emisor de luz (LED) como fuente de luz, estos dispositivos son semiconductores de estado sólido que emiten luz cuando se les aplica un voltaje y están diseñados para emitir longitudes de onda específica o colores de luz. En la mayoría de los sensores fotoeléctricos se utilizan LED infrarrojos o rojos, verdes y azules visibles. El LED y sus correspondientes circuitos reciben, en conjunto, el nombre de emisor.

Detector de luz

Componente que se utiliza para detectar la luz procedente de la fuente de luz. El detector de luz está compuesto por un fotodiodo o fototransistor, es un componente de estado sólido que proporciona un cambio en la corriente conducida dependiendo de la cantidad de luz detectada. Los detectores de luz son más sensibles a ciertas longitudes de onda de luz. La respuesta espectral de un detector de luz determina su sensibilidad a distintas longitudes de onda del espectro de luz. A menudo, para mejorar su eficacia de detección, el LED y el detector de luz están acoplados específicamente. El detector de luz y sus correspondientes circuitos reciben, en conjunto, el nombre de receptor.

Lentes

Generalmente, los LED emiten luz y los fotodetectores son sensibles a la luz en una amplia zona, para definir esta zona se utilizan lentes en el emisor y receptor. A medida que se estrecha la zona, el alcance del LED o de los fotodetectores aumenta. En consecuencia, las lentes aumentan la distancia de detección de los sensores fotoeléctricos.

Círculo lógico

El circuito lógico del sensor proporciona la electrónica necesaria para modular el LED, ampliar la señal del sensor y determinar si se debe activar la salida, es el encargado de acoplar al emisor y receptor y a la vez a ambos con el dispositivo de salida.

Salida

La salida de un sensor óptico del tipo discreto debe ser un dispositivo electrónico que sea activado por una de sus terminales y sea capaz de abrir o cerrar un circuito. Este tipo de sensores son de corriente alterna o corriente directa. En corriente directa el dispositivo de salida es el transistor bipolar y puede tener las dos posibles configuraciones: PNP o NPN. En sensores de corriente alterna el dispositivo es un Triac.

De acuerdo a la respuesta del sensor existen 2 tipos de operación:

01. Operación por incidencia de luz.
02. Operación por oscuridad.

Ambas se utilizan para describir la acción de la salida de un sensor cuando un objeto está presente o no.

01. Operación por luz: la salida se enciende o está activada (nivel lógico uno) cuando al receptor le incide suficiente luz proveniente de su propia fuente de luz, la salida de operación por luz está encendida cuando el objeto está presente y refleja luz desde la fuente hasta el receptor.
02. Operación por oscuridad: la salida está encendida (activada, nivel lógico "1") cuando al receptor no le llega nada de luz proveniente de la fuente de luz, propia del sensor. La salida de operación por oscuridad está encendida cuando no hay ningún objeto.

7.7.1 Tipos de sensores ópticos

De acuerdo a su modo de operación este tipo de sensores está dividido en tres grupos principales:

- Haz transmitido
- Retrorreflexivo
- Difuso

Sensor de haz transmitido

En este tipo de sensor la fuente de luz (emisor) y el receptor se encuentran en carcasa distintas. Las dos unidades se colocan una frente a la otra de manera que la luz del emisor ilumine directamente al receptor. El haz de luz generado por el emisor de la fotocelda es enviado en un eje común, en este punto la fotocelda está lista para realizar la detección. Cuando un objeto determinado corta el haz de luz, se realiza la detección (Fig. 7-44).

Los sensores de haz transmitido proporcionan las distancias de detección más largas y el mayor nivel de margen de operación, su respuesta no se ve afectada por interferencias electromagnéticas.

Dentro de este tipo de sensor está el tipo barrera que se utiliza comúnmente como guarda de seguridad en prensas abiertas donde no se tiene una protección física debido al espacio requerido para la manipulación de la materia prima.

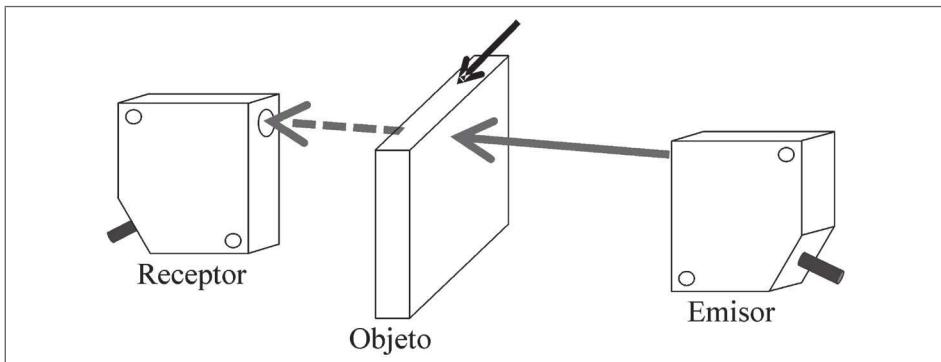


Fig. 7-44. Sensor del tipo haz transmitido.

Aplicación del sensor

En una banda transportadora se debe verificar que las cajas tengan 9 botellas (Fig. 7-45). Si le falta una o más de una debe ser rechazada la caja, en caso contrario se da paso a que el producto pueda ser empacado. En este caso se debe utilizar un sensor del tipo capacitivo que detecte las tapas de plástico de las botellas y el sensor óptico del tipo haz transmitido que detecte la presencia de la caja.

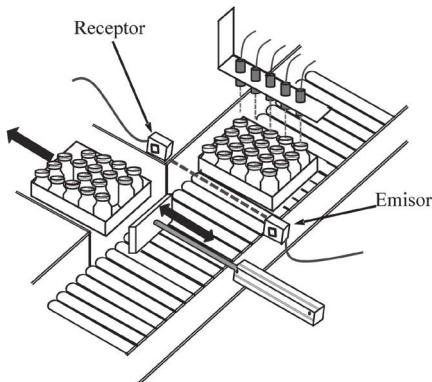


Fig. 7-45. Aplicación del sensor del tipo haz transmitido.

Sensor retrorreflexivo

En este tipo de sensores el emisor y el receptor de luz se encuentran en un solo encapsulado y necesita un reflector o cinta reflejante para detectar el objeto (Fig. 7-46). Esta cinta reflejante es requerida para que el sensor esté detectando siempre el haz de luz, al interrumpirse significa que un objeto se ha interpuesto entre el haz de luz y el reflejante, lo que indica que la salida del sensor va a pasar de un estado de apagado a un estado de encendido.

Es posible orientar el sensor y el reflector o cinta reflectante de manera tal que el objeto brillante refleje la luz alejándola del receptor; sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones con objetos brillantes la detección retrorreflexiva polarizada representa la solución más adecuada.

Los componentes básicos de las fotoceldas tipo retrorreflexivo son:

- Fotocelda
- Reflector

El haz de luz generado por el emisor de la fotocelda es regresado a ésta por el reflejante. En este punto la fotocelda está lista para realizar la detección. Cuando un objeto determinado corta el haz de luz, se realiza la detección.

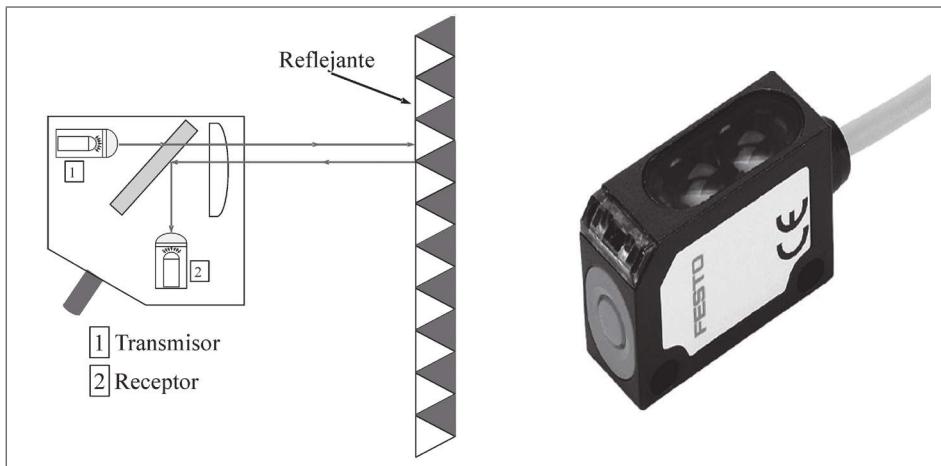


Fig. 7-46. Sensor retroreflexivo y sensor óptico FESTO modelo SOEG-E-Q20-NP-K-2L.

Aplicaci n del sensor

El ajuste del eje común entre el sensor y el reflector es uno de los puntos débiles de este sensor. La aplicación mostrada (Fig. 7-47) es la misma que se utilizó para el sensor de haz transmitido ya que son muy semejantes en el modo de operación.

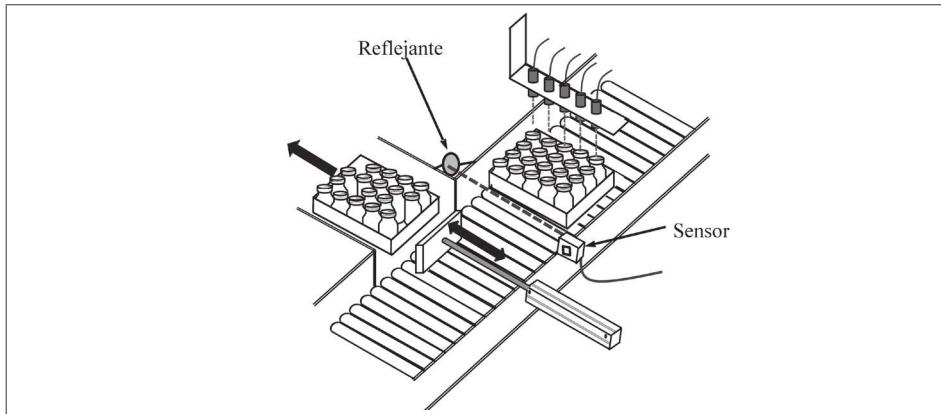


Fig. 7-47. Aplicación del sensor retroreflexivo.

Sensor del tipo difuso

Este tipo de sensor contiene un generador (Emisor) y un receptor de luz (Receptor) colocados en un solo encapsulado (Fig. 7-48). El haz de luz generado por el emisor de la fotocelda es enviado al objeto a ser detectado, cuando el objeto refleja la luz al receptor se realiza la detección. Para este tipo de fotoceldas es importante determinar la capacidad del objeto a reflejar la luz que recibe; esto es, los objetos blancos reflejan una cantidad de luz mayor comparado con los objetos oscuros, así mismo, los objetos opacos reflejan menor cantidad de luz que los objetos brillantes.

Características:

- El rango de detección depende de las propiedades reflectivas del objeto.
- Resultados significativamente mejores pueden ser encontrados por un ajuste geométrico / mecánico para un sensor con supresión de fondo.
- Instalación de bajo costo.
- Sensibilidad ajustable dependiendo del tipo de objeto a detectar.

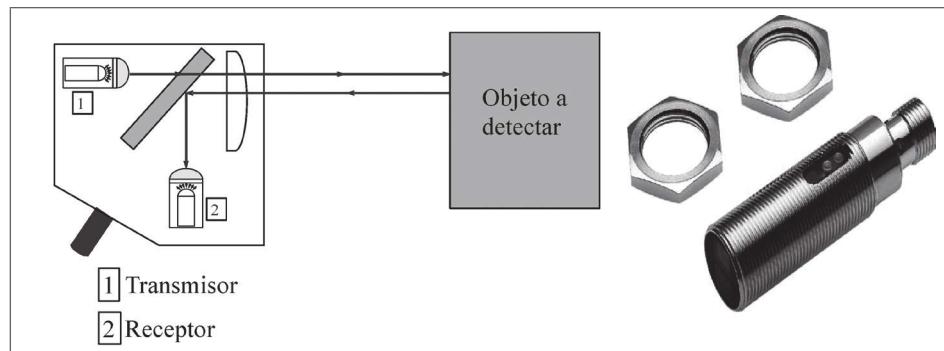


Fig. 7-48. Sensor del tipo difuso.

Aplicación del sensor

La aplicación de este sensor es la detección de objetos capaces de reflejar la luz. Una de las aplicaciones más común es como sensor de contraste ya que puede diferenciar entre el color blanco y el negro. En la aplicación mostrada en la Fig. 7-49 el sensor es capaz de diferenciar las cajas de color negro de las de color blanco.

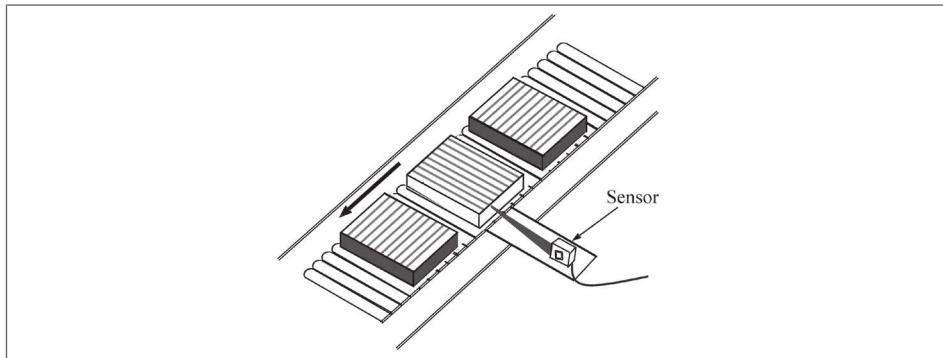


Fig. 7-49. Aplicación del sensor retrorreflexivo como sensor de contraste.

Símbolo

El símbolo que representa un sensor óptico en forma general es mostrado en la Fig. 7-50. Al igual que los sensores magnéticos, inductivos y capacitivos, los ópticos también pueden tener las tres posibles configuraciones, de dos, tres y cuatro hilos, los colores de los cables se mantienen al estándar, como ya se especificó.

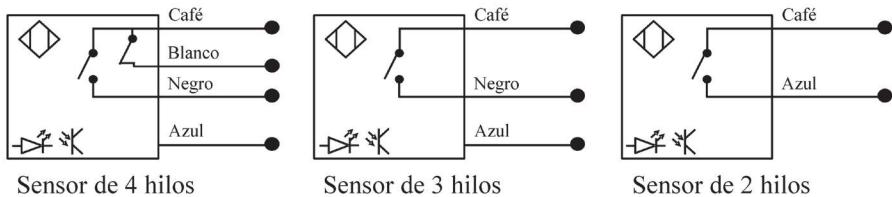


Fig. 7-50. Símbolo del sensor óptico.

Factor de reducción

En estos sensores el factor de reducción es directamente proporcional al color y material del objeto a ser detectado, se consideran los siguientes valores:

Colores:	Materiales:
Blanco (0.95 a 1.0)	Metal pulido (1.2 a 1.8)
Amarillo (0.9 a 0.95)	Papel (0.95 a 1)
Verde (0.8 a 0.9)	Madera (0.7 a 0.8)
Rojo (0.7 a 0.8)	Cartón (0.5 a 0.6)
Azul claro (0.6 a 0.7)	
Violeta (0.5 a 0.6)	
Negro (0.2 a 0.5)	

7.8 Salidas PNP y NPN en sensores de corriente directa

La mayoría de los sensores de corriente directa tienen como salida a un transistor de unión bipolar, lo que da como respuesta estado de saturación o corte, entendiéndose esto como circuito abierto o circuito cerrado respectivamente. Existen dos tipos de construcción PNP y NPN, cada uno tiene su campo de aplicación.

Sensor con salida PNP

Este tipo de sensores interrumpe el positivo de la fuente de alimentación, de tal manera que la señal se considera positiva. La señal de los sensores puede ser normalmente abierta, normalmente cerrada o ambas, cada una de las salidas tiene su campo de aplicación, sin embargo la más utilizada es la normalmente abierta, por la utilización de la lógica positiva.

Se debe mantener el estándar en los colores de los cables del sensor, recordando que el cable café se conecta al positivo de la fuente, el cable azul al negativo de la fuente, el cable negro es la salida normalmente abierta y el cable blanco es la salida normalmente cerrada. Aunque el dispositivo de salida es un transistor, la representación (el símbolo) de éste es mediante un interruptor (Fig. 7-51).

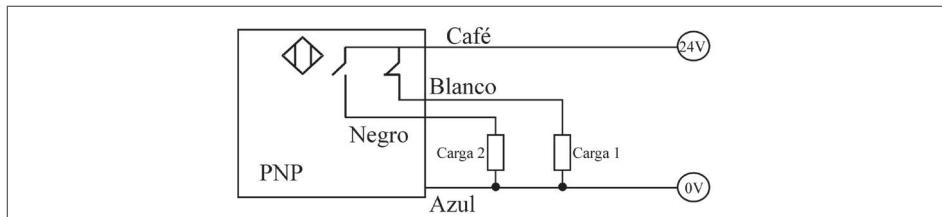


Fig. 7-51. Sensor PNP de 4 hilos.

Este sensor es conocido como sensor “Source” o fuente, al salir la corriente de él, recordando que el flujo de la corriente es del positivo al negativo. La corriente sale del sensor y entra a las dos cargas, 1 y 2, que son llamadas dispositivos “Sink” o drenadores de corriente. Para que exista flujo de corriente se requiere que exista un dispositivo “Source” o fuente y un dispositivo “Sink” o drenador.

Sensor con salida NPN

Un sensor con salida de transistor NPN interrumpe el negativo de la fuente (Fig. 7-52) y es considerado un sensor de señal negativa, puede tener salida normalmente abierta, normalmente cerrada o ambas. El más utilizado es el normalmente abierto por la utilización de la lógica positiva, los colores de los cables del sensor son los estándares.

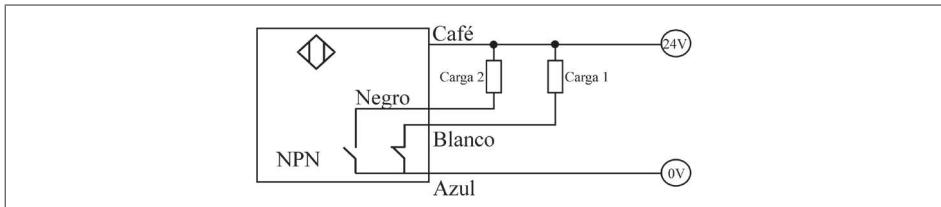


Fig. 7-52. Sensor NPN de 4 hilos.

Al fluir la corriente hacia el sensor, éste es considerado un dispositivo "Sink" y las cargas 1 y 2 son considerados dispositivos "Source".

Tipos de conexiones eléctricas en sensores

En la Fig. 7-52 se explica que en el momento que el sensor tiene cargas conectadas en ambas salidas y que se conecta la energía eléctrica, la carga 1 está apagada y la carga 2 encendida. Cuando el sensor detecta presencia de algún objeto, sus salidas cambian de estado, teniendo como estados los complementos.

Si el sensor no es aplicado a un sistema basado en PLC se le puede conectar una carga eléctrica que sea acorde en voltaje y corriente a las características del sensor, este arreglo se hace para obtener señales de sensores que sean utilizadas en un diagrama eléctrico, como cargas pueden ser relevadores electromecánicos o de estado sólido. También se recurre a este recurso cuando por necesidades inmediatas se requiere conectar un sensor PNP a un sistema con sensores NPN, en este caso la aplicación del relevador electromecánico es como una interfase electromecánica, como se muestra en la Fig. 7-53.

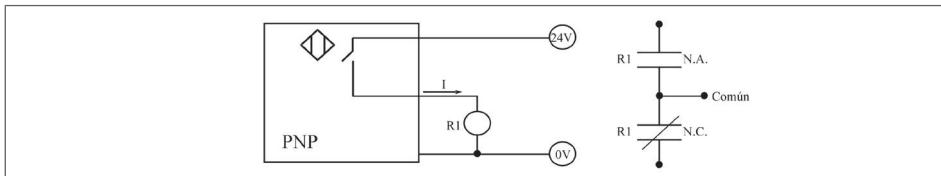


Fig. 7-53. Sensor PNP conectado en un sistema de sensores "Sink".

La corriente que puede manejar un sensor de presencia del tipo discreto va desde 100 mA a 250 mA, lo que indica que no pueden controlar cargas más grandes en corriente. Los expertos sugieren que no se trabaje un sensor más allá del 70% de la corriente máxima de salida del sensor, esto debido a las fluctuaciones que se puedan presentar en el voltaje de alimentación. Ésta es la razón del porqué en algunas ocasiones se debe utilizar un relevador electromecánico o un relevador de estado sólido, para poder manejar cargas más altas en corriente que la que el sensor puede dar.

Sensores de dos hilos

Es importante mencionar que los colores de los cables de conexión de estos sensores son café y azul, pero esto no significa que ambos se deban conectar a la fuente de alimentación, hacerlo es un grave error ya que se ocasiona un cortocircuito y el sensor sufre daños irreversibles. Lo correcto es conectarlo en serie con la carga, esto significa que un cable, ya sea el azul o café, deberán conectarse a la fuente de alimentación, esto va a depender de la configuración que tenga el sistema donde se va aplicar el sensor, que puede ser “Sink” o “Source”, y el otro cable se convierte en la salida del sensor. Esta elección de configuración se convierte en ventaja al comparar este sensor de dos hilos con los sensores de tres y cuatro hilos. La Fig. 7-54 muestra ambas configuraciones.

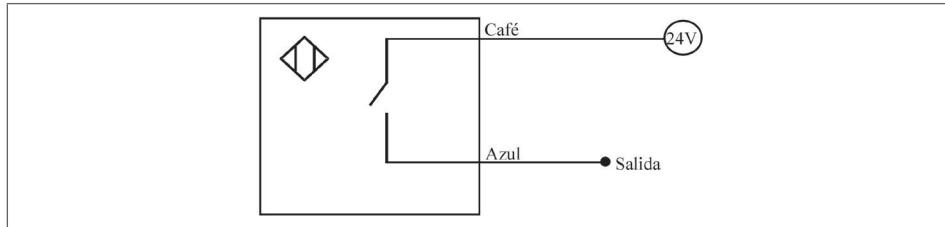


Fig. 7-54. Sensor de dos hilos conectado como “Source”.

Sensores de tres y cuatro hilos

Estos sensores requieren que se les aplique una fuente de alimentación que suministre la energía eléctrica a la electrónica del propio sensor. El sensor de tres hilos cuenta por lo regular con una salida y puede ser normalmente abierta (NA) o normalmente cerrada (NC), y el sensor de cuatro hilos cuenta con las dos salidas, una NA y otra NC.

En este tipo de sensores se debe definir el tipo de salida, ya sea NPN o PNP, ya que no puede ser cambiada mediante configuración de los cables de alimentación o cambios en la polarización de las conexiones eléctricas, se vuelve crítico que se realice la selección apropiada en el tipo de salida en estos sensores.

La Fig. 7-55 muestra ambos sensores con todas las configuraciones posibles.

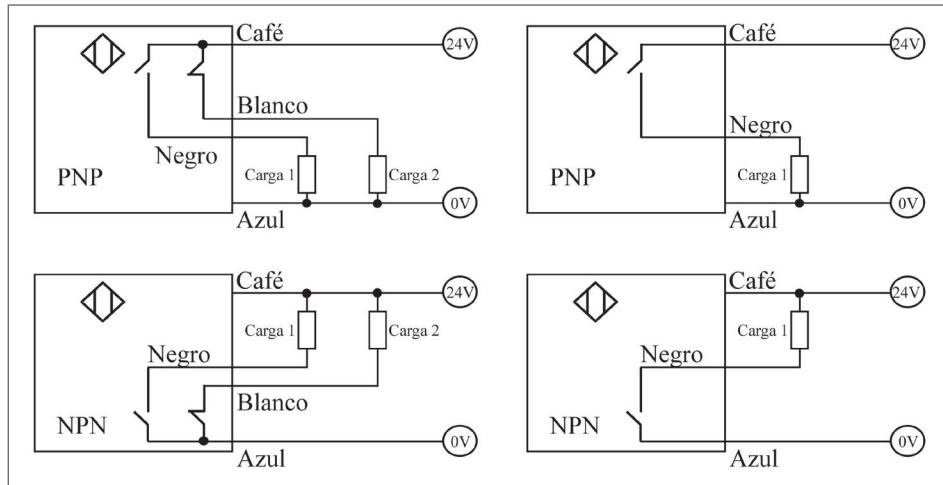


Fig. 7-55. Sensores de tres y cuatro hilos.

Conexión en serie de sensores

En el desarrollo de un proyecto de automatización se puede dar la necesidad de realizar conexiones en serie entre sensores, siempre y cuando el propio diseño del proyecto lo permita, de tal manera que se pueda reducir el número de entradas al PLC. Realizar conexiones en serie de sensores tiene las siguientes ventajas:

- Se pueden conectar en serie sensores de tres y cuatro hilos, con mezcla de salidas PNP y NPN y obtener cualquiera de ellas como resultado de la conexión.
- Se pueden conectar sensores de dos y tres hilos con mezcla de salidas y obtener cualquiera de las dos salidas (PNP y NPN).
- Se reduce el número de entradas requeridas por el PLC.

Cuando se conectan sensores de tres y cuatro hilos en serie se debe realizar la conexión por la fuente de alimentación, de tal manera que el que inicia la serie le interrumpe la energía al siguiente sensor.

Cuando se realiza la conexión en serie de sensores se debe tomar en cuenta la cantidad máxima que pueden ser conectados en serie, ésta es una restricción ya que va a existir una caída de voltaje entre la fuente de alimentación y la salida de la conexión, por lo tanto se deben considerar los siguientes parámetros:

- Caída de voltaje de los sensores.
- Voltaje de operación de la carga.
- Voltaje de operación de los sensores.

Otra consideración que se debe hacer en la conexión en serie es que los sensores deben tener el mismo tipo de salida, ya sea NC o NA. La Fig. 7-56 muestra un ejemplo de dos sensores con salida PNP y con contactos NA, los sensores están

conectados en serie por la fuente de alimentación, la salida de la conexión en serie está conectada a la entrada del I0.0 del PLC.

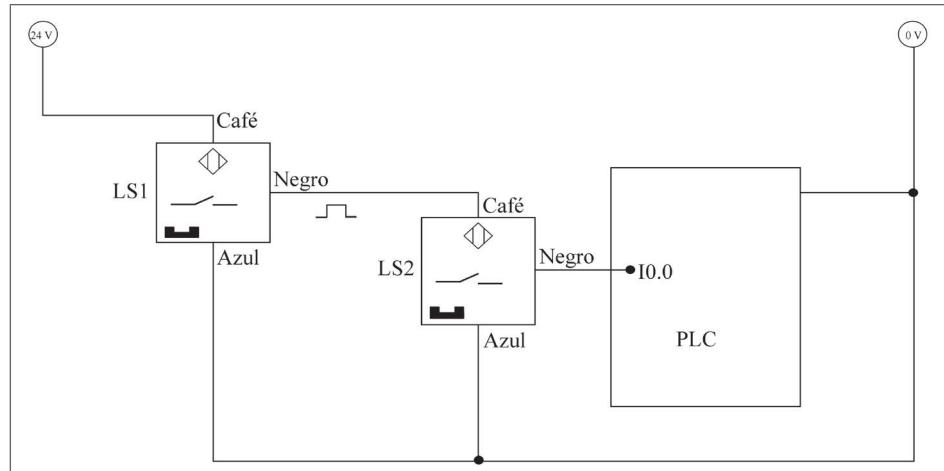


Fig.7-56. Conexión en serie de sensores de tres hilos PNP.

El voltaje aplicado a la entrada I0.0 se obtiene mediante la siguiente resta, tomando como VS1 y VS2 a la caída de voltaje del sensor cuando está en operación. Es importante conocer el nivel de voltaje con que el PLC identifica un “1” y un “0” lógico en sus entradas, de estos niveles depende la cantidad de sensores que se pueden conectar en serie.

La respuesta de los sensores en serie que se presentan en el circuito se puede representar mediante la siguiente tabla de verdad mostrada en la Tabla 7-2, donde S1 y S2 son las entradas e I0.0 es la salida de la serie.

S1	S2	I0.0
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 7-2. Tabla de verdad.

Conexión en paralelo de sensores

Esta conexión no es muy requerida en el diseño de sistemas automáticos ya que no hay condicionamiento alguno, si se conectan dos o tres sensores en para-

lelo, con que uno de ellos opere es más que suficiente para que exista salida. En esta conexión no existe caída de voltaje entre la fuente de alimentación y la salida de la conexión en paralelo, por lo tanto no hay restricción en el número de sensores a conectarse. Es importante considerar la conexión de un diodo en la salida de cada sensor, aunque éste ya esté implícito en el sensor, esto ayuda a que entre los mismos sensores no sean cargas mutuas y solo se considere como carga la entrada I0.0 del PLC (Fig. 7-57). Ésta sería la única caída de voltaje a ser considerada que está en el orden de 0.5 y 0.7 volts. Las limitantes de esta conexión es que no se pueden combinar sensores NPN y PNP, y sensores de dos hilos.

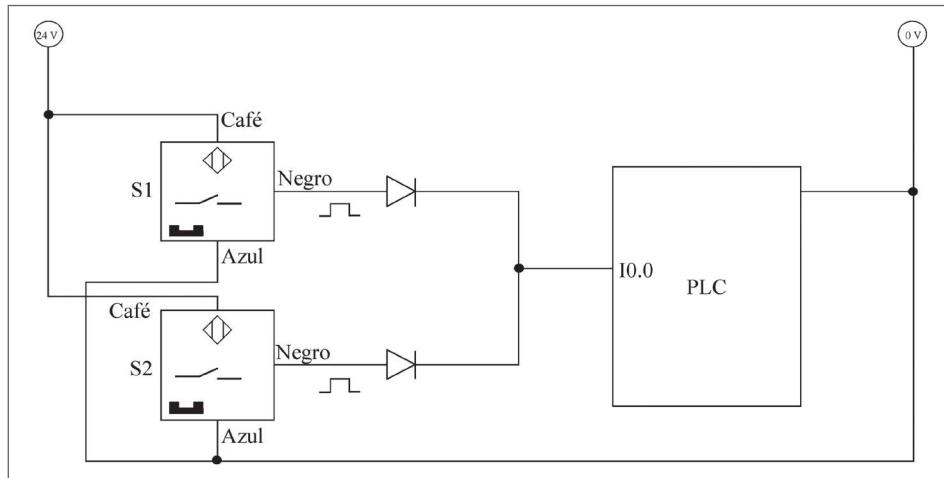


Fig. 7-57. Conexión paralelo de dos sensores PNP a un sistema basado en PLC.

Conexión de un sensor como entrada a un PLC

Al diseñar un sistema automático a base de PLC se debe considerar el tipo de salida de los sensores (NPN o PNP), el voltaje del sistema, aunque es muy conveniente seleccionar un sistema de corriente directa por su fácil manejo y bajo riesgo, en algunos proyectos es necesario la aplicación de dispositivos de corriente alterna.

Como ya se ha visto los sensores de corriente directa pueden ser de salida positiva o negativa pero no ambas; y al igual, los controladores pueden ser configurados para aceptar un solo tipo de salida de sensores, ya sea PNP o NPN, y pueden ser de dos o tres hilos (Fig. 7-58).

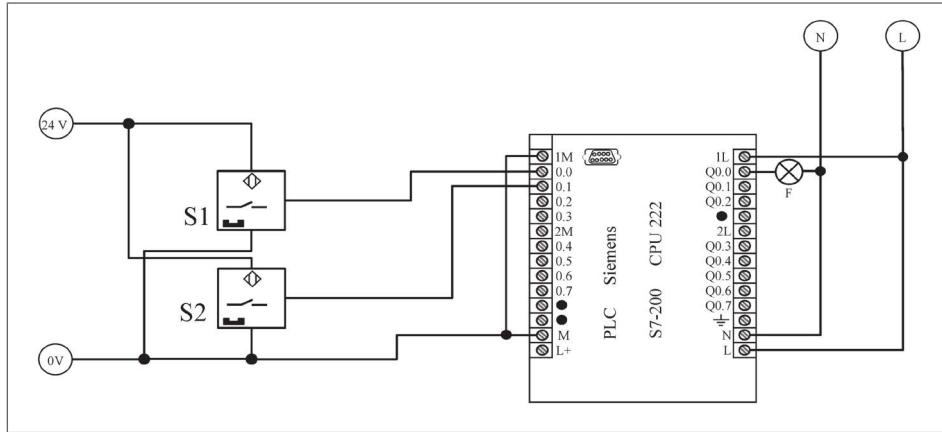


Fig. 7-58. Conexión de sensores de tres hilos PNP conectados a un PLC.

La mayoría de los controladores lógicos manejan entradas positivas o negativas, sin embargo algunas marcas pueden configurar sus entradas para aceptar señales provenientes de sensores NPN o PNP, solo es necesario conectar al positivo o negativo de la fuente al común del bloque de entradas. Estos controles manejan una configuración en la electrónica de las entradas diferente a los que solamente manejan un tipo de entrada.

Entradas Sink / Source

Algunos fabricantes de PLC diseñan los controles para que puedan configurar las entradas, para poder aceptar señales negativas o positivas, dependiendo del sistema donde se esté aplicando el PLC, problema a ser resuelto. Las entradas de un PLC son aisladas por dispositivos optoaisladores y cuentan con una terminal extra que ayuda a seleccionar la polaridad que se le va a aplicar a las entradas del controlador. Frecuentemente esta entrada es llamada común y pertenece a un grupo de entradas. Algunos fabricantes identifican esta terminal común como Sink/Source, lo que da por entendido que depende de a qué terminal se conecte, ya sea al positivo o negativo de la fuente, va a aceptar entradas negativas o positivas respectivamente. La Fig. 7-59 muestra el arreglo para interrumpir o aplicar señales negativas a las entradas del PLC.

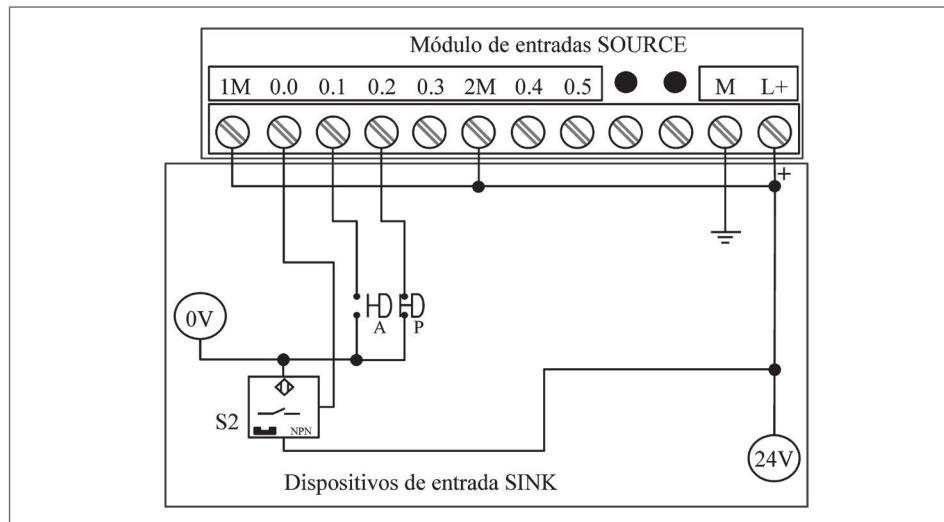


Fig. 7-59. Dispositivos "Sink" y entradas del PLC configuradas "Source".

Para un arreglo con sensores del tipo PNP, ahora el común es conectado al negativo de la fuente y el grupo de entradas tienen como común a esta terminal deben de interrumpir el positivo de la misma fuente. Este arreglo se muestra en la Fig. 7-60. Un sensor NPN no puede ser aplicado a este arreglo porque estaría interrumpiendo el negativo de la fuente y no existe diferencia de potencial aplicado a la entrada del PLC.

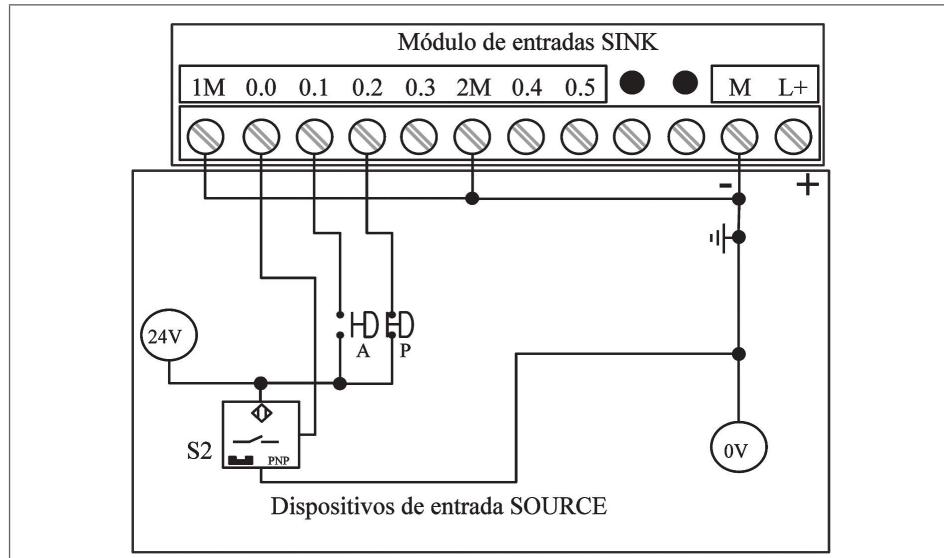


Fig. 7-60. Dispositivos "Source" y entradas del PLC configuradas "Sink".

7.9 Ejercicios resueltos

Enseguida se presentan varios ejercicios en los que se requiere realizar las conexiones apropiadas que den como resultado los requerimientos que se piden en cada uno de los problemas propuestos. Es importante considerar la polaridad de los sensores en cada uno de los problemas propuestos.

Ejemplo resuelto 7.9.1

Considere un sistema de cuatro sensores, S1, S2, S3 y S4, con las siguientes características:

S1: Sensor inductivo de 3 hilos con salida NPN

S2: Sensor óptico de 3 hilos con salida PNP

S3: Sensor óptico de 3 hilos, salida PNP

S4: Sensor inductivo 3 hilos, salida NPN

Se requiere realizar las conexiones eléctricas para obtener la respuesta mostrada en las siguientes tablas. El resultado de estas tablas se deberá conectar a un PLC Siemens S7-200.

S1	S2	I0.0	S3	S4	I0.1
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	1	1	1	1	1

Tabla 7-3.

- a. Desarrolle las conexiones eléctricas con las polaridades correctas para conectar las salidas a un PLC con entradas positivas.
- b. Desarrolle las conexiones eléctricas con las polaridades correctas para conectar las salidas a un PLC con entradas negativas.

Solución

- a. Primero debemos identificar el tipo de conexión de los sensores en ambas salidas. Para ambas entradas la conexión es el operador AND o circuito serie. Al tener un PLC que acepta entradas positivas debemos considerar qué dispositivo es el final de la serie. Los sensores S2 y S3 son los que interrumpen el positivo de la fuente, por lo tanto estos dos dispositivos son los finales de la serie.

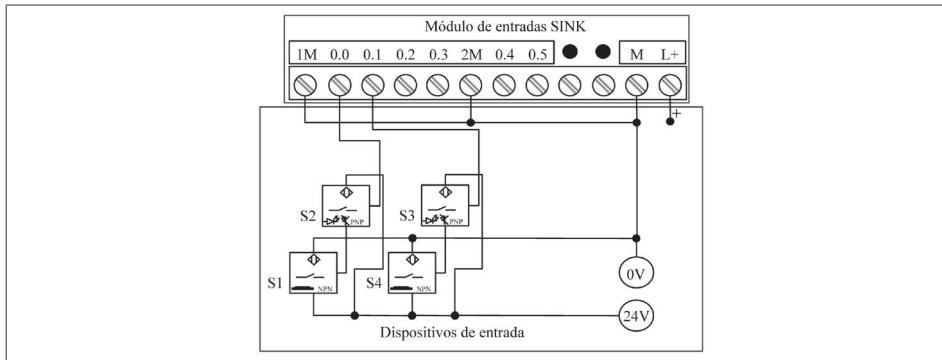


Fig. 7-61.

- b. El resultado es el circuito serie y los sensores S1 y S4 son los que están conectados al controlador como sensor de salida de este circuito y el común del PLC ahora va conectado al positivo de la fuente.

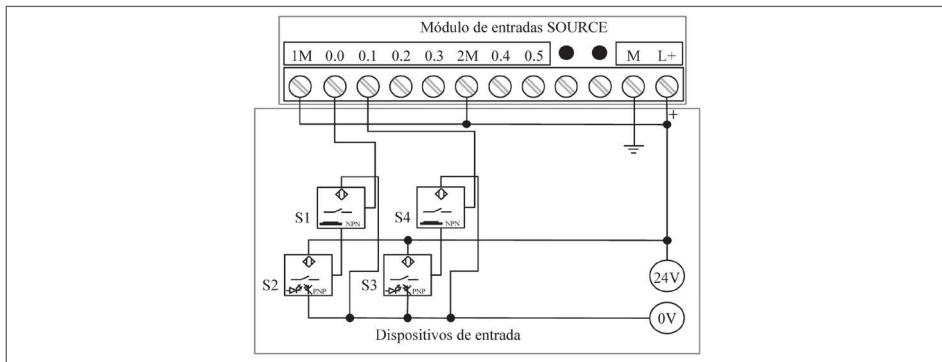


Fig. 7-63.

7.9.2 Se tienen tres sensores, S1, S2 y S3, con las siguientes características:

S1: Sensor capacitivo de 2 hilos

S2: Sensor óptico de 3 hilos con salida PNP

S3: Sensor magnético de 3 hilos con salida NPN

Se desea conectar I0.0 y el sensor S3 a un PLC con entradas positivas. Desarrolle el diagrama de conexiones con la identificación del color de cables de los sensores. El sensor de dos hilos tiene los colores estándar.

S1	S2	I0.0
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 7-4

Solución

Para I0.0 existen 3 posibles conexiones, dos de ellas son interrumpirle el negativo o positivo al sensor S2 y la tercera conexión es conectar al sensor 2 en posición inicial y el sensor 1 a la salida de la serie, conectándose a la entrada del PLC.

Para conectar un sensor NPN en un sistema de señales positivas, una solución es conectarle un relevador que interrumpe la señal del positivo a la I0.1.

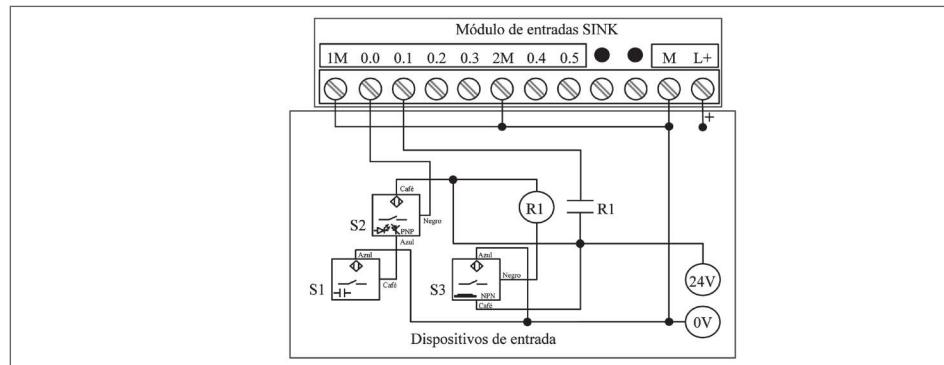


Fig. 7-64. La bobina del relevador R1 debe ser de 24VCD.

7.10 Preguntas y ejercicios para estudio

Preguntas

- Defina qué es un sensor y dónde va conectado en un sistema basado en PLC.
- Defina qué es un transductor y un transmisor.
- Mencione qué tipo de respuesta tienen los sensores discretos y en cuáles grupos se divide.
- ¿Qué es un interruptor de contacto? Mencione sus aplicaciones básicas.

05. ¿Bajo qué circunstancias comuta el termostato y qué tipo de dispositivo es considerado?
06. Mencione cómo opera un sensor de proximidad.
07. ¿Cuál es la estructura de un sensor de proximidad?
08. ¿Qué es el factor de reducción en un sensor de proximidad?
09. ¿Cómo opera un sensor de detección magnético construido con interruptor del tipo reed?
10. Mencione la aplicación más común de un sensor del tipo magnético.
11. Describa un sensor del tipo inductivo.
12. Mencione y explique el funcionamiento de las partes de un sensor del tipo inductivo.
13. Explique en qué consiste la fabricación de un sensor blindado y su función durante la operación del sensor.
14. Explique en qué consiste la fabricación de un sensor no blindado y cómo se comporta el campo electromagnético generado por la bobina del sensor.
15. Explique por qué el sensor no blindado tiene un margen de detección mayor que el blindado.
16. ¿Bajo qué principio opera un sensor de proximidad del tipo capacitivo?
17. Explique el funcionamiento de un sensor del tipo capacitivo.
18. Compare un sensor del tipo óptico con un interrumpir por contacto.
19. ¿Cómo opera un sensor de proximidad del tipo óptico?
20. ¿Cómo opera un sensor de proximidad del tipo óptico de haz transmitido?
21. ¿Cuál es la función del reflejante en un sensor óptico del tipo retrorreflectorivo?
22. Explique cómo opera un sensor óptico del tipo difuso.
23. ¿Cuál es la característica de un sensor con salida a transistor NPN?
24. ¿Cuál es la característica de un sensor con salida a transistor PNP?
25. ¿Cuáles son los colores de los hilos en sensores de corriente directa y su conexión eléctrica?
26. En un sistema a base de PLC, ¿qué significa “Source” y qué “Sink”?

Problemas

01. Se tienen cuatro sensores, S1, S2, S3 y S4, con las siguientes características:
S1: Sensor capacitivo de 2 hilos
S2: Sensor óptico de 3 hilos con salida PNP
S3: Sensor magnético de 2 hilos
S4: Sensor inductivo de 2 hilos

Se desea conectar las salidas de las conexiones en serie de ambas tablas a un PLC con entradas positivas. Desarrolle el diagrama de conexiones con la identificación del color de cables de los sensores, suponga que tiene sensores de dos hilos con los colores estándar.

S1	S2	I0.0	S3	S4	I0.1
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	1	1	1	1	1

Tabla 7-5.

02. Se tienen tres sensores, S1, S2 y S3, con las siguientes características:

S1: Sensor capacitivo de 2 hilos

S2: Sensor óptico de 3 hilos con salida NPN

S3: Sensor magnético de 3 hilos con salida PNP

Se desea conectar I0.0 y el sensor S3 a un PLC con entradas negativas. Desarrolle el diagrama de conexiones con la identificación del color de cables de los sensores. El sensor de dos hilos tiene los colores estándar. Puede utilizar un relevador como convertidor de señal en el sensor con salida PNP.

S1	S2	I0.0
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 7-6.

03. Se tienen cuatro sensores, S1, S2, S3 y S4, con las siguientes características:

S1: Sensor capacitivo de 2 hilos

S2: Sensor óptico de 2 hilos

S3: Sensor magnético de 2 hilos

S4: Sensor inductivo de 2 hilos

Se deben cumplirse las siguientes combinaciones mostradas en las tablas de verdad.

- Conecte los sensores para un sistema de PLC con entradas positivas.
- Conecte los sensores para un sistema con entradas negativas.

	S1	S2	I0.0		S3	S4	I0.1	
	0	0	0		0	0	0	
	0	1	0		0	1	0	
	1	0	0		1	0	0	
	1	1	1		1	1	1	

Tabla 7-7.

04. Se tienen cuatro sensores, S1, S2, S3 y S4, con las siguientes características:

S1: Sensor capacitivo de 3 hilos, salida PNP

S2: Sensor óptico de 3 hilos, salida PNP

S3: Sensor magnético de 3 hilos, salida PNP

S4: Sensor inductivo de 3 hilos, salida PNP

	S1	S2	I0.0		S3	S4	I0.1	
	0	0	0		0	0	0	
	0	1	1		0	1	0	
	1	0	1		1	0	0	
	1	1	1		1	1	1	

Tabla 7-8.

Conecte I0.0 e I0.1 a un sistema de PLC con entradas positivas.

05. Se va a desarrollar un proyecto con sensores de corriente directa PNP. El sistema está compuesto por cinco sensores normalmente abiertos, S1, S2, S3, S4 y S5, y dos botones que hacen la función de automático y de paso a paso del sistema, BA y BPP. Los sensores S1 y S2 se van a conectar en serie ya que su función lo permite, debido a que el controlador que se tiene es de seis entradas. Considere los sensores con las siguientes características:

S1: Sensor inductivo de 3 hilos

S2: Sensor inductivo de 2 hilos

S3: Sensor óptico de 3 hilos

S4: Sensor inductivo 2 hilos

S5: Sensor capacitivo de 3 hilos

BA: Botón NA (Inherente a la polaridad)

BPP: Botón NA (Inherente a la polaridad)

Desarrolle las conexiones para un sistema de PLC con entradas positivas.

CAP TULO 8

Sistemas secuenciales basados en la función tiempo y conteo

8.1 Introducción

Al aplicar las funciones de tiempo y conteo a un sistema automático, la solución de éste se complica pero también el campo de aplicación se hace más extenso y más aún a nivel industrial, esto como resultado de la comparación entre los sistemas secuenciales asíncronos con y sin la función de tiempo y conteo. La diferencia entre ambos sistemas se precisa en la presencia de la función de tiempo y conteo dentro de la estructura de la lógica secuencial del sistema.

En este capítulo se estará trabajando con la función tiempo. Esta función es fundamental en los sistemas automáticos industriales, tanto que el desempeño de una máquina o de un proceso es medido mediante el tiempo de ciclo de operación, en algunos procesos, definido por el fabricante de la máquina, en otros por la calidad del producto en donde puede ser ajustado por personal especializado.

El tiempo que se tarda en fabricar un producto en una línea de producción normalmente es la sumatoria de los tiempos de ciclo de las máquinas individuales que la componen. Básicamente hay dos formas de utilizar la función tiempo en un sistema secuencial. La primera es de forma relativa al encendido o apagado de funciones de entrada o de salida y la segunda es relativa al tiempo y la fecha real. A esta última se la llama *función de tiempo real*. Cada una de las formas tiene su campo de aplicación.

La función principal de un temporizador en un sistema secuencial es realizar un retardo en el encendido o apagado de funciones, lo que representa, de manera proporcional, una función física en algunas aplicaciones. Por ejemplo, en una línea embotelladora el llenado de líquido de las botellas es proporcional al valor preestablecido de un temporizador. El tiempo es el encargado de abrir una válvula

que suministra el líquido. Otro ejemplo es una prensa hidráulica. En ella la aplicación de la fuerza a las partes a ser ensambladas es directamente proporcional al valor pre establecido de un temporizador que se encuentra en la secuencia lógica de la máquina. En ambos ejemplos se debe contar con un dispositivo que se encargue de iniciar el temporizador. También hay que entender que se van a producir errores que el propio producto debe aceptar dentro de la calidad esperada. Ambas situaciones se sitúan en la función de tiempo relativo al encendido de funciones de entrada y de salida. Otra aplicación de esta función tiempo es el monitoreo de tiempo total del proceso, donde se requiere que todas las variables o funciones del sistema aparezcan dentro de un tiempo pre establecido.

El encendido del aire acondicionado de un salón de la universidad se debe encender y apagar en un horario de lunes a viernes de las 7:00 a las 22:00 horas, en un período laboral. Además de este tiempo de encendido, el aire acondicionado cuenta con el termostato que regula la temperatura del salón. Los sábados, domingos y días festivos no se debe encender el clima. Esta situación se sitúa en la función de tiempo relativa al tiempo real. La Fig. 8-1 muestra ambas funciones de tiempo.

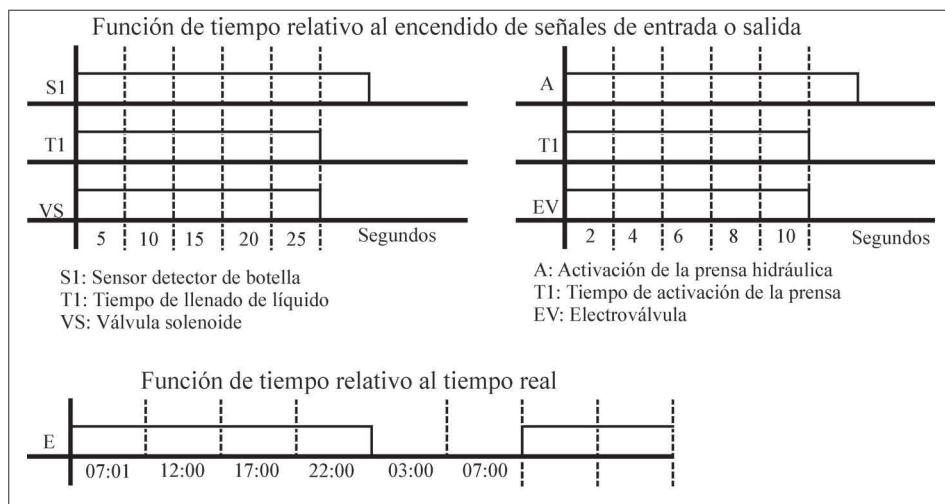


Fig. 8-1. Sistemas de tiempos relativo al encendido de funciones y al tiempo real.

La función *tiempo* es obtenida físicamente de dispositivos llamados temporizadores, que conceptualmente son dispositivos electrónicos que proveen señales base tiempo y que están estructurados por un contador decreciente en donde cada decremento en su conteo será realizado a una frecuencia conocida y al llegar a cero se activa un relevador electromecánico que opera contactos normalmente abiertos (NA) y contactos normalmente cerrados (NC).

En este capítulo también se estará trabajando con la función *contador*. La aplicación de esta función es necesaria para determinar la cantidad de productos que se van a fabricar en una línea de producción ya sea por turno o por lote. Otro ejemplo de aplicación es como contador totalizador de ciclos de operación en maquinaria del tipo

industrial. Es común definir el tipo de mantenimiento de acuerdo al número de ciclos que haya realizado la máquina. La Fig. 8-2 muestra cómo se lleva el conteo del lote a ser producido en una línea de producción hasta llegar a 300 productos terminados.

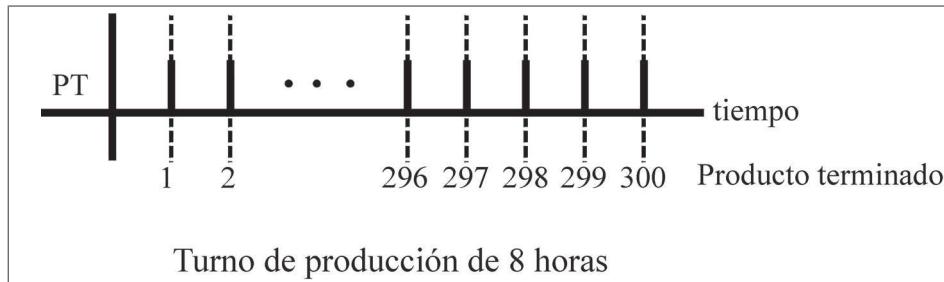


Fig. 8-2. Conteo de lote de producción.

Los sistemas secuenciales basados en la función de tiempo y de conteo pueden ser aplicados tanto en lógica programada como en lógica cableada, este último no muy aceptado en los diseños actuales por cuestiones de costo y de falta de precisión. Los problemas abordados en este capítulo serán resueltos con el apoyo del software FluidSim y el Step 7.

8.2 Funciones de tiempo

La función *tiempo*, al igual que los sistemas de relevación, contempla ambas lógicas, negativa y positiva. De aquí se definen las dos funciones básicas de tiempo. Esta función en forma cableada es obtenida de un temporizador del tipo electromecánico y en forma programada por un temporizador programado en un PLC.

Estructura de un temporizador electromecánico

Los temporizadores utilizados en sistemas secuenciales a base de relevadores son dispositivos electromecánicos. Este tipo de temporizadores están estructurados por una unidad electrónica básica encargada de realizar un conteo de frecuencia y de convertirlo proporcionalmente en una función de tiempo. Los temporizadores básicos toman la frecuencia base de la fuente de corriente alterna, haciendo esto un poco inestable al temporizador en el conteo de tiempo, esto debido a las variaciones de frecuencia que normalmente existen en la onda seno obtenida de la fuente de voltaje de corriente alterna.

Como elemento de salida, el temporizador tiene un relevador electromecánico encargado de operar un sistema de contactos, de tal modo que se pueden obtener contactos abiertos y cerrados que representan al temporizador.

El temporizador electrónico (Fig. 8-3) tiene el mismo principio de operación que los electromecánicos, solo difieren en la forma en que obtienen la frecuencia base de conteo de tiempo, ya que cuentan con un cristal de cuarzo para generar la frecuencia, lo que demanda una unidad electrónica más especializada que incluso tenga una mejor resolución de tiempo, al grado de medir milisegundos, y con esto hacer operaciones de conexión y desconexión más precisas en procesos donde se requiere tener tiempos exactos de la operación de las variables. Esto sucede en un sistema de lógica cableada, el cual es interpretado como un sistema en el que todos los dispositivos están presentes físicamente.

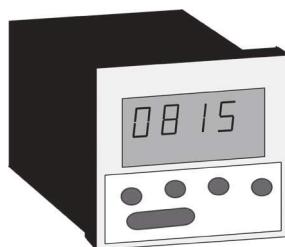


Fig. 8-3. Temporizador Serie 814 de la marca Crouzet.

En la variable *tiempo* básicamente se tienen dos funciones y se definen de acuerdo a su modo de operación: el temporizador con retardo para encender, normalmente abreviado por sus siglas en inglés TON, y el temporizador con retardo para apagar, TOF. Cada uno tiene su área de aplicación específica. Al combinarse ambas se obtienen funciones de tiempo especiales y así una amplia gama de funciones específicas de tiempo.

Como parte del apoyo en la solución a los problemas propuestos y resueltos en este capítulo, se va a utilizar el software FluidSim de Festo para realizar las simulaciones correspondientes de sistemas secuenciales. Después de haber comprobado el buen funcionamiento del sistema secuencial, el diagrama obtenido puede transferirse a un PLC Siemens CPU S7-200 con el programa MicroWin del PLC S7-200.

Temporizador con retardo al encendido (TON)

Este temporizador está construido por un circuito electrónico, un relevador con contactos abiertos y cerrados y un valor preestablecido de tiempo. La figura 8.4 muestra el símbolo de este temporizador con el FluidSim. El círculo SA es el valor preestablecido y es normal que cuenten, como mínimo, con un juego de contactos que debe ser configurado. Es normal que cuente con un contacto normalmente cerrado y un contacto normalmente abierto compartiendo un común.

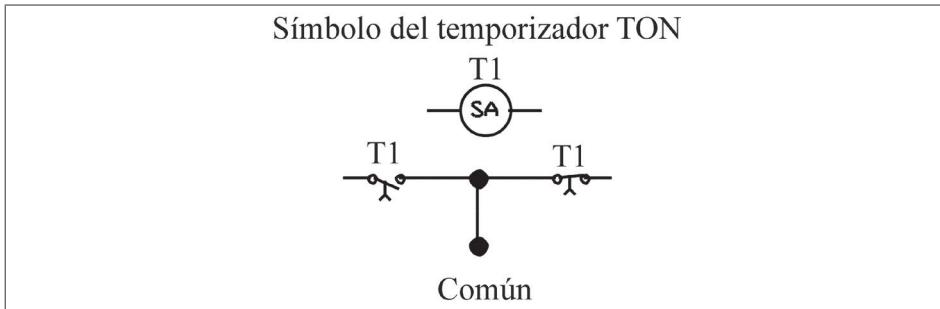


Fig. 8-4. Valor preestablecido y contactos de un TON.

Modo de operación

La operación de esta función consiste en aplicarle un voltaje a la bobina. En ese momento se habilita el valor preestablecido del temporizador. Al terminar el conteo de tiempo, los contactos cambian de estado. Si se desconecta el valor preestablecido antes de que termine de contar el tiempo, éste se restablece y queda listo para activarlo de nueva cuenta. Si se mantiene activado el temporizador hasta después de que termine el valor preestablecido, entonces se verán cambios en los contactos del temporizador: el que es normalmente abierto se cerrará y el normalmente cerrado se abrirá.

Un circuito básico con este temporizador se muestra en la Fig. 8-5. El inicio de operación del sistema está a cargo del interruptor S1, que al encenderse le aplica voltaje al valor preestablecido del temporizador e inicia el conteo de tiempo. Para ver cambios en el contacto normalmente abierto se requiere que el interruptor S1 permanezca cerrado por un tiempo mayor al valor preestablecido de T1. Por ejemplo, si el valor preestablecido del temporizador es de 20 segundos para que la función F1 se encienda, el interruptor S1 debe estar encendido por un tiempo mayor a 20 segundos, si S1 estuviera encendido 30 segundos, la resta de los tiempos es el tiempo que va a estar encendida la función F1.

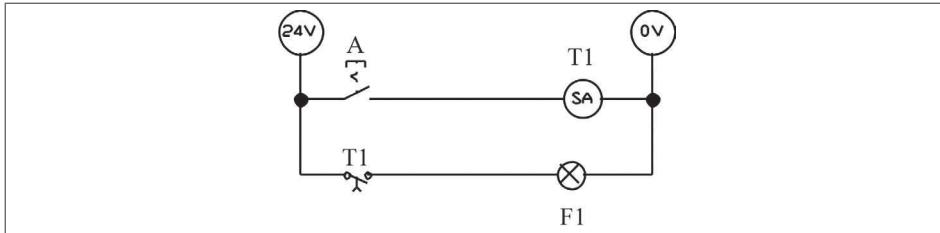


Fig. 8-5. Circuito eléctrico con temporizador TON.

Diagrama de tiempos

Del diagrama de conexiones eléctricas se puede obtener un diagrama de tiempos que represente al sistema en forma gráfica y es conseguido con el software del FluidSim, como se muestra en la Fig. 8-6. En este diagrama se van a graficar todos los dispositivos que componen el circuito. Se inicia con el interruptor S1, el contacto normalmente abierto de T1 y el indicador luminoso. Donde se apagan las tres gráficas es donde se desconecta la energía eléctrica al valor preestablecido de T1 (SA). El valor preestablecido del temporizador 1 es de 5 segundos ($PT1 = 5\text{ S}$).

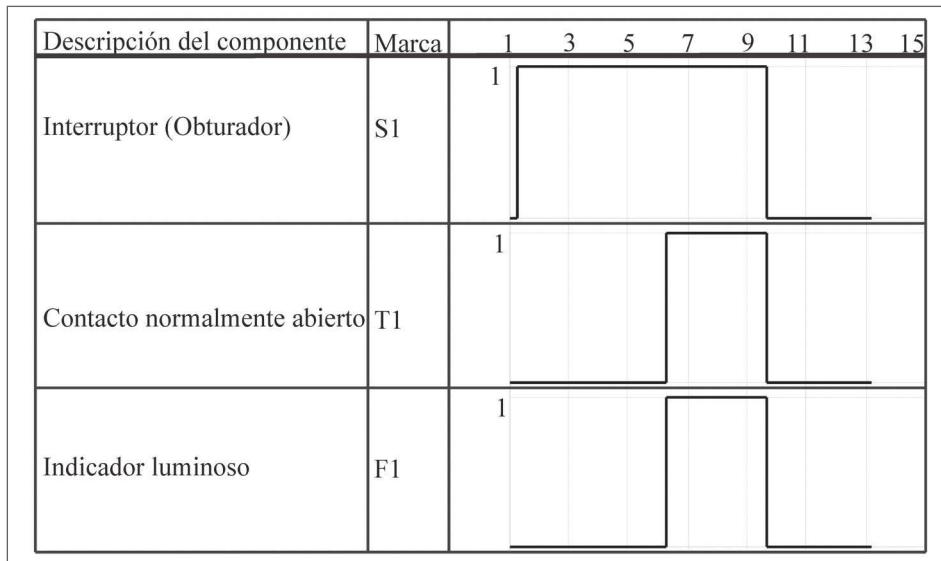


Fig. 8-6. Gráfico de tiempos de un TON.

Los sistemas automáticos basados en la función *tiempo* normalmente tienen en su estructura secuencial más de un temporizador para desfasar funciones dentro de la misma secuencia y poder tener un proceso completo donde entran y salen las funciones propias del sistema secuencial. Sumando estos tiempos que retardan las funciones del sistema se obtiene el tiempo de ciclo del proceso o máquina. Con este tiempo se evalúa el desempeño y se pueden realizar cálculos de productividad.

La nomenclatura de un temporizador TON del tipo relevador se muestra en la Fig. 8-7. El interruptor de inicio S1 es el que habilita al valor preestablecido del temporizador, el cual está conectado en las terminales 2 y 7. Las terminales 1 y 8 son comunes a los dos juegos de contactos. Las 4 y 5 son los contactos NC y las 3 y 6 son los contactos NA. Los contactos son secos; es decir, no tienen voltaje de salida, se les puede aplicar cualquier tipo de voltaje y carga que estén dentro de las especificaciones del temporizador.

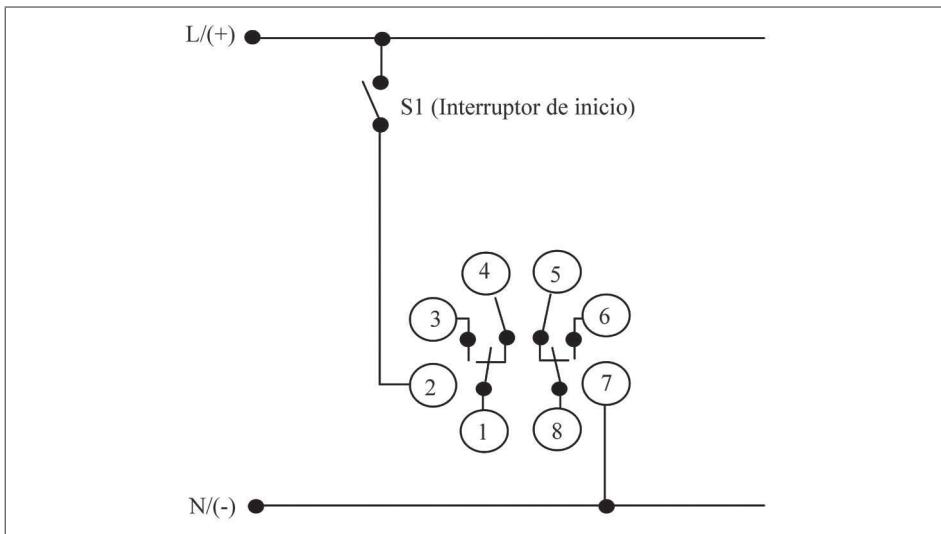


Fig. 8-7. Nomenclatura de temporizador TON tipo relevador.

Temporizador con retardo para apagar (tof)

Este temporizador, en su presentación tipo relevador, está construido por un circuito electrónico, una señal de disparo que se encarga de cerrar y abrir el o los juegos de contactos y, como salida, un relevador electromecánico que se ocupa de proveer el o los contactos de salida del temporizador. El símbolo de este dispositivo se muestra en la Fig. 8-8. Nótese que la diferencia entre los contactos de un temporizador TON y un TOF es precisamente la dirección de la flecha.

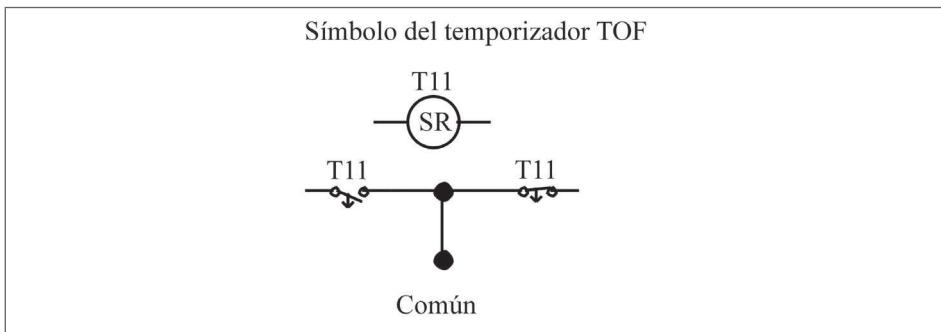


Fig. 8-8. Símbolo de un temporizador TOF.

Modo de operación

La operación de esta función de tiempo consiste en aplicarle de forma continua un voltaje al valor preestablecido, es decir, que éste siempre está energizado, y la señal de disparo es la encargada de cambiar el estado de los contactos; aunque el conteo de tiempo no inicia hasta que esta señal se desactiva. Entonces, inicia el conteo y al terminar, los contactos regresan a su estado inicial.

Un circuito básico con este temporizador se muestra en la Fig. 8-9. Al accionar el interruptor ST1 inmediatamente cambian de estado los contactos del temporizador, el valor preestablecido inicia el conteo hasta que el interruptor ST1 se desactiva.

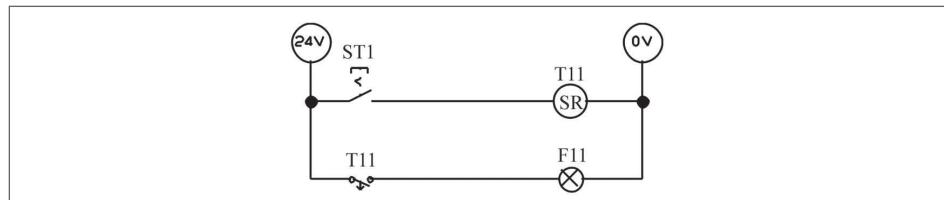


Fig. 8-9. Circuito eléctrico con temporizador TOF.

El diagrama de tiempos de este circuito se muestra en la Fig. 8-10. Éste se obtiene como respuesta con el software del FluidSim y está construido con el interruptor S1, el contacto normalmente abierto de T1 (SR) y el indicador luminoso. El cambio de estado del contacto NA sucede en el momento en que se habilita el interruptor S1 y el valor preestablecido del temporizador se inicia cuando se deshabilita el botón S1. Al terminar de contar el valor preestablecido (que es de 5 segundos), la función F1 se apaga.

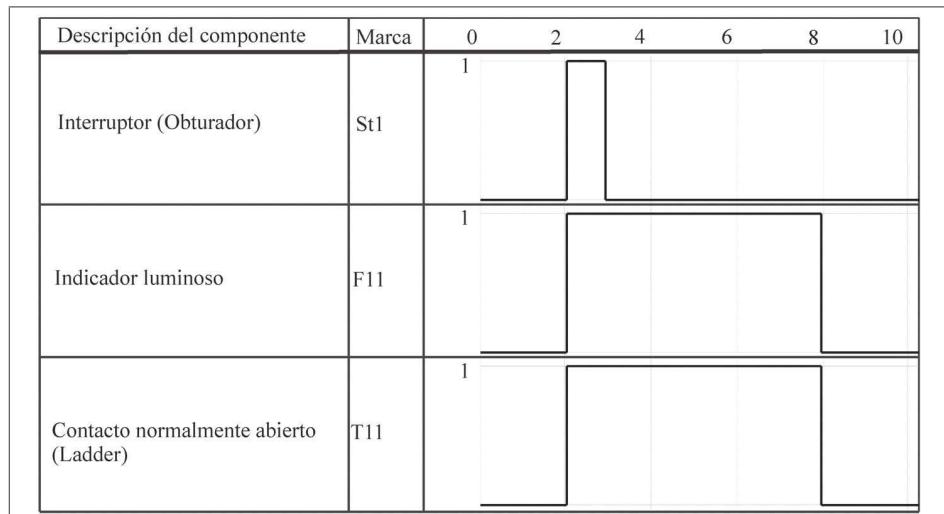


Fig. 8-10. Gráfico de tiempos de un circuito con temporizador TOF.

Si no se activa y desactiva el interruptor en forma instantánea, existe un tiempo adicional al valor preestablecido que estará encendida la función. Este tiempo debe ser considerado en el encendido de la función F1. Si se realiza la activación instantánea de S1, el resultado del diagrama de tiempos es el que se muestra en la Fig. 8-11.

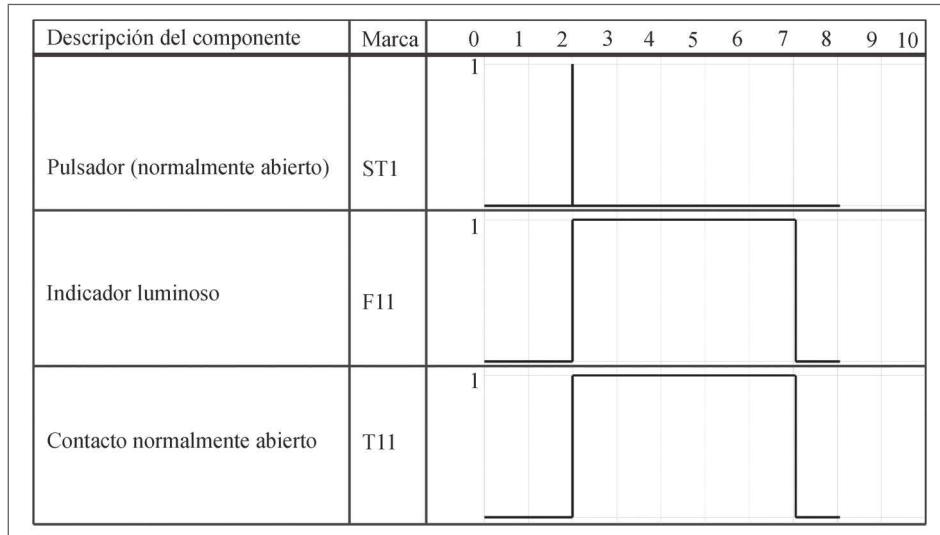


Fig. 8-11. Gráfico de tiempos removiendo inmediatamente al pulsador ST1.

Un temporizador del tipo relevador se muestra en la Fig. 8-12. Éste difiere del temporizador TON ya que el número de terminales es mayor. Este temporizador, además de contar con las mismas terminales con que cuenta TON, tiene dos terminales adicionales donde se conecta una señal externa, en las terminales 5 y 6, para habilitar el valor preestablecido. Nótese que la terminal 7 del relevador no está conectada a ninguna terminal, la alimentación de voltaje es directa, no pasa por ningún dispositivo; es decir, siempre está energizada la bobina del temporizador.

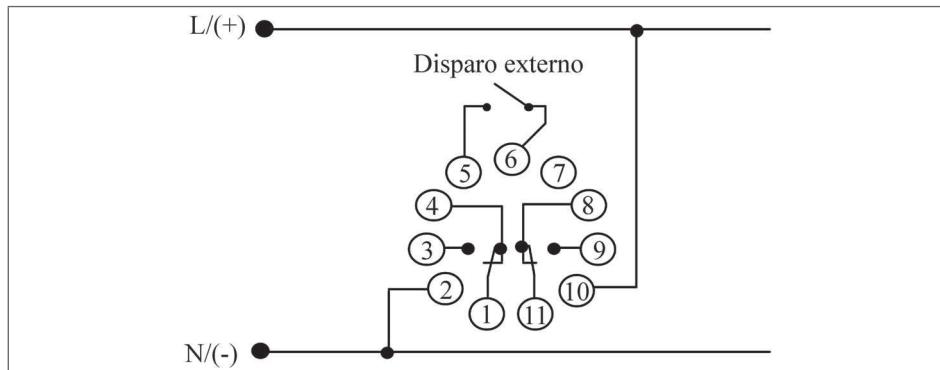


Fig. 8-12. Estructura de un temporizador del tipo relevador.

8.3 Instrucción de tiempo en el PLC Siemens

En un sistema basado en PLC los temporizadores son programados y su ventaja con respecto a los sistemas cableados es que tienen mejor resolución y disponen de un número mayor en contactos NC y NA. Actualmente un PLC tiene suficientes temporizadores y un solo proceso o máquina no es capaz de utilizar toda la capacidad del controlador. Estos sistemas suelen ser más comunes por varias razones: económica, ya que son comparados con un sistema de lógica cableada, lo fácil que es la identificación de fallos, la reprogramación del sistema y la reutilización, por mencionar algunas ventajas.

La función *tiempo* se encuentra en controladores de gran y baja escala. Los de la última generación cuentan con temporizadores de tiempo real. Esta función es la más destacada en un PLC y precisamente es la que hace la diferencia entre éste y un temporizador electromecánico o electrónico.

Algunos controladores manejan la función *tiempo* como contacto, es decir, la sitúan en medio de un renglón. Otros la manejan como salida interna, es decir, la ubican al final de un renglón. En el caso del PLC Siemens el temporizador es utilizado al final de un renglón, como salida.

Para programar un temporizador en un PLC es necesario conocer la dirección y resolución de los temporizadores, como los mostrados en la Tabla 8-1 que son las direcciones y la resolución de los temporizadores que tiene el PLC Siemens. El T37 es un temporizador del tipo TON o TOF, dependiendo de la necesidad y con una resolución de 0.1 segundo, de tal manera que el valor preestablecido deberá de multiplicarse por este valor para obtener el tiempo ajustado al temporizador.

La resolución es el valor mínimo de tiempo que puede contar el temporizador. El máximo valor preestablecido que puede tener cualquiera de los temporizadores de este controlador es de 32767, que multiplicado por la resolución de tiempo nos da el valor de tiempo preestablecido.

	CPU	1ms	10ms	100ms
TON o TOF	CPU 212	T32	T33-T36	T37-T63
	CPU 214	T32, T96	T33-T36, T97-T100	T37-T63, T101-T127
TONR	CPU 212	T0	T1-T4	T5-T31
	CPU 214	T0, T64	T1-T4, T65-T68	T5-T31, T69-T95

Tabla 8-1. Temporizadores disponibles en el CPU 212 y 214 de Siemens.

Temporizador TON retentivo (R)

Este término se le da al temporizador retentivo con retardo al encendido. Ésta es una de las funciones especiales que tiene el PLC Siemens. El término *retención* se refiere a que el dispositivo retiene el valor de tiempo aún y que se le desconecte la energía eléctrica al PLC o se desconecte el dispositivo dentro de la secuencia de tal manera que al regresar la energía eléctrica o iniciar la reconexión de la secuencia, el temporizador arranca el tiempo en el valor en el que se quedó. Esta aplicación es utilizada cuando se necesita aplicar funciones de tiempo que sean inherentes a los cortes de energía eléctrica. Esta función esta alojada en la memoria RAM del PLC. La energía eléctrica de esta memoria está suministrada por la batería de respaldo con que cuenta el PLC. Ésta es la razón por la cual hace la función de retención. Para restablecer al valor preestablecido de un TONR se debe de utilizar una bobina de reset. De otra manera no se restablecerá el temporizador y, por lo tanto, funcionará solo una vez.

Como se puede ver en la Tabla 8-1, los CPU 212 y 214 cuentan con este tipo de temporizadores. Si hacemos un conteo, el CPU 212 cuenta con 64 temporizadores y el CPU 214, con 128.

Para programar la función *tiempo* en el PLC S7-200, se deben conocer algunos campos que son requeridos para identificar y realizar una selección adecuada del temporizador de acuerdo al valor preestablecido de tiempo que se requiera programar. La función en sí es un bloque con campos abiertos donde se asignan valores, como lo muestra la Fig 8-13.

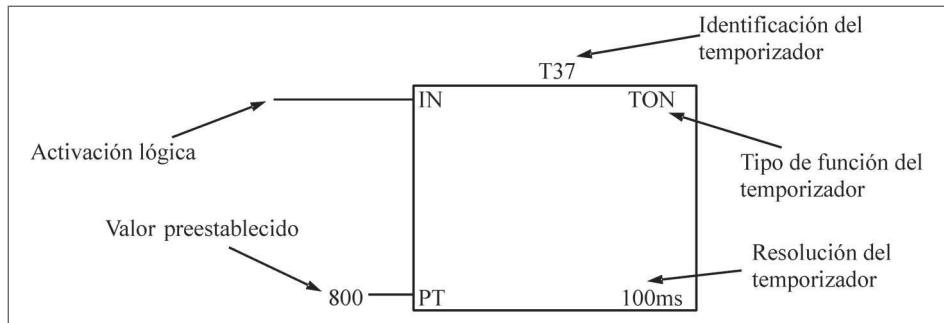


Fig. 8-13. Bloque de tiempo en el PLC Siemens.

Representación con el diagrama de tiempos

Los sistemas automáticos basados en la función *tiempo* pueden ser representados mediante un diagrama de tiempos. En éste se representan todas las variables del sistema. Lo más relevante es el encendido y apagado de las funciones. En este diagrama se puede visualizar un ciclo de operación y deben ser graficados todos los componentes.

A partir de este diagrama se puede definir qué y cómo son afectadas las funciones de salida por las funciones de tiempo y cómo éstas son afectadas entre sí. La Fig. 8-14 muestra un ejemplo de un diagrama de tiempos, en él son representadas tres funciones de salida y tres funciones de tiempo. La representación de las funciones de tiempo se realiza mediante el valor preestablecido, también se pueden agregar contactos NA y NC de los temporizadores, esto después de definir qué tipo de función de tiempo se va a utilizar en la solución del problema.

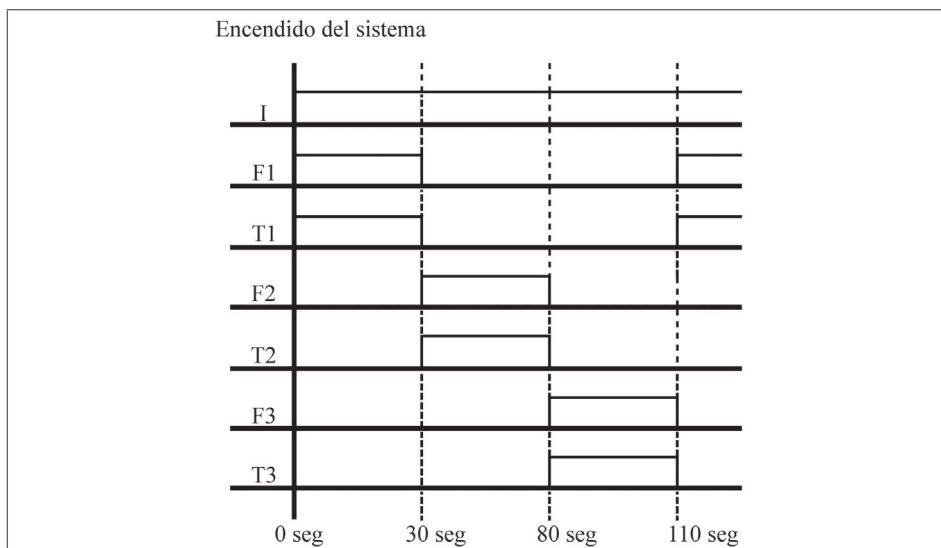


Fig. 8-14. Diagrama de tiempos de un sistema secuencial.

De este diagrama de tiempos se puede obtener una ecuación lógica para cada función de salida y de tiempo. Posteriormente estas funciones pueden ser representadas en un diagrama de lógica de contactos y llegar a la implementación con el PLC Siemens.

Ejemplo 8.3.1

En la Fig. 8-14, el diagrama muestra un sistema secuencial con la función *tiempo* relativa al encendido de funciones. El temporizador a ser utilizado es el TON, la función de inicio es un interruptor sostenido, las tres funciones F1, F2 y F3 se van a considerar que son lámparas indicadoras. Los valores preestablecidos son mostrados en el diagrama de tiempos T1=30s, T2=50s y T3=30s. De este diagrama se deben obtener los siguientes puntos:

- Identifique un método que ayude a resolver el problema.
- Obtenga las ecuaciones lógicas del sistema.
- Obtenga el diagrama de lógica de contactos con el FluidSim.
- Obtenga el programa para el PLC Siemens.

Solución

Para solucionar el problema primero se debe encontrar un método que ayude a solucionarlo. Una vez encontrado, se deben obtener las ecuaciones lógicas del sistema. Éstas serán transferidas a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens, se debe realizar la simulación correspondiente con el software del FluidSim.

Identificando un todo

Cuando se tiene más de un temporizador en un sistema secuencial es importante asegurarse de que todos cumplan su valor preestablecido. Para esto se considera realizar la cadena de temporizadores manteniendo energizados los valores preestablecidos hasta que el último temporizador termine de contar el tiempo. Cabe recordar que un temporizador del tipo TON al mantener encendido el valor preestablecido y éste haya terminado de contar el tiempo se mantendrán los contactos en los niveles lógicos a los que cambiaron después de terminar el tiempo. Al finalizar el temporizador 1, su valor preestablecido se mantiene encendido y éste habilita al temporizador 2, que al terminar su valor preestablecido activa el temporizador 3, que se mantiene habilitado hasta que termina el ciclo de operación. El temporizador 3 es el último en activarse y el encargado de restablecer el sistema. A través de este método, en el gráfico de tiempos se representan los contactos NA y NC de los temporizadores, lo que da como resultado el diagrama de tiempos mostrado en la Fig. 8-15.

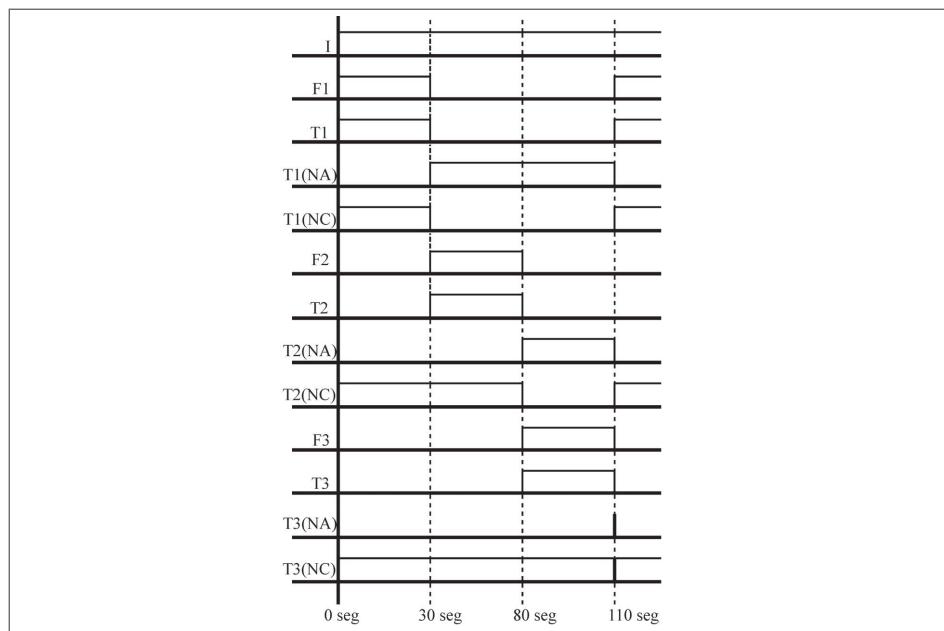


Fig. 8-15. Diagrama de tiempos con temporizadores energizados hasta el fin del ciclo.

El diagrama muestra en cada temporizador un juego de contactos, un contacto NA y uno NC. Los niveles lógicos de estos contactos se representan en una ecuación lógica que puede ser representada en un diagrama de lógica de contactos, el contacto NA se considera afirmado y el contacto NC, negado.

Ecuaciones lógicas del sistema

De acuerdo al sistema con temporizadores mostrado en la Fig. 8-15, se deben obtener seis ecuaciones, tres que representen a las funciones de salida y tres a las funciones de tiempo. Estas ecuaciones están estructuradas con los contactos que las condicionan precisamente a cada una de las funciones. Nótese que si se desconecta la función de inicio se desconecta todo el sistema.

Ecuaciones de las funciones F1, F2 y F3

El gráfico que representa la función F1 en el diagrama de tiempos se denota que es idéntico al contacto normalmente cerrado (NC) de T1, si se realiza la igualdad de F1 con T1(NC) se debe considerar otro dispositivo que habilite a la igualdad, de tal manera que la función F1 se active al encender el sistema. La única función que cumple con este requisito es la función de inicio. Al condicionar ambas funciones por medio de la multiplicación (operador lógico AND) da como resultado la siguiente ecuación.

$$\text{Ecuación de } F1: F1 = I \bar{T1}$$

Para la función F2 no existe un gráfico idéntico en el diagrama de tiempos. En este caso se tiene que generar el gráfico multiplicando T1(NA) y T2(NC). Si separamos ambos gráficos del diagrama de tiempos, donde se incluya la función F2 y asignándoles los valores lógicos, se obtiene el diagrama mostrado en la Fig. 8-16 y de aquí se puede obtener la ecuación para F2. Con esto se comprueba que la multiplicación de ambos contactos sí cumple con el gráfico de la función F2.

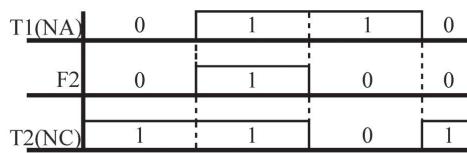


Fig. 8-16. Gráfico que muestra el resultado de la ecuación de F2.

$$\text{Ecuación de } F2: F2 = T1 \bar{T2}$$

El gráfico de la función F3 es idéntico al generado por el contacto T2(NA). Por esta razón se puede realizar la igualdad, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación de } F3: F3 = T2$$

Con esta ecuación se termina con las ecuaciones de las funciones.

Ecuaciones de T1, T2 y T3

Los temporizadores se deben mantener encendidos aun después de que hayan terminado de contar el tiempo preestablecido. Esto se representa en el diagrama mostrado en la Fig. 8-17. Un ejemplo es mantener cerrado el contacto normalmente abierto (NA) de T1 aún y después de que haya terminado de contar el tiempo preestablecido de 30 segundos. Nuevamente se abre cuando el sistema termina el ciclo de operación; esto sucede cuando T3 termina de contar los 30 segundos de su valor preestablecido.

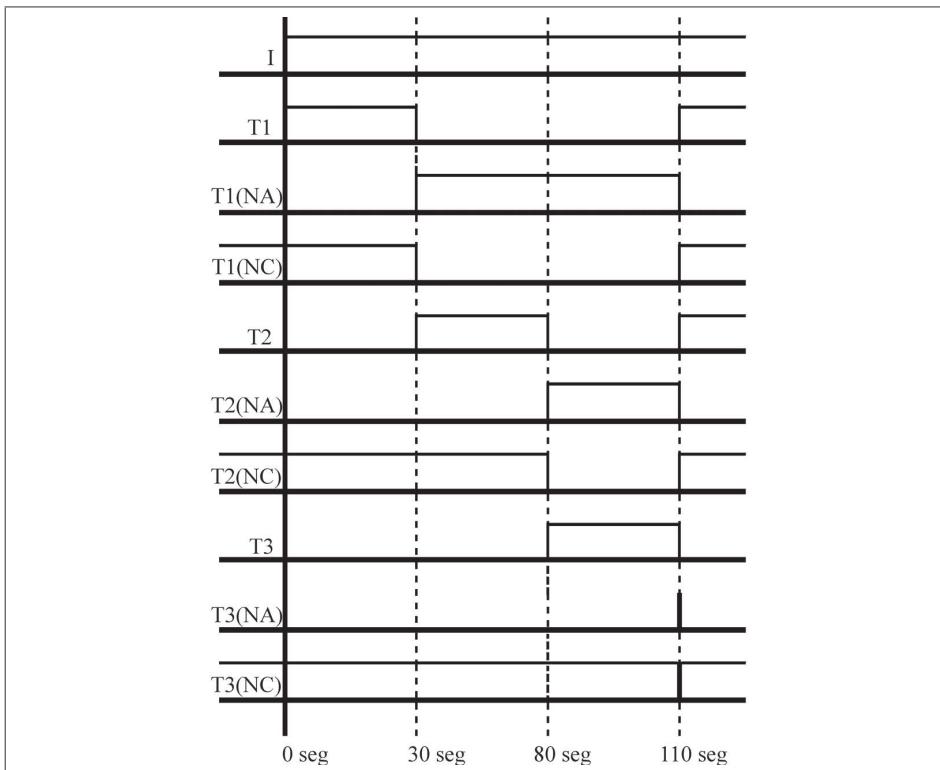


Fig. 8-17. Diagrama del sistema de tiempos.

Para obtener la ecuación de T1 se considera la función de entrada I y el contacto normalmente cerrado (NC) de T3(NC). Si se multiplican las dos funciones, se puede obtener la ecuación que representa al temporizador T1. El encendido lo realiza la función I y el apagado la función T3(NC).

$$\text{Ecuación de } T1: T1 = A \bar{T3}$$

Para obtener la ecuación del temporizador T2 se ubica el instante del encendido de su valor preestablecido. Como T1 debe encenderlo, se ubica un contacto que cambie de estado lógico en el mismo instante en que se enciende el valor preesta-

blecido de T2, lo que da como resultado de la ecuación la igualdad de un contacto normalmente abierto de T1.

$$\text{Ecuación de } T2: T2 = T1$$

Éste es el último temporizador del sistema y es el encargado de restablecer los temporizadores T1 y T2. La ecuación se obtiene de la misma manera que la de T2, lo que da como resultado que el encendido de T3 está a cargo de un contacto normalmente abierto de T2. En la ecuación se representa esta igualdad.

$$\text{Ecuación de } T3: T3 = T2$$

Ésta es la última ecuación del sistema. El siguiente paso es transferir las ecuaciones a un diagrama de lógica de contactos.

Diagrama de lógica de contactos

Las ecuaciones son transferidas a un diagrama de lógica de contactos. Las funciones F1, F2 y F3 son representadas por indicadores luminosos. Sin embargo éstas pueden ser cualquier dispositivo eléctrico que sea utilizado como función de salida, por ejemplo: motores eléctricos, electroválvulas, etcétera. El diagrama mostrado en la Fig. 8-18 es el resultado de transferir las ecuaciones a un circuito eléctrico y fue obtenido con el apoyo del simulador FluidSim de FESTO.

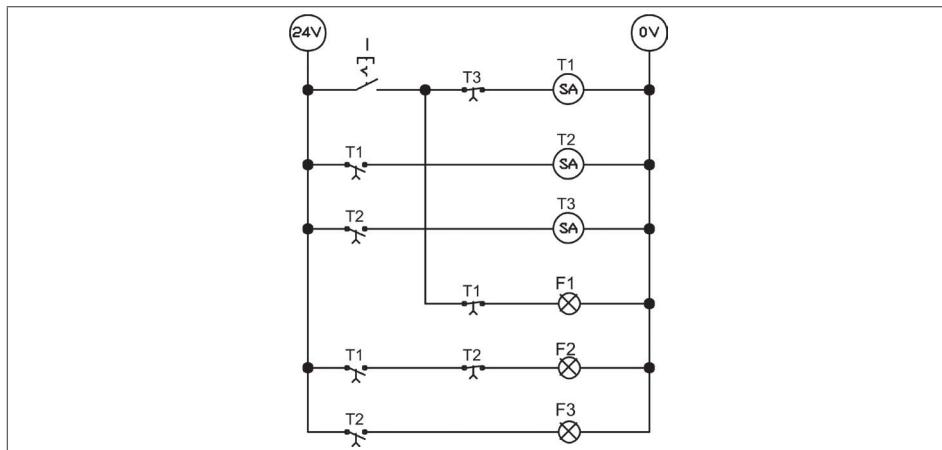


Fig. 8-18. Diagrama de lógica de contactos del ejemplo 8.3.1.

En este diagrama, al desconectarse el interruptor I en cualquier parte de la secuencia se estará desconectando el sistema. Si se requiere que termine el ciclo de operación una vez que haya sido desconectado el interruptor I, se deberá agregar un dispositivo que actúe como memoria. Este dispositivo es un relevador que es conectado de tal manera que memorice la activación del sistema y se desconecte al término del valor preestablecido del último temporizador. En este problema es T3. Si se hace esta modificación, se debe obtener una ecuación para la función R1. Este

relevador es el encargado de realizar la función de memoria. Como resultado queda la siguiente ecuación.

$$\text{Ec. de } T1 \text{ y } R1: R1 = T1 = (I + R1) \overline{T3}$$

Si se agrega esta función al sistema de diagrama eléctrico, da como resultado el diagrama mostrado en la Fig. 8-19, en el que se agregó el relevador R1, que es el encargado de funcionar como memoria. La ecuación de T1 cambia y se agrega la ecuación de R1. Como estas dos funciones son iguales, la siguiente ecuación es el resultado de T1 y R1.

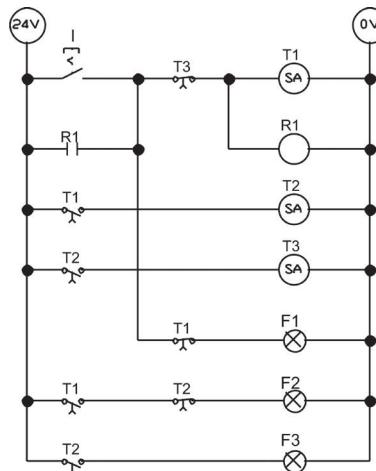


Fig. 8-19. Diagrama del ejemplo 8.3.1 modificado con memoria R1.

Programa para el PLC Siemens

El diagrama obtenido con el FluidSim puede ser transferido al PLC Siemens. Para realizar esta tarea es necesario transferir la nomenclatura de las variables del sistema a la nomenclatura del PLC.

Se sugiere la siguiente nomenclatura:

Memorias: $R1 = M0.0$

Temporizadores: $T1 = T37$, $T2 = T38$ y $T3 = T39$

Funciones de salida: $F1 = Q0.1$, $F2 = Q0.2$ y $F3 = Q0.3$

Función de entrada: $I = I0.0$

Una vez realizado el cambio de nomenclatura, se puede ahora sí transferir las ecuaciones a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens. Este diagrama es mostrado en la Fig. 8-20.

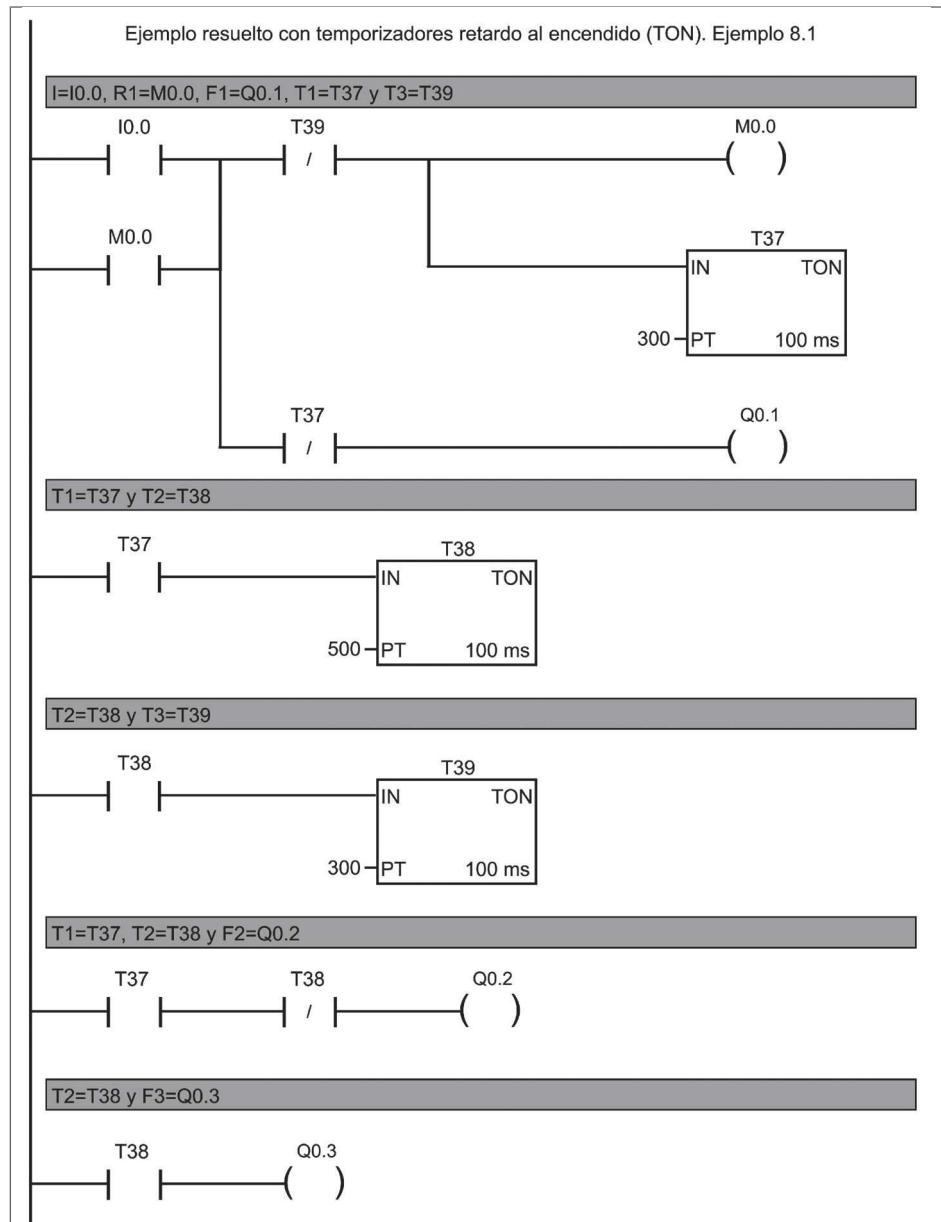


Fig.8-20. Programa para el PLC Siemens del ejemplo 8.3.1.

Ejemplo 8.3.2

El diagrama de tiempos mostrado en la Fig. 8-21 indica cómo están desfasadas las funciones de salida F1, F2 y F3. Nótese que es el mismo diagrama mostrado en el ejemplo 8.3.1, solo que ahora será resuelto con temporizadores con retardo al apagado (TOF). El análisis es diferente al del ejemplo anterior, esto debido a la diferencia en la operación entre los temporizadores TON y TOF, aunque se mantienen los mismos tiempos de encendido en las funciones de salida. Se debe dar solución a los incisos requeridos enseguida.

- Identifique un método que ayude a resolver el problema.
- Obtenga las ecuaciones lógicas del sistema.
- Obtenga el diagrama de lógica de contactos con el FluidSim.
- Obtenga el programa para el PLC Siemens.

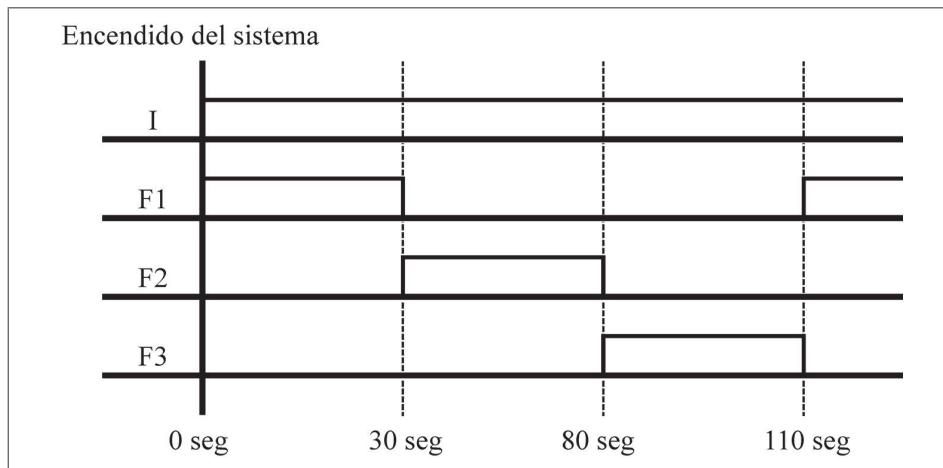


Fig. 8-21. Diagrama de funciones del problema 8.3.2.

a. Identificando un método

Como el temporizador utilizado es del tipo TOF, el diseño de la cadena de tiempos se va a realizar activando y desactivando el valor preestablecido de cada uno de los temporizadores de tal manera que no exista un tiempo adicional en el encendido de las funciones a los valores ya establecidos. A diferencia del encendido en cadena realizado en el ejemplo 8.3.1, en éste se van a encender los tres temporizadores a la vez. Considerando estas condiciones, se obtiene el diagrama de tiempos mostrado en la Fig. 8-22, en éste se incluyen contactos abiertos y cerrados de los temporizadores. En este ejemplo el temporizador que debe aparecer al final de la secuencia es el T3, por lo tanto es el encargado de restablecer el sistema.

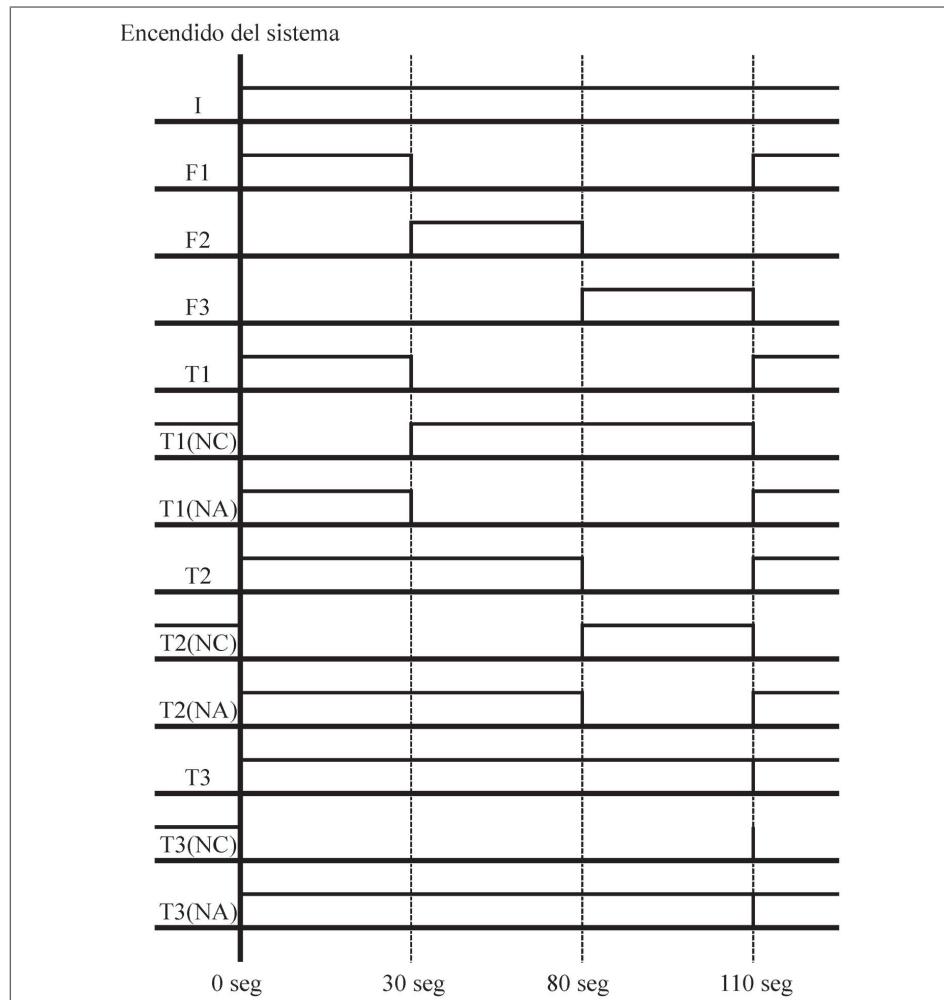


Fig. 8.22. Diagrama de tiempos del problema 8.3.2.

El método para resolver el problema consiste en encender todos los temporizadores a la vez y restablecer el sistema secuencial con el último temporizador, en este caso T3. Como se van a encender los tres temporizadores a la vez, los valores preestablecidos deben ser calculados. Nótese que para T1 el valor es el mismo dado en el ejemplo 8.3.1, pero para T2 y T3 se obtiene realizando la siguiente sumatoria:

$$T1 = 30s$$

$$T2 = 30s + 50s = 80s$$

$$T3 = 30s + 50s + 30s = 110s$$

b. Ecuaciones del sistema

Para obtener las ecuaciones del sistema es necesario agregarles contactos abiertos y cerrados a los temporizadores, esto facilita la obtención de las ecuaciones lógicas del sistema. Para esto es necesario recordar cómo funciona el temporizador del tipo TOF. El diagrama mostrado en la Fig. 8-22 cuenta con contactos normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC) en los temporizadores.

Ecuaciones de las funciones F1, F2 y F3

El gráfico de la función F1 es idéntico al generado por el contacto normalmente abierto de T1, esto se puede representar con la siguiente igualdad.

$$\text{Ecuación de } F1: F1 = T1$$

Para la función F2 no existe un gráfico idéntico en el diagrama de tiempos. Sin embargo se puede generar multiplicando las funciones de tiempo T1(NA) y T2(NC). Si se separan estas funciones del diagrama completo se obtiene el diagrama mostrado en la Fig. 8-23. En el gráfico se agregan los valores lógicos de las tres funciones y se comprueba que multiplicando las dos funciones, T1(NA) y T2(NC), da como resultado la función F2. Estas conclusiones se representan mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación de } F2: F2 = T1 \bar{T2}$$

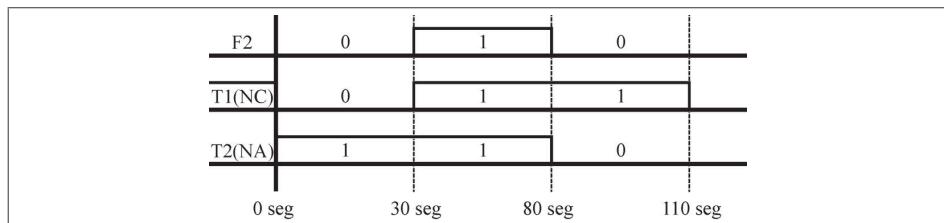


Fig. 8-23. Gráfico de valores lógicos de T1, T2 y F2.

Al no existir un gráfico de los temporizadores que sea idéntico a la función de salida F3, éste debe ser generado mediante la condición de la multiplicación de las funciones de tiempo T2(NC) y T3(NA). El gráfico de la Fig. 8-24 muestra los valores lógicos de las funciones, y con éste se comprueba que la multiplicación de las dos funciones de tiempo da como resultado la función F3.

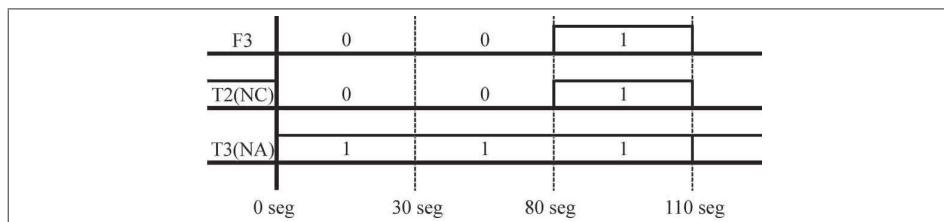


Fig. 8-24. Gráfico de valores lógicos de T2, T3 y F3.

Del gráfico se obtiene la siguiente ecuación de la función F3.

Ecuación de F3:F2 = $\overline{T2} T3$

Ecuaciones de las funciones de tiempo T1, T2 y T3

Se encienden los tres temporizadores a la vez, lo que da como resultado la misma ecuación para T1, T2 y T3. El temporizador T3 es el encargado de restablecer el sistema de temporizadores. Esto da como resultado la siguiente ecuación:

Ecuación de T_1 , T_2 y T_3 : $T_1 = T_2 = T_3 = I \overline{T_3}$

La condición del negado de T3 es para que se activen y desactiven en forma inmediata los valores preestablecidos de los tres temporizadores y se mantenga así hasta el final de ciclo. T3 es el temporizador con el valor preestablecido más alto, ésta es la razón por la cual se tomó como condición.

c. Diagrama con lógica de contactos

Las ecuaciones obtenidas son representadas en un diagrama de lógica de contactos. El resultado es mostrado en la Fig 8-25. Se recuerda que SR es el símbolo para el temporizador TOF con el FluidSim.

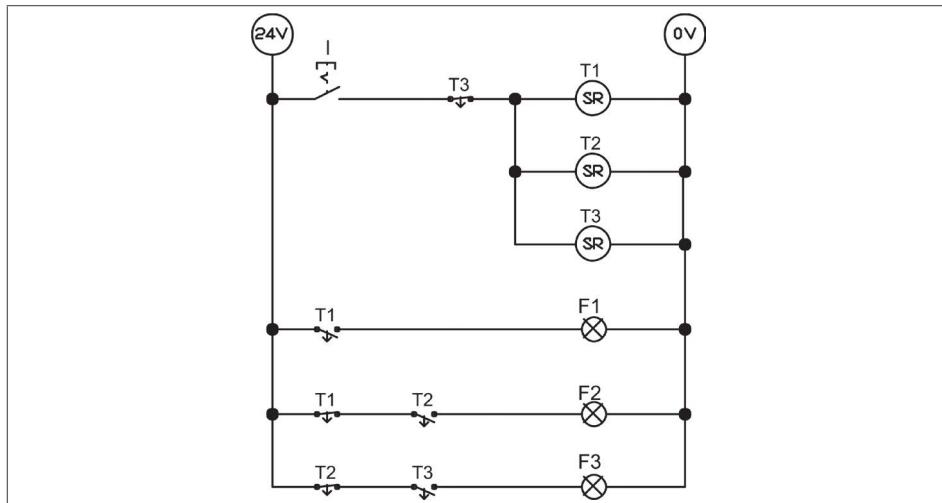


Fig. 8-25. Diagrama de lógica de contactos del problema 8.3.2.

d. Programa para el PLC Siemens

Para realizar el programa para el PLC de Siemens se deben transferir las variables del sistema a la nomenclatura del PLC Siemens. Se toma la misma nomenclatura que se utilizó en el ejemplo 8.3.1, solo que ahora los temporizadores son del tipo TOF, lo que da como resultado el diagrama mostrado en la Fig. 8-26.

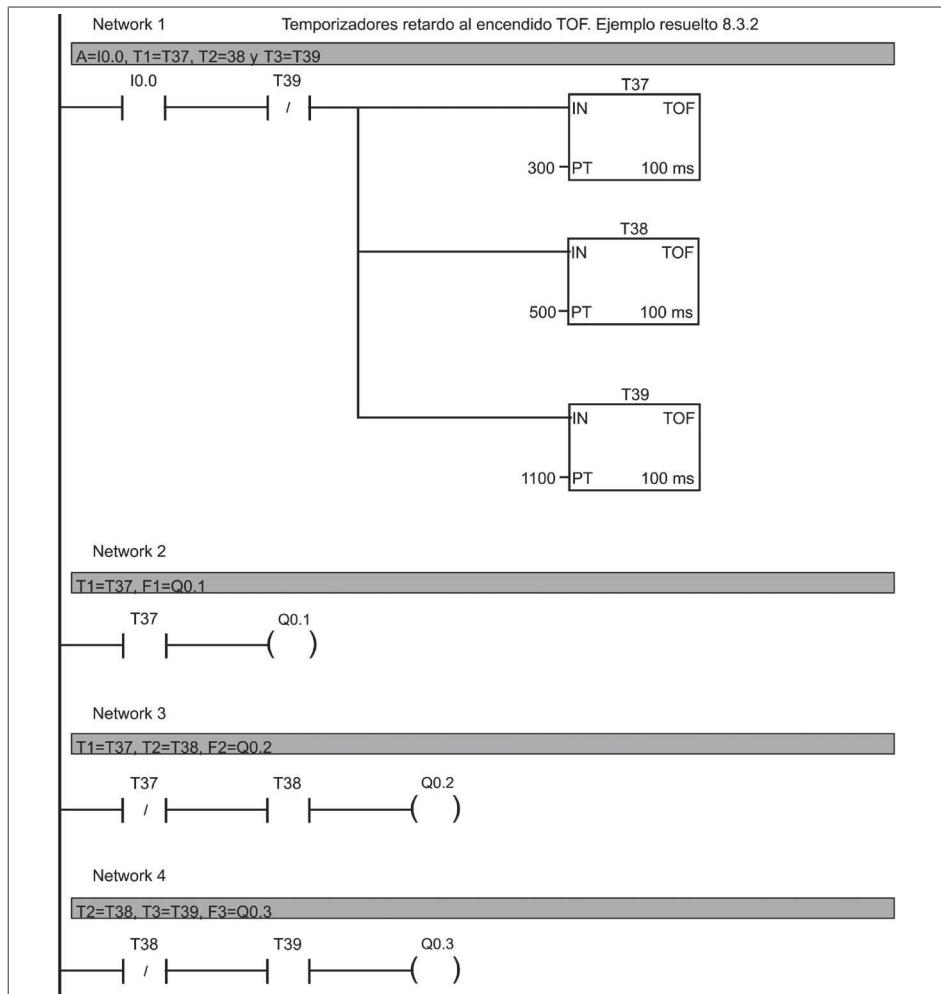


Fig. 8-26. Resultado del programa para el PLC Siemens del problema 8.3.2.

Ejemplo 8.3.3

El diagrama de la Fig. 8-27 muestra el mismo ejemplo que se ha estado analizando en los dos anteriores en los que las tres funciones de salida, F1, F2 y F3, aparecen desfasadas por los mismos períodos de tiempo ya establecidos. Los ejemplos anteriores han sido resueltos con los temporizadores del tipo TON y TOF. Ahora se va a resolver con temporizadores con retardo al encendido del tipo retentivo TONR. El análisis y resultado son totalmente diferentes. Este problema no es analizado con el software FluidSim, ya que no cuenta con este tipo de temporizadores, razón por la cual no se pide que se realice el diagrama de lógica de contactos. Se deben obtener los siguientes puntos:

- Identifique un método que ayude a resolver el problema.
- Obtenga las ecuaciones lógicas del sistema.
- Obtenga el programa para el PLC Siemens.

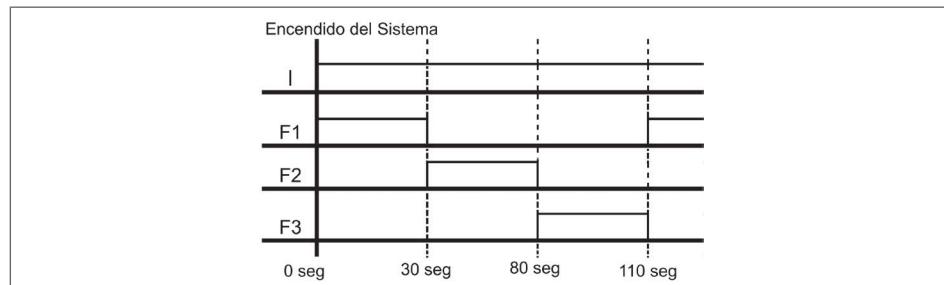


Fig. 8-27. Diagrama de funciones del problema 8.3.3.

a. Identificando un método

Este tipo de temporizadores necesitan una bobina adicional para restablecer el valor de tiempo. La bobina es llamada R y debe llevar el número del temporizador que va a restablecer. Si es más de uno, se debe mencionar la cantidad de dispositivos a ser restablecidos.

El método a utilizar es mantener activados los tres temporizadores hasta que termine un ciclo de operación. Una vez terminado, se deben restablecer los tres temporizadores, lo que da como resultado el diagrama mostrado en la Fig. 8-28, en la que se va a considerar una memoria R1 que ayude a mantener en operación al sistema y que lo ayude a terminar el último ciclo de operación.

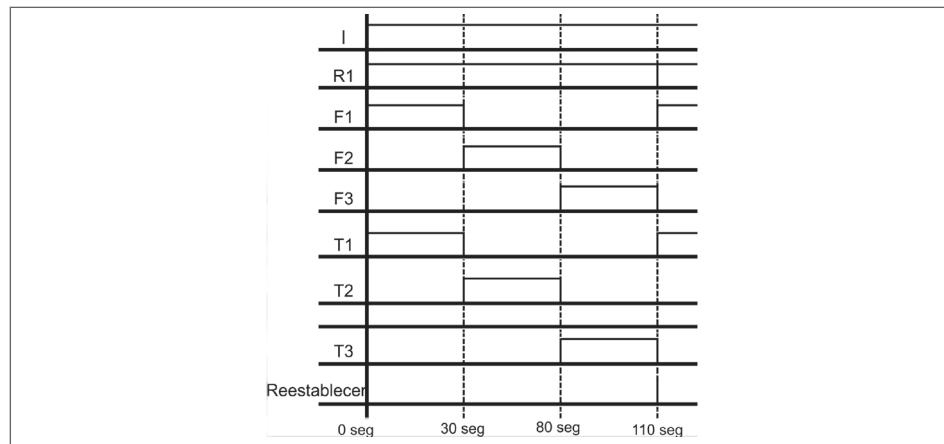


Fig. 8-28. Diagrama de tiempos que incluye la función que restablece los temporizadores.

b. Ecuaciones lógicas del sistema

En el diagrama de la Fig. 8-28 se le agregan contactos abiertos y cerrados a las funciones de tiempo y a la memoria R1. Esto con el fin de poder obtener las ecuaciones del sistema. El diagrama de la Fig. 8-29 muestra las funciones de tiempo y memoria con los contactos abiertos y cerrados.

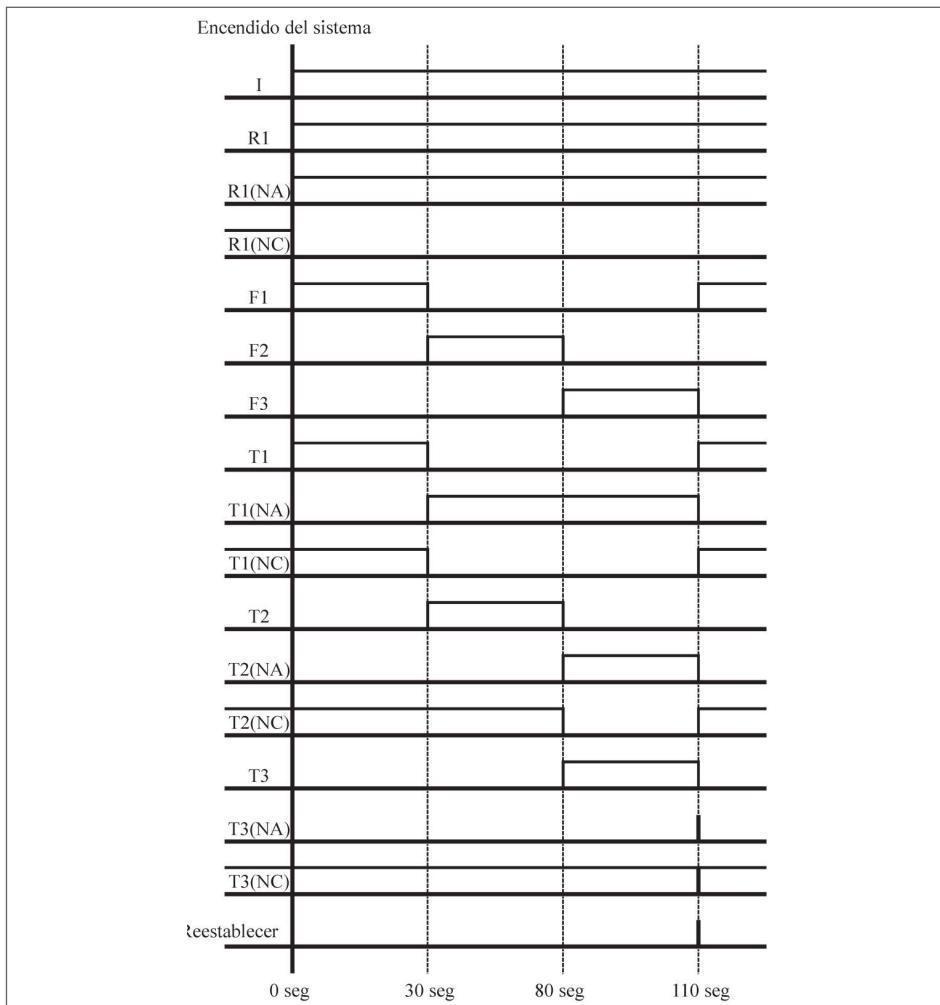


Fig. 8-29. Diagrama de tiempos del problema 8.3.3.

Ecuaciones de las funciones de salida y de la memoria

La función R1 es activada por el interruptor de inicio y se mantiene así todo el ciclo por ella misma y se desactiva con el temporizador T3. La siguiente ecuación es el resultado de transferir estas condiciones de operación:

$$\text{Ecuación de } R1: R1 = (I + R1) \overline{T3}$$

La función F1 debe activarse por el contacto normalmente abierto (NA) de R1 y debe desactivarse cuando termine de contar el temporizador T1. Si se consideran estas condiciones se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación de } F1: F1 = R1 \overline{T1}$$

La función F2 se habilita después de que termina de contar el temporizador T1, y la función estará encendida el valor preestablecido del temporizador T2, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación de } F2: F2 = T1 \overline{T2}$$

La función F3 se habilita después de que termina de contar el temporizador T2 y se deshabilita cuando termina de contar el temporizador T3, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación de } F3: F3 = T2 \overline{T3}$$

Ecuaciones de las funciones de tiempo

Los temporizadores se habilitan en cadena. El primero en ser activado es T1, éste habilita a T2, que a su vez activa a T3, y T3 restablece todo el sistema. En estas condiciones se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ecuación de } T1: T1 = R1 \overline{T3}$$

$$\text{Ecuación de } T2: T2 = T1$$

$$\text{Ecuación de } T3: T3 = T2$$

La función R es la encargada de restablecer los temporizadores retentivos y es obtenida del último temporizador de la cadena, en este caso T3 condicionado con la función R1. Con estas condiciones se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación de } R: R = T3R1$$

Se recuerda que esta función va a restablecer los tres temporizadores. Este dato debe ser considerado en el momento de programar esta función.

c. Programa para el PLC Siemens

La transferencia de la nomenclatura de variables es necesaria para realizar la implementación de las ecuaciones con el PLC Siemens. El cambio en la nomenclatura es la siguiente:

Memorias: R1=M0.0

Temporizadores: T1=T5, T2=T6 y T3=T7

Funciones de salida: F1=Q0.1, F2=Q0.2 y F3=Q0.3

Función de entrada: I=I0.0

La resolución de los temporizadores es de 0.1 segundos. La Fig. 8-31 muestra el resultado con el programa para el PLC Siemens. La función que restablece los temporizadores (R) tiene como inicio T5 y restablece tres elementos, ésta es la razón por la cual tiene el número 3 debajo de la función. Los tres elementos a ser restablecidos son T5, T6 y T7.

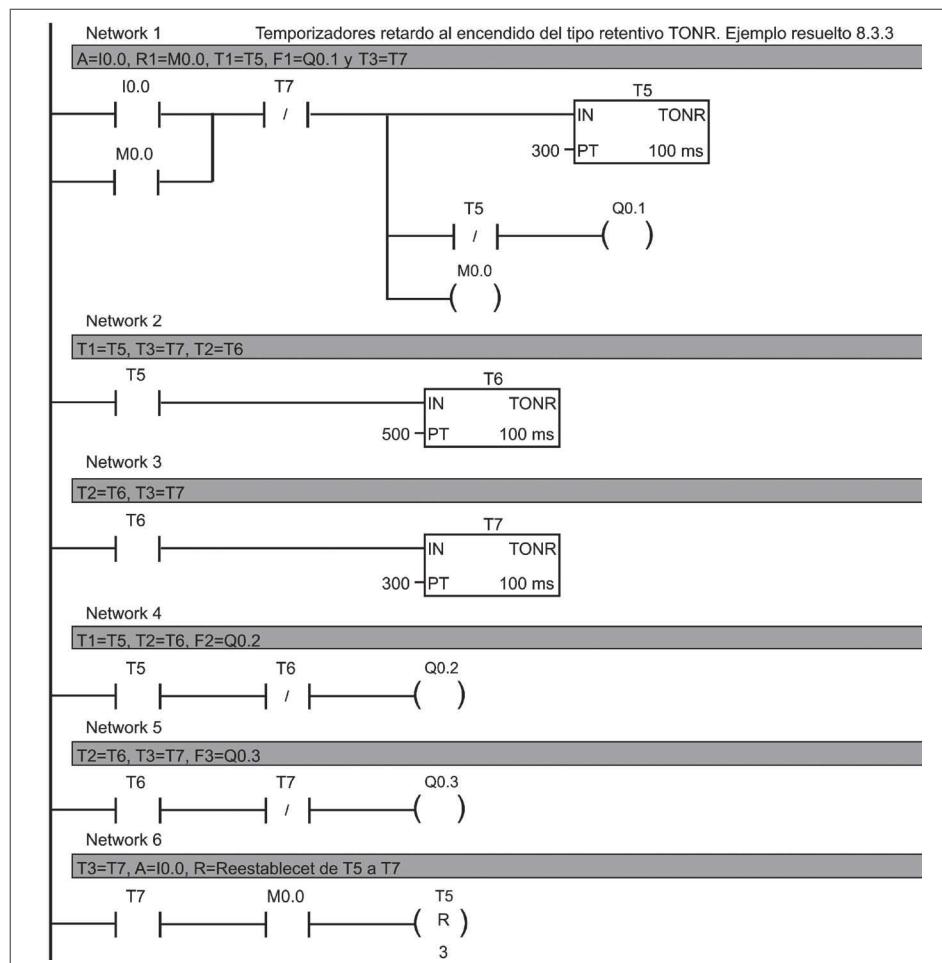


Fig. 8-30. Diagrama de PLC para el problema 8.3.3

8.4 Función contador

La función de este dispositivo es contar eventos o frecuencias de señales eléctricas provenientes de dispositivos que tengan la capacidad de mandar estas señales, como sensores, interruptores de límite, contactos de relevadores o temporizadores. Este dispositivo cuenta con dos entradas lógicas permisivas: una es para el conteo de eventos y la otra restablece el contador independientemente de qué valor tenga el contador en el momento que se activa. Esta función es llamada *reset*.

La aplicación es tan diversa que se mencionan solo algunos ejemplos: como contador de ciclos de operación en un proceso o máquina industrial, como contador de pulsos provenientes de sensores ópticos llamados *encoders*, en inglés, como contador de pasos en una secuencia y monitorear que sean ejecutados todos los pasos para completar un ciclo de operación en una máquina.

El contador puede ser del tipo relevador electromecánico en un sistema de lógica cableada. Aunque no es muy común este tipo de sistemas en la actualidad, es necesario mencionar que existen. Esta función también es aplicada en lógica programada en un sistema a base de PLC, ya que esta aplicación es la más común y es en la que se va a enfocar este texto.

De acuerdo al modo de operación existen dos tipos: el contador ascendente y el contador descendente. Ambos dispositivos pueden aplicarse como contador totalizador y de impulsos o eventos. La combinación de ambos da como resultado otra función de conteo llamada contador *ascendente-descendente*.

Contador totalizador

El contador totalizador (Fig. 8-31) es del tipo ascendente, no cuenta con una señal de salida que sea tomada como parte de la secuencia de la máquina o proceso, solo tiene la entrada de conteo de impulso, no cuenta con un valor preestablecido y con un dispositivo que restablezca a cero la cantidad de eventos contados.

Las cualidades de este contador le dan la propiedad de ser utilizado en aplicaciones como testigo de productividad en máquinas o procesos industriales y también por los fabricantes de maquinaria industrial con fines de definir frecuencias de mantenimiento preventivo de acuerdo a un número de ciclos de operación. Además se usa para medir la vida útil de algunos componentes en máquinas industriales.

Contador con valor preestablecido

El contador de impulsos con valor preestablecido (Fig. 8-31) cuenta con dos entradas: la de conteo de impulso y la que restablece al contador. Este tipo de contador cuenta con las tres funciones de conteo, ascendente, descendente y la combinación de ambos contadores. Puede ser programado para que active o desactive una función al llegar a un valor preestablecido, a un valor intermedio del conteo o llegar a cero el contador.

El contador en el FluidSim es del tipo descendente y es representado por una bobina que cuenta con la entrada de conteo identificada como A1 y A2 y la entrada de reset identificada como R1 y R2, con máximo valor preestablecido de 9999 conteos (Fig. 8-31). La entrada A1 y A2 reciben el pulso de señal de conteo, R1 y R2 reciben el pulso que restablece el contador. Ambas funciones se realizan mediante la aplicación de un voltaje.



Fig. 8-31. Contadores del tipo electromecánico y el símbolo con el FluidSim.

Función contador con el PLC Siemens

La función contador en el PLC Siemens está dentro de las operaciones de conteo (contadores) y se puede encontrar como CTU (contador ascendente), CTD (contador descendente) y las combinaciones de ambas funciones como CTUD (contador ascendente-descendente). Cada contador cuenta con su condición de habilitación lógica de conteo, su condición de habilitación de reinicio y el valor preestablecido de conteo llamado PV, por sus siglas en inglés. La Tabla 8-2 muestra los operandos asignados a los contadores en este PLC.

Entradas/Salidas	Operandos	Datos
Cxxx	Constante	WORD
CU, CD, R, LD	I, Q, M, SM, T, C, V, S, L (Señal de entrada)	BOOLEANO
PV	VW, IW, QW, MW, SMW, LW, SW, AIW, AC, T, C, CONSTANTE	INT

Tabla 8-2. Operandos y datos aplicados a las operaciones contador.

Contador ascendente con el PLC Siemens

Esta función contador inicia su conteo a partir de cero hasta llegar al valor preestablecido. En el PLC Siemens esta función es llamada CTU, por su definición en inglés de contador ascendente, y requiere dos señales de entrada y dos parámetros que se tienen que definir.

Las señales de entrada son:

- Entrada que incrementa el conteo, llamada CU.
- Entrada que restablece el contador, llamada R.

Esta función se muestra en la Fig. 8-32. Nótese que hay que definir los siguientes dos parámetros:

- Cxxx es el número del contador, el cual va desde C0 hasta C255. El PLC Siemens tiene un total de 256 contadores.
- PV es el valor numérico preestablecido que va a definir el cambio de estado de los contactos del contador.

Esta función inicia el conteo ascendente a partir de cero. El incremento se realiza cuando se produce un flanco positivo en la entrada CU. Al llegar al valor preestablecido cambian de estado los contactos y se mantienen así hasta que se restablece el contador.

La señal de entrada “Restablecer valor de conteo” tiene prioridad sobre la señal de entrada “Incremento de conteo”. En cualquier momento que se active esta entrada se restablecerá el contador, lo que significa que se va a cargar el cero como valor actual. Si la entrada de incremento de conteo sigue recibiendo señal y el contador llegó a su valor preestablecido, el valor se sigue incrementando y los contactos dependientes del contador se mantienen con el cambio de estado hasta que existe una señal en la entrada de restablecer contador. El máximo valor preestablecido que puede ser programado es de 32,767.

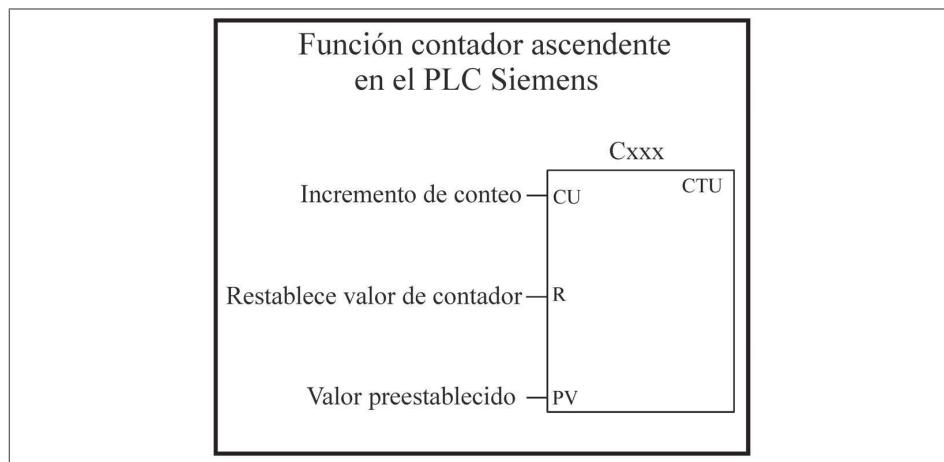


Fig. 8-32. Función contador en el PLC Siemens.

Ejemplo 8.4.1

Se necesita activar la función de salida Q0.0 cuando la función de entrada I0.0 se haya activado 5 veces, el sistema se restablece cuando la función de entrada I0.1 es activada.

El cronograma de conteos mostrado en la Fig. 8-33 indica cómo opera el sistema. El conteo inicia de cero y se incrementa cuando se aplica una señal de flanko positivo en la entrada I0.0 hasta llegar al valor preestablecido (PV). Cuando el valor del contador es mayor o igual al valor preestablecido, en ese momento cambian de estado lógico los contactos del contador y éste se reinicia al activarse la entrada I0.1 conectada en la entrada de desactivación (R). Una vez reiniciado el contador, queda listo para volver a funcionar.

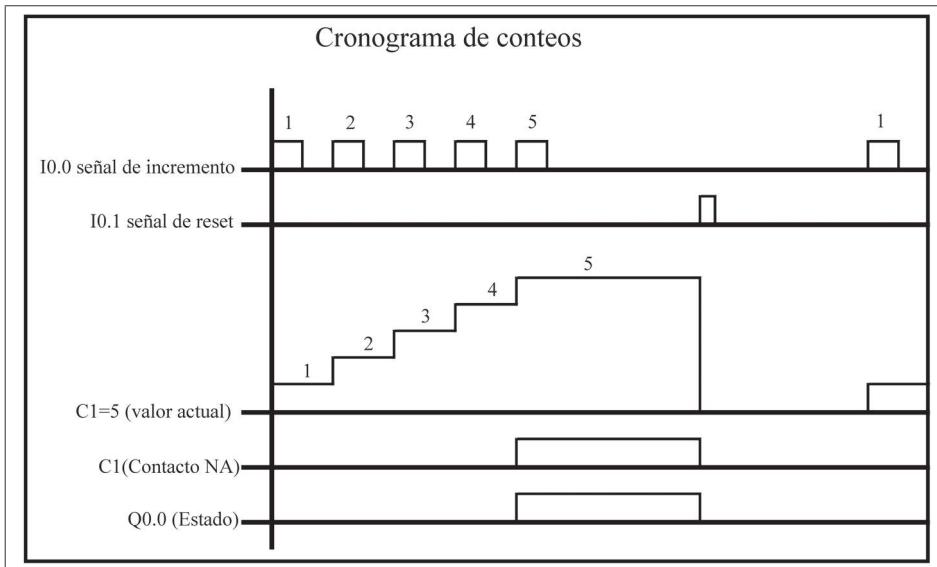


Fig. 8-33. Cronograma de conteos del ejemplo 8.4.1.

- Obtenga las ecuaciones del sistema.
- Desarrollar el diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

a. Ecuaciones del sistema

Las ecuaciones de este sistema son simples, se deben obtener dos ecuaciones para el contador y una ecuación para la salida.

Ecuaciones del contador

Las ecuaciones del contador son: una que active el conteo y otra para restablecer el contador.

$$C1(\text{Conteo}) = I0.0$$

$$C1(LD) = I0.1$$

Ecuación de la función de salida

La ecuación de la función de salida Q0.0 es dependiente solo del contador C1.

$$Q0.0 = C1$$

b. Diagrama de lógica de contactos

Las ecuaciones son transferidas a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens mostrado en la Fig. 8-34.

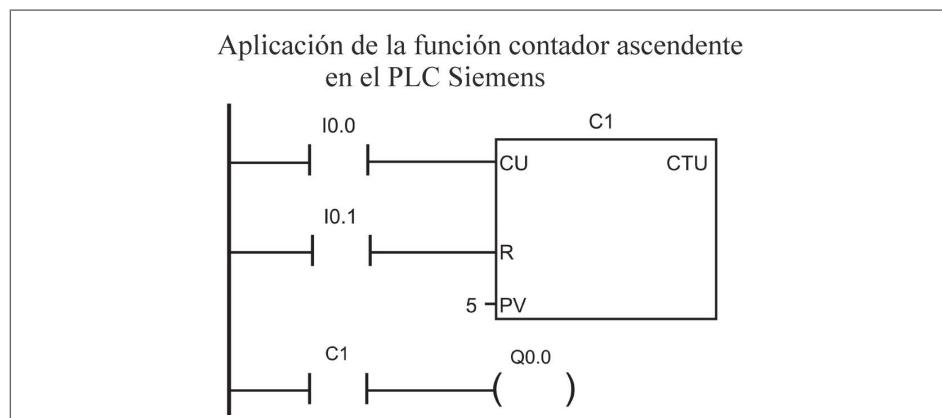


Fig. 8-34. Diagrama de lógica de contactos del ejemplo 8.4.1.

Contador descendente (CTD)

Esta función inicia su conteo desde el valor preestablecido hasta llegar a un valor de cero conteos. El valor preestablecido tiene un decremento cuando se produce un flanko positivo en la entrada “Decremento de conteo (CD)”. Cuando el valor actual es igual a cero se activa el bit de conteo, lo que cambia de estado los contactos del contador (Cxxx). El bit de conteo es desactivado cuando la entrada “Cargar el valor preestablecido (LD)” es activada. Este contador se detiene al llegar al valor cero. La Fig. 8-35 muestra esta función en el PLC Siemens.

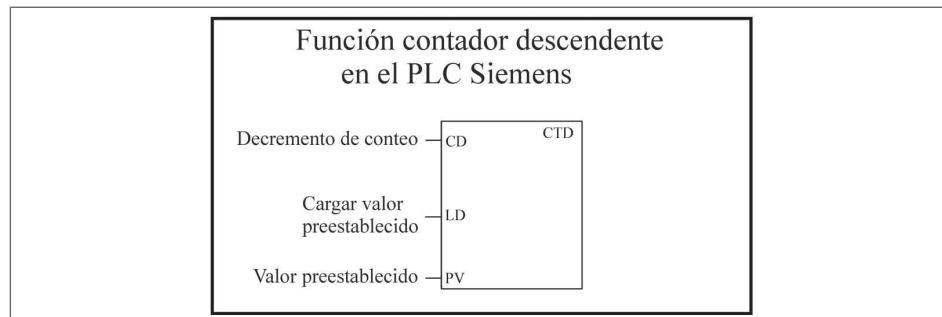


Fig. 8-35. Función contador descendente en el PLC Siemens.

Ejemplo 8.4.2

Si se utiliza el contador descendente para resolver el problema 8.4.1 se obtiene como resultado el cronograma de conteos mostrado en la Fig. 8-38. La señal de reset es cambiada por la de cargar el valor preestablecido.

El cronograma de conteos mostrado en la Fig. 8-36 indica cómo se requiere que opere el sistema. El conteo inicia desde el valor preestablecido (PV) y se decremente al tener una transición positiva en la entrada CD. Al llegar al valor de cero conteos, los contactos del contador cambian de estado lógico. Cuando se activa una señal en la entrada de cargar valor (LD), se carga el valor preestablecido y los contactos cambian a su estado original.

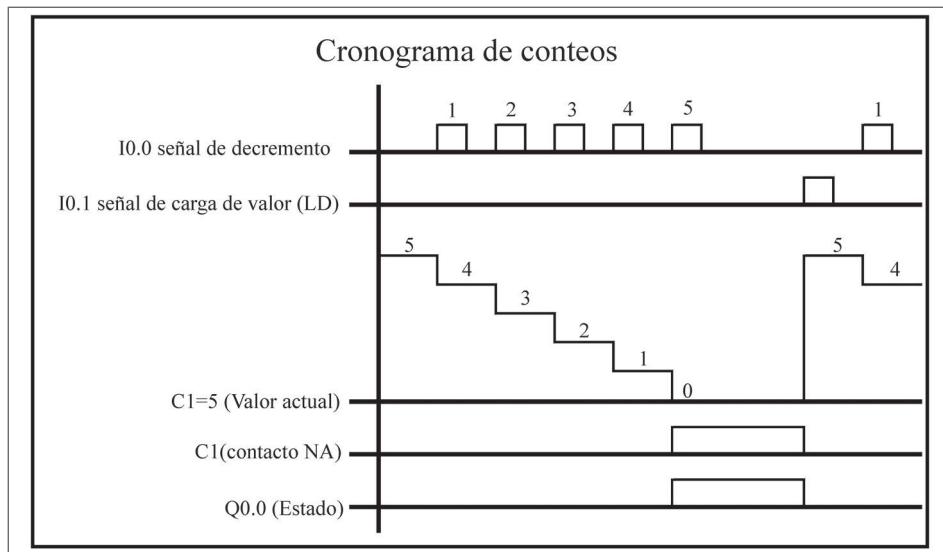


Fig. 8-36. Cronograma de conteo de eventos del ejemplo 8.4.2.

- Obtenga las ecuaciones del sistema.
- Desarrollar el diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

a. Ecuaciones del contador

Las ecuaciones del contador son una que active el conteo y otra para restablecer el contador

$$C1(\text{Conteo}) = I0.0$$

$$C1(LD) = I0.1$$

Ecuación de la función de salida

La ecuación de la función de salida Q0.0 depende solo del contador C1.

$$Q0.0 = C1$$

b. Diagrama de lógica de contactos

Las ecuaciones son transferidas a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens mostrado en la Fig. 8-37.

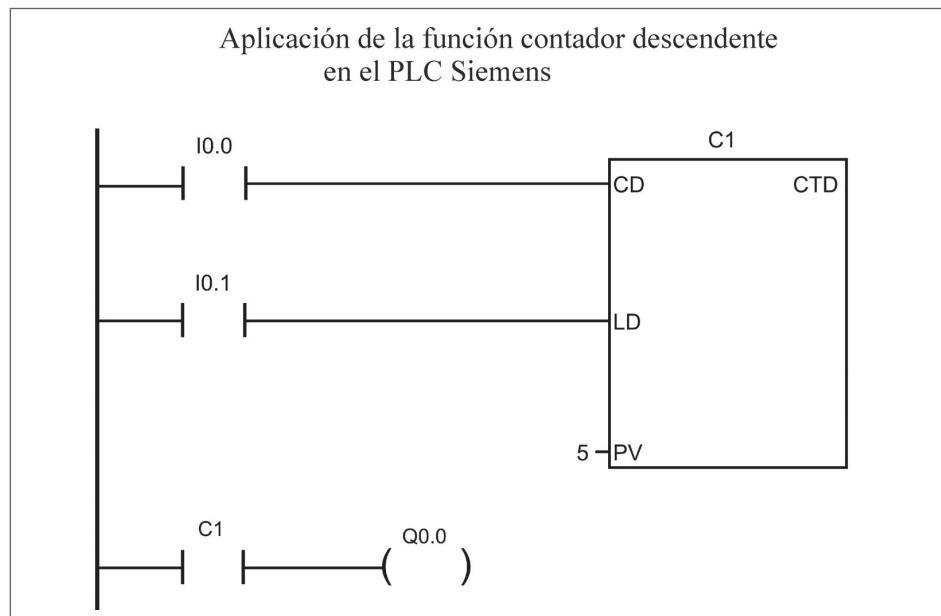


Fig. 8-37. Ejemplo con el contador descendente con el PLC Siemens.

Contador ascendente/descendente (CTUD)

Esta función *incrementar/decrementar un contador* (CTUD) inicia el conteo hacia adelante cuando se produce un flanco positivo en la entrada de incremento de conteo (CU) y hacia atrás cuando se produce un flanco positivo en la entrada decremento de conteo (CD).

El valor de preselección (PV) se compara con el valor actual cada vez que se ejecuta la operación de conteo. El valor máximo que puede ser asignado es de 32,767. Cuando el valor actual del contador es mayor o igual al valor preestablecido (PV), el bit de conteo se activa; en caso contrario, se desactiva. El contador se inicializa cuando se activa la entrada “Restablecer valor de contador (R)”. Esta función en el PLC Siemens es mostrada en la Fig. 8-38.

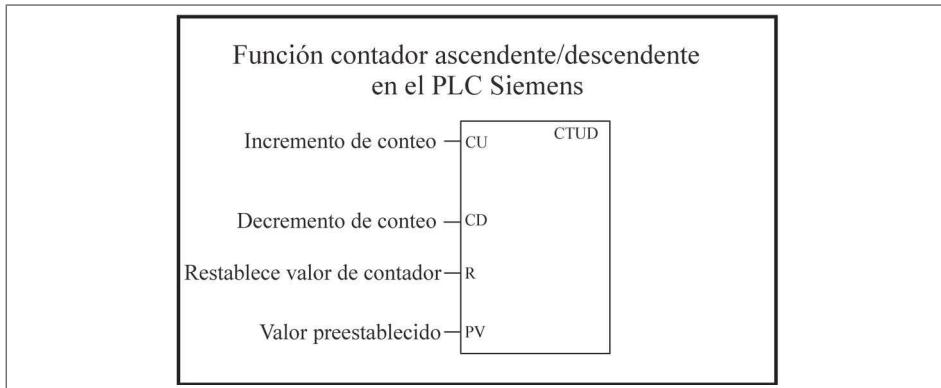


Fig. 8-38. Función contador ascendente/descendente.

Ejemplo 8.4.3

En una sala de exhibición de un museo solo puede haber cinco personas a la vez observando una pintura, de tal manera que una vez que están las cinco debe encenderse la lámpara que avisa que no hay cupo (salida Q0.0). Cuando una persona sale, se apaga la lámpara y permite con esto el acceso a otra. El sistema cuenta con dos sensores localizados a una cierta distancia de tal manera que se puede definir si una persona entra o sale (no se va a realizar este análisis), lo que resume esto en dos señales: una indica dirección hacia adentro (entrada I0.0) y la otra dirección hacia afuera (entrada I0.1). El cronograma de conteos se muestra en la Fig. 8-41. La función *reset* es un interruptor de llave y se utiliza cuando el museo ha sido cerrado y el vigilante verifica que el público se ha retirado. Posterior a esto, cierra con llave y aplica la señal de entrada en I0.2 para restablecer el contador.

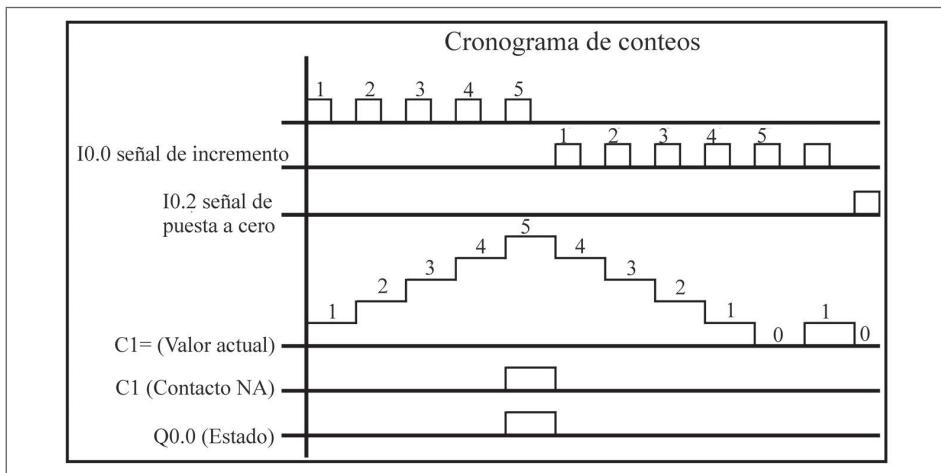


Fig. 8-39. Cronograma de conteo de eventos con un contador ascendente/descendente.

- Obtenga las ecuaciones del sistema.
- Desarrollar el diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.
- Ecuaciones del contador

Se deben obtener tres ecuaciones para el contador, una para incrementar el conteo, otra para decrementar el conteo y una tercera para restablecer el contador.

$$C1(\text{Incremento}) = I0.0$$

$$C1(\text{Decremento}) = I0.1$$

$$C1(\text{Reset}) = I0.2$$

Ecuación de la función de salida

La ecuación de la función de salida Q0.0 depende solo del contador C1.

$$Q0.0 = C1$$

- Diagrama de lógica de contactos

Las ecuaciones son transferidas a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens que se muestra en la Fig. 8-40.

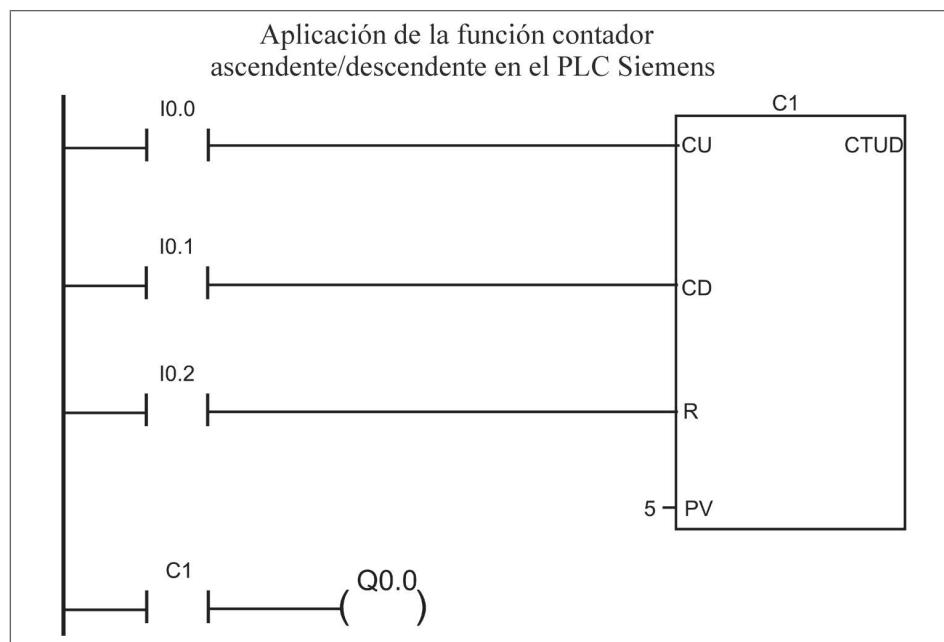


Fig. 8-40. Ejemplo con contador ascendente/descendente.

8.5 Funciones de comparación de valores numéricos

Las funciones de comparación son estándar en el PLC Siemens y se utilizan en sistemas secuenciales para comparar valores numéricos provenientes de funciones de tiempo, de conteo, de entradas analógicas, etcétera.

El resultado de la comparación se usa para condicionar el encendido o apagado de funciones de salida o memorias internas. La representación de estas funciones en un diagrama de lógica de contactos se realiza mediante contactos del tipo normalmente abiertos, con la función de comparación entre el contacto. También requiere la declaración de dos parámetros, IN1 e IN2; éstos deben ser valores numéricos y la comparación es entre ellos mismos. Con esto se define en qué momento se cierra y en cuál se abre el contacto. La Fig. 8-41 muestra la función de comparación de mayor o igual que. Cuando esta comparación se cumple, se cierra el contacto y se abre si la condición no se cumple.

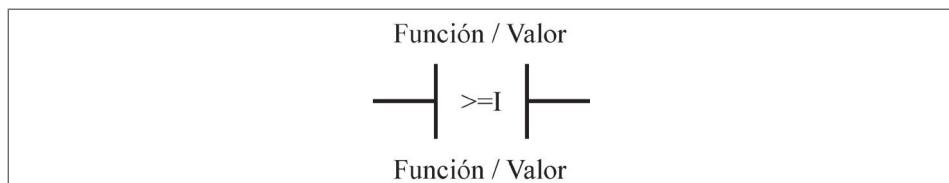


Fig. 8-41. Función mayor o igual que..

Las comparaciones de bits en el PLC Siemens son las siguientes:

IN1 = IN2 (Igual que)	IN1 > IN2 (Mayor que)
IN1 >= IN2 (Mayor o igual que)	IN1 < IN2 (Menor que)
IN1 <= IN2 (Menor o igual que)	IN1 <> IN2 (Mayor y menor que)

Las comparaciones de bytes no llevan signo, pero las de enteros, de palabras y de números reales sí. Al incluir estas funciones a un sistema automático del tipo secuencial y combinarlas con la función de tiempo y conteo, se puede realizar la activación y desactivación de varias funciones de salida con un solo temporizador o con un solo contador. Esto se puede lograr realizando la respectiva comparación de valores de las propias funciones de tiempo o conteo, por supuesto siempre y cuando el sistema secuencial lo permita.

Enseguida se abordarán tres ejemplos resueltos con la finalidad de aplicar las funciones de comparación; en primera instancia, en los dos primeros ejemplos son aplicadas en combinación con la función contador y, en segunda instancia, en el tercer ejemplo se aplican las funciones de comparación conjugadas con la función tiempo.

Ejemplo 8.5.1

De acuerdo al cronograma de conteo de eventos mostrado en la Fig. 8-42 la entrada I0.0 activa el conteo de C1, éste tiene un valor preestablecido de cinco even-

tos y se va a restablecer aplicándole a la entrada de reset una transición negativa proveniente de I0.1. La salida Q0.0 se va habilitar cuando el valor del contador C1 sea igual o mayor a dos. La salida Q0.1 se va habilitar cuando C1 sea igual a tres conteos y la salida Q0.2 se va habilitar cuando el valor de C1 sea mayor o igual a cinco conteos.

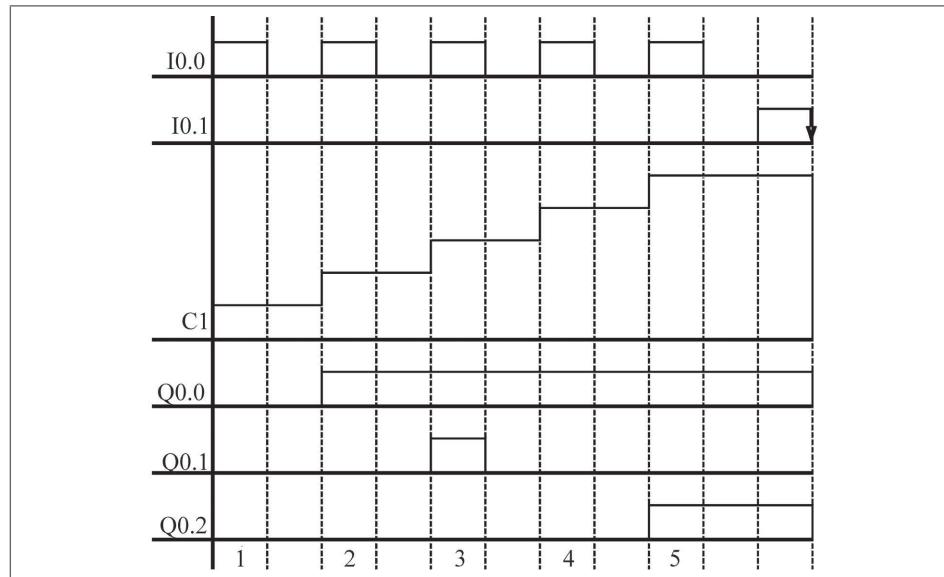


Fig. 8-42. Cronograma de conteo de eventos del ejemplo 8.5.1.

Las condiciones que encienden a las funciones de salida son expresadas de forma matemática de la siguiente manera:

Las condiciones que encienden a las funciones de salida son expresadas de forma matemática de la siguiente manera:

- (1) Si $C1 \geq 2$ entonces $Q0.0 = 1$
- (2) Si $C1 = 3$ entonces $Q0.1 = 1$
- (3) Si $C1 \geq 5$ entonces $Q0.2 = 1$

Solución

Del cronograma de conteos se observa que la transición negativa en la entrada I0.1 restablece el contador y lo lleva del número de conteos que tenga en el momento que se activa esta entrada al valor de cero y la entrada I0.0 es la encargada de realizar el incremento de conteos a C1.

Las ecuaciones que representan al contador en un diagrama de lógica de contactos con el PLC Siemens son las siguientes:

$$C1(CU) = I0.0$$

$$C1(R) = \downarrow I0.1$$

Las ecuaciones de las funciones de salida se obtienen de las comparaciones que se muestran como condición.

$$Q0.0 = (C1 >= 2)$$

$$Q0.1 = (C1 == 3)$$

$$Q0.2 = (C1 >= 5)$$

Estas ecuaciones son transferidas a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens. Éste es mostrado en la Fig. 8-43.

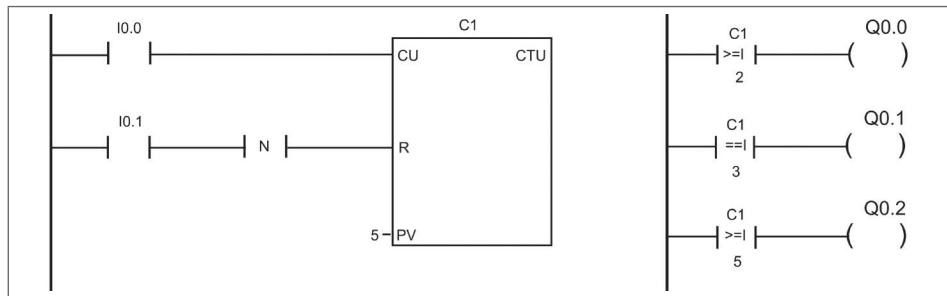


Fig. 8-43. Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens del ejemplo 8.5.1.

Ejemplo 8.5.2

Ahora el ejemplo 8.5.1 es resuelto con un contador del tipo descendente. Todas las condiciones se mantienen, solo cambia el cronograma de conteos. Éste se muestra en la Fig. 8-44. Nótese que ahora el contador inicia con un valor preestablecido de cinco hasta llegar a un valor de cero conteos.

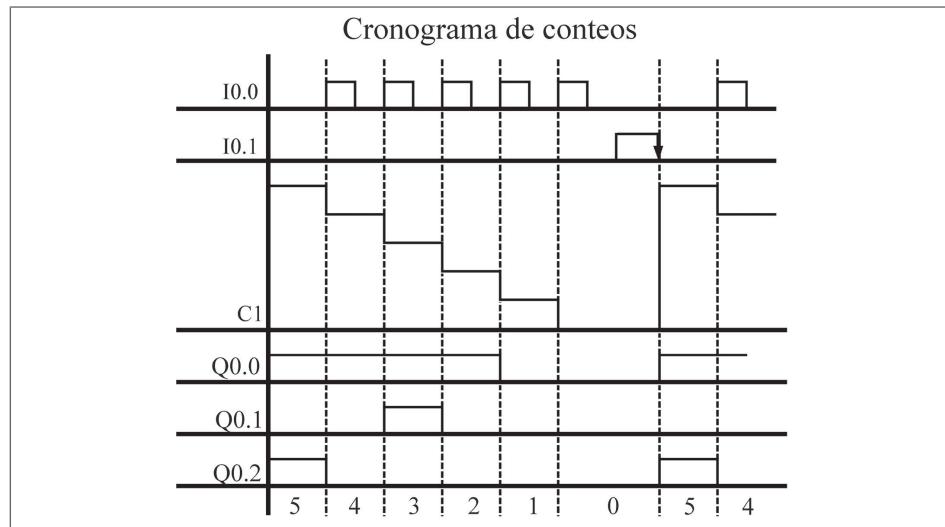


Fig. 8-44. Cronograma de conteos del ejemplo 8.5.2.

Solución

Las ecuaciones para el contador son las siguientes:

$$C1(CD) = I0.0$$

$$C1(LD) = \downarrow I0.1$$

Las ecuaciones de las funciones de salida son las mismas. Sin embargo el resultado en función es diferente debido al tipo de contador utilizado en este problema. El diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens se muestra en la Fig. 8-47.

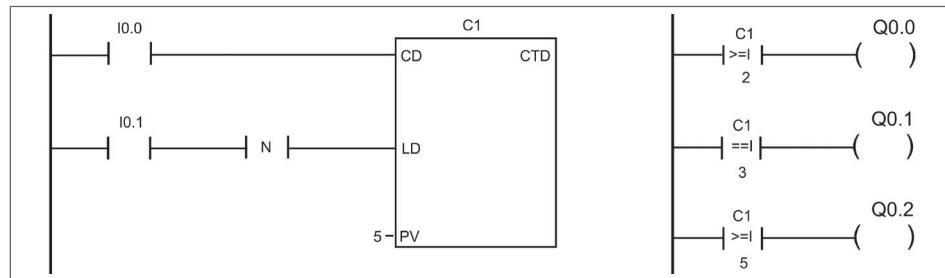


Fig. 8-45. Diagrama de lógica de contactos del ejemplo 8.5.2.

Ejemplo 8.5.3

Un sistema secuencial cuenta con dos temporizadores del tipo retardo al encendido (TON). Se requiere activar tres funciones de salida. Estas activaciones y desactivaciones son desfasadas en tiempo. El sistema cuenta con un botón de paro conectado en la entrada I0.0 y uno de arranque conectado en la entrada I0.1. El

sistema es activado con una transición negativa de la entrada I0.1. El cronograma de tiempos de la Fig. 8-46 muestra cómo son activadas las funciones de salida.

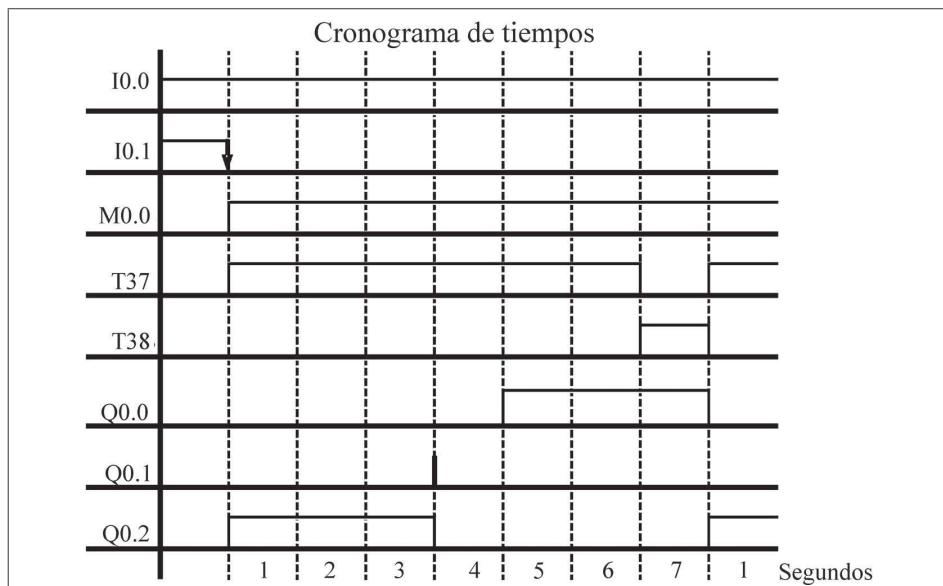


Fig. 8-46. Diagrama de tiempos del ejemplo 8.5.3.

Las condiciones que activan las funciones de salida son las siguientes.

- La función Q0.0 es activada después de que el temporizador T37 tiene un valor de 4 segundos.
- La función Q0.1 es activada solo cuando el valor actual del temporizador T37 es de 3 segundos.
- La función Q0.2 se enciende cuando se activa la función M0.0 y T37 es mayor o igual que cero, pero menor o igual a 3 segundos.

Como la resolución de los temporizadores es de 0.1 segundo los valores preestablecidos son los siguientes:

$$T37=60 \text{ y } T38=10$$

- a. Obtenga las ecuaciones del sistema.
- b. Obtenga el diagrama de lógica de contactos.

Solución

Se deben obtener ecuaciones para la memoria, para cada uno de los temporizadores y para cada una de las funciones de salida. Las ecuaciones son obtenidas del cronograma de tiempos mostrado en la Fig. 8.46 y después transferidas a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

a. Ecuación de la memoria M0.0

Para obtener la ecuación de la memoria se considera que I0.0 es un botón normalmente cerrado y que su función es realizar el paro del sistema. Cuando se tiene una transición negativa de la entrada I0.1, se inicia el sistema mediante la activación de la memoria M0.0 que mantiene en operación el sistema de tiempos. Si se toman en cuenta las condiciones explicadas se obtiene la ecuación de la memoria M0.0.

$$M0.0 = (\downarrow I0.1 + M0.0) I0.0$$

Ecuaciones de los temporizadores

El temporizador T37 enciende el temporizador T38 y éste es el encargado de restaurar el sistema, lo que da como resultado las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} T37 &= M0.0 \overline{T38} \\ T38 &= T37 \end{aligned}$$

Ecuaciones de las funciones de salida

Las condiciones del encendido de las funciones se expresan de forma matemática:

01. Si $T37 >= 40$ entonces $Q0.0 = 1$
02. Si $T37 == 30$ entonces $Q0.1 = 1$
03. Si $T37 >= 0$ y $T37 <= 30$, además $M0.0 = 1$ entonces $Q0.2 = 1$

b. Diagrama de lógica de contactos

Las ecuaciones obtenidas y las condiciones de las funciones de salida son transferidas a un diagrama de lógica de contactos que se muestra en la Fig. 8-46 para el PLC Siemens.

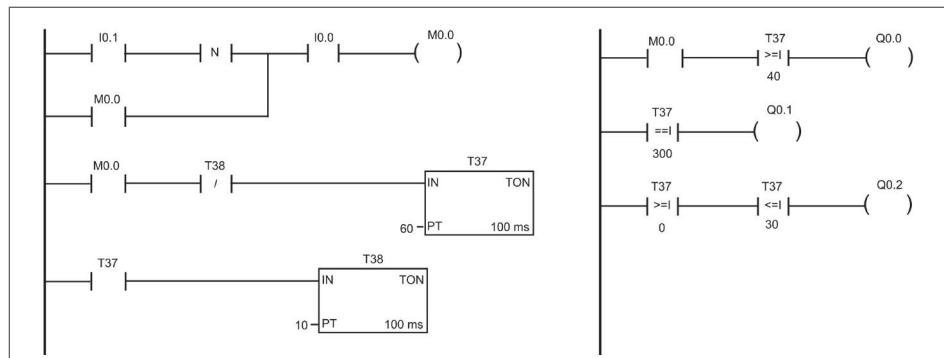


Fig-8-47. Ejemplo de la aplicación de las funciones de comparación y tiempo.

8.6 Ajuste de valores preestablecidos mediante una HMI

Una HMI es una interfase hombre-máquina, por sus siglas en inglés *Human-Machine Interface*. Al aplicar estos dispositivos a un sistema automatizado a base de PLC se vuelve más versátil, ya que se pueden desplegar mensajes de alarma, cambiar valores preestablecidos, activar señales de entrada, forzar señales de salida y hasta visualizar el proceso completo en un esquemático que muestre el funcionamiento de todo el sistema.

El visualizador de texto TD 200, que se muestra en la Fig. 8-48, es una interfase hombre-máquina de bajo costo para el PLC Siemens S7-200. Un operador de una máquina puede interactuar con la secuencia programada en el PLC mediante este visualizador. Puede desde ajustar valores preestablecidos de contadores, temporizadores y parámetros de variables analógicas hasta encender todo el proceso mediante señales de entrada declaradas en el propio visualizador de textos.

Una gran ventaja que tiene este visualizador de textos es que utiliza el mismo software del PLC Siemens S7-200 para su configuración. El asistente del TD200 en el Step7-Micro/Win de Siemens permite ajustar los parámetros del visualizador de textos e introducir todos los avisos personalizados del sistema secuencial que se estén programando.

Este visualizador de textos tiene una capacidad de mostrar 80 mensajes de 20 o 40 caracteres cada uno, lo que le da versatilidad a una amplia variedad de aplicaciones del tipo industrial. La comparación de costo beneficio al aplicar este visualizador de textos da un resultado favorable ya que es de bajo costo y ofrece soluciones a un amplio campo de aplicación.

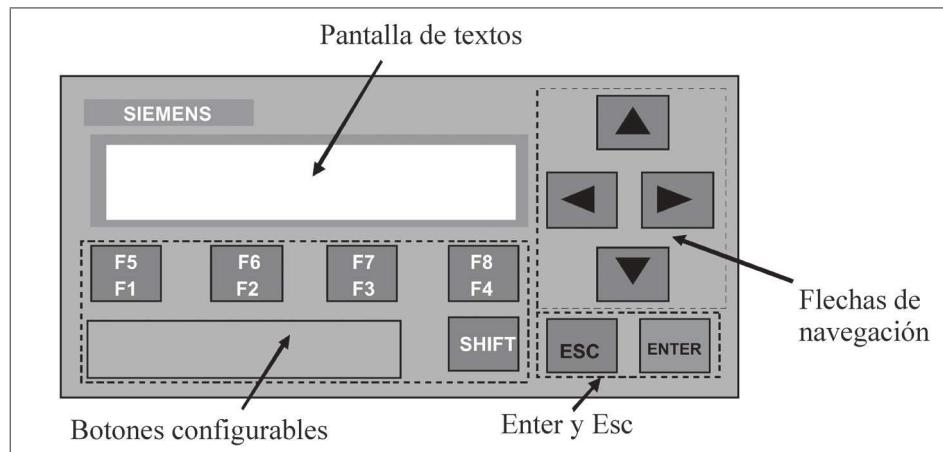


Fig. 8-48. Visualizador de textos TD 200.

En la Fig. 8-48 se observa que el visualizador de textos cuenta con 4 botones de funciones que se convierten en 8 cuando se combinan con la función “SHIFT”. Los botones de flechas son utilizados para navegar en el menú o en los mensajes desplegados en la pantalla. El botón de “ENTER” se utiliza para confirmar un valor en un mensaje y el “ESC” para salir de algún menú que haya sido seleccionado en el visualizador de textos.

Aplicación de la TD 200 de Siemens

Una de las aplicaciones más requeridas en los sistemas automáticos basados en PLC es ajustar valores preestablecidos de temporizadores y contadores. Si el sistema no cuenta con una HMI la única manera de realizar un cambio a estos valores es mediante una computadora e interfase. Estas actividades normalmente son realizadas por personal técnico especializado, esto evita la flexibilidad de hacer cambios en el momento requerido. Si el proceso o máquina industrial cuenta con una HMI facilita el ajuste de estos valores y así se tiene un mejor control y se evita que cualquier persona modifique un valor. Entonces se le declara una contraseña a la HMI y se le asigna a un grupo de operadores encargados del control en el cambio de los valores preestablecidos.

Para generar un nuevo proyecto con el PLC Siemens y el visualizador de textos TD 200 se siguen los pasos del asistente localizado en el software Step 7-Micro/Win. Los pasos a seguir son los siguientes:

04. Introducción. Bienvenido a la configuración del TD 200.
05. Selección del modelo y versión del TD200. Se debe seleccionar una de las tres casillas mostradas: TD200 versión 2.1 o anterior, TD200 versión 3.0 o TD200C versión 1.0.
06. Menús estándar y contraseña. En este menú se definen con solo seleccionar Si o No en las tres funciones básicas del TD200:
 - a. Desea activar el menú del reloj de tiempo real (TOD) del TD200.
 - b. Desea activar el menú de forzado del TD200.
 - c. Activar el menú “Programar cartucho de memoria”.
 - d. Activar el menú “Cambiar modo de la CPU”.
 - e. Activar menú “Cambiar modo de la CPU”.
 - f. Desea habilitar la protección con contraseña. Es una combinación de 4 dígitos.

De manera inicial, la habilitación de los dos menús y la contraseña están habilitadas, pero el usuario puede desactivarlos con solo seleccionar NO en las funciones que

07. Teclas de función y frecuencia de actualización. Aquí se definen las siguientes opciones:

- a. Las memorias donde van a estar ubicados los 8 botones. Como opciones se tienen los valores de 0 a 31.
 - b. Definir las teclas de función. Hay que definir su ubicación dentro de la secuencia. Se pueden definir como teclas de función para activar bits M o teclas de función de contactos momentáneo. Es recomendable que las funciones activen un bit M, lo que da como posibles valores a M0.0 hasta M31.0. Lo convencional es utilizar los primeros valores de las memorias, M0.0 a M0.7, y con esto se utilizarían las memorias a partir de la M1.0 en adelante para la secuencia.
 - c. La frecuencia de actualización de los mensajes para desplegarlos, las opciones que se tienen son: cuanto antes o cada segundo. Seleccionar "cuanto antes" ayuda para que no exista ni mínima demora en el desplegado de los mensajes.
08. Opciones de alarma. En esta pantalla se indica la longitud del texto de las alarmas y se determina cómo se deben visualizar, en 20 o 40 caracteres, y se debe seleccionar el número de mensajes a ser desplegados por la HMI.
 09. Asignar memoria. En esta página se selecciona el bloque de memoria V a utilizar en la configuración del TD 200.
 - a. Se indica en donde se debe depositar el bloque de parámetros de 14 bytes; por lo general está depositado en VB0.
 - b. Se define el byte de las marcas de habilitación, por lo regular se define en 14.
 - c. Se calcula la memoria que requiere el número de avisos y se define dónde se desea depositar la información. El byte inicial sobre avisos es 24.
 10. Alarmas. En esta página se definen las alarmas para la configuración del TD. Primero se definen las alarmas de mayor prioridad, las alarmas pueden contener datos del CPU.
 11. Componentes del proyecto. Esta página define la lista de componentes que generará el asistente para utilizarlos en el programa; y con esta página finaliza la programación del TD 200.

Ejemplos con el visualizador de textos TD200 y el PLC Siemens

Los siguientes ejemplos resueltos tienen como objetivo mostrar cómo se realiza la programación del visualizador de textos TD200 en conjunto con el PLC S7-200 de Siemens. Cada ejemplo puede ponerse en práctica si es que se cuenta con los componentes requeridos.

Cuando se muestren mensajes con el TD200 se van a declarar las siguientes dos direcciones y los dos bits:

- Bit de habilitación de aviso
- Bit de acuse de datos
- Dirección del aviso de datos
- Dirección del aviso

En cada ejemplo se va a realizar un diagrama de flujo para mostrar las condiciones que van a seleccionar cada uno de los mensajes, además declarar los bits y las dos direcciones requeridas.

Ejemplo 8.6.1

En un proyecto estudiantil se requiere aplicar un visualizador de textos que despliegue tres mensajes. Al encender el PLC se debe desplegar el primer mensaje, al oprimir la tecla F1 se debe desplegar el segundo mensaje y para pasar al tercer mensaje se debe oprimir la tecla F2. Si es necesario regresar al primer mensaje se debe oprimir la tecla F3. Hay que recordar que las teclas o los botones a los que se hace referencia están localizados en el visualizador de textos. En sí, en el ejemplo se va a navegar entre tres mensajes utilizando el visualizador de texto. Se debe desarrollar el programa para que el PLC haga la secuencia requerida. Los mensajes a ser desplegados son de 40 caracteres y son los siguientes:

Mensaje 1

E	j	e	r	c	i	c	i	o		c	o	n	T	D	2	0	0		
O	p	r	i	m	a		F	1		A	v	a	n	z	a	r			

Mensaje 2

E	j	e	r	c	i	c	i	o		c	o	n	T	D	2	0	0		
O	p	r	i	m	a		F	2		A	v	a	n	z	a	r			

Mensaje 3

E	j	e	r	c	i	c	i	o		c	o	n	T	D	2	0	0		
O	p	r	i	m	a		F	3		A	v	a	n	z	a	r			

Solución

Se inicia con la configuración del visualizador de textos TD200.

- Primero se selecciona el TD200. En este caso se selecciona la TD200 versión 2.1 o anterior.
- El idioma seleccionado, el español, y el tipo de letra que se selecciona es TD200 original.
- Del menú de contraseña se selecciona lo que aparece como estándar.
- En las teclas de función y frecuencia de actualización se dejan los mismos ajustes que están dados como estándar.

- e. Se seleccionan 3 avisos de 40 caracteres en la selección de alarmas.
- f. En asignar memoria se dejan los ajustes predeterminados.

Realizados estos ajustes, se definen las alarmas: mensajes a ser desplegados. El primer mensaje se escribe y el asistente nos indica unos valores, nos da una dirección y el bit que activa el propio mensaje, estos valores son diferentes para cada mensaje. El bit se utilizará en el diagrama de lógica escalera, por lo que es conveniente no olvidar ambos números. Una vez escrito el primer mensaje se procede a escribir el segundo y posterior a éste se escribe el tercero. En los tres mensajes el asistente estará generando una dirección y un bit de activación.

Los valores que nos da como resultado el asistente del visualizador de textos para este ejemplo aparecen en la Fig. 8-49, que nos muestra cómo es la navegación entre mensajes y los permisos que se tienen que cumplir para pasar al siguiente.

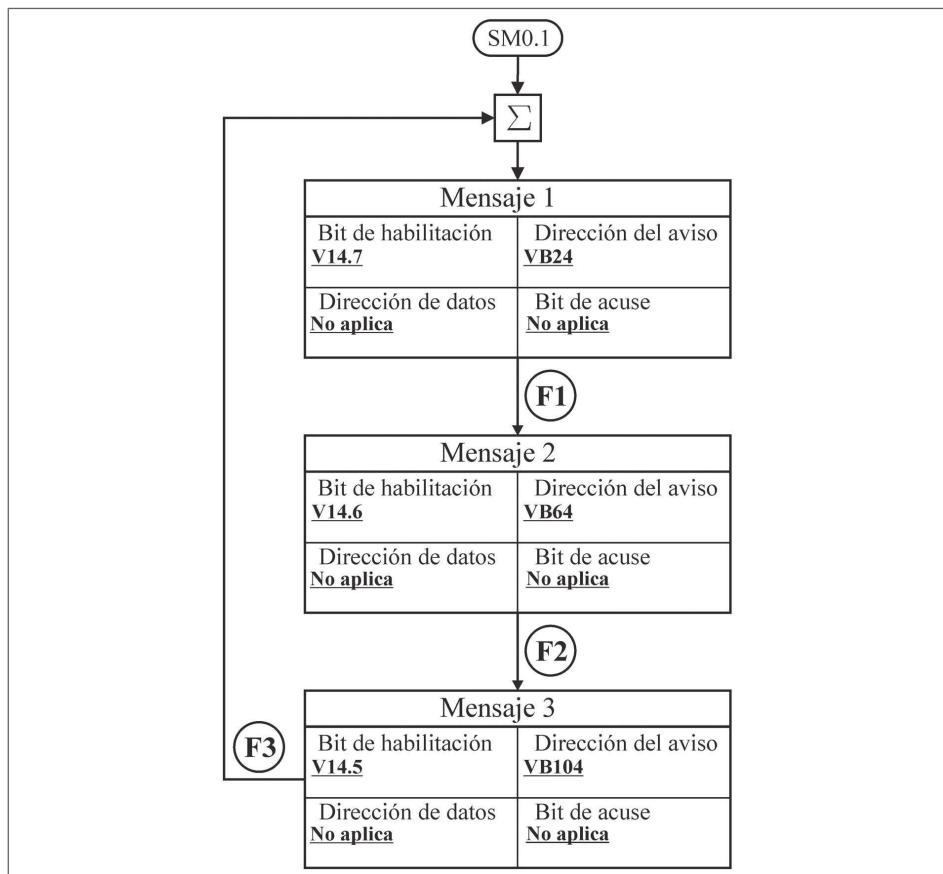


Fig. 8-49. Navegación entre mensajes del ejemplo 8.6.1.

Como se requiere que al encender el PLC se despliegue el primer mensaje, se tiene que considerar una función especial que se debe encender solo en el primer ciclo y que, en el PLC Siemens, se llama SM0.1 y se muestra en la Fig. 8-50. Este bit opera de la siguiente manera: al encenderse el PLC se activa inmediatamente, se cierra un contacto normalmente abierto o se abre un contacto normalmente cerrado, esto sucede solo en el primer ciclo de operación de la secuencia programada, en el segundo ciclo y posteriores queda inoperante este bit.

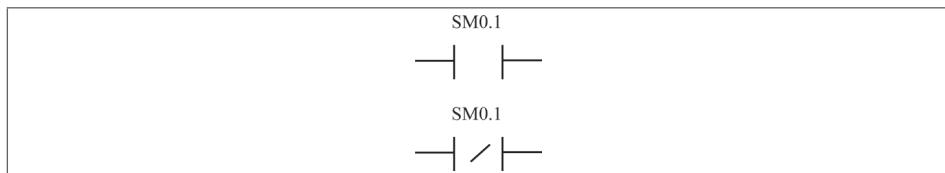


Fig. 8-50. Función SM0.1.

Aplicando la función MOV_B

Para mover los mensajes desde el lugar de memoria y desplegarlo en la TD 200 se utiliza la función MOV_B, que realiza el movimiento de un byte. Ésta es otra función especial del PLC Siemens, se muestra en la Fig. 8-51, que transfiere el byte localizado en la entrada a la salida sin modificar el valor original, esto sucede cuando es habilitada en la terminal EN.

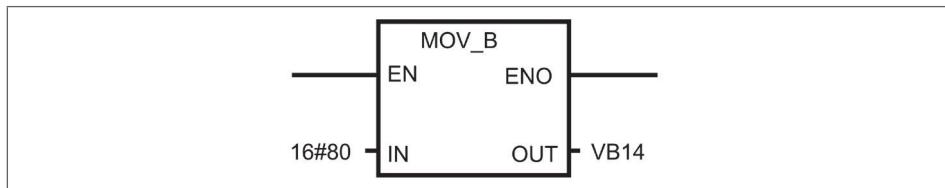


Fig. 8-51. Función MOV_B.

La dirección 16#80 es la ubicación del primer mensaje. El 16 significa que es un número hexadecimal y el valor 80 es debido a que solo debe estar encendido un bit del byte. En este caso solo está encendido el primer bit del byte, ésta es la razón del valor 80 en hexadecimal. La Tabla 8-3 muestra la tabla de valores para una instrucción de MOV_B. Si se cambia la dirección en la función de IN una instrucción puede desplegar 8 mensajes.

Binario								Hexadecimal	Dirección
1	0	0	0	0	0	0	0	80	16#80
0	1	0	0	0	0	0	0	40	16#40
0	0	1	0	0	0	0	0	20	16#20
0	0	0	1	0	0	0	0	10	16#10
0	0	0	0	1	0	0	0	8	16#08
0	0	0	0	0	1	0	0	4	16#04
0	0	0	0	0	0	1	0	2	16#02
0	0	0	0	0	0	0	1	1	16#01

Tabla 8-3. Selección de mensaje mediante bit de activación.

Si se necesita desplegar más de 8 mensajes se pueden utilizar otras dos funciones especiales del PLC Siemens, que se muestran en la Fig. 8-52. La función MOV_W que realiza el movimiento de una palabra y la función MOV_DW que puede mover una palabra doble. Dos bytes forman una palabra, ésta es la razón del 8000 en la entrada de la función MOV_W, y una palabra doble está formada por dos palabras o 4 bytes, ésta es la razón por la cual aparece el valor de 80000000 en la entrada de la función MOV_DW.

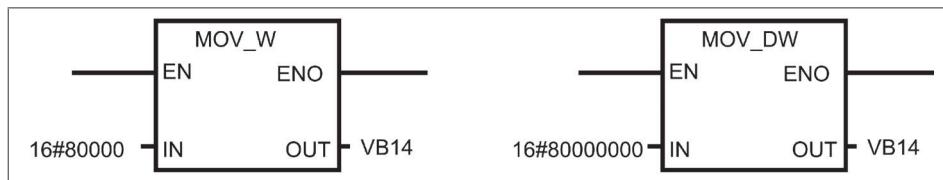


Fig. 8-52. Función de movimiento de una y doble palabra.

Los botones del visualizador de textos se ubican desde la memoria M0.0 hasta la memoria M0.7. Para este ejemplo solo se utilizarán las primeras tres. Como los botones en modo permanente activan la memoria se debe desactivar mediante la instrucción R cada vez que ésta se active.

El diagrama de lógica escalera es seccionado por mensaje hasta llegar al diagrama completo del sistema secuencial de mensajes.

Mensaje 1

Este mensaje se desplegará al encender el PLC, para esto es necesario utilizar la función especial SM0.1, para que habilite al mensaje durante el primer ciclo de operación. Para desplegarlo en los ciclos subsecuentes deberá estar desplegado el mensaje 3, para eso deberá ser activada la tecla F3. Para restablecer esta función una vez que fue activada se tiene que utilizar la función “Reset” llamada R. Para desplegar el mensaje se utiliza la función MOV_B, mover byte.

El diagrama de lógica de contactos para desplegar el mensaje 1 es mostrado en la Fig. 8-53. El valor 16#80 indica el número 80 en valor hexadecimal, lo que marca que la información que se tiene en esta dirección se va a mostrar en el visualizador de textos.

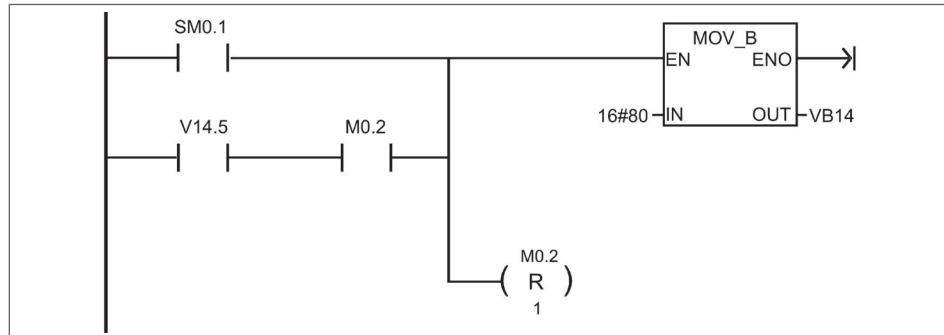


Fig. 8-53. Diagrama de lógica escalera para desplegar el mensaje 1.

Mensaje 2

Para desplegar este mensaje se requieren dos condiciones: la primera, que esté desplegado el mensaje 1 y la segunda, que se active la tecla de la función F1. Para realizar estas condiciones en el diagrama de lógica escalera se hace uso del bit que activa el mensaje 1, V14.7, y la memoria que activa el botón de la tecla de la función 1, M0.0. Al activar los botones del visualizador de textos se debe hacer uso de funciones de reset, esto obedece a que las teclas del visualizador de textos son del tipo retentivo, y una vez que haya sido activada se debe restablecer.

La Fig. 8-54 muestra el diagrama de lógica escalera que despliega este mensaje.

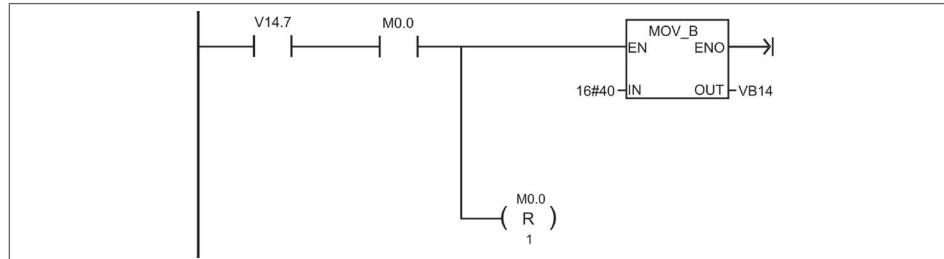


Fig. 8-54. Diagrama de lógica escalera para desplegar el mensaje 2.

Mensaje 3

Este mensaje será desplegado siempre y cuando se cumplan las siguientes dos condiciones: que esté presente el mensaje dos y que se active la tecla de la función F2. Eléctricamente estas condiciones son contactos que deben cerrarse para activar el mensaje, el bit que activa el mensaje 2, V14.6, y la memoria que activa la tecla F2, en este caso es la memoria M0.1. La Fig. 8-55 muestra el diagrama con lógica escalera para desplegar este mensaje.

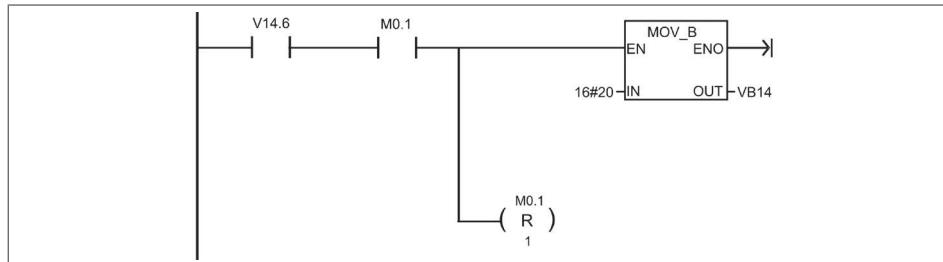


Fig. 8-55. Diagrama de lógica escalera para desplegar el mensaje 3.

Cuando el mensaje 3 esté desplegado y el botón F3 activado, se puede ir al mensaje 1.

Ejemplo 8.6.2

Con una pequeña modificación al ejemplo 1, se requiere activar una salida por cada mensaje que esté desplegado que va a estar encendida mientras el TD200 esté mostrando el mensaje. Se debe activar la salida Q0.0 cuando esté desplegado el mensaje 1. Q0.1 se activa cuando aparece el mensaje 2 y se activa Q0.2 cuando está desplegado el mensaje 3.

Solución

Se utilizan los bits de activación de los mensajes como condición para activar las salidas, las que son agregadas al diagrama de lógica de contactos. Esto da como resultado el diagrama que se muestra en la Fig. 8-56.

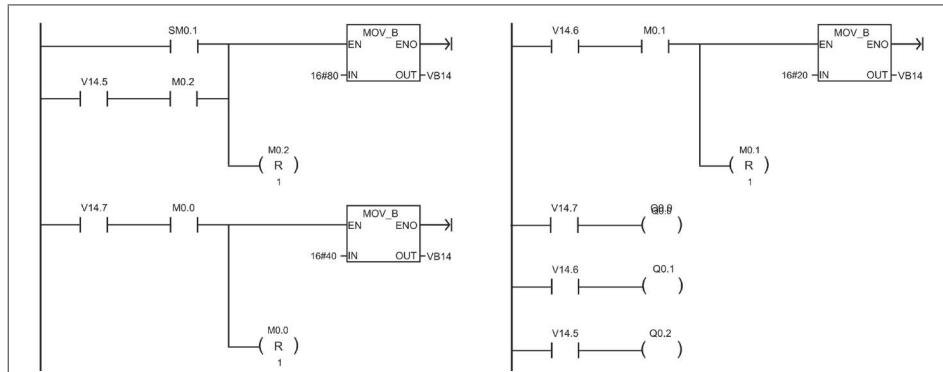


Fig. 8-56. Diagrama de lógica de contactos del ejemplo 8.6.2.

Ejemplo 8.6.3

Un sistema secuencial cuenta con tres funciones de tiempo: T37, T38 y T39. Las ecuaciones que representan el sistema son las siguientes:

$$M1.0 = I0.0 (I0.1 + M1.0)$$

$$\overline{T37 = M1.0 \quad T39}$$

$$T38 = M1.0 \quad T37$$

$$T39 = M1.0 \quad T38$$

$$Q0.0 = M1.0 \quad T38$$

$$Q0.1 = T38 \quad T39$$

Se requiere que estas ecuaciones sean representadas mediante un diagrama de lógica escalera. Los valores preestablecidos de los temporizadores deben ser ajustados mediante el visualizador de textos TD200. Para esto se debe declarar una clave para evitar que personas ajenas al proceso cambien los valores. También debe ser posible leer los valores instantáneos en el propio visualizador de textos. Los tres mensajes a ser desplegados son los siguientes:

Mensaje 1

E	j	e	r	c	i	c	i	o		c	o	n		T	D	2	0	0
A	j	u	s	t	e		d	e		p	a	r	a	m	e	t	r	o

Mensaje 2

T	3	7					T	3	8					F	1	R	e	g
T	3	9												F	2	A	v	a

En este mensaje las ventanas sombreadas indican los espacios para los valores preestablecidos.

Mensaje 3

L	e	e	r		v	a	1	o	r	e	s		T	3	7			
T	3	8					T	3	9									

Las ventanas sombreadas indican la posición en la que se va a localizar el valor actual del temporizador. La secuencia en que se van a desplegar los mensajes es mostrada en la Fig. 8-59. Las flechas indican las condiciones requeridas para pasar de un mensaje a otro. Cada flecha muestra una función y con esto marca que se tiene que activar la función y el mensaje para pasar al mensaje siguiente.

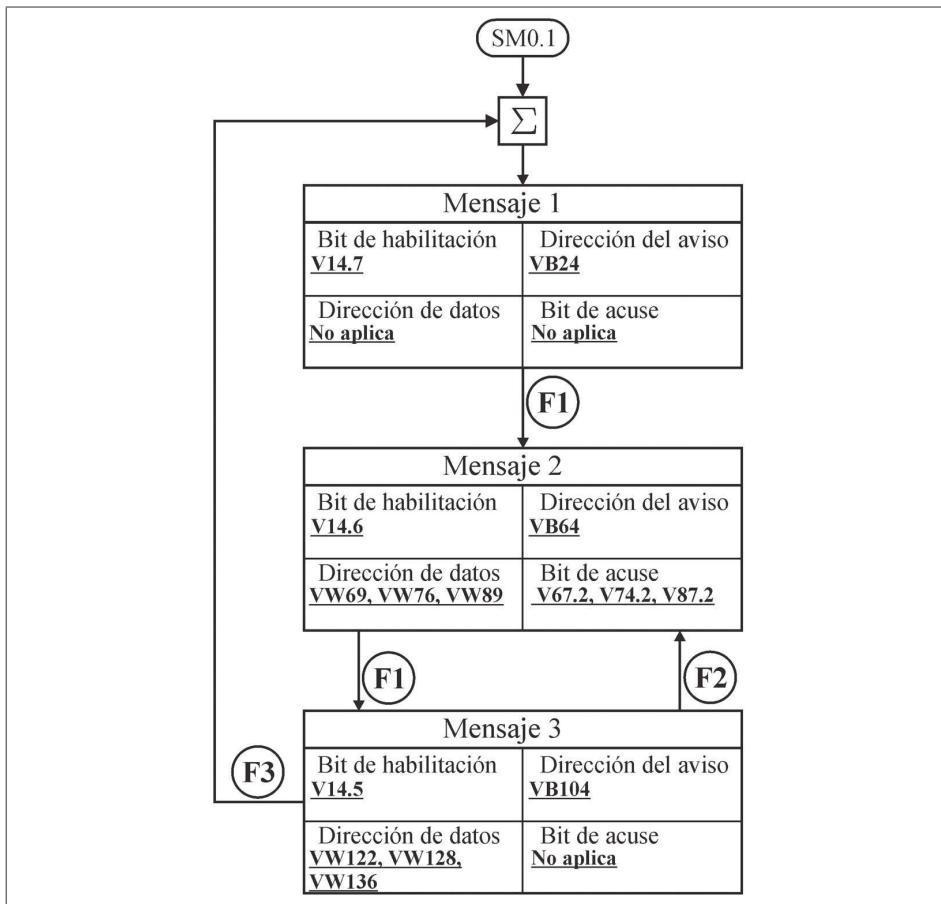


Fig. 8-57. Diagrama de flujo de mensajes del ejemplo 8.6.3.

Si el visualizador de textos está desplegando el mensaje 1 y se activa la tecla de la función F1, se debe desplegar el mensaje 2. Si en el visualizador de textos está desplegado el mensaje 2 y se activa la función F1, se debe desplegar el mensaje 3. Una vez desplegado, se puede activar la función F1 o F2, dependiendo de qué mensaje se quiera mandar llamar, o simplemente se puede quedar desplegando este mensaje o cualquiera de los tres.

Soluci n

El inicio está a cargo de la función SM0.1 que habilita al mensaje 1 solo en el primer ciclo de operación de la secuencia. Posterior a este ciclo, el mismo mensaje es activado por la condición de F1 y que esté desplegado el mensaje 3. Para desplegar los mensajes se va a utilizar la función de mover un byte (MOV_B), para ajustar los temporizadores se va a utilizar la función de mover una palabra (MOV_W),

esta misma función se va a utilizar para leer los valores instantáneos de los tres temporizadores.

Mensaje 1

Se procede a programar el TD200 con el asistente, el primer mensaje solo se va a desplegar, no hay valores que agregar ni valores que leer, se va a desplegar por primera vez con la función SM0.1 y después depende de que el mensaje 3 esté activado y de que la tecla F1 se active. La Fig. 8-58 muestra el diagrama parcial que despliega el primer mensaje.

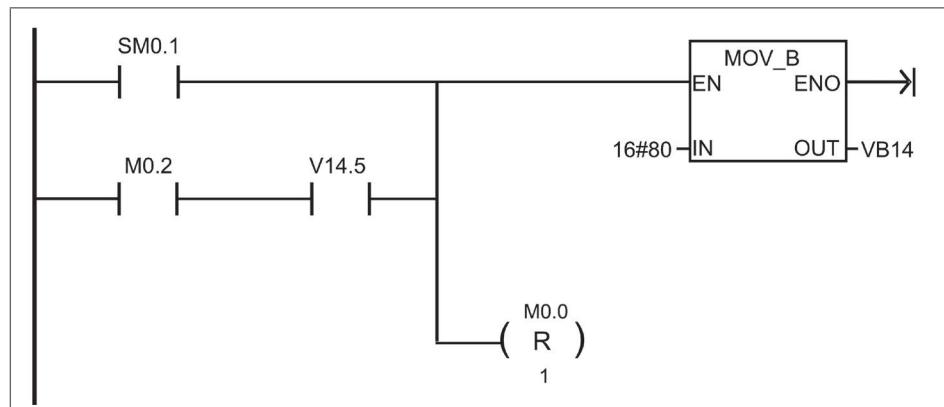


Fig. 8-58. Diagrama parcial que desplegará el primer mensaje.

Mensaje 2 (Ajuste de valores preestablecidos)

En este mensaje se van a ajustar los valores preestablecidos de los temporizadores. Se deben seleccionar los campos para ubicar a las funciones de tiempo y a los valores preestablecidos. La forma de seleccionar los datos es mediante los siguientes pasos:

- Se selecciona una ventanilla donde se requiere ubicar al valor preestablecido.
- Se seleccionan datos integrados.
- En formato de datos se selecciona qué tipo de datos se van a representar, ninguna palabra o doble palabra, de esto depende el valor máximo.
- Se debe seleccionar el formato, con signo o sin signo.
- Se pueden seleccionar las siguientes opciones con solo seleccionar la casilla.
 - El usuario debe de acusar el aviso.
 - El usuario puede editar estos datos.
 - ¿Desea proteger la edición de los datos con una contraseña?

Estos datos se deberían poder editar cuando esté activado el aviso.

El asistente del TD200 debe dar dos valores: el bit de aviso de edición y la dirección del valor de datos. Los valores para cada temporizador son mostrados en la tabla de la Tabla 8-4.

Ajuste de temporizadores			Lectura de temporizadores	
Temporizador	Bit de aviso de edición	Dirección del valor de datos	Temporizador	Dirección del valor de datos
T37	V67.2	VW69	T37	VW122
T38	V74.2	VW76	T38	VW128
T39	V87.2	VW89	T39	VW136

Tabla 8-4. Asignación de bit y dirección por el asistente del TD200 al ajuste y lectura de valores.

En la Fig. 8-59 se ve el diagrama escalera que mostrará el mensaje 2, que se va a desplegar si el mensaje 1 está activado y la tecla F1 o el mensaje 3 es activado y la tecla F2.

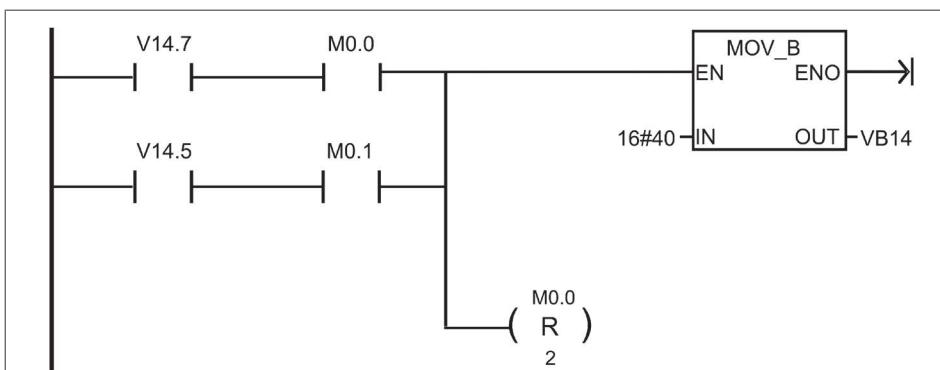


Fig. 8-59. Diagrama que desplegará el mensaje 2.

Los temporizadores tienen como valor preestablecido la dirección de valor de datos del ajuste de temporizadores. Las ecuaciones de los temporizadores son transferidas a un diagrama de lógica escalera que se muestra en la Fig. 8-60.

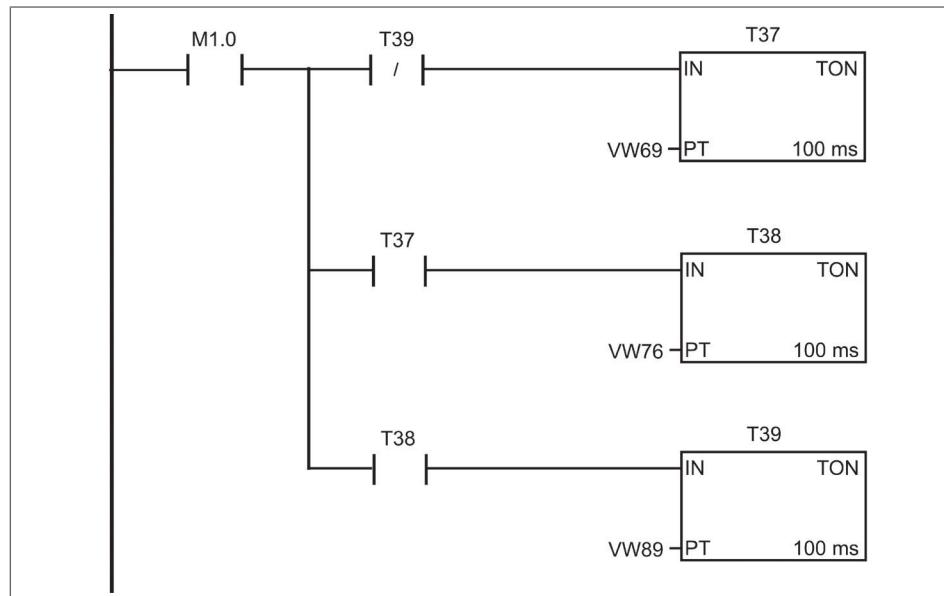


Fig. 8-60. Diagrama escalera de temporizadores con valor preestablecido en la dirección de datos.

Mensaje 3 (Lectura de valores instantáneos)

En este mensaje se debe seleccionar la ubicación donde se deberá de desplegar el valor instantáneo de cada temporizador. Para seleccionar los datos hay que seguir los siguientes pasos:

- Se selecciona una ventanilla donde se requiere ubicar al valor preestablecido.
- Se seleccionan datos integrados.
- Se define el formato de los datos a ser desplegados: ninguna palabra o palabra doble.
- Se selecciona el formato y puedes ser con signo y sin signo.
- Se define el número de dígitos a la derecha del separador decimal.
- Como es lectura de datos no se selecciona la casilla que dice: El usuario puede editar estos datos.

El asistente del TD200 asigna un dato a la dirección del valor de datos. Los datos para los tres temporizadores asignados por el asistente del TD200 se muestran en la Tabla 8-4.

El diagrama que desplegará el mensaje 3 es mostrado en la Fig. 8-61. Los bits de aviso de edición V67.2, V74.2 y V87.2 habilitan al mensaje tres, pero se requiere activar la tecla F1. Los bits de edición son activados cuando se aplica "Enter" al dar de alta los valores preestablecidos de los temporizadores, se debe restablecer cada función debido a que éstas son retentivas.

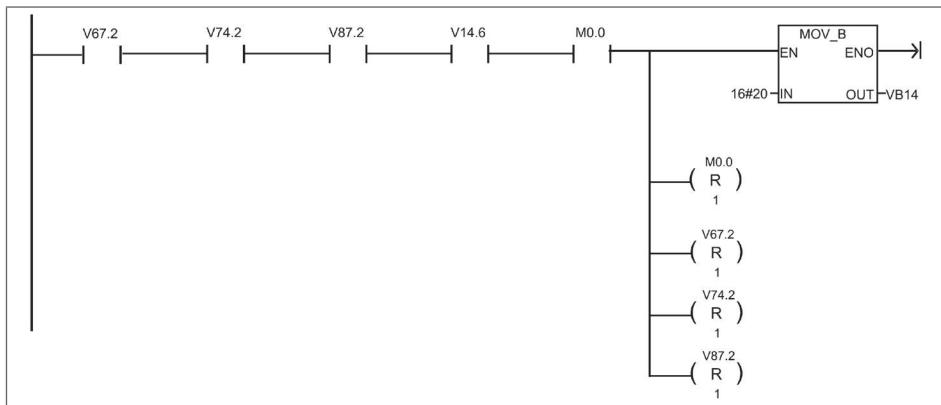


Fig. 8-61. Diagrama de lógica escalera que despliega el mensaje 3.

Al mostrar el mensaje tres es seleccionado el movimiento de los valores instantáneos a la dirección de valor de datos, esto se realiza con la función “MOV_W”, mover palabra, las direcciones que se deben poner en la salida son mostradas en la tabla de la Tabla 8-16. El resultado de este diagrama se muestra en la Fig. 8-61. Es condición que esté el mensaje tres para que se puedan desplegar los valores instantáneos; ésta es la razón que se tiene como condición al bit V14.5.

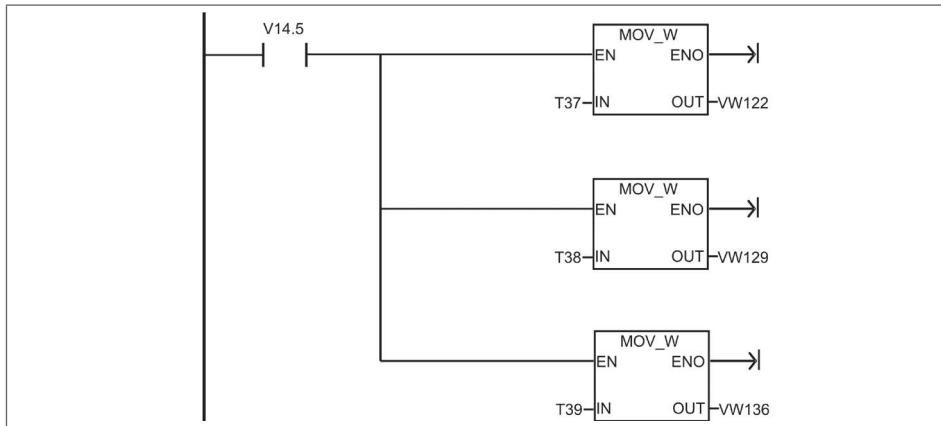


Fig 8-62. Diagrama de lógica de contactos que mueve los valores instantáneos.

La Fig. 8-63 muestra el diagrama de lógica escalera de las ecuaciones de las funciones de salida y de la memoria M1.0. Con este diagrama se completa el diagrama de lógica escalera del ejemplo 8.6.3, cuyo resultado completo es poner en un solo diagrama a los diagramas parciales.

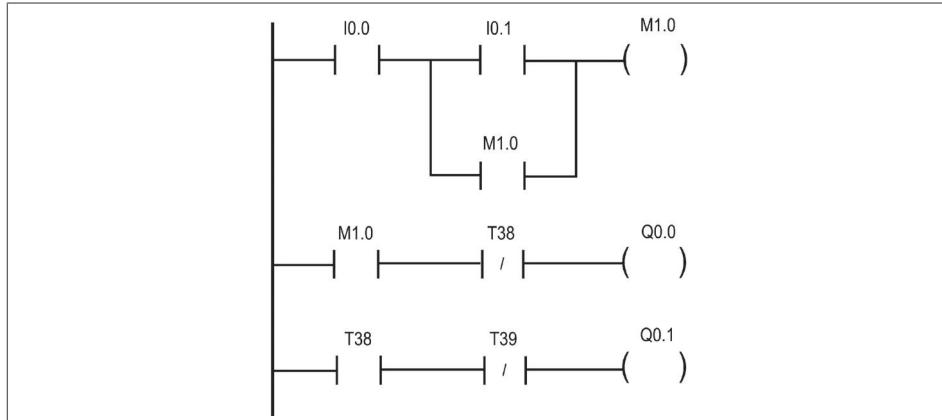


Fig. 8-63. Funciones de salida y memoria M1.0 del ejemplo 8.6.3.

8.7 Sistemas secuenciales basados en las funciones de tiempo y conteo

Al conjugarse las funciones de tiempo y conteo en un sistema secuencial se amplía el campo de aplicación de dicho sistema y se incrementa el número de problemas que pueden ser resueltos si se emplean estas dos funciones en el área de la automatización.

Las aplicaciones que se resuelven en los siguientes ejemplos son en base al PLC Siemens y se les agrega un visualizador de textos TD200 para ajustar los valores preestablecidos desde el exterior.

Exponer ejercicios resueltos tiene como finalidad reafirmar los conceptos explicados en este capítulo. Cada ejercicio es resuelto con el software MicroWin del PLC Siemens.

La estructura para llegar a la solución en cada uno de los problemas es la siguiente:

- Se diseña la estructura de los mensajes a ser mostrados.
- Se obtienen las ecuaciones del sistema.
- Se transfieren las ecuaciones del sistema a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens S7-200.

Ejemplo 8.7.1

El diagrama de tiempos (Fig. 8-67) muestra la operación de un sistema de alarma visual. Éste es parte de un sistema secuencial. Del cronograma de tiempos se define la siguiente secuencia:

- La entrada I0.0 detecta que el sistema secuencial está en operación automática.
- La entrada I0.1 activa el sistema de alarma.
- La entrada I0.2 restablece la alarma siempre y cuando la entrada I0.1 no esté presente.
- Los temporizadores T37 y T38 activan la alarma por períodos de intermitencia de 1 segundo.
- Después de que C1 cuente 3 eventos, el tiempo de ciclo de alarma se reduce a 0.5 segundos encendida y 0.5 segundos apagada, estos tiempos definidos por T39 y T40.
- En la función de salida Q0.0 es conectada la lámpara de la alarma visual.

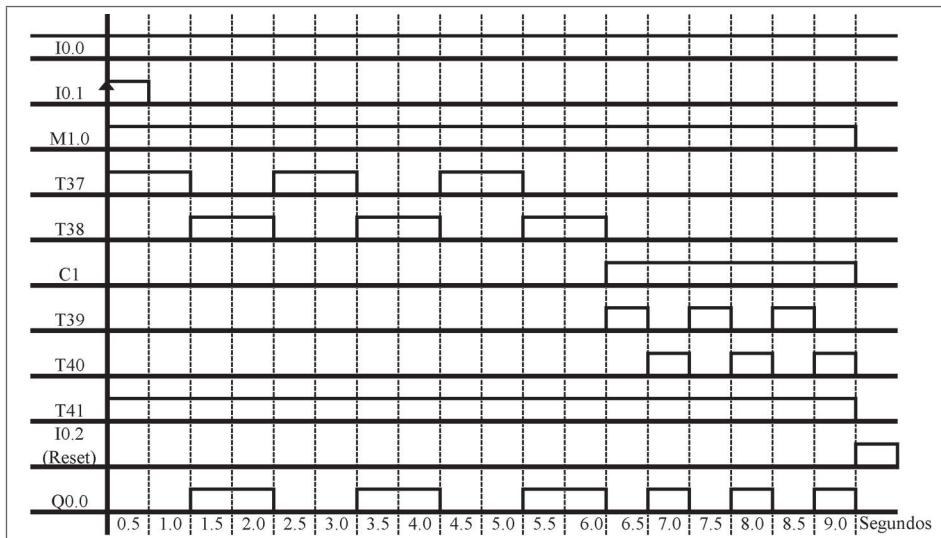


Fig. 8-64. Diagrama de operación de la función de alarma del ejemplo 8.7.1.

La implementación de este sistema está basada en el PLC Siemens y en el visualizador de textos TD200. Por lo tanto, se van a desplegar los siguientes cuatro mensajes:

Mensaje 1

Este mensaje es de bienvenida. Es recomendable llevar el título del sistema que se está controlando con el PLC. En este caso se menciona que el mensaje corresponde al sistema de alarmas del ejemplo 8.7.1 y que se debe desplegar al encender el PLC. Para avanzar al mensaje 2, si el sistema está operando correcta-

mente, se debe oprimir la tecla de la función F1 o brincar al mensaje 3 si el sistema está alarmado, o ir al mensaje 5 si el sistema está apagado.

	S	i	s	t	e	m	a	d	e	A	l	a	r	m	a	s	
d	e	1	E	j	e	m	p	1	0	8	7	1		F	1	A	v

Mensaje 2

Después de mostrar el mensaje de bienvenida y presionar la tecla de la función F1, localizada en el visualizador de textos, y que M1.0 tenga un valor lógico de cero, entonces se mostrará este mensaje 2. A partir de este mensaje se puede pasar a mostrar el mensaje 1 pulsando F2 o ir al mensaje 4 pulsando F1.

S	i	s	t	e	m	a	O	p	e	r	a	n	d	o	F	2	R	e
C	o	r	r	e	c	t	a	m	e	n	t	e			F	1	A	v

Mensaje 3

Se va a desplegar cuando el sistema esté alarmado. La única manera de salir de este mensaje es restableciendo la alarma pulsando el botón de reset, cuando M1.0 tenga un valor lógico de cero y se pulse la tecla F1. De este mensaje se podrá mostrar el mensaje 2 o el mensaje 5, depende de en qué estado esté el sistema, en operación correcta o apagado.

S	i	s	t	e	m	a	A	l	a	r	m	a	d	o	F	1	A	v
P	u	1	s	e	B	o	t	ó	n	d	e	R	e	s	e	t		

Mensaje 4

El mensaje 4 va a leer el tiempo que va a estar activada la alarma. Este tiempo es obtenido del temporizador T41. De este mensaje se puede regresar a mostrar el mensaje 1.

T	i	e	m	p	o	d	e	l	a	ú	l	t	i	m	a	
a	1	a	r	m	a				S				F	1	A	v

Mensaje 5

Este mensaje será mostrado cuando el sistema esté apagado. A partir de este mensaje se puede desplegar el mensaje 1.

					S	i	s	t	e	m	a						
					A	p	a	g	a	d	o			F	1	A	v

Los cuatro mensajes son de 40 caracteres y las condiciones para que sean desplegados se muestran en el diagrama de flujo explicado en la figura 8.68. M1.0 indica que la alarma está activada. F1 y F2 son las teclas propias del visualizador de textos y la entrada I0.0 indica que el sistema está en operación.

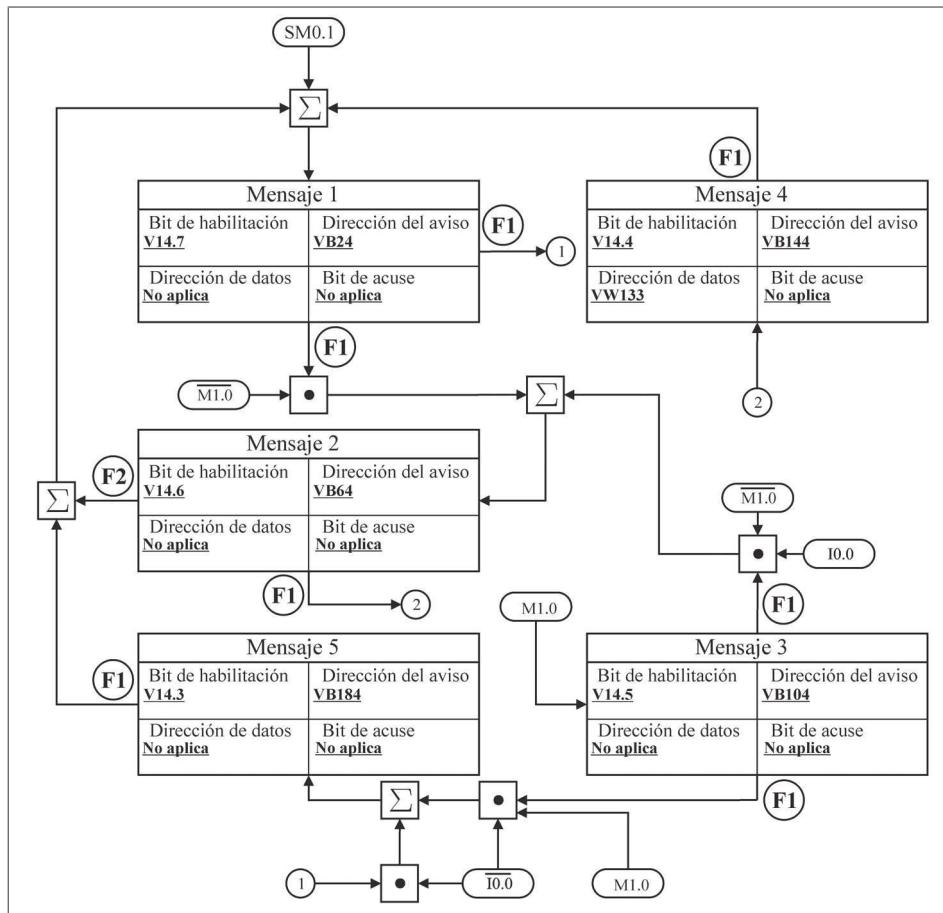


Fig. 8-65. Diagrama de flujo y condiciones requeridas para mostrar los cinco mensajes del ejemplo 8.7.1.

Solución

La solución de este ejemplo consiste en realizar el diagrama de lógica escalera que dé como resultado la función de alarma, además de desplegar en el visualizador de textos los cinco mensajes requeridos que indican el estatus del sistema.

Se inicia con la solución del diagrama de lógica escalera para activar y desactivar la alarma. Para el desarrollo del diagrama se consideran los siguientes elementos: I0.0, I0.1, I0.2, Q0.0, T37, T38, T39, T40 y C1. La conexión entre los dispositivos se realiza siguiendo el cronograma de tiempos que ya se mostró en la Fig. 8-64.

Ecuaciones del sistema

La memoria M1.0 va a activarse siempre y cuando el sistema esté en automático, es decir que el valor lógico de I0.0 sea “1”, que no esté activada la entrada I0.2 y que el valor lógico de I0.1 sea “1”. Esta entrada puede desconectarse, entonces es conveniente generar un estado de memoria con la misma memoria M1.0. Para apagar la memoria debe activarse I0.2, pero la condición principal es que I0.1 no esté activada, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$M1.0 = I0.0 [(I0.2 \overline{M1.0}) + I0.1]$$

Esta ecuación al ser transferida a un diagrama de lógica escalera da como resultado el diagrama que se muestra en la Fig. 8-66.

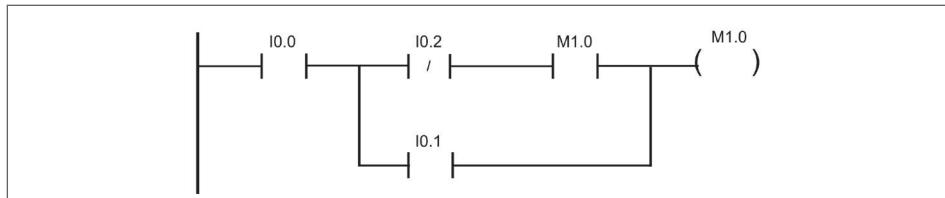


Fig. 8-66. Diagrama de lógica de contactos de la memoria M1.0.

Ecuaciones de los temporizadores

La cadena de temporizadores es activada por M1.0 y en grupos de dos: T37 y T38 forman un grupo y T39 y T40 otro. Cuando C1 cuente tres eventos, se desactivará el primer grupo y a su vez se activará el segundo. Los cuatro temporizadores son del tipo TON.

Las ecuaciones del primer grupo de temporizadores están condicionadas por M1.0 y que no esté activado el contador C1, además de condicionarse entre ellos mismos, estas condiciones son transferidas a las siguientes ecuaciones.

$$T37 = M1.0 \overline{C1} T38$$

$$T38 = M1.0 \overline{C1} T37$$

El valor preestablecido de ambos temporizadores es de 10, para dar como resultado 1 segundo, el diagrama de lógica escalera mostrado en la Fig. 8-67 es el resultado de las dos ecuaciones, se obtienen de factor común al contacto de M1.0 y el contacto negado de C1.

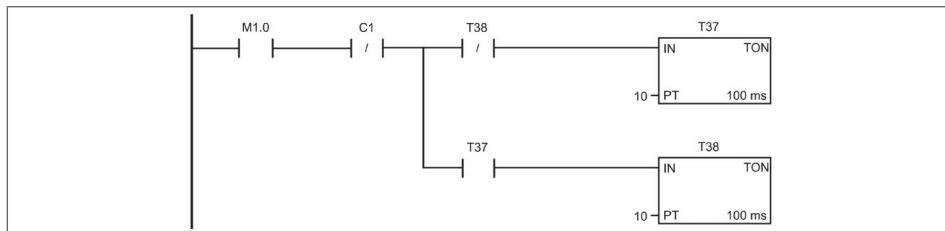


Fig. 8-67. Diagrama de lógica de contactos de los temporizadores T37 y T38.

El segundo grupo de temporizadores, además de condicionarse entre ellos, también son condicionados por M1.0 y por un contacto de C1, lo que da como resultado las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} T39 &= M1.0 \ C1 \ T40 \\ T40 &= M1.0 \ C1 \ T39 \end{aligned}$$

Estas ecuaciones dan como resultado el diagrama de lógica escalera que se muestra en la Fig. 8-68. También se obtienen como factor común a M1.0 y a C1. Los valores preestablecidos de ambos temporizadores son de 5, para dar un valor de 0.5 segundos.

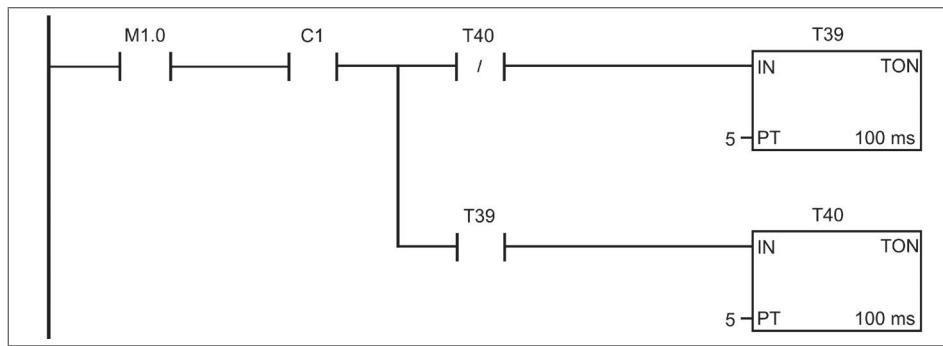


Fig. 8-68. Diagrama de lógica de contactos de los temporizadores T39 y T40.

Ecuación del contador

Si se tiene el resultado de la memoria M1.0 encargada de memorizar que sucedió una activación de la entrada I0.1 y desarrollado el diagrama de tiempos, es necesario integrar el diagrama del contador C1, que es el encargado de cambiar la frecuencia de operación de la función de salida Q0.0. Del cronograma de tiempos se deduce que el temporizador T38 es el encargado de incrementar el conteo de C1 y se restablece al activarse la entrada I0.2. La memoria M1.0 no debe estar activada y el contador es del tipo ascendente. Estas condiciones son expresadas con las siguientes dos ecuaciones

$$\begin{aligned} C1(CU) &= T38 \\ C1(R) &= \overline{M1.0} \ I0.2 \end{aligned}$$

La Fig. 8-69 muestra el diagrama de lógica escalera que representa las dos ecuaciones del contador.

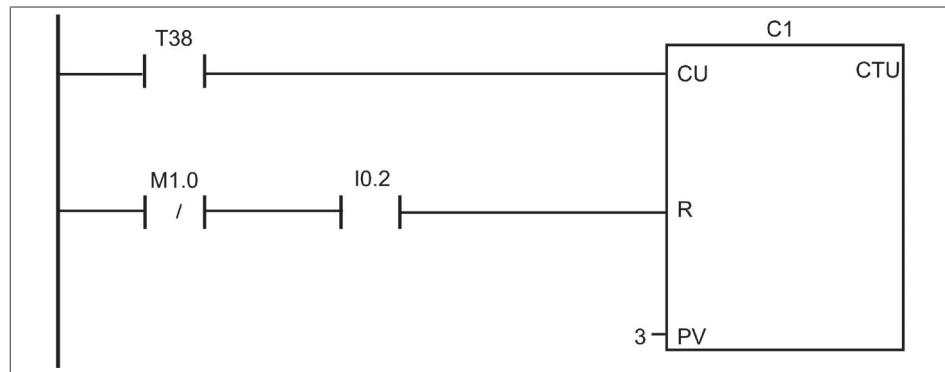


Fig. 8-69. Diagrama de lógica de contactos del contador C1.

Ecuación de la función de salida

Ahora se obtiene el diagrama de la función de salida Q0.0, las condiciones de operación son que M1.0 esté presente y que uno de los dos grupos de temporizadores sea activado, la siguiente ecuación representa las condiciones de operación.

$$Q0.0 = M1.0 [(T37 \overline{T38}) + (T39 \overline{T40})]$$

El diagrama mostrado en la Fig. 8-70 es el resultado de la ecuación de la función de salida Q0.0.

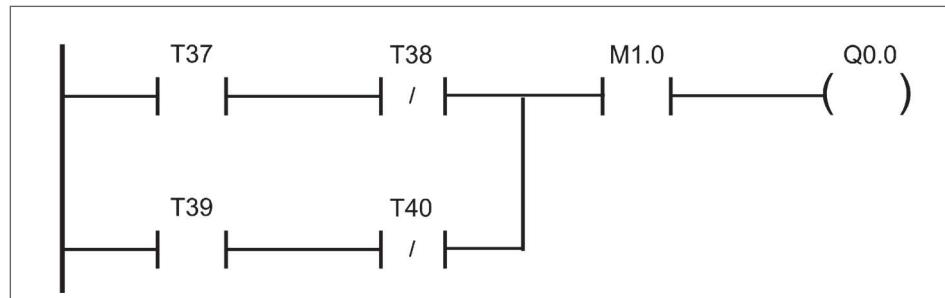


Fig. 8-70. Diagrama de lógica escalera para la salida Q0.0.

Diagrama de lógica escalera para los mensajes

El diagrama de la lógica de operación ha terminado con la función de salida. Ahora se debe obtener un diagrama de lógica escalera para desplegar cada uno de los mensajes. Estos diagramas serán obtenidos con el apoyo del diagrama de flujo de la Fig 8-65.

Mensaje 1

Las condiciones de operación de este mensaje provienen del mensaje 2, mensaje 4, mensaje 5 y de la función de encendido en el primer tiempo de scan SM0.1, y pulsando las funciones F2 y F1. Estas condiciones son conectadas entre sí por la función suma. Con esto se obtiene el diagrama que se muestra en la Fig. 8-71.

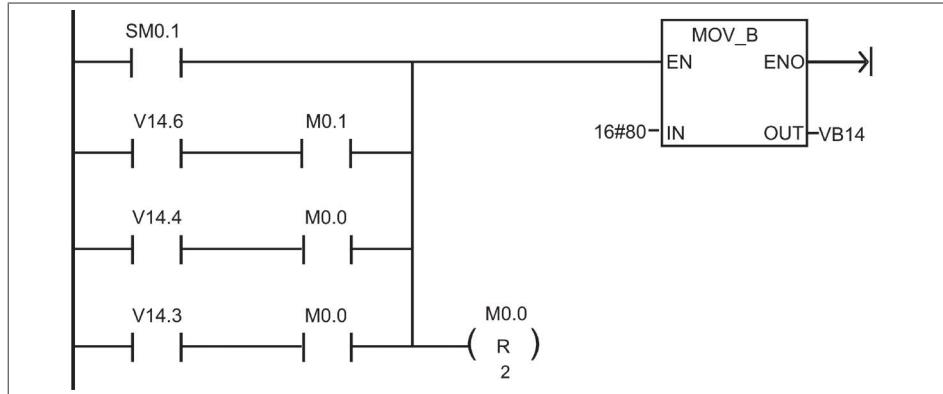


Fig. 8-71. Diagrama de lógica de contactos para mostrar el mensaje 1 en el visualizador de textos TD200.

Mensaje 2

A este mensaje le corresponden dos condiciones que serán sumadas. Una proviene del mensaje 1 y la otra del mensaje 3. La Fig 8-72 muestra el diagrama de lógica escalera que despliega este mensaje.

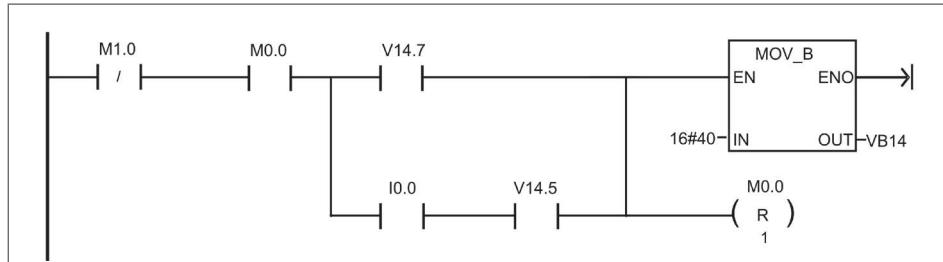


Fig. 8-72. Diagrama de lógica de contactos que muestra el mensaje 2.

Mensaje 3

Este mensaje solo se tiene como condición que la alarma esté activada. La Fig. 8-73 muestra el diagrama de lógica escalera que despliega el mensaje 3.

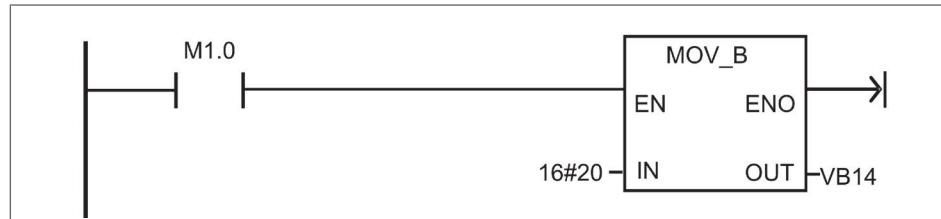


Fig. 8-73. Diagrama de lógica de contactos que muestra el mensaje 3.

Mensaje 4

Este mensaje es el encargado de leer el tiempo que está alarmado el sistema, la Fig. 8-74 muestra el diagrama de lógica de escalera.

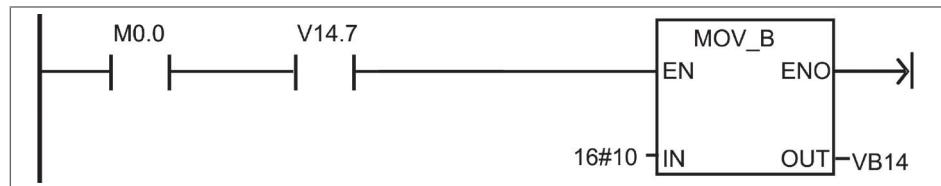


Fig. 8-74. Diagrama que muestra el mensaje 4.

Como en este mensaje se va a desplegar un tiempo de operación, se requiere agregar el temporizador T41 que ayudará a mostrar el tiempo que dura alarmado el sistema. El valor preestablecido debe ser el valor máximo que se le puede dar a un temporizador. Para capturar el valor de tiempo se hace uso de la función mover una palabra (MOV_W). La Fig. 8-75 muestra el diagrama de lógica de contactos y se despliega el valor en la dirección de la palabra VW133.

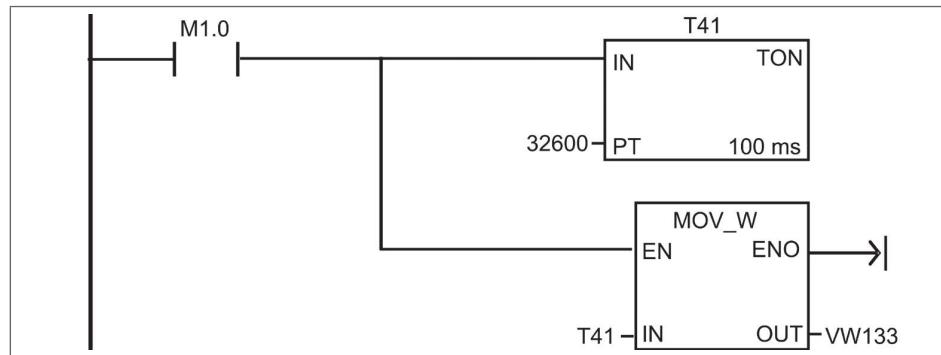


Fig. 8-75. Diagrama del temporizador T41.

Mensaje 5

Este mensaje se muestra cuando el sistema está apagado. El diagrama se explica en la Fig. 8-76 y se puede llegar a él a través de los mensajes 1 y 3.

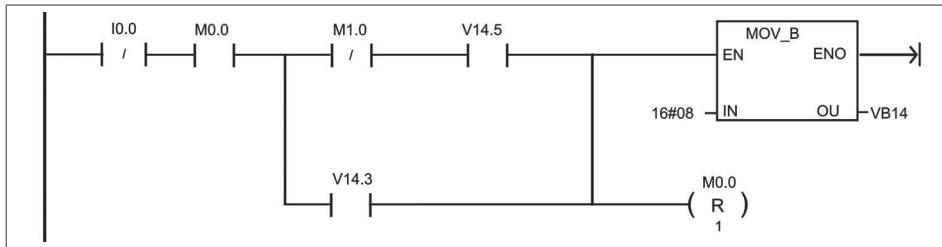


Fig. 8-76. Diagrama que muestra al mensaje 5.

Con este último diagrama se termina la solución del ejemplo.

Ejemplo 8.7.2

En el cronograma de tiempos de la Fig 8-77 se muestra el sistema de alarmas de un sistema secuencial automático. La entrada I0.0 activa la alarma mediante una transición negativa. Esta última está estructurada en tres niveles de severidad: cuando por primera ocasión se presenta una transición negativa en la entrada I0.0 se inicia la alarma como moderada; al aparecer por segunda ocasión, la alarma cambia a un nivel crítico; y si se presenta por tercera ocasión, la alarma se vuelve paro de proceso.

Para sacar al proceso del modo de paro se requiere una transición negativa en la entrada I0.1. El dispositivo conectado en esta entrada es un interruptor de llave. Solo personal autorizado tiene acceso a restablecer la alarma del sistema, que deberá restablecerse hasta que el proceso se ponga en alarma de paro.

La operación de la alarma visual es del tipo intermitente, conforme se incrementa la severidad de la alarma se reduce el tiempo de encendido y apagado de la salida Q0.0. Con esto se pretende llamar la atención del personal para que ayude a sacar al sistema del estado de alarma en cualquier momento.

Se necesita aplicar un visualizador de textos para el PLC Siemens para desplegar el estatus del sistema y cuantificar el tiempo que el sistema está en cada nivel de severidad de alarma.

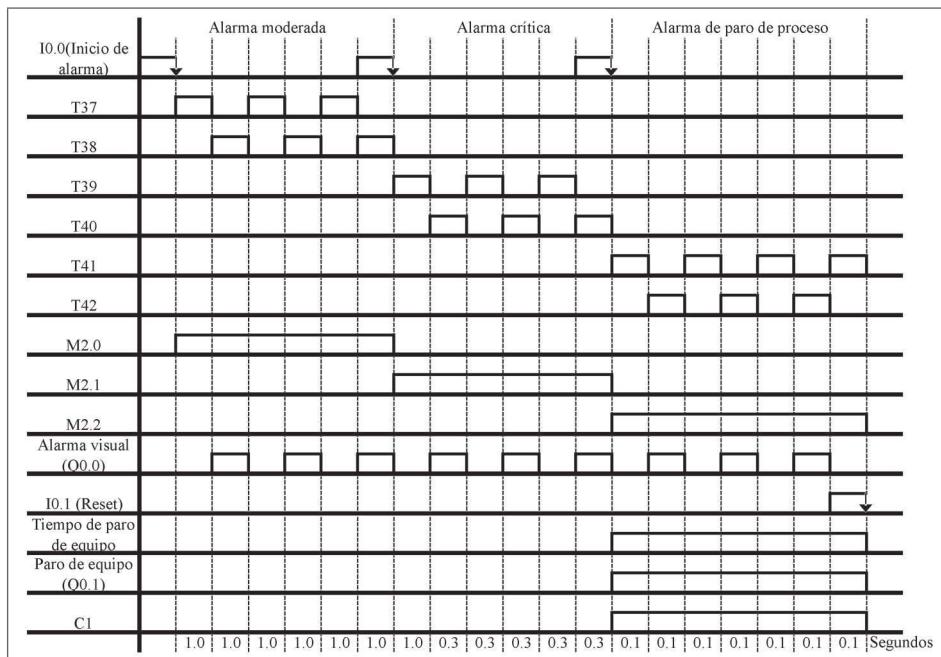


Fig 8-77. Cronograma de tiempos del ejemplo 8.7.2.

Las memorias M2.0, M2.1 y M2.2 son las encargadas de mantener las alarmas en operación y son activadas por las transiciones negativas de la entrada I0.0.

Un diagrama esquemático del sistema se presenta en la Fig. 8-78. El sistema muestra un sensor del tipo óptico que se encarga de activar la alarma y que es conectado en la entrada I0.0. El interruptor de llave es conectado en la entrada I0.1. La alarma visual es conectada a la salida Q0.0, la salida Q0.1 desactiva el proceso mediante la activación de un relevador R1.

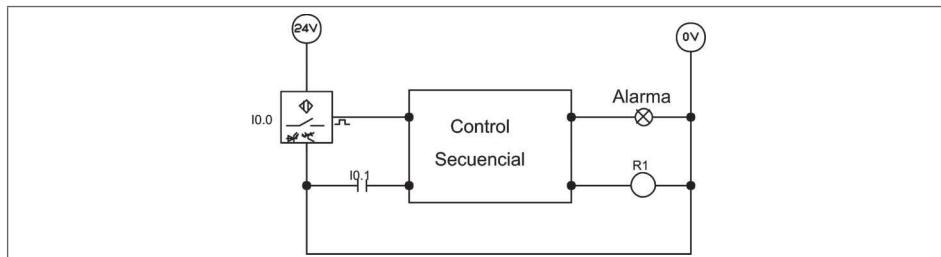


Fig. 8-78. Esquemático del ejemplo 8.7.2.

Como resultado final se debe obtener el diagrama de lógica escalera para el PLC Siemens que represente la secuencia y muestre los mensajes establecidos.

Mensajes

El sistema debe mostrar los siguientes ocho mensajes:

El mensaje 1 debe mostrarse al momento de encender el PLC, se podrá regresar a él cuando éste presente el mensaje 2 o el mensaje 8, de este mensaje se puede pasar al mensaje 2.

	S	i	s	t	e	m	a	d	e	A	l	a	r	m	a	s
d	e	1	E	j	e	m	p	1	o	8	7	2	F	1	A	v

El mensaje 2 se mostrará cuando el sistema no esté alarmado y se podrá pasar a él cuando el mensaje 1 esté desplegado y se pulse la función F1. Cuando este mensaje esté desplegado se podrá pasar al mensaje 6.

S	i	s	t	e	m	a	O	p	e	r	a	n	d	o	F	2	R	e
C	o	r	r	e	c	t	a	m	e	n	t	e			F	1	A	v

El mensaje 3 se muestra cuando el sistema está en alarma preventiva y M2.0 activada. Si no se saca al sistema del estado de alarma se pasará al mensaje 4, pero si la alarma es restablecida entonces pasará al mensaje 2 pulsando la tecla de la función F3.

A	L	A	R	M	A		P	U	L	S	E	R	E	S	E	T
P	R	E	V	E	N	T	I	V	A				F	3	A	v

El mensaje 4 se muestra cuando el sistema está en alarma crítica. De este mensaje se puede pasar al mensaje 5 si es que sigue alarmado el sistema o pasar al mensaje 2 pulsando la tecla F3.

	A	L	A	R	M	A							F	3	A	v
C	R	I	T	I	C	A	P	U	L	S	E	R	E	S	E	T

El mensaje 5 se muestra cuando el sistema está en alarma de paro de proceso. Se podrá pasar al mensaje 2 pulsando la tecla F3 y la alarma será restablecida.

A	L	A	R	M	A	P	A	R	O	D	E		F	3	A	v
P	R	O	C	E	S	O	P	U	L	S	E	R	E	S	E	T

El mensaje 6 desplegará el tiempo que estuvo activada la alarma con la severidad de preventiva y se podrá seleccionar si el sistema no está en estado de alarma. A este mensaje se puede llegar a través del mensaje 2 y pulsando la tecla F1.

T	i	e	m	p	o	d	e	A	l	a	r	m	a	F	1	A	v
P	r	e	v	e	n	t	i	v	a				S				

El mensaje 7 mostrará el tiempo que estuvo el sistema en alarma crítica. A éste se llega a través del mensaje 6 y pulsando la tecla F1.

T	i	e	m	p	o	d	e	A	l	a	r	m	a				
C	r	i	t	i	c	a						S		F	1	A	v

El mensaje 8 mostrará el tiempo que estuvo el sistema parado por estar en modo de alarma. A éste se llega a través del mensaje 7 y pulsando la tecla de la función F1. De este mensaje se puede pasar al mensaje 1 pulsando la tecla de la función F1.

T	i	e	m	p	o	d	e	P	a	r	o	d	e			
P	r	o	c	e	s	o					S		F	1	A	v

Diagrama de flujo de los mensajes

De las condiciones que activan los mensajes se obtiene el diagrama de flujo que se muestra en la Fig. 8-79, en él se visualizan las condiciones para seleccionar cada uno de los mensajes y cómo están interconectados entre sí.

Los mensajes encargados de desplegar tiempos muestran la dirección del valor de datos que puede cambiar si se cambia la ubicación de los datos dentro del propio mensaje, con solo mover el valor de tiempo un cuadro hacia la derecha o izquierda cambia este valor.

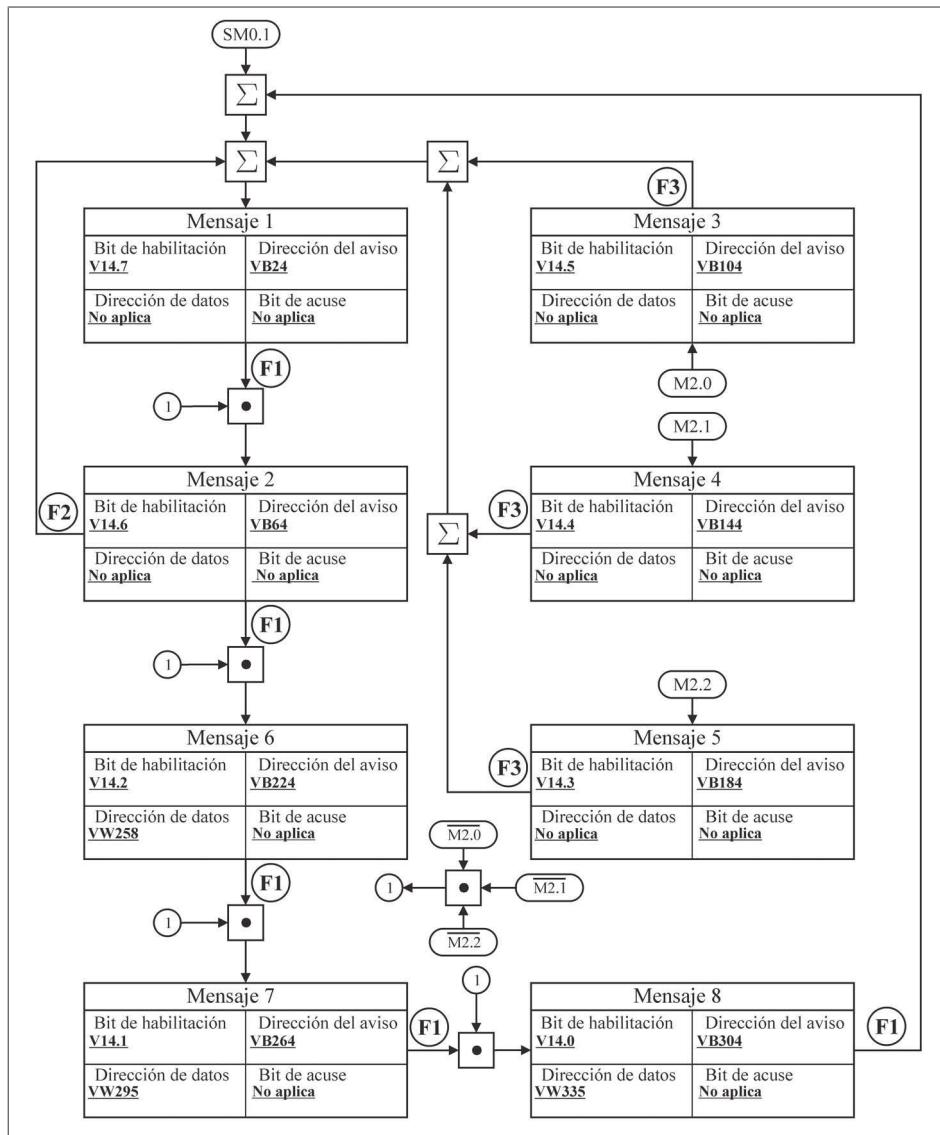


Fig. 8-79.- Diagrama de flujo de los mensajes del ejemplo 8.7.2.

Solucj n

La solución a este problema se va a dividir en las siguientes tres etapas.

- Etapa uno: consiste en solucionar el diagrama de lógica de contactos que muestre los ocho mensajes.

- Etapa dos: consiste en realizar el diagrama de lógica de contactos que resuelva la captura y despliegado de los tiempos que toma el sistema en cualquiera de los tres modos de falla.
- Etapa tres: consiste en resolver la secuencia lógica que determine el funcionamiento del sistema.

ETAPA 1

El diagrama de lógica de contactos para desplegar el mensaje 1 se obtiene del diagrama de flujo de la Fig. 8-79. A este mensaje llega un enlace proveniente de una sumatoria. A ésta llegan los conectores de cinco mensajes. Se considera una multiplicación cuando un enlace proviene de un mensaje y se tiene que pulsar una tecla del visualizador de textos TD200. Si se toman en cuenta estas consideraciones, la Fig. 8-80 muestra el diagrama de lógica escalera que mostrará el mensaje 1.

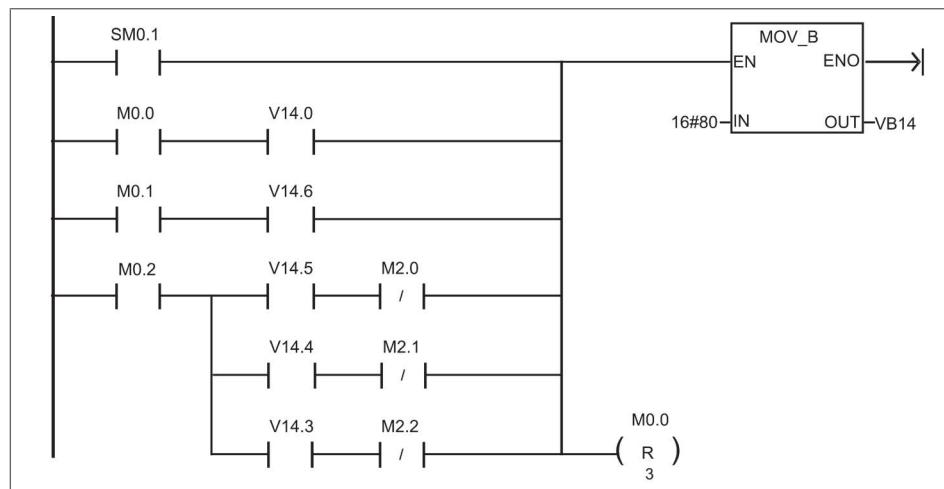


Fig. 8-80. Diagrama de lógica escalera que despliega el mensaje 1.

Los mensajes 2, 6, 7 y 8 comparten ciertas condiciones. Una es que no existan las memorias M2.0, M2.1 y M2.2. Si éstas están presentes quiere decir que el sistema está alarmado. La otra es que los mensajes se pasan a través de ellos mismos, es decir, para llegar al mensaje 2 debe estar desplegado el mensaje 1 y así para cada uno de los mensajes, lo que da como resultado el diagrama de la Fig. 8-81.

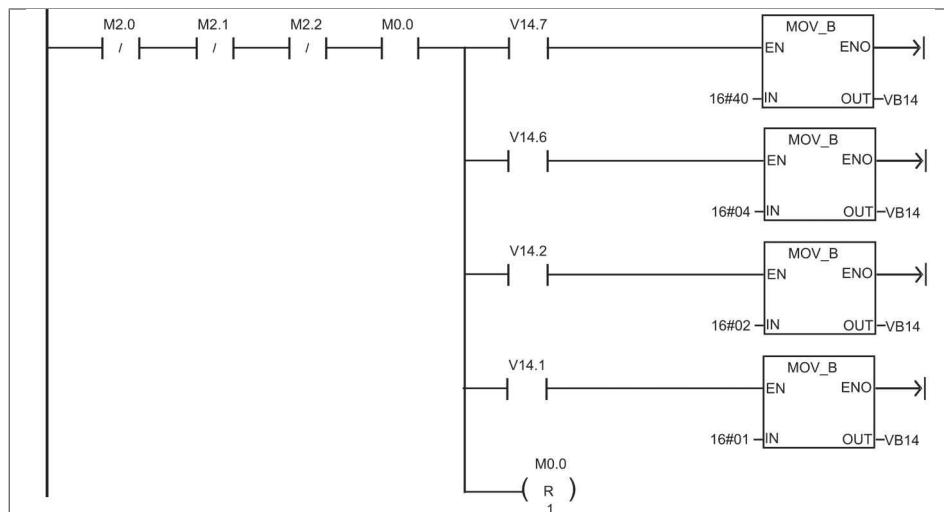


Fig. 8-81. Diagrama de lógica escalera que despliega los mensajes 2, 6, 7 y 8.

Los mensajes 3, 4 y 5 serán desplegados cuando estén presentes las memorias de las alarmas. La Fig. 8-82 muestra el diagrama que va a desplegar los mensajes.

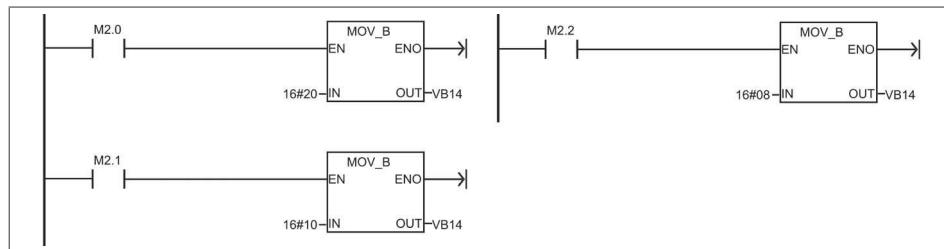


Fig. 8-82. Diagrama de lógica de contactos que desplegará los mensajes 3, 4 y 5.

Con el diagrama de la Fig. 8-82 se termina el diagrama de lógica de contactos que muestra los ocho mensajes.

ETAPA 2

En esta etapa del ejemplo se da solución a los temporizadores encargados de indicar el tiempo que el sistema está en cada alarma y se mostrará el tiempo de la última. No se puede mostrar el tiempo instantáneo puesto que el mensaje que estará desplegado en el visualizador de textos es el estado de la alarma actual.

En la dirección VW258 es almacenado el valor del tiempo que dura activada la alarma preventiva, este valor es del temporizador T43 y es activado por la memoria M2.0. La dirección VW295 almacena el valor de tiempo que dura activada la alarma crítica y es el valor del temporizador T44. Por último, el tiempo que dura la alarma

de paro de proceso es almacenado en la dirección VW335 y el valor de tiempo viene del temporizador T45. El diagrama de lógica escalera es mostrado en la Fig. 8-83.

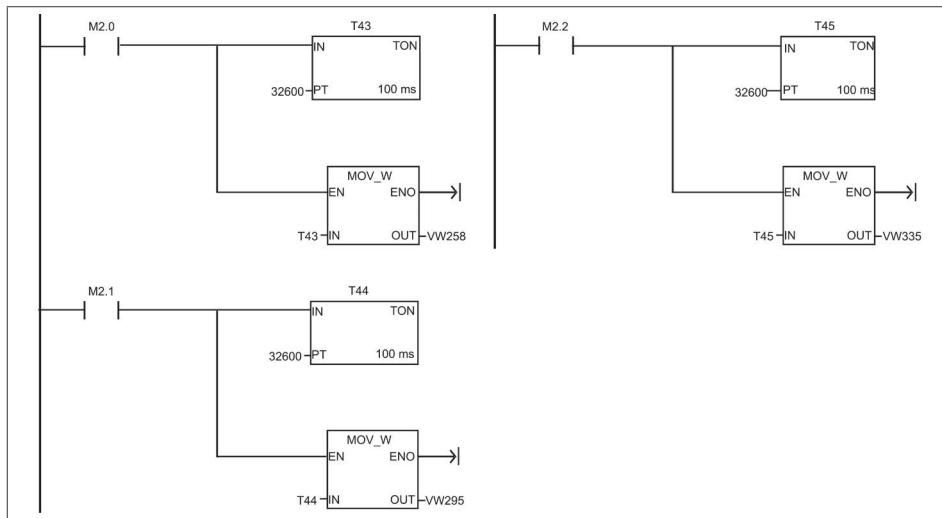


Fig. 8-83. Diagrama de lógica escalera que muestra los valores de tiempo de cada estado de alarma.

El máximo tiempo que van a estar las alarmas presentes es de 54 minutos. Es importante que el temporizador esté antes de la función MOW_W en el diagrama de lógica escalera, como se muestra en la Fig. 8-83, esto ayuda a que el valor de tiempo se mantenga en memoria. Si se realiza una conexión contraria se pierde el valor de tiempo y se estará desplegando un valor de cero segundos, esto es debido a la activación de las funciones en orden de escalera. De acuerdo a la Fig. 8-83 primero se activará el temporizador y después se mandará el dato a la memoria de datos, esto mantendrá el valor de tiempo en memoria ya que primero se desconectará el temporizador y después la memoria, donde quedará el último valor de tiempo.

ETAPA 3

En esta etapa se resuelve la secuencia lógica que determina el funcionamiento del sistema y se subdivide en tres etapas: la etapa 3.1 consiste en obtener las transiciones negativas con el método de la memoria interna, la 3.2 en obtener la lógica para activar el temporizador y contador del sistema secuencial, y la 3.3 que consiste en obtener la lógica que activa las dos salidas del sistema.

Etapa 3.1

Se deben obtener las ecuaciones para generar transiciones negativas de las entradas I0.0 e I0.1. El PLC Siemens puede generar esta función, sin embargo se ve práctico utilizar el método de la memoria interna. Las memorias utilizadas para obtener la transición negativa de I0.0 son M1.0, M1.1, M1.2, M1.3 y M1.4.

La tabla de memorias que representa la transición negativa se muestra en la Tabla 8-5, la sección que está sombreada indica los elementos requeridos para obtener la transición negativa.

I0.0	M1.0	M1.1	M1.2	M1.3	M1.4
0	0	1	0	0	M3.4
1	0	M1.1	1	0	0
0	1	0	M1.2	1	0
1	0	0	0	M1.3	1
0	0	1	1	0	M1.4

Tabla 8-5. Tabla de memorias para la entrada I0.0.

Las dos memorias, M1.1 y M1.2, deben ser multiplicadas por el negado de la memoria M1.0, esto hace que se restablezca el sistema y solo se obtenga un pulso instantáneo que será utilizado para activar incrementos en el contador de alarma que es el encargado de incrementar la severidad en la alarma. Las memorias M1.1, M1.2 y M1.0 son representadas con las siguientes ecuaciones lógicas.

$$M1.1 = (\overline{I0.0} \overline{M1.2} + I0.0 M1.1) \overline{M1.0}$$

$$M1.2 = (I0.0 M1.1 + \overline{I0.0} M1.2) \overline{M1.0}$$

$$M1.0 = \overline{M1.1} M1.2$$

La transición negativa de I0.1 es obtenida también con el método de la memoria interna. Las memorias utilizadas son M3.0, M3.1, M3.2, M3.3 y M3.4. La tabla de memorias se muestra en la Tabla 8-6. La transición negativa de I0.1 restablece el sistema de alarmas mandándole una señal a la entrada de reset del contador C1.

I0.1	M3.0	M3.1	M3.2	M3.3	M3.4
0	0	1	0	0	M3.4
1	0	M3.1	1	0	0
0	1	0	M3.2	1	0
1	0	0	0	M3.3	1
0	0	1	1	0	M3.4

Tabla 8-6.3 Tabla de memorias para la entrada I0.1.

La sección sombreada indica los elementos que son considerados para obtener un pulso cuando sucede una transición negativa de la entrada I0.1, de esta tabla se obtienen las ecuaciones de M3.0, M3.1 y M3.2.

$$M3.1 = (\overline{I0.1} \overline{M3.2} + I0.1 M3.1) \overline{M3.0}$$

$$M3.2 = (I0.1 M3.1 + \overline{I0.1} M3.2) \overline{M3.0}$$

$$M3.0 = \overline{M3.1} M3.2$$

Etapa 3.2

El contador C1 es el encargado de activar los tres niveles de severidad de la alarma, es del tipo ascendente y tiene dos entradas, una de conteo y una de reset. La función que activa el conteo es la memoria M1.0 y la que restablece el contador es la M3.0. Si se consideran estas condiciones se puede representar la función contador C1 mediante las siguientes dos ecuaciones.

$$C1(CU) = M1.0$$

$$C1(R) = M3.0$$

La alarma preventiva está compuesta por los temporizadores T37 y T38, es activada en forma intermitente por períodos de 1 segundo y sucede cuando C1 ha contado un evento. Para esto se utiliza la función de comparación “igual que” para activar la memoria M2.0, esto se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Si } C1=1 \text{ entonces } M2.0=1$$

Si se considera que la condición de encendido de la alarma preventiva ya está resuelta, solo falta agregar la función intermitente de 1 segundo; y esto se logra aplicando los temporizadores T37 y T38. Este circuito de tiempos activa la función de salida Q0.0, lo que da como resultado las siguientes ecuaciones:

$$T37 = \overline{T38} M2.0$$

$$T38 = T37 \underline{M2.0}$$

$$Q0.0 = T37 T38$$

La alarma crítica es estructurada por los temporizadores T39 y T40 y se enciende cuando la memoria M2.1 tiene un valor lógico de “1”. A su vez esta memoria es encendida cuando el contador C1 tiene un valor de 2 conteos. La alarma es del tipo intermitente con períodos de tiempo de 0.3 segundos.

La función M2.1 será encendida mediante la función de comparación “igual que”, esto se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Si } C1=2 \text{ entonces } M2.1=1$$

Las ecuaciones lógicas que representan esta alarma están estructuradas por los temporizadores T39 y T40, la memoria M2.1 es la encargada de activar el sistema de tiempos y el circuito de tiempos se encarga de activar la salida Q0.0.

$$T39 = \overline{T40} M2.1$$

$$T40 = T39 \underline{M2.1}$$

$$Q0.0 = T39 T40$$

La tercera alarma, paro de proceso, se presenta cuando C1 ha contado 3 transiciones negativas de la entrada I0.0. Esta alarma está estructurada por los temporizadores T41 y T42, y su función es del tipo intermitente con períodos de encendido y apagado de 0.1 segundo en la salida Q0.0. El encendido de la función M2.2 sucede

cuando el contador C1 ha contado 3 eventos. La siguiente ecuación muestra las condiciones que encienden a M2.2.

$$M2.2 = C1$$

Las ecuaciones lógicas que representan la alarma de paro de máquina están compuestas por los temporizadores T41 y T42, el encendido del circuito de tiempos es encendido por la memoria M2.2, lo que da como resultado las siguientes ecuaciones:

$$T41 = \overline{T42} M2.2$$

$$T42 = T41 M2.2$$

$$Q0.0 = T41 \overline{T42}$$

La ecuación de la salida Q0.0 es la suma de los resultados obtenidos en cada alarma. Si se realiza esta sumatoria se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q0.0 = (T37 \overline{T38}) + (T39 \overline{T40}) + (T41 \overline{T42})$$

Diagrama de lógica escalera

Las ecuaciones obtenidas son transferidas a un diagrama de lógica escalera. El resultado se muestra en la Fig. 8-84. Ésta es la última parte del diagrama de lógica escalera del ejemplo 8.7.2.

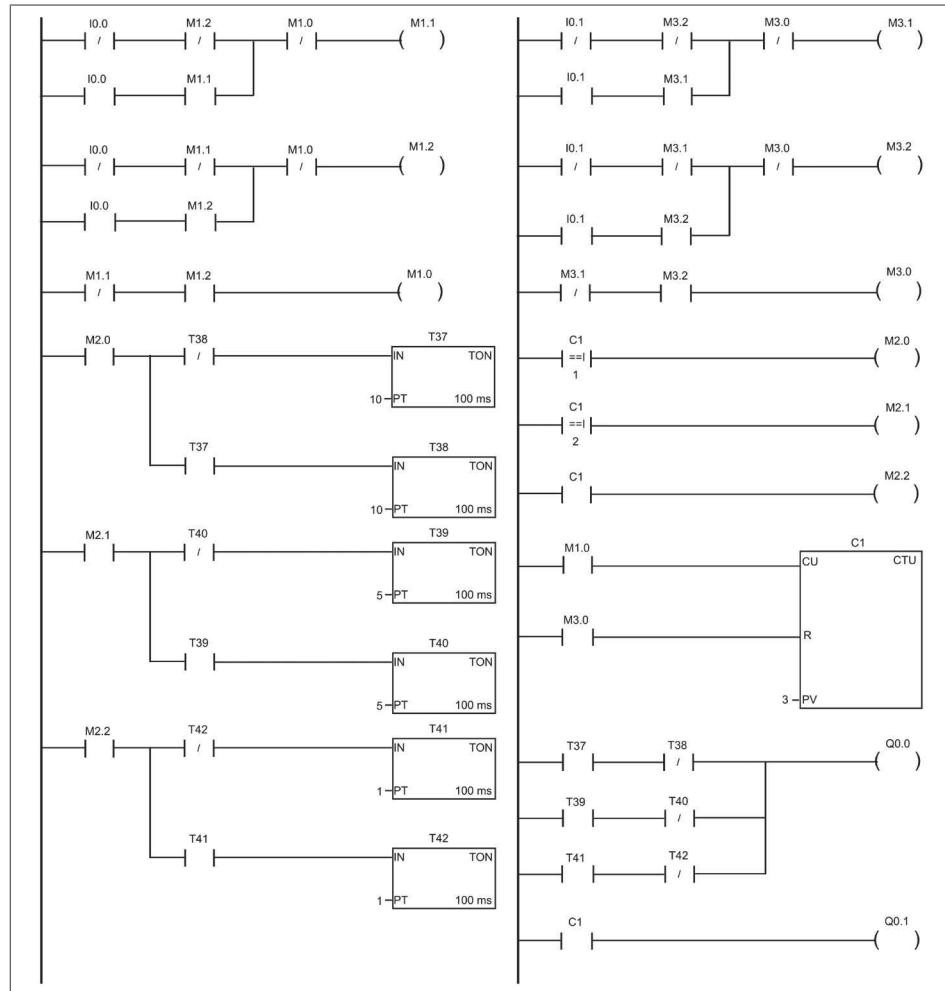


Fig. 8-84. Diagrama de lógica de contactos de la secuencia lógica que determina el funcionamiento del sistema.

Ejemplo 8.7.3

Un sistema secuencial cuenta con dos temporizadores: T37 y T38. El sistema es activado y desactivado por un botón del tipo empujar para activar conectado en la entrada I0.0 del PLC Siemens. Las funciones de tiempo activan la función de salida Q0.0 de una forma intermitente. El período de apagado tiene un valor en tiempo de A y el período de encendido tiene un valor de tiempo de B. La salida es un indicador luminoso que muestra el funcionamiento del sistema. Los valores de tiempo están dados en función de A y B para que sean ajustados mediante el visualizador de textos TD200 del PLC Siemens.

El diagrama de tiempos de la Fig. 8-85 muestra la operación del sistema secuencial. Se presentan cuatro memorias (M1.0, M2.0, M3.0 y M4.0) y una memoria resultante (M5.0) al aplicar el método de la memoria interna.

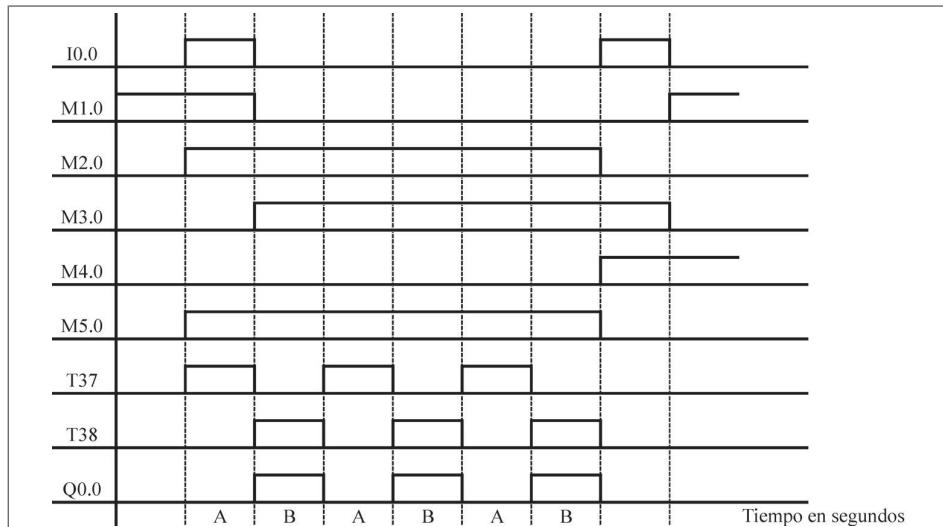


Fig. 8-85. Cronograma de las funciones del ejemplo 8.7.3.

Mensajes

El sistema debe de mostrar los siguientes cinco mensajes:

El mensaje 1 debe ser desplegado al momento de encender el PLC, se podrá regresar a él cuando el mensaje 5 esté desplegado. Si se pulsa la tecla de la función F1 se podrá pasar al mensaje 2 o al mensaje 3, depende del estado del sistema.

E	j	e	m	p	l	o	8	7	3				F	1	A	v
A	j	u	s	t	e	d	e	T	i	e	m	p	o	s		

El mensaje 2 se mostrará cuando el sistema esté en operación y se podrá pasar al mensaje 4 pulsando la tecla de la función F1.

S	i	s	t	e	m	a	O	p	e	r	a	n	d	o			
C	o	r	r	e	c	t	a	m	e	n	t	e		F	1	A	v

El mensaje 3 se va a mostrar cuando el sistema esté apagado y se podrá pasar al mensaje 1 pulsando la tecla de la función F1.

							S	i	s	t	e	m	a				
							A	p	a	g	a	d	o	F	1	A	v

En el mensaje 4 se pueden ajustar los dos temporizadores, T37 y T38, con que cuenta el sistema. A partir de este mensaje se puede pasar al mensaje 5 solo pulsando la tecla de “enter”.

A	j	u	s	t	e	d	e	T	i	e	m	p	o	s			
T	3	7				S	T	3	8				S				

El mensaje 5 es mostrado una vez que se pulsó la tecla “enter” y el mensaje 4 estaba desplegado. El mensaje 5 mostrará el tiempo de ciclo de operación del sistema secuencial. A partir de este mensaje se pasa al mensaje 1 pulsando la función F1.

T	i	e	m	p	o	d	e	C	i	c	l	o			F	1	A	v

Diagrama de flujo de los mensajes

De las condiciones explicadas en cada uno de los mensajes se obtiene el diagrama de flujo que se muestra en la Fig. 8-86. El mensaje utilizado para ajustar valores de tiempos y el mensaje que muestra el tiempo de ciclo tendrán una dirección de valor de datos.

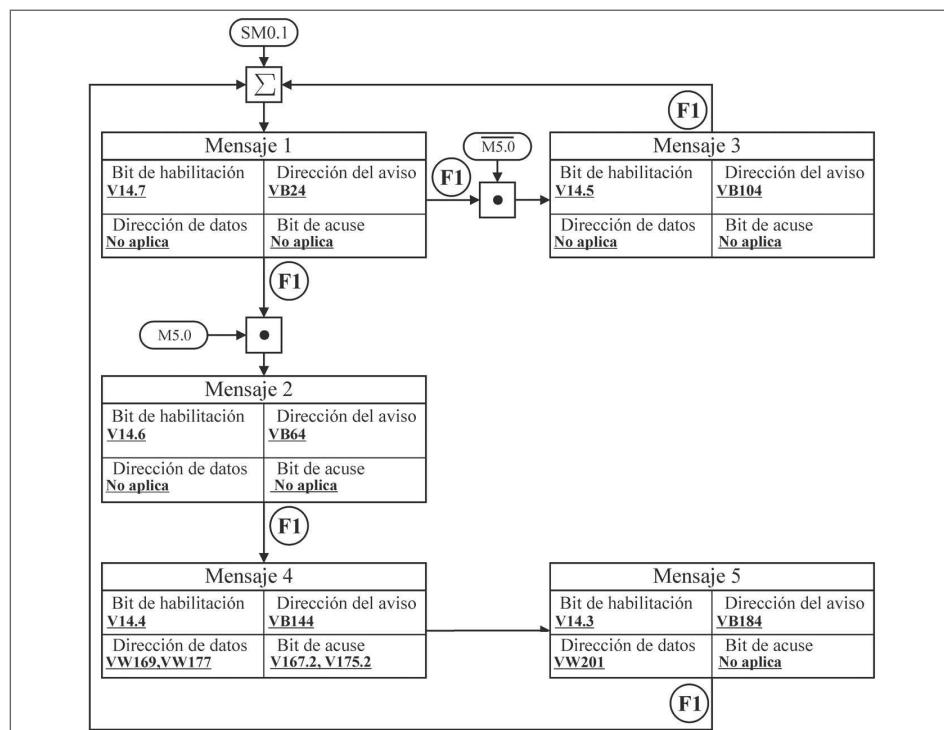


Fig. 8-86. Diagrama de flujo de mensajes mostrados en el visualizador de textos del ejemplo 8.7.3.

Solución

Para obtener la memoria M5.0 se debe utilizar el método de la memoria interna. Primero se obtiene la tabla de valores lógicos del sistema de memorias que se muestra en la Tabla 8-7 y después las ecuaciones de cada memoria y de la memoria de salida M5.0.

I0.0	M5.0	M1.0	M2.0	M3.0	M4.0
0	0	1	0	0	M4.0
1	1	M1.0	1	0	0
0	1	0	M2.0	1	0
1	0	0	0	M3.0	1
0	0	1	0	0	M4.0

Tabla 8-7. Tabla de memorias del ejemplo 8.7.3.

De la tabla de memorias se va a seleccionar solo hasta la memoria M2.0, que es donde la memoria resultante (M5.0) tiene valores lógicos “1”, aplicando el método de la memoria interna indica que esta memoria cuenta con dos estados compartidos. Si se sigue con el método, se obtiene la solución localizando un valor lógico “1” en la tabla de memorias. Al localizarlo se realiza la igualdad de estos dos estados compartidos con la memoria M5.0. Esto da como resultado la siguiente ecuación:

$$M5.0 = M2.0$$

Al tener como resultado la memoria M2.0, se pueden obtener solo las ecuaciones de las memorias M1.0 y M2.0. La ecuación para la memoria M1.0 se consigue con los valores de la entrada y los valores de las propias memorias, solo se considera hasta M2.0.

$$M1.0 = (\overline{I0.0} \overline{M2.0}) + (I0.0 M1.0)$$

La ecuación de la memoria M2.0 se obtiene con el valor de la entrada y las propias memorias. Esto da como resultado la siguiente ecuación:

$$M2.0 = (I0.0 M1.0) + (\overline{I0.0} M2.0)$$

Las ecuaciones que resuelven el sistema de tiempos son obtenidas del cronograma de tiempos mostrado en la Fig. 8-85. El encendido de T37 depende de la memoria M5.0 y del negado de T38. El encendido de T38 depende del temporizador T37. Si se toman en cuenta estas consideraciones se tiene como resultado las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} T37 &= \overline{T38} M5.0 \\ T38 &= T37 \end{aligned}$$

La ecuación de la función de salida Q0.0 es la siguiente:

$$Q0.0 = T37 \overline{T38}$$

Diagrama de lógica escalera

Las ecuaciones son transferidas al diagrama que se muestra en la Fig.8-87. Los temporizadores, como valor preestablecido, tienen la dirección donde se va ajustar el valor desde el visualizador de textos.

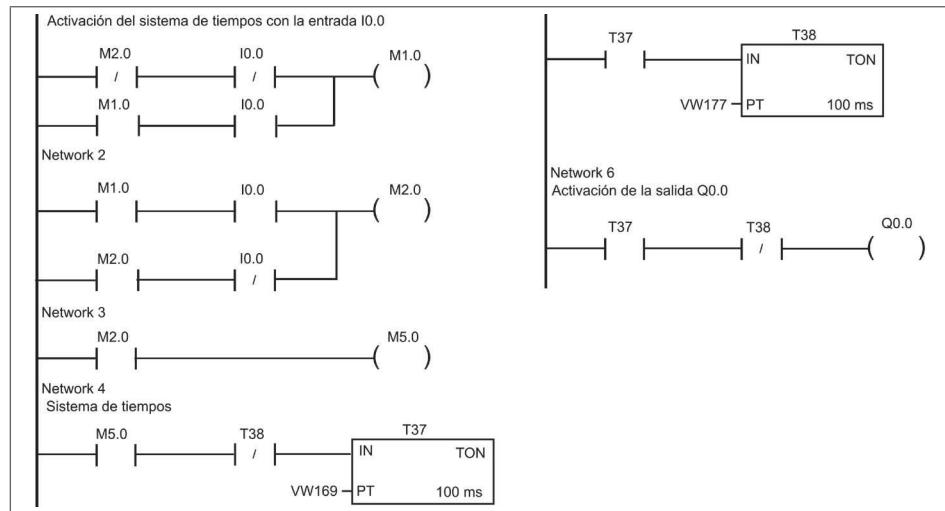


Fig. 8-87. Diagrama de lógica de contactos que representa las ecuaciones.

El diagrama que muestra los mensajes se obtiene del diagrama de flujo de la Fig. 8-86. El resultado se presenta en la Fig. 8-88.

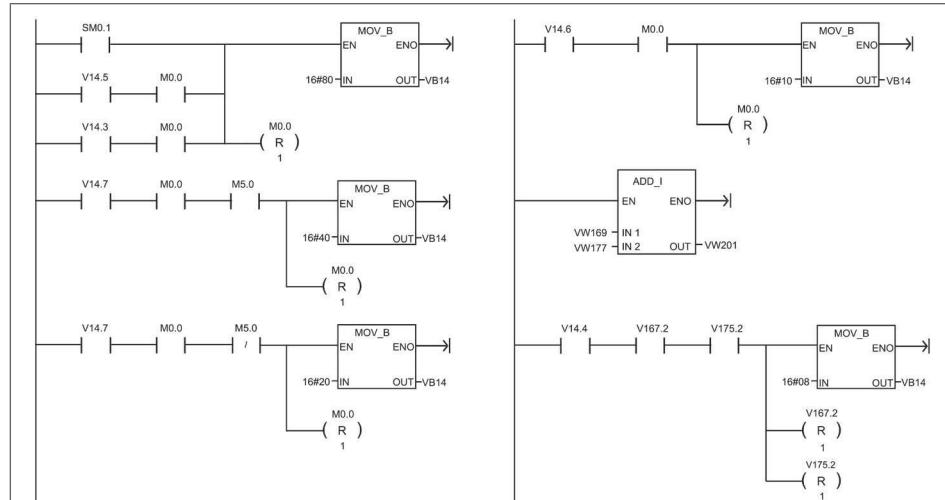


Fig. 8-88. Diagrama de lógica escalera que muestra los cinco mensajes.

Para obtener el tiempo de ciclo del sistema se utiliza la función suma (ADD_I). Las entradas son los valores dados en las direcciones de valores de datos VW169 y VW177. El resultado se envía a la dirección VW 201 para que se muestre en el mensaje 5.

Diagrama de conexiones eléctricas

Para realizar el diagrama de conexiones eléctricas se considera un sensor conectado a la entrada I0.0 y un indicador luminoso conectado en la salida Q0.0. El resultado de las conexiones se presenta en el diagrama de la Fig. 8-89.

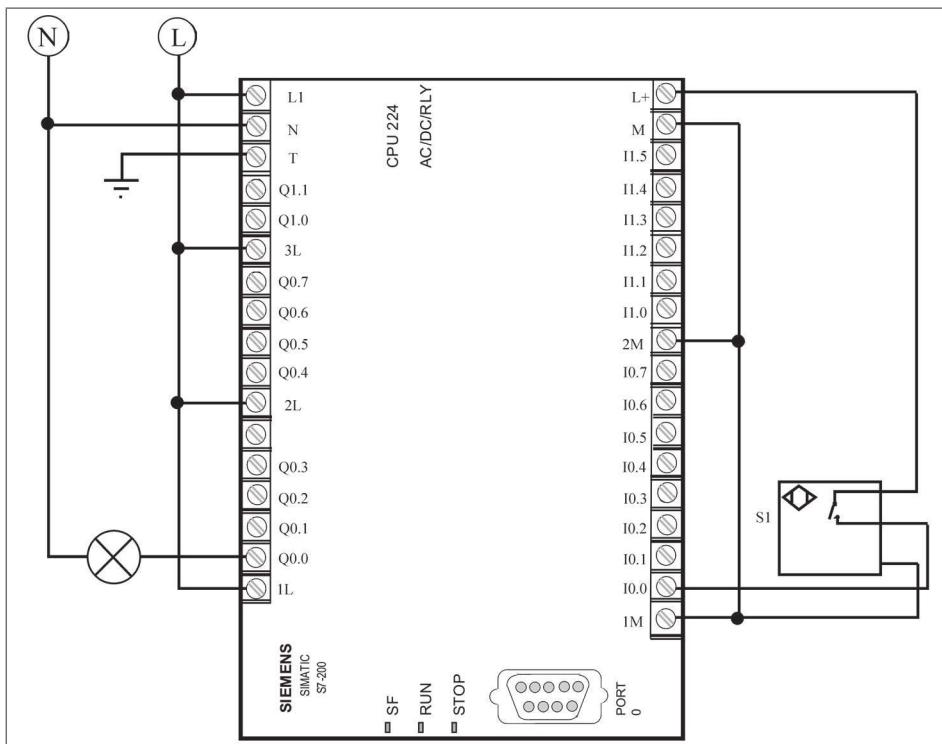


Fig. 8-89. Diagrama de conexiones eléctricas del ejemplo 8.7.3.

8.8 Sistemas automáticos del tipo industrial

La solución de la secuencia lógica de sistemas automáticos industriales siempre es una preocupación desarrollarla en forma efectiva. Esta preocupación prevalece desde los sistemas básicos hasta los muy complejos. Normalmente la solución es proporcional al grado de complejidad del sistema, el uso de métodos analíticos suele ser una herramienta que ayuda a desarrollar la secuencia lógica de una manera segura, además de las funciones de tiempo, conteo, comparación y operaciones matemáticas con que cuenta el PLC Siemens.

En cada sistema, ya sea básico o complejo, se busca darle solución al diagrama de lógica escalera encontrando de manera inicial las ecuaciones lógicas de la secuencia y enseguida el diagrama de flujo que muestre las condiciones que desplieguen los mensajes, si es que cuenta con una TD200, para llegar a un diagrama de lógica escalera con la nomenclatura del PLC Siemens y terminar con un esquemático de conexiones eléctricas.

A continuación se abarcarán dos ejemplos, ambos son solucionados utilizando métodos analíticos “Un estado de memoria” o el “Método de la memoria interna”, en donde aplique.

Ejemplo 8.8.1

El producto final de una cadena de fabricación son barras metálicas cuya longitud debe ser ligeramente mayor a la distancia marcada con letra L en el esquemático del ejercicio, si es menor se considera defectuosa la barra. La estación de inspección encargada de realizar la verificación de la distancia establecida se presenta en el esquemático de la Fig. 8-90, en éste se muestra el arreglo de los sensores que detectan la presencia de la barra. La longitud entre los sensores es ligeramente menor a la que deben tener las barras metálicas. La banda transportadora se encarga de suministrar las barras a través de los sensores, las lámparas indicadoras se encenderán dependiendo de la distancia de la barra que pase por la estación de verificación.

Los sensores fotoeléctricos están constituidos por un emisor y un receptor de luz. La salida de los receptores de luz adopta dos niveles de tensión diferenciados según exista presencia o ausencia de una barra situada entre el sensor y su emisor respectivamente. Se asigna un nivel lógico de “1” a la salida del sensor cuando detecta presencia de una barra y nivel lógico de “0” en caso de su ausencia. La distancia que separa dos barras sometidas a verificación es tal que nunca podrá entrar otra en la zona de detección mientras se está verificando una barra.

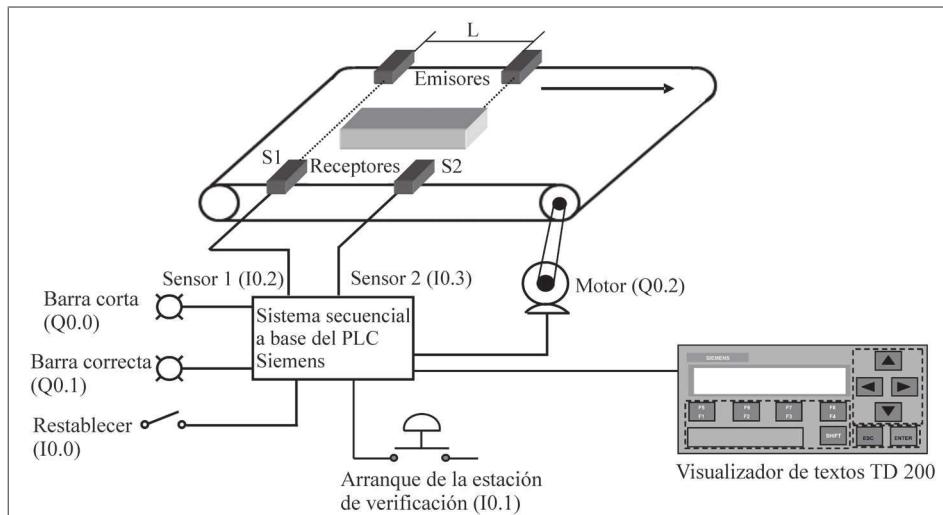


Fig. 8-90. Diagrama esquemático de la estación de inspección de longitud (L) de las barras.

El sistema iniciará su funcionamiento cuando exista una transición negativa en la entrada I0.1 y podrá pararse cuando el sistema haya completado el número de barras a ser analizadas. Para que alcance a salir la última barra se deberá considerar un retardo de tiempo. Las lámparas serán encendidas en el momento que pase una barra con las características indicadas en el esquemático.

El sistema deberá mostrar los siguientes cinco mensajes:

El mensaje 1 deberá ser desplegado al encender el PLC, el sistema pasará al mensaje 2 o al mensaje 3 oprimiendo la tecla de la función F1.

V	e	r	i	f	i	c	a	c	i	ó	n	d	e				
L	o	n	g	i	t	u	d							F	1	A	v

El mensaje 2 será desplegado si el sistema está en operación, el mensaje 1 desplegado y se pulsa la función F1.

S	i	s	t	e	m	a		e	n		O	p	e	r	a	c	i	ó	n
															F	1	A	v	

El mensaje 3 será desplegado si el sistema está apagado, el mensaje 1 desplegado y se pulsa la función F1.

S	i	s	t	e	m	a		A	p	a	g	a	d	o					
															F	1	A	v	

La programación del lote de producción será dada en el mensaje 4, al cual se llega a través del mensaje 3 y si el sistema está apagado. Al desplegarse el mensaje 4 se puede ajustar el lote de piezas a ser verificadas.

P	r	o	g	r	a	m	a	c	i	ó	n		d	e	L	o	t	e		
															B	a	r	r	a	s

El monitoreo de piezas buenas y malas se realizará en este mensaje 5, al cual se llegará mediante el mensaje 2. Desde este mensaje se podrá regresar al mensaje 1.

P	i	e	z	a	s	M	a	l	a	s					F	1	A	v
						B	u	e	n	a	s							

Solución

El ejemplo se va a resolver desarrollando primero el cronograma de las funciones, se desarrollarán los diagramas de flujo para los mensajes y para la secuencia generada por los sensores al momento de detectar una barra. Después se obtendrán las ecuaciones que representen la secuencia del sistema y los mensajes en el visualizador de textos TD200, las ecuaciones serán transferidas a un diagrama de lógica escalera para el PLC Siemens.

Cronograma de las funciones

Las condiciones del sistema se transfieren al cronograma de funciones que se muestra en la Fig. 8-91. El sistema se va a encender con una transición negativa de la entrada I0.1, por lo que es necesario agregar la memoria M1.0. El contador C1 es el encargado de contar todas las barras, el contador C2 es el encargado de contar las barras malas y el C3 de contar las barras buenas. La lámpara conectada en la salida Q0.0 se va a encender cuando pase por el sistema de inspección una barra corta y Q0.1 se va a encender cuando pase por el sistema de inspección una barra con longitud correcta. Se agregó un temporizador para que la última pieza pueda salir después de que fue contada.

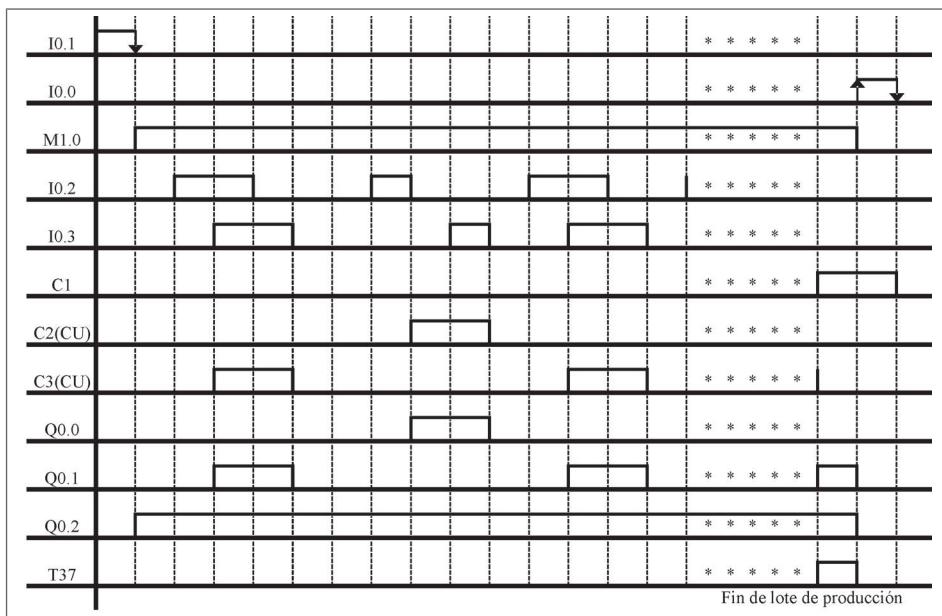


Fig. 8-91. Cronograma de las funciones de la estación de inspección de longitud.

Diagrama de flujo de los mensajes

El diagrama mostrado en la Fig. 8-92 es el resultado de las condiciones mencionadas para desplegar cada mensaje, para pasar del mensaje 4 al mensaje1 con solo activar el “enter” al momento de agregar el valor en el contador C1.

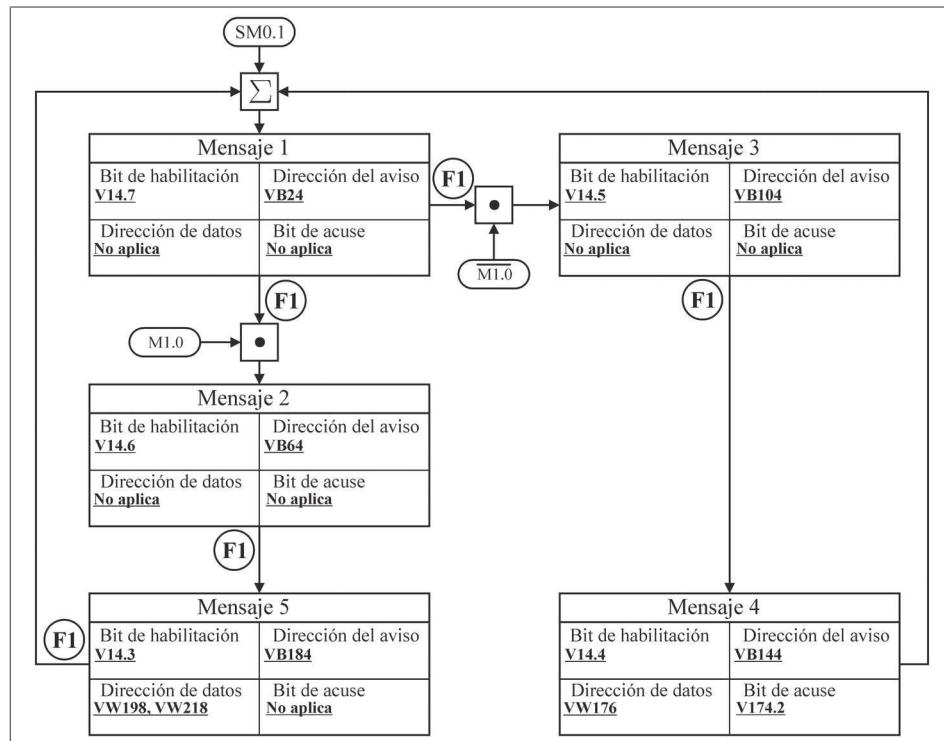


Fig. 8-92. Diagrama de flujo que mostrará los mensajes del ejemplo 8.8.1.

Diagrama de flujo de la secuencia

El diagrama que se muestra en la Fig. 8-93 es generado por los sensores al momento que una barra pasa entre ellos. El diagrama se puede dividir en cuatro estados. En el estado 3 se pueden tomar dos posibles valores, esto depende del tamaño de la barra que esté pasando.

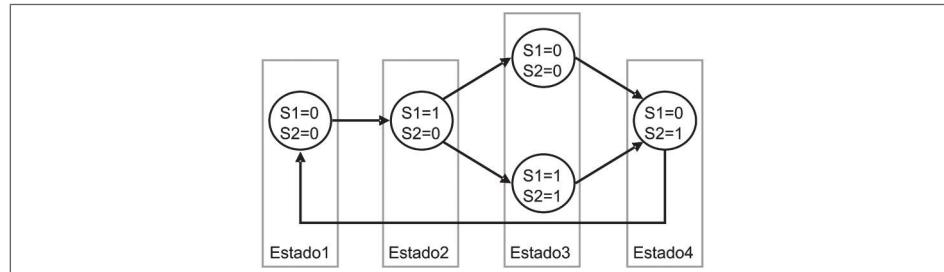


Fig. 8-93. Diagrama de flujo de la secuencia.

Ecuaciones del sistema

El encendido del sistema está a cargo de una transición negativa de la entrada I0.1. Se utilizará la función SET(S) y RESET(R) del PLC Siemens para mantener encendido el sistema y se apagará con una transición positiva de la entrada I0.0. También es necesario que el temporizador T37 y el contador C1 terminen de contar sus respectivos valores preestablecidos. Estas condiciones se aplican a la función de RESET y se expresan mediante las siguientes ecuaciones de las funciones:

$$SET(M1.0) = \downarrow I0.1$$

$$RESET(M1.0) = \uparrow I0.0 \text{ } T37C1$$

En el diagrama de flujo de la Fig. 8-88 se muestran los valores lógicos que toman los sensores al momento de pasar una barra correcta y una barra incorrecta. Estos valores se transfieren a una tabla de valores lógicos que se explican en la Tabla 8-8, para aplicar el método de la memoria interna, se obtiene una tabla para los valores de la barra correcta y una para los valores de la incorrecta.

Tabla de valores de la Barra Correcta							Tabla de valores de la Barra Incorrecta							
Estado	I0.3	I0.2	M3.0	M2.0	M2.1	M2.2	M2.3	I0.3	I0.2	M4.0	M2.0	M2.4	M2.5	M2.3
1	0	0	0	1	0	0	M2.3	0	0	0	1	0	0	M2.3
2	0	1	0	M2.0	1	0	0	0	1	0	M2.0	1	0	0
3	1	1	1	0	M2.1	1	0	0	0	1	0	M2.4	1	0
4	1	0	1	0	0	M2.2	1	1	0	1	0	0	M2.5	1
5	0	0	0	1	0	0	M2.3	0	0	0	1	0	0	M2.3

Tabla 8-8. Tabla de valores lógicos del sistema secuencial.

Las tablas de ambas barras comparten las memorias M2.0 y M2.3, debido a que los estados 1, 2 y 4 se consideran que son los mismos ya que tienen mismos valores en las entradas. Esto se puede observar en el diagrama de flujo de la Fig. 8-93.

De las tablas mostradas se debe obtener una ecuación para cada memoria. Si se siguen las reglas del método de la memoria interna se obtienen las siguientes ecuaciones.

Ecuaciones para la barra correcta:

$$M2.0 = \overline{I0.3}I0.2M2.1\overline{M2.2} + \overline{I0.3}I0.2M2.0$$

$$M2.1 = \overline{I0.3}I0.2M2.0 + I0.3I0.2M2.1 = I0.2[(\overline{I0.3}M2.0) + (I0.3M2.1)]$$

$$M2.2 = I0.3I0.2M2.1 + I0.3\overline{I0.2}M2.2 = I0.3[(I0.2M2.1) + (\overline{I0.2}M2.2)]$$

$$M2.3 = I0.3I0.2M2.2 + I0.3\overline{I0.2}M2.3$$

Ecuaciones para la barra incorrecta:

$$\begin{aligned} M2.0 &= \overline{I0.3} \overline{I0.2} \overline{M2.4} \overline{M2.5} + I0.3 \overline{I0.2} M2.0 \\ M2.4 &= \overline{I0.3} I0.2 M2.0 + I0.3 \overline{I0.2} M2.4 = \overline{I0.3} [(I0.2 M2.0) + (\overline{I0.2} M2.4)] \\ M2.5 &= \overline{I0.3} \overline{I0.2} M2.4 + I0.3 \overline{I0.2} M2.5 = \overline{I0.2} [(\overline{I0.3} M2.4) + (I0.3 M2.5)] \\ M2.3 &= I0.3 \overline{I0.2} M2.5 + \overline{I0.3} \overline{I0.2} M2.3 \end{aligned}$$

Las ecuaciones de las memorias M2.0 y M2.3 de ambas tablas de valores lógicos son sumadas y son simplificadas, lo que da como resultado las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} M2.0 &= \overline{I0.3} \overline{I0.2} M2.1 M2.2 + I0.3 \overline{I0.2} M2.0 + \overline{I0.3} \overline{I0.2} M2.4 M2.5 = \overline{I0.3} \overline{I0.2} [(M2.1 M2.2) + (M2.4 M2.5)] + \overline{I0.3} \overline{I0.2} M2.0 \\ M2.3 &= I0.3 \overline{I0.2} M2.2 + I0.3 \overline{I0.2} M2.3 + I0.3 \overline{I0.2} M2.5 = I0.3 \overline{I0.2} (M2.2 + M2.5) + I0.3 \overline{I0.2} M2.3 \end{aligned}$$

Si se aplica el criterio de estados compartidos del método de la memoria interna, las ecuaciones de las memorias de salida (M3.0 y M4.0) son las siguientes:

$$\begin{aligned} M3.0 &= M2.2 = Q0.1 \\ M4.0 &= M2.5 = Q0.0 \end{aligned}$$

A su vez estas memorias son convertidas a las salidas Q0.0 y Q0.1.

El sistema cuenta con tres contadores C1, C2 y C3, para cada uno de ellos es necesario encontrar dos ecuaciones: una para el conteo y otra para restablecer al contador. Esto sucede cuando se presenta una transición negativa en la entrada I0.0, C1 y T37 deben terminar el valor preestablecido.

$$\begin{aligned} C1(CU) &= C2 + C3 \\ C1(R) &= \downarrow I0.0 C1 T37 \\ C2(CU) &= M3.0 \\ C2(R) &= \downarrow I0.0 C1 T37 \\ C3(CU) &= M4.0 \\ C3(R) &= \downarrow I0.0 C1 T37 \end{aligned}$$

El temporizador T37 se va habilitar cuando el contador C1 llegue a su valor preestablecido que deberá ser el necesario para sacar de la estación de verificación a la última barra. Éste depende de la longitud de la barra y de la velocidad de la banda transportadora. Para el ejemplo se va a considerar un valor de 180 segundos.

$$T37 = C1$$

La función de salida Q0.2 es igual a la memoria M1.0.

$$Q0.2 = M1.0$$

Diagrama de lógica escalera

El diagrama de lógica escalera que despliega los cinco mensajes se obtiene de las condiciones mostradas en el diagrama de flujo de la Fig. 8-92.

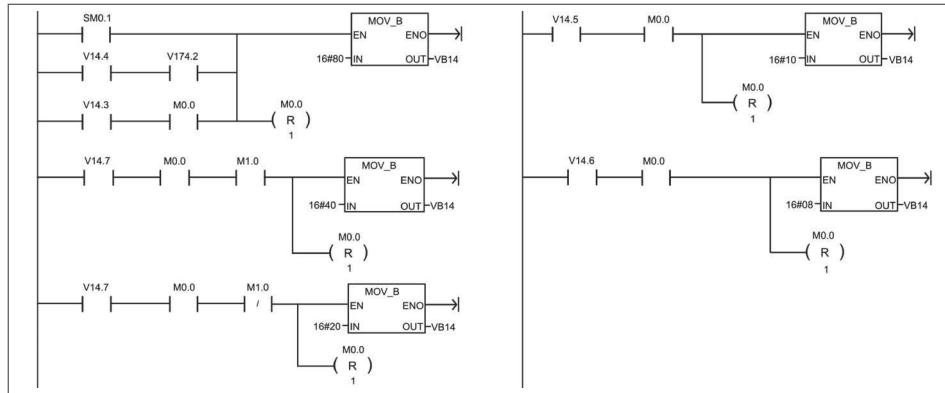


Fig. 8-94. Diagrama de lógica escalera que despliega los mensajes.

Las ecuaciones de las memorias son transferidas a un diagrama de lógica escalera mostrado en la Fig. 8-95, solo la memoria M1.0 tiene dos renglones, porque son dos ecuaciones, esta memoria utiliza la función SET y RESET.

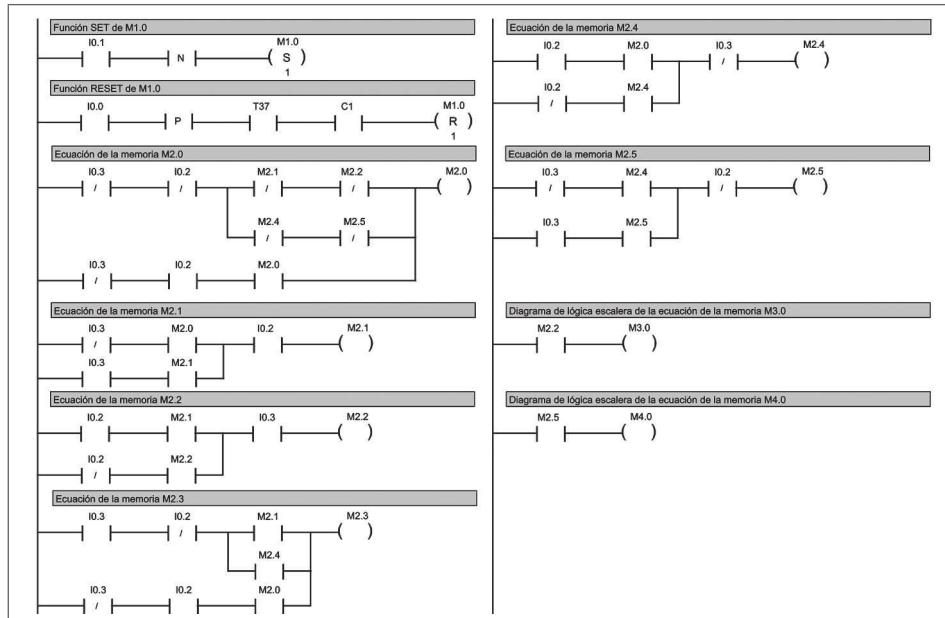


Fig. 8-95. Diagrama de lógica escalera que representa las ecuaciones de las memorias.

La Fig. 8-96 muestra el diagrama resultante de las ecuaciones de los contadores, el valor preestablecido del contador C1 es dado a través del visualizador de textos TD200, es por eso que tienen la dirección VW176 en lugar de tener un valor numérico. Los valores preestablecidos de los contadores C2 y C3 son valores muy altos, por lo que es imposible llegar a ellos ya que el número de barras a ser inspeccionadas no es mayor a cuatro dígitos; no se les dio un valor exacto ya que no se sabe cuántas barras buenas y malas estarán pasando por la estación de inspección de longitud.

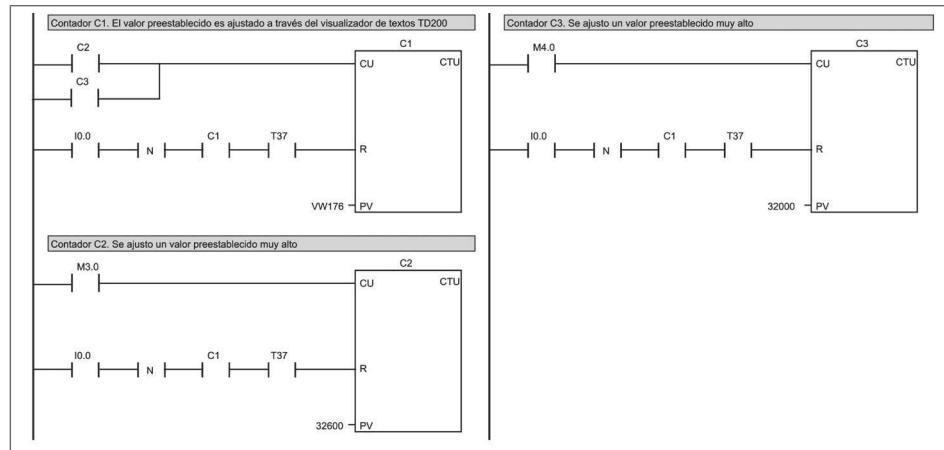


Fig. 8-96. Diagrama de lógica escalera que representa las ecuaciones de las memorias.

El temporizador T37 es el encargado de sacar la última barra de la estación de verificación, después de que C1 ha llegado a su valor preestablecido. El valor de T37 es de 180 segundos.

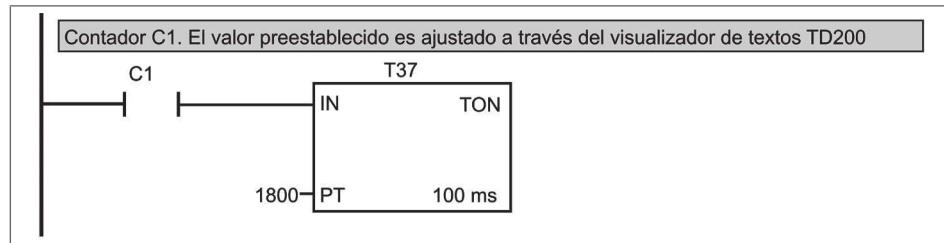


Fig. 8-97. Diagrama de lógica escalera que representa las ecuaciones de las memorias.

Las funciones de salida del sistema se resumen en tres: Q0.0 es la lámpara que será encendida cuando pase una barra con longitud incorrecta, Q0.1 será encendida cada vez que pase una barra con longitud correcta y la salida Q0.2 es la encargada de encender la banda transportadora encargada de suministrar las barras a la estación de verificación.

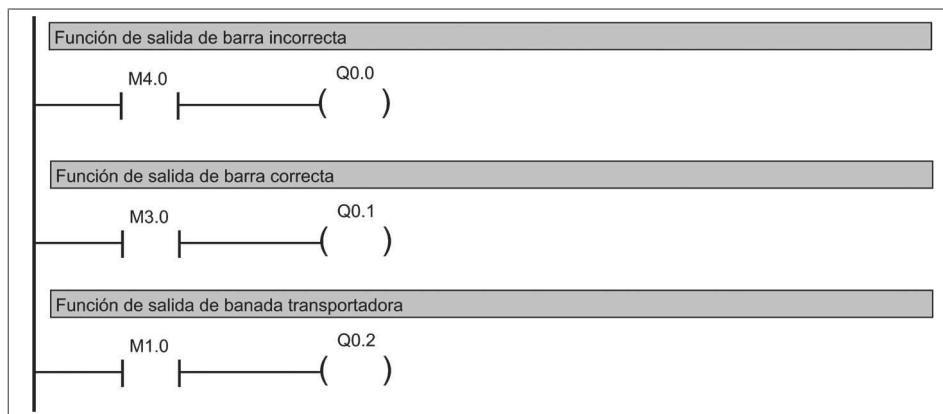


Fig. 8-98. Diagrama de lógica escalera que representa las ecuaciones de las memorias.

Ejemplo 8.8.2

Un sistema de llenado de cajas está construido por un silo y un almacén principal de material, una banda transportadora que se encarga de transportar las cajas al punto de llenado. El sistema automatizado se basa en el PLC Siemens y un visualizador de textos TD200. La cantidad de producto a ser depositada en la caja es proporcional al valor preestablecido de un temporizador ajustado a través del visualizador de textos TD200. La Fig. 8-99 muestra un esquemático del sistema descrito con la siguiente secuencia:

- La cantidad de material en el almacén principal cubre los 5 días de operación de la línea de producción. El material en el silo cubre el turno de 8 horas de producción, de tal manera que se llenará mientras la línea de producción está en descanso. Este producto está preparado para que trabaje un turno por día, 5 días a la semana. Si no existe nivel en el almacén principal y en el silo, el sistema no funcionará. Si esto sucede mientras hay una caja en el proceso de llenado, éste deberá seguir hasta completarla. El cono inferior del silo tiene material suficiente para realizar esta operación, llenar más de una caja, esto puede suceder al terminar la semana de producción.
- El silo está vacío y el almacén principal tiene material. Cuando sucede esto se debe encender el motor (Q0.3) para realizar la transferencia de material. Se apaga cuando la entrada I0.3 detecte nivel y se vuelve a encender hasta que la entrada I0.4 no detecte producto. El llenado se monitorea mediante un temporizador, si el tiempo termina antes de que se llene el silo se activará una alarma de falta de material o de tiempo excedido en el llenado.
- Moviendo una caja al punto de llenado. Si los sensores I1.0 e I1.1 no detectan caja la banda transportadora deberá estar operando. De acuerdo a la dirección de la banda se debe encender la entrada I1.1, después el sensor I1.0. Una vez que los dos sensores están encendidos, se debe parar la banda transportadora.

- **Llenado de caja.** Después de un segundo de que arribó una caja al punto de llenado se abre la compuerta, la cantidad de producto a suministrarse es proporcional al valor preestablecido de un temporizador, la entrada I0.7 asegura que se esté suministrando material a la caja. El encendido del temporizador dependerá del encendido de esta entrada y de la entrada I0.5. Como protección, la apertura de la compuerta se monitorea mediante un temporizador, si se alcanza el tiempo antes de que el sensor conectado en la entrada I0.5 detecte la compuerta abierta, se deberá encender una alarma de falla de compuerta.

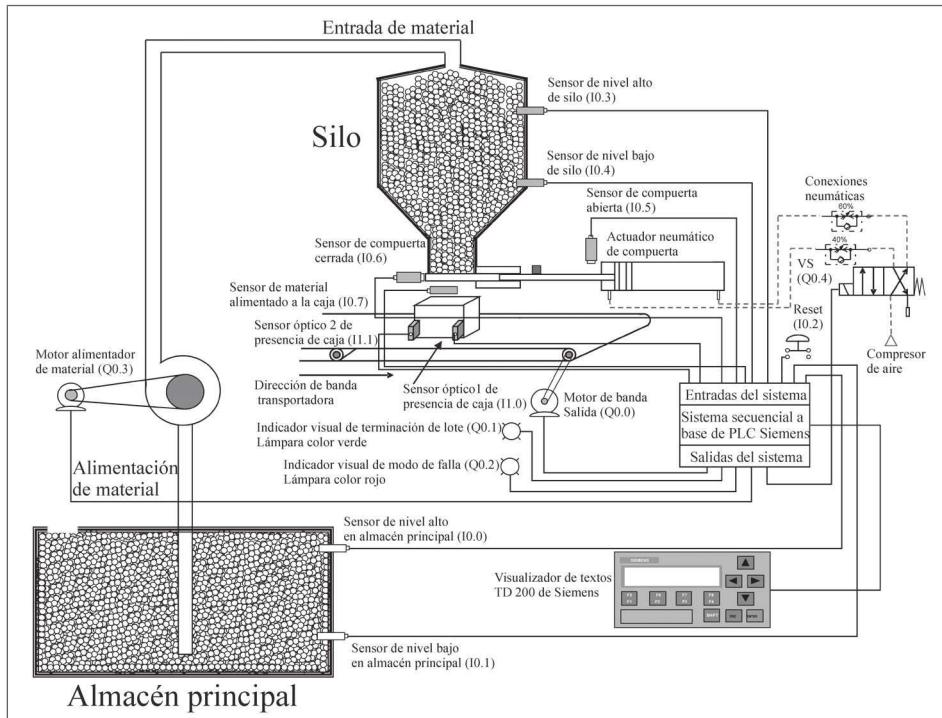


Fig. 8-99. Esquemático del proceso de llenado de cajas del ejercicio 8.8.2.

El sistema cuenta con un indicador luminoso de color rojo conectado en la salida Q0.2 del PLC Siemens, esta alarma presenta un código visual para representar las tres alarmas del sistema. El diagrama de frecuencia de cada una se muestra en la Fig. 8-100. Cada alarma presenta un grado diferente de severidad entre ellas que se expresa con el tiempo que dura encendida y apagada la lámpara. Si la lámpara dura tiempo más apagada se considera que la alarma es menos severa.

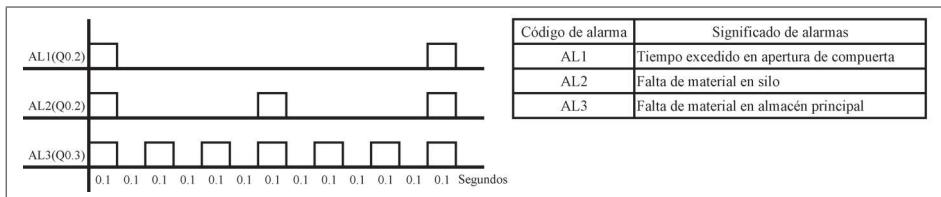


Fig. 8-100. Frecuencia y significado de los códigos visuales del sistema de alarmas.

Como parte de la solución se deben obtener las ecuaciones del sistema y para eso es conveniente seccionar al sistema en las siguientes 6 etapas:

- Llenado del almacén principal
- Transferencia de material al silo
- Proceso de llenado de caja
- Sistema de alarmas
- Funciones de salida
- Desplegado de mensajes.

Las ecuaciones obtenidas se deberán transferir a un diagrama de lógica de contactos para implementarlo en el PLC Siemens y se deberá utilizar el software FluidSim para realizar la simulación correspondiente de cada sección.

Solución

De las cuatro etapas, el llenado del almacén principal es considerado prioridad 1, de él depende que el sistema funcione, el proceso de llenado del sistema debe permanecer en espera cuando no tenga material el almacén.

Llenado del almacén principal

La salida de este sistema será una condición para secciones posteriores. El sistema cuenta con dos sensores del tipo capacitivo que están conectados en las entradas I0.0 e I0.1 del PLC y detectan material en el almacén principal y el nivel alto y nivel bajo respectivamente (NA=I0.0 y NB=I0.1). La Tabla 8-9 muestra la solución propuesta con el método de un estado de memoria. Se obtienen dos ecuaciones, una para cada salida del sistema M1.0 y M1.1. La ecuación de M1.0 permite el funcionamiento del motor que transfiere material del almacén principal al silo. La ecuación de M1.1 permite la activación de la alarma 3 (AL3) y bloquea el funcionamiento del motor de la banda transportadora.

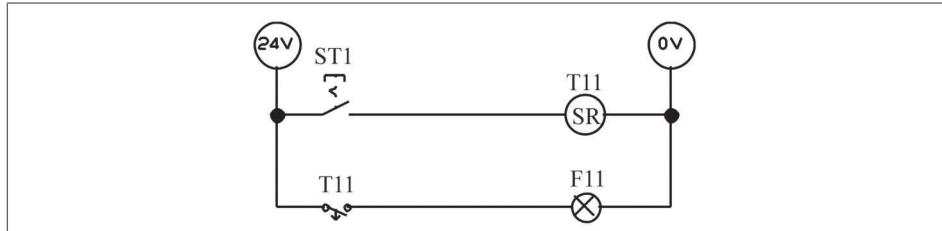


Tabla 8-9. Tabla de valores lógicos del nivel en el almacén principal.

De la tabla mostrada se obtienen las ecuaciones que representan las dos memorias.

$$M1.0 = \overline{I0.0} I0.1 M1.0 + I0.0 I0.1 = (\overline{I0.0} M1.0 + I0.0) I0.1$$

$$M1.1 = \overline{I0.0} I0.1 + \overline{I0.0} I0.1 M1.1 = (\overline{I0.1} + I0.1 M1.0) \overline{I0.0}$$

Las ecuaciones obtenidas en cada etapa del proceso cuentan con la nomenclatura para implementarse en un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

Transferencia de material del almacén al silo

Esta sección cuenta con dos sensores del tipo capacitivo conectados en la entrada I0.3 e I0.4, sensor de nivel alto y nivel bajo respectivamente (NA=I0.3 y NB=I0.4); la salida es la memoria M2.0. La tabla de valores lógicos se muestra en la Tabla 8-10. El sistema se va a resolver mediante el método de un estado de memoria.

I0.3	I0.4	M2.0
0	0	1
0	1	M2.0
1	1	0
0	1	M2.0
0	0	1

Tabla 8-10. Tabla de memorias para la señal de nivel de material en el silo.

El estado de memoria ya está implícito al recordar el valor de M2.0. De la tabla anterior se obtiene una ecuación que representa la salida de la tabla M2.0.

$$M2.0 = \overline{I0.3} \overline{I0.4} + I0.3 I0.4 M2.0 = (\overline{I0.4} + I0.4 M2.0) \overline{I0.3}$$

Esta memoria condiciona al motor de llenado conectado en la salida Q0.3 y a la válvula solenoide conectada en la salida Q0.4.

Proceso de llenado de caja

Este proceso cuenta con cinco etapas:

01. Colocación de caja en posición de llenado
02. Apertura y cierre de compuerta

03. Llenado de caja con el producto del silo
04. Reinicio de banda transportadora
05. Sistema de conteo de cajas producidas.

01. Colocación de caja en posición de llenado

Una caja en la banda transportadora con dirección de izquierda a derecha llega a activar inicialmente al sensor óptico I1.1. Si sigue su trayectoria, el siguiente sensor a ser detectado es el I1.0, lo que da un estado del sistema donde ambos sensores están activados a la vez. En ese instante se debe parar la banda transportadora, habilitar la apertura de la compuerta e iniciar el llenado de la caja.

Los valores lógicos que toman los sensores son mostrados en la tabla de memorias de la Tabla 8-11, la salida de la tabla es la memoria M3.0. La tabla parece el resultado de un sistema del tipo combinacional, pero es un sistema secuencial ya que aparecen de manera jerarquizada la activación y desactivación de los sensores. La secuencia de valores de los sensores evita activar el sistema con otro objeto que no sea una caja y en otra dirección que no sea de izquierda a derecha, e impide que se provoque una detección de caja en falso. El sistema se va a solucionar con el método de la memoria interna.

Entradas		Salida	Memorias			
I1.1	I1.0	M3.0	M3.1	M3.2	M3.3	M3.4
0	0	0	1	0	0	M4.4
1	0	0	M3.1	1	0	0
1	1	1	0	M3.2	1	0
0	1	0	0	0	M3.3	1
0	0	0	1	0	0	M3.4

Tabla 8-11. Tabla de memorias para la señal de posición de caja.

De la tabla de memorias se obtienen ecuaciones para M3.1, M3.2 y hasta M3.3 que es donde la memoria de salida es igual a "1". Si se aplica el criterio del método de la memoria interna, las ecuaciones son las siguientes:

$$M3.1 = \overline{I1.0} \overline{I1.1} M3.2 M3.3 + I1.0 \overline{I1.1} M3.1 = \overline{I1.1}(I0.1 M3.2 M3.3) + I0.1 M3.1$$

$$M3.2 = I1.0 \overline{I1.1} M3.1 + I1.0 I1.1 M3.2 = I1.0 (\overline{I1.1} M3.1 + I1.1 M3.2)$$

$$M3.3 = I1.0 I1.1 M3.2 + \overline{I1.0} I1.1 M3.3 = I1.1(I1.0 M3.2 + \overline{I1.0} M3.3)$$

El resultado de la memoria de salida M3.0 se ubica en un estado aislado; por lo tanto se selecciona la tercera fila, que es donde está ubicado el resultado de la memoria. Si se multiplican las memorias M3.2 y M3.3 se obtiene M3.0.

$$M3.0 = M3.2 M3.3$$

Esta memoria condiciona al motor de la banda transportadora, la cual está conectada en la salida Q0.0. Cuando M3.0 se enciende, la salida Q0.0 debe estar apagada; y cuando M3.0 está apagada, la salida Q0.0 debe estar encendida. Esta memoria también es condicionante para la etapa de apertura y cierre de compuerta.

02. Apertura y cierre de compuerta

La apertura de la compuerta se realiza cuando exista una caja en posición de ser llenada y se cerrará cuando termine el tiempo de llenado de caja, esta etapa se resuelve con el método de la memoria interna.

Los sensores magnéticos de inicio y fin de carrera indican el estado de la compuerta. Éstos son conectados en las entradas I0.5 e I0.6, lo que da como resultado los dos estados de la compuerta: abierta y cerrada respectivamente. Con todas las consideraciones mencionadas se obtiene una tabla de memorias que se muestra en la Tabla 8-12. Se considera a la compuerta cerrada como posición inicial.

Estado	Entradas		Salida	Memorias			
	I0.6	I0.5		M4.0	M4.1	M4.2	M4.3
1	1	0		1	1	0	0
2	0	0		1	M4.1	1	0
3	0	1		1	0	M4.2	1
4	0	0		0	0	0	M4.3
1	1	0		1	1	0	M4.4

Tabla 8-12. Tabla de valores lógicos de la secuencia de la compuerta.

De la tabla de memorias se obtienen solo las ecuaciones de M4.1 y M4.2. Cinco ecuaciones, una para cada memoria. La memoria M3.0 es parte de las condiciones del sistema, ésta es la razón por la cual se encuentra en la columna de las entradas. Las ecuaciones de las memorias son las siguientes:

$$M4.1 = I0.6 \overline{I0.5} M4.2 M4.3 + \overline{I0.6} \overline{I0.5} M4.1 = \overline{I0.5} (I0.6 M4.2 \overline{M4.3} + \overline{I0.6} M4.1)$$

$$M4.2 = \overline{I0.6} \overline{I0.5} M4.1 + I0.6 \overline{I0.5} M4.2 = \overline{I0.6} (\overline{I0.5} M4.1 + I0.5 M4.2)$$

$$M4.3 = \overline{I0.6} I0.5 M4.2 + I0.6 \overline{I0.5} M4.3 = \overline{I0.6} (I0.5 M4.2 + \overline{I0.5} M4.3)$$

$$M4.4 = \overline{I0.6} \overline{I0.5} M4.3 + I0.6 \overline{I0.5} M4.4 = \overline{I0.5} (\overline{I0.6} M4.3 + I0.6 M4.4)$$

Para obtener la función de salida M4.0 se aplica el método de la memoria interna, los tres valores lógicos de M4.0 se ubican en el caso de estados compartidos, se obtienen dos grupos de dos valores. El resultado para el primer grupo es M4.1 y para el segundo, M4.2. Ambos resultados están marcados en la tabla de datos lógicos y forman la ecuación de salida, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$M4.0 = M4.1 + M4.2$$

El desplazamiento de apertura y cierre del cilindro de la compuerta va a ser monitoreado mediante un tiempo preestablecido, el temporizador T45 monitorea el

desplazamiento en la apertura y el T46 el desplazamiento del cilindro para cerrar la compuerta. Esto da como resultado las siguientes ecuaciones:

$$T45 = M4.1 \text{ M4.2}$$

$$T46 = M4.3 \text{ M4.4}$$

El valor de tiempo preestablecido en ambos temporizadores debe de ser suficiente para que la compuerta llegue al inicio y fin de carrera, esto depende de la velocidad con que se desplace el cilindro, la velocidad esta a cargo del ajuste que tengan las válvulas de control de flujo.

03. Llenado de caja con el producto del silo

El llenado de caja se realiza proporcionalmente a la función tiempo dada por el temporizador T50. Las condiciones para activar este temporizador es que exista una caja en posición de llenado y el sensor que detecta la presencia del material conectado en la entrada I0.7. A esto se va agregar una memoria para evitar una desconexión de alguna de las dos funciones que encienden el temporizador y evitar un malfuncionamiento del sistema, lo que da como resultado las siguientes ecuaciones:

$$M5.0 = [(\overline{M4.0} \text{ } M3.0 \text{ } I0.7) + M5.0] \overline{T51}$$

$$T50 = M5.0$$

El valor preestablecido del temporizador T50 es ajustado a través del visualizador de textos TD200 del PLC Siemens.

Se debe considerar utilizar una memoria (M5.0) para poder retener encendido al temporizador, las condiciones mencionadas estarán encendiéndolo la memoria y el encendido de la banda transportadora la estará apagando, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

04. Reinicio de banda transportadora

Una vez que termina el tiempo de llenado se debe encender la banda transportadora para sacar de posición la caja que ya fue llenada. La activación de esta función se realiza con un temporizador del tipo retardo para apagar (TOF), lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$T51 = T50$$

05. Sistema de conteo de cajas producidas

El sistema de conteo de cajas producidas está a cargo del contador C2. La condición que activa el conteo es el tiempo de llenado T50. Si se considera esta condición se obtiene la siguiente ecuación que activa el conteo de C2.

$$C2(\text{Conteo}) = T50$$

El valor preestablecido de C2 se puede editar desde el visualizador de textos TD200, por lo tanto no se le define un valor preestablecido en el programa, sino una dirección donde se encuentra el valor dado a través del visualizador de textos.

Las condiciones para restablecer a C2 es una transición negativa de la entrada I0.2, representada por una flecha con dirección hacia abajo, y un contacto del propio C2, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$C2(\text{Reset}) = \downarrow I0.2 \ C2$$

Sistema de alarmas

El sistema cuenta con las tres alarmas que se mostraron en el diagrama de tiempos de la Fig. 8-100. Una lámpara roja representa la alarma y está conectada en la salida Q0.2 del PLC Siemens. Ésta tendrá una frecuencia de encendido y de apagado que dependerá de la severidad de la alarma. Los temporizadores utilizados para obtener las ecuaciones son mostrados en los diagramas de tiempos de la Fig. 8-101. Las alarmas que se utilizan son las siguientes:

- AL1. Alarma de tiempo excedido en apertura de la compuerta
- AL2. Alarma de falta de material en silo
- AL3. Alarma de falta de material en almacén principal.

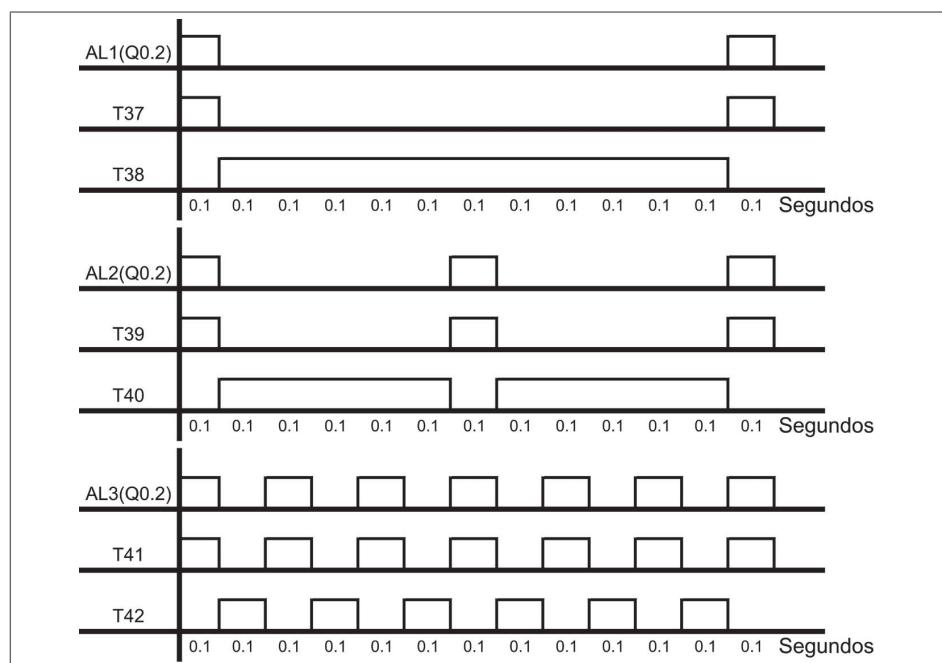


Fig. 8-101. Diagrama de tiempos de las alarmas del sistema.

Las tres alarmas son activadas mediante el contador C1 que va a contar un evento cuando una de las tres activaciones esté presente:

- T45 o T46, activan la alarma AL1
- M2.0 activa la alarma AL2
- M1.1 activa la alarma AL3.

Si se consideran las condiciones de activación de conteo, se tiene la siguiente ecuación:

$$C1(\text{Conteo}) = T45 + T46 + M1.1 + M2.0$$

La función que restablece el contador está a cargo de una transición negativa de la entrada I0.2. El PLC Siemens puede generar esta función aplicándole posteriormente la función (N) a la entrada. Al utilizar la transición negativa se evitan fallos en el botón o simplemente que se quede activado por error y se restablezca en forma automática. Además de la entrada I0.2 se deben considerar los negados que activan el contador C1, de manera que se pueda restablecer el contador una vez que no exista ninguna alarma, lo que da como resultado la ecuación de reset para C1.

$$C1(\text{Reset}) = \downarrow I0.2 C1(\overline{T45} + \overline{T46} + \overline{M1.1} + \overline{M2.0})$$

Si el PLC no cuenta con esta función la transición negativa se puede obtener aplicando el método de la memoria interna.

Ecuaciones para alarma 1 (AL1)

La alarma 1 es activada cuando la apertura o el cierre de la compuerta excede el tiempo preestablecido del temporizador T45 o del T46.

Las ecuaciones son obtenidas para los temporizadores T37, T38 y la salida llamada AL1. Se debe considerar que T37 se enciende cuando uno de los dos temporizadores (T45 o T46) es activado, éstos a su vez son multiplicados por el negado de T38 y el afirmado de C1.

$$\begin{aligned} T37 &= (T45 + T46) C1 \overline{T38} \\ T38 &= T37 \end{aligned}$$

La alarma AL1 es activada por una condición negada de T37, una condición afirmada de C1 y por la activación de cualquiera de los dos temporizadores, T45 o T46.

$$AL1 = (T45 + T46) \overline{T37} C1$$

Ecuaciones para alarma 2

La alarma 2 funciona cuando se activa la memoria M2.0. Se obtienen las ecuaciones para los temporizadores T39, T40 y para la salida AL2. T39 se encenderá cuando M2.0 se prenda y C1 haya contado un evento y se desconectará cuando T40 termine de contar el valor preestablecido. El temporizador T40 se debe encender cuando T39 termine de contar el valor preestablecido.

$$\begin{aligned}T39 &= M2.0 C1 \overline{T40} \\T40 &= T39\end{aligned}$$

La alarma AL2 se debe encender cuando esté presente la memoria M2.0 y que C1 haya contado un evento y que haya terminado de contar el temporizador T39.

$$AL2 = M2.0 \overline{T39} C1$$

Ecuaciones para alarma 3

La alarma 3 funciona cuando se activa la memoria M1.1. Se obtienen las ecuaciones para los temporizadores T41, T42 y para la salida de la alarma AL3. T41 se activa cuando las funciones M1.1 y C1 estén activadas y que no haya terminado el tiempo preestablecido de T42.

$$\begin{aligned}T41 &= M1.1 C1 \overline{T42} \\T42 &= T41\end{aligned}$$

La alarma AL3 se debe encender cuando las funciones M1.1 y C1 estén activadas, y T41 no haya terminado de contar el valor preestablecido.

Funciones de salida

Se debe obtener una ecuación para cada función de salida para que pueda representarse en un diagrama de lógica de contactos.

Se inicia con la salida conectada en Q0.0 ya que en ella está conectado el motor de la banda transportadora, teniendo como condición de encendido que no exista una caja en posición de llenado o que el temporizador T51 del tipo TOF haya sido activado y recordando que este temporizador reinicia el funcionamiento de la banda transportadora.

$$Q0.0 = \overline{M3.0} + T51$$

La siguiente función es la salida Q0.1. En esta salida se conecta un indicador luminoso que al encenderse indica que se ha terminado un lote de producción. La única condición es que el contador C2 encargado de llevar el conteo de producción haya terminado de contar el número de cajas a ser producidas.

$$Q0.1 = C2$$

La siguiente función de salida es el indicador visual de modo de falla. Éste se conecta en la salida Q0.2 y su encendido está a cargo de las condiciones que enciende las tres alarmas del sistema, es necesario que suceda AL1, AL2 o AL3.

$$Q0.2 = [(T45 + T46) \overline{T37} C1] + [M2.0 \overline{T39} C1] + [M1.1 \overline{T41} C1]$$

El motor encargado de alimentar al silo está conectado en la salida Q0.3, las condiciones que activan esta función de salida son dos.

La primera: el almacén debe tener material.

La segunda: el silo debe requerir la alimentación de material.

$$Q0.3 = M1.0 M2.0$$

La electroválvula que activa la compuerta está conectada en la salida Q0.4 y su M3.0 y el negado de M2.0.

$$Q0.4 = M3.0 M2.0$$

Desplegado de mensajes

El sistema de mensajes va a mostrar los siete mensajes ya establecidos, éstos se muestran en la Fig. 8-102, cada mensaje es de 40 caracteres.

Mensaje 1	Mensaje 5
B i e n v e n i d o P r o c e s o L e n a d o d e C a j a F 1	A l 3 F a l t a d e M a t e r i a l e n A l m a c é n F 3
Mensaje 2	Mensaje 6
S i s t e m a O p e r a n d o C o r r e c t a m e n t e F 2	T í e m p o d e L l e n a d o S F 2
Mensaje 3	Mensaje 7
A l 1 T í e m p o E x c e d i d o e n C o m p u e r t a F 1	P r o g r a m a c i ó n d e L o t e d e P r o d u c c i ó n F 2
Mensaje 4	
A l 2 F a l t a d e M a t e r i a l e n S i l o F 3	

Fig. 8-102. Mensajes que deben ser desplegados en el visualizador de textos TD200.

Es recomendable agregar un mensaje de bienvenida en el que se mencione de manera breve el título del proceso que se está controlando. Normalmente este mensaje es el primero en ser desplegado. El segundo indica que el proceso está operando correctamente. Después siguen los tres mensajes dedicados al sistema de alarma y, posterior a éstos, se tienen dos mensajes en los que se pueden ajustar el tiempo de llenado de la caja y la cantidad del lote a ser producida. La Fig. 8-103 muestra el diagrama de flujo que indica las condiciones de operación de los siete mensajes. En este diagrama las condiciones se realizan mediante la sumatoria y la multiplicación de funciones.

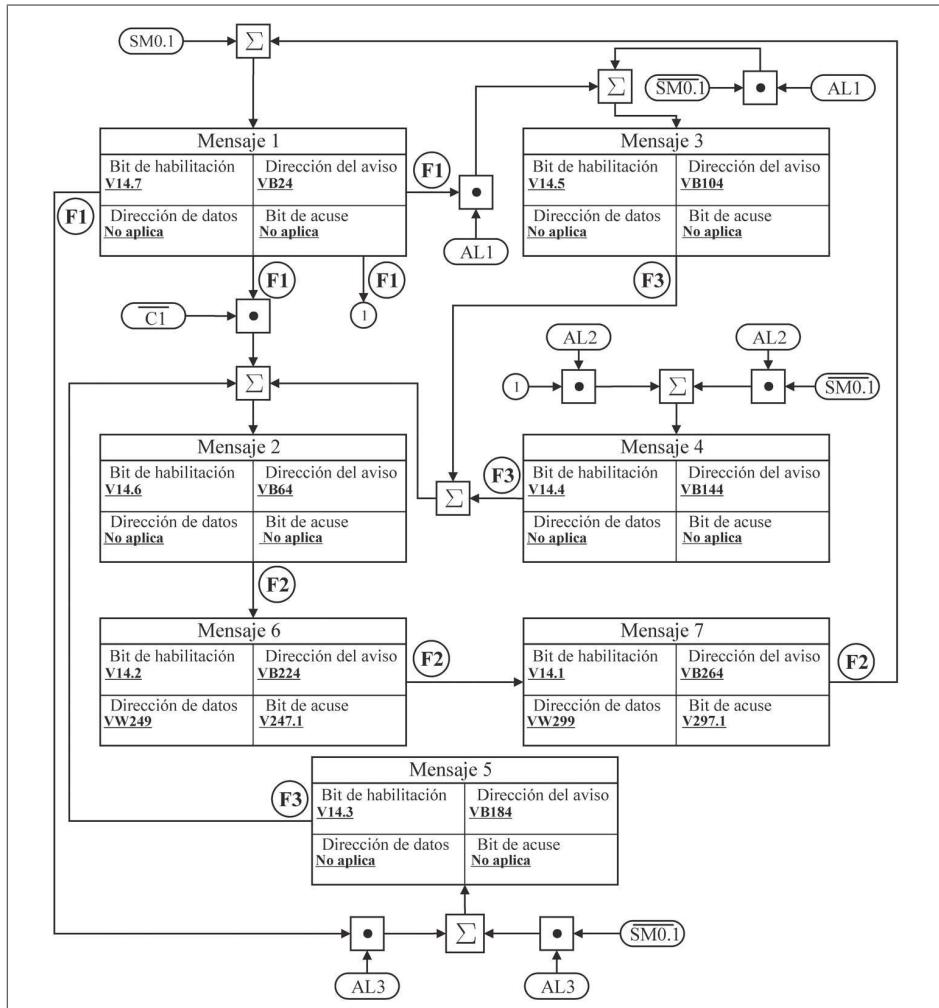


Fig. 8-103. Diagrama de flujo que muestra a los mensajes del problema 8.8.2.

Diagrama de lógica de contactos

El diagrama de lógica de contactos se va a realizar para el PLC Siemens y se va a conseguir de las ecuaciones obtenidas en cada una de las etapas del proceso. Para sistemas automáticos con diagrama de lógica de contactos de gran tamaño es recomendable desarrollarlo por etapas, cada una es activada mediante una subrutina. Si se aplica este concepto al problema desarrollado, se pueden considerar

las siguientes cinco etapas: Memorias, Temporizadores, Contadores, Mensajes y Funciones de Salida.

1. Memorias

El diagrama que se presenta en la Fig. 8-104 es el resultado de la transferencia de las ecuaciones ya obtenidas a un diagrama de lógica escalera para el PLC Siemens.

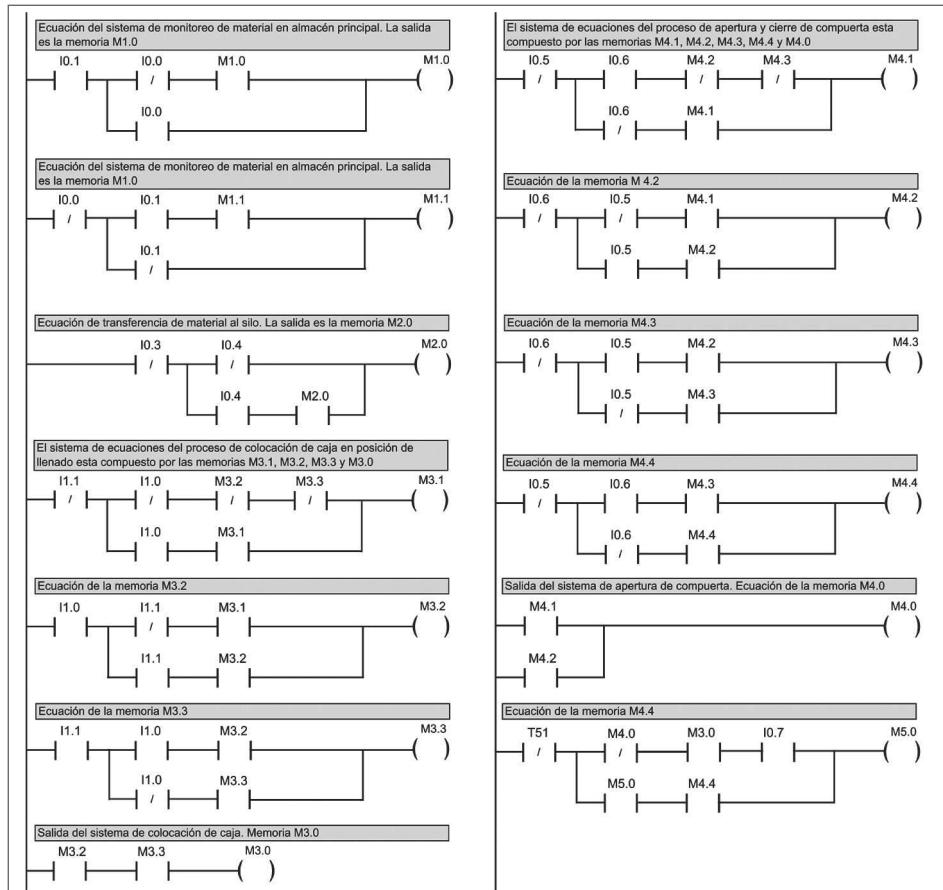


Fig. 8-104. Diagrama de lógica de contactos que representa las memorias del problema 8.8.3.

2. Temporizadores

En esta etapa se muestra como resultado final al diagrama de lógica de contactos del sistema de temporizadores. Se puede ver en la Fig. 8-105, en la que se representan los diez temporizadores que forman parte del sistema automático de llenado de cajas. Nótese que el temporizador T50 no tiene definido el valor preestablecido, ya que éste se va a introducir a través del visualizador de textos TD200.

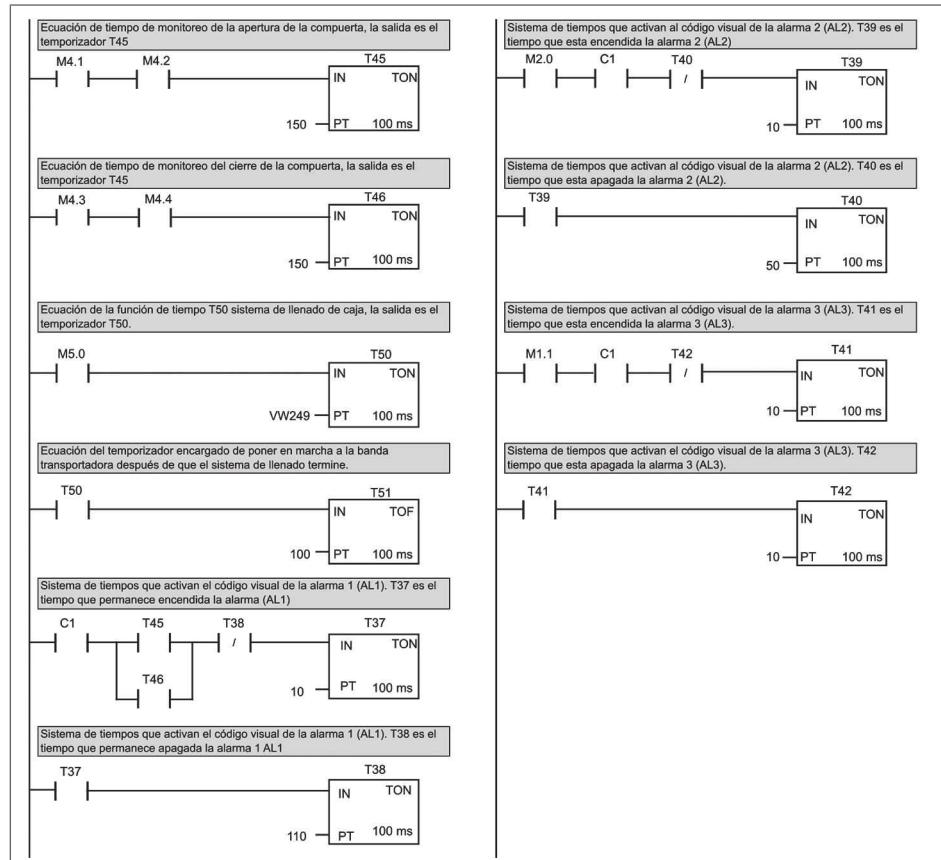
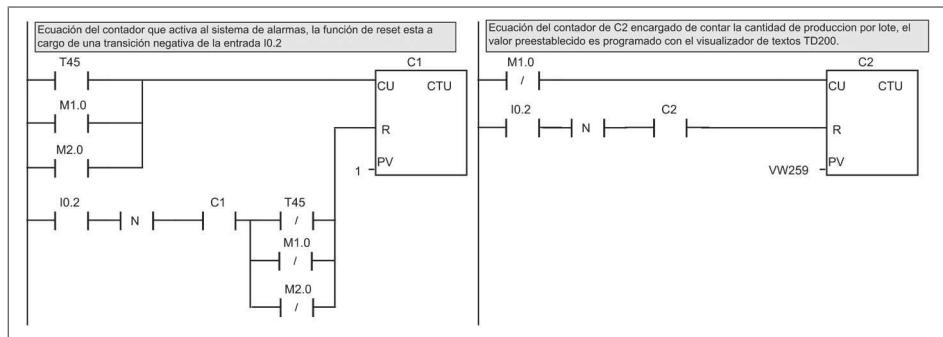


Fig. 8-105. Diagrama resultante de las ecuaciones de los temporizadores del ejercicio 8.8.3.

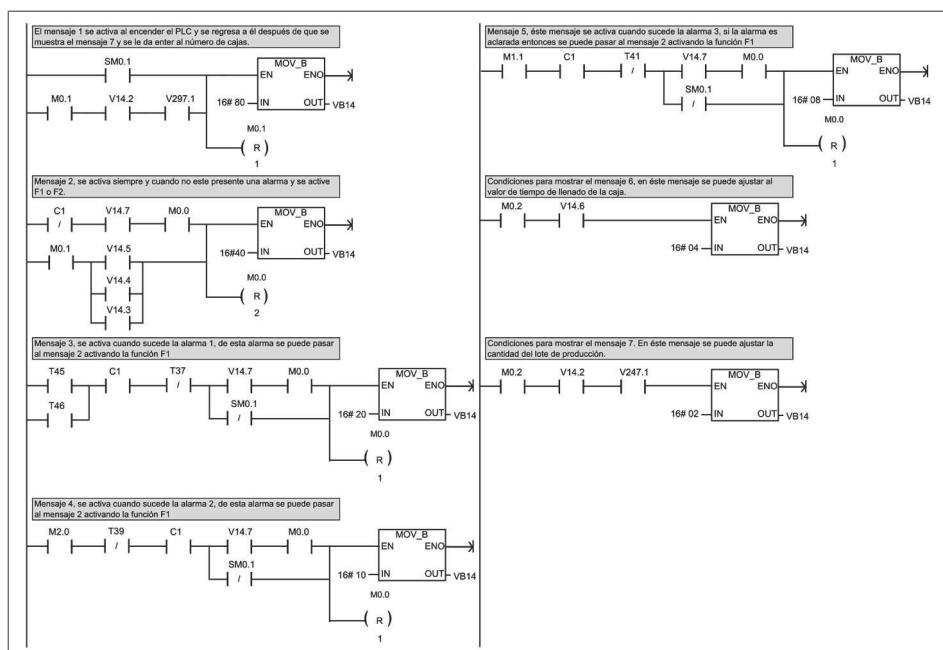
3. Contadores

Este diagrama de lógica de contactos se muestra en la Fig. 8-106, en él se representan los dos contadores que forman parte del sistema automático de llenado de cajas. El contador C2 no tiene valor preestablecido debido a que se da a través del visualizador de textos TD200.



4. Mensajes

Las condiciones del diagrama de flujo de la Fig. 8-103 son transferidas a un diagrama de lógica de contactos mostrado en la Fig. 8-107. Cada mensaje presenta las condiciones que se requieren cumplir para que se pueda mostrar en el visualizador de textos TD200.



5. Funciones de salida

Este diagrama se muestra en la Fig. 8-108 y es el resultado de las ecuaciones de las funciones de salida.

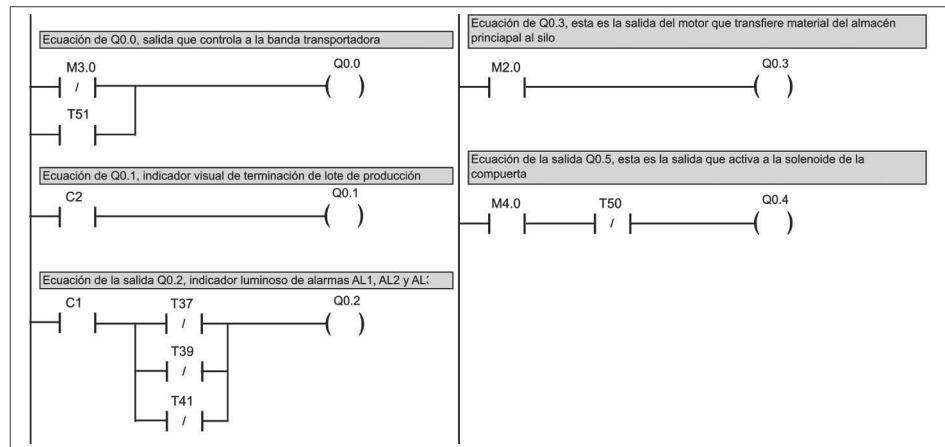


Fig. 8-108. Diagrama resultante de las ecuaciones de las funciones de salida del ejercicio 8.8.3.

Etapa de subrutinas

Para llamar a cada una de las etapas se puede utilizar la función de subrutina. Cada etapa es considerada una subrutina y para habilitarlas al momento de encender el PLC se utiliza la función SM0.0. El diagrama de lógica escalera que se muestra en la Fig. 8-109 es el resultado de llamar a las cinco subrutinas al mismo tiempo. Es importante llamar a la subrutina con el nombre de la función que realiza el circuito embebido en la propia subrutina, esto para tener una referencia de la tarea que realiza cada una.

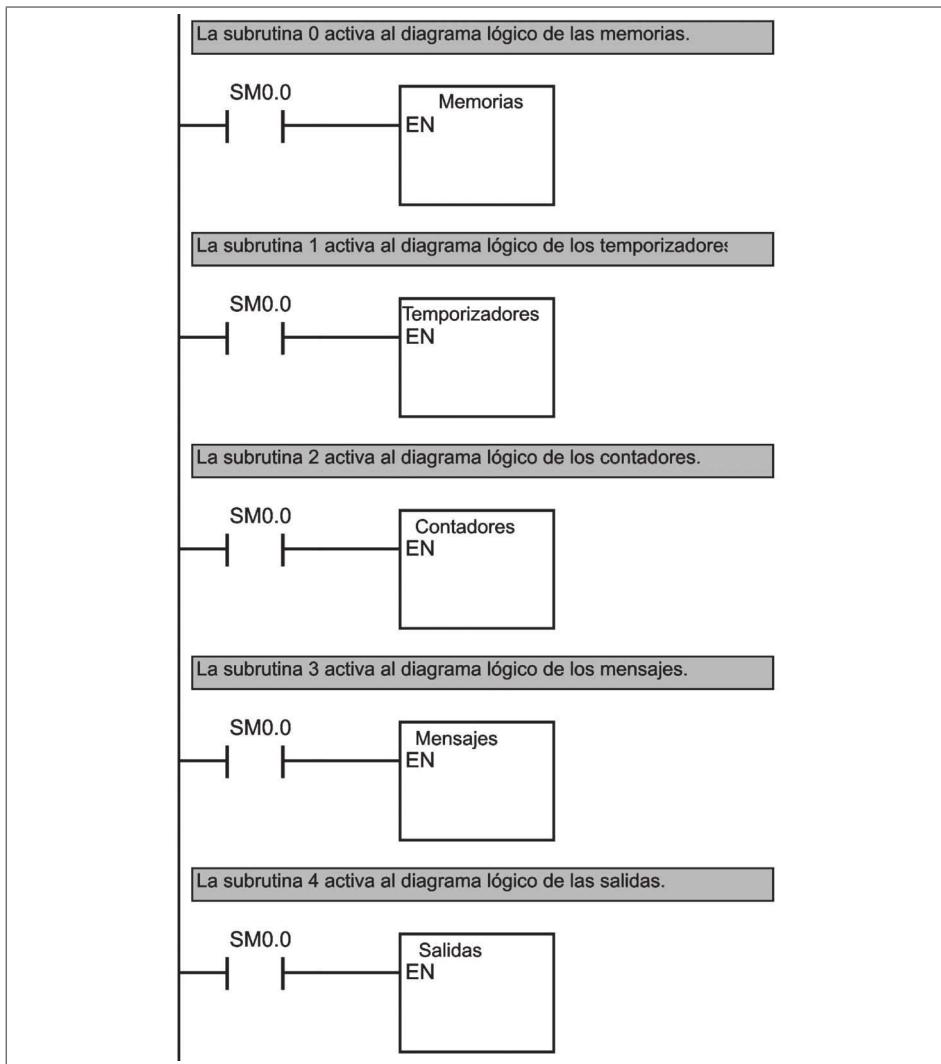


Fig. 8-109. Diagrama de lógica de contactos para las subrutinas.

8.9 Preguntas y ejercicios de estudio

Para aplicar los conocimientos adquiridos en este capítulo se presentan una serie de ejemplos y preguntas.

Preguntas

01. Mencione cuáles son las dos funciones básicas de tiempo.
02. ¿Cuál es la función principal de un temporizador en un sistema secuencial?
03. ¿Qué es el diagrama de tiempos?
04. Mencione cómo está compuesto un temporizador electromecánico.
05. ¿En qué difieren los temporizadores electromecánicos y los electrónicos?
06. En el FluidSim los temporizadores tienen señalamientos SA y SR, ¿a qué tipo de temporizador equivale cada uno?
07. ¿Cuál es la definición de TON, TOF y TONR en el PLC Siemens?
08. Explique cómo funciona el temporizador TON.
09. Explique cómo funciona el temporizador TOF.
10. Explique cómo funciona el temporizador TONR.
11. En un PLC, ¿de quién depende el número de temporizadores que pueden ser programados?
12. Investigue en el programa STEP 7 con cuántos temporizadores cuenta el PLC Siemens S7-200.
13. ¿Cuál es la función principal de un contador en un sistema secuencial?
14. ¿Cuáles son las dos funciones básicas de conteo de acuerdo a su operación y cuál la más utilizada?
15. ¿Cuántas entradas lógicas tiene un contador del tipo ascendente?
16. ¿Cuál es la aplicación del contador totalizador?
17. En el FluidSim el contador tiene 4 terminales, A1, A2, R1 y R2, ¿qué función cumple cada una de ellas?
18. Investigue con cuántos contadores CTU y CTD cuenta el PLC Siemens S7-200.
19. ¿En qué momento cambia el estado de un contacto normalmente abierto en un contador del tipo CTU?
20. Explique cómo opera la función SET y RESET en el PLC Siemens.
21. ¿Qué datos de un mensaje se pueden utilizar como contacto abierto o cerrado en el diagrama de lógica escalera?

Problemas

Ejemplo 8.9.1

Los mensajes mostrados en la Fig. 8-110 deberán ser desplegados en un visualizador de textos TD200 utilizando un PLC S7-200 Siemens.

MENSAJE 1																			
E	j	e	r	c	i	c	i	o	8	9	1			F	1	A	v		
MENSAJE 2																			
P	u	1	s	e		F	1		p	a	r	a		a	v	a	n	c	e
P	u	1	s	e		F	3		p	a	r	a		a	t	r	á	s	
MENSAJE 3																			
P	u	1	s	e		F	2		p	a	r	a		a	v	a	n	c	e
P	u	1	s	e		F	4		p	a	r	a		a	t	r	á	s	
MENSAJE 4																			
P	u	1	s	e		F	5		p	a	r	a		a	v	a	n	c	e
P	u	1	s	e		F	7		p	a	r	a		a	t	r	á	s	
MENSAJE 5																			
P	u	1	s	e		F	6		p	a	r	a		a	v	a	n	c	e
P	u	1	s	e		F	8		p	a	r	a		a	t	r	á	s	

Fig. 8-110. Mensajes a ser desplegados en el ejemplo 8.9.1.

- Desarrolle el diagrama de flujo que muestre las condiciones requeridas para mostrar cada uno de los mensajes. Considere que el mensaje 1 se debe mostrar al encender el PLC.
- Transfiera el diagrama de flujo a un diagrama de lógica escalera.

Ejemplo 8.9.2

El diagrama de flujo de mensajes de la Fig. 8-111 muestra las condiciones para desplegar cada uno de los mensajes. El sistema secuencial cuenta con un PLC S7-200 y un visualizador de textos TD200.

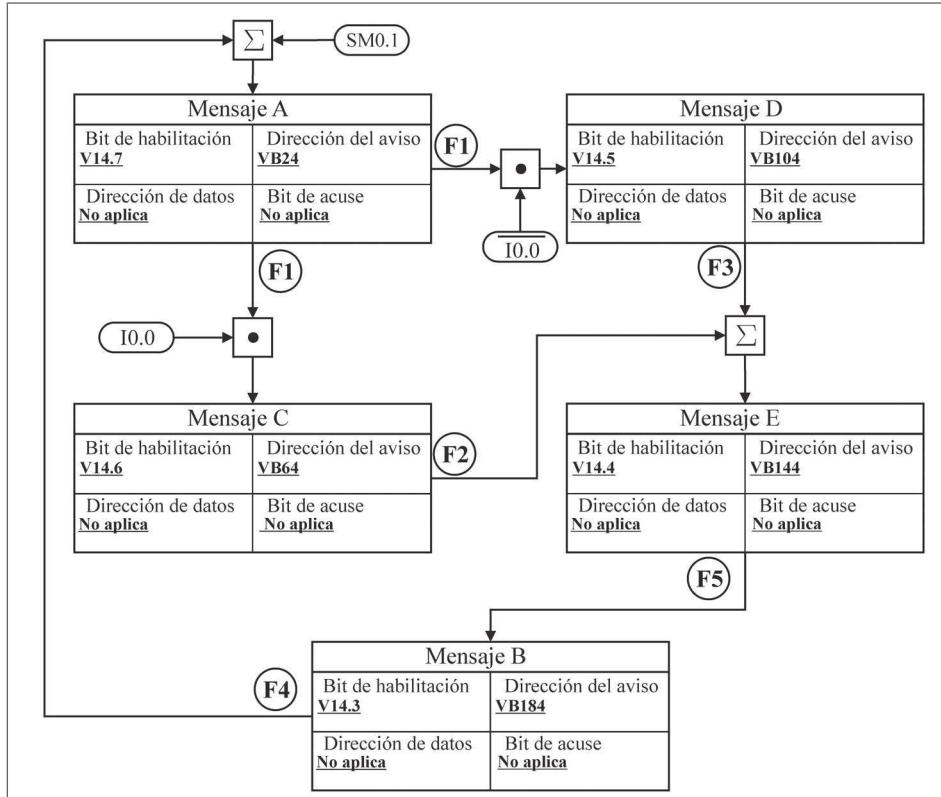


Fig.8-111. Mensajes a ser desplegados en el ejemplo 8.9.2.

- Ordene ascendente los cinco mensajes de acuerdo al bit de habilitación del aviso.
- Obtenga el diagrama de lógica escalera considerando las condiciones mostradas en el diagrama de flujo.

Ejemplo 8.9.3

Un sistema secuencial es representado mediante el cronograma mostrado en la Fig. 8-112 y cinco mensajes a ser desplegados en el visualizador de textos TD200. Los valores mostrados como A, B y C son dados a través de la TD200. El sistema cuenta con dos entradas, I0.0 e I0.1, un indicador luminoso conectado a la salida Q0.0, dos temporizadores y un contador.

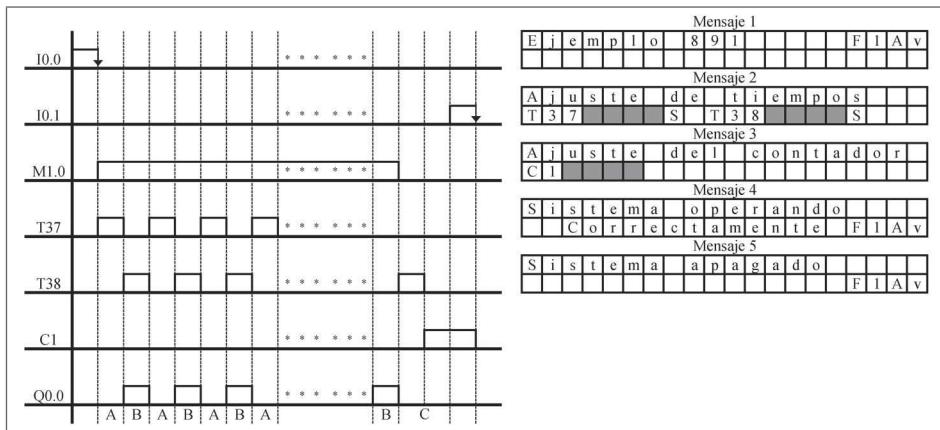


Fig. 8-112. Cronograma de funciones y mensajes a desplegar en el ejemplo 8.9.3.

- Obtenga las ecuaciones del sistema considerando las funciones de SET y RESET para obtener la ecuación de la memoria M1.0.
- Obtenga el diagrama de flujo de los mensajes y considere que el mensaje 1 es el primero en ser desplegado después de encender el PLC. De ahí se avanza al mensaje 2, si el mensaje 1 está desplegado, y se presiona la función F1. Se avanza al mensaje 3 cuando se registre el valor preestablecido de T38. Del mensaje 3 se puede pasar al mensaje 4 o 5 al registrar el valor del contador C1 y de los mensajes 4 o 5 se podrá pasar al mensaje 1 pulsando la función F1.
- Las ecuaciones de las funciones y las condiciones de los mensajes deben transferirse a un diagrama de lógica escalera para el PLC Siemens S7-200 y un visualizador de textos TD200.

Ejemplo 8.9.4

Una estación de prueba está compuesta por una banda transportadora movida por un motor trifásico que tiene los dos giros, izquierda y derecha, ambos seleccionados por contactores trifásicos conectados en la salida Q0.0 y Q0.1 respectivamente, un botón empujar para activar y un interruptor de llave conectados en las entradas I0.0 e I0.1, arranque y reset respectivamente, la función de T37 es primer tiempo de apagado del motor, T38 tiempo con rotación a la izquierda, T39 segundo tiempo de motor apagado y T40 tiempo de rotación a la derecha, el número de ciclos del

contador C1 es ajustado a través de la TD200 del PLC Siemens. Se deben mostrar los siete mensajes de la Fig. 8-113.

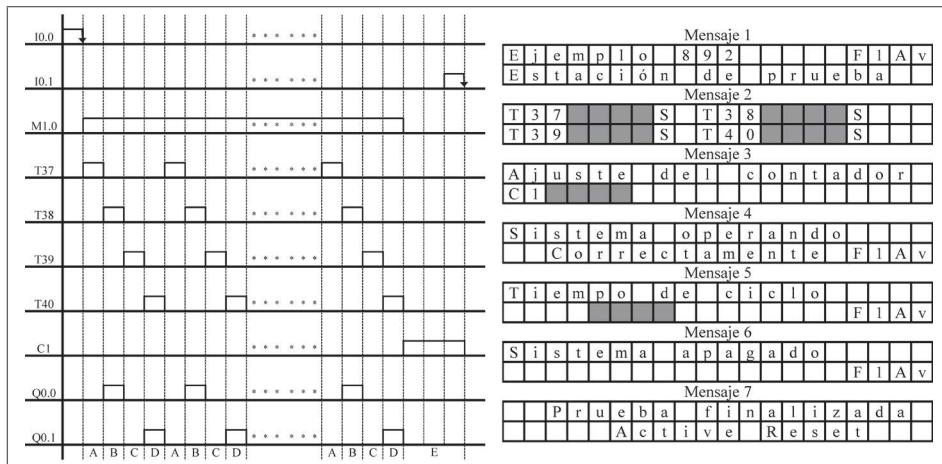


Fig. 8-113. Cronograma de funciones y mensajes a desplegar en el ejemplo 8.9.2.

- Obtenga las ecuaciones del sistema considerando las funciones de SET y RESET para obtener la ecuación de la memoria M1.0. Para obtener el tiempo de ciclo del sistema se debe utilizar la función suma.
- Obtenga el diagrama de flujo de los mensajes considerando las siguientes condiciones:
 - Mensaje 1 será desplegado al encender el PLC o al activar el reset después de finalizar una prueba o al pulsar la función F1 y si el sistema está apagado.
 - Mensaje 2 se desplegará después de pulsar la función F1 mientras el mensaje 1 esté desplegado.
 - Mensaje 3 se desplegará después de registrar el valor del temporizador T40.
 - Mensaje 4 se desplegará después de registrar el valor del contador C1 en el mensaje 3.
 - Mensaje 5 se desplegará después de pulsar la función F1 y que el mensaje 4 esté desplegado.
 - Mensaje 6 se mostrará cuando el sistema esté apagado, se pulse la función F1 y esté desplegado el mensaje 5.
 - Mensaje 7 se mostrará cuando se termine el número de ciclos de prueba.
- Las ecuaciones de las funciones y las condiciones de los mensajes deben transferirse a un diagrama de lógica escalera para el PLC Siemens S7-200 y un visualizador de textos TD200.

Ejemplo 8.9.5

Una banda transportadora recolecta el producto A y el B, ambos provenientes de una bifurcación de dos líneas de producción, las cajas son idénticas en tamaño y forma, solo cambia el color. El producto A es empacado en una caja de color gris y el B en una caja color blanco. Se requiere hacer lotes de 60 productos, separados por el color de la caja. Al final de una jornada laboral de 8 horas se debe tener una producción de 300 productos de cada color, 5 lotes en total por producto. El esquemático del proceso se muestra en la Fig. 8-114.

La detección de la caja y del color de la caja está a cargo de sensores ópticos del tipo difuso. Uno de ellos detecta su presencia, sensor óptico conectado en la entrada I0.0, y el otro, conectado en la entrada I0.1, discrimina el color por contraste. Ambos sensores están al mismo nivel de tal manera que pueden detectar la misma caja a la vez.

El arreglo de la fila de los productos en la banda transportadora es alternado, una caja gris y una blanca, al completar 300 piezas de cada una se debe parar la banda transportadora mediante la desconexión eléctrica de la salida Q0.0 y se debe encender la salida Q0.1 indicando fin de lote. En esta salida se conecta un indicador luminoso de color verde.

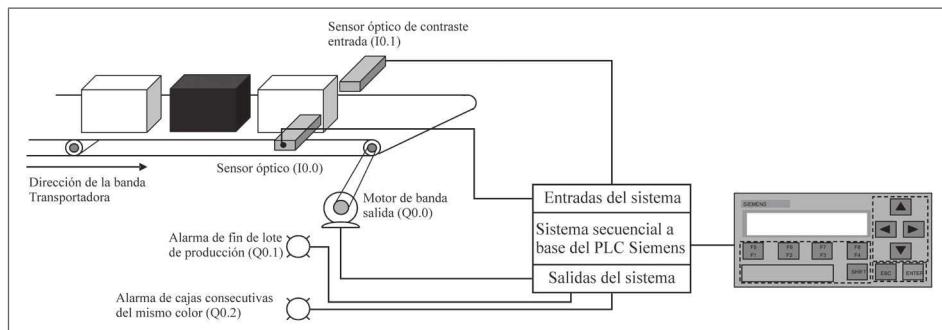


Fig. 8-114. Esquemático del sistema secuencial discriminador de color de caja.

- Obtenga el cronograma de las funciones. Para esto considere que cualquiera de las dos cajas puede iniciar el proceso.
- Obtenga las ecuaciones del sistema del cronograma de funciones.
- Los mensajes a ser desplegados son los siguientes tres:

D	i	s	c	r	i	m	i	n	a	d	o	r				F	1	A	v
d	e		C	a	j	a	s		E	j	e	m	p	l	o		8	9	3

C	a	j	a	s		b	l	a	n	c	a	s							
C	a	j	a	s		N	e	g	r	a	s					F	1	A	v

T	e	r	m	i	n	a	c	i	ó	n		d	e		L	o	t	e	
S	i	s	t	e	m	a		A	p	a	g	a	d	o		F	1	A	v

Obtenga el diagrama de flujo que muestre las condiciones para desplegar estos mensajes.

- d. Las ecuaciones de las funciones y las condiciones de los mensajes deben transferirse a un diagrama de lógica escalera para el PLC Siemens S7-200 y un visualizador de textos TD200.

Ejemplo 8.9.6

El esquemático de la Fig. 8-115 muestra una sección de un proceso industrial que consiste en el llenado de dos tipos de cajas, ambas tienen el mismo tamaño y forma, solo difieren en color. La estación consiste en el llenado del producto B, se entiende que el producto A ya fue depositado en las cajas. El sistema cuenta con un silo de material, el monitoreo del nivel del silo está a cargo de los sensores S1 y S2, conectados en las entradas I0.0 e I0.1 respectivamente. El sensor conectado en la entrada I0.2 monitorea la presencia de la compuerta, el sensor conectado en la entrada I0.3 detecta la presencia del material cuando se suministra a la caja y los sensores conectados a las entradas I0.4 e I0.5 en conjunto realizan la discriminación de las cajas por color. El sensor conectado en la entrada I0.4 detecta las dos cajas y el sensor conectado a la entrada I0.5 detecta las cajas de color blanco. Los sensores LS1 y LS2, conectados en las entradas I0.6 e I0.7 respectivamente, detectan la posición del émbolo del cilindro neumático 1A, lo que da como efecto compuerta abierta y cerrada. La salida Q0.0 es la solenoide que activa el cilindro 1A. La salida Q0.1 es un indicador luminoso que encenderá cuando el sensor de nivel S2 localizado en el silo no detecte material. La salida Q0.2 es el motor de la banda transportadora encargada de mover la caja hasta la posición de llenado.

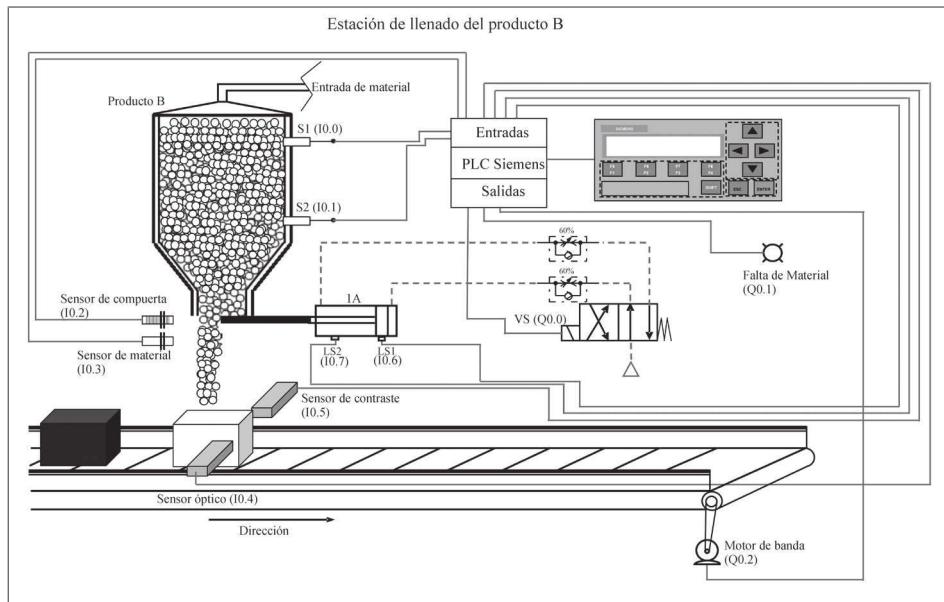


Fig. 8-115. Esquemático del ejemplo 8.9.6.

- c. Desarrolle el cronograma de funciones que represente la lógica del sistema, considere que la cantidad de producto B a ser suministrado a las cajas es proporcional a un valor de tiempo y que los tiempos para ambas cajas son diferentes. La relación entre cajas es de 1 caja blanca por 2 cajas negras. Los tiempos deben ser ajustados a través del visualizador de textos TD200 mediante un mensaje. El suministro de cajas es aleatorio en el color, después de que el sensor S2 no detecte material solo se podrá suministrar material a 5 cajas blancas o 10 negras y después se deberá parar el sistema.
- d. Desarrolle el diagrama de flujo para mostrar los cinco mensajes, considere que el mensaje 1 debe mostrarse al encender el PLC o al estar desplegado cualquiera de los dos mensajes, 4 o 5. El mensaje 2 será mostrado cuando el mensaje 1 esté desplegado y se pulse la tecla de la función F1. El mensaje 3 se desplegará después de registrar los valores de tiempo y los mensajes 4 y 5 se desplegarán después de pulsar la tecla de la función F1 y las condiciones de cada mensaje lo permitan. Desde ambos mensajes se puede regresar al mensaje 1.

MENSAJE 1

E	s	t	a	c	i	ó	n		P	r	o	d	u	c	t	o	B	
E	j	e	m	p	l	o		8	9	6				F	1	A	v	a

MENSAJE 2

A	j	u	s	t	e		V	a	l	o	r	e	s					
T	3	7					S		T	3	8			S				

MENSAJE 3

C	o	n	t	e	o		d	e		C	a	j	a	s	F	1	A	v	a
B	1	a	n	c	a	s				N	e	g	r	a					

MENSAJE 4

S	i	t	t	e	m	a		O	p	e	r	a	n	d	o			
C	o	r	r	e	c	t	a	m	e	n	t	e		F	1	A	v	a

MENSAJE 5

A	l	i	a	r	m	a		d	e	F	a	l	t	a		d	e		
M	a	t	e	r	i	a	1								F	1	A	v	a

- e. Del cronograma de funciones obtenga las ecuaciones para las funciones de salida Q0.0, Q0.1, Q0.2, las funciones de tiempo y conteo.
- f. Transfiera las ecuaciones del sistema y las condiciones mostradas en el diagrama de flujo de los mensajes a un diagrama de lógica escalera para el PLC Siemens y el visualizador de textos TD200.

CAP TULO 9

Temporizadores en cascada

9.1 Introducción

El cronograma de funciones es una de las herramientas analíticas utilizadas para resolver sistemas secuenciales basados en la función tiempo, es un método totalmente gráfico en el cual, en el momento del encendido, se deben graficar todas las funciones de salida, funciones de entrada y funciones de memoria. Esta herramienta ya fue aplicada en el capítulo 8. La Fig. 9-1 muestra un ejemplo de la aplicación del cronograma de funciones que es un método analítico al que recurren algunos fabricantes de equipo y maquinaria industrial, su aportación es en el diseño y en la identificación de fallos. Con la interpretación de este diagrama, que representa un ciclo del sistema, es fácil el entendimiento de un sistema.

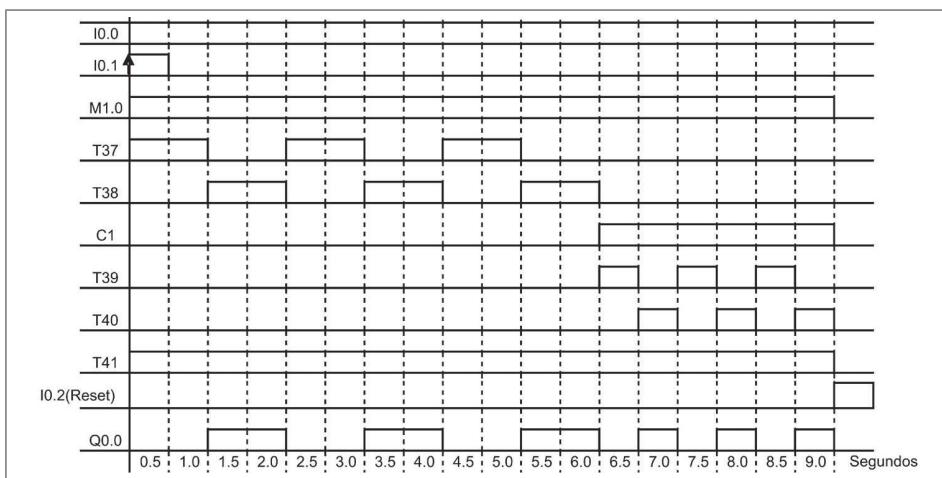


Fig. 9-1. Cronograma de funciones de un sistema secuencial basado en la función tiempo y conteo.

En el cronograma solo se representa el encendido de las funciones y el encendido del valor preestablecido de los temporizadores. Del diagrama de tiempos se puede obtener la ecuación de cada una de las funciones de salida llamadas (F) y de cada uno de los temporizadores llamados (T), la variable discreta de entrada es (A).

En este capítulo se propone un nuevo método llamado “Temporizadores en Cascada”¹ y que fue desarrollado por el autor (Soria-Tello, Saturnino)² para solucionar, en forma analítica, didáctica, sistemática y eficaz, sistemas secuenciales del tipo industrial que incluyen en su estructura lógica a la función tiempo. Se pueden solucionar desde problemas sencillos en los que se aplica un solo temporizador hasta sistemas complejos que utilizan más temporizadores; desde problemas de un solo ciclo hasta sistemas cíclicos, incluyendo sistemas con varias líneas principales y con señales de entrada externas. La sencillez de esta metodología la hace muy versátil en la solución para cualquier tipo de problema secuencial que incluya a la función tiempo.

Este método consiste en encender escalonadamente los temporizadores de un sistema secuencial y mantener encendida las bobinas de los temporizadores hasta que se cumpla un ciclo de operación. Al solucionar sistemas secuenciales basados en la función tiempo mediante métodos analíticos, existe la ventaja de que se puede llegar a una solución confiable y estándar sin necesidad de haber acumulado años de experiencia práctica.

Límites de aplicación del método

Como cualquier método, es conveniente reconocer sus límites de aplicación. El método se basa en el temporizador con retardo al encendido (TON), la razón es lo sencillo que es operarlo. Su aplicación abarca desde sistemas de lógica cableada, así se llama a los sistemas de control electromecánicos con relevadores, hasta sistemas de lógica programada (llamados sistemas basados en un PLC y también programación de lógica escalera). No aplica a sistemas que se basan en componentes electrónicos como circuitos integrados de tiempo o de arreglos lógicos genéricos (GAL).

1. SOMI XXIV Congreso de Instrumentación, octubre de 2009, Mérida, Yucatán.

2. 1st International Congress on Instrumentation and Applied Sciences, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Nacional Autónoma de México, octubre, 2010, Cancún Q.R.

9.2 Estructura del m todo de temporizadores en cascada

El método parte de que todo sistema secuencial requiere ser activado a través de un dispositivo de inicio, como sucede en todo proceso y maquinaria industrial. Los temporizadores deberán encenderse de uno en uno. Una vez que el dispositivo de inicio se enciende, se activan en forma inmediata la bobina y el valor preestablecido del temporizador 1 (T1) , al terminar de contar el valor de tiempo preestablecido cambian de estado los contactos y se encienden la bobina y el valor preestablecido del temporizador 2; así sucesivamente hasta llegar al último temporizador (Tn). Un gráfico de un sistema con n temporizadores en la línea principal se muestra en el diagrama de la Fig. 9-2. Las bobinas de los temporizadores una vez activadas se deberán mantenerse encendidas hasta que se complete el ciclo del sistema secuencial.

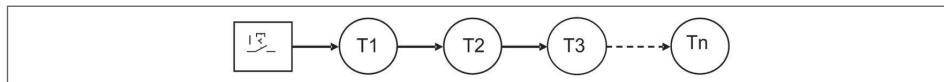


Fig. 9-2. Esquemático de un sistema de temporizadores en cascada.

El arreglo de los temporizadores es monótono ascendente de tal manera que se debe cumplir que el temporizador T1 enciende al temporizador T2 y éste a su vez al temporizador T3 y así hasta llegar al último temporizador de la cascada. Del esquemático de la Fig. 9-2 se puede obtener un cronograma de tiempos que se presenta en la Fig. 9-3. En el diagrama se muestran los valores preestablecidos de los temporizadores (PT1) y las bobinas de los mismos temporizadores (BT1), las bobinas se mantienen encendidas hasta que se termina el ciclo de operación.

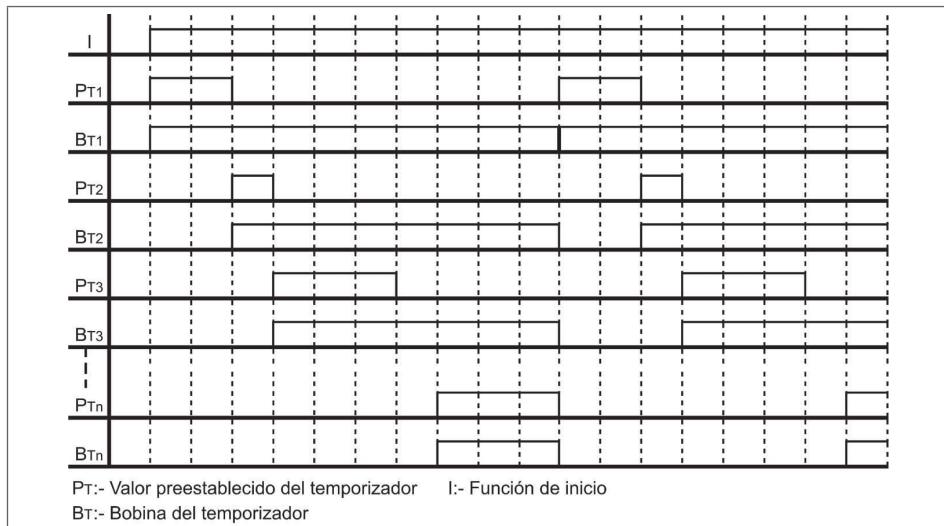


Fig. 9-3. Cronograma de las funciones de tiempo.

El encendido de las bobinas de los temporizadores se realiza al mismo tiempo que se activa el valor preestablecido y se mantienen encendidas hasta que termina el ciclo, de tal manera que la bobina del temporizador T1 está encendida todo el tiempo, solo se apaga por un instante de tiempo muy corto. El fundamento de “Temporizadores en Cascada” es encender los temporizadores del sistema uno a uno. A partir del temporizador T2, cada uno es encendido por el inmediato anterior, lo que da un efecto tipo cascada. Una vez encendida la bobina del temporizador se mantendrá así hasta que se complete el ciclo. Esto asegura que todos los temporizadores operen en el momento destinado para cada uno de ellos.

Simbología del método

La Fig. 9-4 muestra la simbología adoptada por el método, las funciones de salida y de tiempo son representadas por un círculo y las funciones de entrada, suma y multiplicación por un cuadro. La interconexión entre las funciones se realiza mediante un conector de enlace representado por una flecha con ocho posibles direcciones definida por el cuadrante de contactos que se muestran en la Fig. 9-5.

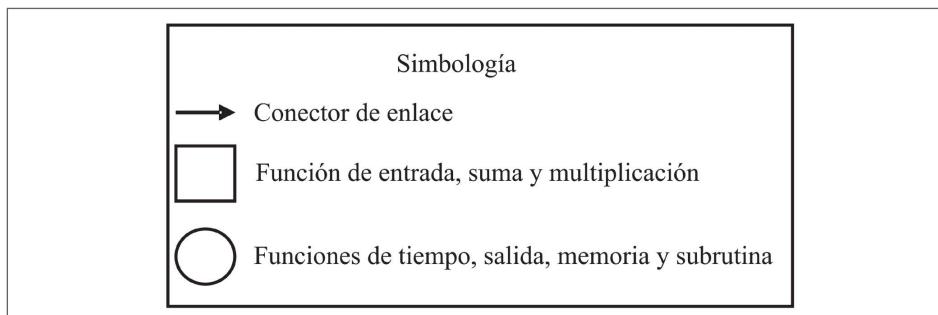


Fig. 9-4. Simbología del método.

Conejor de enlace

El conector de enlace es el encargado de definir la trayectoria del flujo de la información entre temporizadores y funciones de salida. También se utiliza como resultado de las funciones de suma y multiplicación de funciones y se representa en una ecuación lógica como el negado o afirmado de una función, esto lo define la propia dirección del conector de enlace.

Función de entrada, suma y multiplicación

Con la figura de un cuadro se representan las funciones de entrada, suma y multiplicación. La interconexión de las funciones localizadas en un cuadro se realiza mediante un conector de enlace, cuya dirección no es afectada por el cuadrante de

contactos, lo que significa que el nivel lógico de la función de entrada es el mismo que será representado en la ecuación lógica.

Funciones de tiempo, salida y memoria

Estas funciones se representan mediante un círculo. A ellas llegan y salen conectores de enlace como dispositivos de interconexión de la función con el resto del sistema. Cuando entran se vuelven condiciones de encendido, lo que afecta a la ecuación lógica de la función a la que está entrando, y cuando sale se vuelven condición de la función de donde sale y así condicionan a la función a la que entra.

Cuadrante de contactos de “Temporizadores en Cascada”

Es una de las herramientas fundamentales del método y su aplicación es interpretar, mediante la dirección, como contactos abiertos y cerrados a los conectores de enlace, para aplicarse a una ecuación lógica. El cuadrante de contactos es mostrado en la Fig. 9-5, en él se identifican el tipo de contactos que corresponden a cada uno de los cuadrantes.

Los conectores de enlace son transferidos a una variable lógica y se identifica de qué función provienen. Esta variable es la que identificará al conector de enlace, se ubica en uno de los cuadrantes de contactos para identificar si es un contacto normalmente abierto (NA) o un contacto normalmente cerrado (NC). Así define si la función es negada o afirmada.

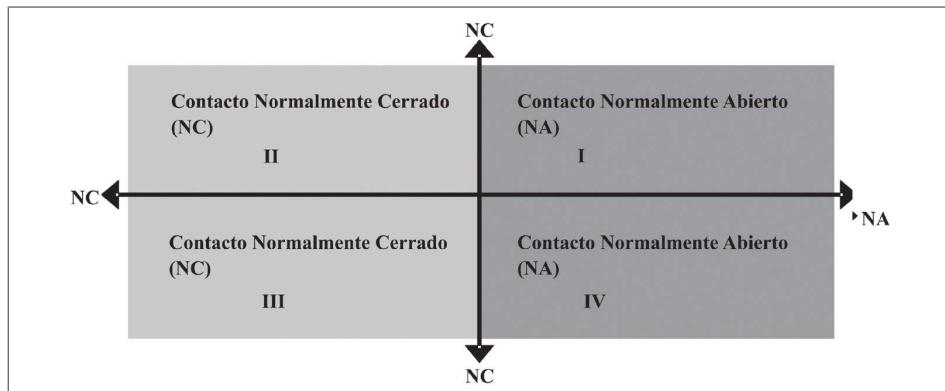


Fig. 9-5. Cuadrante de contactos.

Los conectores de enlace son ubicados en el cuadrante de contactos de acuerdo a la dirección propia del conector y puede tener solo ocho direcciones, éstas se muestran en la Fig. 9-6 donde CE1, CE2 y CE8 son conectores de enlace que dan como resultado contactos normalmente abiertos; en una ecuación se expresan con valores afirmados. Los conectores de enlace CE3, CE4, CE5, CE6 y CE7 dan como resultado un contacto

normalmente cerrado en un diagrama de lógica escalera y en una ecuación son representados por el negado de la función de donde proviene el conector de enlace.

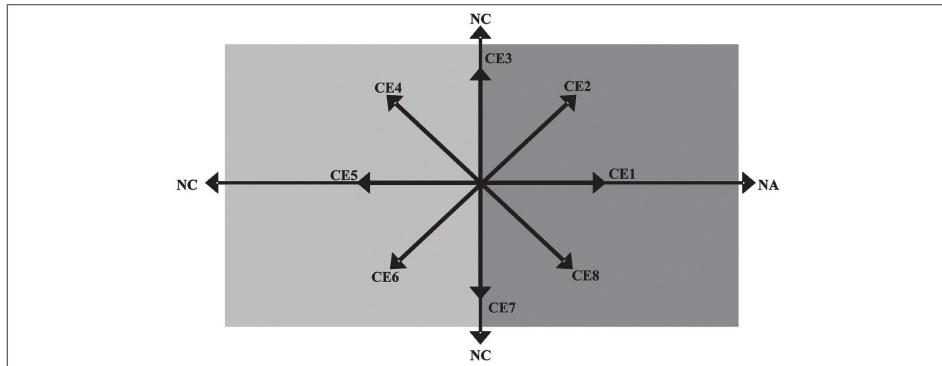


Fig. 9-6. Ocho posibles direcciones de un conector de enlace.

Los conectores de enlace que no entran al cuadrante de contactos son los que provienen de una función de entrada, una sumatoria o una multiplicación de funciones.

9.3 Gráfico de un sistema en cascada con una línea principal

Es un sistema con una línea formada por funciones de tiempo. A esta línea se le llama *línea principal*. A las funciones de tiempo se le pueden conectar funciones de salida donde sean requeridas.

Con un gráfico de temporizadores en cascada se pueden representar sistemas sin retroalimentación y con retroalimentación en lazo, cada sistema tiene su campo de aplicación.

Gráfico de sistema sin retroalimentación en lazo

En este gráfico se representa una cascada de tiempos como red única y sin unión regresiva entre los temporizadores. El reinicio del sistema se realiza con el mismo dispositivo externo de entrada que enciende al sistema secuencial, esto debido a que las bobinas de los temporizadores se quedan activadas aun después de haber terminado de contar su tiempo preestablecido. En este ejemplo el sistema se restablece por medio del interruptor I, lo que da como resultado un sistema de un solo ciclo.

La Fig. 9-7 muestra un sistema sin lazo de retroalimentación que está compuesto por una función de inicio (I), que es un interruptor del tipo sostenido, y dos temporizadores, T1 y T2. El enlace entre los dispositivos indica la ruta de la cascada.

Con esto se marca que primero debe habilitarse la función de inicio e inmediatamente después se habilita la bobina de T1 y su valor preestablecido, una vez que termina el tiempo de T1 debe cambiar de estado los contactos y activar la bobina de T2 y su respectivo valor de tiempo.

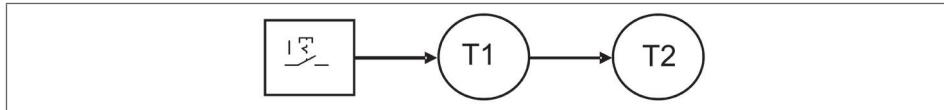


Fig. 9-7. Sistema secuencial sin retroalimentación en lazo.

9.3.1 Gráfico de un sistema con n temporizadores y q funciones

Un sistema de “Temporizadores en Cascada” está estructurado por temporizadores y funciones de entrada, memorias y funciones de salida que son dispositivos que cambian su encendido o apagado. Estas funciones están a cargo de conectores de enlace provenientes de los temporizadores. Éstos entran a las funciones de salida y generan una ecuación lógica para cada función que es representada en un diagrama de lógica de contactos. El diagrama de la Fig. 9-8 muestra un sistema con n temporizadores y q funciones de salida, el sistema puede ser tan extenso como lo requiera el sistema secuencial a ser resuelto.

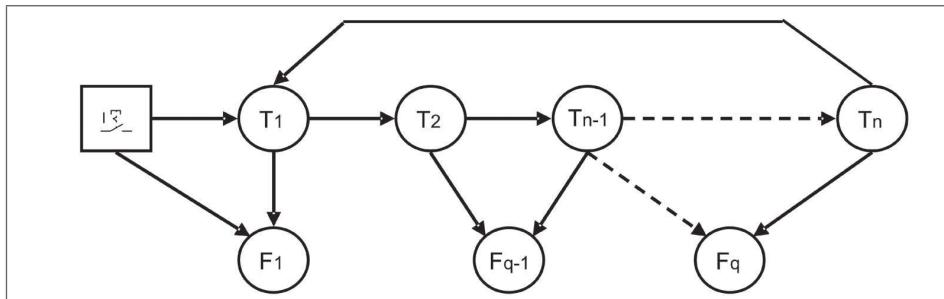


Fig. 9-8. Sistema con n temporizadores y q funciones de salida.

Las funciones de salida son dependientes de los componentes de la línea principal. La función F1 depende de la función de entrada (I) y de la función tiempo T1, hasta llegar a la q -ésima función la cual es dependiente de un temporizador T_{n-1} y del temporizador T_n .

La Fig. 9-8 muestra que se puede obtener una función de salida de cada temporizador localizado en la línea principal, sin embargo esto depende del sistema automático.

Gráfico con una función de salida (F1)

Hasta el momento, la cascada de tiempos no genera una función de salida que realice algún cambio en un proceso o una máquina, se pueden agregar funciones dependientes de estos tiempos, solo se deben agregar al diagrama de temporizadores en cascada, la ubicación depende de lo que requiera la secuencia, en qué momento debe encenderse y apagarse la función. Para el ejemplo que se está analizando se agrega una función F1 (Fig. 9-9) que depende de ambos temporizadores, T1 y T2. Un temporizador la enciende y el otro la apaga.

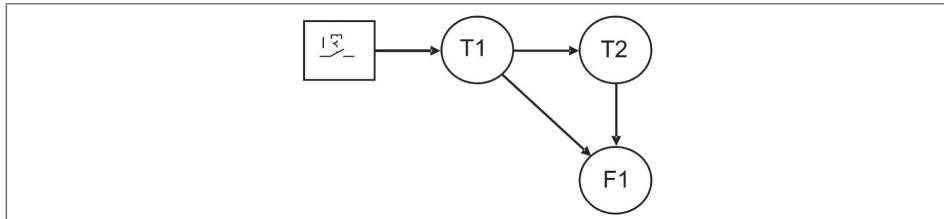


Fig. 9-9. Sistema secuencial con una función de salida.

Se le asignan valores preestablecidos a los tiempos de T1 y T2, llamados PT_1 y PT_2 .

$$P_{T_1} = 5 \text{ seg}$$

$$P_{T_2} = 4 \text{ seg}$$

Del diagrama de la Fig. 9-9 se puede definir la secuencia de operación del sistema con solo seguir la dirección de los conectores de enlace.

- Se habilita la función de inicio I1 y queda habilitada.
- Se enciende la bobina de T1 y el valor preestablecido (PT_1).
- Al terminar de contar el temporizador T1, sus contactos cambian de estado y se enciende la bobina de T2, el valor preestablecido (PT_2) y la función F1.
- Al terminar de contar el valor preestablecido de T2, cambian de estado los contactos, se apaga la función F1 y queda en espera de que se apague el dispositivo de inicio I para restablecer los valores preestablecidos de los temporizadores y reiniciar el sistema.

La secuencia explicada puede transferirse a un cronograma de tiempos (Fig. 9-10) y comprobarse que el diagrama de temporizadores en cascada puede interpretarse mediante este diagrama.

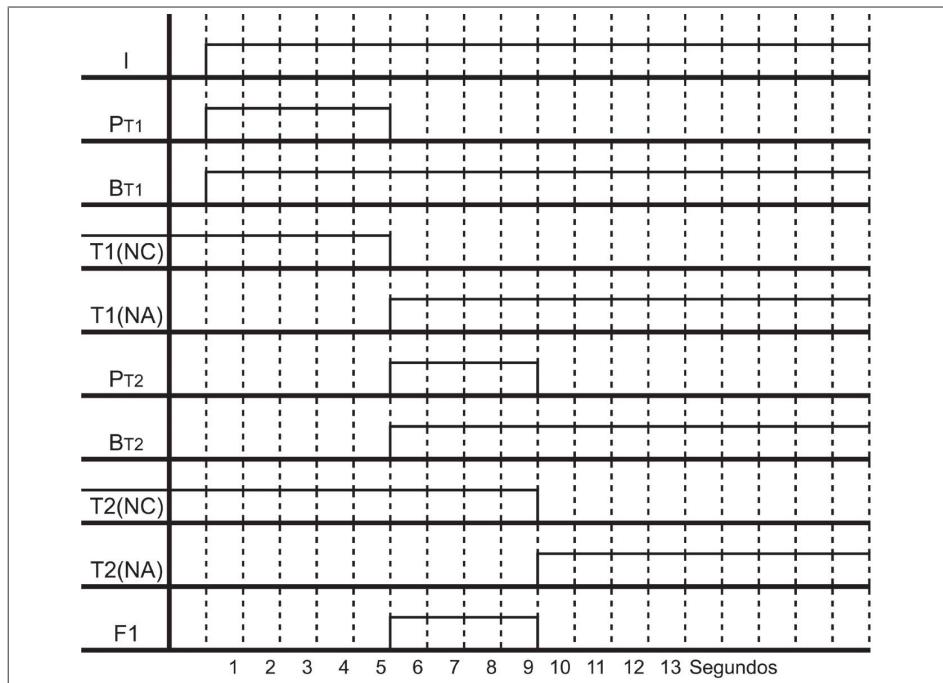


Fig. 9-10. Cronograma de tiempos de la secuencia de operación de un sistema de un ciclo.

Gráfico de sistema con retroalimentación en lazo

Un sistema de temporizadores en cascada con retroalimentación es la representación de un sistema cíclico (Fig. 9-11). El dispositivo encargado de restablecer este tipo de sistemas es el último temporizador de la cascada de tiempos que es de donde proviene la retroalimentación o unión regresiva. El inicio del sistema suele ser una acción generada por una entrada.

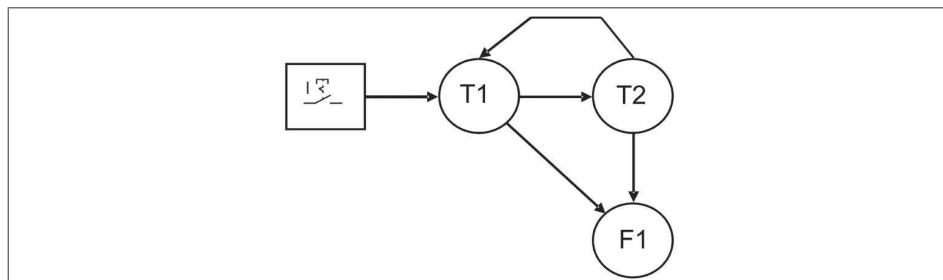


Fig. 9-11. Sistema secuencial con retroalimentación en lazo.

La retroalimentación en lazo puede ser al dispositivo de inicio o al primer temporizador de la cascada. Cuando se retroalimenta al primer temporizador se vuelve cíclico por un número de ciclos indefinido y cuando se retroalimenta al inicio se vuelve un sistema de un solo ciclo. La secuencia del sistema es representada en la Fig. 9-12, ahora el sistema muestra más de un ciclo.

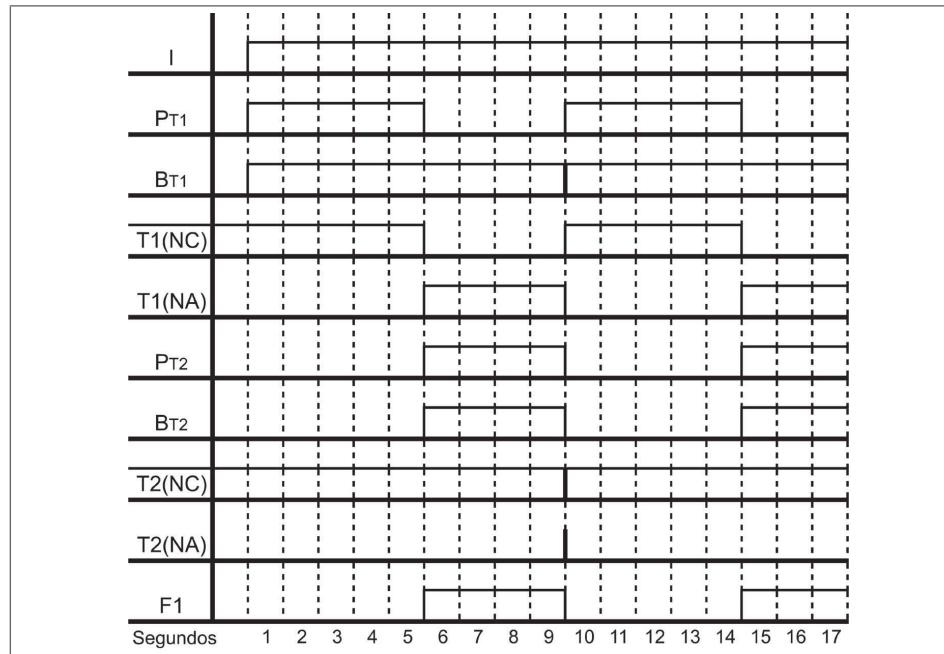


Fig. 9-12. Cronograma de tiempos de la secuencia de operación de un sistema de un círculo.

9.4 Sistema con una línea principal de tiempos

Una *línea principal* en un sistema de temporizadores en cascada es la trayectoria principal de tiempos del sistema. De esta línea principal depende la activación y desactivación de las funciones del sistema, o sea que el sistema funcione. Si uno de los enlaces se interrumpe, el sistema queda deshabilitado. Un sistema con una línea principal cuenta con una trayectoria. El sistema de la Fig. 9-13 muestra un sistema con una línea principal compuesta por las funciones de inicio I y las funciones de tiempo T1y T2.

Hasta el momento solo se ha estudiado el gráfico de tiempos en cascada, se ha hecho énfasis en que el fundamento de la metodología es mantener las bobinas de los temporizadores encendidos hasta que se complete un ciclo. El siguiente paso es obtener las ecuaciones del sistema, una para cada temporizador y una para cada función de salida. La herramienta de apoyo para transferir un diagrama de temporizadores en cascada a ecuaciones lógicas es el *cuadrante de contactos*.

La ubicación en el cuadrante de contactos de los conectores de enlace del sistema se realiza mediante los sencillos pasos que se explican enseguida. Para explicar cada uno de los conectores de enlace se enumeran individualmente. A continuación se analiza el diagrama que se muestra en la Fig. 9-13 y se identifica cada conector de enlace.

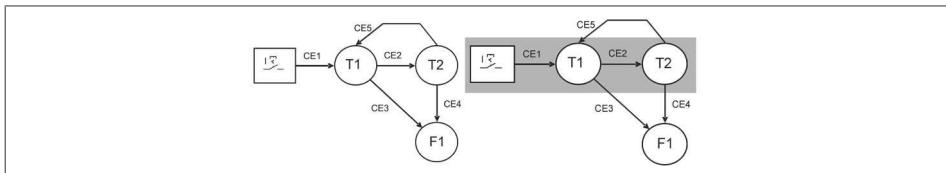


Fig. 9-13. Identificación de los conectores de enlace.

El sistema tiene cinco conectores de enlace de los cuales dos tienen la misma dirección, CE1 y CE2, un conector horizontal CE4, el conector CE5 localizado en el cuadrante III y el CE3 en el IV cuadrante.

9.4.1 Ubicación de un conector de enlace horizontal

El conector de enlace horizontal puede tener dos direcciones, izquierda o derecha. El conector con dirección a la izquierda según el cuadrante de contactos es igual a un contacto normalmente cerrado y el conector de enlace con dirección a la derecha es igual a un contacto normalmente abierto.

El conector de enlace CE1 no se pasa a través del cuadrante de contactos, por provenir de una función de entrada, el conector CE2 sí debe ser pasado por el cuadrante de contactos. Éstos se muestran en la Fig. 9-14.

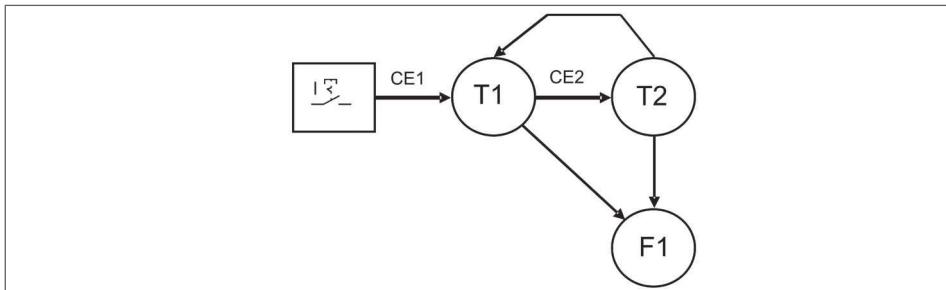


Fig. 9-14. Conectores de enlace con dirección horizontal-derecha.

Se ubica el conector de enlace CE2 en el cuadrante, inicia en el origen y la dirección es hacia la derecha, ubicación que se muestra en la Fig. 9-15, lo que da como resultado un contacto normalmente abierto al representarlo en un diagrama de lógica escalera. También en una ecuación lógica se representa como una variable afirmada.

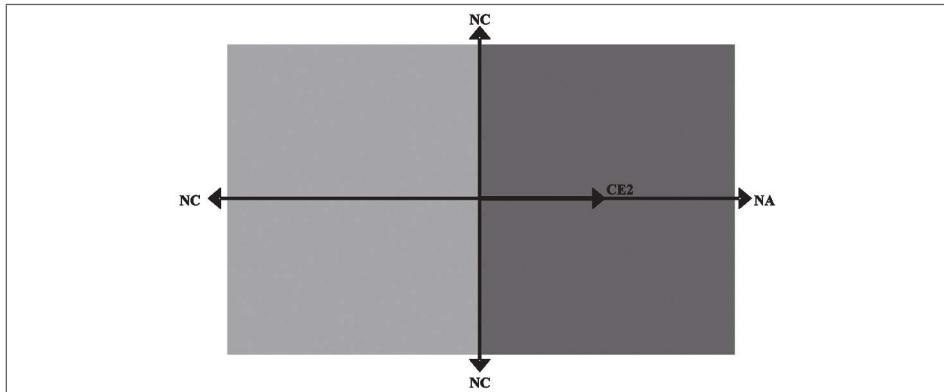


Fig. 9-15. Ubicación del conector de enlace CE2 en el cuadrante de contactos.

El conector de enlace condiciona la función a la que entra, y de la función de donde proviene es la condicionante.

9.4.2 Conector de enlace vertical

Este conector de enlace también puede tener dos direcciones, hacia arriba o hacia abajo sin ángulo de inclinación, y en ambos sentidos se convierte en un contacto normalmente cerrado. Se puede representar en un diagrama de lógica de contactos como una función negada en una ecuación. En el ejemplo, el conector CE4 (Fig. 9-16) es un contacto normalmente cerrado proveniente de T2 que condiciona la función F1, y al obtener la ecuación de F1 se considera como el negado de T2.

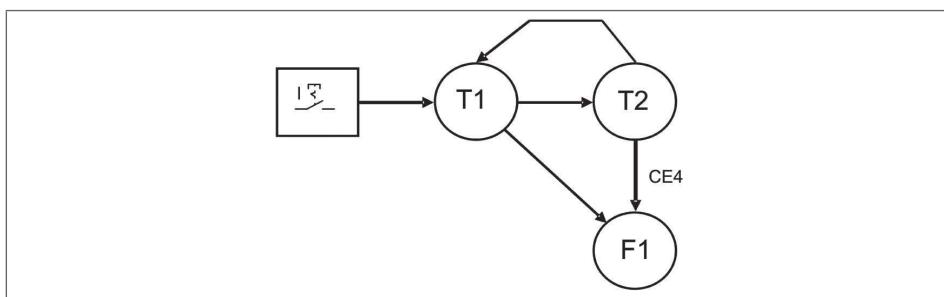


Fig. 9-16. Conector de enlace con dirección vertical.

La ubicación de este conector de enlace inicia en el origen del cuadrante y la dirección es hacia abajo (Fig. 9-17). Se puede observar que si se cambia la dirección hacia arriba el resultado es el mismo. Al llegar dos conectores de enlace a F1 ambas condiciones se multiplican para dar el resultado de F1, debido a que son condiciones que se deben cumplir a la vez para que F1 se encienda.

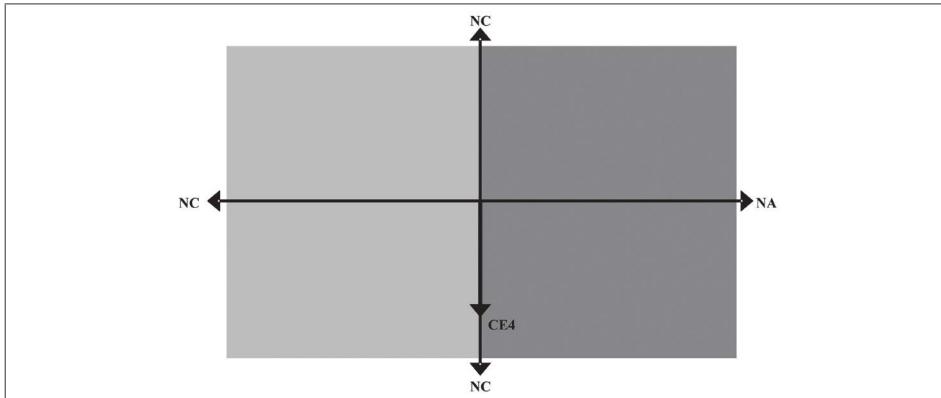


Fig. 9-17 .Conector de enlace vertical.

9.4.3 Conector de enlace con varias direcciones en su trayectoria

Un conector de enlace puede tener varias direcciones en su trayectoria, desde la salida hasta la llegada a la función que va a condicionar, como el conector CE5 que se muestra en la Fig. 9-18. La dirección con que entra a la función es la que define el tipo de contacto y el nivel lógico del conector de enlace.

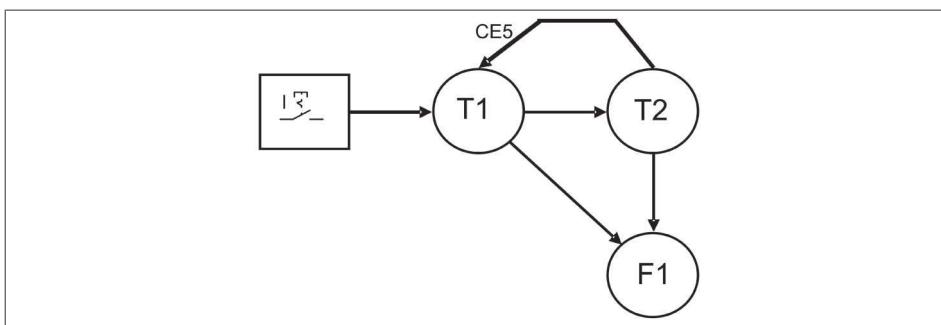


Fig. 9-18. Conector de enlace con varias direcciones en su trayectoria.

En el ejemplo se observa que CE5 tiene tres cambios de dirección en su trayectoria. Sin embargo, la que define al conector de enlace es con qué dirección entra a la función de tiempo T1, que es precisamente a la función que va a condicionar. Como

punto importante: un conector de enlace solo debe ubicarse en uno de los cuatro cuadrantes.

Si transportamos la última dirección de la trayectoria del conector al cuadrante de contactos, se ubica el origen del cuadrante en el origen del conector de la última sección (Fig. 9-19), lo que da como resultado la ubicación del conector en el tercer cuadrante. Si se toma la decisión de conectar a T1 desde T2, pero con una dirección contraria a la actual, el conector quedaría en el II cuadrante y no cambiaría los niveles lógicos de representación tanto en un diagrama de lógica escalera como en la ecuación lógica que representaría a T1.

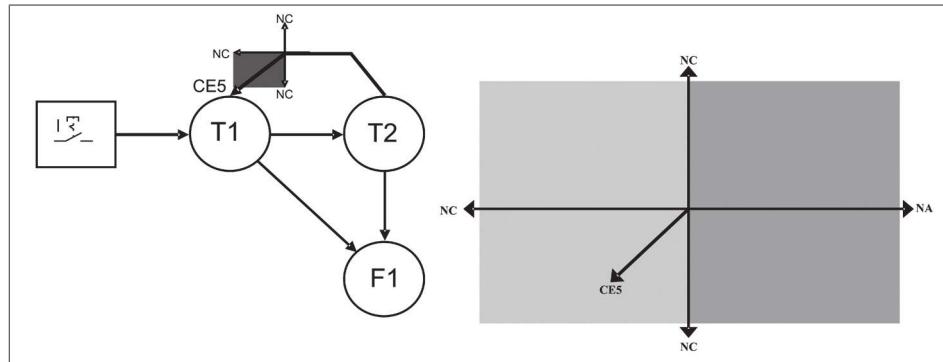


Fig. 9-19. Ubicación del conector CE5 en el cuadrante de contactos.

9.4.4 Conector de enlace en el cuarto cuadrante

El conector CE3 es el que falta para completar el ejemplo que se está analizando. De acuerdo a la dirección mostrada se ubica en el IV cuadrante, mostrado en la Fig. 9-20, lo que da como resultado un contacto normalmente abierto al momento de transferir este conector a un diagrama de lógica escalera y se convierte en una función afirmada al transferirlo a una ecuación lógica.

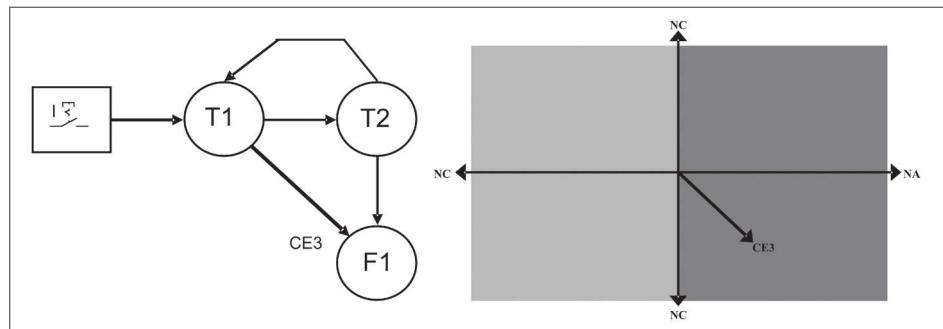


Fig. 9-20. Conector de enlace localizado en el IV cuadrante.

Si la función F1 se ubicara en la parte superior de la función T2 y no en la inferior, como está ubicada en la Fig. 9-20, entonces el conector estaría localizado en el primer cuadrante (I), el resultado al convertirlo en un contacto y al transferirlo a una ecuación es el mismo en ambos cuadrantes.

9.4.5 Ecuaciones de las variables lógicas del sistema

Ya ubicados los conectores de enlace en el cuadrante de contactos y después de identificar cada uno de ellos, el siguiente paso es transferirlos a una ecuación lógica que represente cada función de salida y de tiempo. Para hacerlo, los conectores de enlace se deben identificar como afirmados o como negados. La negación se va a representar con una línea superior (\neg) aplicada a la función que va a ser representada por el conector de enlace y el afirmado solo se representa como la función, sin ningún símbolo adicional.

El número de condiciones que forman las ecuaciones de las funciones va a depender del número de conectores de enlace que entran a la función, de quien se está obteniendo la ecuación.

Ejemplo 9.4.1

El diagrama de temporizadores en cascada que se muestra en la Fig. 9-21 cuenta con cuatro funciones de salida, cinco funciones de tiempo, que forman una línea principal, y una función de entrada llamada I, que es la encargada de encender el sistema. Como ejercicio se requiere encontrar las ecuaciones lógicas de las funciones de salida y de tiempo, y transferir las ecuaciones a un diagrama de lógica escalera.

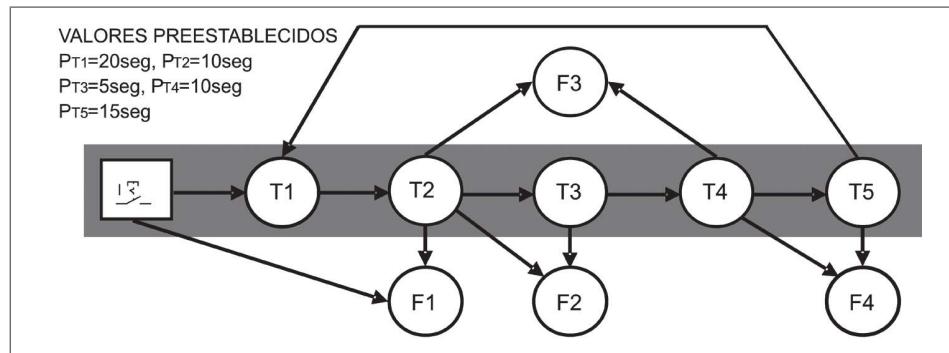


Fig. 9-21. Diagrama de tiempos en cascada del ejemplo 9.4.1.

Ecuaciones lógicas de las funciones de salida

A las funciones de salida F1, F2, F3 y F4 entran dos condiciones. Las ecuaciones se obtienen aplicando el cuadrante de contactos.

Para obtener la ecuación de F1 se consideran los dos conectores de enlace provenientes de T1 y T2. El conector de T1 se ubica en el cuarto cuadrante, lo que da como resultado una función verdadera; el conector de enlace de T2 se ubica sobre el eje vertical, lo que da como resultado un conector negado. La ecuación de la función es el resultado de multiplicar estos dos conectores de enlace. El resultado es la siguiente ecuación:

$$F1 = I \overline{T2}$$

Las condiciones de funcionamiento de F2 provienen de los temporizadores T2 y T3, el conector de enlace de T2 se ubica en el cuarto cuadrante y el conector de enlace de T3 se ubica sobre el eje vertical. Esto da como resultado la siguiente ecuación:

$$F2 = T2 \overline{T3}$$

La función F3 tiene como condiciones de encendido un conector de T2 y un conector de T4 localizados en el primer cuadrante y sobre el eje vertical respectivamente. Si se consideran estas condiciones, se tiene como resultado la siguiente ecuación:

$$F3 = T2 \overline{T4}$$

Para la función F4 las condiciones de operación vienen de T4 y T5, ubicados en el cuarto cuadrante y el eje vertical. Esto da como resultado la siguiente ecuación lógica:

$$F4 = T4 \overline{T5}$$

Ecuaciones de las funciones de tiempo

Se deben obtener cinco ecuaciones. Se inicia con el temporizador T1, al que entran dos conectores de enlace, uno de la función de entrada I y otro conector de la función de tiempo T5. El conector de enlace de la función de entrada I no entra al cuadrante de contactos; esta función es considerada afirmada por estar desconectado el interruptor I. La retroalimentación se ubica en el tercer cuadrante, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$T1 = I \overline{T5}$$

Las funciones de tiempo T2, T3, T4 y T5 son condicionadas mediante un conector de enlace. Los conectores de enlace provienen del temporizador inmediato anterior. Las ecuaciones son las siguientes:

$$T2 = T1$$

$$T3 = T2$$

$$T4 = T3$$

$$T5 = T4$$

Éstas son las últimas ecuaciones lógicas del sistema. Con el apoyo del FluidSim las ecuaciones son transferidas a un diagrama de lógica escalera que se muestra en la Fig. 9-22.

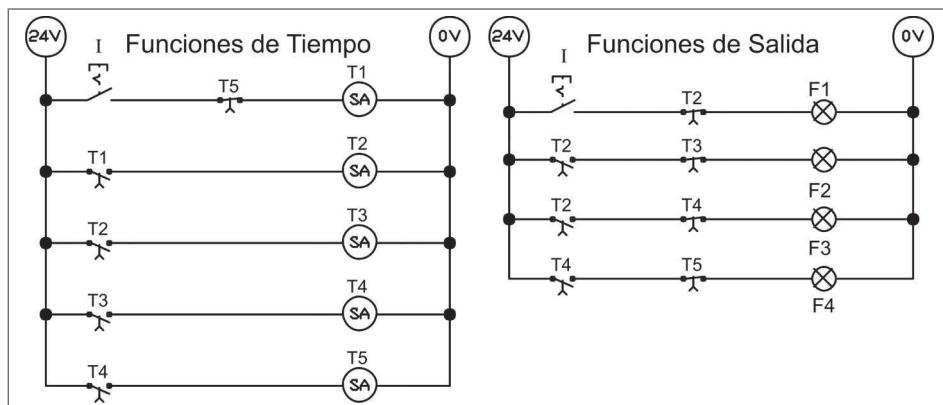


Fig. 9-22. Diagrama de lógica escalera resultante al transferir las ecuaciones lógicas.

De este diagrama se puede obtener, con el mismo FluidSim, al operar el interruptor I (Fig. 9-23), el cronograma de tiempos de las funciones en el que se observa cómo aparecen en forma escalonada las funciones de tiempo, lo que genera un efecto tipo cascada.

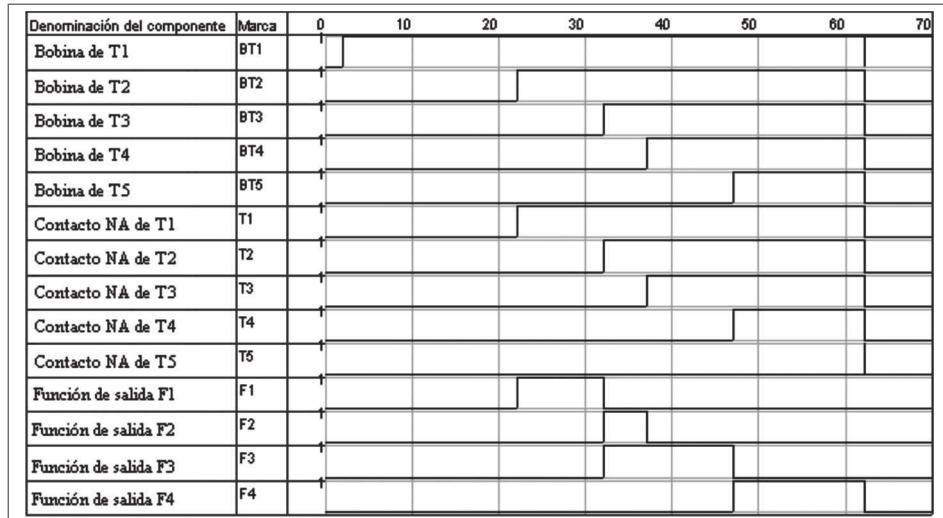


Fig. 9-23. Cronograma de tiempos del ejemplo 9.4.1.

El diagrama de lógica escalera obtenido con el FluidSim puede ser transferido a un diagrama con la nomenclatura del PLC Siemens, se requiere realizar una transferencia de variables.

FluidSim	PLC Siemens
I	I0.0
T1	T37
T2	T38
T3	T39
T4	T40
T5	T41
F1	Q0.0
F2	Q0.1
F3	Q0.2
F4	Q0.3

Tabla 9-1. Transferencia de nomenclatura para el PLC Siemens.

Con las variables transferidas al PLC Siemens se obtiene el diagrama de lógica escalera que se muestra en la Fig. 9-24.

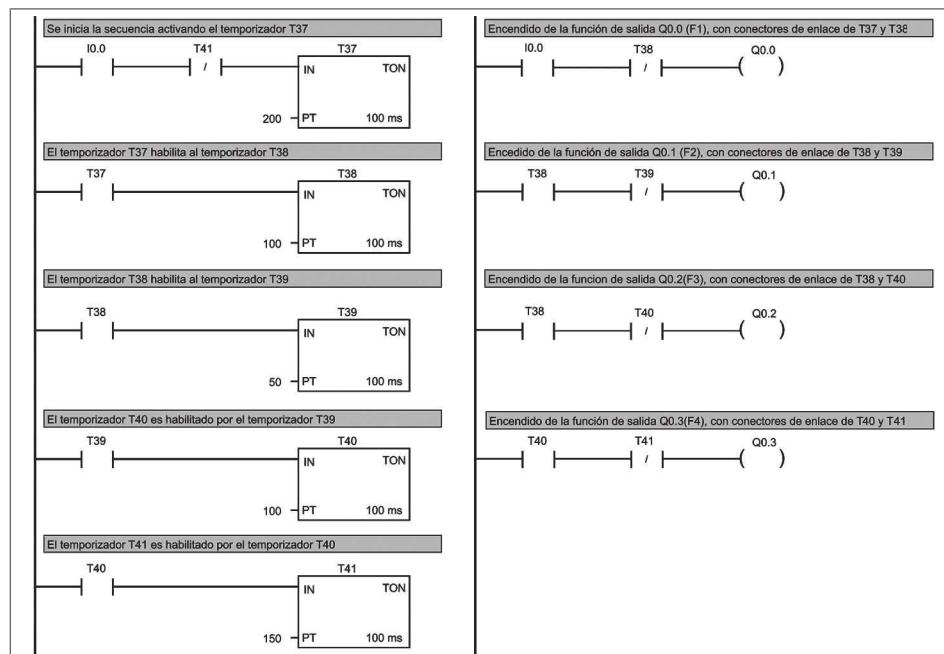


Fig. 9-24. Diagrama de lógica escalera para el PLC Siemens.

Algunos sistemas pueden tener más de una línea principal, pero solo una debe estar activa, este tipo de sistemas se van a explicar más adelante. De cada sistema

se puede obtener información de tiempo de ciclo y del tiempo que están encendidas las funciones mediante cálculos realizados por fórmulas sencillas propias del método.

9.5 Cálculos requeridos en un sistema con una línea principal

En un sistema secuencial con temporizadores es necesario conocer algunos valores de tiempo. El más importante es el tiempo de ciclo que consiste en el tiempo que tarda el sistema en desarrollar un ciclo completo. Si se conoce este tiempo se puede calcular la producción por hora, por turno laboral o por día que se debe obtener de un proceso o máquina. Cuando el sistema cuenta con una línea principal, este tiempo es la sumatoria de todos los valores preestablecidos. La Fig. 9-25 muestra un sistema con una línea principal.

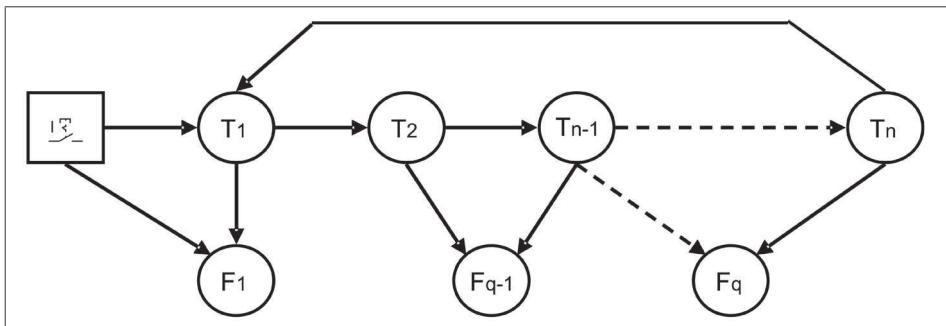


Fig. 9-25. Sistema con una línea principal con n temporizadores y q funciones de salida.

El tiempo de ciclo del sistema es definido como la suma de los valores preestablecidos de todos los temporizadores localizados en esta línea, desde el temporizador T_1 hasta el n -ésimo temporizador (T_n). Esta sumatoria se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$T_{Ciclo} = P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + P_{T4} \dots + P_{Tn}$$

En este caso P_T es el valor preestablecido de cada uno de los temporizadores.

Esta sumatoria puede ser representada mediante una ecuación general en la que se consideren todos los temporizadores de una línea principal y el resultado de la fórmula sea en unidades de tiempo y los temporizadores tengan la misma escala de tiempo. Enseguida se expresa la fórmula general que da solución al cálculo del tiempo de ciclo de un sistema secuencial con una línea principal.

Ecuación (Ec. 1)

Cálculo del tiempo de ciclo de un sistema con línea principal

$$T_{Ciclo} = \sum_{t=i}^n P_{Tt}$$

Donde:

P_T = Valor preestablecido del temporizador

t = **t -esimo temporizador**

n = Número máximo de temporizadores en la línea principal

i = Temporizador de inicio de la cascada de tiempo

T_{Ciclo} = Tiempo de ciclo del sistema

Si se aplica la ecuación al sistema de la Fig. 9-21, sistema que ya fue analizado, del que solo falta obtener el tiempo de ciclo. Si se aplica la fórmula directamente se obtienen los siguientes cálculos:

Ecuaci n: 1

$$T_{Ciclo} = \sum_{t=i}^n P_{Tt}$$

Donde $i=1$, $n=5$.

$$T_{Ciclo} = \sum_{t=1}^5 P_{Tt} = P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + P_{T4} + P_{T5}$$

Esto da como resultado el siguiente tiempo de ciclo:

$$T_{Ciclo} = P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + P_{T4} + P_{T5}$$

Si se sustituyen valores: $P_{T1} = 20\text{ seg}$, $P_{T2} = 10\text{ seg}$, $P_{T3} = 5\text{ seg}$, $P_{T4} = 10\text{ seg}$ y $P_{T5} = 15\text{ seg}$

$$T_{Ciclo} = 20\text{ s} + 10\text{ s} + 5\text{ s} + 10\text{ s} + 15\text{ s} = 60\text{ s}$$

9.5.1 Cálculo del tiempo de encendido de las funciones de salida

Además del cálculo del tiempo de ciclo pueden obtenerse otros datos que den más información del sistema secuencial, como el tiempo que se mantiene encendida o apagada una función de salida. Esto se logra tomando ventaja de que a la función de salida llegan dos conectores de enlace, uno encargado de encenderla y otro de apagarla.

Para obtener el tiempo que está encendida una función de salida se toman en cuenta los conectores de enlace encargados de encender y apagar la función, estos conectores de enlace provienen de las funciones de tiempo. El conector de enlace que enciende la función de salida es llamado *c* y se localiza en el primero o cuarto cuadrante o línea horizontal derecha. El conector que apaga la función es llamado *a*, localizado en el segundo o tercer cuadrante, con dirección vertical hacia arriba o abajo y horizontal con dirección a la izquierda, de tal manera que se realiza una sumatoria de valores de tiempo preestablecidos desde *c+1* hasta *a*. Como *c* es el temporizador que enciende la función de salida, el valor de tiempo de éste no interfiere en el tiempo que está encendida la función, ya que apenas inicia su encendido. Para tomar el valor de tiempo del temporizador superior inmediato se le suma un “1” al conector *c*. La ecuación 2 muestra la aplicación de la explicación descrita para obtener el tiempo de encendido de una función de salida.

Ecuación (Ec. 2)

Cálculo del tiempo de encendido de una función dependiente de una línea principal

$$T_{Fq} = \sum_{t=c+1}^a P_T t$$

Donde:

a=Temporizador con conector de enlace en el II o III cuadrante, línea horizontal izquierda o sobre la línea vertical en ambas direcciones.

c=Temporizador con conector de enlace en el cuadrante I, IV o en la línea horizontal derecha.

TFq= Tiempo de encendido de la *q*-esima función (*Fm*).

Fq= *q*-esima función.

t= *t*-esimo temporizador.

Ejemplo 9.5.1

El diagrama mostrado en el ejemplo de la Fig. 9-21 tiene cuatro funciones de salidas. Si se aplica la ecuación 2 se obtiene el tiempo de encendido de cada una de las funciones durante un ciclo de operación.

$$T_{Fq} = \sum_{t=c+1}^a P_T t$$

La función F1 tiene conectores de enlace provenientes de la función de entrada I y del temporizador T2. Donde *c=0*, *a=2* y *q=1*, el valor de cero es porque el conector de enlace localizado en el cuarto cuadrante proviene de la función de entrada. Para que tenga un valor diferente de cero se requiere que el conector de enlace provenga de un temporizador. Estos valores son sustituidos en la ecuación 2 para obtener el tiempo que la función F1 está encendida en cada ciclo.

$$T_{F1} = \sum_{t=0+1}^2 P_{T,t} = \sum_{t=1}^2 P_{T,t} = P_{T,1} + P_{T,2}$$

Si se sustituyen los valores de tiempo preestablecido de los temporizadores 1 y 2:

$$T_{F1} = P_{T,1} + P_{T,2} = 20\text{ s} + 10\text{ s} = 30\text{ s}$$

Para la función F2 los valores de los conectores de enlace son $c=2$, $a=3$ y $q=2$, estos valores corresponden a los temporizadores de donde provienen los conectores de enlace. Si se sustituyen estos valores en la ecuación 2 se obtiene el tiempo que está encendida la función F2.

$$T_{F2} = \sum_{t=2+1}^3 P_{T,t} = \sum_{t=3}^3 P_{T,t} = P_{T,3} = 5\text{ s}$$

El tiempo de encendido de la función F3 está a cargo de los conectores de enlace provenientes de los temporizadores T2 y T4, lo que da los valores de $c=2$, $a=4$ y $q=3$. Si se sustituyen estos valores se tiene el siguiente resultado:

$$T_{F3} = \sum_{t=2+1}^4 P_{T,t} = \sum_{t=3}^4 P_{T,t} = P_{T,3} + P_{T,4} = 5\text{ s} + 10\text{ s} = 15\text{ s}$$

Para la función F4 se tienen los valores de $c=4$, $a=5$ y $q=4$, obtenidos de los conectores de enlace provenientes de los temporizadores T4 y T5. Si se sustituyen estos valores se obtiene el siguiente resultado:

$$T_{F4} = \sum_{t=4+1}^5 P_{T,t} = \sum_{t=5}^5 P_{T,t} = P_{T,5} = 15\text{ s}$$

Ejemplo 9.5.2

El diagrama de temporizadores en cascada que se muestra en la Fig. 9-26 es activado por el interruptor del tipo sostenido I, el sistema cuenta con cuatro funciones de salida y seis funciones de tiempo.

Desarrolle los siguientes incisos:

- Ecuaciones de cada una de las funciones de tiempo y de salida.
- Cálculo del tiempo de ciclo del sistema (Ec. 1).
- Cálculo del tiempo de encendido de las funciones de salida (Ec. 2).
- Obtenga el diagrama de lógica de contactos con el FluidSim.
- Obtenga el diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

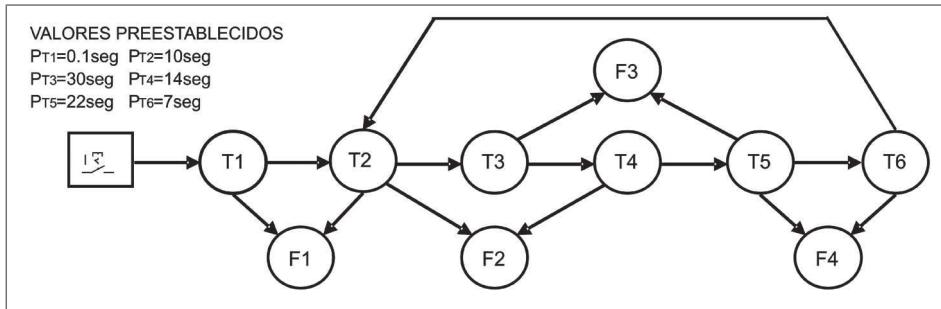


Fig. 9-26. Diagrama de temporizadores en cascada del ejemplo 9.4.3.

Soluci n

- a. Las ecuaciones del sistema son obtenidas aplicando el cuadrante de contactos, se obtiene una ecuación para cada función de salida y para cada función de tiempo.

Ecuaciones de tiempo

Se obtienen las seis ecuaciones de las funciones de tiempo.

$$\begin{aligned} T1 &= I1 \\ T2 &= T1 \overline{T6} \\ T3 &= T2 \\ T4 &= T3 \\ T5 &= T4 \\ T6 &= T5 \end{aligned}$$

Ecuaciones de las funciones

Se obtienen las cuatro ecuaciones de las funciones de salida.

$$\begin{aligned} F1 &= T1 \overline{T2} \\ F2 &= T2 \overline{T4} \\ F3 &= T3 \overline{T5} \\ F4 &= T5 \overline{T6} \end{aligned}$$

- b. Cálculo del tiempo de ciclo del sistema.

El valor de $T1$ se considera solo en el primer ciclo, en los ciclos posteriores $T1$ se mantiene encendido y su valor preestablecido no afecta al tiempo de ciclo.

Ecuación: 1

$$T_{Ciclo} = \sum_{t=i}^n P_{Tt}$$

Donde: $i=2$, $n=6$

$$T_{Ciclo} = \sum_{t=2}^6 P_{Tt} = P_{T2} + P_{T3} + P_{T4} + P_{T5} + P_{T6}$$

Si se sustituyen los siguientes valores: $P_{T2}=10\text{s}$, $P_{T3}=30\text{s}$, $P_{T4}=14\text{s}$, $P_{T5}=22\text{s}$ y $P_{T6}=7\text{s}$.

$$T_{Ciclo} = 10\text{s} + 30\text{s} + 14\text{s} + 22\text{s} + 7\text{s} = 83\text{s}$$

c. Cálculo del tiempo de encendido de las funciones de salida.

Tiempo de encendido de la función F1, donde $c=1$, $a=2$ y $q=1$.

$$T_{F1} = \sum_{t=1+1}^2 P_{Tt} = \sum_{t=2}^2 P_{Tt} = P_{T2} = 10\text{s}$$

Para la función F2 los valores son $c=2$, $a=4$ y $q=2$.

$$T_{F2} = \sum_{t=2+1}^4 P_{Tt} = \sum_{t=3}^4 P_{Tt} = P_{T3} + P_{T4} = 30\text{s} + 14\text{s} = 44\text{s}$$

Para la función F3 los valores son $c=3$, $a=5$ y $q=3$.

$$T_{F3} = \sum_{t=3+1}^5 P_{Tt} = \sum_{t=4}^5 P_{Tt} = P_{T4} + P_{T5} = 14\text{s} + 22\text{s} = 36\text{s}$$

Para la función F4 los valores son $c=5$, $a=6$ y $q=4$.

$$T_{F4} = \sum_{t=5+1}^6 P_{Tt} = \sum_{t=6}^6 P_{Tt} = P_{T6} = 7\text{s}$$

d. Diagrama de lógica de contactos con el FluidSim.

La Fig. 9-27 muestra el diagrama de lógica de contactos obtenido con el FluidSim y de las ecuaciones lógicas

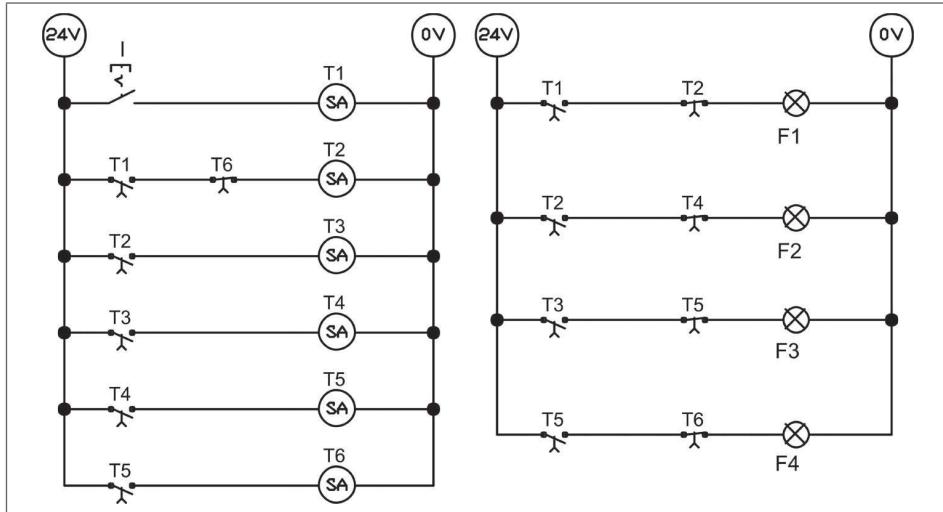


Fig. 9-27. Diagrama de lógica de contactos del ejemplo 9.5.2 obtenido con el FluidSim.

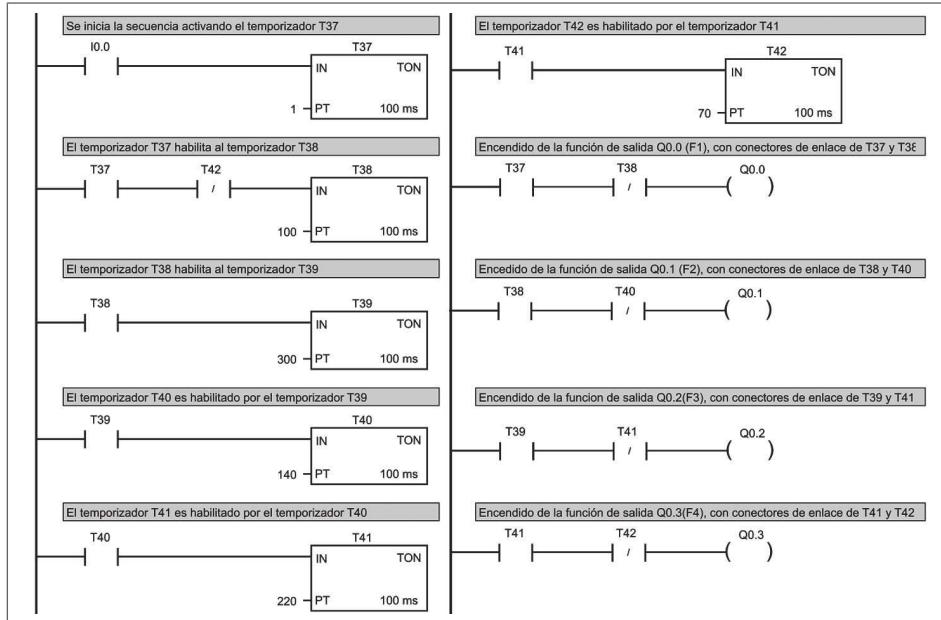
e. Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

Para transferir el diagrama de lógica de contactos obtenido con el FluidSim se requiere realizar una transferencia de variables a la nomenclatura del PLC Siemens. La siguiente Tabla 9-2 muestra la transferencia.

FluidSim	PLC Siemens
I	I0.0
T1	T37
T2	T38
T3	T39
T4	T40
T5	T41
T6	T42
F1	Q0.0
F2	Q0.1
F3	Q0.2
F4	Q0.3

Tabla 9-2. Tabla de conversión de variables del ejemplo 9.5.2.

De acuerdo a la nomenclatura se obtiene el diagrama de lógica escalera para el PLC Siemens que se muestra en la Fig. 9-28.



9.6 Sistemas con una línea principal y subrutinas de tiempos

Algunos sistemas incluyen sub-lazos de tiempo con k ciclos de operación dentro del propio tiempo de ciclo sistema, encendiéndo y apagando funciones de salida. A estos sub-lazos de tiempo se les llama *subrutinas*. Éstas dependen de dos temporizadores localizados en la línea principal, uno de ellos se encarga de encenderla y el otro de apagarla, indicando que cada elemento que compone a la subrutina deberá ser conectado a la línea principal mediante ambos conectores de enlace, además de las condiciones que en la propia subrutina pueden tener, estas condiciones también son representadas por conectores de enlace.

Para evitar saturar el diagrama con los conectores de enlace que una subrutina genera y evitar conectar a cada uno de los dispositivos que la componen al diagrama de tiempos, se identifica a una subrutina mediante un círculo (Fig. 9-30) en un diagrama de "Temporizadores en Cascada" y se identifica como SUB, de subrutina, manteniendo en el consecutivo un orden monótono ascendente.

Al símbolo de la subrutina no se le obtiene una ecuación lógica, solamente indica que los componentes a los que interconecta forman precisamente una subrutina y que los conectores de enlace que conectan al símbolo de la subrutina son condiciones aplicables a todo componente que la componen. Esto indica que las ecuaciones lógicas de todos los componentes que conforman la subrutina son condicionadas por estos conectores de enlace e incluidas en las ecuaciones lógicas de cada componente.

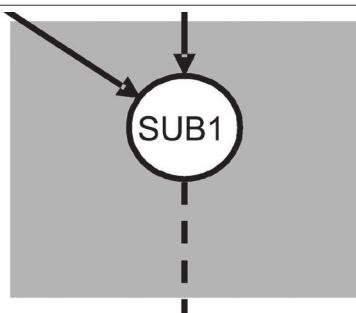


Fig. 9-29. Identificación de una subrutina.

De la subrutina solo sale un enlace hacia uno de los temporizadores (se da como entendido que las condiciones de la subrutina son las mismas para todo dispositivo que la compone). Este enlace se realiza mediante un conector discontinuo y no se le aplica el cuadrante de contactos, pero sí se le aplica a los conectores de enlace que entran como condición a la subrutina.

La nomenclatura de los temporizadores que componen una subrutina de tiempo es Tt,z , donde:

t = t -esimo temporizador localizado en una línea principal con conector de enlace en el segundo o tercero cuadrante o sobre la línea vertical hacia la subrutina y es el encargado de apagarla.

z = z -esimo temporizador localizado en una subrutina dependiente del t -esimo temporizador, el arreglo de esta variable es monótono ascendente.

Es importante considerar que la sumatoria de los valores preestablecidos de los temporizadores localizados en una subrutina debe ser como mínimo el valor preestablecido del temporizador encargado de apagarla, si se le asigna un valor menor a esta sumatoria no alcanzaría a funcionar la subrutina completa y como resultado el sistema no funcionaría como fue previsto. Al expresar estas condiciones en una ecuación general da como resultado la ecuación 3 que se muestra a continuación.

Ecuación (Ec. 3)

Cálculo del valor preestablecido de un temporizador (P_{Tt}) que controla el apagado de una subrutina

$$P_{Tt} = k \sum_{z=1}^n P_{Tt,z}$$

Donde:

P_{Tt} =Valor preestablecido del temporizador que apaga a la subrutina.

$P_{Tt,z}$ =Valor preestablecido del z -esimo temporizador localizado en una subrutina.

$z=z$ -esimo temporizador localizado en una subrutina.

k =Número de ciclos que debe aparecer la subrutina de tiempo.

$t=t$ -esimo temporizador, en una línea principal.

$n=n$ -esimo temporizador, en una subrutina.

Ejemplo 9.6.1

El diagrama de la Fig. 9-30 es la representación de un sistema secuencial con dos subrutinas de tiempo (SUB1 y SUB2). Los tres temporizadores $T2,1$, $T2,2$ y $T2,3$ componen a SUB1 y dependen del temporizador T2 localizado en la línea principal, los números 1, 2 y 3 muestran el arreglo monótono ascendente que debe mantenerse aún en los temporizadores que conforman la subrutina. Los dos temporizadores, $T4,1$ y $T4,2$, componen la subrutina de tiempos SUB2 y dependen del temporizador T4 localizado en la línea principal, los números 1 y 2 también muestran el arreglo monótono ascendente. Encuentre los siguientes puntos:

- Ecuaciones lógicas del sistema secuencial.
- Obtenga los valores preestablecidos de los temporizadores T2 y T4.
- Obtenga el tiempo de ciclo del sistema.

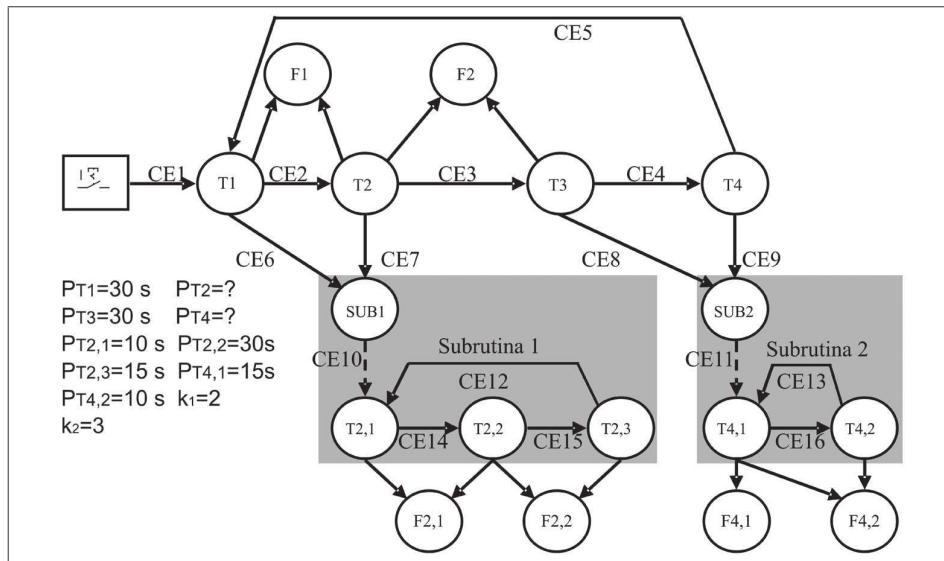


Fig. 9-30. Diagrama de tiempos de un sistema con dos subrutinas.

Soluci n

a. Ecuaciones lógicas del sistema.

Ecuaciones de los temporizadores localizados en la línea principal y funciones de salida dependientes de estos temporizadores.

$$T1 = I \bar{T4}$$

$$T2 = T1$$

$$T3 = T2$$

$$T4 = T3$$

$$F1 = T1 \bar{T2}$$

$$F2 = T2 \bar{T3}$$

Las ecuaciones de los temporizadores localizados en la subrutina 1 (SUB1) son dependientes de los conectores de enlace de T1 y T2, ambos conectores están presentes en las tres ecuaciones.

$$T2,1 = T1 \bar{T2} \bar{T2,3}$$

$$T2,2 = T1 \bar{T2} T2,1$$

$$T2,3 = T1 \bar{T2} T2,2$$

Al ser parte de la subrutina 2 (SUB2) los temporizadores $T4,1$ y $T4,2$ son condicionados por los conectores de enlace provenientes de los temporizadores $T3$ y $T4$ localizados en la línea principal, lo que da como resultado las siguientes ecuaciones:

$$T4,1 = T3 \overline{T4} \overline{T4,2}$$

$$T4,2 = T3 \overline{T4} T4,1$$

b. Valores preestablecidos de los temporizadores $T2$ y $T4$

Para calcular el valor preestablecido de los temporizadores $T2$ y $T4$ se debe conocer el valor preestablecido de los temporizadores que componen la subrutina de tiempos y el número de ciclos de la subrutina.

C Cálculo de P_{T2} y P_{T4}

Para calcular el valor preestablecido de $PT2$ se consideran los siguientes valores $k1=2$, es el número de ciclos que debe aparecer la subrutina consecutiva 1, $z=3$ y $t=2$. Si se aplica la ecuación 3 se obtiene el valor preestablecido de $T2$ localizado en la línea principal.

$$P_{T2} = 2 \sum_{z=1}^3 P_{Tt,z} = 2(P_{T2,1} + P_{T2,2} + P_{T2,3}) = 2(10s + 30s + 15s) = 110s$$

Para calcular el valor preestablecido de $PT4$ se consideran los siguientes valores $k2=3$, es el número de ciclos que debe aparecer la subrutina consecutiva 2, $z=2$ y $t=4$. Si se aplica la ecuación 3 se obtiene el valor preestablecido de $T2$ localizado en la línea principal.

$$P_{T4} = 3 \sum_{z=1}^2 P_{Tt,z} = 3(P_{T4,1} + P_{T4,2}) = 3(10s + 15s) = 75s$$

c. Tiempo de ciclo del sistema

El tiempo de ciclo del sistema se obtiene con la ecuación 1.

$$T_{Ciclo} = \sum_{t=i}^n P_{Tt}$$

Donde $i=1$ y $n=4$

Si se sustituyen valores, se obtiene el tiempo de ciclo del sistema.

$$T_{Ciclo} = \sum_{t=1}^4 P_{Tt} = P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + P_{T4} = 30s + 110s + 30s + 75s = 245s$$

9.7 Funciones de salida localizadas en una subrutina

La función de salida localizada en una subrutina es identificada como $F_{t,z}$, donde t es el t -ésimo temporizador que apaga la subrutina donde está ubicada la función y z es la z -ésima función de salida localizada en la misma subrutina; en esta variable se debe mantener el arreglo monótono ascendente.

Para obtener las ecuaciones lógicas de las funciones de salida es necesario considerar los conectores de enlace que condicionan a la subrutina. En la subrutina SUB1 los conectores de enlace que la condicionan son CE6 y CE7, se sobreentiende que son las condiciones que activan a los temporizadores de la subrutina 1, estos conectores sí deben ser ubicados en el cuadrante de contactos. Para la subrutina SUB2 los conectores de enlace que la condicionan son CE8 y CE9, sobreentendiéndose que ambos conectores condicionan la operación de los temporizadores que componen la misma subrutina. Los conectores de enlace identificados como CE10 y CE11 simbolizan la interconexión de la subrutina con sus componentes; éstos no deben ubicarse en el cuadrante de contactos.

Si se analiza la nomenclatura de la función $F_{2,1}$ se define qué es la función 1, que está localizada en la subrutina (SUB1) que es apagada por el temporizador T2, localizado en la línea principal.

El ejemplo 9.6.1 muestra cuatro funciones localizadas en las dos subrutinas de tiempo. Para transferirlas al diagrama de lógica de contactos se deben obtener las ecuaciones lógicas de cada función. Al analizar la función de salida $F_{4,1}$ se observa que solo entra un conector de enlace como condición directa y proviene del temporizador T4,1; pero se entiende que los conectores de enlace de los temporizadores T3 y T4, localizados en la línea principal, también condicionan esta función. Si se toman en cuenta estas consideraciones se obtienen las ecuaciones de las cuatro funciones de salida.

$$F_{2,1} = T_1 \overline{T_2} T_{2,1} \overline{T_{2,2}}$$

$$F_{2,2} = T_1 \overline{T_2} T_{2,2} \overline{T_{2,3}}$$

$$F_{4,1} = T_3 \overline{T_4} \overline{T_{4,1}}$$

$$F_{4,2} = T_3 \overline{T_4} T_{4,1} \overline{T_{4,2}}$$

En algunas aplicaciones es necesario calcular el tiempo que está encendida una función, pero hasta el momento solo se ha calculado para una función dependiente de temporizadores localizados en la línea principal. Para calcular el tiempo de encendido de una función localizada en una subrutina se debe identificar al temporizador que la enciende considerando a éste como el punto de inicio de la referencia e identificar el temporizador que la apaga, lo que da como resultado la suma de tiempos de los temporizadores intermedios, en caso de que existan, y el temporizador

que apaga la función. El temporizador que enciende al temporizador, el que conecta a la función mediante un conector de enlace, se localiza en el primer (I) o cuarto cuadrante (IV) o en la línea horizontal izquierda, el temporizador que desconecta a la función está localizado en el segundo (II) o tercer cuadrante (III) o línea vertical en ambas direcciones, superior e inferior, o en la línea horizontal izquierda. Al expresar estas consideraciones en una ecuación general, el resultado es el tiempo de encendido de una función localizada en una subrutina, ecuación 4.

Ecuación (Ec. 4)

Cálculo Del Tiempo De Encendido De Una Función Localizada En Una Subrutina

$$T_{Ft,z} = \sum_{z=c+1}^a P_{T,t,z}$$

Donde:

a= Temporizador con conector de enlace en el II, III cuadrante, línea horizontal izquierda o sobre la línea vertical en ambas direcciones.

c= Temporizador con conector de enlace en el cuadrante I, IV o línea horizontal derecha.

T_{Ft,z} = Tiempo de encendido de la z-esima localizada en una subrutina.

P_{Tt,z} = Valor preestablecido del z-esimo temporizador localizado en una subrutina, dependiente del t-esimo temporizador.

Para obtener los tiempos de encendido de las funciones dependientes de las subrutinas 1 y 2 se utiliza la ecuación 4. Para calcular el valor de tiempo que está encendida la función F2,1 se considera el valor de $t=2$, que es tomado del temporizador que condiciona la subrutina de tiempo y está localizado en la línea principal. $c=1$ es el valor del segundo subíndice del temporizador T2,1 y mantiene el arreglo monótono ascendente que debe prevalecer aun en las subrutinas, lo que indica que es el primer temporizador de la línea que compone la subrutina. El valor de $a=2$ es obtenido del temporizador encargado de apagar la función de salida y es el segundo subíndice de T2,2, al sustituir estos valores en la ecuación 4 se obtiene el siguiente valor de tiempo para F2,1.

$$T_{F2,1} = \sum_{z=c+1}^a P_{T,t,z} = \sum_{z=1+1}^2 P_{T,2,z} = \sum_{z=2}^2 P_{T,2,z} = P_{T2,2} = 30s$$

Al estar localizada la función de salida F2,2, en la misma subrutina se mantiene el mismo valor de t , el valor de $c=2$ indica que el temporizador que enciende la función F2,2 es el T2,2 y el valor de $a=3$ indica que el conector de enlace encargado de apagar la función es T2,3. Si se sustituyen estos valores en la ecuación 4 se obtiene el valor de tiempo que está encendida la función de salida.

$$T_{F2,2} = \sum_{z=c+1}^a P_{T,t,z} = \sum_{z=2+1}^3 P_{T,t,z} = \sum_{z=3}^3 P_{T,t,z} = P_{T2,3} = 15s$$

Para obtener el tiempo de la función $F4,1$ se tienen los valores de $t=4$. Este valor se debe a que el temporizador T4 es el que controla el apagado de la subrutina 2. $c=0$, este valor es debido a que no existe un conector de enlace que condicione el encendido de la función proveniente de algún temporizador localizado en la subrutina; y $a=1$ indica que el conector de enlace encargado de apagar a la función $F4,1$ proviene del temporizador $T4,1$. Si se sustituyen estos valores en la ecuación 4 se obtiene el tiempo de encendido de la función $F4,1$.

$$T_{F4,1} = \sum_{z=c+1}^a P_{T,t,z} = \sum_{z=0+1}^1 P_{T4,z} = \sum_{z=1}^1 P_{T,t,z} = P_{T4,1} = 15s$$

Al estar localizada en la subrutina 2, $F4,2$ tiene el valor de $t=4$. Este valor es debido a que el temporizador T4 es el que controla el apagado de la subrutina 2. $c=1$ indica que el conector de enlace que condiciona el encendido de la función proviene del temporizador $T2,1$; y $a=2$ indica que el conector de enlace encargado de apagar la función $F4,1$ proviene del temporizador $T4,2$. Si se sustituyen estos valores en la ecuación 4 se obtiene el tiempo de encendido de la función $F4,2$.

$$T_{F4,2} = \sum_{z=c+1}^a P_{T,t,z} = \sum_{z=1+1}^2 P_{T4,z} = \sum_{z=2}^2 P_{T,t,z} = P_{T4,2} = 10s$$

d. Diagrama de lógica de contactos

Las ecuaciones lógicas que fueron obtenidas se transfieren a un diagrama de lógica de contactos con el FluidSim que se muestra en la Fig. 9-31. Para distinguir el circuito de las subrutinas, éstas son separadas del circuito de la línea principal e identificadas. La subrutina 1 es activada por los contactos de los temporizadores T1 y T2, y la subrutina 2 es activada por los contactos de los temporizadores T3 y T4.

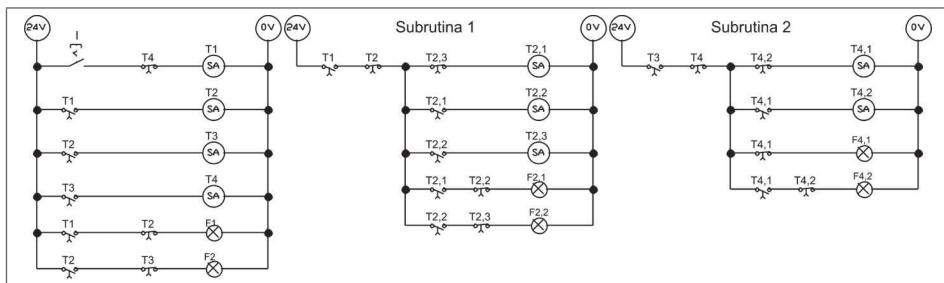


Fig. 9-31. Diagrama de lógica de contactos con el FluidSim del ejemplo 9.6.1.

Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens

Para desarrollar el diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens se debe realizar la conversión de las variables del FluidSim a la nomenclatura del PLC. En la siguiente Tabla 9-3 se muestra la conversión de las variables

Funciones de Entrada		Funciones de Salida		Funciones de Tiempo	
FluidSim	Siemens	FluidSim	Siemens	FluidSim	Siemens
I	I0.0	F1	Q0.0	T1	T37
		F2	Q0.1	T2	T38
		F2,1	Q0.2	T3	T39
		F2,2	Q0.3	T4	T40
		F4,1	Q0.4	T2,1	T41
		F4,2	Q0.5	T2,2	T42
				T2,3	T43
				T4,1	T44
				T4,2	T45

Tabla 9-3. Conversión de variables del ejemplo 9.6.1.

Se desarrolla el diagrama en cuatro secciones. En la primera se muestra el diagrama de lógica de contactos que realiza la activación de las tres subrutinas; en la segunda (Fig 9-32) se muestra el diagrama de lógica de contactos resultante de transferir las ecuaciones que componen la línea principal.

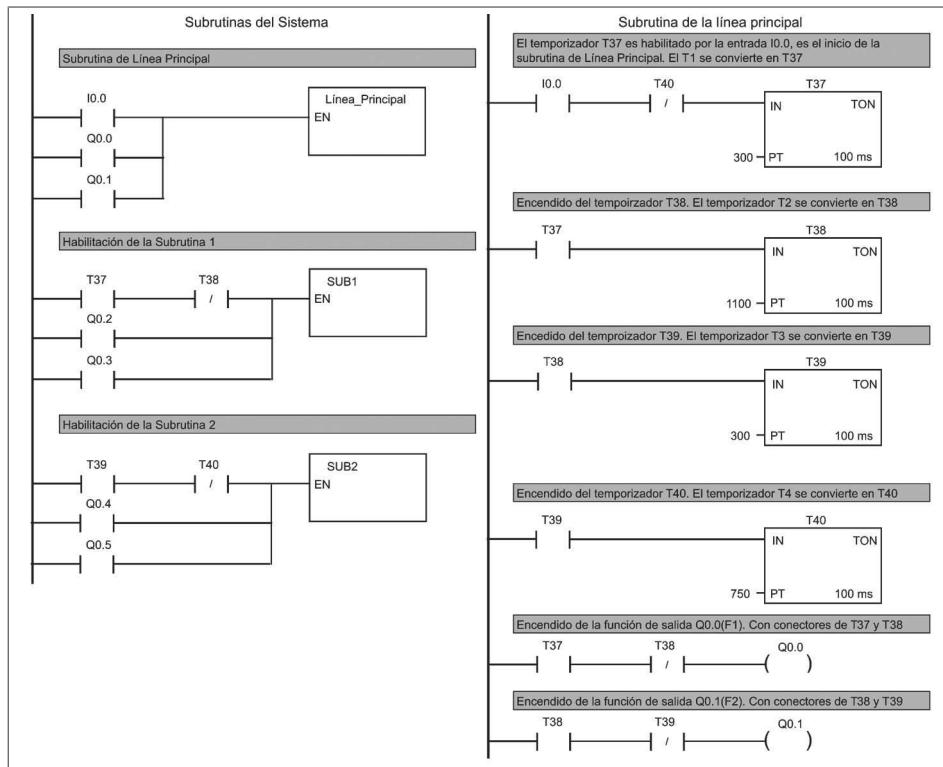


Fig. 9-32.. Diagrama de lógica de contactos de las dos primeras secciones para el PLC Siemens.

La razón de condicionar el encendido de las subrutinas con las funciones de salida es para asegurar que aunque se apague la función de entrada I0.0, en el caso de la subrutina de la línea principal, siga encendida la subrutina hasta que la función de salida sea desconectada.

Con el diagrama de lógica de contactos de las dos subrutinas mostrado en la Fig. 9-33, subrutina 1 (SUB1) y subrutina 2 (SUB2), se completa el diagrama de lógica de contactos del ejemplo 9.6.1, también en estas dos subrutinas se agrega a las funciones de salida como parte de la activación de la propia subrutina.

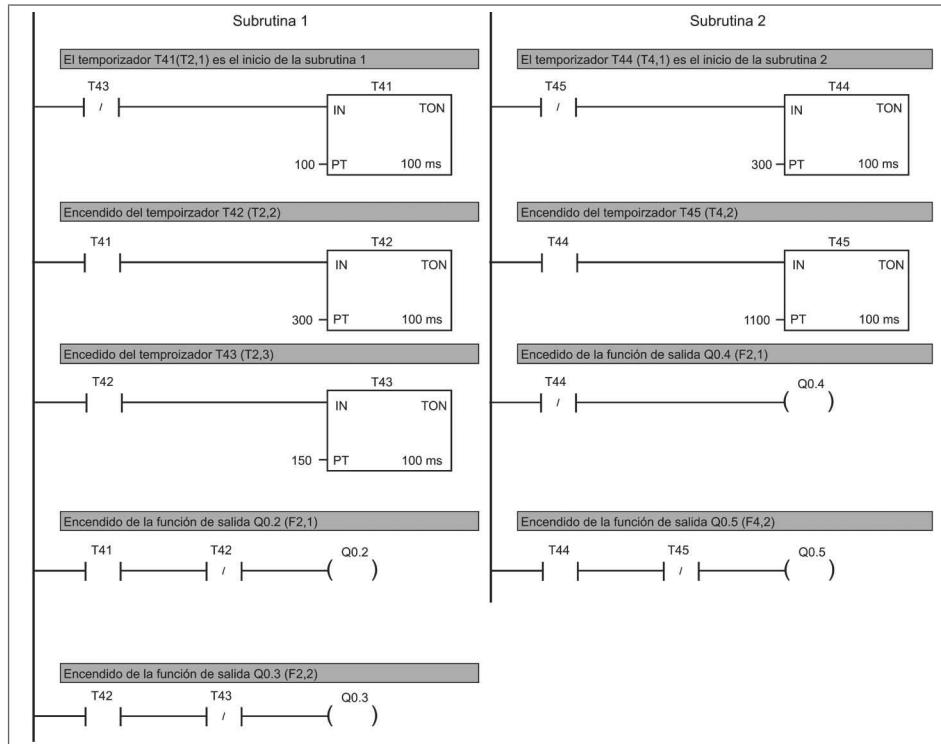


Fig. 9-33. Diagrama de lógica de contactos de las subrutinas 1 y 2.

9.8 Subrutinas que dependen de dos temporizadores no subsecuentes

Hasta el momento se han analizado solo subrutinas dependientes de temporizadores subsecuentes; es decir, subrutinas activadas por los temporizadores T_t y T_{t+1} .

Hay sistemas que requieren contar dentro de su lógica con subrutinas dependientes en el apagado por un temporizador no subsecuente al temporizador de encendido, es decir encendida por T_t y apagada por T_{t+2} hasta $T_{t+(n-1)}$. Para estos sistemas se debe considerar lo siguiente: la suma de valores preestablecidos de los temporizadores que componen la subrutina, multiplicados por el número de ciclos de operación de ésta, debe ser igual a la suma de los valores preestablecidos de

los temporizadores localizados entre el temporizador que enciende la subrutina y el que la apaga, incluyendo en esta sumatoria al temporizador que apaga la subrutina.

Si se expresan estas consideraciones en una ecuación general, da como resultado la ecuación 5. Se muestra como resultado el cálculo del valor preestablecido del temporizador encargado de apagar la subrutina de tiempos.

Ecuación (Ec. 5)

Cálculo del valor preestablecido de un temporizador no subsecuente localizado en una línea principal (P_{T_t}) que controla el apagado de una subrutina

$$P_{T_t} = k \sum_{z=1}^n P_{T_t,z} - \sum_{y=c+1}^{t-1} P_{T_t,y}$$

Donde:

P_{T_t} = Valor preestablecido del temporizador que apaga la subrutina.

$P_{T_t,z}$ = Valor preestablecido del z -esimo temporizador localizado en una subrutina, dependiente del t -esimo temporizador.

k = Número de ciclos de la subrutina de tiempo.

n = $-$ esimo temporizador localizado en la subrutina.

c = Temporizador con conector de enlace en el primer y cuarto cuadrante

$t=t$ -esimo temporizador encargado de apagar la subrutina.

y = Temporizadores inmediatos anteriores al temporizador P_{T_t}

La ecuación 5 muestra la resta de dos sumatorias. La primera corresponde a la suma de los valores de tiempo de los temporizadores que componen la subrutina, incluyendo el número de ciclos, y la segunda corresponde a la suma de valores preestablecidos de los temporizadores inmediatos anteriores localizados entre el temporizador que enciende la subrutina y el que la apaga. El resultado es el valor preestablecido del temporizador que apaga la subrutina.

Ejemplo 9.8.1

El diagrama de la Fig. 9-34 muestra un sistema secuencial que dentro de su estructura cuenta con dos subrutinas de tiempos: SUB1 dependiente de T_1 y T_2 , y SUB2 dependiente de T_3 y T_5 ; en ambas subrutinas se mantiene el arreglo monótono ascendente.

Se deben obtener los siguientes puntos:

- Ecuaciones lógicas del sistema secuencial.
- Los valores preestablecidos de los temporizadores T_2 y T_5 .
- El tiempo de ciclo del sistema.
- El tiempo que están encendidas las funciones de salida.

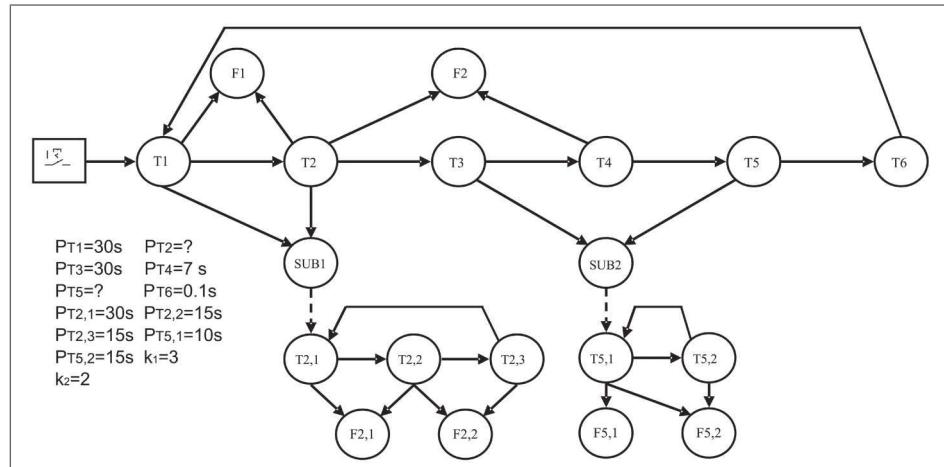


Fig. 9-34. Diagrama para el ejemplo 9.8.1.

a. Ecuaciones lógicas del sistema

Las ecuaciones lógicas del sistema, ecuaciones de los componentes localizados en la línea principal, se obtienen aplicando el cuadrante de contactos

$$T_1 = I \overline{T_6}$$

$$T_2 = T_1$$

$$T_3 = T_2$$

$$T_4 = T_3$$

$$T_5 = T_4$$

$$T_6 = T_5$$

$$F_1 = T_1 \overline{T_2}$$

$$F_2 = T_2 \overline{T_4}$$

Las ecuaciones lógicas de los componentes localizados en la subrutina 1.

$$T_{2,1} = T_1 \overline{T_2} \overline{T_{2,3}}$$

$$T_{2,2} = T_1 \overline{T_2} T_{2,1}$$

$$T_{2,2} = T_1 \overline{T_2} T_{2,1}$$

$$F_{2,1} = T_1 \overline{T_2} T_{2,1} \overline{T_{2,2}}$$

$$F_{2,1} = T_1 \overline{T_2} T_{2,2} \overline{T_{2,3}}$$

Las ecuaciones lógicas de los componentes que conforman la subrutina 2.

$$T5,1 = T3 \overline{T5} \overline{T5,2}$$

$$T5,2 = T3 \overline{T5} T5,1$$

$$F5,1 = T3 \overline{T5} \overline{T5,1}$$

$$F5,2 = T3 \overline{T5} T5,1 \overline{T5,2}$$

b. Cálculo de los valores de T2 y T5

Con la ecuación 3 se pueden obtener los valores preestablecidos de los temporizadores que apagan una subrutina.

Cálculo del valor preestablecido de T2.

$$P_{Tt} = k \sum_{z=1}^n P_{Tt,z}$$

$$P_{T2} = 180 \text{ s}$$

Donde:

$k=3$ es el número de ciclos que realiza la subrutina 1.

$n=3$ es el número de temporizadores que componen la subrutina 1.

$t=2$ es el temporizador al que se le va a calcular el valor preestablecido.

Si se sustituyen los valores:

$$P_{T2} = 3 \sum_{z=1}^3 P_{Tt,z} = (3)[P_{T2,1} + P_{T2,2} + P_{T2,3}] = (3)[30 + 15 + 15] = (3)[60] = 180 \text{ s}$$

Como la subrutina 2 es conectada por dos temporizadores no subsecuentes se utiliza la ecuación 5 para obtener el valor preestablecido de T5, temporizador encargado de desconectar la subrutina 2.

$$P_{Tt} = k \sum_{z=1}^n P_{Tt,z} - \sum_{y=c+1}^{t-1} P_{Ty}$$

Donde:

$k=2$ es el número de ciclos que realiza la subrutina 2.

$n=2$ es el número de temporizadores que componen la subrutina 2.

$c=3$ es el temporizador con conector de enlace localizado en el primer o cuarto cuadrante o línea horizontal con dirección a la derecha.

$t=5$ es el temporizador al que se le calcula el valor preestablecido.

Si se sustituyen valores en la ecuación:

$$P_{T5} = 2 \sum_{z=1}^2 P_{Tt,z} - \sum_{t=3+1}^{5-1} P_{Tt} = 2 \sum_{z=1}^2 P_{Tt,z} - \sum_{t=4}^4 P_{Tt} = [(2)[P_{T5,1} + P_{T5,2}]] - (P_{T4}) = [(2)(10+15)] - (7) = 43s$$

$$P_{T5} = 43s$$

c. Tiempo de ciclo del sistema

Si se aplica la ecuación 1 se obtiene el tiempo de ciclo del sistema.

$$T_{Ciclo} = \sum_{t=i}^n P_{Tt}$$

Donde:

$i=1$ es el inicio de la cascada de tiempos con operación cíclica.

$n=6$ es el número de temporizadores que conforman la línea principal del sistema.

Si se aplican estos valores a la ecuación:

$$T_{Ciclo} = \sum_{t=1}^6 P_{Tt} = P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + P_{T4} + P_{T5} + P_{T6} = 30s + 180s + 30s + 7s + 43s + 0.1s = 250.1s$$

d. Cálculo del tiempo de encendido de las funciones de salida

Para las funciones dependientes de la línea principal, F1 y F2, se utiliza la ecuación 2.

Si se sustituyen los valores de $c=1$ y $a=2$ se obtiene el tiempo que está encendida la función de salida F1.

$$T_{F1} = \sum_{t=1+1}^2 P_{Tt} = \sum_{t=2}^2 P_{Tt} = P_{T2} = 180s$$

Para obtener el tiempo que está encendida la función F2 se deben considerar los siguientes valores de $c=2$ y $a=4$, al sustituir estos valores en la ecuación 2 se obtiene el siguiente resultado:

$$T_{F2} = \sum_{t=2+1}^4 P_{Tt} = \sum_{t=3}^4 P_{Tt} = P_{T3} + P_{T4} = 30s + 7s = 37s$$

Cálculo del tiempo de las funciones localizadas en la subrutina 1

Para obtener los tiempos de encendido de las funciones dependientes de la subrutina 1 se utiliza la ecuación 4. Si se calcula el valor de tiempo que la función F2,1 está encendida, se consideran los valores de $t=2$, $c=1$ y $a=2$, da el siguiente valor de tiempo para F2,1.

$$T_{F2,1} = \sum_{z=c+1}^a P_{Tt,z} = \sum_{z=1+1}^2 P_{T2,z} = \sum_{z=2}^2 P_{T2,z} = P_{T2,2} = 15s$$

Para calcular el tiempo de encendido de la función de salida $F2,2$ se tienen los valores de $t=2$, $c=2$ y $a=3$, y se obtiene como resultado el siguiente valor de tiempo.

$$T_{F2,2} = \sum_{z=c+1}^a P_{T,t,z} = \sum_{z=2+1}^3 P_{T,2,z} = \sum_{z=3}^3 P_{T,2,z} = P_{T2,3} = 15s$$

C Cálculo del tiempo de las funciones localizadas en la subrutina 2

Para obtener el tiempo de la función $F5,1$ se tienen los valores de $t=5$, $c=0$ y $a=1$. Si se sustituyen valores en la ecuación 4 se obtiene el siguiente valor de tiempo:

$$T_{F5,1} = \sum_{z=c+1}^a P_{T,t,z} = \sum_{z=0+1}^1 P_{T,5,z} = \sum_{z=1}^1 P_{T,5,z} = P_{T5,1} = 10s$$

Para la función $F5,2$ se tienen los valores de $t=5$, $c=1$ y $a=2$. Si se sustituyen valores en la ecuación 4 se obtiene el siguiente valor de tiempo:

$$T_{F5,2} = \sum_{z=c+1}^a P_{T,t,z} = \sum_{z=1+1}^2 P_{T,5,z} = \sum_{z=2}^2 P_{T,5,z} = P_{T5,2} = 15s$$

Diagrama de lógica de contactos con el FluidSim

Las ecuaciones lógicas son transferidas a un diagrama de lógica de contactos con el apoyo del FluidSim. El resultado de esto es el diagrama que se muestra en la Fig. 9-35.

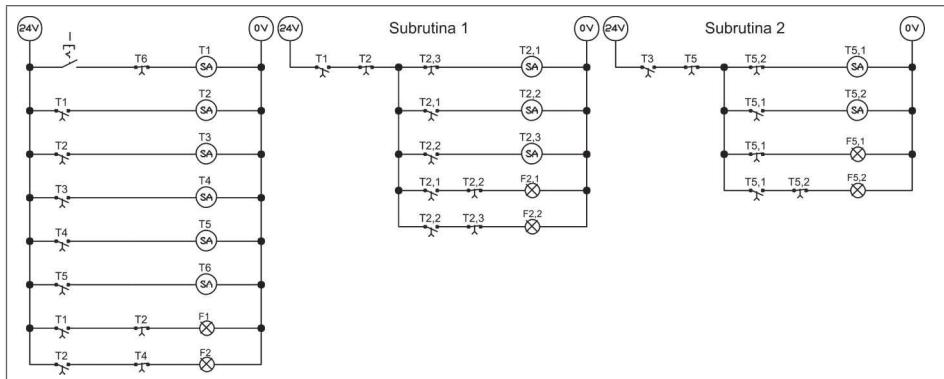


Fig. 9-35. Diagrama de lógica de contactos con el FluidSim para el ejemplo 9.8.1.

Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens

En la Tabla 9-4 se realiza una transferencia de variables del FluidSim a la nomenclatura del PLC Siemens, como parte de las herramientas para obtener el diagrama de lógica de contactos.

Funciones de Entrada		Funciones de Salida		Funciones de Tiempo	
FluidSim	Siemens	FluidSim	Siemens	FluidSim	Siemens
I	I0.0	F1	Q0.0	T1	T37
		F2	Q0.1	T2	T38
		F2,1	Q0.2	T3	T39
		F2,2	Q0.3	T4	T40
		F5,1	Q0.4	T5	T41
		F5,2	Q0.5	T6	T42
				T2,1	T43
				T2,2	T44
				T2,3	T45
				T5,1	T46
				T5,2	T47

Tabla 9-4. Tabla de transferencia de variables del ejemplo 9.8.1.

Con la nomenclatura del PLC Siemens se obtiene el diagrama de lógica de contactos. De manera inicial se obtiene el diagrama para seleccionar las tres subrutinas, que se muestra en la Fig. 9-36, en la que también se presenta el diagrama de la primera subrutina que es la línea principal del sistema secuencial.

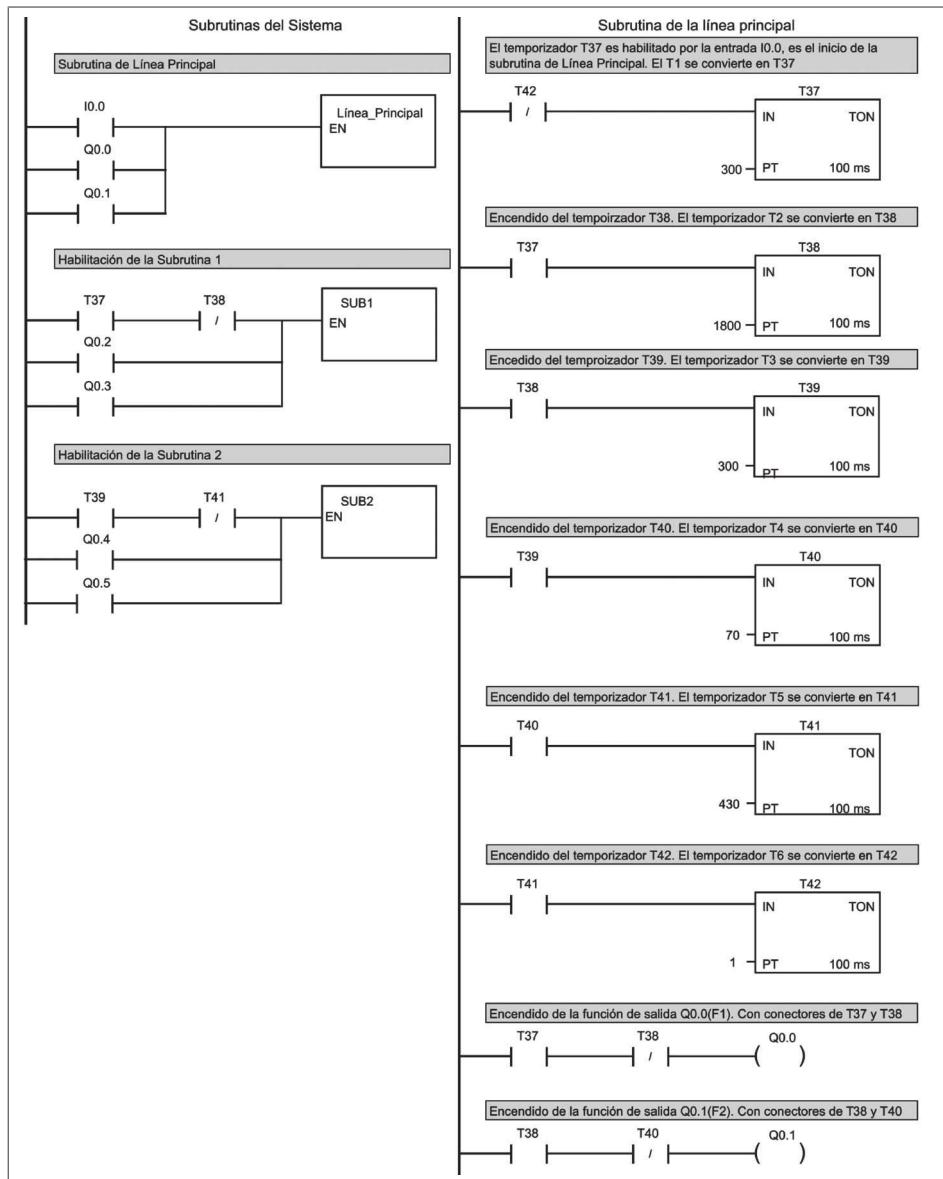


Fig. 9-36. Diagrama que muestra la selección de las tres subrutinas y la subrutina de la línea principal.

El diagrama de las dos subrutinas de tiempo SUB1 y SUB2 se muestran en la Fig. 9-37.

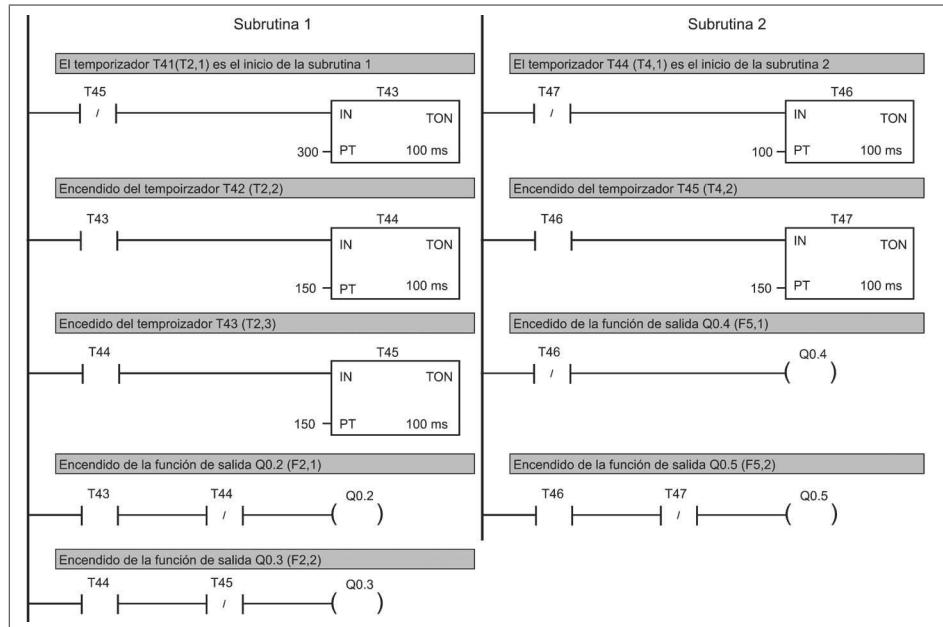


Fig. 9-37. Diagrama de las subrutinas 1 y 2 del ejemplo 9.8.1.

9.9 Sistema de temporizadores con *m* ramales

Algunos sistemas automáticos dentro de la estructura secuencial lógica requieren tener más de una sub-línea principal. Estas sub-líneas principales son llamadas *ramaes* ya que divergen de una línea principal. Cada ramal forma una trayectoria diferente que tiene un tiempo de ciclo definido. Sólo un ramal debe estar activado, por lo tanto solo debe existir un tiempo de ciclo durante el funcionamiento del sistema.

La selección de los ramales se realiza mediante señales externas provenientes de funciones de entrada que pueden venir de interruptores, sensores o de relevadores. Las señales se obtienen a través de los contactos normalmente abiertos o cerrados de los que disponen estos dispositivos.

La representación de un sistema con *m* ramales y con *n* temporizadores en cada ramal se presenta de forma general en el diagrama de la Fig. 9-38.

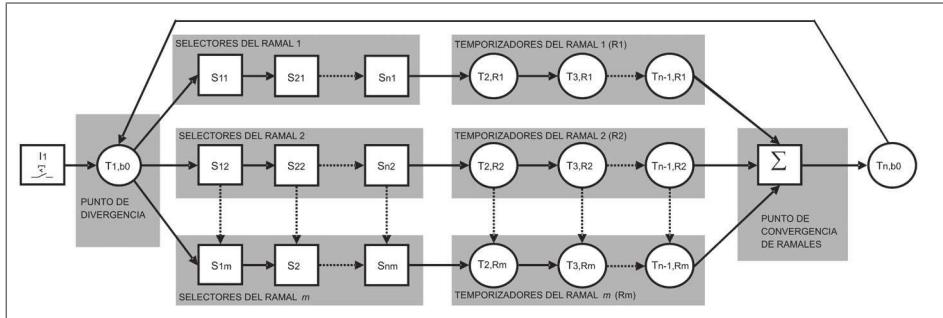


Fig. 9-38. Diagrama de “Temporizadores en Cascada” con m ramales.

En un sistema con m ramales no necesariamente cambia el tiempo de ciclo, puede suceder que solo se estén seleccionando funciones diferentes entre ramales.

Del diagrama de la Fig. 9-38 se puede entender que la función de inicio $I1$ es la encargada de encender y mantener encendido el sistema. El temporizador 1 ($T1,b0$), localizado en la línea principal, es el punto de divergencia del sistema. Después pasa por la matriz de interruptores (S), que son los encargados de seleccionar el ramal que va a estar en operación. La matriz de los valores lógicos de los selectores de cada ramal son condicionados mediante la operación de la multiplicación con el temporizador localizado en la línea principal inmediato anterior a la matriz de valores lógicos, en este caso $T1,b0$, lo que da como resultado la ecuación lógica de los temporizadores ($T2,R1$, $(T2,R2)$ y $(T2,Rm)$).

El final de cada ramal es unido en el punto de convergencia que es representado por la operación suma. De esta operación sale un conector de enlace que conecta un temporizador como fin de la línea principal. Pueden existir sistemas que se conecte la retroalimentación en lazo desde el punto de convergencia. El diagrama de la Fig. 9-38 sí cuenta con un temporizador como finalizador de la línea principal que se llama $Tn,b0$.

La nomenclatura de los temporizadores es la siguiente:

- $T1,b0$: temporizador 1 localizado en la línea principal (b0).
- $T2,R1$: temporizador 2 localizado en el ramal 1 (R1).
- S_{n1} : sensor o interruptor n localizado en la combinación o estado 1 de la tabla de valores de los selectores, su valor lógico puede ser “1” o “0”.
- S_{1n} : sensor o interruptor 1 localizado en la combinación o estado n de la misma tabla de valores de los selectores, y su valor lógico puede ser “1” o “0”.

La matriz de valores lógicos que selecciona cada uno de los ramales se obtiene de una tabla que representa todos los valores lógicos de los interruptores o selectores llamados S , donde cada combinación puede seleccionar un ramal. La matriz de valores lógicos es representada de manera general en la Tabla 9-5. Esta Tabla puede

provenir de una tabla de estados, si el sistema es del tipo secuencial, o de una tabla de combinaciones, si el sistema es del tipo combinacional, depende del tipo de sistema encargado de seleccionar los ramales.

S1	S2	...	Sn
S11	S21	...	Sn1
S12	S22	...	Sn2
.	.		.
.	.		.
.	.		.
S1n	S2n	...	Sn

Tabla 9-5. Tabla de valores lógicos de la matriz formada por los selectores de los ramales.

9.9.1 Operaciones de suma y multiplicación en un sistema secuencial

La aplicación de estas operaciones es para obtener las ecuaciones lógicas de una función de salida donde el encendido, apagado o ambas acciones dependen de dos o más temporizadores localizados en diferentes líneas principales, dependiendo de la ubicación de los conectores de enlace es la función a ser utilizada. La representación de ambas operaciones se realiza mediante un cuadro identificado por la función a realizar. El cuadrante de contactos no aplica a los conectores de enlace que conectan ambas operaciones al sistema de tiempos.

Multiplicación

Esta operación es aplicada cuando dos o más conectores de enlace, provenientes de temporizadores localizados en diferentes ramales, condicionan una función de salida o de tiempo en la acción de apagado. La dirección natural de estos conectores de enlace debe localizarse en el segundo y tercer cuadrante y en línea vertical en ambas direcciones. La Fig. 9-39 muestra cómo es representada esta función. Esta operación también es aplicable a la matriz de valores lógicos de los selectores de ramales.

Hasta el momento la multiplicación ha estado implícita al conectar una función de salida al sistema de tiempos. Esta operación al ser transferida a un diagrama de lógica de contactos se representa mediante la conexión en serie de las condiciones que entran a la función de la multiplicación.

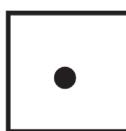


Fig. 9-39. Representación de la multiplicación.

Suma

Esta operación aplica cuando una función es condicionada en el encendido por dos o más conectores de enlace provenientes de temporizadores localizados en diferentes ramales, también aplica a los conectores de enlace que provienen de señales externas de entrada o de funciones de memoria. Los conectores de enlace que entran a la suma de funciones deben tener una dirección natural que se ubique en el primer y cuarto cuadrante, y en la línea horizontal con dirección a la derecha de estar localizados en la línea horizontal derecha y en el primer y cuarto cuadrante.

Esta operación también es utilizada al final de un sistema con varios ramales como punto de convergencia. La operación suma es el circuito paralelo al ser representada en un diagrama de lógica de contactos.



Fig. 9-40. Representación de la suma.

Ejemplo 9.9.1

El diagrama de la Fig. 9-41 muestra una parte de un sistema automático. En él existen dos ramales: el ramal 1 (R1), compuesto por tres temporizadores y el ramal 2 (R2), compuesto por dos temporizadores; ambos convergen en una operación suma y el resultado activa el temporizador T5,b0, de este temporizador se retroalimenta en lazo al sistema.

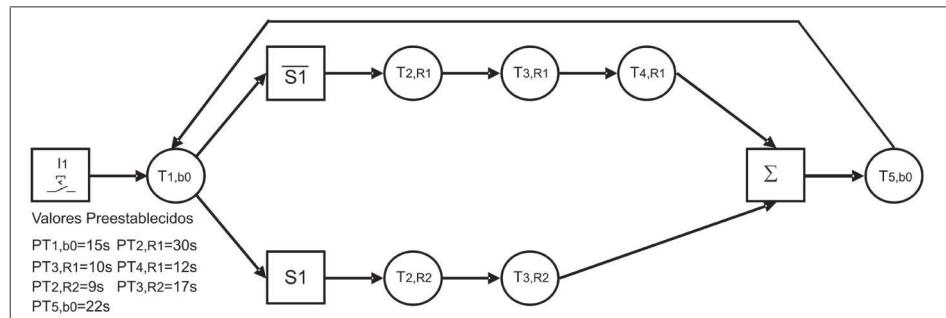


Fig. 9-41. Diagrama del ejemplo 9.9.1.

La selección de los ramales está a cargo del selector S1. Se entiende que al estar abierto S1, el ramal que está en operación es el 1. Al encenderse el interruptor S1 se selecciona el ramal 2; esta lógica se muestra en la tabla de valores lógicos de la Tabla 9-6.

S1	R1	R2
0	1	0
1	0	1

Tabla 9-6. Tabla de valores del interruptor S1.

Los temporizadores $T1,b0$ y $T5,b0$, primer y quinto temporizador, al estar localizados en la línea principal funcionan con ambos ramales, ésta es la razón por la cual se identifican con b0.

Si se selecciona el ramal 1 se toma en cuenta que funcionarán los cinco temporizadores ($T1,b0$, $T2,R1$, $T3,R1$, $T4,R1$ y $T5,R0$) y cuando se selecciona el ramal 2 están en función los cuatro temporizadores ($T1,b0$, $T2,R2$, $T3,R2$, y $T5,b0$). Nótese que este ramal no cuenta con el cuarto temporizador, del tercero pasa al quinto.

El selector de ramales al ser un componente externo es representado mediante un cuadro con la identificación del estado lógico con que conecta cada ramal. A los conectores de enlace que provienen de esta función de entrada no se les aplica el cuadrante de contactos por ser una función de entrada y por tener definido el nivel lógico con que conecta los temporizadores $T2,R1$ y $T2,R2$. Los conectores de enlace que entran al interruptor S1 en cada una de las líneas principales se condicionan mediante la operación de la multiplicación con el valor lógico que tiene el interruptor S1, al provenir de una función de tiempo a estos conectores de enlace sí se les aplica el cuadrante de contactos.

Se puede calcular el tiempo que va a tardar en cumplirse cualquiera de los dos ramales. Si el sistema no cuenta con una línea principal, este tiempo es el tiempo de ciclo; el resultado es la sumatoria de los valores preestablecidos de los temporizadores localizados en cada uno de los ramales, que puede ser expresada mediante la siguiente ecuación general (Ec. 6).

Ecuación (Ec. 6)

Cálculo del tiempo del m-esimo ramal (rm)

$$T_{Rm} = \sum_{t=i}^n P_{Tt, Rm}$$

Donde:

i= Temporizador inicial de la línea principal.

P_{T_{t,Rm}}= Valor preestablecido del t-esimo temporizador localizado en el m-esimo ramal.

T_{Rm}= Tiempo de ciclo del m-esimo ramal.

n= Número máximo de temporizadores del sistema, algunos serán cero.

m= m-esimo ramal.

C Cálculo de tiempo para el ramal 1

Es importante mencionar que el valor de n debe ser tomado solo del ramal en función. Con esto se indica que no se interprete como el valor n -ésimo donde se incluyen los temporizadores del ramal y los de la línea principal.

El valor de n es el número máximo de temporizadores del sistema, incluidos los temporizadores que forman la línea principal y el ramal con más temporizadores, al no existir algunos temporizadores, éstos serán eliminados con un valor de tiempo preestablecido igual a cero.

Para calcular el tiempo que tarda en cumplirse el ramal 1 se deben considerar los siguientes valores: $i=2$, $n=5$ y $m=1$.

$$T_{R1} = \sum_{t=i}^n P_{Tt,Rm} = \sum_{t=2}^5 P_{Tt,R1} = P_{T2,R1} + P_{T3,R1} + P_{T4,R1} + P_{T5,R1}$$

Al no existir el temporizador $T5,R1$ se considera un valor de tiempo igual a cero del valor preestablecido ($P_{T5,R1}$). Si se realiza esta consideración se obtiene el tiempo del ramal 1 ($TR1$).

$$T_{R1} = P_{T2,R1} + P_{T3,R1} + P_{T4,R1} + P_{T5,R1} = 30\text{ s} + 10\text{ s} + 12\text{ s} + 0\text{ s} = 52\text{ s}$$

C Cálculo de tiempo para el ramal 2

Para este ramal se obtienen los siguientes valores de $i=2$, $n=5$ y $m=2$.

$$T_{R2} = \sum_{t=i}^n P_{Tt,Rm} = \sum_{t=2}^5 P_{Tt,R2} = P_{T2,R2} + P_{T3,R2} + P_{T4,R2} + P_{T5,R2}$$

$$T_{R2} = P_{T2,R2} + P_{T3,R2} + P_{T4,R2} + P_{T5,R2} = 9\text{ s} + 17\text{ s} + 0\text{ s} + 0\text{ s} = 26\text{ s}$$

Los valores obtenidos no corresponden al tiempo de ciclo de cada uno de los ramales. El sistema cuenta con una línea compuesta por los temporizadores $T1,b0$ y $T5,b0$ que afecta al tiempo de ciclo de los dos ramales, ésta es la razón por la cual se la llama *línea principal*.

De los dos cálculos obtenidos se puede definir que el n -ésimo temporizador es el último de cada ramal. Esta opción también se puede utilizar para calcular el tiempo de cada ramal o la opción utilizada en la solución de cada ramal.

9.9.2 C Cálculo del tiempo de ciclo de un sistema con m ramales y línea principal

Los sistemas con m ramales pueden incluir una línea principal dentro de su secuencia, de tal manera que el tiempo de ciclo se ve afectado por el tiempo que toma en ser ejecutada y el tiempo que toma cada ramal, lo que da como resultado una sumatoria de valores preestablecidos de los temporizadores localizados en cada una de las secciones, línea principal y ramal. Esta suma de tiempos se expresa mediante la ecuación general 7 (Ec.7) propia del método.

Ecuación (Ec. 7)

Cálculo del tiempo de ciclo de un sistema con m ramales y línea principal (trfciclo)

$$T_{RmTCiclo} = \sum_{t=1}^n P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^n P_{Tt,Rm}$$

Donde:

i = Es el temporizador de inicio del m -esimo ramal, temporizador localizado después del punto de divergencia.

m = Es el m -esimo ramal al cual se le va a obtener el tiempo de ciclo.

n = Es el n -esimo temporizador localizado en la línea principal; también incluyen los temporizadores de los ramales.

$P_{Tt,b0}$ = Valor preestablecido del t -esimo temporizador localizado en la línea principal.

$P_{Tt,Rm}$ = Valor preestablecido del t -esimo temporizador localizado en el m -esimo ramal.

$T_{RmTCiclo}$ = Tiempo de ciclo del m -esimo ramal.

Si se aplica la ecuación 7 se puede calcular el tiempo de ciclo que toma el sistema cuando es seleccionado cada uno de los ramales del ejemplo 9.9.1. El sistema es mostrado en la Tabla 9-6. Para este ejemplo se obtienen los siguientes valores:

Tiempo de ciclo para el ramal 1 (R1)

Para calcular el tiempo de ciclo del ramal 1 se deben considerar los siguientes valores: $n=5$, $i=2$ y $m=1$.

$$T_{R1TCiclo} = \sum_{t=1}^n P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^n P_{Tt,Rf} = \sum_{t=1}^5 P_{Tt,b0} + \sum_{t=2}^5 P_{Tt,R1}$$

$$T_{R1TCiclo} = (P_{T1,b0} + P_{T2,b0} + P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T5,b0}) + (P_{T2,R1} + P_{T3,R1} + P_{T4,R1} + P_{T5,R1})$$

$$T_{R1TCiclo} = (15s + 0s + 0s + 0s + 22s) + (30s + 10s + 12s + 0s) = 79s$$

Tiempo de ciclo para el ramal 2 (R2)

Para calcular el tiempo de ciclo del ramal 2 se deben considerar los siguientes valores: $n=5$, $i=2$ y $m=2$.

$$T_{RmTCiclo} = \sum_{t=1}^n P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^n P_{Tt,Rm} = \sum_{t=1}^5 P_{Tt,b0} + \sum_{t=2}^5 P_{Tt,R2}$$

$$T_{R2TCiclo} = (P_{T1,b0} + P_{T2,b0} + P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T5,b0}) + (P_{T2,R2} + P_{T3,R2} + P_{T4,R2} + P_{T5,R2})$$

$$T_{R2TCiclo} = (15s + 0s + 0s + 0s + 22s) + (9s + 17s + 0s + 0s) = 63s$$

Ejemplo 9.9.2

El siguiente diagrama que se muestra en la Fig. 9-42 es parte de un sistema secuencial y cuenta con tres entradas externas: I es la entrada encargada de encen-

der y mantener encendido el sistema de tiempos, las entradas S1 y S2 se encargan de seleccionar los ramales mediante los valores lógicos de ambas entradas. El punto de divergencia es el temporizador $T3,b0$ y el punto de convergencia se realiza con la operación suma.

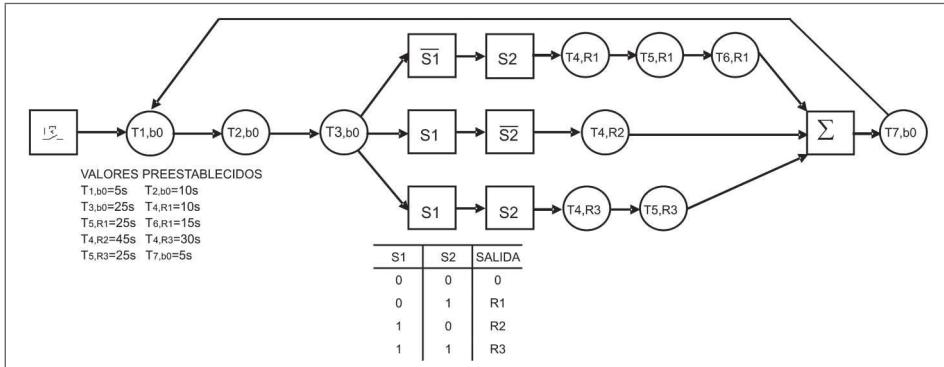


Fig. 9-42. Diagrama de tiempos del ejemplo 9.9.2.

Mediante la salida de la tabla, la tabla de valores lógicos muestra la selección de los ramales.

Enseguida se realizan los cálculos correspondientes, aplicando la ecuación general 7, para encontrar el tiempo de ciclo en cada uno de los ramales R1, R2 y R3.

Resultado del ramal 1

Los valores para la sección de la línea principal del sistema son $n=7$, debido al temporizador localizado al final de la línea principal ($T7,b0$) y $t=1$ debido a que siempre un sistema de tiempos inicia con el temporizador 1 ($T1,b0$). Los valores propios del ramal son $i=4$ debido a que es el temporizador de inicio del ramal 1 ($T4,R1$), $m=1$ por ser el ramal 1 al que se le va a obtener el tiempo de ciclo y $n=7$ debido a que es el número de temporizadores que tiene el sistema. Si se le aplican estos valores a la ecuación 7 se obtiene el tiempo de ciclo del sistema si el ramal 1 es seleccionado.

$$T_{R1TCiclo} = \sum_{t=1}^n P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^n P_{Tt,R1} = \sum_{t=1}^7 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^7 P_{Tt,R1}$$

$$T_{R1TCiclo} = (P_{T1,b0} + P_{T2,b0} + P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T5,b0} + P_{T6,b0} + P_{T7,b0}) + (P_{T4,R1} + P_{T5,R1} + P_{T6,R1} + P_{T7,R1})$$

$$T_{R1TCiclo} = (5s + 10s + 25s + 0s + 0s + 0s + 5s) + (10s + 25s + 5s + 0s) = 85s$$

Resultado del ramal 2

Los valores de la sección de la línea principal permanecen, los que cambian son los valores aplicados a la sección del ramal, $m=2$, $i=4$ y $n=7$.

$$T_{R2TCiclo} = \sum_{t=1}^n P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^n P_{Tt,R2} = \sum_{t=1}^7 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^7 P_{Tt,R2}$$

$$T_{R2TCiclo} = (P_{T1,b0} + P_{T2,b0} + P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T5,b0} + P_{T6,b0} + P_{T7,b0}) + (P_{T4,R2} + P_{T5,R2} + P_{T6,R2} + P_{T7,R2})$$

$$T_{R1TCiclo} = (5s + 10s + 25s + 0s + 0s + 0s + 5s) + (45s + 0s + 0s + 0s) = 90s$$

Resultado del ramal 3

Los valores para encontrar el tiempo de ciclo al seleccionar el ramal 3 son $m=3$, $i=4$ y $n=7$.

$$T_{R3TCiclo} = \sum_{t=1}^n P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^n P_{Tt,R3} = \sum_{t=1}^7 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^7 P_{Tt,R3}$$

$$T_{R2TCiclo} = (P_{T1,b0} + P_{T2,b0} + P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T5,b0} + P_{T6,b0} + P_{T7,b0}) + (P_{T4,R2} + P_{T5,R2} + P_{T6,R2} + P_{T7,R2})$$

$$T_{R1TCiclo} = (5s + 10s + 25s + 0s + 0s + 0s + 5s) + (30s + 25s + 0s + 0s) = 100s$$

También se puede obtener el tiempo de un ramal aplicando una sumatoria a partir del temporizador inmediato siguiente al punto de divergencia hasta el temporizador que conecta el ramal al punto de convergencia. Si se sigue esta regla se puede obtener el tiempo de ciclo de cada ramal. Para el ramal 1 se tendría una sumatoria desde $T4,R1$ hasta $T6,R1$; para el ramal 2 el valor de tiempo es el valor preestablecido de $T4,R2$ ya que solo existe un temporizador; por último, para el ramal 3 se considera una sumatoria desde el temporizador $T4,R3$ hasta $T5,R3$. Si se realizan estas consideraciones se llega al mismo resultado que se obtiene con la fórmula, esto obedece a que algunos temporizadores no existen, y si se tiene un valor de tiempo igual a cero.

9.9.3 Sistema con q funciones de salida y m ramales

Un sistema con m ramales puede tener q funciones de salida dependientes en el encendido y apagado de temporizadores localizados en los ramales y línea principal. Solo existen cuatro posibles combinaciones de conexión entre la línea principal, las funciones de salida y los ramales, y son las siguientes:

- I. Encendida y apagada por temporizadores localizados en la línea principal.
- II. Encendida y apagada por temporizadores localizados en uno o más ramales.
- III. Encendida por un temporizador localizado en la línea principal y apagada por uno o varios temporizadores localizados en los ramales del sistema.
- IV. Encendida por temporizadores localizados en uno o más ramales y apagada por un temporizador localizado en la línea principal.

La Fig. 9-43 muestra un sistema con m ramales, cada uno de ellos cuenta con q funciones de salida. Como ya se ha mencionado, la selección del ramal está a cargo de la matriz de selectores. Los conectores de enlace que provienen de los selectores no entran en el cuadrante de contactos ya que tienen el valor lógico definido, los conectores de enlace de los selectores se condicionan mediante la operación de la multiplicación con el conector de enlace del temporizador que realiza la función de punto de divergencia, esto aplica a cada ramal. El diagrama se muestra en la Fig. 9-43.

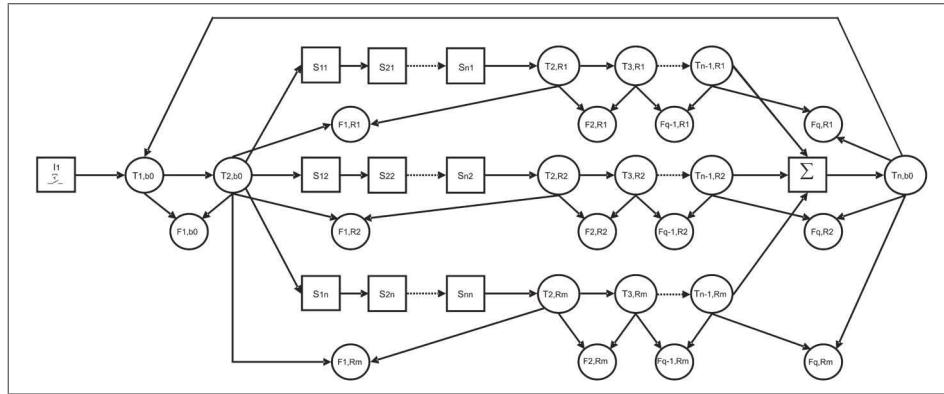


Fig. 9-43. Sistema secuencial con m ramales y q funciones de salida.

De este sistema se puede obtener un tiempo de ciclo por cada ramal y el tiempo de encendido de cada una de las funciones de salida. Depende del caso, son las consideraciones a ser realizadas.

Para analizar las situaciones propuestas se utiliza como ejercicio el ejemplo 9.9.2 al que se le han agregado funciones de salida ubicadas en los tres casos mencionados, lo que da como resultado el sistema que se muestra en la Fig. 9-44 del ejemplo 9.9.3.

Ejemplo 9.9.3

La Fig. 9-44 muestra un sistema con tres ramales al que se le han agregado operaciones de multiplicación aplicadas a los selectores de ramales, el temporizador que realiza la función de punto de divergencia y las funciones de salida dependientes en el apagado por temporizadores localizados en los tres ramales. Se han agregado funciones de salida ubicadas en las tres combinaciones ya mencionadas. Como solución se debe encontrar el tiempo de ciclo que toma el sistema al seleccionar cada uno de los ramales y el tiempo que permanece encendida cada función de salida.

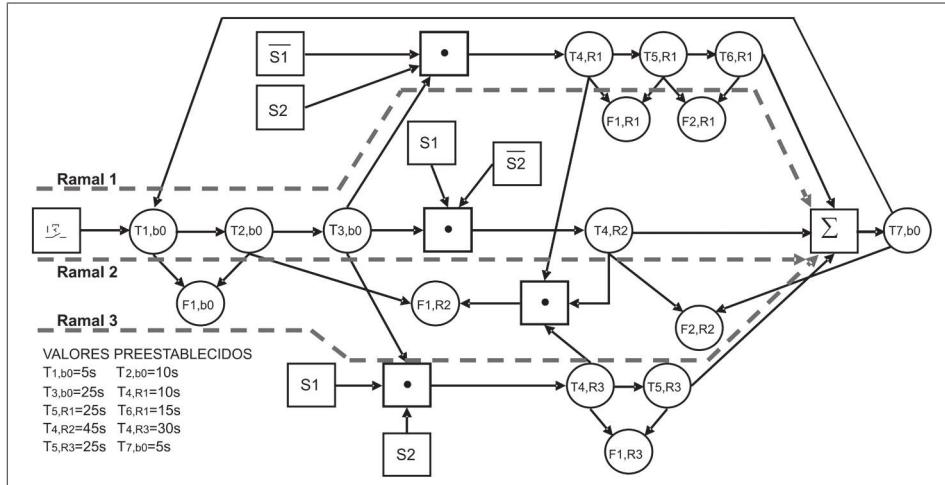


Fig. 9-44. Diagrama de tiempos del ejemplo 9.9.3 con funciones de salida.

9.9.3.1 Función dependiente de temporizadores localizados en la Línea principal ($F1,b0$)

En esta situación aparece la función $F1,b0$, dependiente en el encendido del temporizador $T1,b0$ y en el apagado del temporizador $T2,b0$; ambos están localizados en la línea principal del sistema. Para calcular el tiempo que está encendida una función con estas condiciones de encendido se realiza una sumatoria desde $Tc+1$, temporizador subsiguiente al que enciende la función de salida, hasta Ta , temporizador que apaga esta función, considerando que ambos temporizadores deben estar localizados en la línea principal. Esta sumatoria se puede representar mediante la ecuación general 8 (Ec. 8), donde los valores de c y a son los temporizadores encargados de encender y apagar la función de salida respectivamente.

Ecuación (Ec. 8)

Tiempo de operación de una función dependiente de línea principal (encendido y apagado) en un sistema con m ramales ($T_{Fq,b0}$)

$$T_{Fq,b0} = \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,b0}$$

Donde:

$P_{Tt,b0}$ = Valor preestablecido del t-esimo temporizador localizado en una línea principal

Tiempo de operación de la función F1,b0

La función F1,b0 es la única en esta situación. La sección del diagrama de tiempos se muestra en la Fig. 9-45.

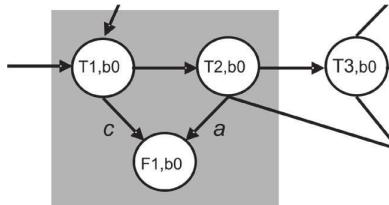


Fig. 9-45. Función F1,b0 dependiente de temporizadores localizados en la línea principal.

Para obtener el tiempo que está encendida la función F1,b0 se deben considerar los siguientes valores: $c=1$, valor que se debe al temporizador que controla el conector de enlace encargado de encender la función; $a=2$, debido al conector de enlace que controla el apagado de la función de salida; $m=1$, por ser la función F1,b0 a quien se le va a obtener el tiempo de operación.

Si se aplica la ecuación 8 se obtiene el siguiente resultado:

$$T_{F1,b0} = \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,b0} = \sum_{t=1+1}^2 P_{Tt,b0} = \sum_{t=2}^2 P_{Tt,b0} = P_{T2,b0}$$

El tiempo de encendido de la función F1,b0 es igual al valor preestablecido del temporizador T2,b0. Se sustituye el valor de tiempo en la ecuación, lo que da como resultado el siguiente valor:

$$T_{F1,b0} = 10\text{ s}$$

9.9.3.2 Función dependiente de temporizadores localizados en uno o varios ramales ($F_{q,Rm}$)

En esta situación se encuentran las funciones F1,R1, F2,R1 y F1,R3, que están ubicadas en los ramales 1 y 2. El tiempo de operación de estas funciones se puede obtener a partir de la ecuación 8, solo es necesario cambiar de ubicación a los temporizadores de la línea principal al ramal de ubicación de los temporizadores. Si se realiza este cambio a la ecuación 8 se obtiene la ecuación 9 (Ec. 9).

Ecuación (Ec. 9)

Tiempo de operación de una función dependiente de un ramal (encendido y apagado) en un sistema con m ramales ($T_{Fq,Rm}$)

$$T_{Fq,Rm} = \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,Rm}$$

Donde:

$P_{Tt,Rm}$ = Valor preestablecido del t-esimo temporizador localizado en el m-esimo ramal

Tiempo de operación de las funciones F1,R1 Y F2,R1

Si se aplica la ecuación 9 se puede obtener el tiempo de operación de estas funciones. En la Fig. 9-46 se muestra una sección del ramal 1 con la ubicación de las funciones de salida y se pueden definir los valores de a y c al identificar la procedencia de los conectores de enlace.

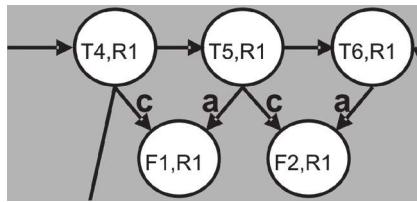


Fig. 9-46. Funciones que dependen de temporizadores localizados en un ramal.

Tiempo de operación de la función F1,R1

Para esta función $a=5$, por ser el temporizador T5,R1 de donde sale este conector de enlace, $c=4$, por el temporizador T4,R1 de donde sale el conector de enlace, $q=1$, por ser la función 1 a la que se le va a obtener el tiempo de operación y $m=1$, por ser el ramal 1 que es donde se ubica la función 1. Si se sustituyen estos valores a la ecuación 9 se obtiene el tiempo de operación de la función.

$$T_{F1,R1} = \sum_{t=4+1}^5 P_{Tt,R1} = \sum_{t=5}^5 P_{Tt,R1} = P_{T5,R1} = 25s$$

Tiempo de operación de la función F2,R1

Para esta función $a=6$, $c=5$, $q=2$, por ser la función 2 a la que se le va a obtener el tiempo de operación y $m=1$, por ser el ramal 1 ubicación de la función 2. Si se sustituyen estos valores a la ecuación 9 se obtiene el tiempo de operación de la función 2.

$$T_{F2,R1} = \sum_{t=5+1}^6 P_{Tt,R1} = \sum_{t=6}^6 P_{Tt,R1} = P_{T6,R1} = 15s$$

Tiempo de operación de la función F1,R3

En la Fig. 9-47 se localiza la función de salida F1,R3. Los conectores de enlace que condicionan a la función son identificados para obtener los valores y sustituirlos en la ecuación.

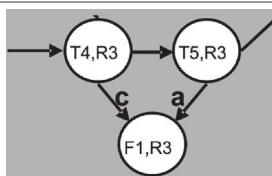


Fig. 9-47. Localización de la función F1,R3.

Se obtienen los siguientes valores: $a= 5$, $c=4$, $q=1$, por ser la función 1 y $m=3$, por estar localizada la función en el ramal 3, estos valores son sustituidos en la ecuación 9 para obtener el tiempo de operación de la función 1.

$$T_{F1,R3} = \sum_{t=4+1}^5 P_{Tt,R3} = \sum_{t=5}^5 P_{Tt,R3} = P_{T5,R3} = 25s$$

9.9.3.3 Función dependiente de temporizadores localizados en ramal y linea principal ($F_{q,Rm}$)

La función $F1,R2$ es encendida por un temporizador localizado en la línea principal y apagada por tres temporizadores localizados uno en cada ramal. Al depender en el apagado de dos o más temporizadores localizados en diferentes ramales, la función de salida podrá tener diferentes tiempos de encendido dependiendo del ramal que esté en operación.

El diagrama de tiempos del ejemplo 9.9.3 muestra la función $F1,R2$ en esta situación. El tiempo que está encendida esta función es la sumatoria de los valores preestablecidos desde el temporizador $Tc+1$ localizado en la línea principal hasta el temporizador Ta localizado en el m -esimo ramal. Esta sumatoria puede expresarse mediante la ecuación general 10 (Ec. 10).

Ecuación (Ec. 10)

Tiempo de operación de una función dependiente de línea principal (encendido) y ramales (apagado) ($T_{Fq,Rm}$)

$$T_{Fq,Rm} = \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^a P_{Tt,Rm}$$

Donde:

$P_{Tt,Rm}$ = Valor preestablecido del t -esimo temporizador localizado en el ramal m .

$P_{Tt,b0}$ = Valor preestablecido del t -esimo temporizador localizado en la línea principal parcial.

R_m = m -esimo ramal del sistema de temporizadores en cascada que actúa sobre la función de salida con el conector de enlace a .

El tiempo que permanece encendida la función es la solución que se debe obtener aplicando la ecuación 10. Esta función es condicionada en el encendido por el temporizador $T2,b0$ y en el apagado por tres temporizadores, ubicados cada uno en un ramal diferente. La Fig. 9-48 muestra cómo entran las condiciones a la función y también a los conectores de enlace a y c . Se tienen tres conectores de enlace identificados como a , esto indica que cada uno de los ramales tiene injerencia en el apagado de la función.

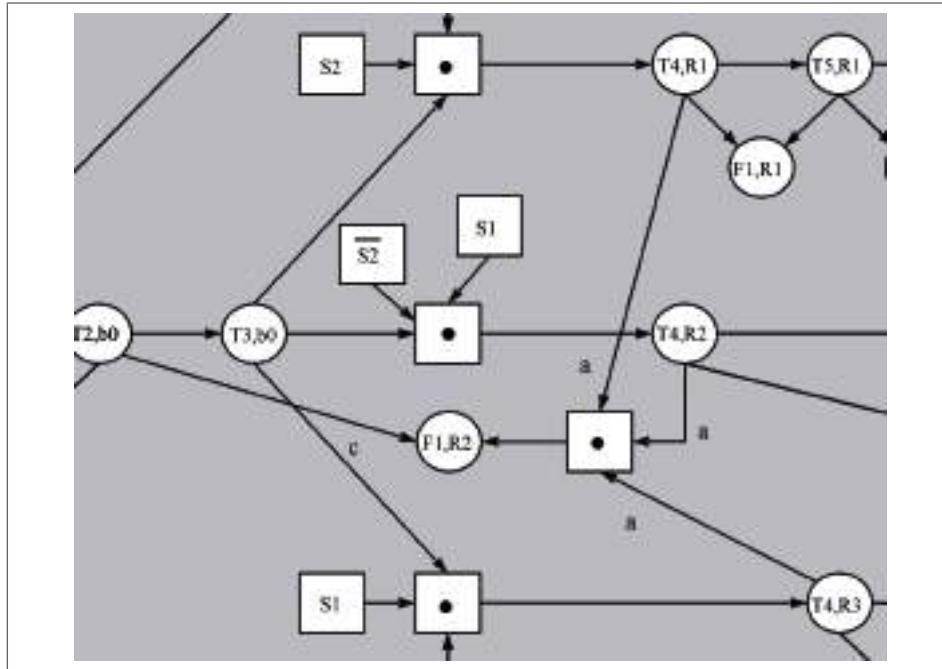


Fig. 9-48. Función F1,R2 con los conectores de enlace que condicionan su encendido y apagado.

Tiempo de operación de la función F1,R2 en el ramal 1

Si se aplica la ecuación 10 se puede obtener el tiempo que permanece encendida la función F1,R2. Para encontrar este valor de tiempo se considera $m=1$ por ser el temporizador $T4,R1$ el que actúa sobre la función F1,R2 en el ramal 1, $q=1$ por ser la función 1 a la que se le va a obtener el tiempo que permanece encendida, $c=2$ por el temporizador $T2,b0$ es el que condiciona el encendido de la función, $i=4$ por ser el temporizador de inicio del ramal y $a=4$ porque $T4,R1$ es el encargado de apagar la función de salida. Si se sustituyen estos valores en la ecuación 10 se obtiene el tiempo de $TF1,R2$.

$$TF_{q,Rm} = \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^a P_{Tt,Rm} = \sum_{t=2+1}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R1} = \sum_{t=3}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R1}$$

$$TF1,R2 = (P_{T3,b0} + P_{T4,b0}) + P_{T4,R1} = P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T4,R1} = 25\text{s} + 0\text{s} + 10\text{s} = 35\text{s}$$

Se puede denotar que, dentro de la fórmula, el valor m indica al n -ésimo temporizador localizado en el m -ésimo ramal y fuera indica el ramal donde se localiza la función a la cual se le está obteniendo el resultado.

Tiempo de operación de la función F1,R2 en el ramal 2

Se sigue aplicando la ecuación 10 y para este ramal los valores son $m=2$ por ser el temporizador $T4,R2$ el que actúa sobre la función $F1,R2$ en el ramal 2, $q=1$ por ser la función 1 a la que se le va a obtener el tiempo que permanece encendida, $c=2$ por el temporizador $T2,b0$ es el que condiciona el encendido de la función, $i=4$ por ser el temporizador de inicio del ramal y $a=4$ porque $T4,R2$ es el encargado de apagar la función de salida. Si se sustituyen estos valores en la ecuación 10 se obtiene el tiempo de $TF1,R2$ cuando actúa el ramal 2.

$$TF_{q,Rm} = \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^a P_{Tt,Rm} = \sum_{t=2+1}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R2} = \sum_{t=3}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R2}$$

$$TF_{1,R2} = (P_{T3,b0} + P_{T4,b0}) + P_{T4,R2} = P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T4,R2} = 25s + 0s + 45s = 70s$$

Tiempo de operación de la función F1,R2 en el ramal 3

Si se aplica la ecuación 10 se puede obtener el tiempo que permanece encendida la función $F1,R2$ cuando se selecciona el ramal 3. Para encontrar este valor de tiempo se considera $m=3$ por ser el temporizador $T4,R3$ el que actúa sobre la función $F1,R2$ en el ramal 3, $q=1$ por ser la función 1 a la que se le va a obtener el tiempo que permanece encendida, $c=2$ porque el temporizador $T2,b0$ es el que condiciona el encendido de la función, $i=4$ por ser el temporizador de inicio del ramal y $a=4$ por ser $T4,R3$ el encargado de apagar la función de salida. Si se sustituyen estos valores en la ecuación 10 se obtiene el tiempo de $TF1,R2$ para el ramal 3.

$$TF_{q,Rm} = \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^a P_{Tt,Rm} = \sum_{t=2+1}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R3} = \sum_{t=3}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R3}$$

$$TF_{1,R2} = (P_{T3,b0} + P_{T4,b0}) + P_{T4,R3} = P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T4,R3} = 25s + 0s + 30s = 55s$$

Otra forma de resolver la función de salida $F1,R2$ es dividir en tres sub-funciones, cada una conectada a un ramal, y después sumarlas para obtener una función.

9.9.3.4 Función dependiente de temporizadores localizados en un ramal (encendido) y línea principal (apagado) (Fq,Rm)

En el encendido esta función depende de uno o varios temporizadores localizados en los ramales, y en el apagado, por un temporizador localizado en la línea principal. El tiempo que permanece encendida la función de salida es la sumatoria de tiempos a partir del temporizador $Tc+1$, localizado en un ramal, hasta el temporizador Ta , localizado en la línea principal. Esta sumatoria es dividida en dos etapas: la primera está compuesta por los temporizadores que conforman la parte del ramal y la segunda por los temporizadores localizados en la línea principal que afecta el tiempo de operación de la función, esta sumatoria se puede expresar mediante la ecuación general 11 (Ec. 11).

Ecuación (Ec. 11)

Tiempo de operación de una función dependiente en el encendido de uno o varios ramales y en el apagado por la línea principal ($T_{Fq,Rm}$)

$$T_{Fq,Rm} = \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,Rm} + \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,b0}$$

Donde:

$P_{Tt,Rm}$ = Valor preestablecido del t -esimo temporizador localizado en el ramal m .

$P_{Tt,b0}$ = Valor preestablecido del t -esimo temporizador localizado en la línea principal parcial.

R_m = m -esimo ramal del sistema de temporizadores en cascada que actúa sobre la función de salida con el conector de enlace a .

En la Fig. 9-49 se muestra cómo los dos conectores de enlace condicionan la función $F2,R2$.

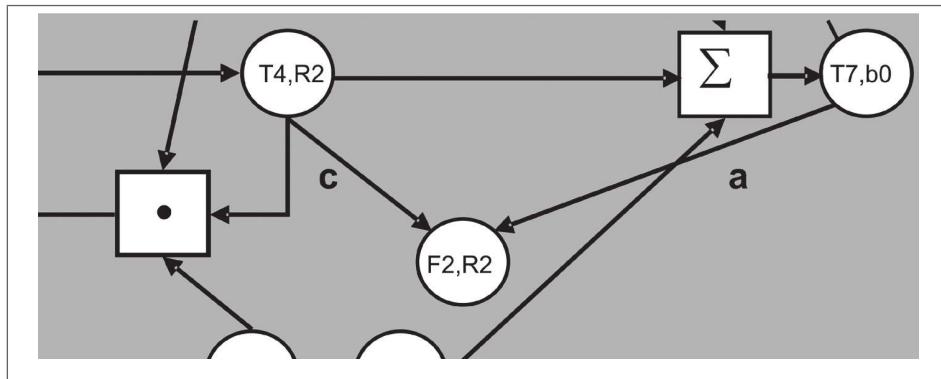


Fig. 9-49. Función $F2,R2$ con los conectores de enlace que condicionan el encendido y apagado de la función.

Cálculo del tiempo de operación de la función $F2,R2$

Para encontrar el tiempo de operación de esta función se toman en cuenta los valores de $c=4$, por ser el temporizador $T4,R2$ el encargado de encender la función; $a=7$, por el temporizador $T7,b0$ encargado de apagar la función de salida; $m=2$ por ser el ramal 2 donde está ubicada la función $F2,R2$ y $q=2$ es la función a la que se le va a obtener el tiempo de operación. Al sustituir los valores en la ecuación 11 se tiene el siguiente resultado:

$$T_{F2,R2} = \sum_{t=4+1}^7 P_{Tt,R2} + \sum_{t=4+1}^7 P_{Tt,b0} = \sum_{t=5}^7 P_{Tt,R2} + \sum_{t=5}^7 P_{Tt,b0}$$

$$T_{F2,R2} = (P_{T5,R2} + P_{T6,R2} + P_{T7,R2}) + (P_{T5,b0} + P_{T6,b0} + P_{T7,b0}) = (0\text{ s} + 0\text{ s} + 0\text{ s}) + (0\text{ s} + 0\text{ s} + 5\text{ s}) = 5\text{ s}$$

El tiempo de operación de la función $F2,R2$ es de 5 segundos y es el valor pre establecido del temporizador $T7,b0$.

Ecuaciones lógicas del sistema

Del ejemplo 9.9.3 se obtiene una ecuación lógica para cada función de salida y de tiempo que se muestra en la Fig. 9-44.

Ecuaciones de funciones de salida

Las ecuaciones de las funciones de salida se obtienen aplicando el cuadrante de contactos a las direcciones de los conectores de enlace, también se aplican las operaciones de suma y multiplicación.

$$\begin{aligned} F_{1,b0} &= T_{1,b0} \overline{T_{2,b0}} \\ F_{1,R2} &= T_{2,b0} \overline{T_{4,R1}} \overline{T_{4,R2}} \overline{T_{4,R3}} \\ F_{1,R1} &= T_{4,R1} \overline{T_{5,R1}} \\ F_{2,R1} &= T_{5,R1} \overline{T_{6,R1}} \\ F_{2,R2} &= T_{4,R2} \overline{T_{7,b0}} \\ F_{1,R3} &= T_{4,R3} \overline{T_{5,R3}} \end{aligned}$$

Ecuaciones de las funciones de tiempo

Las ecuaciones lógicas de las funciones de tiempo $T4,R1$, $T4,R2$ y $T4,R3$, las tres condiciones de tiempo, se ven afectadas por las condiciones con la matriz. Los resultados son los siguientes:

$$\begin{aligned} T_{1,b0} &= I \overline{T_{7,b0}} \\ T_{2,b0} &= T_{1,b0} \\ T_{3,b0} &= T_{2,b0} \\ T_{4,R1} &= \overline{S1} S2 T_{3,b0} \\ T_{4,R2} &= S1 \overline{S2} T_{3,b0} \\ T_{4,R3} &= S1 S2 T_{3,b0} \\ T_{5,R1} &= T_{4,R1} \\ T_{5,R3} &= T_{4,R3} \\ T_{5,R1} &= T_{4,R1} \\ T_{5,R3} &= T_{4,R3} \\ T_{7,b0} &= T_{6,R1} + T_{4,R2} + T_{5,R3} \end{aligned}$$

La ecuación del temporizador $T7,b0$ es la suma de los temporizadores que llegan al punto de convergencia. Las ecuaciones de los temporizadores $T4,R1$, $T4,R2$ y $T4,R3$ son afectadas por los valores lógicos de las entradas de la matriz selectora de circuitos.

Estas ecuaciones son transferidas a un diagrama de lógica de contactos. El resultado se obtiene con el apoyo del programa FluidSim. Éste se muestra en la Fig. 9-50, en la que se identifican las secciones para tener una mejor referencia de las ecuaciones.

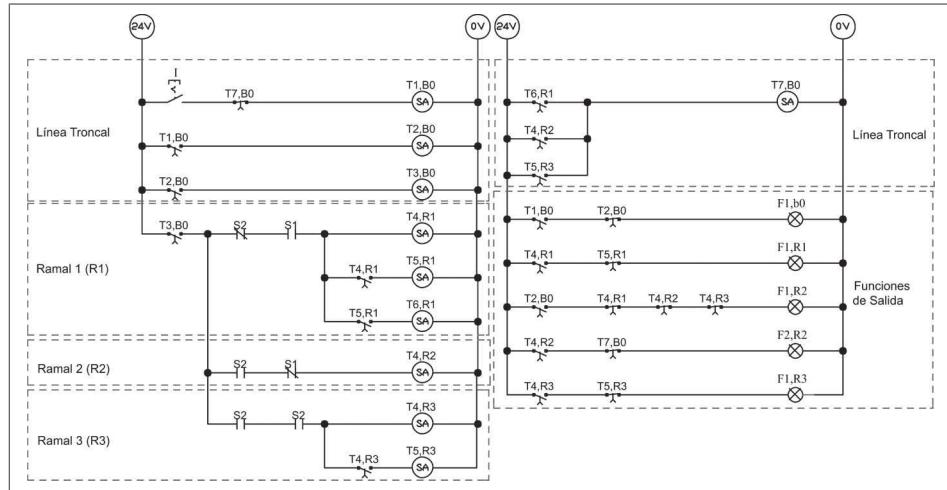


Fig. 9-50. Diagrama de lógica de contactos con el FluidSim del ejemplo 9.9.3.

Ejemplo 9.9.4

El diagrama que se muestra en la Fig. 9-51 es una sección de un sistema secuencial automático. Se debe seleccionar el producto A, B o C. Dependiendo del producto seleccionado, es el ramal que estará en operación. La selección de los ramales se realiza mediante los selectores S1 y S2 que generan la tabla de selección de ramales. El interruptor I1 enciende y mantiene el sistema secuencial en ese estado. Se deben obtener los siguientes puntos:

- Ecuaciones del sistema; una ecuación para cada función de salida y de tiempo.
- El tiempo de operación de cada función de salida.
- El tiempo de ciclo, seleccionando cada ramal.
- Transfiera las ecuaciones lógicas a un diagrama de lógica de contactos para PLC Siemens.

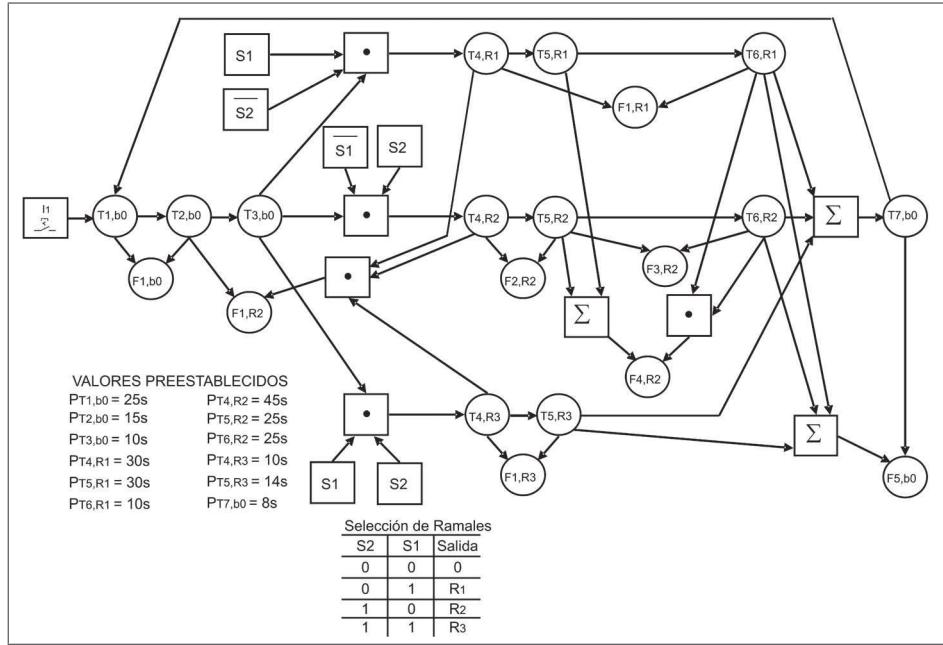


Fig. 9-51. Diagrama de tiempos para el ejemplo 9.9.4, incluye funciones de suma y multiplicación.

a. Ecuaciones del sistema

Las ecuaciones de las funciones de salida se obtienen aplicando el cuadrante de contactos a los conectores de enlace que condicionan las funciones tanto de salida como de tiempo. Las funciones de multiplicación y suma se aplican a las funciones mostradas en el diagrama de la Fig. 9-51.

Las funciones dependientes de temporizadores localizados en los ramales pueden ser condicionadas, además de los temporizadores, con los valores lógicos de los selectores de ramal (S1 y S2) o solo condicionarlas con los temporizadores y dar el mismo resultado en función.

Enseguida se obtienen las ecuaciones de cada función de salida y posteriormente las funciones de tiempo.

La función $F_{1,b0}$ se localiza en la sección de inicio de la línea principal. Esta sección se localiza antes de llegar al temporizador que se encuentra en el punto de divergencia. La ecuación es la siguiente:

$$F_{1,b0} = T_{1,b0} \overline{T_{2,b0}}$$

La función $F_{1,R2}$ está localizada en el ramal 2, pero al ser dependiente en el apagado de los tres ramales se puede ubicar en cualquiera de los tres. La ecuación resultante de esta función es la siguiente:

$$F_{1,R2} = T_{2,b0} (\overline{T_{4,R1}} \overline{T_{4,R2}} \overline{T_{4,R3}})$$

La función $F_{1,R1}$ se localiza en el ramal 1; depende de los temporizadores $T_{4,R1}$ y $T_{6,R1}$. Esto da como resultado la siguiente ecuación:

$$F_{1,R1} = T_{4,R1} \overline{T_{6,R1}}$$

Las funciones $F_{2,R2}$ y $F_{3,R2}$ se localizan en el ramal 2 y dependen de temporizadores localizados en el mismo ramal, el resultado para ambas funciones son las siguientes ecuaciones:

$$F_{2,R2} = T_{4,R2} \overline{T_{5,R2}}$$

$$F_{3,R2} = T_{5,R2} \overline{T_{6,R2}}$$

La función $F_{1,R3}$ está localizada en el ramal 3 y depende de los temporizadores $T_{4,R3}$ y $T_{5,R3}$. Si se tienen estas condiciones la ecuación de la función es la siguiente:

$$F_{1,R3} = T_{4,R3} \overline{T_{5,R3}}$$

La función $F_{4,R2}$ se ubica en el ramal 2, pero también puede ubicarse en el ramal 1, esto ya que depende de ambos ramales. Los temporizadores son condicionados mediante las operaciones de suma y multiplicación. $T_{5,R1}$ y $T_{5,R2}$ son condicionados con la operación de la suma. $T_{6,R1}$ y $T_{6,R2}$ son condicionados con la operación de la multiplicación, lo que da como resultado la siguiente ecuación de la función:

$$F_{4,R2} = (T_{5,R1} + T_{5,R2}) (\overline{T_{6,R1}} \overline{T_{6,R2}})$$

La función $F_{5,b0}$ se ubica en la sección final de la línea principal. En el encendido, tiene como condición a los temporizadores $T_{6,R1}$, $T_{6,R2}$ y $T_{5,R3}$ mediante la operación de la suma; y es apagada con el temporizador $T_{7,b0}$. La ecuación resultante es la siguiente:

$$F_{5,b0} = (T_{6,R1} + T_{6,R2} + T_{5,R3}) \overline{T_{7,b0}}$$

Ecuaciones de temporizadores

Si se aplica el cuadrante de contactos se obtienen las ecuaciones lógicas de los temporizadores. Los temporizadores localizados inmediatamente después del punto de divergencia son condicionados en el encendido por los valores lógicos de las entradas ($S1$ y $S2$), por eso se deben considerar en la ecuación de estos temporizadores.

La función de tiempo $T_{1,b0}$ depende del encendido de la entrada $I1$ y es apagada por el temporizador $T_{7,b0}$. La siguiente ecuación es su resultado:

$$T_{1,b0} = I_1 \overline{T_{7,b0}}$$

La función de tiempo $T_{2,b0}$ está localizada en la sección inicial de la línea principal, antes del punto de divergencia y el encendido depende del temporizador inmediato anterior.

$$T_{2,b0} = T_{1,b0}$$

$T_{3,b0}$ es el punto de divergencia hacia los ramales. El encendido de este temporizador está condicionado por el temporizador inmediato anterior.

$$T_{3,b0} = T_{2,b0}$$

Las ecuaciones de estos tres temporizadores, $T4,R1$, $T4,R2$ y $T4,R3$, se ven afectadas por los valores lógicos de $S1$ y $S2$, de cada ramal. Son los temporizadores de inicio de los tres ramales y se conectan por un solo conector de enlace que sale de una operación de multiplicación. Esta función transfiere los conectores de enlace, que entran en ella, como las condiciones que encienden cada uno de los temporizadores. Las ecuaciones de los tres temporizadores son las siguientes:

$$T_{4,R1} = \overline{S2} S1 T_{3,b0}$$

$$T_{4,R2} = S2 \overline{S1} T_{3,b0}$$

$$T_{4,R3} = S2 S1 T_{3,b0}$$

Los temporizadores $T_{5,R1}$ y $T_{6,R1}$ componen el ramal 1. Sus ecuaciones pueden ser condicionadas por las entradas $S1$ y $S2$ o solo por las funciones de tiempo, el resultado es el mismo en función.

$$T_{5,R1} = T_{4,R1}$$

$$T_{6,R1} = T_{5,R1}$$

Los temporizadores $T5,R2$ y $T6,R2$ componen el ramal 2. También estas ecuaciones pueden ser condicionadas por las entradas $S1$ y $S2$ o solo por las funciones de tiempo, el resultado son las siguientes ecuaciones: Los temporizadores $T5,R2$ y $T6,R2$ componen el ramal 2. También estas ecuaciones pueden ser condicionadas por las entradas $S1$ y $S2$ o solo por las funciones de tiempo, el resultado son las siguientes ecuaciones:

$$T_{5,R2} = T_{4,R2}$$

$$T_{6,R2} = T_{5,R2}$$

El temporizador $T5,R3$ compone el ramal 3, en conjunto con el temporizador $T4,R3$. La ecuación lógica se puede condicionar con las funciones de entrada $S1$ y $S2$, solo se va a condicionar con la función de tiempo. La ecuación de esta función de tiempo es la siguiente:

$$T_{5,R3} = T_{4,R3}$$

b. Cálculo del tiempo de operación de las funciones de salida

Las funciones de salida del sistema se encuentran en los cuatro diferentes casos analizados anteriormente. A continuación se usarán las ecuaciones para obtener el tiempo de operación de cada función.

Función localizada en la Línea principal

La función $F1,b0$ está localizada en la sección de inicio. Para encontrar su tiempo de operación se utiliza la ecuación 8, donde $a=2$, $c=1$ y $q=1$, estos valores se sustituyen en la ecuación.

$$T_{F1,b0} = \sum_{t=1+1}^2 P_{Tt,b0} = \sum_{t=2}^2 P_{Tt,b0} = P_{T2,b0} = 15s$$

Función dependiente de la línea principal y ramales

La función $F1,R2$ depende de los tres ramales, por esta razón se deben obtener tres tiempos de operación, uno para cada ramal. Para obtener los tiempos se utiliza la ecuación 10.

Solución para el ramal 1: los valores son $a=4$, $i=4$, es el temporizador de inicio del ramal 1, $c=2$, $m=1$ y $q=1$. Si se sustituyen estos valores en la ecuación:

$$T_{F1,R2} = \sum_{t=2+1}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R1} = \sum_{t=3}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R1} = P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T4,R1} = 10s + 0s + 30s = 40s$$

Solución para el ramal 2: los valores son $a=4$, $i=4$, es el temporizador de inicio del ramal 2, $c=2$, $m=2$ y $q=1$. Si se sustituyen estos valores en la ecuación:

$$T_{F1,R2} = \sum_{t=2+1}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R2} = \sum_{t=3}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R2} = P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T4,R2} = 10s + 0s + 45s = 55s$$

Solución para el ramal 3: los valores son $a=4$, $i=4$, es el temporizador de inicio del ramal 3, $c=2$, $m=3$ y $q=1$. Si se sustituyen estos valores en la ecuación:

$$T_{F1,R2} = \sum_{t=2+1}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R3} = \sum_{t=3}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=4}^4 P_{Tt,R3} = P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T4,R3} = 10s + 0s + 10s = 20s$$

Funciones dependientes de ramales

Las funciones dependientes de temporizadores localizados en los ramales son $F1,R1$, $F2,R2$, $F3,R2$, $F1,R3$ y $F4,R2$. Para obtener el tiempo de operación de las funciones se utiliza la ecuación 9.

Solución de la función $F1,R1$: los valores son $a=6$, $c=4$, $m=1$ y $q=1$.

$$T_{F1,R1} = \sum_{t=4+1}^6 P_{Tt,R1} = \sum_{t=5}^6 P_{Tt,R1} = P_{T5,R1} + P_{T6,R1} = 30s + 10s = 40s$$

Solución para la función $F2,R2$: los valores son $a=5$, $c=4$, $m=2$ y $q=2$.

$$T_{F2,R2} = \sum_{t=4+1}^5 P_{Tt,R2} = \sum_{t=5}^5 P_{Tt,R2} = P_{T5,R2} = 25s$$

Solución para la función $F_{3,R2}$: los valores son $a=6$, $c=5$, $m=2$ y $q=3$.

$$T_{F3,R2} = \sum_{t=5+1}^6 P_{Tt,R2} = \sum_{t=6}^6 P_{Tt,R2} = P_{T6,R2} = 25s$$

Solución para la función $F_{1,R3}$: los valores son $a=5$, $c=4$, $m=3$ y $q=1$.

$$T_{F1,R3} = \sum_{t=4+1}^5 P_{Tt,R3} = \sum_{t=5}^5 P_{Tt,R3} = P_{T5,R3} = 14s$$

Los valores para el ramal 2 son $a=6$, $c= 5$, $m=2$ y $q=4$.

$$T_{F4, R2} = \sum_{t=5+1}^6 P_{Tt, R1} = \sum_{t=6}^6 P_{Tt, R1} = P_{T6, R1} = 10\text{ s}$$

Se puede concluir que la función $F4,R2$ está activada al mismo tiempo que las funciones $F1,R1$ y $F3,R2$ y que la función $F4,R2$ es la suma de las dos funciones. Esto se visualiza en el diagrama, al estar condicionada mediante la operación suma en la activación, se pueden eliminar las funciones separadas, si es que el sistema lo permite, y dejar solo la función que es activada por los dos ramales.

c. Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens

El diagrama para el PLC Siemens se obtiene a partir de la tabla de transferencia de variables a la nomenclatura del PLC Siemens (Tabla 9-7). El sistema está compuesto por tres funciones de entrada, ocho funciones de salida y doce funciones de tiempo.

Funciones de Entrada		Funciones de Salida		Funciones de Tiempo	
FluidSim	Siemens	FluidSim	Siemens	FluidSim	Siemens
I	I0.0	F1,b0	Q0.0	T1,b0	T37
S1	I0.1	F1,R2	Q0.1	T2,b0	T38
S2	I0.2	F1,R1	Q0.2	T3,b0	T39
		F2,R2	Q0.3	T4,R1	T40
		F3,R2	Q0.4	T5,R1	T41
		F4,R2	Q0.5	T6,R1	T42
		F1,R3	Q0.6	T4,R2	T43
		F5,b0	Q0.7	T5,R2	T44
				T6,R2	T45
				T4,R3	T46
				T5,R3	T47
				T7,b0	T50

Tabla 9-7. Tabla de transferencia de variables.

Para el PLC Siemens, el diagrama es estructurado mediante subrutinas, una para cada sección. Los contactos de las salidas sumados y puestos como condición a las subrutinas tienen como función asegurar que se complete el tiempo de encendido en el momento que se apague el sistema.

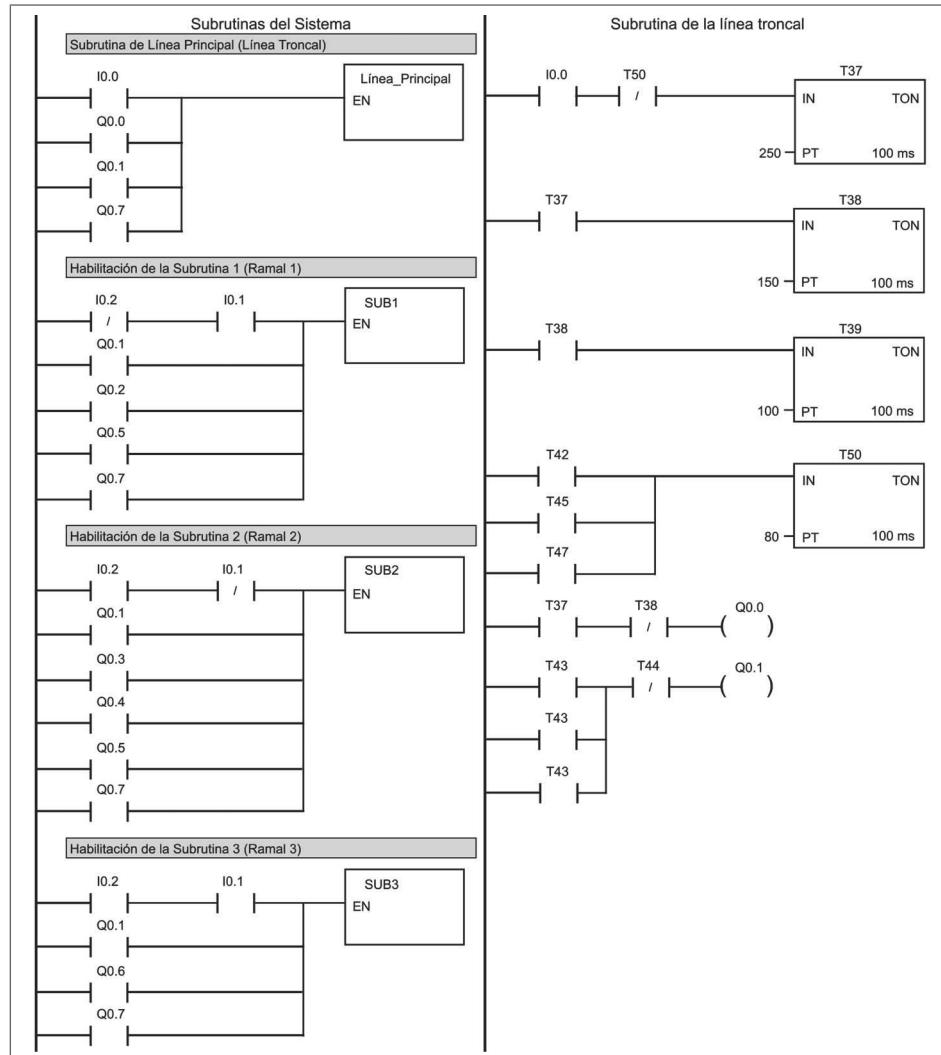


Fig.9-52. Diagrama de lógica de contactos para las subrutinas y la subrutina de la línea principal.

Las ecuaciones de los ramales 1 y 2 son transferidas a un diagrama de lógica de contactos que da como resultado los diagramas que se muestran en la Fig. 9-53.

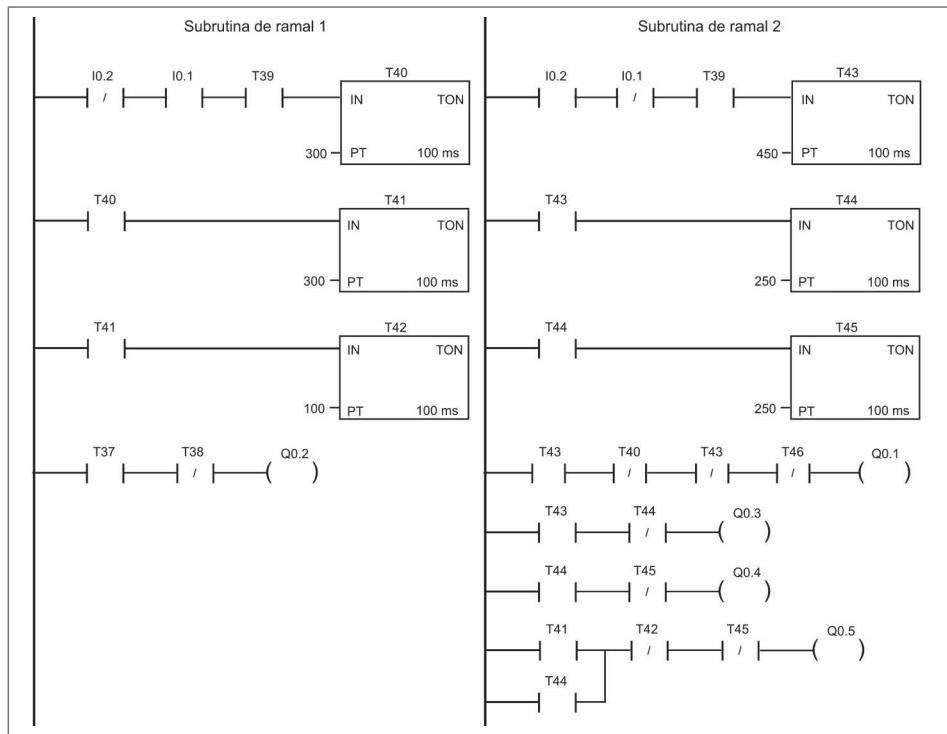


Fig. 9-53. Subrutinas de los ramales 1 y 2.

Las ecuaciones del ramal 3 se presentan en el diagrama de la Fig. 9-54.

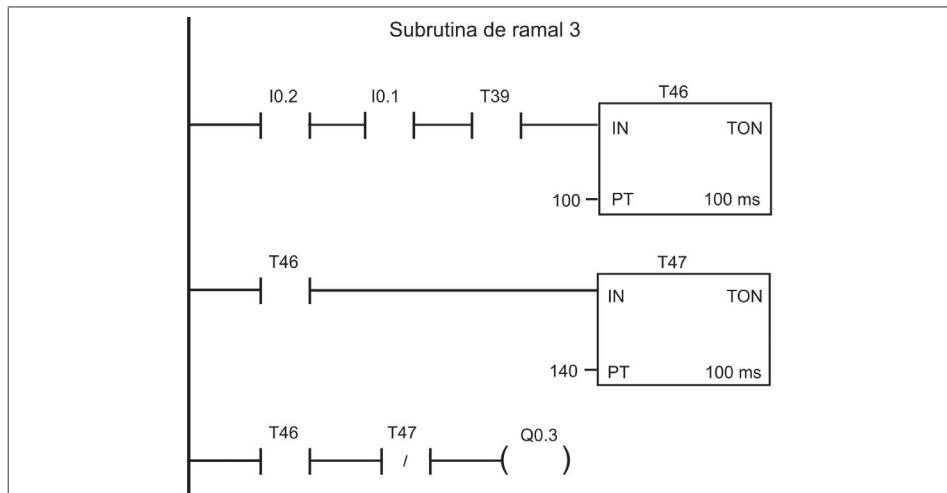


Fig. 9-54. Subrutina del ramal 3.

9.10 Funciones de entrada como condiciones externas de operación

Algunos sistemas secuenciales con la función tiempo requieren que señales externas activen los temporizadores. A veces puede suceder que la señal se desconecte, lo que pone en riesgo la operación del sistema ya que el sistema se apaga inmediatamente. Cuando se usan este tipo de señales mantener la operación del sistema se vuelve crítica. Los dispositivos que son utilizados como funciones de entrada son interruptores, botones, límites de carrera y sensores de comportamiento discreto.

La representación de estas señales en un sistema de “Temporizadores en Cascada” es mediante un cuadro, identificado con la señal que está representando, del cual salen conectores de enlace para condicionar temporizadores, funciones de salida y operaciones de suma y multiplicación, estos conectores de enlace no entran al cuadrante de contactos debido a que se toma el nivel lógico que tiene el dispositivo.

Para utilizar estas funciones de entrada sin ningún riesgo en la operación es conveniente aplicar una sumatoria al temporizador encendido por la señal externa y al dispositivo que genera la señal. Si el tiempo que permanece encendida la señal externa es menor al valor preestablecido del temporizador que va a encender, es conveniente considerar anteponer un temporizador al temporizador que va a realizar la función requerida dentro de la secuencia, con el valor preestablecido más pequeño que permita el PLC, para no afectar el funcionamiento apropiado del sistema. Si se hace esto se mantiene el principio de que los temporizadores deben mantenerse encendidos hasta que se cumpla el tiempo del último temporizador de la secuencia.

Un temporizador puede estar condicionado por dos o más señales externas, si esto es requerido se debe aplicar la operación suma o multiplicación a las dos señales externas, según lo que requiera la secuencia. La Fig. 9-55 muestra un sistema con tres señales externas, tres funciones de salida y una señal de encendido.

Ejemplo 9.10.1

La Fig. 9-55 muestra la sección de un sistema secuencial condicionado en el encendido, dos de sus temporizadores, por señales externas. Obtenga los siguientes incisos.

- a. Ecuaciones lógicas del sistema.
- b. Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

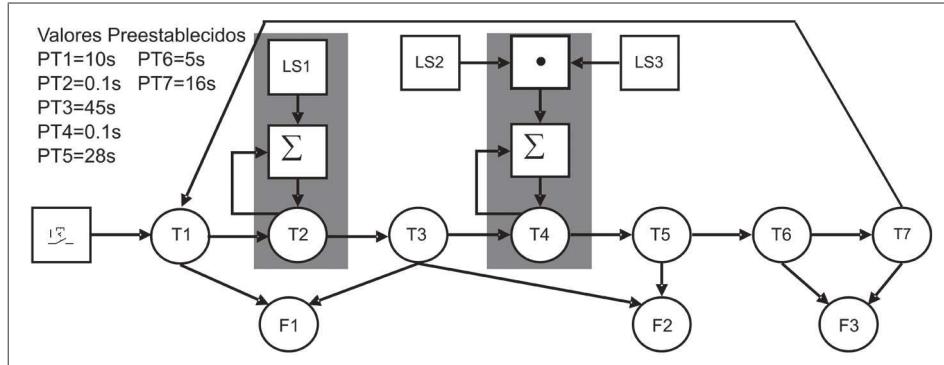


Fig. 9-55. Sistema secuencial condicionado en el funcionamiento mediante señales externas.

Los temporizadores condicionados mediante señales externas son T2 y T4, el valor preestablecido de tiempo de estos temporizadores es pequeño de tal manera que no debe impactar en la correcta operación del sistema. Las condiciones en el temporizador T2 son LS1 y el propio T2, aplicándoseles la operación suma. El temporizador T4 cuenta con dos señales externas condicionadas mediante la operación de multiplicación, el resultado es sumado con el propio temporizador T4.

Los temporizadores T2 y T4 realizan la función de memoria, al mantener en operación al sistema aún y después de que se desconecten las señales de entrada.

a. Ecuaciones lógicas del sistema

Para obtener las ecuaciones lógicas del sistema se aplica el cuadrante de contactos a las funciones de tiempo.

$$T1 = I_1 \bar{T7}$$

Para obtener la ecuación de T2 se multiplica el resultado de la suma con el temporizador T1, lo que da el siguiente resultado:

$$T2 = (LS1 + T2) T1$$

La ecuación de T3 es condicionada solo por T2.

$$T3 = T2$$

La ecuación de T4 es el resultado de multiplicar T3 con el resultado de la sumatoria.

$$T4 = [(LS2 LS3) + T4] T3$$

Las ecuaciones de T5, T6 y T7 solo están condicionadas por los temporizadores inmediatos anteriores.

$$T5 = T4$$

$$T6 = T5$$

$$T7 = T6$$

Ecuaciones de las funciones de salida

Las ecuaciones de las funciones son las siguientes:

$$F1 = T1 \overline{T3}$$

$$F2 = T3 \overline{T5}$$

$$F3 = T6 \overline{T7}$$

Como el encendido del sistema depende de señales externas no es posible calcular el tiempo de ciclo, a menos que se conozca el tiempo que tardan en encenderse estas señales. Sin embargo esto no es posible en la mayoría de los casos. Para medir el tiempo de ciclo es recomendable fijar una función de tiempo encargada de esta operación. Entonces se conecta de tal manera que se encienda al momento de activarse el temporizador T1 y se desconecta cuando termina de contar el T7. Si se utiliza una pantalla TD200 y el PLC Siemens, es posible desplegar el tiempo de ciclo del último ciclo y se puede actualizar cada ciclo.

b. Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens

La transferencia de variables se muestra en la Tabla 9-8, el diagrama de lógica de contactos se obtiene a partir de esta tabla. Se considera que la nomenclatura actual de las variables es aplicable al FluidSim.

Funciones de Entrada		Funciones de Salida		Funciones de Tiempo	
FluidSim	Siemens	FluidSim	Siemens	FluidSim	Siemens
I	I0.0	F1	Q0.0	T1	T37
LS1	I0.1	F2	Q0.1	T2	T38
LS2	I0.2	F3	Q0.2	T3	T39
LS3	I0.3			T4	T40
				T5	T41
				T6	T42
				T7	T43

Tabla 9-8. Tabla de transferencia de variables del FluidSim al PLC Siemens.

El diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens se muestra en la Fig. 9-56, cada una de las ecuaciones es representada en el diagrama.

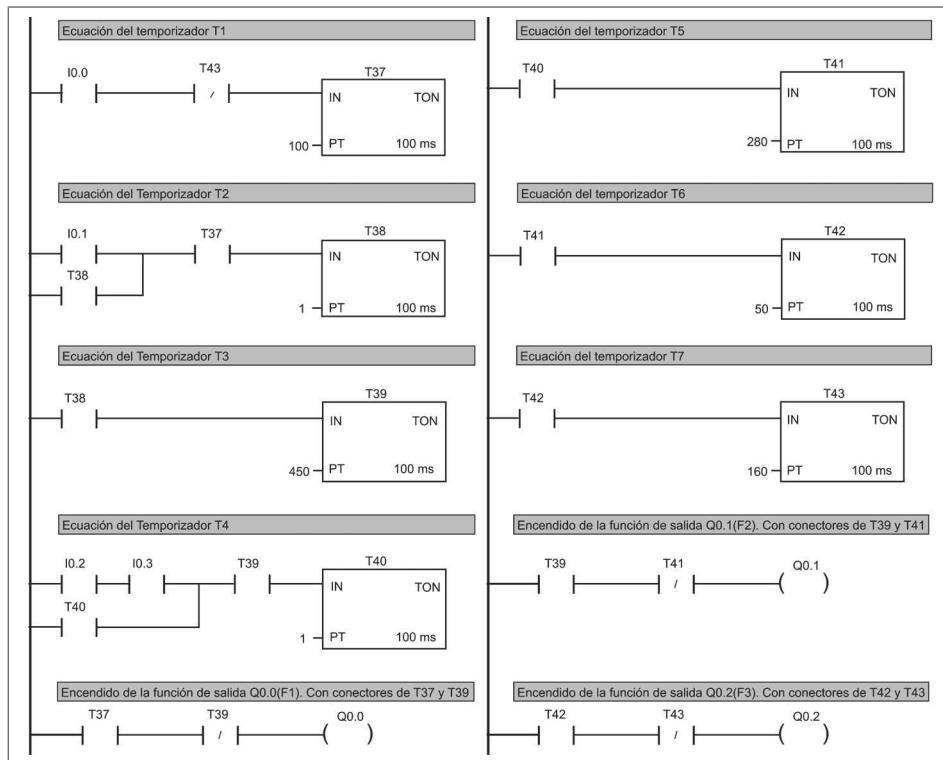


Fig. 9-56. Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

Ejemplo 9.10.2

El diagrama que se muestra en la Fig. 9-57 es parte de un sistema automático secuencial y está estructurado por cuatro temporizadores condicionados con señales externas. Obtenga los siguientes incisos.

- Ecuaciones lógicas del sistema.
- Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.
- Diseñe el diagrama de lógica de contactos para utilizar la pantalla TD200 y desplegar mensajes de ajuste de los valores preestablecidos de los temporizadores.

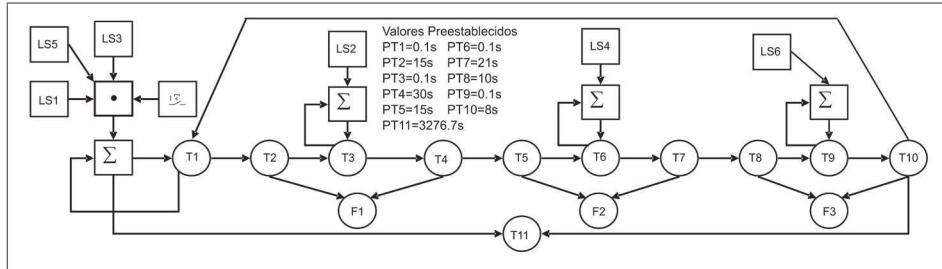


Fig. 9-57. Diagrama de temporizadores en cascada para el ejemplo 9.10.2.

a. Ecuaciones del sistema

Los temporizadores condicionados mediante señales externas son T1, T3, T6 y T9. Estas señales deben ser consideradas para obtener las ecuaciones de estos temporizadores que tienen un valor preestablecido de 0.1 segundos y su función es memorizar las activaciones de las señales externas y, después de que se activen las señales, mantener en operación al sistema conservando el principio de operación del método.

Ecuaciones de los temporizadores que son condicionados por más de un conector de enlace a estos temporizadores entran dos conectores de enlace.

$$T1 = \overline{T10}[(LS1\ LS3\ LS5\ I) + T1]$$

$$T3 = T2[LS2 + T3]$$

$$T6 = T5[LS4 + T6]$$

$$T9 = T8[LS6 + T9]$$

Si una de las señales externas (I, LS1, LS3 y LS5) no está activada entonces el resultado de la multiplicación es igual a cero y T1 queda apagado.

Ecuaciones de los temporizadores que son condicionados con un solo conector de enlace.

$$T2 = T1$$

$$T4 = T3$$

$$T5 = T4$$

$$T7 = T6$$

$$T8 = T7$$

$$T10 = T9$$

En este problema no se puede aplicar la ecuación 1 (Ec. 1) para calcular el tiempo de ciclo del sistema; por esta razón se agrega un temporizador que cuenta el tiempo de ciclo: el temporizador T11. El valor preestablecido que se le da a este temporizador es el máximo que se le puede dar en el PLC Siemens (3276.7 segundos).

$$T11 = \overline{T10}[(LS1 LS3 LS5 I) + T1]$$

Las ecuaciones de las funciones de salida son estructuradas por los dos conectores de enlace, uno de ellos se encarga de encenderla y el otro de apagarla.

$$\begin{aligned} F1 &= T2 \overline{T4} \\ F2 &= T5 \overline{T7} \\ F3 &= T8 \overline{T10} \end{aligned}$$

b. Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens

La transferencia de variables se muestra en la Tabla 9-9. A partir de esta tabla se puede obtener el diagrama de lógica de contactos.

Funciones de Entrada		Funciones de Salida		Funciones de Tiempo	
FluidSim	Siemens	FluidSim	Siemens	FluidSim	Siemens
I	I0.0	F1	Q0.0	T1	T37
LS1	I0.1	F2	Q0.1	T2	T38
LS2	I0.2	F3	Q0.2	T3	T39
LS3	I0.3			T4	T40
				T5	T41
				T6	T42
				T7	T43

Tabla 9-9. Transferencia de variables al PLC Siemens.

Con las ecuaciones obtenidas y la nomenclatura del PLC Siemens se logra el diagrama de lógica de contactos que se muestra en la Fig. 9-58.

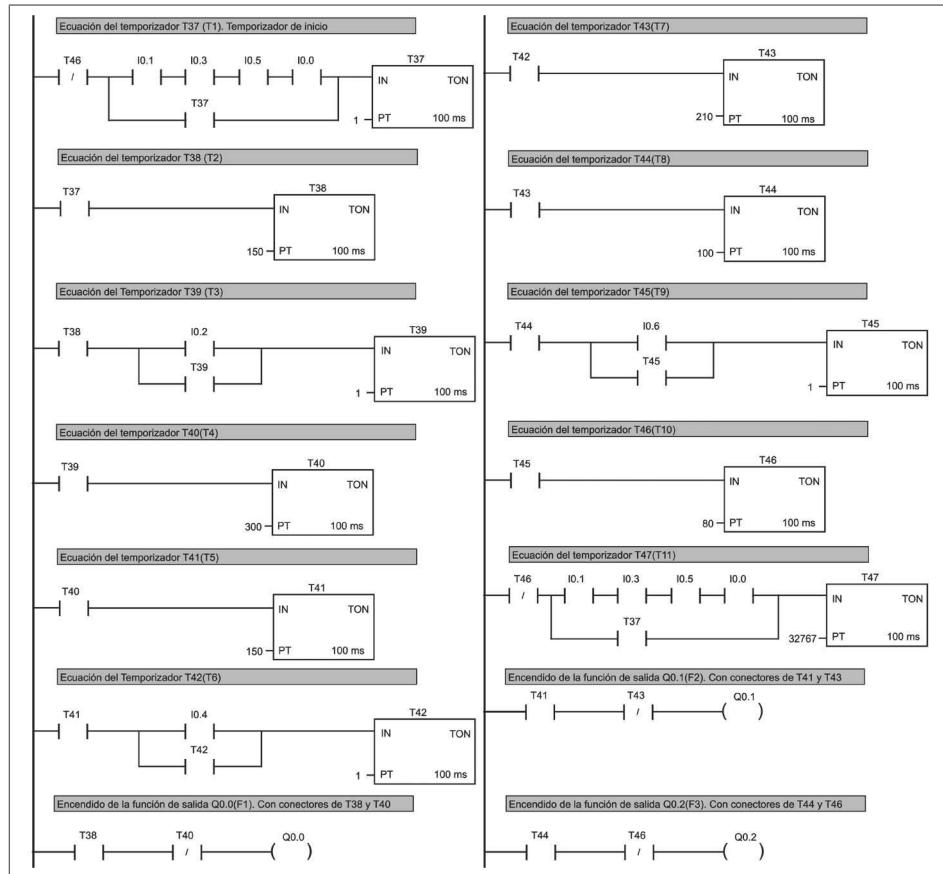


Fig. 9-58. Diagrama del PLC Siemens del ejemplo 9.10.2.

c. Diagrama de lógica de contactos para desplegar el mensaje

El despliegado de mensajes se realiza con el apoyo de una TD200. La Fig. 9-59 muestra los dos mensajes a ser desplegados, uno es de bienvenida y el otro muestra el tiempo de los últimos tres ciclos de operación. El último ciclo se muestra con el mensaje *TCn*, el penúltimo con el mensaje *TCn-1* y el antepenúltimo con el mensaje *TCn-2*.

S	i	s	t	e	m	a	d	e	T	i	e	m	p	o	s		
E	j	e	m	p	l	o	9	.	1	0	.	2		F	1	A	v
T	C	n	=				s	T	C	n	-	1	=				
T	C	n	-	2	=			S					F	2	A	v	

Fig. 9-59. Mensajes a desplegar en la pantalla TD200.

El diagrama de flujo para mostrar los mensajes se presenta en la Fig. 9-60. Al principio se muestra el mensaje 1 que se encarga de dar la bienvenida. Despues se pasa al mensaje 2, se debe oprimir la tecla de la función F1; para regresar al mensaje 1 se debe oprimir la tecla de la función F2.

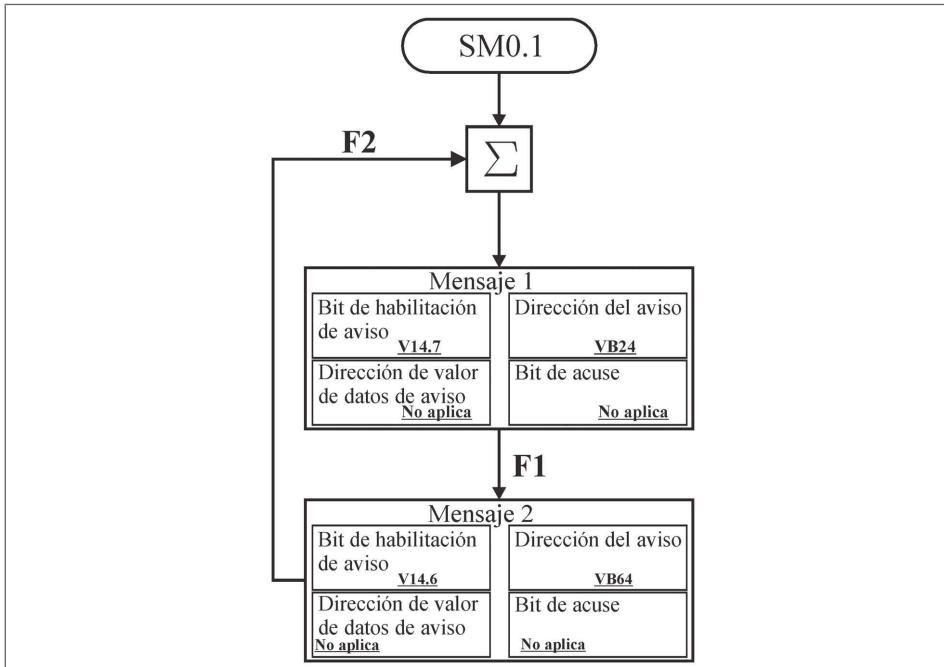


Fig. 9-60. Diagrama de flujo para mostrar los dos mensajes.

El diagrama de flujo que muestra las condiciones para desplegar los mensajes es transferido a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens. El resultado se muestra en la Fig. 9-61.

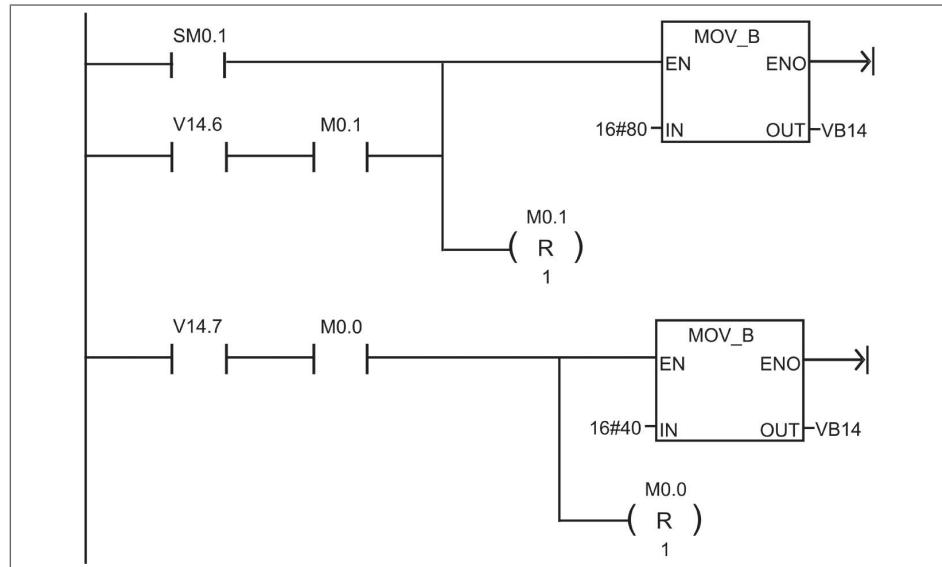


Fig. 9-61. Diagrama de lógica de contactos para mostrar los dos mensajes.

El almacenamiento de los tiempos de ciclo se realiza con la función MOV_W, que mueve los datos de una dirección a otra. En la Fig. 9-62 se presenta el diagrama de lógica de contactos resultante para mostrar los últimos tres tiempos de ciclo. Este diagrama debe estar insertado en el diagrama principal antes del temporizador T47, si se coloca después el dato almacenado será igual a cero.

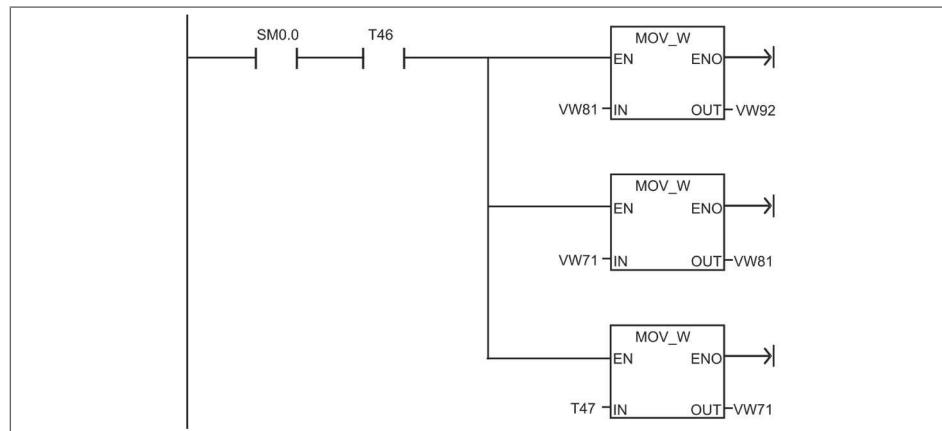


Fig. 9-62. Diagrama de lógica de contactos que muestra el tiempo de los últimos tres ciclos

El almacenamiento de los tiempos de ciclo se realiza en forma descendente, primero debe de almacenarse el último ciclo a ser almacenado, posterior el penúltimo tiempo de ciclo enseguida de éste, el antepenúltimo tiempo de ciclo.

9.11 Memorias y temporizadores

La función de memoria realizada por los temporizadores es aplicable a sistemas con un bajo número de temporizadores dentro de la secuencia, el límite principal al que se enfrenta este tipo de sistemas es la cantidad de temporizadores con que cuenta el PLC.

Esta función de memoria puede ser realizada por una memoria o un relevador interno en un PLC. Así se evita utilizar una cantidad excesiva de temporizadores. Para incluir memorias a un sistema de “Temporizadores en Cascada” se debe cumplir la siguiente regla fundamental: el encendido de la memoria encargada de activar un temporizador es anticipado al encendido del propio temporizador; el desfase en tiempo entre estas activaciones es variable debido a la dependencia de la activación de las señales externas.

La Fig. 9-63 muestra un sistema con n memorias, n funciones de tiempo y n señales externas. La interconexión entre las memorias y los temporizadores se realiza de tal manera que primero se enciende la memoria, después un temporizador y al final la función de salida. La operación de un sistema con temporizadores, memorias y señales de entrada se realiza considerando los siguientes puntos:

- Las memorias son activadas por las señales de entrada y los temporizadores.
- Los temporizadores son activados por las memorias y los temporizadores inmediatos anteriores.
- Las funciones de salida son condicionadas en la activación y desactivación por los temporizadores.

El arreglo en las conexiones de las memorias y de las funciones de tiempo y las condiciones externas de operación de las memorias hacen que el sistema avance paso a paso, en cada estado del sistema se debe encender una memoria y un temporizador. Al llegar al final de la secuencia se puede realizar una retroalimentación en lazo, para sistemas cíclicos, o simplemente terminar la secuencia con el último temporizador, lo que da como resultado un sistema de un solo ciclo.

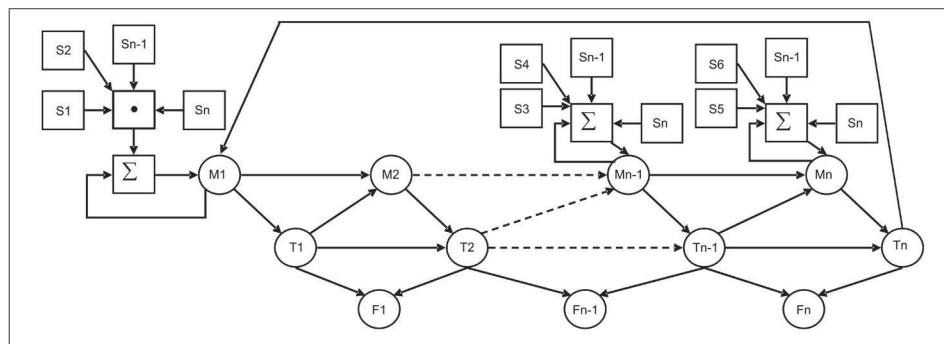


Fig. 9-63. Diagrama con n señales de entrada, memorias y temporizadores.

Si el sistema es del tipo cíclico, la condición de retroalimentación se realiza al temporizador T1, si no es importante validar la activación de las señales de entrada que activan la primera memoria, o puede condicionar a la memoria que inicia el sistema validando la activación de las señales de entrada, si no están activadas no iniciará el ciclo, si el sistema es de un ciclo se elimina la retroalimentación de lazo saliente de T_n conectando a la memoria M1.

Las memorias se retienen a ellas mismas con el conector de enlace que sale de la propia memoria y entra a la sumatoria. Para activarse solo requieren que las señales de entrada estén activadas, esto sucede solo en la primera memoria ya que las memorias posteriores requieren además la activación de la memoria anterior, lo que da como resultado un arreglo de conexión cascada entre las memorias. Primero se debe encender la memoria M1 que inmediatamente enciende el temporizador T1. Para que M2 se active T1 debe terminar de contar su valor preestablecido de tiempo. Si se tienen estas condiciones, M2 y T1 encendidas, se enciende el temporizador T2, a su vez ambas funciones, M2 y T2, condicionan a la memoria M_{n-1} . El encendido de esta memoria solo está en espera de que se cumplan todas las funciones de entrada. Cuando se encienden todas las funciones de entrada, la memoria M_{n-1} y el temporizador T_{n-1} inician. Al cumplir con el valor preestablecido de tiempo T_{n-1} , se estará cumpliendo con la segunda condición de operación, la primera en cumplirse fue la memoria M_{n-1} , y solo se está en espera de que se cumplan las condiciones de las señales externas. Al encenderse esta memoria se enciende inmediatamente la memoria Mn y el temporizador T_n , al terminar de contar el valor preestablecido de este temporizador se termina un ciclo de operación y se tiene la opción de realizar una retroalimentación en lazo.

En este tipo de sistemas el tiempo de ciclo no es posible calcularlo con la ecuación 1, si requiere conocer el tiempo de ciclo se deberá agregar un temporizador que realice esta operación, apoyado con una HMI TD200 para el PLC Siemens, que debe ser activado y desactivado por la memoria M1.1. Para realizar una aplicación de los conceptos mencionados se soluciona el siguiente ejemplo.

Ejemplo 9.11.1

El diagrama que se muestra en la Fig. 9-64 cuenta con tres funciones de salida (Q0.0, Q0.1 y Q0.2), la función de salida Q0.2 depende solamente de la sumatoria, esto es posible porque es una sumatoria de dos multiplicaciones. También es bueno resaltar que las memorias son activadas antes que los temporizadores. Se recuerda que esta condición es fundamental de la metodología.

El temporizador T41 es el encargado de contar el tiempo de ciclo, para esto es necesario agregar una interfase humano-máquina (TD200), para poder desplegar el valor del tiempo de ciclo. Se considera que el retardo de las señales y la operación propia del sistema no sobrepasa el valor de tiempo de 3276, valor máximo permitido en el PLC Siemens para un temporizador con una resolución de 0.1 segundos. Obtenga los siguientes incisos:

- Las ecuaciones lógicas del sistema.
- Transfiera las ecuaciones lógicas a un diagrama de lógica escalera para el PLC Siemens.
- Obtenga el diagrama para mostrar el mensaje de tiempo.

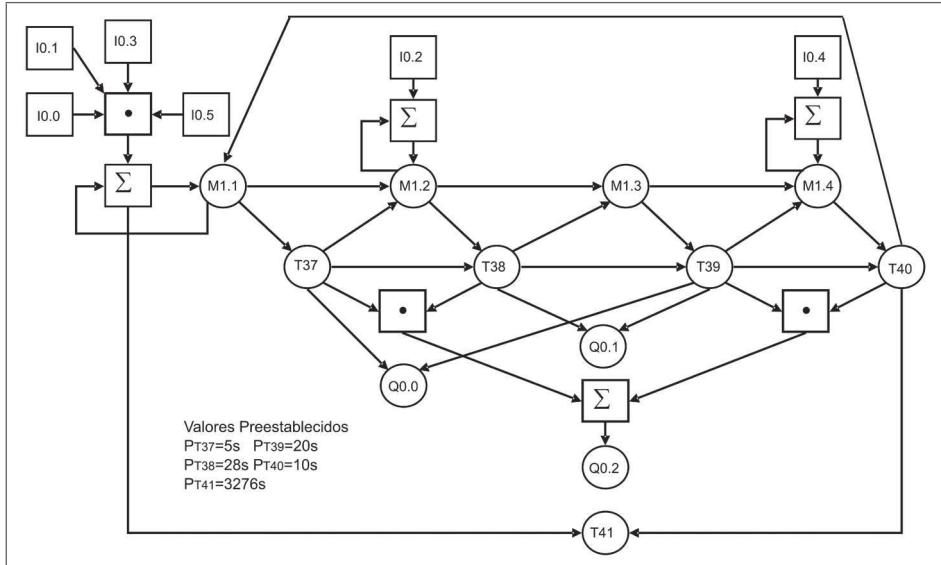


Fig. 9-64. Diagrama de tiempos para el ejemplo 9.11.1

Ecuaciones lógicas del sistema

Las ecuaciones de las funciones de memoria están condicionadas por las funciones de entrada y por las propias memorias.

La memoria M1.1 está condicionada por dos conectores de enlace, uno proveniente de la sumatoria y el otro del temporizador T40. De estos dos conectores de enlace se obtiene la ecuación lógica de la memoria.

$$M1.1 = \overline{T40} (I0.0 I0.1 I0.3 I0.5 + M1.1)$$

A la memoria M1.3 entran dos conectores de enlace como condición de operación que provienen de la memoria M1.2 y del temporizador T38. La ecuación de la memoria M1.2 se obtiene de los tres conectores de enlace que entran a la memoria, uno sale de la sumatoria, el segundo de la memoria M1.0 y el tercero proviene del temporizador T37.

$$M1.2 = (I0.2 + M1.2) M1.1 T37$$

La ecuación de la memoria M1.4 se obtiene de los tres conectores de enlace que entran a la memoria, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$M1.3 = M1.2 T38$$

Las funciones de tiempo están condicionadas por las memorias y por los propios temporizadores. Las ecuaciones de estas funciones se obtienen de los conectores de enlace que entran a la función de tiempo.

La ecuación de la función de tiempo T37 se obtiene de la condición que realiza el único conector de enlace que entra a la función y proviene de la memoria M1.1.

$$T37 = M1.1$$

La función de tiempo T38 está condicionada por el conector del temporizador T37 y la memoria M1.2. Si se aplica el cuadrante de contactos se obtiene la siguiente ecuación:

$$T38 = T37 M1.2$$

La función de tiempo T39 está condicionada por los conectores de enlace de la memoria M1.3 y el temporizador T38.

$$T39 = T38 M1.3$$

Las condiciones de la función de tiempo T40 provienen de la memoria M1.4 y del temporizador T39, y se obtiene la siguiente ecuación:

$$T40 = T39 M1.4$$

El temporizador encargado de contar el tiempo de ciclo T41 es activado y desactivado por conectores de enlace provenientes de los mismos elementos que la memoria M1.1, uno proviene de la sumatoria y el otro del temporizador T40, y están en el mismo cuadrante que los conectores de enlace que encienden la memoria M1.1. Si se considera este breve análisis se obtiene la siguiente igualdad:

$$T41 = M1.1$$

Las funciones de salida están condicionadas por conectores de enlace provenientes de las funciones de tiempo. La función de salida Q0.0 por los temporizadores T37 y T39. De acuerdo al cuadrante de contactos, T37 enciende la función y T39 la apaga. Si se hacen estas consideraciones se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q0.0 = T37 \overline{T39}$$

La ecuación de la función de salida Q0.1 está compuesta por los dos conectores de enlace que la condicionan, que provienen de T38 y T39.

$$Q0.1 = T38 \overline{T39}$$

A la función de salida Q0.2 solo entra un conector de enlace proveniente de una sumatoria. El resultado de esta sumatoria es de dos multiplicaciones, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$Q0.2 = (T37 \overline{T38}) + (T39 \overline{T40})$$

d. Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens

Las ecuaciones obtenidas son transferidas a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens (Fig. 9-65). Para mostrar el mensaje de tiempo de ciclo, este diagrama se presenta separado del diagrama de las funciones de tiempo de salida y memorias. Sin embargo esto no significa que no sea parte del diagrama, solo que requiere una atención diferente. Este diagrama debe ser insertado después del temporizador T41.

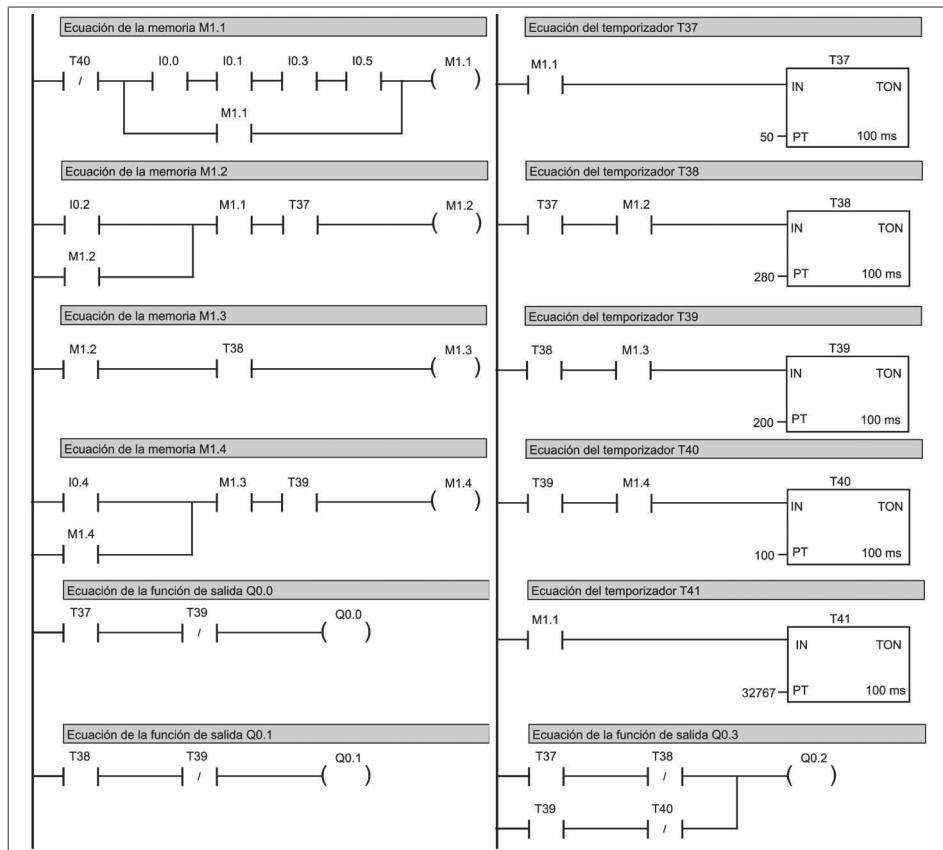


Fig. 9-65. Diagrama para el PLC Siemens del ejemplo 9.11.1.

El temporizador T41 no condiciona ningún elemento. Con esto se corrobora que este temporizador es utilizado como contador de tiempo de ciclo y tiene como valor preestablecido el máximo valor permitido por el PLC Siemens.

e. Diagrama de desplegado de mensaje

Para desplegar el mensaje de tiempo de ciclo hacia el exterior, mediante un mensaje, se requiere una pantalla TD200 de Siemens. Los mensajes a ser desplegados son mostrados en la Fig. 9-66. Se inicia con el mensaje de bienvenida y después se despliega el mensaje que muestra tres valores de tiempo, el tiempo de ciclo actual (T_{Act}), el tiempo del último ciclo (T_{Cn}) y el tiempo del penúltimo ciclo (T_{Cn-1}).

S	i	s	t	e	m	a		d	e		T	i	e	m	p	o	s		
E	j	e	m	p	l	o	9	1	1	1						F	1	A	

T	A	c	t	=				S								F	2	A	
T	C	n	=					S	T	C	n	-	1	=				S	

Fig. 9-66. Mensajes a desplegar en la TD200.

Para mostrar los mensajes se debe desarrollar la lógica de operación. El diagrama de flujo que se muestra en la Fig. 9-67 indica cómo se van a seleccionar los mensajes. Una vez que se está en el mensaje 1 se puede pasar al mensaje 2 pulsando la tecla F1 y del mensaje 2 se puede regresar al mensaje 1 pulsando la función F2. El mensaje 1 es seleccionado al encender por primera vez el PLC, esto lo definimos al utilizar la condición de entrada SM0.1.

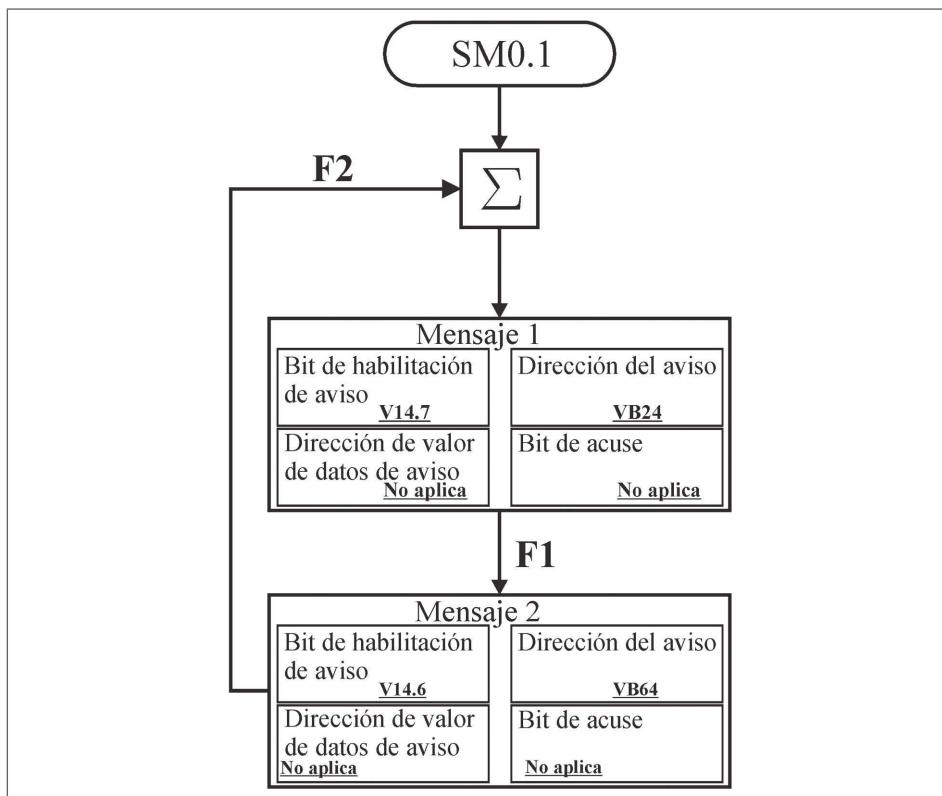


Fig. 9-67. Diagrama de flujo para mostrar los mensajes.

El diagrama de flujo que muestra los mensajes es transferido a un diagrama de lógica de contactos (Fig. 9-68). La función MOV_B es la encargada de mover los mensajes desde la memoria hasta el TD200.

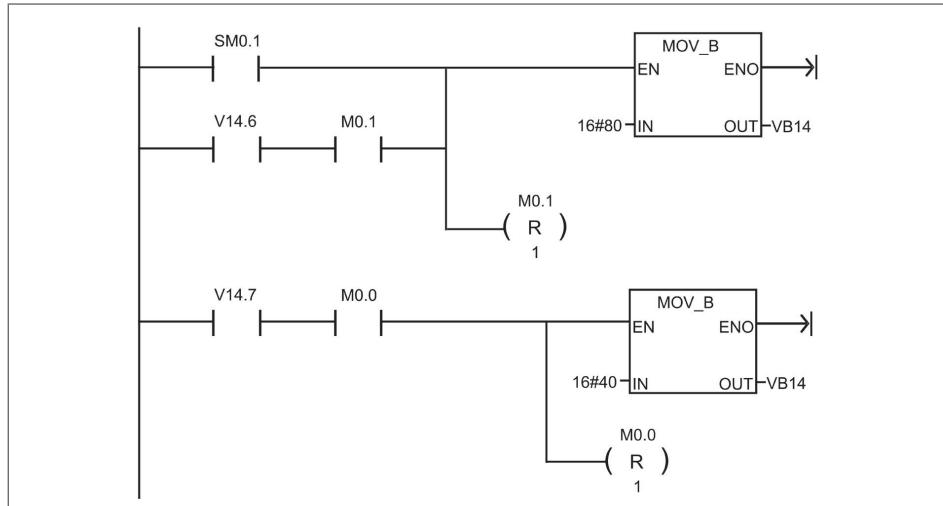


Fig. 9-68. Diagrama de lógica de contactos para mostrar los dos mensajes.

Se van a desplegar tres tiempos en la pantalla TD200, el diagrama de lógica de contactos se muestra en la Fig. 9-69. El tiempo actual se realiza transfiriendo el dato de T41 a la memoria VW71, el tiempo que tomó el último ciclo se realiza transfiriendo el dato del T41 a la dirección de memoria VW90 y el tiempo del penúltimo ciclo se mueve de la dirección de la memoria VW90 a la dirección VW101.

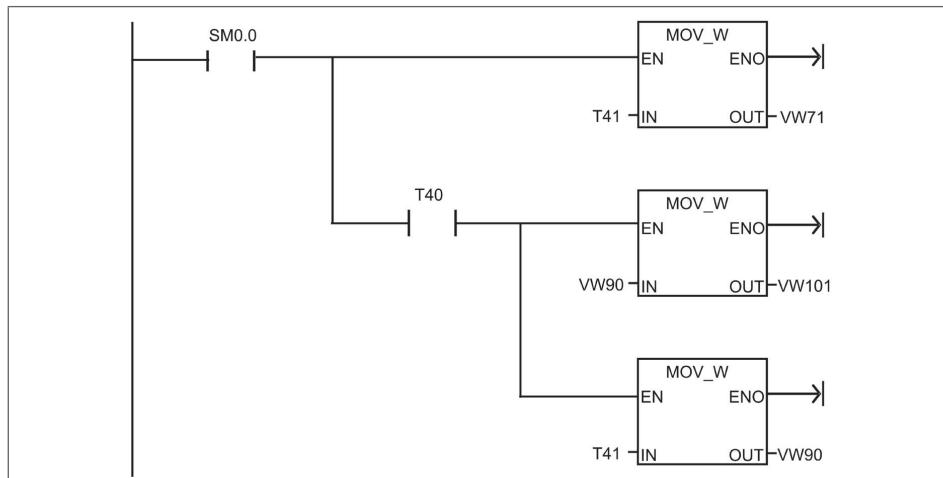


Fig. 9-69. Diagrama de lógica de contactos que muestra el tiempo de ciclo actual y los dos últimos ciclos.

9.12 Ejercicios resueltos

Enseguida se resuelven algunos ejercicios como resumen de este capítulo. En cada uno se aplica la metodología propuesta. La solución es para el PLC Siemens y los mensajes son desplegados en la pantalla TD200.

Ejemplo 9.12.1

Una estación de prueba de calidad es construida por una banda transportadora controlada por un motor trifásico de CA. La banda es áspera. En esta estación se realizan pruebas de desgaste a dos tamaños de llantas, llanta pequeña y grande, y ambas deben cumplir 2000 ciclos. Las pruebas en ambas llantas difieren en la secuencia, la cual se explicará enseguida.

El sistema se habilita con una transición negativa de la función de inicio y la entrada llamada tipo de prueba es un interruptor de llave.

Prueba de llanta peque a (prueba 1)

Paso1. Al habilitar la función de inicio el motor de la banda está apagado por un tiempo de 30seg.

Paso2. Después de pasar el tiempo de paro del motor, se enciende la banda con sentido derecho por un período de 90 seg, al terminar este tiempo vuelve al paso 1. Esta secuencia se debe realizar por 2000 ciclos para completar la prueba.

Prueba de llanta grande (prueba 2)

Paso1. Al habilitar la función de inicio el motor de la banda está apagado por un tiempo de 15seg.

Paso2. Después de pasar el tiempo de paro del motor, se enciende la banda con sentido derecho por un período de 100seg.

Paso3. Para la banda, por un período de 20seg.

Paso4. Inicia con giro hacia la izquierda por un período de tiempo de 100seg, al terminar este tiempo vuelve al paso 1. Se debe realizar esta secuencia de los cuatro pasos por 2000 ciclos.

El esquemático de esta estación de prueba de calidad se muestra en la Fig. 9-70. Los incisos a obtenerse son los siguientes:

- a. Representar el sistema mediante un diagrama de temporizadores en cascada.
- b. Obtener las ecuaciones del sistema.

c. Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

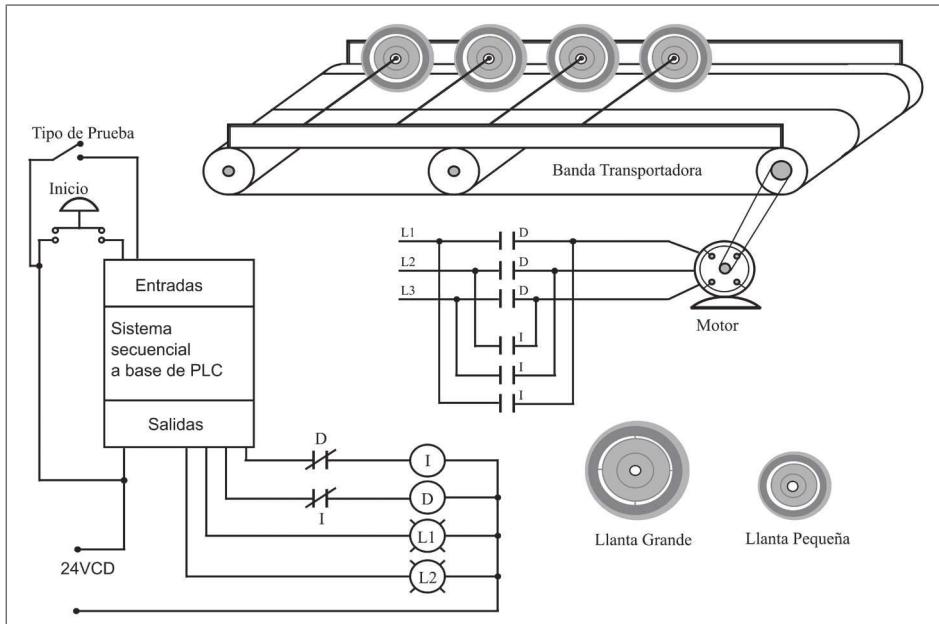


Fig. 9.70. Esquemático de la estación de calidad de prueba de llanta pequeña y grande.

Solución

El sistema cuenta con dos entradas y cuatro salidas, la señal de inicio es conectada en la entrada I0.0 y la señal de tipo de prueba en la entrada I0.1. La salida D, de rotación derecha, es conectada en Q0.0 y la salida I, rotación izquierda, es conectada en Q0.1. La lámpara L1 es conectada en la salida Q0.2, esto indica que el sistema está trabajando con la prueba de la llanta pequeña, y la lámpara L2 se conecta en la salida Q0.3, lo que indica que la prueba de llanta grande está en operación.

El sistema se habilita con una transición negativa de la función de inicio (I0.0) y la entrada llamada *tipo de prueba* (I0.1) es un interruptor de llave.

a. Diagrama de temporizadores en cascada

El diagrama se obtiene de la secuencia explicada en cada una de las pruebas, lo que da como resultado un sistema con dos ramales, uno para la prueba 1 y otro para la prueba 2. Desde el inicio se considera un temporizador con un tiempo mínimo que no afecta la operación de la prueba. Al final los dos ramales son sumados y conectados a un temporizador con un valor preestablecido mínimo que no afecta la operación del sistema.

Después del temporizador final de la línea principal se encuentra el contador de eventos que recibe señal del temporizador T6,b0 por ser el último temporizador de la secuencia. Cada vez que este temporizador termine de contar, el contador

recibirá una señal como incremento de conteo. Al terminar de contar el número de eventos desconectará la memoria M1.1 y a su vez ésta desconectará el sistema por completo.

Las lámparas encargadas de indicar qué prueba está en proceso se conectarán como condición a la entrada I0.1 y a la memoria M1.1 y serán desconectadas cuando termine de contar los 2000 ciclos de operación el contador.

El temporizador *T6,b0* es el encargo de retroalimentar en lazo al temporizador de inicio de la línea principal. Con esto genera un lazo cíclico de operación, para la prueba 1 o la prueba 2, dependiendo del nivel lógico de la entrada I0.0.

El reset del contador, aunque no está especificado en el diagrama, se debe condicionar con un contacto NC de la memoria M1.1, que mientras está encendida no se puede poner en cero el contador, y un contacto NA del propio contador.

El diagrama mostrado en la Fig. 9-71 es el resultado de transferir la explicación de la secuencia a un diagrama de tiempos en cascada.

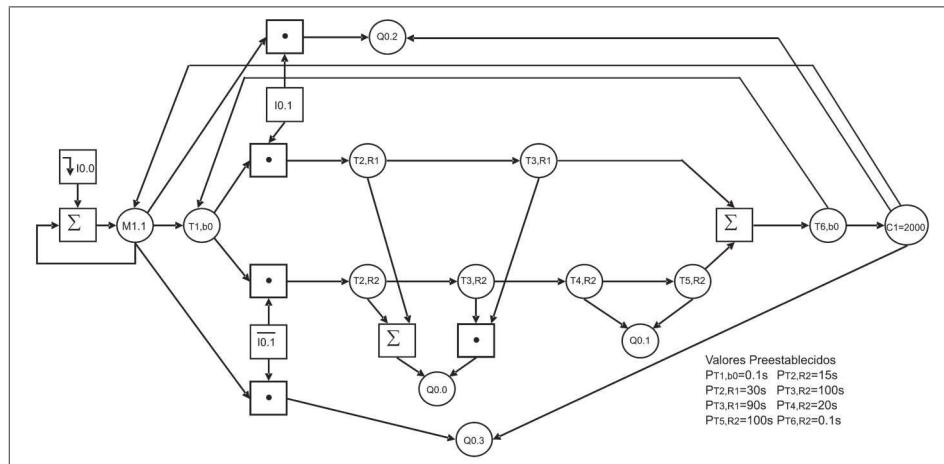


Fig. 9-71. Diagrama de temporizadores en cascada para la estación de prueba de calidad.

Si los temporizadores $T1,b0$ y $T6,b0$ no pueden ser considerados como temporizadores adicionales de la secuencia, los valores de tiempo de éstos pueden restarse a los temporizadores de los ramales. Por ejemplo, para el temporizador $T1,b0$ el valor de tiempo preestablecido se le puede restar a los dos temporizadores inmediatos siguientes de los ramales y para el temporizador $T6,b0$ puede restarse a los dos temporizadores inmediatos anteriores.

b. Ecuaciones del sistema

Se debe realizar una transferencia de variables del método en cascada al PLC Siemens, lo que da como resultado la tabla de la Tabla 9-10.

FluidSim	Siemens
T1,b0	T37
T2,R1	T38
T3,R1	T39
T2,R2	T40
T3,R2	T41
T4,R2	T42
T5,R2	T43
T6,b0	T44
C1	C1

Tabla 9-10. Transferencia de variables.

Para obtener las ecuaciones del sistema se utiliza el cuadrante de contactos y se inicia obteniendo la ecuación de la memoria M1.1. Los temporizadores de las ecuaciones cuentan con la nomenclatura del PLC Siemens.

$$M1.1 = (\downarrow I0.0 + M1.1) \overline{C1}$$

Se sigue con las ecuaciones de los temporizadores

$$T37 = M1.1 \overline{T44}$$

$$T38 = I0.0 T37$$

$$T39 = T38$$

$$T40 = \overline{I0.0} T37$$

$$T41 = T40$$

$$T42 = T41$$

$$T43 = T42$$

$$T44 = T39 + T43$$

El contador cuenta con dos ecuaciones, una para el conteo y otra para restablecer el conteo.

$$\begin{aligned} C1(CU) &= T44 \\ C1(R) &= M1.1 C1 \end{aligned}$$

Las ecuaciones de las salidas son las siguientes:

$$Q0.0 = (T38 + T40) \overline{T39} \overline{T41}$$

$$Q0.1 = T42 \overline{T43}$$

$$Q0.2 = M1.1 I0.1 \overline{C1}$$

$$Q0.3 = M1.1 I0.1 C1$$

c. Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens

Las ecuaciones son transferidas a un diagrama de lógica de contactos (Fig. 9-72). Se va a utilizar una pantalla TD200 para visualizar los ciclos acumulados de una prueba.

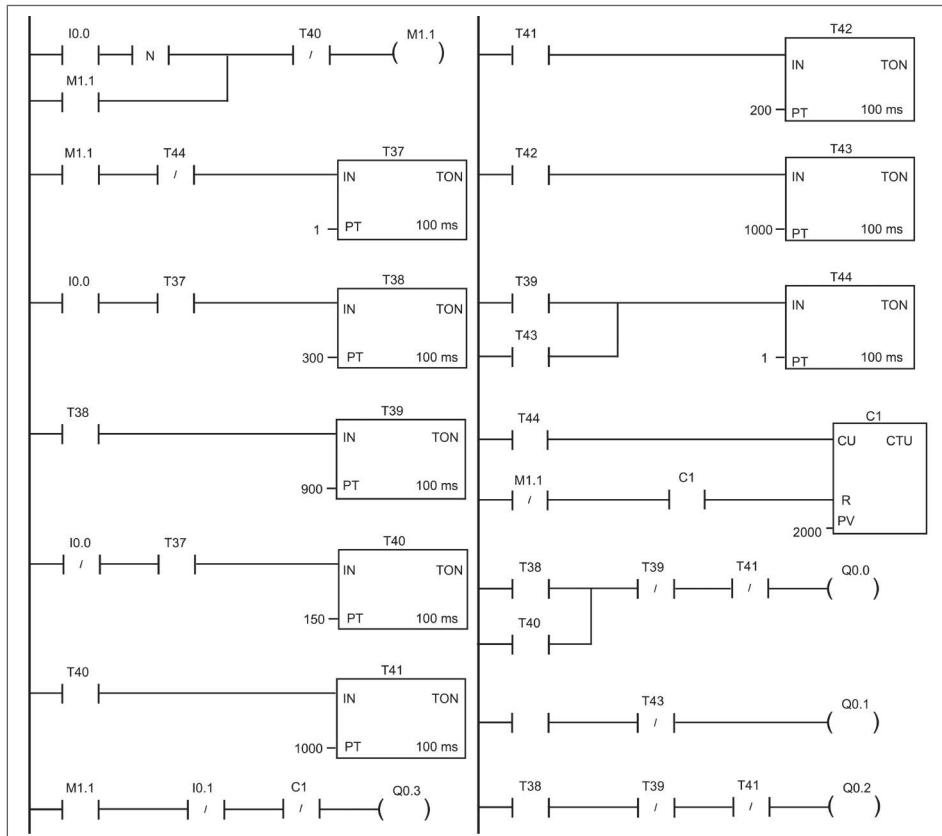


Fig. 9-72.

Desplegado de mensajes

Se desplegarán dos mensajes, uno de bienvenida y otro que mostrará el número de ciclos acumulados de la prueba realizada. Estos mensajes se muestran en la Fig. 9-73.

E	s	t	a	c	i	ó	n	d	e	C	a	I	i	d	a	d	
E	j	e	m	p	l	o	9	.	1	2	.	1		F	1	A	v
	P	r	u	e	b	a	:							F	2	A	v

Fig. 9-73. Mensajes a desplegar en la pantalla TD200.

El diagrama de lógica de contactos para mostrar los dos mensajes se muestra en la Fig. 9-74. Para mostrar el número de conteos de C1 se utiliza la función MOV_W que mueve el valor de C1 a la dirección de memoria VW96, es importante que esta función sea colocada en el escalón inmediato anterior al que está ubicado el contador, esto al realizar la implementación con el PLC Siemens.

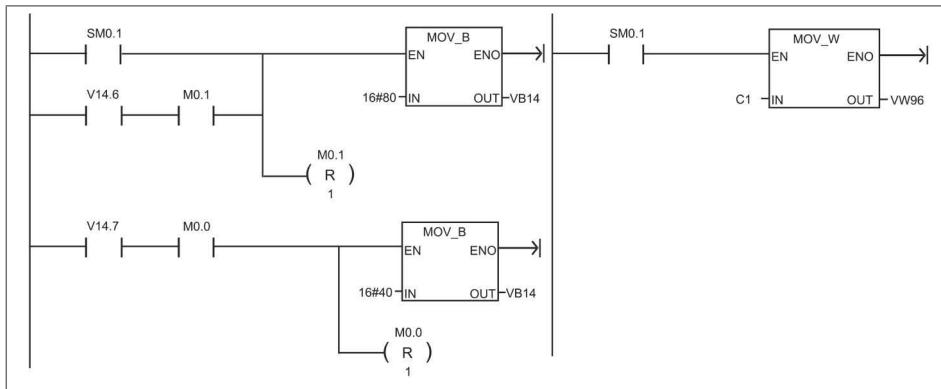


Fig. 9-74. Diagrama de lógica de contactos para mostrar los dos mensajes y el valor de C1 en la TD200.

Ejercicio 9.12.2

Una estación de llenado de tres productos diferentes, producto A, B y C, está construido por un silo que contiene dos materiales totalmente diferentes, que son suministrados a los tres productos a través de dos compuertas controladas por dos cilindros neumáticos. Cada uno de los cilindros cuenta con un sensor de inicio y fin de carrera. Al entrar una caja al sistema de llenado, el sensor I1.1 se encarga de detectarla, a la vez que los sensores I1.3, I1.4 e I1.5 identifican qué tipo de producto es el que se va a procesar. La banda sigue encendida y no se va a detener hasta que el sensor I1.2 detecte la caja en posición de llenado. Despues de un pequeño tiempo se detiene la banda transportadora e inicia el llenado, los dos materiales se van a llenar de manera proporcional al tiempo. Al producto A primero se suministra el material B y posteriormente el material A; para el producto B se suministra primero el material A y posteriormente el material B; en el producto C es suministrado el producto B y posteriormente el producto A. El tiempo de activación de las compuertas de los dos materiales en los tres productos son totalmente diferentes entre sí, para tener una mejor explicación de los tiempos de llenado de los tres productos se muestra una tabla de tiempos que explica el llenado de los tres productos (Tabla 9-11). Se debe considerar que la banda transportadora encargada de suministrar la caja a la banda transportadora (BT3) de la estación de llenado tiene un mecanismo que solo permite el paso de una de caja a la vez y no libera otra caja hasta que esta misma banda transportadora se vuelve a encender.

Producto	Primer suministro de Material				Segundo suministro de Material			
	Primer Material	Tiempo de Llenado	Segundo Material	Tiempo de Llenado	Primer Material	Tiempo de Llenado	Segundo Material	Tiempo de Llenado
A	B	60s	A	40s	B	30s	A	20s
B	A	45s	B	30s	A	23s	B	15s
C	B	30s	A	20s				

Tabla 9-11. Tabla de valores de tiempos y secuencia en el suministro de materiales para los tres productos.

Se considera que durante la producción en un turno de trabajo se puede requerir una mezcla de los tres productos, depende de los requerimientos del cliente. La cantidad a ser producida de cada producto es programada a través del visualizador de textos TD200.

Las lámparas L1 y L2 son las encargadas de mostrar las alarmas mediante un código visual que se presenta en la tabla de códigos de la Fig. 9-75, las alarmas son las siguientes:

- L1. Esta lámpara se encarga de mostrar la alarma que indica que las compuertas no han abierto por completo en un período de tiempo determinado, es preventiva y requiere atención del personal de servicio para verificar las velocidades del cilindro o la presión principal del sistema de aire comprimido. El color de esta lámpara es ámbar.
- L2. Esta lámpara indicará bajo nivel de material en los dos silos, dependiendo del código visual que muestre indicará el silo que tiene bajo nivel de material. Lámpara color rojo.

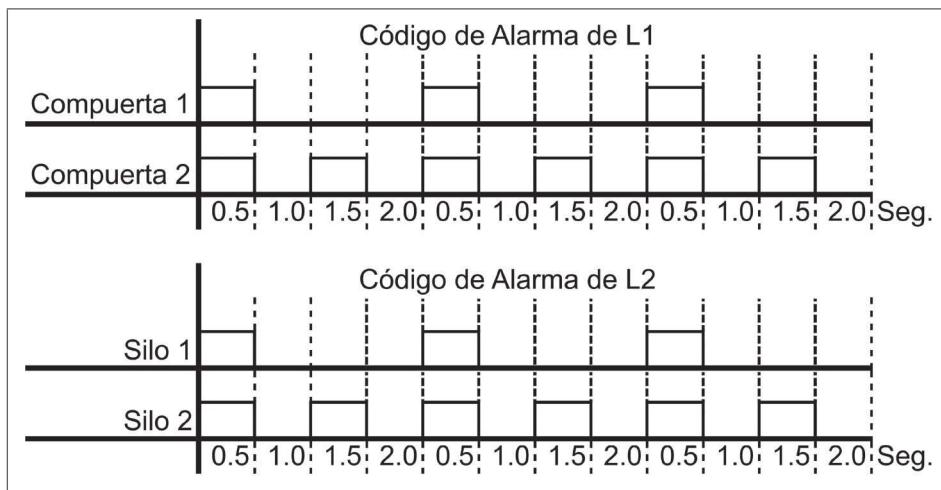


Fig. 9-75. Códigos de alarmas.

Las alarmas son refrescadas con el botón conectado en la entrada I1.6, éste puede ser un interruptor de llave. El esquemático de este ejercicio se muestra en la Fig. 9-76.

De este ejemplo se deben encontrar los siguientes incisos:

- Obtener el diagrama de temporizadores en cascada que represente la secuencia del proceso.
- Obtener el diagrama de temporizadores para obtener el código visual de alarmas.
- Obtener las ecuaciones del sistema.
- Diagrama de flujo para mostrar los mensajes y programación de los lotes de producción.

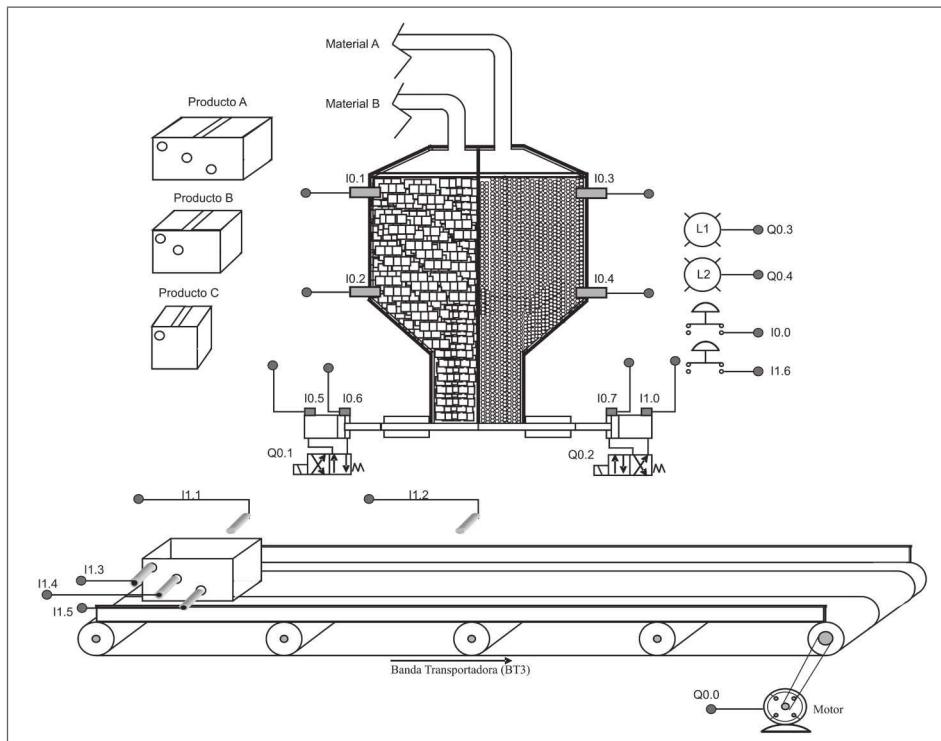


Fig. 9-76. Esquemático de la estación de llenado con una variante de tres productos. Ejemplo 9.12.2.

Solución

La transferencia de las ecuaciones del sistema al diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens se le deja al lector como ejercicio de práctica.

Diagrama de temporizadores en cascada

El diagrama de temporizadores en cascada se obtiene de la secuencia explicada con anterioridad. Al tener tres productos diferentes se define que se tiene un sistema con tres ramales y línea principal.

El sistema se inicia con una transición negativa del botón I0.0 y se retiene con una memoria que se restablece cuando se ha completado la producción total, posterior a esta memoria se enciende un temporizador con un valor preestablecido muy pequeño, solo como tiempo relajador entre las funciones que son activadas en el siguiente paso.

Hay un ramal para cada uno de los tres productos, cada ramal inicia con las condiciones requeridas para cada producto, además de la verificación de nivel de los dos materiales y la detección del sensor I1.1 que identifica la caja en posición de ser transportada a la estación de llenado de producto. Si estas condiciones no se cumplen no se inicia el proceso. A partir de aquí se selecciona el ramal que va a estar en operación, quedando memorizado por acciones propias de una memoria hasta el final del proceso. Se requiere una memoria para cada ramal. Cuando termina el ciclo de operación se refrescan las tres memorias mediante un contacto NC del temporizador final de operación que también ayuda a mover la caja hacia la siguiente estación no ilustrada en este ejemplo.

El sistema de temporizadores en cascada es del tipo m ramales y n memorias, solo existe una red de memorias, y actúa sobre los tres ramales, solo la memoria de inicio de cada ramal es única para esta función.

La caja avanza y llega a la posición de llenado donde se encuentra el sensor I1.2. En ese momento se activa una memoria y ésta a su vez activa un temporizador de bajo valor preestablecido que ayuda a la localización precisa de la caja.

La secuencia del llenado del producto A, B y C está dada por la Tabla 9-10, en el suministro de cada uno de los materiales, el tiempo de llenado del material se activa con el sensor de compuerta abierta.

Al terminar de llenar el producto se enciende la banda transportadora que saca el producto terminado de la posición de llenado. Al terminar, el tiempo de llenado se incrementa mediante un pulso en la entrada de incremento de conteo del propio contador C1 mandado por uno de los tres temporizadores del final de cada ramal.

Si se toman en cuenta estas consideraciones se obtiene el diagrama de temporizadores en cascada que se muestra en la Fig. 9-77.

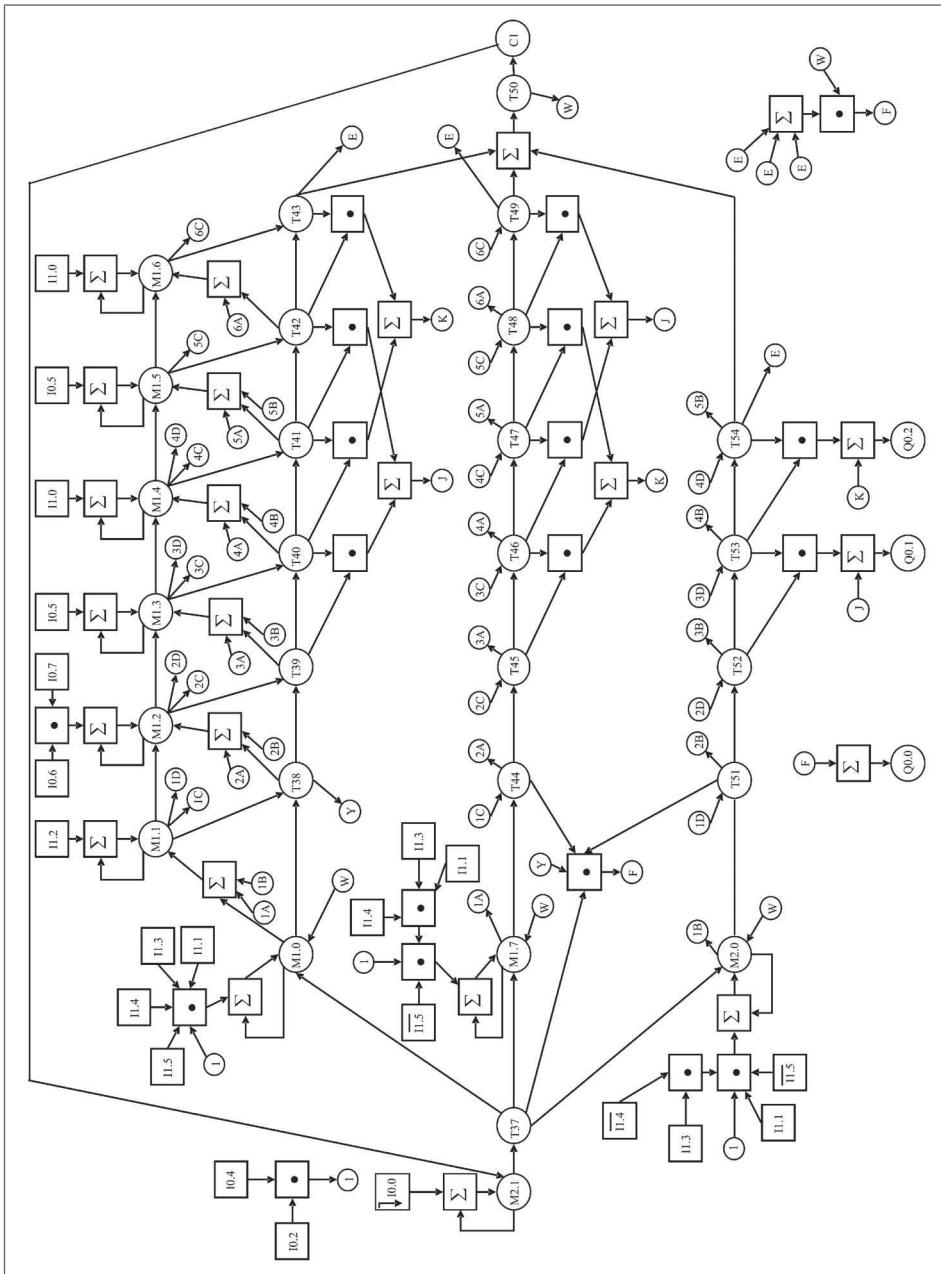


Fig. 9-77. Diagrama de temporizadores en cascada del ejemplo 9.12.2.

Se utiliza la representación de algunas conexiones mediante puntos de conexión para evitar saturar al diagrama con los conectores de enlace. Los conectores de enlace que salen de las operaciones de suma y multiplicación no entran al cuadrante de contactos.

Diagrama de temporizadores en cascada para las alarmas

La alarma de la lámpara L1 se activa en dos etapas, una para cada silo. Al activarse la salida Q0.1 y la salida Q0.2 se condicionan con las entradas de fin de carrera de cada una de las compuertas, I0.6 e I0.7, de tal forma que si se demora más de 10 segundos la alarma con el código visual ya establecido se activa. Las condiciones son sumadas para que actúe la alarma para ambas salidas, Q0.1 y Q0.2. El diagrama de temporizadores de esta alarma se muestra en la Fig. 9-78. El valor del temporizador T59 es de bajo valor preestablecido (0.1 segundos), el valor de T55 debe ser de 10 segundos, el valor de tiempo de T56 es de 0.5s, el valor de T58 es de 1.5s y el valor de T57 es de 0.5s. La Fig. 9-78 muestra el resultado de este diagrama de tiempos en cascada. Otra opción para este diagrama de temporizadores en cascada es realizar soluciones independientes, es decir que se solucione primero para Q0.1 y posterior para Q0.2 y las funciones de salida que den como resultado en cada uno de los diagramas se suman para dar como resultado la función de salida Q0.3.

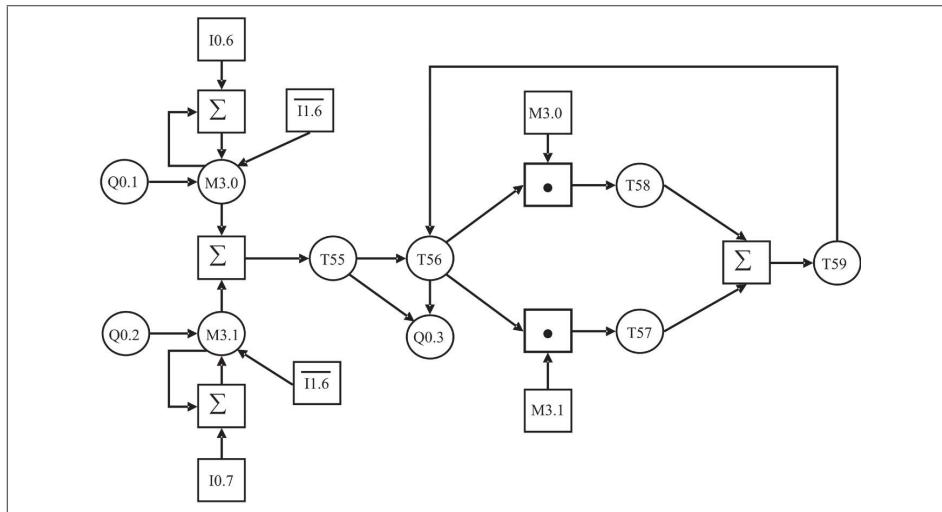


Fig. 9-78. Diagrama de temporizadores en cascada para la alarma L1.

La alarma L2 se activa cuando uno de los dos sensores de nivel bajo es activado, mediante un código visual se va a definir a que silo, A o B, le hace falta material. El diagrama inicia con la condición de I0.2 o I0.4, sensores de nivel bajo en ambos silos. Al detectar un bajo nivel se activa una memoria y ésta a su vez memoriza encendiéndolo un temporizador con un valor de tiempo preestablecido bajo e inmediatamente se enciende la salida Q0.4 por un período de 0.5 segundos y dependiendo que sensor detectó nivel bajo es el tiempo que se va a mantener apagada. Los valores de

tiempos son: T60 de 0.1s, T61 de 0.5s, T62 de 1.5s y T101 de 0.5s. El diagrama de temporizadores en cascada se muestra en la Fig. 9-79.

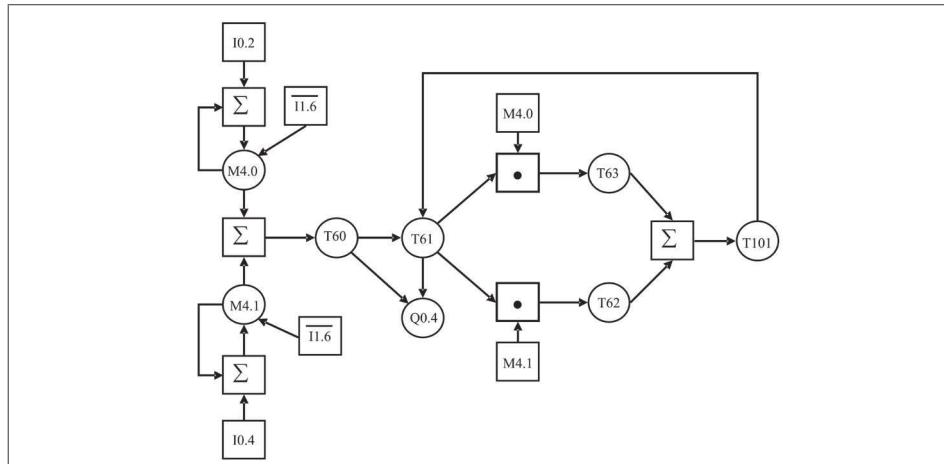


Fig. 9.79. Diagrama de temporizadores en cascada para la alarma de bajo nivel de material en los silos.

En esta última alarma se puede notar que no se consideró la entrada de nivel alto detectados ambas funciones por los sensores I0.1 e I0.3, pero es seguro que se utilicen para llenar los silos a su máximo nivel, por lo tanto es parte de otra secuencia del sistema no analizada en este ejemplo.

Ecuaciones del sistema

Para obtener las ecuaciones del sistema se utiliza el cuadrante de contactos del método. Se inicia con las ecuaciones de las memorias principales de la línea principal y las memorias que seleccionan cada uno de los ramales.

$$M2.1 = (\downarrow I0.0 + M2.1) \bar{C1}$$

$$M1.0 = (I1.1 I1.3 I1.4 I1.5 I0.2 I0.4 + M1.0) T37 \bar{T50}$$

$$M1.7 = (I1.1 I1.3 I1.4 \bar{I1.5} I0.2 I0.4 + M1.7) T37 \bar{T50}$$

$$M2.0 = (I1.1 I1.3 \bar{I1.4} \bar{I1.5} I0.2 I0.4 + M2.0) T37 \bar{T50}$$

Ahora se obtienen las ecuaciones de la red de memorias que mantienen en operación al sistema de tiempos y que no permiten que se desconecte la secuencia aunque el tiempo del temporizador haya transcurrido.

$$\begin{aligned}
 M1.1 &= (M1.0 + M1.7 + M2.0)(I1.2 + M1.1) \\
 M1.2 &= (T38 + T44 + T51)[(I0.6 I0.7) + M1.2] \\
 M1.3 &= (T39 + T45 + T52)(I0.5 + M1.3) \\
 M1.4 &= (T40 + T46 + T53)(I1.0 + M1.4) \\
 M1.5 &= (T41 + T47 + T54)(I0.5 + M1.5) \\
 M1.6 &= (T42 + T48)(I1.0 + M1.6)
 \end{aligned}$$

Las ecuaciones de las funciones de tiempo se obtienen aplicando el cuadrante de contactos, lo que da como resultado las siguientes ecuaciones de tiempo:

$$\begin{aligned}
 T37 &= M2.1 \\
 T38 &= M1.1 M1.0 \\
 T39 &= T38 M1.2 \\
 T40 &= T39 M1.3 \\
 T41 &= T40 M1.4 \\
 T42 &= T41 M1.5 \\
 T43 &= T42 M1.6 \\
 T44 &= M1.7 M1.1 \\
 T45 &= T44 M1.2 \\
 T46 &= T45 M1.3 \\
 T47 &= T46 M1.4 \\
 T48 &= T47 M1.5 \\
 T49 &= T48 M1.6 \\
 T50 &= T43 + T49 + T54 \\
 T51 &= M2.0 M1.1 \\
 T52 &= T51 M1.2 \\
 T53 &= T52 M1.3 \\
 T54 &= T53 M1.4
 \end{aligned}$$

Las ecuaciones de las funciones de salida del sistema principal son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 Q0.0 &= (T37 \overline{T38} \overline{T44} \overline{T51}) + [(T43 + T49 + T54) \overline{T50}] \\
 Q0.1 &= (T39 \overline{T40}) + (T41 \overline{T42}) + (T52 \overline{T53}) \\
 Q0.2 &= (T40 \overline{T41}) + (T42 \overline{T43}) + (T53 \overline{T54})
 \end{aligned}$$

La ecuación del contador encargado de parar el sistema al momento de llegar a la producción requerida, el temporizador T55 es el encargado de incrementar el número de eventos.

$$C1(CU) = T50$$

$$C1(R) = \overline{M2.1} C1$$

Las ecuaciones de la alarma 1 se obtienen del diagrama de temporizadores en cascada mostrado en la Fig. 9-78.

$$M3.0 = (I0.6 + M3.0) \overline{I1.6} Q0.1$$

$$M3.1 = (I0.7 + M3.1) \overline{I1.6} Q0.2$$

$$T55 = M3.0 + M3.1$$

$$T56 = T55 \overline{T59}$$

$$T57 = T56 M3.1$$

$$T58 = T56 M3.0$$

$$T59 = T58 + T57$$

$$Q0.3 = T55 \overline{T56}$$

Las ecuaciones de la alarma 2 son obtenidas del diagrama de tiempos en cascada mostrado en la Fig. 9-79.

$$M4.0 = (I0.2 + M4.0) \overline{I1.6}$$

$$M4.1 = (I0.4 + M4.1) \overline{I1.6}$$

$$T60 = M4.0 + M4.1$$

$$T61 = T60 \overline{T101}$$

$$T62 = T61 M4.1$$

$$T63 = T61 M4.0$$

$$T101 = T62 + T63$$

$$Q0.3 = T60 \overline{T61}$$

Diagrama de flujo de los mensajes a desplegar

Los mensajes a desplegar son el de bienvenida e identificación del sistema, en el mensaje 2 se podrá programar el lote de producción y el tiempo requerido para mover el producto terminado desde la estación de llenado hasta la siguiente estación de trabajo, en este ejemplo no se muestra. El tercer mensaje es mostrar el acumulado actual de cada producto, para que se pueda realizar esta operación se requiere agregar tres contadores totalizadores sin ningún efecto sobre la lógica del sistema. La Fig. 9-80 muestra los tres mensajes a desplegar con la TD200.

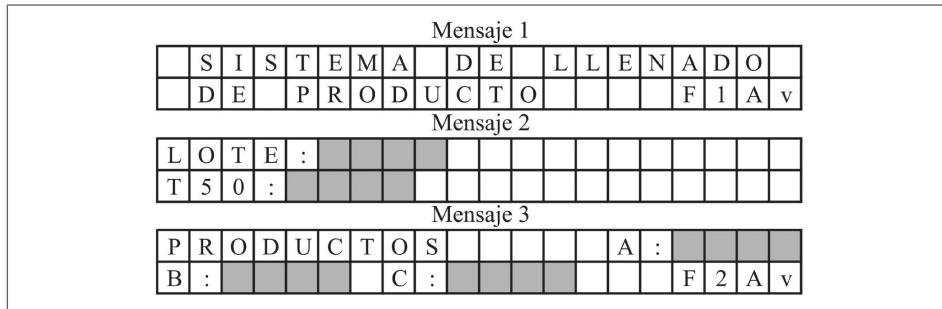


Fig. 9-80. Mensajes a desplegar del ejemplo 9.12.2.

Los contadores totalizadores deben tener el máximo valor preestablecido del que dispone el PLC para un contador, los pulsos de conteo son activados por el último temporizador del ramal: el producto A es activado por el temporizador T43, el producto B por el temporizador T49 y el producto C por el T54.

El diagrama de flujo para desplegar los mensajes se muestra en la Fig. 9-81. Para pasar del mensaje 1 al mensaje 2 se debe pulsar la tecla F1, en la lógica escalera esta función es la memoria M0.0, con solo dar acuse de recibo (enter) en el segundo dato (T50) es suficiente para pasar del mensaje 2 al mensaje 3, y para regresar al mensaje 1 desde el mensaje 3 se debe pulsar la tecla de la función F2.

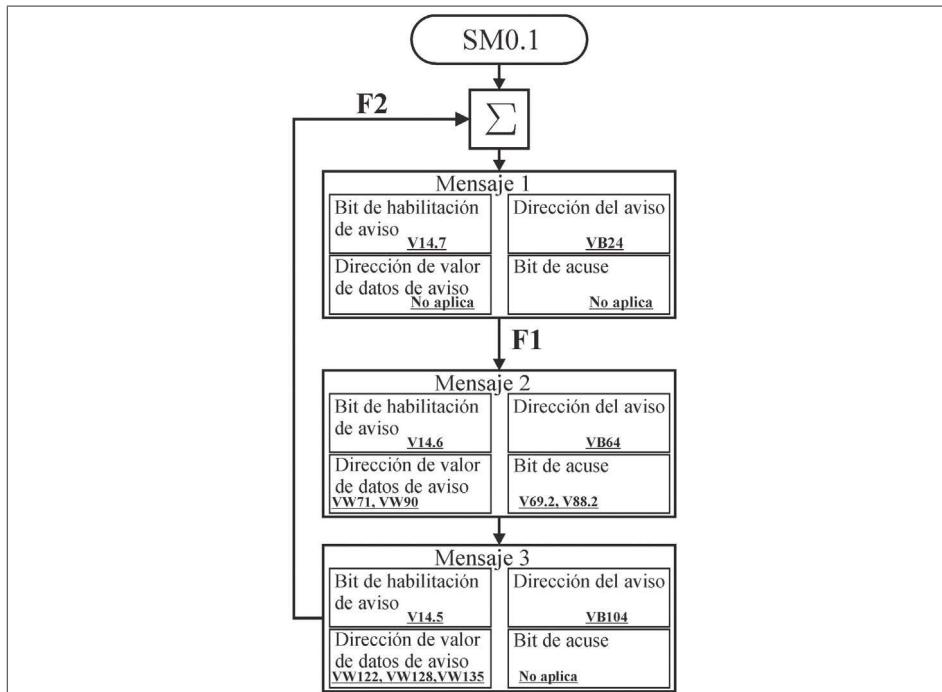


Fig. 9-81. Diagrama de flujo de las condiciones necesarias para visualizar los mensajes en la TD200.

El desarrollo del diagrama de lógica de contactos se deja como ejercicio para el lector, solo es transferir las ecuaciones del sistema y agregar los contadores totalizadores C2, C2 y C3. Para mover los datos puede utilizar la función MOV_W y para mover los mensajes utilice la función MOV_B.

Ejemplo 9.12.3

El diagrama de tiempos en cascada que se muestra en la Fig. 9-82 es parte de un sistema secuencial, cuenta con tres funciones de salida y dos señales de entrada, el sistema cuenta con dos ramales y una línea principal. Obtenga los siguientes incisos.

- Tiempo de ciclo para cada ramal.
- Ecuaciones de las funciones de tiempo y de salida.
- Tiempo de operación de las funciones $F1,R1$, $F2,R1$ y $F1,R2$.
- Diagrama de lógica de contactos con el FluidSim.

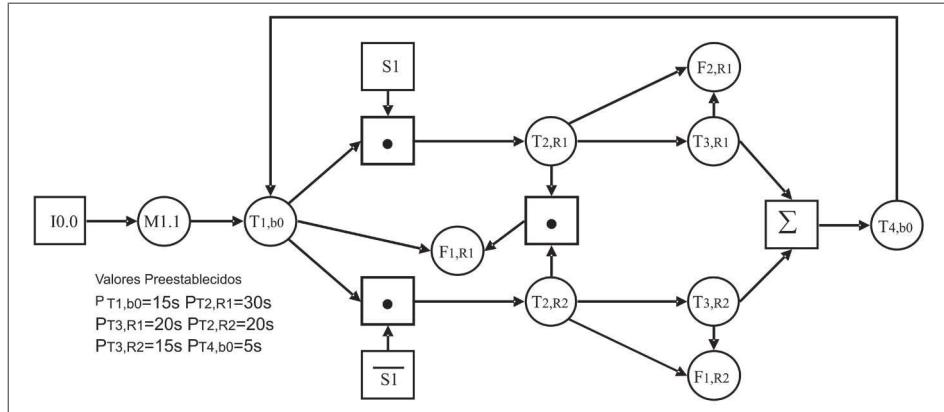


Fig. 9-82. Diagrama de temporizadores en cascada para el ejemplo 9.12.3.

Solución

a. Tiempo de ciclo para cada ramal

Primero se obtienen los tiempos de ciclo de los dos ramales con la ecuación 7.

$$T_{RmTCiclo} = \sum_{t=1}^n P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^n P_{Tt,Rm}$$

Para el ramal 1 se tienen los valores de $n=4$, $i=1$ y $m=1$.

$$T_{R1TCiclo} = \sum_{t=1}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=1}^4 P_{Tt,R1}$$

$$T_{R1TCiclo} = P_{T1,b0} + P_{T2,b0} + P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T1,R1} + P_{T2,R1} + P_{T3,R1} + P_{T4,R1}$$

$$T_{R1TCiclo} = 15s + 0s + 0s + 5s + 0s + 30s + 20s + 0s = 70s$$

Si selecciona el ramal 1 el tiempo de ciclo es de 70 segundos.

Para el ramal 2 los valores son: $n=4$, $i=1$ y $m=2$.

$$T_{R2TCiclo} = \sum_{t=1}^4 P_{Tt,b0} + \sum_{t=1}^4 P_{Tt,R2}$$

$$T_{R2TCiclo} = P_{T1,b0} + P_{T2,b0} + P_{T3,b0} + P_{T4,b0} + P_{T1,R2} + P_{T2,R2} + P_{T3,R2} + P_{T4,R2}$$

$$T_{R1TCiclo} = 15s + 0s + 0s + 5s + 0s + 20s + 15s + 0s = 55s$$

Si es seleccionado el ramal 2 el tiempo de ciclo de operación es de 55 segundos.

b. Ecuaciones de las funciones de tiempo y de salida

Ecuaciones de las funciones de tiempo

$$M1.1 = I0.0$$

$$T_{1,b0} = M1.1$$

$$T_{2,R1} = S1 T_{1,b0}$$

$$T_{3,R1} = T_{2,R1}$$

$$T_{4,b0} = T_{3,R1} T_{3,R2}$$

$$T_{2,R2} = \overline{S1} T_{1,b0}$$

$$T_{3,R2} = T_{2,R2}$$

c. Tiempo de operación de las funciones F1,R1, F2,R1 y F1,R2

Para obtener los tiempos que están encendidas las funciones $F2,R1$ y $F1,R2$ se aplica la ecuación 8.

Al seleccionar el ramal 1 se deben obtener los valores de tiempo de las funciones $F1,R1$ y $F2,R1$, solo que se aplican ecuaciones diferentes, para obtener el tiempo de operación de la función $F2,R1$ se aplica la ecuación 8.

$$T_{Fq,Rm} = \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,Rm}$$

Los valores son $a=3$, $c=2$, $q=2$ y $m=1$. Si se sustituyen estos valores en la ecuación se obtiene el tiempo de operación de la función encendido de

$$T_{F2,R1} = \sum_{t=2+1}^3 P_{Tt,R1}$$

$$T_{F2,R1} = P_{T3,R1} = 20s$$

Para obtener el tiempo de operación de la función $F1,R2$ se aplica la misma ecuación 8. Los valores son $a=3$, $c=2$, $q=1$ y $m=2$.

$$\begin{aligned} T_{F1,R2} &= \sum_{t=2+1}^3 P_{Tt,R2} \\ T_{F2,R2} &= P_{T3,R2} = 15 \text{ s} \end{aligned}$$

Para la función $F1,R1$ se deben obtener dos tiempos de operación, uno es cuando está en operación el ramal 1 y el otro cuando está en operación el ramal 2. La ecuación que se usa es la 10.

$$T_{Fq,Rm} = \sum_{t=c+1}^a P_{Tt,b0} + \sum_{t=i}^a P_{Tt,Rm}$$

Los valores para el ramal son $q=1$, $m=1$, $a=2$, $c=1$ e $i=2$. Si se sustituyen estos valores en la ecuación.

$$\begin{aligned} T_{F1,R1} &= \sum_{t=1+1}^2 P_{Tt,b0} + \sum_{t=2}^2 P_{Tt,R1} = \sum_{t=2}^2 P_{Tt,b0} + \sum_{t=2}^2 P_{Tt,R1} = \\ T_{F1,R1} &= P_{T2,b0} + P_{T2,R1} = 0 \text{ s} + 30 \text{ s} = 30 \text{ s} \end{aligned}$$

La función estará en operación por 30 segundos cuando sea seleccionado el ramal 1. Para obtener el tiempo de operación se deben considerar los siguientes valores: $q=1$, $m=2$, $a=2$, $c=1$ e $i=2$. Al sustituir los valores en la ecuación se tiene el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} T_{F1,R1} &= \sum_{t=1+1}^2 P_{Tt,b0} + \sum_{t=2}^2 P_{Tt,R2} = \sum_{t=2}^2 P_{Tt,b0} + \sum_{t=2}^2 P_{Tt,R2} = \\ T_{F1,R1} &= P_{T2,b0} + P_{T2,R2} = 0 \text{ s} + 20 \text{ s} = 20 \text{ s} \end{aligned}$$

d. Diagrama de lógica de contactos con el FluidSim

El diagrama de lógica de contactos se le deja como ejercicio de práctica al lector, solo requiere transferir las ecuaciones a un diagrama con el FluidSim.

9.13 Problemas y preguntas

Para resumir el capítulo, el lector va a tener que responder algunas preguntas y resolver ejercicios.

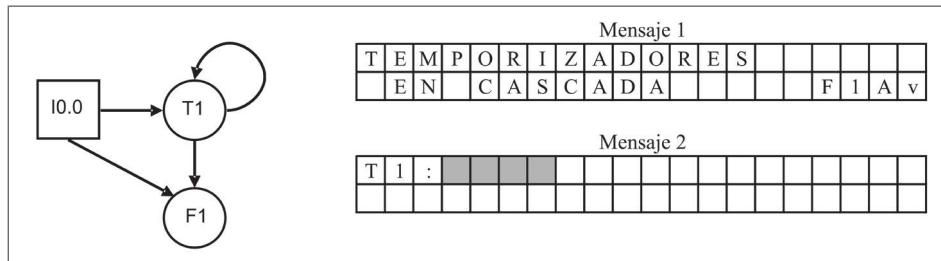
Preguntas

01. ¿Cuál es el límite del método “Temporizadores en Cascada”?
02. Defina el conector de enlace.
03. ¿Qué es el cuadrante de contactos?
04. ¿Qué herramienta se requiere para transferir un diagrama de “Temporizadores en Cascada” a ecuaciones?
05. ¿Cuál sistema requiere de la retroalimentación de lazo, un sistema cíclico o de un solo ciclo?
06. ¿Cuál es el símbolo de la suma y multiplicación?
07. ¿Qué conectores de enlace no entran al cuadrante de contactos?
08. ¿Qué arreglo necesitan los temporizadores para que el sistema secuencial funcione a la perfección?
09. ¿Qué es el valor preestablecido en un temporizador?
10. ¿Al transferir un conector de enlace a una ecuación importa cómo sale de una función o cómo entra?
11. ¿Qué es un ramal?
12. ¿Cuántas posibles direcciones tiene un conector de enlace que representa un contacto normalmente cerrado (NC)?
13. ¿Cuántas posibles direcciones tiene un conector de enlace que representa un contacto normalmente abierto (NA)?
14. ¿Para obtener un tiempo mediante las ecuaciones del método el valor de a es el conector de enlace que enciende o que apaga una función?
15. ¿Para obtener un tiempo mediante las ecuaciones del método el valor de c es el conector de enlace que enciende o que apaga una función?
16. ¿Qué componentes pueden desempeñar la función de una señal externa?
17. En un temporizador, ¿qué indica cada uno de los subíndices $T3,R2$?
18. Ubique en un sistema los siguientes temporizadores y funciones: $T1,b0, F1,b0, F3,R4$.
19. ¿Qué indica la constante k en un sistema con subrutinas de tiempo?
20. ¿Cuál es la función de una memoria en el método “Temporizadores en Cascada”?

Problemas

9.13.1. El diagrama que se muestra en la Fig. 9-83 consta de una función de salida, una función de tiempo y una entrada I0.0. Encuentre los siguientes incisos:

- Ecuaciones del sistema.
- Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.
- El valor preestablecido se puede ajustar mediante el visualizador de textos TD200.



9.13.2. El diagrama de tiempos de la Fig. 9-84 muestra un código de alarma visual generado por una lámpara, la alarma AL1 es activada por la entrada I0.0, la alarma AL2 por la entrada I0.1 y la alarma AL3 por la entrada I0.2. Obtenga los siguientes incisos:

- Desarrolle el diagrama de temporizadores en cascada.
- Obtenga las ecuaciones del sistema.
- Obtenga el diagrama de lógica de contactos y la simulación con el FluidSim.
- Obtenga el diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

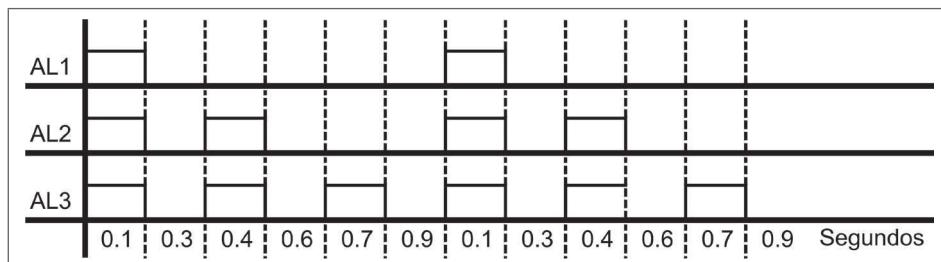


Fig. 9-84. Diagrama de tiempos del código visual del ejemplo 9.13.2.

9.13.3. Obtenga las ecuaciones del sistema mostrado en la Fig. 9-85 y transfírelas a un diagrama de lógica de contactos y demuestre que el diagrama corresponde a un semáforo localizado en un crucero donde V1, R1 y A1 son las lámparas verde, roja y ambar del semáforo 1 y V2, R2 y A2 son las lámparas verde, roja y ambar del semáforo 2. Obtenga los siguientes incisos:

- Ecuaciones del sistema.
- El valor de m_1 y m_2 .
- Diagrama de lógica de contactos y simulación con el FluidSim.
- El diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

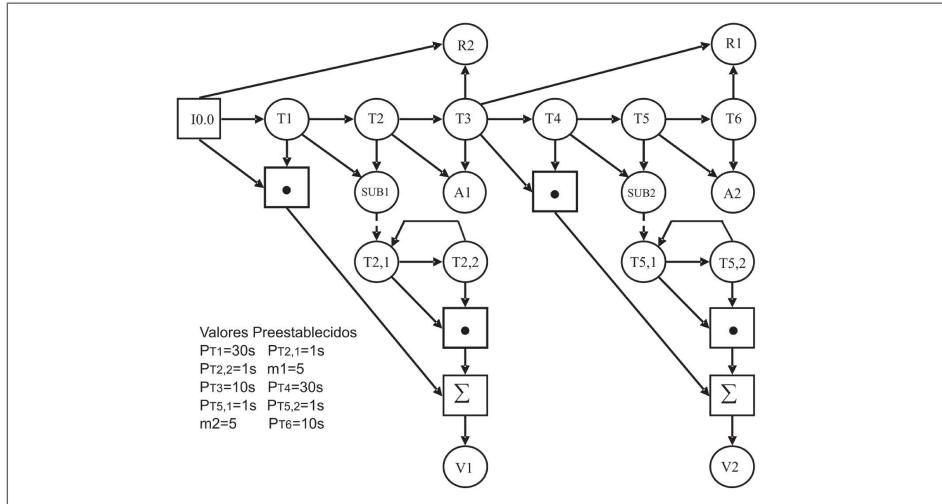


Fig. 9-85. Diagrama de temporizadores en cascada para el ejemplo 9.13.3.

9.13.4. El esquemático de la Fig. 9-86 es parte de un proceso industrial. En la banda transportadora (BT1) se vierten los materiales A y B, la cantidad es proporcional a la función tiempo y las condiciones para suministrar los materiales son los siguientes: el material será vertido entre las barreras, el sensor I0.6 es el encargado de detener la banda transportadora BT1 y localizar un espacio para que se llene de los dos materiales, A y B; los sensores I0.2 e I0.5 son los encargados de verificar que se están suministrando ambos materiales, al terminar de suministrar los materiales se deberá encender la banda transportadora que parará otra vez cuando el sensor I0.6 detecte la posición. Ambos silos deberán estar llenos al iniciar el proceso mediante una transición negativa del botón conectado a la entrada I0.7, el llenado de ambos silos se considera que es suficiente para un día de producción, sin embargo es conveniente que se mantenga como condición los dos sensores de nivel bajo de ambos silos, si no se detecta material se deberán mantener las compuertas cerradas y deberá encenderse la lámpara conectada en la salida Q0.3 y los materiales en la banda transportadora deberán ser suministrados al mezclador, no deberán parar las dos bandas transportadoras.

- Obtenga el diagrama de temporizadores en cascada del sistema, defina los valores preestablecidos.
- Obtenga las ecuaciones del sistema.
- Transfiera las ecuaciones a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

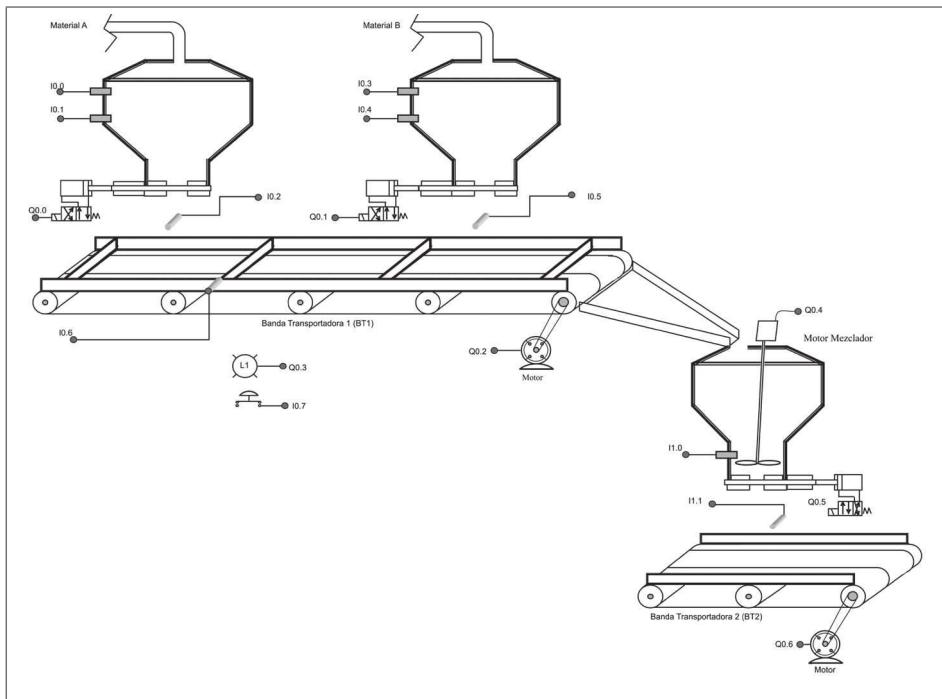


Fig. 9-86. Esquemático del ejemplo 9.13.4.

CAP TULO 10

Sistemas secuenciales electroneum ticos industriales

10.1 Introducci n

En los sistemas secuenciales basados en neumática pura, como se explicó en el capítulo 6, en estos sistemas secuenciales, la fuerza es producida mediante cilindros o motores neumáticos, lineales o rotativos, además la manipulación de estos actuadores y el acoplamiento de señales como fines de carrera, sensores y captadores de señales neumáticas se efectúa mediante válvulas exclusivamente neumáticas; es decir, el mando, la regulación y la automatización se realiza de manera totalmente neumática.

Ahora al estudiar sistemas automatizados a base de electroneumática, la energía eléctrica sustituye a la energía neumática como el elemento natural para la generación y transmisión de las señales de control que se ubican en los sistemas de mando.

El estudio de sistemas secuenciales del tipo electroneumático es de gran interés en el área de la ingeniería, ofrece un amplio campo de aplicaciones en el área de la automatización industrial ya que soluciona desde sistemas muy sencillos hasta muy complejos. Este tipo de estudios se realiza de manera analítica y práctica. En el campo analítico el apoyo es obtenido de las metodologías desarrolladas en los capítulos anteriores, lo que da solución a sistemas del tipo secuencial con y sin la función tiempo dentro de la estructura de la secuencia. En el campo práctico se llegará hasta la simulación del sistema con el FluidSim de FESTO.

Este tipo de sistemas secuenciales suelen ser utilizados en un porcentaje mayor a nivel industrial, comparado con los sistemas secuenciales del tipo neumático, debido a las grandes ventajas que se concretan en la capacidad que tienen la electricidad y la electrónica para emitir, combinar, transportar y secuenciar señales, que las hacen extraordinariamente idóneas para cumplir tales fines.

Otras ventajas: son más económicos, son fáciles de operar y de identificar fallos, la implementación puede ser a base de relevadores, se llama lógica cableada, o si se basa en el PLC se llama lógica programada. Hoy en día los más usuales son los sistemas basados en lógica programada.

Como su estructura se compone de dos tipos de circuitos, uno eléctrico y otro neumático, requiere dos tipos de energías para operar, energía eléctrica y energía neumática. La energía eléctrica se requiere para habilitar el piloto eléctrico de las válvulas, los sensores y el circuito a base de relevadores o PLC y la energía neumática para realizar los movimientos de los dispositivos que conforman el circuito neumático. Esta energía se crea por la presión del aire comprimido obtenida de un compresor.

Circuito eléctrico

Este circuito contiene la secuencia o lógica del sistema y está construido por los dispositivos eléctricos que el sistema requiere: sensores, botones manuales e interruptores de límite que tienen la función de dispositivos de entrada, bobinas y contactos de relevadores con la función de dispositivos de procesamiento de las señales de entrada, solenoides como elemento final de control del circuito eléctrico y la fuente de alimentación o energía eléctrica. La Fig. 10-1 muestra de manera general la estructura de un sistema secuencial del tipo electroneumático.

Circuito neumático

Está estructurado por componentes neumáticos y contiene las válvulas direccionales con piloto eléctrico llamado elemento de control. Como elemento final de control tiene a los actuadores neumáticos del sistema, estos dispositivos son alimentados mediante una fuente de energía neumática representada en el FluidSim por un compresor, este circuito puede contar con válvulas reguladoras de flujo para controlar la velocidad del elemento final de control, también se pueden incluir medidores de presión y unidades de mantenimiento, estos últimos ayudan a mantener los dispositivos neumáticos en óptimas condiciones.

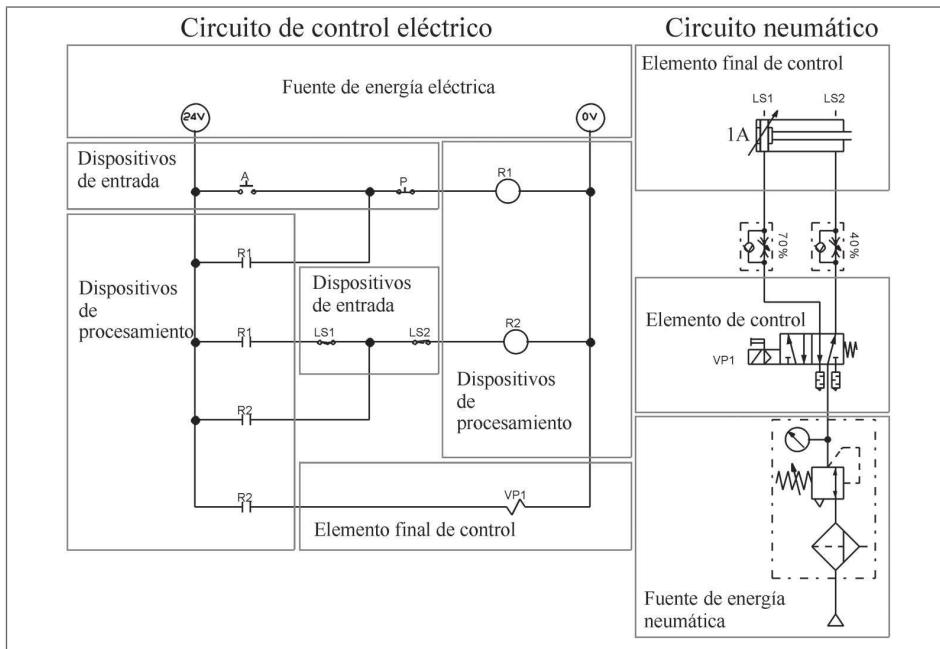


Fig. 10-1. Estructura de un sistema secuencial del tipo electroneumático con lógica cableada.

10.2 Elementos de control de un sistema secuencial electroneumático

El circuito de control está dividido en tres principales etapas: la primera corresponde a los dispositivos de entrada, la segunda a los dispositivos encargados de procesar la información y la tercera a los dispositivos de salida. Cada una de las etapas tiene su función en la operación del circuito de control.

Dispositivos de entrada

Son los dispositivos encargados de captar las señales del proceso o sistema y acoplarlas a los niveles de voltaje o corriente requeridos por el controlador del sistema secuencial.

Como dispositivos de entrada en sistemas electroneumáticos es común utilizar sensores del tipo magnético montados sobre los cilindros neumáticos, como lo muestra la Fig. 10-2. La ventaja reside en que el cuerpo de los cilindros es de aluminio y el émbolo tiene una cintilla magnética, este campo magnético pasa a través del aluminio de tal forma que los sensores magnéticos lo detectan ubicando de esta manera la posición del émbolo del cilindro. En la mayoría de las aplicaciones los sensores están localizados en la camisa del cilindro.

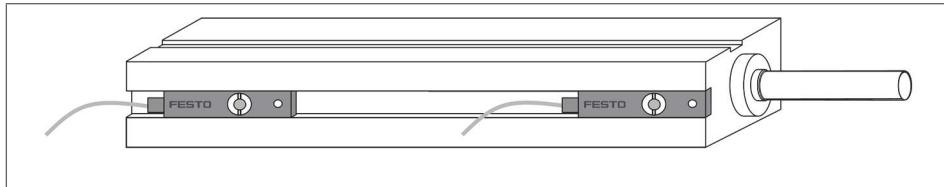


Fig. 10-2. Sensores magnéticos en un cilindro neumático.

Otro dispositivo de entrada son los interruptores de límite. Su detección se realiza en el inicio y final de carrera del vástagos del cilindro y son activados mecánicamente. También se pueden utilizar los sensores del tipo capacitivo, inductivo y óptico, la detección se realiza con el vástagos del cilindro al tener una leva o un relieve que pueda sobresalir del propio vástagos y que sirva como punto de detección, también dentro de estos dispositivos se consideran los sensores de presión y de vacío.

Dispositivos de procesamiento

Es todo dispositivo utilizado para procesar la información obtenida de las señales de entrada mediante una lógica ya establecida, ya sea cableada o programada. Su interconexión genera la secuencia con que estará operando el sistema, en este tipo de dispositivos se ubican memorias, temporizadores, contadores y funciones especiales con que cuenta un PLC.

Dispositivos de salida

Estos dispositivos son el medio para que los sensores capten señales del sistema y que los componentes de procesamiento analicen la información mediante conexiones entre ellos con el fin de encender o apagar las funciones de salida que en un sistema secuencial del tipo electroneumático son las bobinas de las válvulas direccionales. Ahora, las válvulas direccionales tienen piloto eléctrico.

Estos dispositivos de salida realizan la interconexión con el circuito neumático, al activar la solenoide se estarán seleccionando las posiciones de las válvulas electroneumáticas.

La interconexión entre las tres etapas da como resultado un sistema secuencial.

10.3 Tipos de mandos en sistemas secuenciales electroneumáticos

Las válvulas direccionales en estos sistemas cuentan con la misma configuración de un sistema secuencial neumático, vías y posiciones. Ahora el piloto difiere, es del tipo eléctrico, por lo tanto las condiciones que activarán y desactivarán el piloto deben ser del tipo eléctrico. La acción de activar un piloto eléctrico y direccionar una presión neumática es el resultado de la interconexión entre el circuito eléctrico y el circuito neumático.

Válvula del tipo monoestable

Es una válvula 3/2, 4/2 o 5/2, dependiendo de las necesidades de aplicación, con piloto eléctrico en la posición A. Para que esta posición sea seleccionada es necesario aplicarle un voltaje de corriente directa o de corriente alterna al piloto eléctrico, también llamado solenoide, el nivel y tipo de voltaje aplicado depende de las especificaciones eléctricas de la solenoide. Al desconectar el voltaje regresa a la posición B por el efecto del resorte, posición inicial de la válvula. La Fig. 10-3 muestra el símbolo y el diagrama de mando de esta válvula.

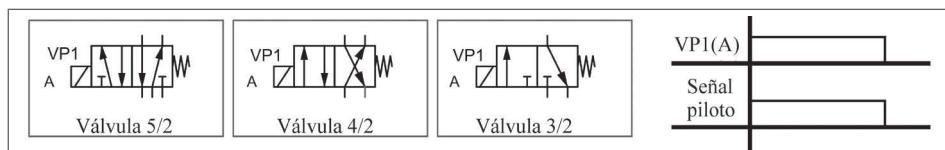


Fig. 10-3. Válvula monoestable con piloto eléctrico en A.

Del diagrama de mando se observa que el tiempo que está presente el piloto eléctrico es el tiempo que está seleccionada la posición A de la electroválvula, este efecto se debe al resorte.

Válvula del tipo biestable

Es una válvula de dos posiciones y puede tener 3, 4 o 5 vías. Los pilotos en posición A y B son del tipo eléctrico. Para seleccionar la posición A se requiere aplicar un voltaje a la solenoide, este pulso puede ser desde instantáneo hasta sostenido. Cuando este pulso se remueve se queda seleccionada la posición hasta que se presenta un pulso en la posición contraria. La Fig. 10-4 muestra el símbolo y diagrama de mando de una electroválvula del tipo biestable.

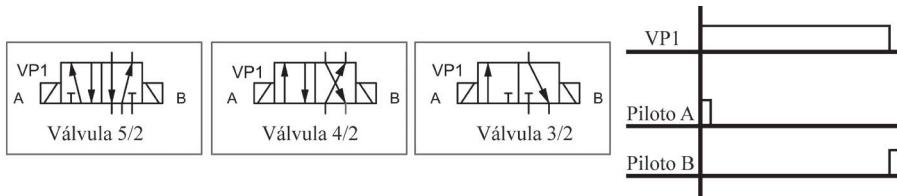


Fig. 10-4. Válvula biestable con pilotos eléctricos en ambas posiciones.

Del diagrama de mando se observa que se requiere un pulso para activar la posición A y se mantendrá en esa posición hasta que se active el piloto de la posición contraria, posición B, mediante un pulso eléctrico. La forma de operar de esta válvula hace que se considere que cuenta con memoria, ya que solo requiere un pulso instantáneo para que sea y se mantenga seleccionada una posición.

Válvula de tres posiciones

Esta válvula puede seleccionarse de 4 o 5 vías. La Fig. 10-5 muestra esta válvula y su diagrama de mando, cuenta con dos pilotos eléctricos que estarán seleccionando las posiciones de los extremos. La posición central se seleccionará desde el inicio, indicando que no requiere la activación de alguno de los dos pilotos.

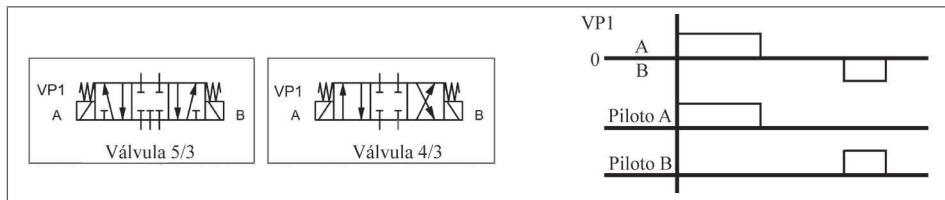


Fig. 10-5. Válvula de tres posiciones y el diagrama de mando.

En el diagrama de mando se observa que el tiempo que están presentes los pilotos es el tiempo que está seleccionada la posición. La posición A está en operación el tiempo que está encendido el piloto eléctrico en la solenoide A y al desconectarse se regresa a la posición inicial que es la posición central llamada cero (0). Lo mismo sucede al encender el piloto de la posición B. La configuración de la posición central puede cambiar de acuerdo a las necesidades del sistema electroneumático.

Estos grupos de válvulas son las principales configuraciones que se presentan en un automatismo electroneumático. También puede existir la necesidad de considerar otro tipo de configuraciones que se llaman configuraciones especiales.

10.4 Diseño del diagrama de funcionamiento de un sistema electroneumático

Como en cualquier problema del tipo secuencial a ser resuelto se requiere obtener un resultado efectivo en tiempo y función, y aún mejor si el resultado es obtenido a base de métodos analíticos, así se evita que la acumulación de años de experiencia sea la gran diferencia para obtener el resultado efectivo en tiempo y función.

En la solución de estos sistemas se considera como herramienta fundamental el diagrama de funcionamiento, en él se representan todos los componentes del sistema, incluyendo sensores, actuadores y las válvulas direccionales, y por supuesto cada uno de los pasos del sistema. Una vez desarrollado este diagrama se procede a obtener una ecuación por cada piloto eléctrico de las válvulas direccionales. Las ecuaciones son el resultado de una multiplicación, aplicando el operador AND, y de la sumatoria en la que se aplica el operador OR a los componentes que fungen como condiciones para el encendido o apagado de una solenoide.

El desarrollo de ambos circuitos, eléctrico y neumático, se realiza a partir de este diagrama de funcionamiento. El diagrama de conexiones neumáticas ahora es más sencillo comparado con el diagrama desarrollado para un automatismo con neumática pura.

El diagrama de funcionamiento inicia con el diagrama espacio-fase representando el funcionamiento del cilindro. Si el automatismo cuenta con más de un cilindro es importante entender la interconexión entre ellos ya que ésta representa la secuencia del sistema, este diagrama es el resultado de la operación de las válvulas electroneumáticas. Enseguida del diagrama espacio-fase se representan precisamente estas válvulas, recordando que son la interfase entre el circuito eléctrico y el circuito neumático. Después de las válvulas sigue el resto de los componentes, los cuales son de activación eléctrica, y la representación no tiene ningún problema, al mostrar en un diagrama componentes neumáticos y eléctricos, ya que se representa la activación de los componentes. Si lo llevamos a un plano meramente analítico en el diagrama se están representando niveles lógicos de los componentes.

El diagrama de espacio-fase de la figura 10.6 indica la interconexión de dos cilindros de 100mm de vástago y muestra la secuencia del sistema e indica una interconexión entre los cilindros 1A y 2A en los puntos A y B.

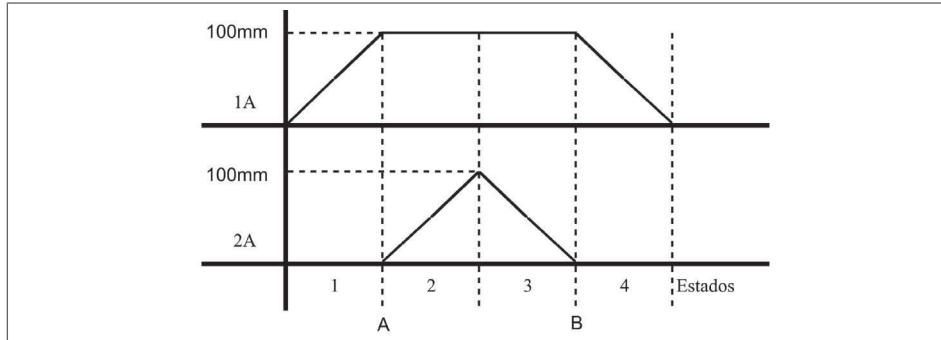


Fig. 10-6. Diagrama espacio-fase de los cilindros 1A y 2A.

Cada cambio de dirección de un cilindro es identificado como cambio de estado y puede ser un cambio de dirección o simplemente pasar de un estado en movimiento a un estado estático. Si se toma en cuenta esta definición el sistema tiene cuatro estados.

Después de tener el diagrama espacio-fase se empieza con el desarrollo del diagrama de mando que mostrará la acción de las válvulas neumáticas. Para realizar el diagrama de las válvulas se requiere conocer de cuántas vías y posiciones son las válvulas. La selección de las vías se realiza acorde al tipo de cilindros, de simple o doble efecto, las posiciones serán seleccionadas de acuerdo a la operación del sistema. Se han seleccionado válvulas 5/2 y en el diagrama solo se muestra la posición A. Si son seleccionadas válvulas de tres posiciones, se deben de representar en el diagrama de mando las tres posiciones. En la Fig. 10-7 se muestra el diagrama con la representación de las posiciones A de las dos válvulas direccionales, la posición A es para hacer extender el cilindro y mantenerlo extendido, en una válvula de dos posiciones, y la posición B es para regresar el cilindro a su posición inicial de 0mm. Como no se muestran tres posiciones en el diagrama de las válvulas se deduce que se están utilizando válvulas de dos posiciones.

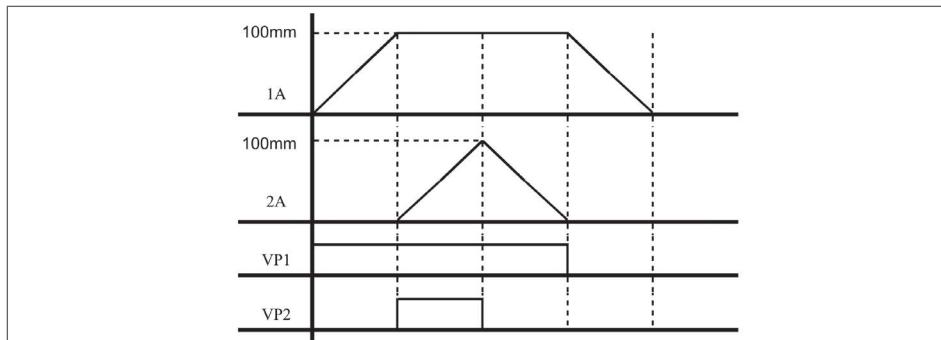


Fig. 10-7. Diagrama espacio-fase y de mando.

Del diagrama ya se dedujeron las vías y posiciones, ahora falta definir los tipos de pilotos. De acuerdo al gráfico se pueden seleccionar pilotos eléctricos en ambas posiciones o piloto eléctrico en posición A retorno por resorte en B. La válvula que se va a seleccionar es piloto eléctrico en A y resorte en B por ser la más común, ambas

válvulas difieren en el desarrollo de la lógica de control, la de ambos pilotos eléctricos solo requiere un pulso eléctrico para que quede seleccionada la posición, la válvula con retorno con resorte requiere que el tiempo que está seleccionada la posición A es el mismo tiempo que el piloto debe de estar encendido.

El siguiente paso es definir el encendido de los sensores de límite de carrera. En las líneas que separan los estados se debe considerar que algunos sensores se encienden y otros se apagan, además es conveniente ubicar un sensor al inicio y fin de carrera de cada uno de los cilindros y en caso que se tengan movimientos en distancias intermedias del vástago se debe considerar un sensor para cubrir la activación de los componentes que deben funcionar al momento que llega el vástago a la posición del sensor. Para este diagrama solo se utilizan sensores de inicio y fin de carrera, la Fig. 10-8 muestra el diagrama de funcionamiento que incluye los sensores de inicio y fin de carrera en ambos cilindros.

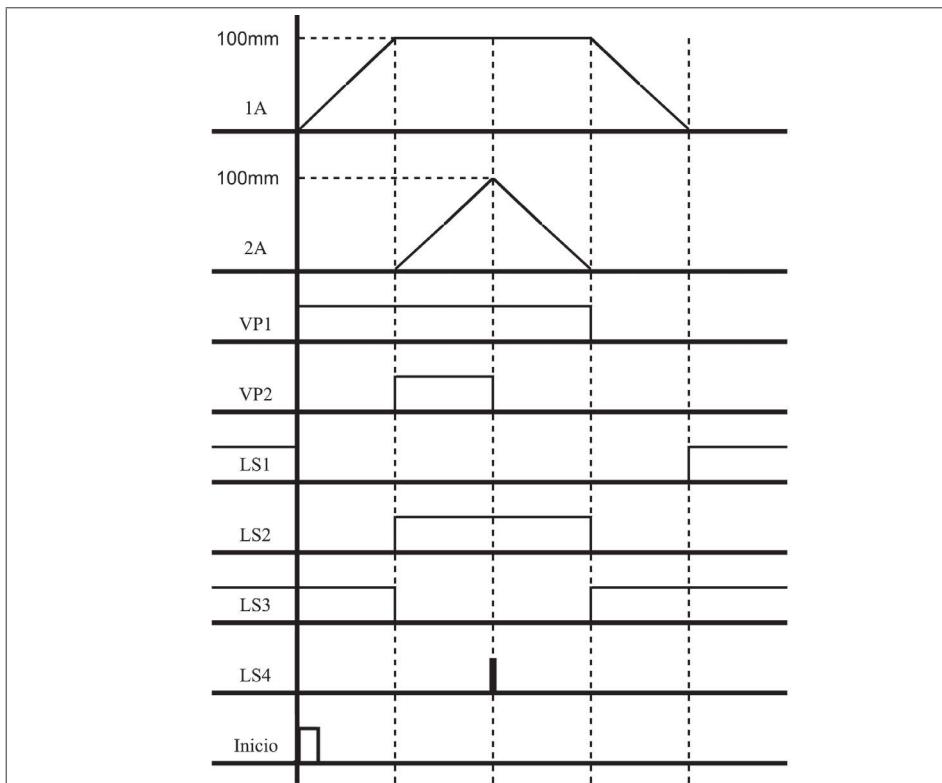


Fig.10-8. Diagrama de funcionamiento con los sensores incluidos.

De acuerdo al diagrama se define que el sensor LS1 se ubica al inicio de carrera del cilindro 1A. El sensor LS2 está ubicado al final de carrera del cilindro 1A, el sensor LS3 al inicio de carrera del cilindro 2A y el sensor LS4 al final de la carrera del

cilindro 2A. Si se ubican estos sensores con el FluidSim se tiene como resultado la ubicación física de la Fig. 10-9.

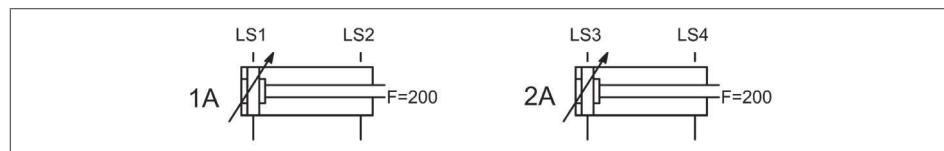


Fig. 10-9. Cilindros 1A y 2A con sus respectivos sensores de inicio y fin de carrera.

Los sensores LS1 y LS3 están ubicados a cero milímetros en ambos cilindros, inicio de carrera, y los sensores LS2 y LS4 están ubicados a 100 milímetros en ambos cilindros, fin de carrera.

El inicio puede ser dado a través de uno o varios componentes condicionados por la multiplicación o suma de todas las condiciones iniciales.

Enseguida se resuelven ejemplos para obtener el diagrama de funcionamiento de sistemas electroneumáticos.

Ejemplo 10.4.1

Un automatismo del tipo electroneumático cuenta con dos cilindros con la coordinación que se muestra en el diagrama espacio-fase en la Fig. 10-10. La coordinación entre los cilindros está solo en el punto A, ambos cilindros tienen una longitud de vástago de 100mm.

Se deben solucionar los siguientes incisos:

- ¿Cuántos estados tiene el sistema?
- Explique el funcionamiento del sistema.
- Obtenga el diagrama de funcionamiento del sistema, considere sensores en el inicio y fin de carrera.

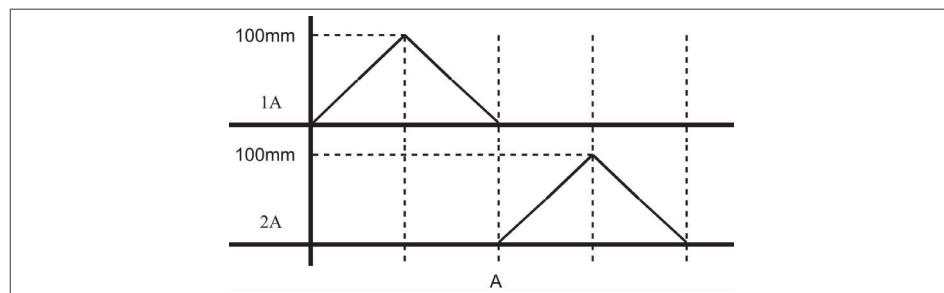


Fig. 10-10. Diagrama espacio-fase del ejemplo 10.4.1.

Solución

Para desarrollar la secuencia a partir de un diagrama espacio-fase es necesario considerar todos los componentes. Los cambios de estado muestran un cambio de dirección de los cilindros, cambio de velocidad o posición estática por un período de tiempo.

a. Estados del sistema

Cada línea en el diagrama espacio-fase muestra un cambio en la dirección de un cilindro o la activación de algún sensor, y los espacios generados entre línea y línea representan un estado, lo que da como resultado cuatro estados.

b. Explicación de funcionamiento del sistema

La línea vertical continua indica el inicio de la operación del sistema, es conveniente que exista un dispositivo encargado de realizar esta operación, las condiciones iniciales del sistema son las condiciones que activan este dispositivo. Al iniciar la operación se activa inmediatamente el cilindro 1A. Al llegar al fin de carrera este cilindro inicia su regreso y al llegar al principio de carrera inmediatamente inicia el recorrido hacia la extensión el cilindro 2A que al llegar a su fin de carrera inmediatamente inicia su regreso. Cuando llega al principio de la carrera termina el ciclo de operación.

c. Diagrama de funcionamiento

Para obtener este diagrama se van a considerar todos los posibles componentes. Se empieza seleccionando las válvulas direccionales, posteriormente los sensores y luego el dispositivo de inicio. Al desarrollar el diagrama de funcionamiento se debe asegurar que los componentes que están activados antes de iniciar la operación del sistema sean los mismos que estén activados al completar un ciclo de operación.

Selección de válvulas direccionales

El número de vías de las válvulas direccionales es seleccionado de acuerdo al tipo de cilindro. Si los cilindros son de simple efecto se debe seleccionar una válvula de tres vías y si son cilindros de doble efecto se deben elegir válvulas de cinco o cuatro vías. Las posiciones son dos, ninguno de los dos cilindros tiene etapa de sostenimiento. Para el diseño del sistema se considera que son dos cilindros de doble efecto, dos válvulas principales de cinco vías y dos posiciones, las posiciones A en cada válvula estarán activando los desplazamientos de inicio al fin de carrera y los desplazamientos de fin de carrera al inicio serán manejados por las posiciones B de cada válvula.

Se considera un sensor para cada una de las posiciones de los cilindros, inicio y fin de carrera, y un dispositivo encargado de poner en operación el sistema. Se considera que los cilindros cuentan con émbolo magnético y los sensores son del tipo magnético para identificar la posición del émbolo de los cilindros. La Fig. 10-11 muestra el diagrama de funcionamiento que incluye todos los componentes físicos requeridos para operar el sistema.

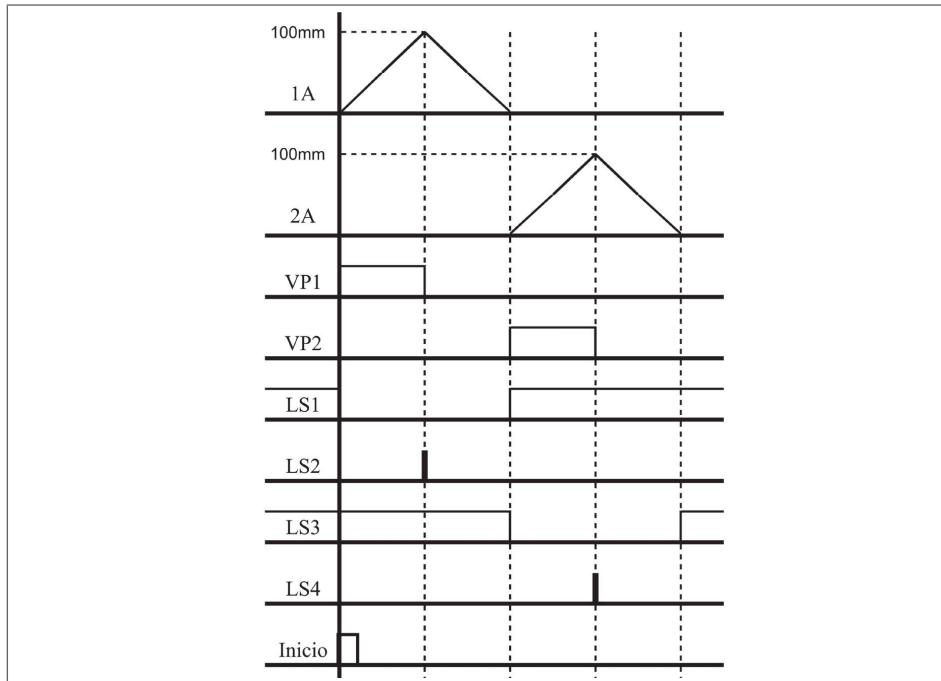


Fig.10-11. Diagrama de funcionamiento.

Para comprobar que se ha realizado el análisis de un ciclo completo se hace una comparación entre los componentes que están activados antes del inicio de operación y al final del ciclo de operación, deben ser los mismos componentes. En el ejemplo analizado se considera que LS1 y LS3 son los dos únicos elementos que están activados antes de que se ponga en operación el sistema y al finalizar un ciclo de operación.

Ejemplo 10.4.2

Un automatismo del tipo electroneumático cuenta con tres cilindros con la coordinación que se muestra en el diagrama espacio-fase de la figura 10.12 entre los cilindros 1A y 2A que está identificada con la línea A, la coordinación entre los cilindros 2A y 3A está en la línea B y la coordinación entre los cilindros 3A y 1A está identificada con la línea C. Los tres cilindros son de doble efecto, tienen una distancia de vástago de 100mm y cuentan con émbolo magnético.

Resuelva los siguientes incisos:

- ¿Cuántos estados tiene el sistema?
- Explique el funcionamiento del sistema.
- Obtenga el diagrama de funcionamiento del sistema, considere todos los sensores que sean necesarios utilizar.

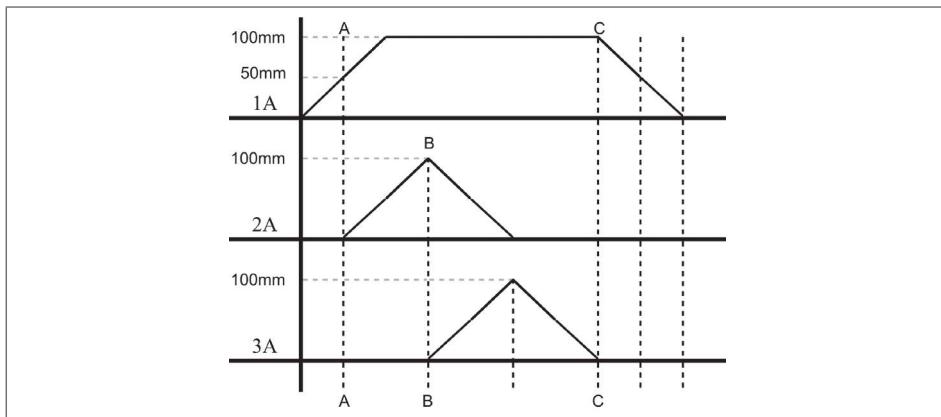


Fig. 10-12. Diagrama espacio-fase del ejemplo 10.4.2.

Solución

Este ejemplo tiene tres puntos de coordinación, uno de ellos es la distancia media del cilindro 1A, esto indica que no necesariamente se pueden tener como puntos de enlace los inicios y finales de carrera de los cilindros, también puede ser cualquier punto de la distancia del vástago y en cualquiera de las dos pendientes de activación, extensión o retracción.

a. Estados del sistema

Cada línea en el diagrama espacio-fase muestra un cambio en la dirección de un cilindro o la activación de algún sensor, y los espacios generados entre línea y línea representan un estado, lo que da como resultado seis estados. La línea de conexión A se representa también durante el regreso del cilindro, lo que indica no acción sobre la secuencia pero sí que el sensor ubicado en esa posición es activado cuando se desplaza el cilindro 1A hacia la posición de inicio.

b. Explicación de funcionamiento del sistema

Al activar el dispositivo de inicio el sistema es puesto en marcha y se activa inmediatamente el cilindro 1A. Cuando éste llega a la mitad de su distancia (50mm), el cilindro 2A inicia su desplazamiento hacia la salida. La línea A indica esta interconexión. Al llegar al fin de carrera el cilindro 1A no realiza alguna función sobre la secuencia pero sí se queda en ese punto (fin de carrera). Cuando el cilindro 2A llega a su fin de carrera, el cilindro 3A inicia el desplazamiento hacia la salida. Esta coordinación es representada por la línea B, el cilindro 2A inmediatamente inicia su regreso al punto de inicio y al llegar no se ejecuta ninguna función. Cuando llega a su fin de carrera el cilindro 3A se regresa de manera inmediata y al llegar a su punto de inicio el cilindro 1A se regresa. Esta interconexión se da por la línea C, al pasar por la distancia media se representa la activación del sensor localizado en este punto.

c. Diagrama de funcionamiento

Se inicia con la selección de las válvulas, los sensores del tipo magnético y se considera un dispositivo que ponga en operación el sistema y que considere todas las condiciones iniciales de operación.

Selección de válvulas direccionales

El ejemplo nos indica que los cilindros son de doble efecto, esta condición requiere válvulas de cinco o cuatro vías. Entonces se seleccionan cinco vías y las posiciones son dos para cada cilindro, aunque para el cilindro 1A puede seleccionarse una válvula de tres posiciones. Las posiciones A son representadas en el diagrama de funcionamiento. El diagrama es diseñado considerando las dos opciones de válvulas para el cilindro 1A.

Para solucionar el ejemplo se requieren siete sensores, uno para cada posición de inicio y fin de carrera de los cilindros y uno para la posición intermedia del cilindro 1A. La Fig. 10-13 muestra los dos diagramas de funcionamiento que incluyen todos los posibles componentes físicos requeridos para operar el sistema considerando válvulas de dos y tres posiciones para el cilindro 1A.

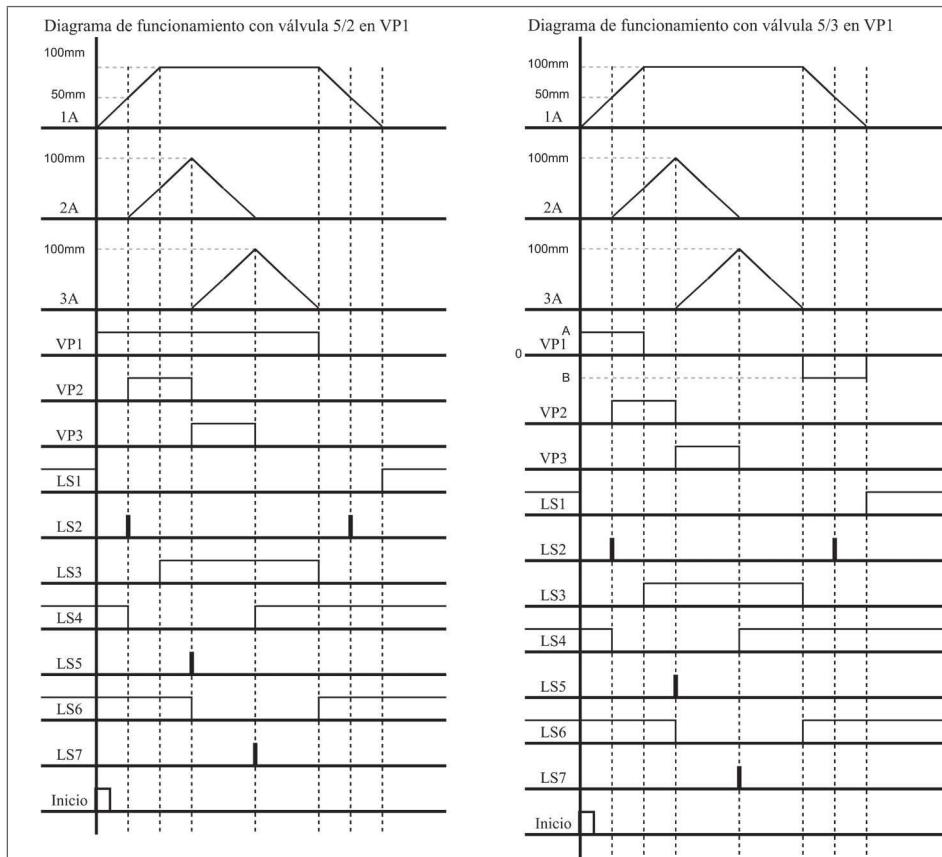


Fig. 10-13. Diagramas de funcionamiento para el ejemplo 10.4.2 considerando 2 y 3 posiciones para VP1.

Hasta el momento solo se han diseñado los diagramas de funcionamiento pero esto no soluciona el problema por completo, solo una parte.

10.5 Ecuaciones lógicas de un sistema electroneumático

Después de obtener el diagrama de funcionamiento del sistema, es necesario llevarlo a un medio que pueda ser interpretado en un diagrama de conexiones eléctricas o lógica de contactos. Al representar los estados lógicos de las posiciones A de las válvulas direccionales y el estado lógico “1” de los sensores es posible obtener ecuaciones lógicas del sistema que pueden ser representadas en un diagrama de lógica de contactos.

Se debe obtener una ecuación para cada piloto eléctrico de las válvulas direccionales, las ecuaciones son el resultado de sumar y multiplicar los niveles lógicos de los sensores.

Para obtener ecuaciones de un sistema a partir de un diagrama de funcionamiento se deben considerar los siguientes pasos:

- Identificar el número de pilotos, éstos indican el número de ecuaciones a obtener.
- Identificar la línea de inicio del estado donde se enciende cada piloto, los componentes que estén activados sobre la línea de inicio del estado son consideradas las condiciones para el encendido de ese piloto, se debe verificar que no se repitan las condiciones en estados anteriores o posteriores, si esto sucede no se puede considerar como una solución.

Ejemplo 10.5.1

El diagrama de funcionamiento que se muestra en la Fig. 10-14 es un automatismo electroneumático que tiene como componente final un cilindro de doble efecto con émbolo magnético. La secuencia consiste en activar un dispositivo de inicio para poner en operación el sistema y rápidamente el cilindro 1A inicia su desplazamiento y al llegar al final de la carrera y activar el sensor LS2 se regresa inmediatamente, al llegar a su inicio de carrera y activar al sensor LS1 indica que el sistema ha terminado un ciclo de operación.

El diagrama muestra una válvula direccional llamada VP1 que es de cinco vías porque posee un cilindro de doble efecto y dos posiciones, por solo tener los movimientos de extensión y retracción de vástago. Cuenta con piloto eléctrico en A y retorno por resorte en B.

Obtenga los siguientes incisos:

- ¿Cuántos estados tiene el sistema?
- Obtenga las ecuaciones de los pilotos de la válvula VP1

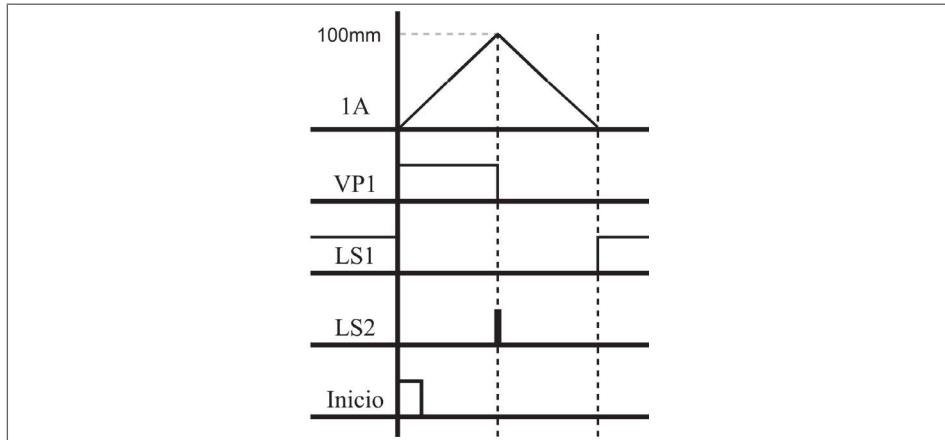


Fig. 10-14. Diagrama de funcionamiento.

Solución

La solución consiste en obtener las ecuaciones lógicas de los pilotos eléctricos para luego realizar el diagrama de conexiones eléctricas para el PLC Siemens.

a. Estados del sistema

El sistema cuenta con un solo cilindro que no cuenta con la etapa de sostenimiento, lo que significa mantener extendido el cilindro por un período definido, por lo tanto solo cuenta con dos etapas, extensión y retracción, y con solo dos estados.

b. Ecuaciones del sistema

La válvula principal cuenta con solo un piloto eléctrico, por lo tanto solo se puede obtener una ecuación con las condiciones de operación en el inicio del sistema. Estas condiciones ponen en operación el sistema. Si se analiza el resultado que da multiplicar las condiciones de inicio, que son LS1, y la propia función llamada inicio si enciende al piloto eléctrico solo que al momento que se desactive el sensor LS1 se estará desactivando el piloto eléctrico, lo que ocasiona que se vuelva a seleccionar la posición B por el efecto del resorte. Para evitar esto y mantener la funcionalidad del sistema se debe agregar una memoria del tipo eléctrico al diagrama de conexiones eléctricas, esto se realiza por experiencia adquirida o, en algunos casos, compartida, el sistema requiere iniciar, memorizar y desconectar. También se puede aplicar el método estado de memoria, visto en el capítulo 4. Al trasladar los valores lógicos de las entradas LS1 y LS2 y agregar una memoria se obtiene la ecuación de VP1, la tabla se muestra en la Tabla 10-1.

Inicio	LS1	LS2	M1.0
1	1	0	1
0	0	0	M1.0
0	0	1	0
0	0	0	M1.0
0	1	0	0

Tabla 10.1. Tabla de valores lógicos.

De la tabla de valores lógicos se obtiene la ecuación de M1.0, y la igualdad de VP1 y M1.0. El resultado es el siguiente:

$$M1.0 = LS1 \overline{LS2} \quad INICIO + \overline{INICIO} LS1 LS2 \quad M1.0 = \overline{LS2} (LS1 INICIO + \overline{INICIO} LS1 M1.0)$$

$$M1.0 = (LS1 INICIO + M1.0) \overline{LS2}$$

$$VP1 = M1.0$$

Las ecuaciones se transfieren a un diagrama de lógica de contactos que se muestra en la Fig. 10-15.

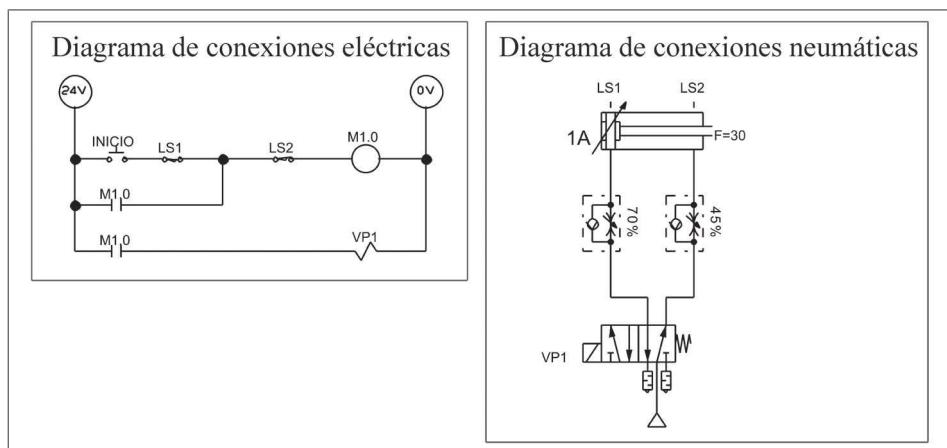


Fig. 10-15. Diagrama de conexiones eléctricas y neumáticas del ejemplo 10.5.1.

Los niveles lógicos de la función de inicio y del sensor de inicio de carrera solo influyen en el inicio del circuito, una vez encendido se retiene por la acción de memoria de M1.0, a partir de este momento no importan los estados lógicos de éstas dos funciones.

Otras metodologías para solucionar problemas de sistemas electroneumáticos son el método de la memoria de estado aplicado a sistemas electroneumáticos y una variante de este método donde se mantienen las memorias activadas hasta que se termine el ciclo de operación.

10.6 M todo de la memoria de estado en automatismos electroneumáticos

Para obtener las ecuaciones lógicas de un automatismo del tipo electroneumático se utiliza el método de memorias de estado que básicamente consiste en generar una memoria por cada estado y al final una memoria encargada de restablecer el sistema. Este método es una modificación de temporizadores en cascada con condiciones externas de operación, la modificación consiste en que no se utilizan las funciones de tiempo. El diagrama de memorias que se muestra en la Fig. 10-16 es un arreglo general de un sistema secuencial, donde el encendido de las memorias se condiciona por las señales externas. El diagrama representa un sistema con $n+1$ memorias y n funciones de salida, el arreglo monótono ascendente en las memorias y en las funciones de salida se mantiene, el número de memorias a generar es $n+1$ donde cada memoria representa un estado de la secuencia, las memorias pueden ser condicionadas por todas las señales externas, por solo las que están encendidas o por solo aquellas que se encienden durante el estado donde se debe encender la memoria, esto depende de qué tan condicionado se requiera que esté el sistema.

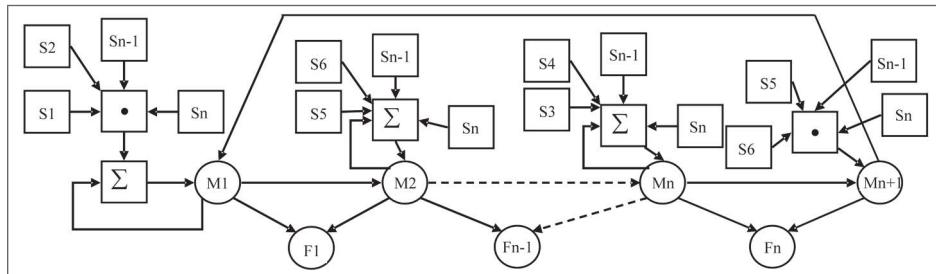


Fig. 10-16. Representación de un diagrama con n memorias y n funciones.

La retroalimentación, además de llevar al sistema a sus condiciones iniciales, función de reset, puede convertir al sistema en cíclico, esto sucede si las condiciones iniciales de operación se mantienen antes y después de que sea activada la memoria M_{n+1} , lo que hace que el sistema funcione nuevamente.

Las condiciones en las memorias son sumadas entre sí y con la propia memoria a retenerse. La memoria inmediata anterior se multiplica con el resultado de la sumatoria, esto para condicionar la memoria a ser retenida. La ecuación que se obtiene es el resultado de las condiciones que encenderá la memoria. El fundamento teórico es encender una memoria en cada estado con las condiciones que deben estar encendidas y una vez encendida mantenerla así hasta el fin de ciclo. Al mantener encendidas las memorias hasta el final de ciclo se garantiza que éstas no se desconecten y la operación óptima del sistema.

La conexión de las funciones de salida depende del estado donde se requiera la activación y desactivación de la función. Para obtener las ecuaciones del sistema se aplica el cuadrante de contactos visto en el capítulo 9. Como ejemplo, la función 1 es encendida cuando el estado 1 es encendido y es apagada la función cuando el estado 2 inicia su operación.

El límite de aplicación de este método es en lógica cableada y lógica programada, el número de estados es un punto en contra en sistemas con un alto número de estados. Este alto número en memorias puede volver tedioso el resultado, pero se tiene un resultado efectivo en función y tiempo.

Ejemplo 10.6.1

El diagrama de funcionamiento mostrado en la Fig. 10-14 debe ser resuelto con el método de la memoria de estado.

Se deben obtener los siguientes resultados:

- Diagrama de memorias de estado.
- Ecuaciones del sistema.
- Diagrama de conexiones eléctricas y neumáticas.
- Diagrama de memorias

El número de estados son dos, el número de memorias a generar son M_n+1 , se tienen que generar tres memorias, las condiciones de encendido del sistema está dado sobre la línea vertical que representa el encendido y para cada memoria es sobre cada línea de inicio de estado. En la Fig. 10-17 se muestra el diagrama resultante.

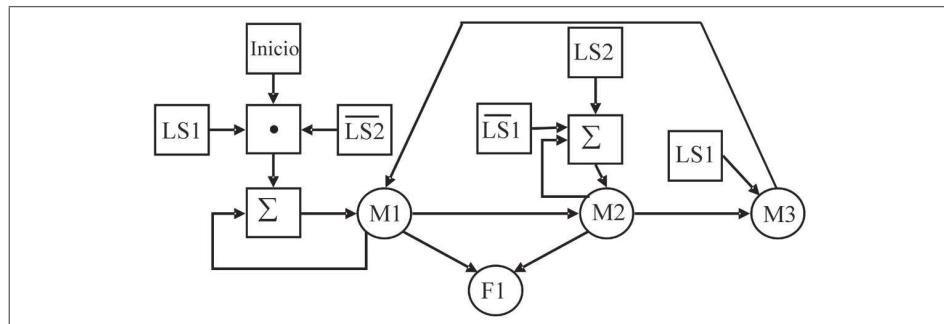


Fig. 10-17. Diagrama de memorias de estado del ejemplo 10.6.1.

En la memoria M3 como solo actúa LS1, como señales de entrada, no es necesario aplicar la multiplicación. Este diagrama puede ser transferido a un diagrama de funcionamiento que muestre las memorias que fueron generadas. El resultado se presenta en la Fig. 10-18.

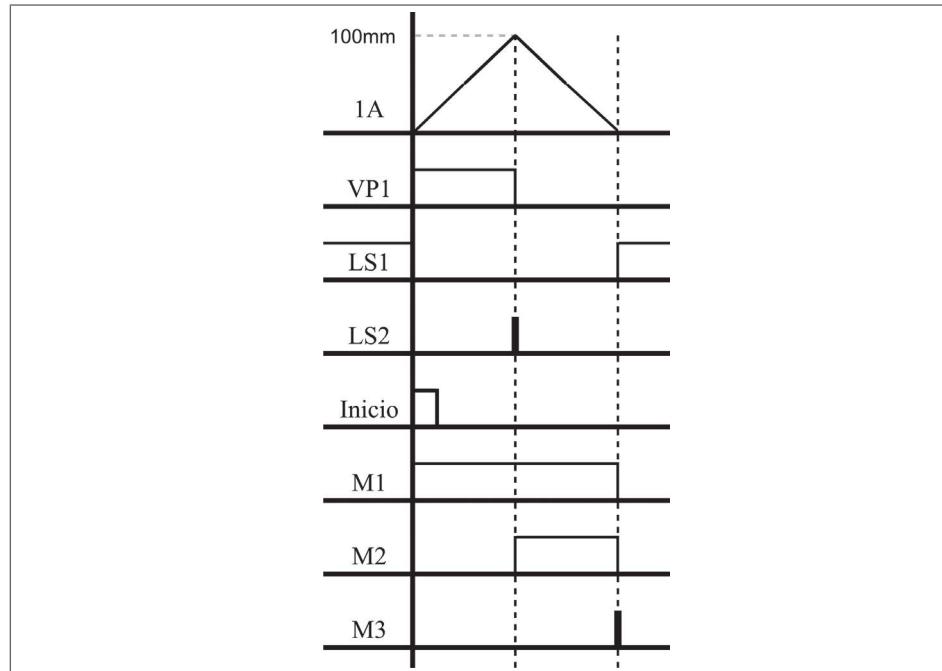


Fig. 10-18. Diagrama de funcionamiento con memorias.

b. Ecuaciones del sistema

Las ecuaciones se obtienen aplicando el cuadrante de contactos visto en el capítulo 9. A las señales de entrada, suma y multiplicación no se les aplica el cuadrante de contactos.

Se deben obtener ecuaciones para las memorias y para cada piloto eléctrico.

$$M1 = (LS1 \overline{LS2} INICIO + M1) \overline{M3}$$

$$M2 = (\overline{LS1} LS2 + M2) M1$$

$$M3 = LS1 M2$$

$$F1 = VP1A = M1 \overline{M2}$$

El diagrama resultante de estas ecuaciones se muestra en la figura 10.20, como función de inicio se considera un botón del tipo empujar para activar no retentivo.

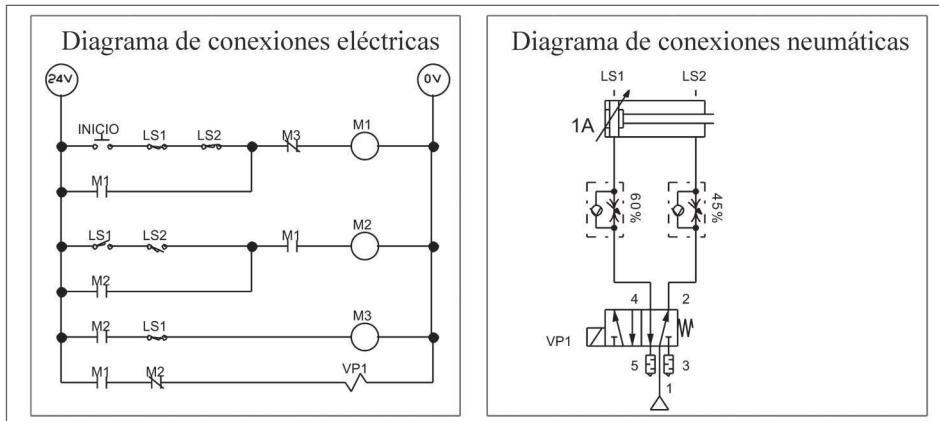


Fig. 10-19. Diagrama de conexiones eléctricas y neumáticas de las ecuaciones M1, M2, M3 y F1 (VP1A).

Este diagrama de conexiones eléctricas, obtenido con el FluidSim, puede ser transferido a un diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens, solo hay que transferir las memorias, funciones de entrada y de salida a la nomenclatura del PLC. Como parte de la práctica se le deja al lector realizar este trabajo.

Ejemplo 10.6.2

El diagrama de funcionamiento de la Fig. 10-20 muestra la interacción de dos cilindros, se debe resolver aplicando el método de la memoria de estado. Se considera que son dos cilindros de doble efecto y válvulas direccionales de cinco vías, dos posiciones, piloto eléctrico en A y resorte en B. Se consideran los dos sensores de límite de carrera del tipo magnético para cada uno de los cilindros.

Se deben resolver los siguientes incisos:

- Diagrama de las memorias de estado.
- Ecuaciones del sistema.
- Diagrama de conexiones eléctricas y neumáticas.

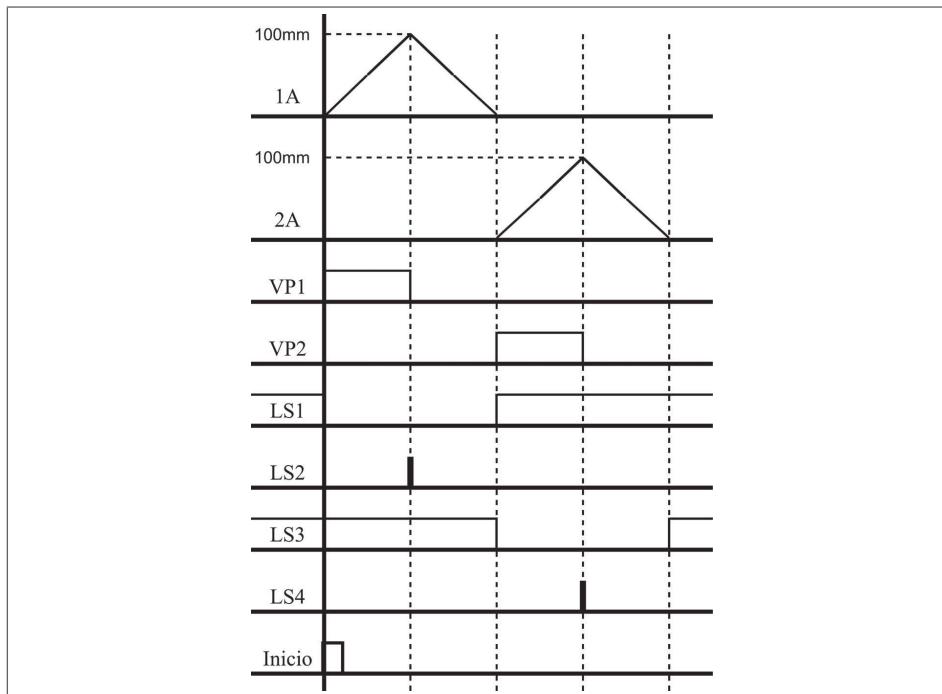


Fig. 10-20. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 10.6.2.

a. Diagrama de memorias de estado

El sistema cuenta con cuatro estados, por lo tanto se deben generar cinco memorias. Este dato se obtiene de $n+1=5$, considerando que n es igual a cuatro estados.

La memoria M1 tiene como condición un botón llamado de inicio de operación y a todos los sensores, así se asegura que el sistema no operará si no se encuentran en sus condiciones iniciales los cilindros y se consideran los negados de LS2 y LS4 para evitar un fallo en estos sensores. Si cualquiera de estos dos sensores está en cortocircuito o detectando presencia de campo magnético, el sistema no iniciará la operación ya que detecta un fallo.

Las condiciones necesarias para encender la memoria M2 están sobre la línea donde aparece el sensor LS2, también está presente el sensor LS3. Para M3 se considera la multiplicación de los sensores LS3 y LS1, para M4 se consideran los dos sensores LS4 y LS1, para M5 se consideran los dos sensores LS1 y LS3. Como condiciones solo se tomaron los sensores que están encendidos, si se requiere hacer un control más estricto se pueden considerar, también dentro de la multiplicación de las condiciones de encendido de las memorias, los sensores que no están presentes como el negado de los sensores.

La Fig. 10-21 muestra el diagrama de memorias de estado, se consideran como condiciones de encendido solo los sensores que están encendidos.

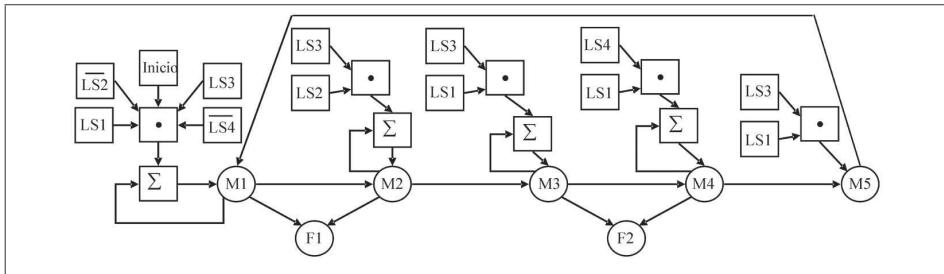


Fig. 10-21. Diagrama de memorias del ejemplo 10.6.2.

El diagrama de funcionamiento que considera las memorias se muestra en la Fig. 10-22, donde F1 y F2 son VP1 y VP2 respectivamente, la función de inicio puede ser un sensor, un interruptor, un botón empujar para activar o una transición negativa de cualquiera de estos elementos.

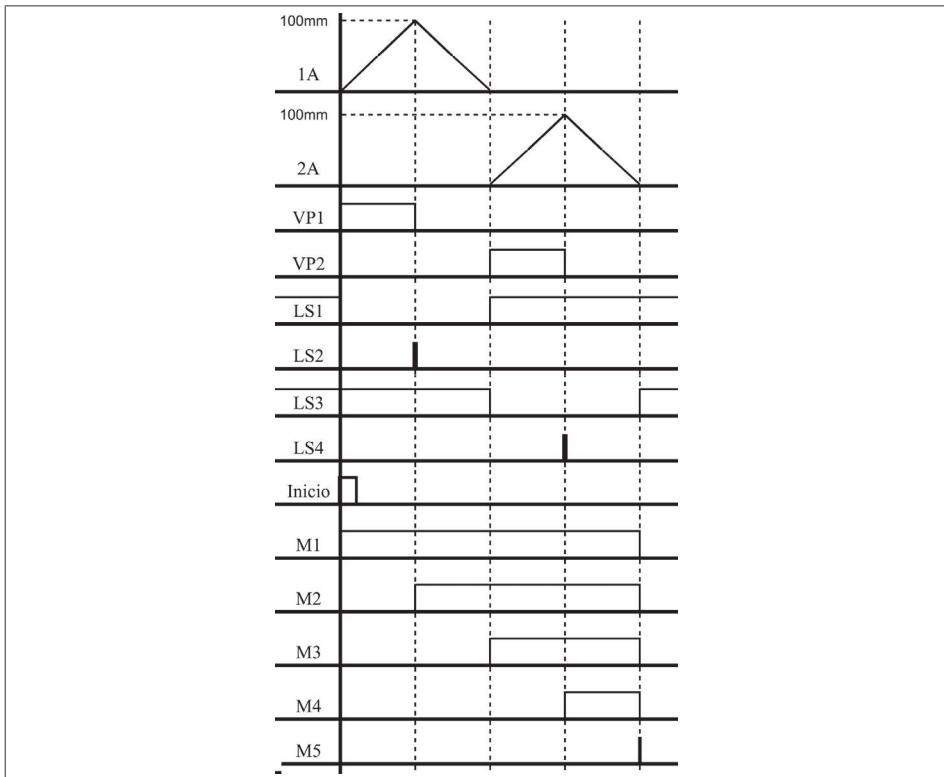


Fig. 10-22. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 10.6.2 con memorias de estado.

b. Ecuaciones del sistema

Se deben obtener siete ecuaciones, una para cada función de memoria y de salida.

$$M1 = (LS1 \overline{LS2} LS3 \overline{LS4}) INICIO + M1 \overline{M5}$$

$$M2 = [(LS2 LS3) + M2] M1$$

$$M3 = [(LS1 LS3) + M3] M2$$

$$M4 = [(LS1 LS4) + M4] M3$$

$$M5 = LS1 LS3 M4$$

$$F1 = VP1 A = M1 \overline{M2}$$

$$F2 = VP2 A = M3 \overline{M4}$$

Al tener representado el sistema en las ecuaciones lógicas, éstas pueden ser representadas en un diagrama de conexiones eléctricas. El diagrama de conexiones neumáticas es sencillo, simplemente se conectan las salidas de las válvulas 5/2 a los cilindros a través de las válvulas reguladoras de flujo.

c. Diagrama de conexiones

El diagrama de conexiones resultante de transferir las ecuaciones obtenidas se muestra en la Fig. 10-23.

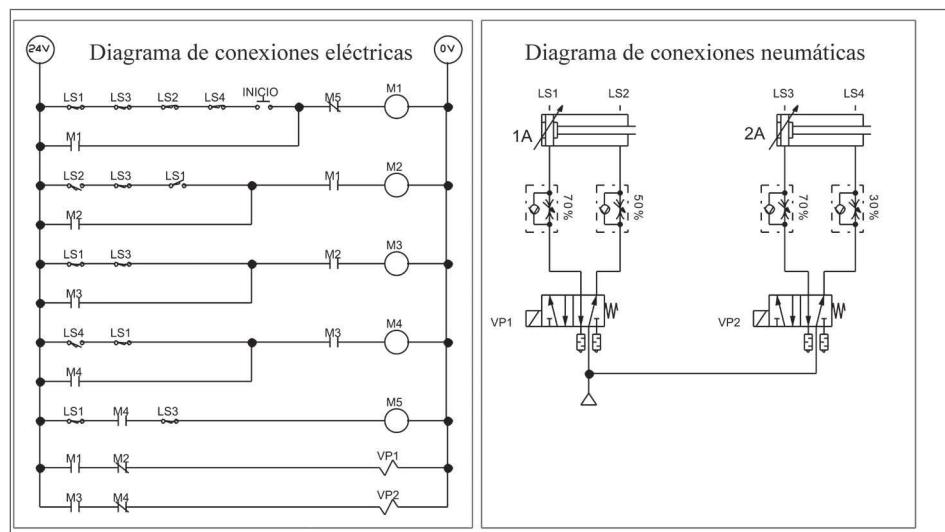


Fig. 10-23. Diagrama de conexiones del ejemplo 10.6.2.

La implementación con el PLC Siemens se puede realizar transfiriendo la nomenclatura obtenida con el FluidSim y convirtiendo el diagrama a lógica de contactos.

Ejemplo 10.6.3

El diagrama espacio-fase de la Fig. 10-24 se debe resolver aplicando el método de la memoria de estado. Se considera una válvula de cinco vías y dos posiciones para VP1. Como resultado se deben obtener el diagrama de memorias de estado, las ecuaciones lógicas del sistema y el diagrama de conexiones eléctricas y neumáticas.

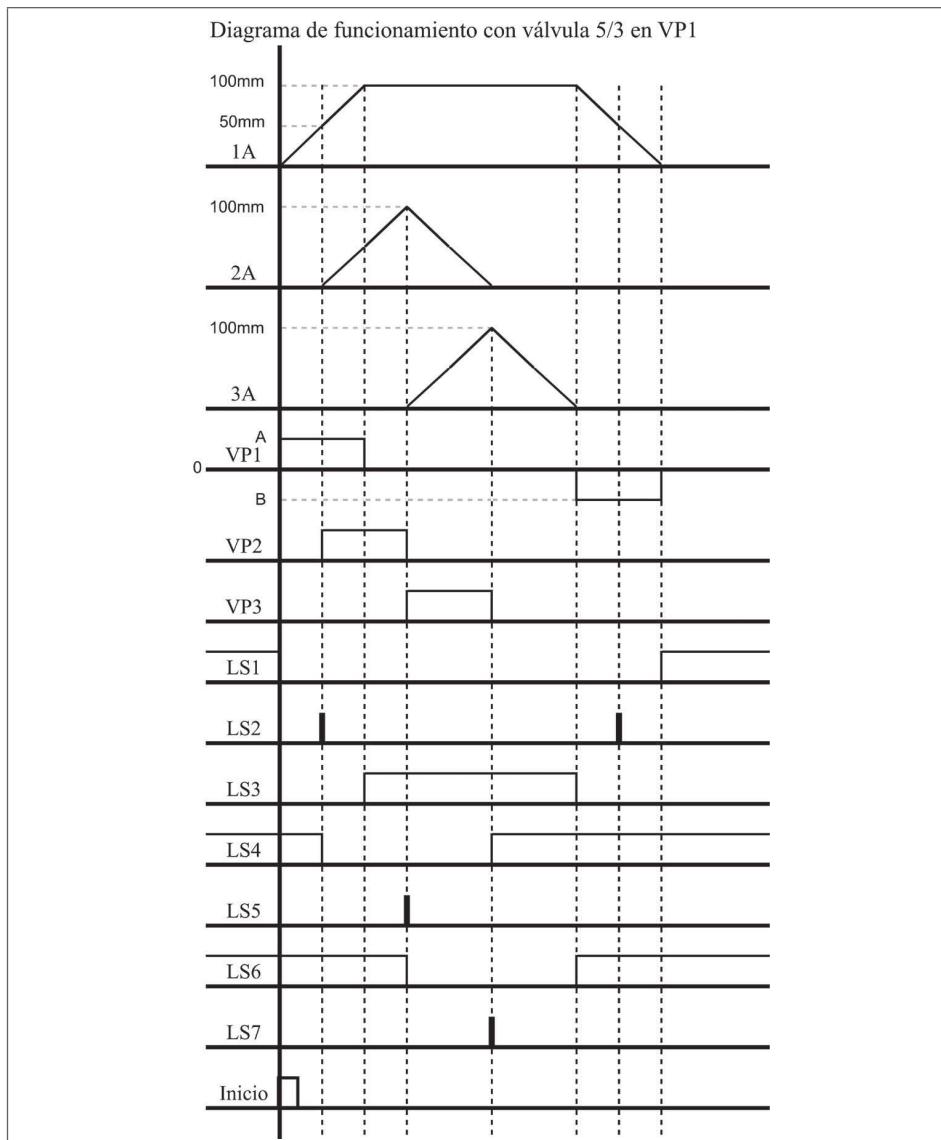


Fig. 10-24. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 10.6.3.

a. Diagrama de memorias de estado

El sistema cuenta con siete estados, por lo tanto se deben generar ocho memorias. Este número se obtiene de $n+1=8$, considerando que n es igual a siete estados. Las condiciones de la memoria M1 son todos los sensores encendidos y no encendidos, la operación del sistema inicia cuando se tiene una transición negativa de la entrada I0.0.

En el inicio de la operación del sistema se enciende la solenoide VP1A y se apaga cuando el cilindro 1A llega a su fin de carrera. Esta solenoide está encendida en el primer y segundo estado. La solenoide VP2 es activada cuando el cilindro 1A pasa por LS2. Ésta se enciende en el segundo y tercer estado. La solenoide de la válvula VP3 se enciende cuando el sensor LS5 también lo hace y está encendida solo en el cuarto estado, la activación de la solenoide VP1B se realiza cuando el cilindro 2A llega a su estado inicial, la activación es en los estados seis y siete.

La Fig. 10-25. muestra el diagrama de memorias resultante de realizar las consideraciones ya mencionadas.

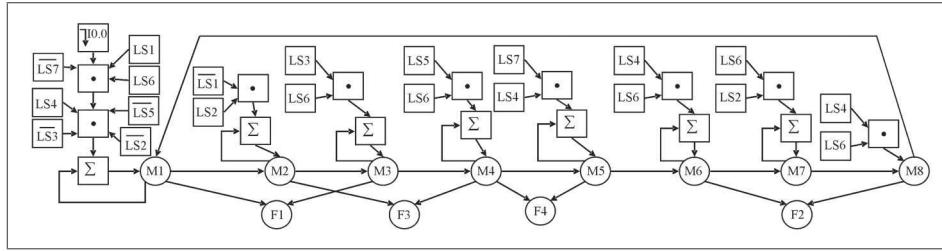


Fig. 10-25. Diagrama de memorias de estado del ejemplo 10.6.3.

El diagrama de memorias de estado se puede representar en el diagrama de funcionamiento, con esto se comprueba que las condiciones realizadas para el encendido de las memorias son las correctas. Este diagrama se muestra en la Fig. 10-26.

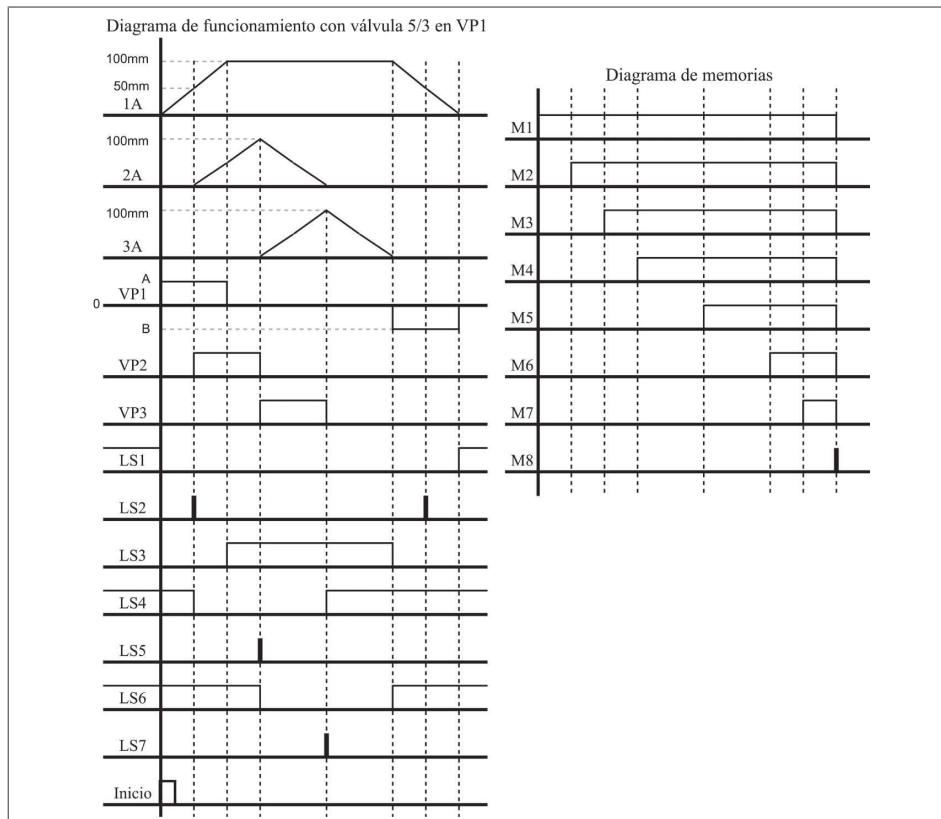


Fig. 10-26. Diagrama de funcionamiento que incluye las memorias de estado del ejemplo 10.6.3.

b. Ecuaciones del sistema

El encendido de la función de inicio mediante una transición negativa se realiza aplicando el método de la memoria interna. Se consideran dos memorias en la solución del sistema de memorias, la Tabla 10-2, muestra la tabla de memorias del sistema.

S1	Inicio	M1.0	M1.1
0	0	1	0
1	0	M1.0	1
0	1	0	M1.1

Tabla 10-2. Tabla de memorias para obtener una transición negativa con el FluidSim.

Como solo se requiere un pulso de activación del botón empujar para activar, llamado S1, es necesario condicionar las dos memorias con el negado de la función de salida llamada inicio, lo que da como resultado las siguientes ecuaciones:

$$M1.0 = (\overline{S1} \overline{M1.1} + S1 M1.0) \overline{INICIO}$$

$$M1.1 = (S1 M1.0 + \overline{S1} M1.1) \overline{INICIO}$$

$$INICIO = \overline{M1.0} M1.1$$

c. Ecuaciones de las memorias

Las ecuaciones de las memorias se obtienen a partir del diagrama de memorias de estado.

$$M1 = [(INICIO LS1 \overline{LS2} \overline{LS3} LS4 \overline{LS5} LS6 \overline{LS7}) + M1] \overline{M8}$$

$$M2 = [(LS2 LS4 LS6) + M2] M1$$

$$M3 = [(LS3 LS6) + M3] M2$$

$$M4 = [(LS5 LS6) + M4] M3$$

$$M5 = [(LS4 LS7) + M5] M4$$

$$M6 = [(LS4 LS6) + M6] M5$$

$$M7 = [(LS2 LS6) + M7] M6$$

$$M8 = LS1 LS6 M7$$

d. Diagrama de conexiones neumáticas y eléctricas

El diagrama de conexiones neumáticas y eléctricas se muestra en la Fig. 10-27 y se desarrolla a partir de las ecuaciones lógicas del sistema. El diagrama de la transición negativa de la función de inicio tiene como límite de aplicación solo la lógica programada. El diagrama está desarrollado en tres secciones: conexiones neumáticas, conexiones eléctricas de las memorias y funciones de salida, y el diagrama de conexiones eléctricas que detecta una transición negativa de la función de inicio.

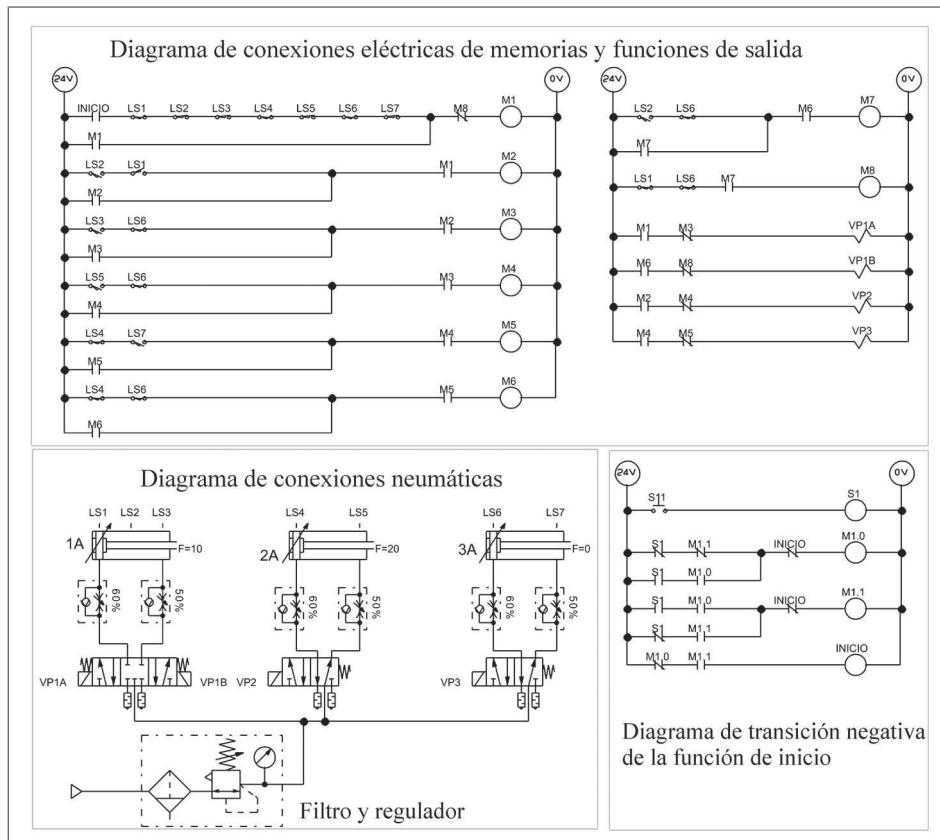


Fig. 10-27. Diagrama de conexiones neumáticas y eléctricas del ejemplo 10.6.3.

10.7 El presostato y vacuostato en un automatismo electroneumático

En algunos sistemas se requiere monitorear la presión como parte de la secuencia lógica del automatismo electroneumático. Ésta puede ser detectada por interruptores ajustados mediante un resorte previamente calibrado y hasta por sensores con electrónica integrada, en los cuales el ajuste es preciso y del tipo digital.

10.7.1 Presostato

Es un interruptor de presión que es calibrado para que active un interruptor eléctrico a una presión de respuesta ya establecida. Su función principal es obtener una señal eléctrica cuando la presión del sistema cae por debajo de un valor preestablecido. Esta señal se toma para ser parte de la secuencia del sistema y debe interrumpirla de tal forma que cuando se restablezca la presión se deba reiniciar el sistema, ya sea con un botón de arranque. La Fig. 10-28 muestra el símbolo del presostato.

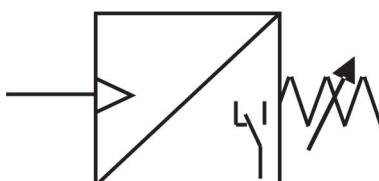


Fig. 10-28. Símbolo eléctrico del presostato.

El ajuste mecánico sirve precisamente para ajustar la presión a la cual va a responder el interruptor. En un circuito de conexiones eléctricas se le asigna una etiqueta para después obtener contactos normalmente abiertos o normalmente cerrados. Los interruptores van a cambiar de posición al sobrepasar el nivel de presión ajustada. Por ejemplo: si el presostato es ajustado a 60PSI al estar por debajo de esta presión un contacto normalmente abierto permanecerá en ese estado y si se sobrepasa el mismo contacto normalmente abierto se va a cerrar.

La señal de presión puede ser directamente de la entrada del sistema de aire comprimido o puede ser obtenida de alguna función crítica.

Ejemplo 10.7.1

El diagrama de funcionamiento de la Fig. 10-29 muestra la operación de un presostato identificado como SP. De acuerdo a este diagrama se debe mantener activado siempre, si se desconecta el sistema se deshabilitará y regresará a su estado inicial.

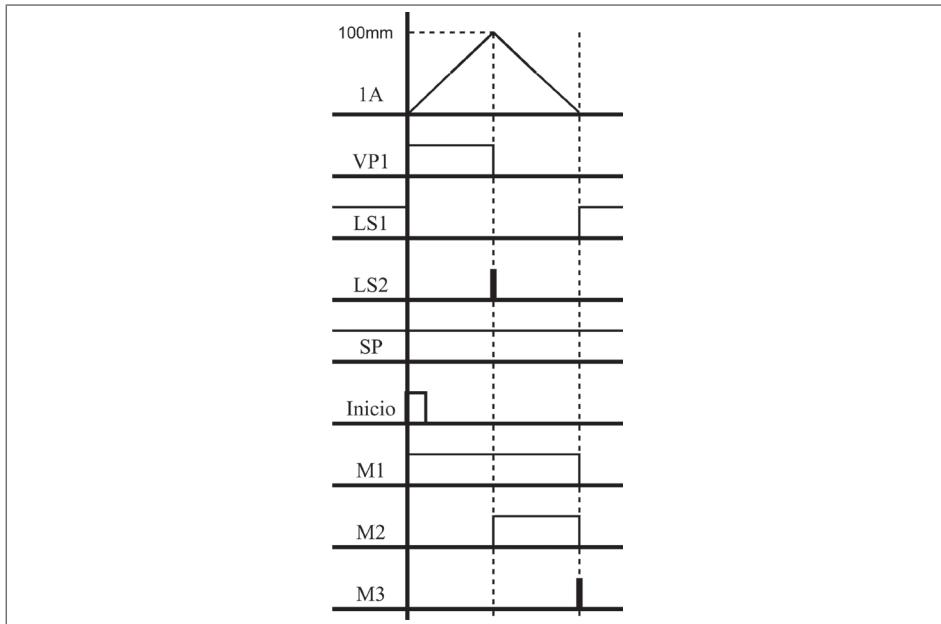


Fig. 10-29. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 10.7.1.

Obtenga los siguientes incisos:

- Diagrama de memorias de estado.
- Ecuaciones del sistema.
- Diagrama de conexiones eléctricas y neumáticas.

El diagrama de memorias se obtiene del diagrama de funcionamiento donde ya está considerado el número de memorias a generar, en las dos memorias se considera como condición el interruptor de presión marcado con SP. El diagrama de memorias resultante se muestra en la Fig. 10-30.

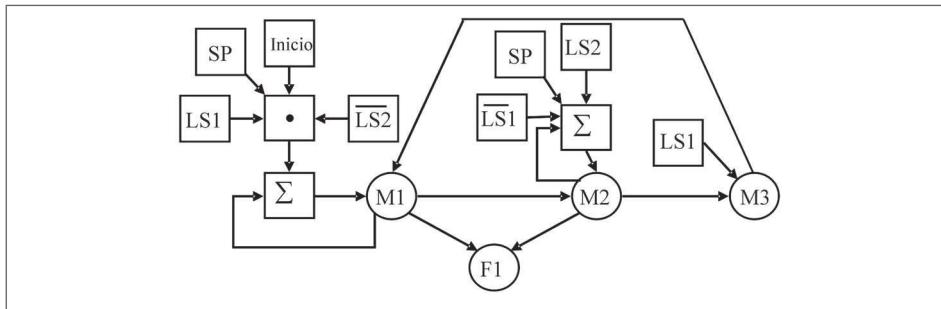


Fig. 10-30. Diagrama de memorias del ejemplo de 10.7.1.

Del diagrama de funcionamiento se observa que el presostato está siempre habilitado, con esto se indica que la presión que detecta está dentro del ajuste realizado. El diagrama resultante se muestra en la Fig. 10-31.

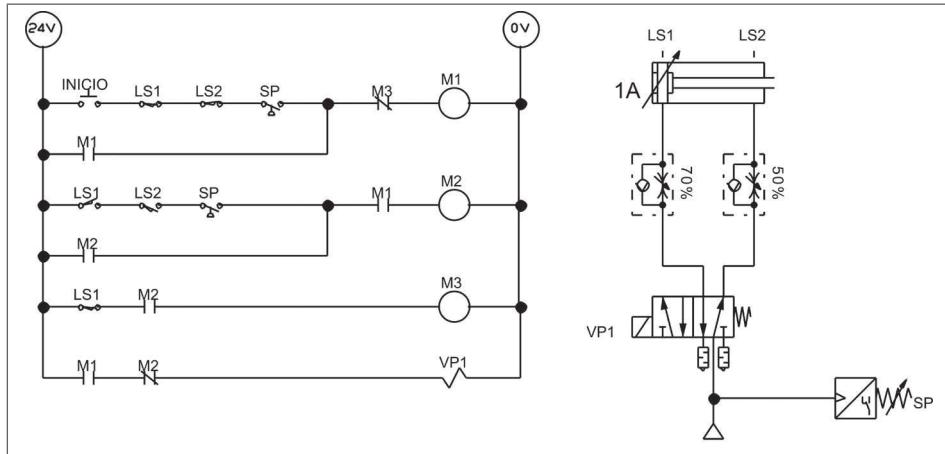


Fig. 10-31. Diagrama de conexiones eléctricas y neumáticas del ejemplo 10.7.1.

10.7.2 Vacuostato

Es un dispositivo que va a detectar niveles de presión de vacío, su respuesta puede ser calibrada para que responda a un rango de vacío. El vacuostato es aplicado en sistemas electroneumáticos para detectar vacío en una ventosa y para que la señal eléctrica se pueda utilizar como condición en el diagrama de control eléctrico. Si se va a trasladar algún producto con vacío y se requiere comprobar que el producto fue sujetado, mediante succión, se puede verificar mediante la señal obtenida del vacuostato que cuenta con interruptor normalmente abierto y cerrado. Está en su estado normal al no detectar vacío y cambian de estado cuando sí lo detectan.

El símbolo es el siguiente, aunque no lo maneja el software FluidSim tal como se muestra en la Fig. 10-32.

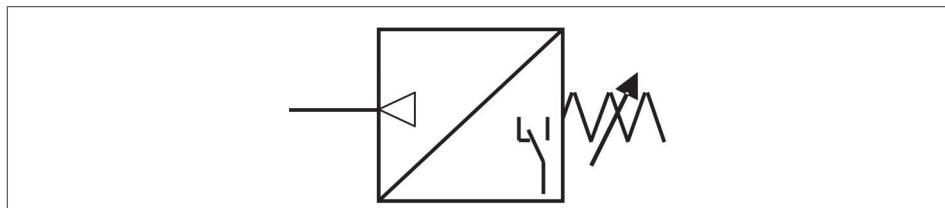


Fig. 10-32. Vacuostato.

La diferencia entre los símbolos del presostato y vacuostato es precisamente la dirección de cómo entra la señal de aire al dispositivo, la flecha de la presión en el presostato es hacia adentro y en el vacuostato es hacia fuera.

10.8 Temporizadores en cascada en un automatismo electroneumático

Hasta el momento solo se han solucionado sistemas que no contemplan la función de tiempo dentro de su estructura lógica, estos sistemas quedan limitados en aplicaciones del tipo industrial. Si se agrega la función de tiempo y conteo el sistema puede dar solución a más problemas, lo que hace que estos sistemas tengan más aplicaciones.

Los sistemas con la función de tiempo y conteo se van a solucionar con el método de temporizadores en cascada analizado en el capítulo 9, con aplicación de las señales externas.

El análisis de los ejemplos comienza con el diagrama espacio-fase. Se muestra la interconexión de los cilindros que componen el sistema y posteriormente se ubican los sensores de proximidad y las válvulas direccionales en un diagrama de funcionamiento. A partir de este diagrama se debe obtener un diagrama de temporizadores en cascada con memorias incluidas. Las funciones de salida son solenoides, lámparas indicadoras cuando se manejen alarmas y se requiera representar el estado del sistema y alarmas audibles realizando la misma función de alarma que las lámparas indicadoras. Como parte de la práctica se muestra un ejemplo con temporizadores.

Ejemplo 10.8.1

El diagrama de funcionamiento de la Fig. 10-33 muestra la operación de un cilindro que incluye funciones de tiempo, en la fase de extensión, el cilindro tiene dos velocidades al llegar a 95mm, la velocidad se reduce significativamente, esto se denota por la diferencia entre las dos pendientes.

Se deben obtener los siguientes incisos:

- Obtenga el diagrama de temporizadores en cascada.
- Ecuaciones del sistema.
- Diagrama de conexiones eléctricas y neumáticas.
- Diagrama de flujo y de contactos para ajustar el tiempo de sostenimiento desde una TD200.

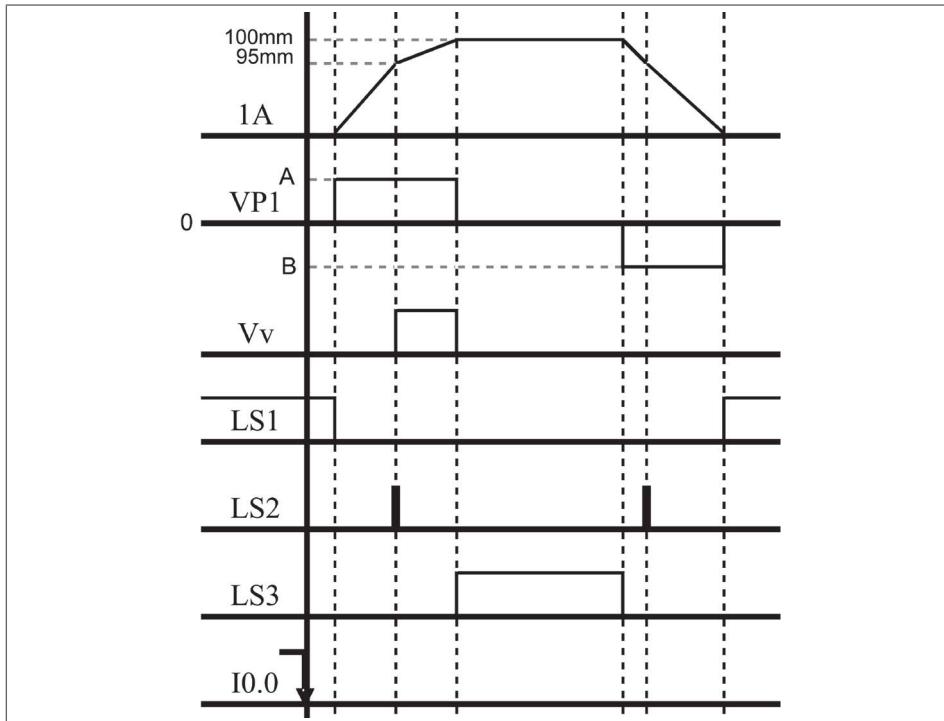


Fig. 10-33. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 10.8.1.

a. Diagrama de temporizadores en cascada

Este diagrama se obtiene a partir del diagrama de funcionamiento mostrado en la Fig. 10-33 en el que se puede observar que al tener una transición negativa en la entrada I0.0 el sistema comienza su operación. Se inicia con un retardo de tiempo y después de este retardo, el cilindro 1A inicia su desplazamiento con una velocidad relativamente más rápida, al llegar a 95mm reduce significativamente la velocidad para realizar un posicionamiento más preciso sobre la pieza a ser trabajada, este tipo de arreglos es común verlo aplicado en prensas.

El sistema tiene cuatro entradas, dos salidas y dos funciones de tiempo. Como condiciones de inicio de operación se consideran todos los sensores. El diagrama de funcionamiento muestra cinco estados, la segunda activación del LS2 no se considera como estado porque no realiza ningún cambio de estado lógico en algún componente, solo se representa que se activa el sensor LS2 en el retroceso. El diagrama de temporizadores en cascada se muestra en la Fig. 10-34.

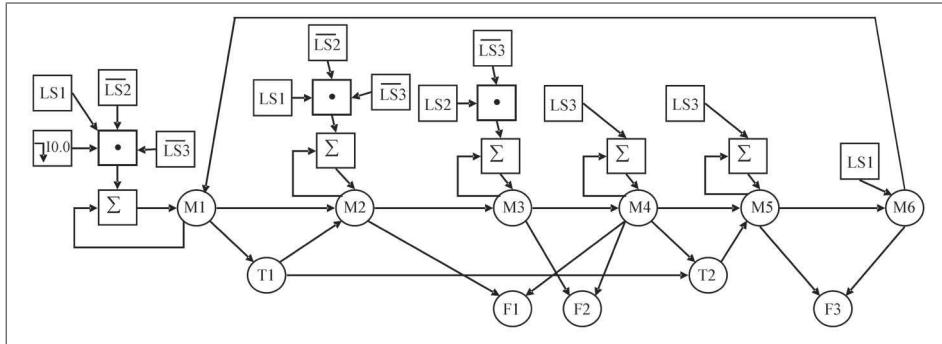


Fig. 10-34. Diagrama de temporizadores en cascada del ejemplo 10.8.1.

b. Ecuaciones del sistema

Si se aplica el cuadrante de contactos se obtienen las ecuaciones lógicas del sistema. Se empieza con las ecuaciones de las memorias, se sigue con las ecuaciones de las funciones de tiempo y se termina con las ecuaciones de las funciones de salida.

Se obtienen las ecuaciones de las seis memorias, la memoria M6 realiza la función de restablecer todo el sistema.

$$\begin{aligned}M1 &= [(\downarrow I0.0 LS1 \overline{LS2} \overline{LS3}) + M1] \overline{M6} \\M2 &= [(LS1 \overline{LS2} \overline{LS3}) + M2] M1 T1 \\M3 &= [(LS2 \overline{LS3}) + M3] M2 \\M4 &= [LS3 + M4] M3 \\M5 &= [LS3 + M5] M4 T2 \\M6 &= LS1 M5\end{aligned}$$

Las funciones de tiempo realizan los retardos requeridos en el sistema: T1 retarda la operación del sistema después de que se obtiene una transición negativa de I0.0 y T2 retarda el retroceso del cilindro 1A.

$$\begin{aligned}T1 &= M1 \\T2 &= M4 T1\end{aligned}$$

Se obtienen tres ecuaciones de salida y se realiza la igualdad de acuerdo a la nomenclatura mostrada en el diagrama de funcionamiento, en este ejemplo las funciones de salida dependen solo de las memorias.

$$\begin{aligned}F1 &= VP1A = M2 \overline{M4} \\F2 &= Vv = M3 \overline{M4} \\F3 &= VP1B = M5 \overline{M6}\end{aligned}$$

c. Diagrama de conexiones neumáticas y eléctricas

Las ecuaciones son transferidas a un diagrama de conexiones neumáticas y eléctricas. El diagrama de conexiones neumáticas está compuesto por dos válvulas direccionales, una de cinco vías y tres posiciones, y otra de tres vías y dos posiciones. Esta última hace la función de selección de la regulación adecuada. El diagrama de conexiones se muestra en la Fig. 10-35.

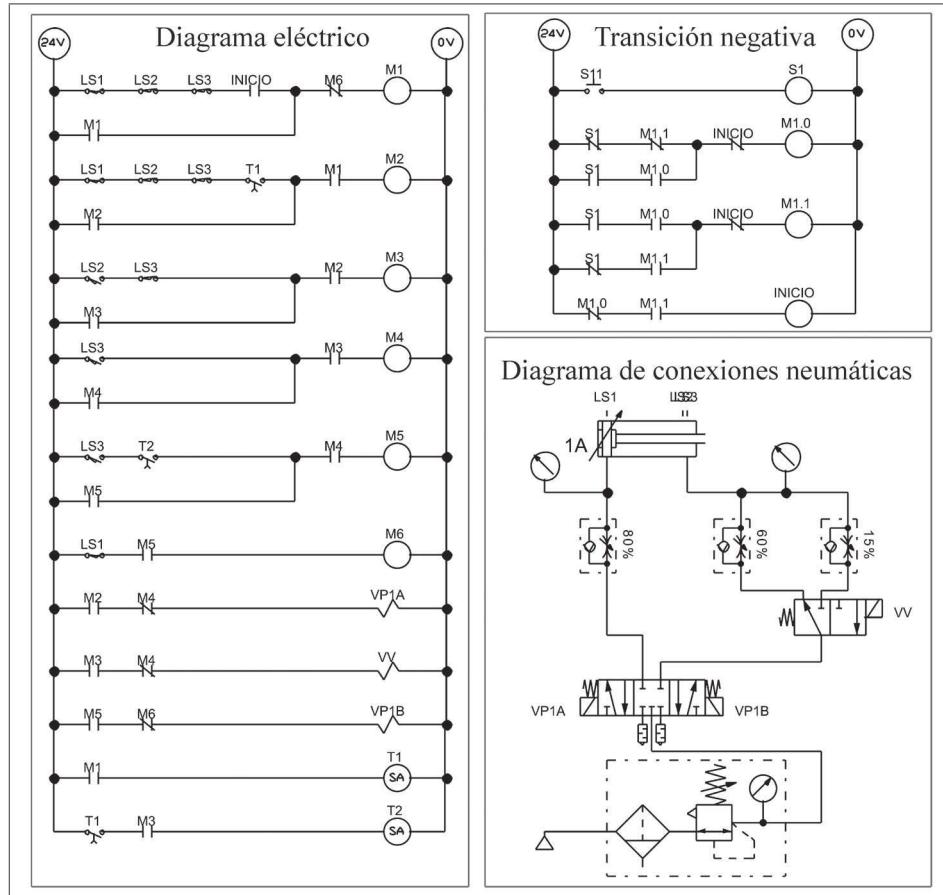


Fig. 10-35. Diagrama de conexiones neumáticas y eléctricas.

d. Diagrama de flujo para ajustar el valor de T2

Se van a desplegar dos mensajes, uno de bienvenida y otro para ajustar el valor de T2. La Fig. 10-36 muestra los dos mensajes.

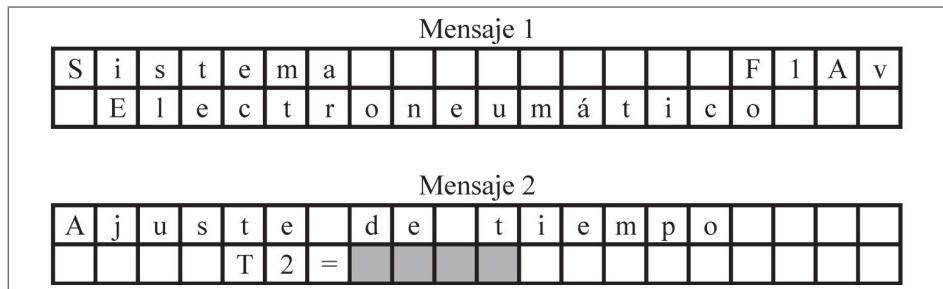


Fig. 10-36. Mensajes a desplegar en la TD200.

Para desplegar los mensajes en una TD200 se requiere desarrollar el diagrama de flujo. El valor de tiempo se almacena en la dirección de datos VW93. Cuando se implementa el diagrama de lógica de contactos se debe considerar que el valor pre establecido de T2 debe ser VW93. El diagrama de flujo para desarrollar el diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens se muestra en la Fig. 10-37.

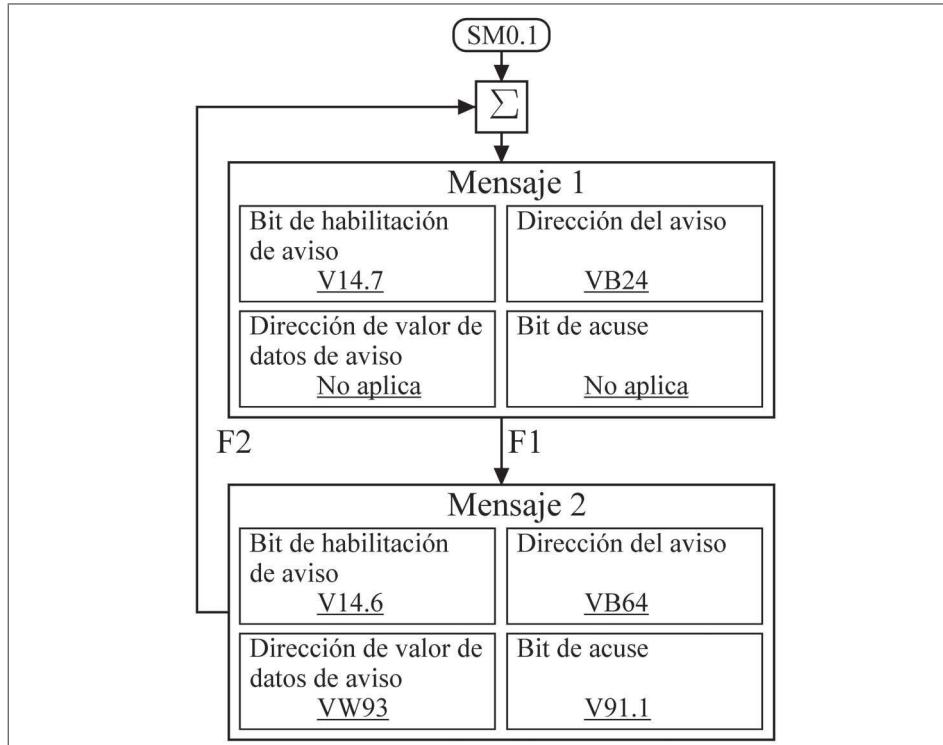


Fig. 10-37. Diagrama de flujo para desplegar los mensajes en una TD200 para el PLC Siemens.

10.9 Contadores en un automatismo electroneumático

Si se aplica la función contador a este tipo de sistemas es posible abarcar más aplicaciones a nivel industrial. Con este dispositivo dentro de la estructura secuencial de un sistema del tipo electroneumático, éste puede ser operado de forma automática por un período de n ciclos de operación, estos n ciclos de operación pueden ser programados a través de una pantalla TD200 para el PLC Siemens.

Ejemplo 10.9.1

El diagrama de funcionamiento mostrado en la figura 10.35 debe operar en automático por un número de 100 ciclos. Al terminar el número de ciclos programados se va a prender una lámpara color verde que indica que ha finalizado el número de ciclos programados. Como trabaja en forma automática, es necesario instalar un dispositivo que indique paros imprevistos del sistema secuencial. Para realizar esta operación se agrega una lámpara roja que deberá encenderse cuando sea sobrepasado un tiempo establecido. La Fig. 10-38 muestra el diagrama de temporizadores en cascada.

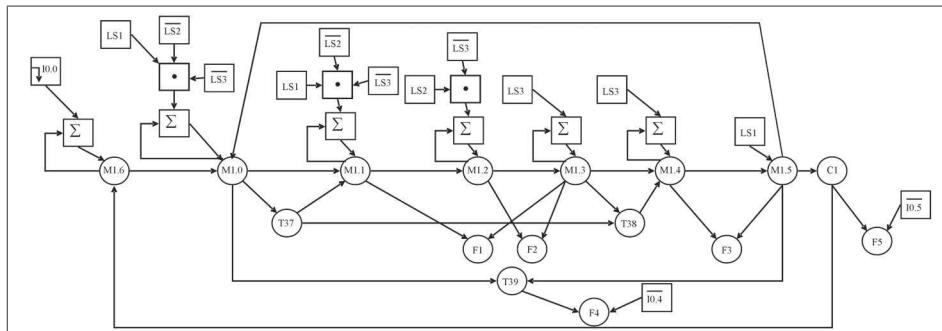


Fig. 10-38. Diagrama de temporizadores en cascada con operación automática por número de ciclos determinado por C1.

Cuando se va a utilizar un sistema de inicio y se requiere que sea reiniciado y continúe operando hasta un determinado número de ciclos, se necesita que el sistema de inicio sea operado hasta que el número de ciclos haya terminado. Se agregó la memoria M1.6 para realizar la función de inicio del sistema, memoria que va a estar restableciendo por completo el sistema.

El contador C1 es el encargado de contar el número de ciclos, recibe un pulso para incrementar el conteo de la memoria M1.5. El dispositivo encargado de restablecer el contador es un interruptor de llave para tener un mejor control y no restablecer el contador por error. Se puede restablecer a través de la pantalla TD200, si se utiliza un PLC y la TD200, aplicando una contraseña.

El temporizador T39 es el encargado de monitorear un tiempo de ciclo excesivo que normalmente se debe a un fallo en el sistema durante la operación automática. Con este temporizador se pueden tomar dos acciones, una que pare el sistema y se

tenga que regresar del estado donde se quedó parado y la segunda es que se restablezca el temporizador, se corrija la falla y que el sistema siga su operación hasta que termine el ciclo.

Las funciones F4 y F5 son lámparas indicadoras. La primera indica un tiempo excesivo de ciclo, la segunda que el sistema ha llegado al número de ciclos establecidos. Al cambiar la nomenclatura de las memorias se obtienen las ecuaciones del sistema.

$$M1.0 = [(\overline{LS1} \overline{LS2} \overline{LS3}) + M1.0] M1.6 \overline{M1.5}$$

$$M1.1 = [(\overline{LS1} \overline{LS2} \overline{LS3}) + M1.1] M1.0 T37$$

$$M1.2 = [(\overline{LS2} \overline{LS3}) + M1.2] M1.1$$

$$M1.3 = [LS3 + M1.3] M1.2$$

$$M1.4 = [LS3 + M1.4] M1.3 T38$$

$$M1.5 = LS1 M1.4$$

Se obtienen tres ecuaciones de tiempo, una para cada temporizador: T37, T38 y T39.

$$T37 = M1.0$$

$$T38 = M1.3 T37$$

$$T39 = M1.0 M1.5$$

Para el contador C1 se deben obtener dos ecuaciones, una para el conteo y otra para la entrada que restablece el contador.

$$C1(CU) = M1.5$$

$$C1(R) = C1 I0.6$$

La entrada I0.6 es un interruptor operado por personal especializado.

10.10 Aplicaciones industriales

La electroneumática es una de las áreas de la automatización más requeridas al momento de implementar, diseñar y actualizar equipo industrial, esto debido a la interacción del circuito eléctrico y neumático, a la ventaja mostrada en la cantidad de fuerza aplicada por el actuador neumático, a la relación de costo-beneficio en la implementación, además de tener la posibilidad de aplicar un PLC para desarrollar la secuencia lógica del sistema.

La solución de sistemas electroneumáticos se realiza utilizando las metodologías vistas en este libro con el fin de obtener resultados efectivos en tiempo y resultado.

Ejemplo 10.10.1

El ejemplo del diagrama espacio-fase de la Fig. 10-39 muestra la interconexión de dos cilindros, 1A y 2A, los dos cilindros están llegando al final de su carrera, cuentan con sensores que identifican el inicio y fin de carrera, las válvulas que controlan

estos cilindros son del tipo de cinco vías y tres posiciones, el inicio de operación del sistema está a cargo de la entrada I.

Se debe obtener el diagrama de funcionamiento mostrando el número de memorias requeridas para solucionar el sistema secuencial. Una vez que se obtenga este diagrama se debe conseguir el diagrama de memorias de estado. Las ecuaciones que representen al sistema en un diagrama de conexiones eléctricas y de lógica de contactos se deben obtener a partir del diagrama de memorias de estado, es conveniente realizar la simulación con el FluidSim para comprobar el funcionamiento de los resultados obtenidos.

Como explicación del sistema se puede decir que al activar la entrada I inmediatamente inicia su desplazamiento hacia la salida el cilindro 1A, al llegar al final de la carrera este cilindro inmediatamente inicia su recorrido hacia la salida el cilindro 2A que se queda extendido por un período de tiempo establecido por T1 y después de que se termina este tiempo inicia su regreso. Al llegar a su inicio de carrera el cilindro 2A, inicia su retroceso el cilindro 1A y cuando llega al inicio de carrera el sistema ha terminado un ciclo de operación.

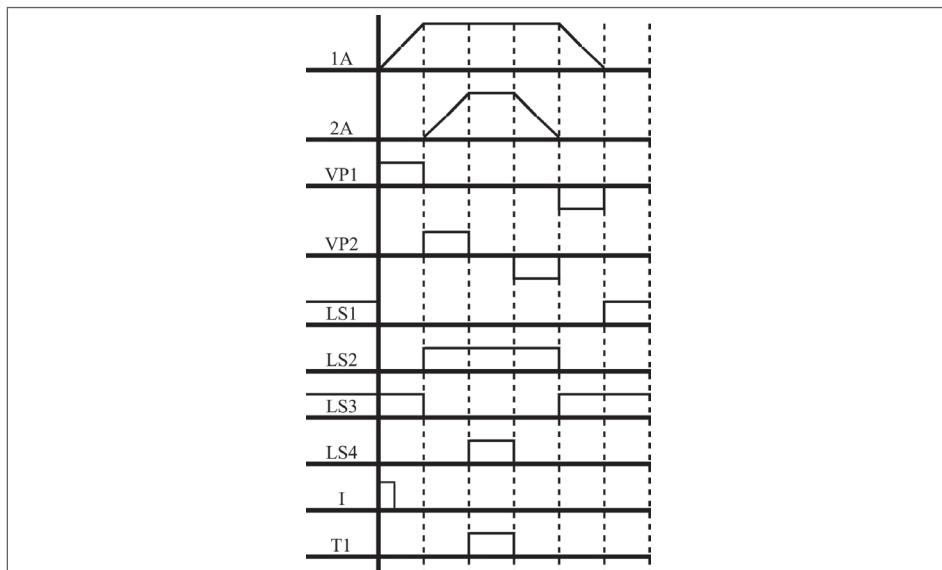


Fig. 10-39. Diagrama espacio-fase del ejemplo 10.10.1.

Del diagrama espacio-fase se obtiene que el sistema tiene cinco estados. Si se aplica el método de memoria de estado se llega al número de memorias que se tienen que generar. Si se aplica $n+1$ da como resultado que se tienen que generar seis memorias para resolver el sistema secuencial. El diagrama de funcionamiento con las memorias se muestra en la Fig. 10-40.

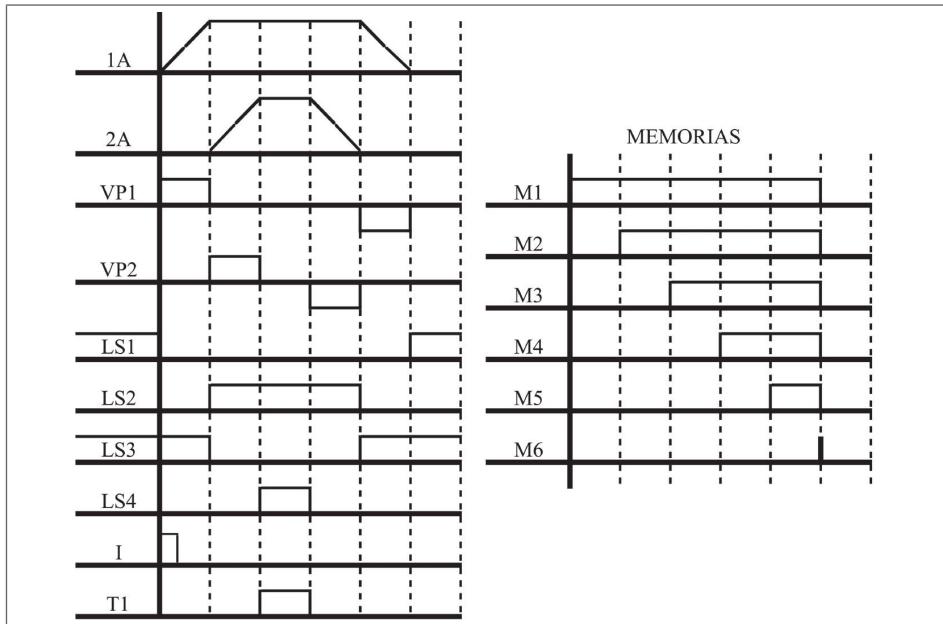


Fig. 10-40. Diagrama de funcionamiento con memorias del ejemplo 10.10.1.

De este diagrama de funcionamiento se obtiene el diagrama de memorias de estado que se muestra en la Fig. 10-41, solo se van a considerar como condiciones para activar las memorias las entradas con valor lógico de “1”.

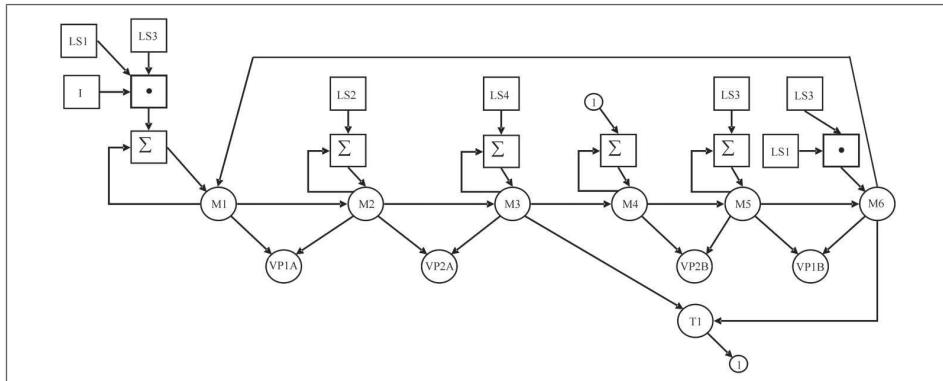


Fig. 10-41. Diagrama de memorias de estado para el ejemplo 10.10.1.

Del diagrama de memorias de estado se definen seis ecuaciones para resolver las memorias, cuatro para resolver las funciones de salida y una para resolver la función de tiempo.

$$M1 = [(LS1 LS3 I) + M1] \overline{M6}$$

$$M2 = [LS2 + M2] M1$$

$$M3 = [LS4 + M3] M2$$

$$M4 = [T1 + M4] M3$$

$$M5 = [LS3 + M5] M4$$

$$M6 = LS1 LS3 M5$$

$$T1 = M3 \overline{M6}$$

Las ecuaciones de las funciones de salida son el resultado de las condiciones para encender y apagar los pilotos eléctricos.

$$VP1A = M1 \overline{M2}$$

$$VP1B = M5 \overline{M6}$$

$$VP2A = M2 \overline{M3}$$

$$VP2B = M4 \overline{M5}$$

Las ecuaciones son transferidas a un diagrama de conexiones neumáticas y eléctricas. El resultado es el diagrama que se muestra en la Fig. 10-42. Al no darle un valor preestablecido al temporizador T1 el sistema funcionará correctamente solo que el cilindro 2A no se va a quedar extendido, al llegar al final de carrera se regresará inmediatamente. Este diagrama puede ser simulado con el FluidSim y puede ser llevado a la práctica.

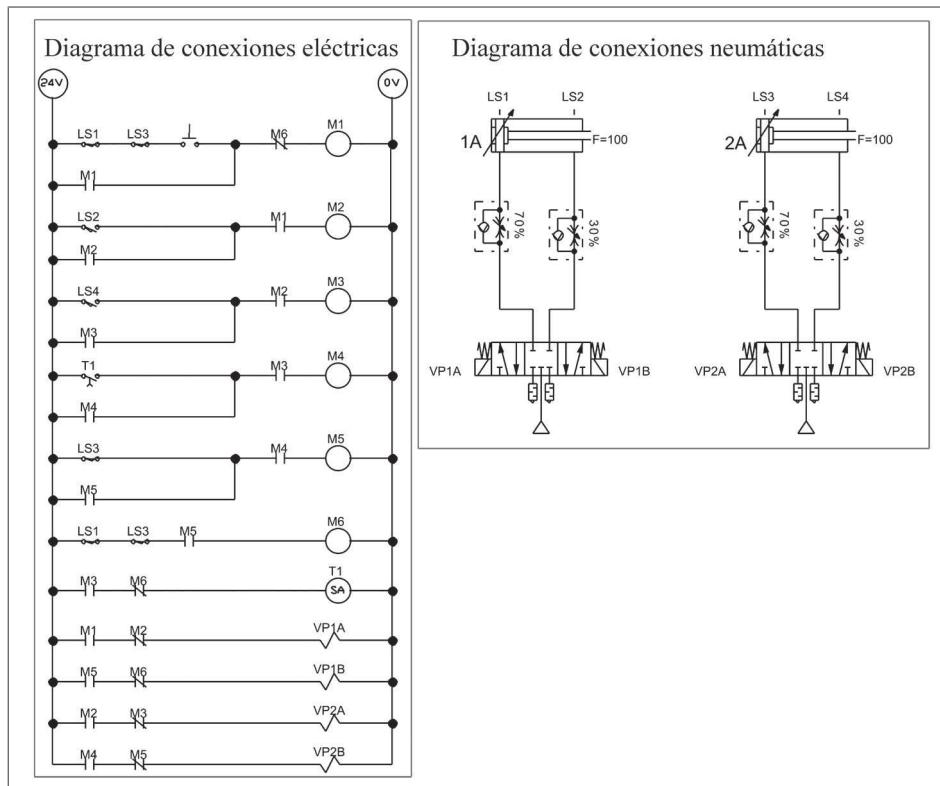


Fig. 10-42. Diagrama de conexiones eléctricas y neumáticas del ejemplo 10.10.1.

Cuando el sistema es automático es conveniente tener la opción de que pueda trabajar en manual, es decir paso a paso, en semiautomático, esto significa que requiera de la activación de un dispositivo de entrada, normalmente un botón, para realizar un ciclo y la opción de automático, realizada por la activación de una entrada diferente a la de semiautomático. Como se está generando una memoria por cada estado se puede obtener la operación de un sistema mediante las tres funciones de operación, solo hay que condicionar cada una de las memorias por la activación de una función llamada ASM, A de automático, S de semiautomático y M de manual. La función de semiautomático se realizará con la activación de una memoria llamada SEMI y, activada por un botón, se retiene la memoria a sí misma y se desconecta con la última memoria del sistema, en este caso M6. La función manual es paso a paso, se requiere de la activación de un botón que debe activarse en cada memoria, por lo tanto esta memoria no se retiene a sí misma. Para que funcione en automático solo se selecciona en la función de AUTO el interruptor de tres tiros un polo que se muestra en la Fig. 10-43 encargado de seleccionar la función de operación del sistema. El sistema deberá trabajar en automático.

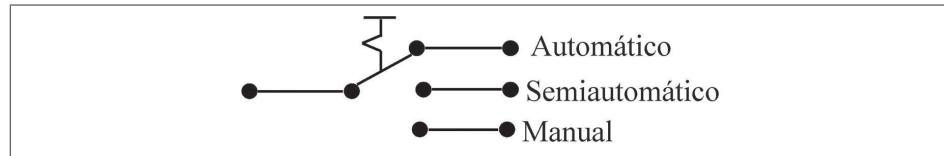


Fig. 10-43. Interruptor de tres polos para la selección de funciones.

Si se agregan estas tres funciones de operación al ejemplo 10.10.1 se obtiene el diagrama de memorias de estado que se muestra en la Fig. 10-44.

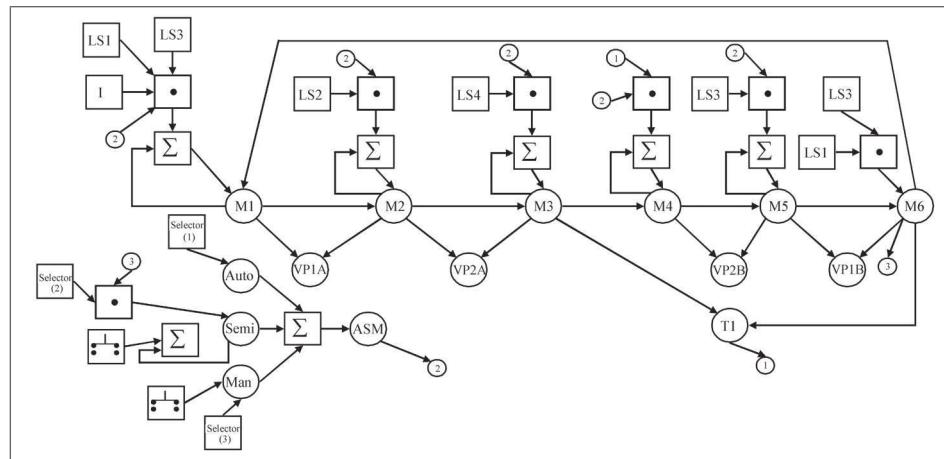


Fig. 10-44. Diagrama de memorias de estado con el sistema de selección de función automático, semiautomático o manual.

Las ecuaciones de las memorias se ven afectadas por la función ASM resultante de seleccionar las funciones de automático, semiautomático o manual.

$$M1 = [(LS1 LS3 I \text{ASM}) + M1] \overline{M6}$$

$$M2 = [(LS2 \text{ASM}) + M2] M1$$

$$M3 = [(LS4 \text{ASM}) + M3] M2$$

$$M4 = [T1 \text{ASM} + M4] M3$$

$$M5 = [(LS3 \text{ASM}) + M5] M4$$

$$M6 = LS1 LS3 M5$$

Las ecuaciones de las funciones de automático, semiautomático y manual.

$$AUTO = Selector(1)$$

$$SEMI = (SEMIAUTO + SEMI)(Selector(2) \overline{M6})$$

$$MAN = MANUAL Selector(3)$$

$$ASM = AUTO + SEMI + MAN$$

Las ecuaciones se transfieren al diagrama de conexiones eléctricas, el resultado se muestra en la Fig. 10-45.

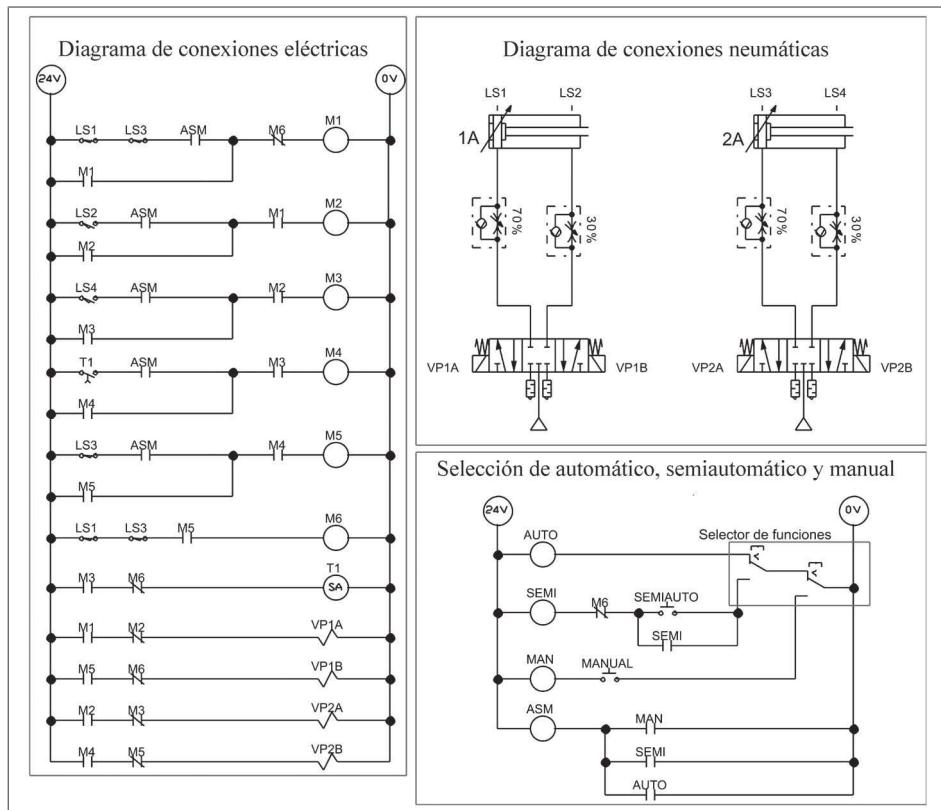


Fig. 10-45. Ejemplo 10.10.1 incluyendo las tres funciones: automático, semiautomático y manual.

Como parte del estudio, la aplicación del ejemplo con el PLC Siemens se deja como ejercicio de estudio al estudiante.

Ejemplo 10.10.2

Como parte de las aplicaciones del tipo industrial se presenta un manipulador de objetos del tipo cartesiano con cuatro ejes, X, Y, Z y C. El eje C, aunque tiene que generar un giro de 180°, se considera que es un cilindro del tipo lineal, esto se logra mediante mecanismos, como bielas, que transforman el movimiento lineal en un movimiento angular. En robots cada eje es llamado grado de libertad¹. La función del sistema consiste en trasladar un objeto desde el punto A hasta el punto B, se tienen que esquivar algunos obstáculos, éstos no se muestran en el esquemático de la Fig. 10-46. La construcción de los cilindros puede ser del tipo sin vástago, la ventaja que muestra este tipo de cilindros, comparados con los que tienen vástago,

¹ Es cada uno de los movimientos independientes (giros y desplazamientos) que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior. Son los parámetros que se precisan para determinar la posición y la orientación del elemento final de herramienta. El número de grados de libertad del robot viene dado por la suma de los GDL de las articulaciones que lo componen.

es que el 100% de la distancia de recorrido del émbolo del cilindro es el equivalente a la longitud total del cilindro, esto indica que no se incrementa el espacio para colocar el cilindro, por ejemplo un cilindro sin vástago de 2000mm de distancia de recorrido tendrá una longitud un poco mayor a los 2000mm, el espacio extra es por las tapas y los accesorios de anclaje.

La manipulación del objeto es a través de vacío con la ventosa que se muestra en el eje C. En esta aplicación, mediante el sistema de vacío, el manipulador se convierte en el fin de herramienta. En otras aplicaciones la manipulación de objetos o el fin de herramienta se realiza mediante tenazas neumáticas, que son cilindros aplicados como herramientales de fin de herramienta de un brazo robótico.

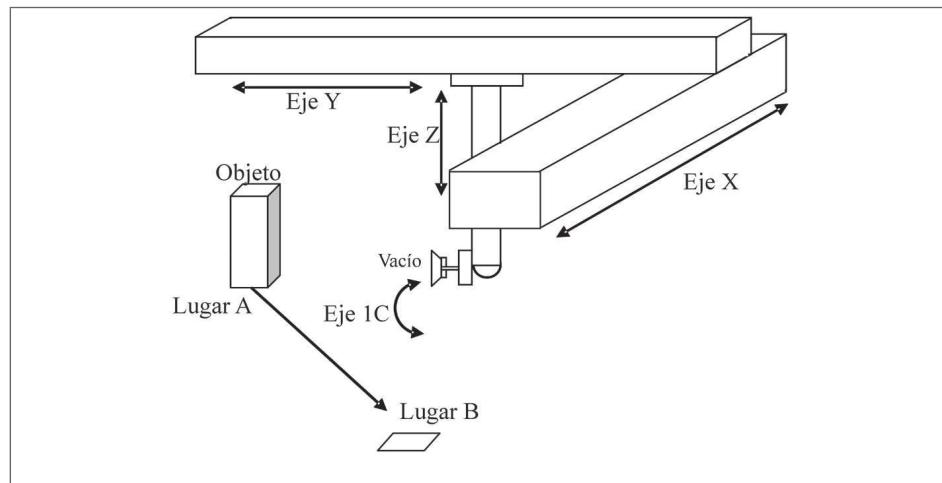


Fig. 10-46. Esquemático del manipulador de objetos de cuatro grados de libertad.

El diagrama espacio-fase de la Fig. 10-47 muestra la interconexión de los cuatro cilindros para trasladar el objeto desde el lugar A hasta el lugar B, se consideran cuatro válvulas de cinco vías y tres posiciones.

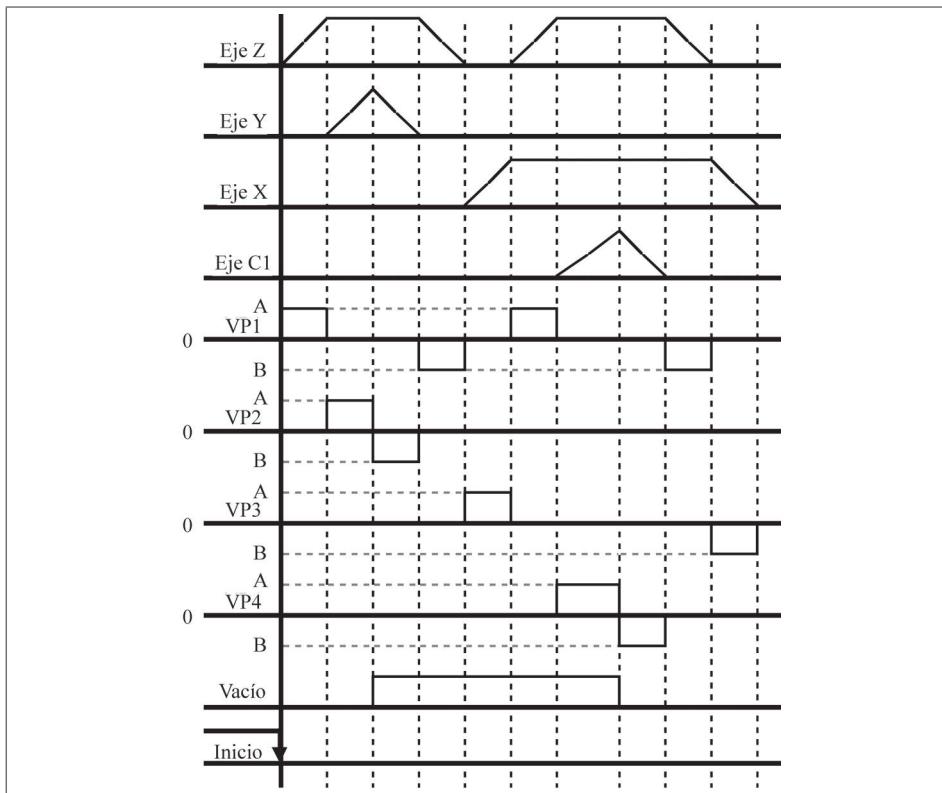


Fig. 10-47. Diagrama espacio-fase con el diagrama de mando incluido.

Para resolver el sistema secuencial se debe agregar un sensor en cada uno de los cilindros por cada inicio y fin de carrera, esto para que el sistema pueda identificar la ubicación de los émbolos de los cilindros. El diagrama con la ubicación de los sensores se muestra en la Fig. 10-48.

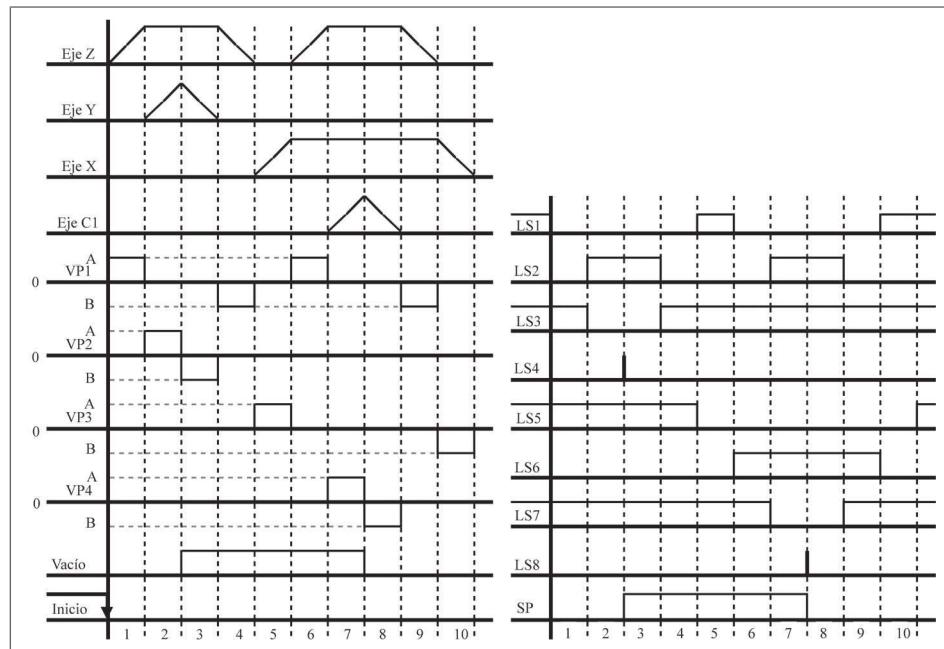


Fig. 10-48. Diagrama de funcionamiento con sensores incluidos.

El sistema cuenta con 10 estados y las memorias a generar son 11, recordando que este valor se obtiene de la metodología de memorias de estado donde el número de memorias es igual a $n+1$ y donde n es el número de estados.

El sensor de producto, marcado como SP, puede condicionar solo la operación de M3 o desde la memoria M3 hasta la M7, depende de la exigencia del control. Si se opta por la primera opción puede suceder que la pieza caiga después de que el sistema secuencial esté en la memoria M4, o que sufra un desajuste el sensor, y siga operando en forma normal. Si la segunda opción es seleccionada, y suponemos la misma situación, que se caiga la pieza o se desajuste el sensor SP, el sistema parará y se quedará en el estado donde el sensor ya no detectó la pieza. Aquí se puede pasar del sistema automático a modo manual para que sea regresado mediante movimientos paso a paso y llevarlo a la posición de inicio. Se va a solucionar considerando que SP solo condiciona la memoria M3.

El diagrama de memorias de estado es el resultado de aplicar el diagrama de funcionamiento de la Fig. 10-48, el sistema está estructurado en 10 estados y se deben generar 11 memorias. El resultado se muestra en la Fig. 10-49.

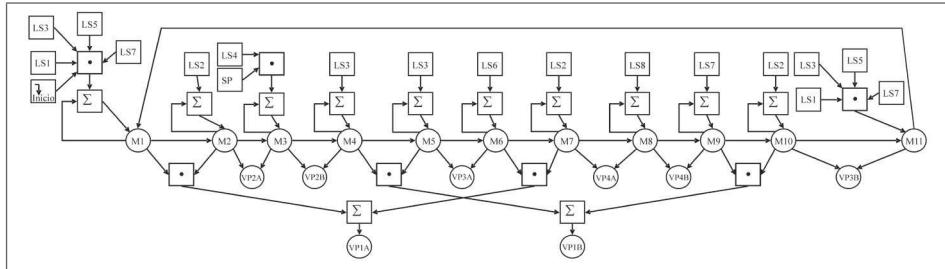


Fig. 10-49 Diagrama de memorias de estado del ejemplo 10.10.2.

De este diagrama se obtiene el sistema de ecuaciones que representan el automatismo electroneumático.

$$M1 = [(LS1 LS3 LS5 LS7 \downarrow INICIO) + M1] \overline{M11}$$

$$M2 = [LS2 + M2] M1$$

$$M3 = [(LS4 SP) + M3] M2$$

$$M4 = [LS3 + M4] M3$$

$$M5 = [LS1 + M5] M4$$

$$M6 = [LS6 + M6] M5$$

$$M7 = [LS2 + M7] M6$$

$$M8 = [LS8 + M8] M7$$

$$M9 = [LS7 + M9] M8$$

$$M10 = [LS1 + M10] M9$$

$$M11 = LS1 LS3 LS5 LS7 M10$$

Las ecuaciones de las funciones de salida son obtenidas del mismo diagrama de memorias de estado, las ecuaciones de las válvulas VP1A y VP1B son la suma de dos multiplicaciones.

$$VP1A = (M1 \overline{M2}) + (M6 \overline{M7})$$

$$VP1B = (M4 \overline{M5}) + (M9 \overline{M10})$$

$$VP2A = M2 \overline{M3}$$

$$VP2B = M3 \overline{M4}$$

$$VP3A = M5 \overline{M6}$$

$$VP3B = M10 \overline{M11}$$

$$VP4A = M7 \overline{M8}$$

$$VP4B = M8 \overline{M9}$$

Las ecuaciones son transferidas a un diagrama de conexiones eléctricas y neumáticas con el FluidSim. El diagrama de la Fig. 10-50 es el resultado de transferir las ecuaciones a un diagrama de conexiones eléctricas, para realizar la simulación se agrega un renglón con un interruptor y una memoria llamada SP para simular que se ha detectado una pieza.

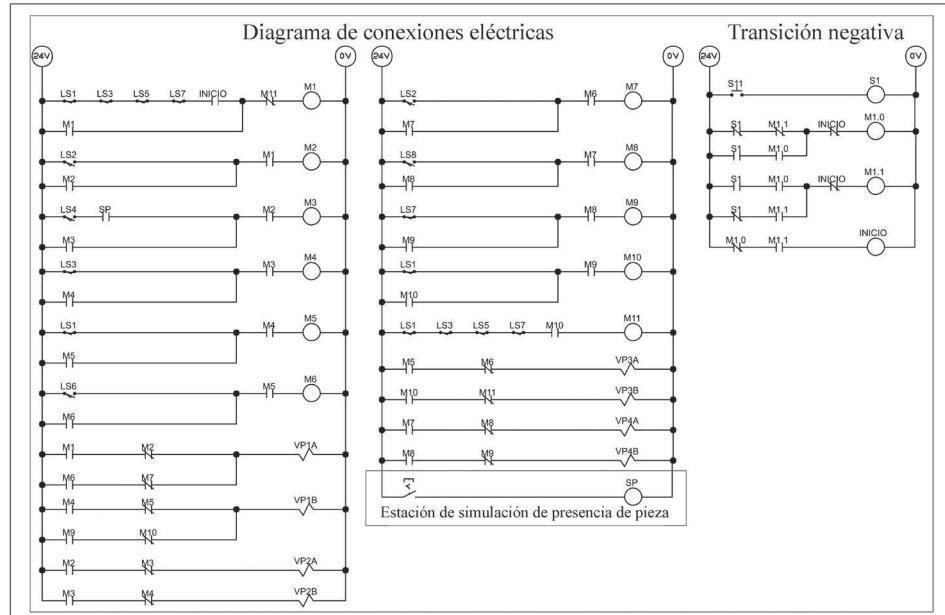


Fig. 10-50. Diagrama de conexiones eléctricas del ejemplo 10.10.2.

El diagrama de conexiones neumática se muestra en la Fig. 10-51.

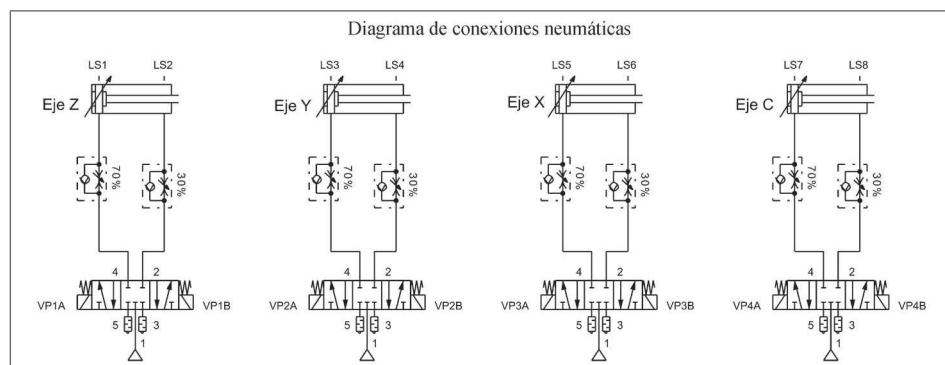


Fig. 10-51. Diagrama de conexiones neumáticas del ejemplo 10.10.2.

Como ejercicio de práctica se le deja al estudiante el desarrollo del diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

10.11 Ejercicios a resolver

Ejemplo 10.11.1

Al robot del tipo cartesiano (Fig. 10-52) se le debe aplicar un retardo de tiempo en la interacción de los ejes que debe ser de 0.5 segundos. También se debe considerar un retardo de tiempo para tomar la pieza que debe ser de 3 segundos.

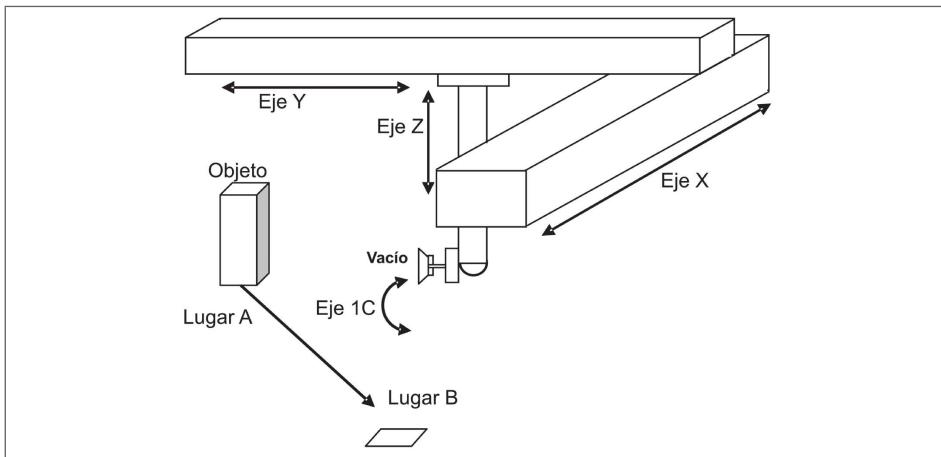


Fig. 10-52. Robot cartesiano del ejemplo 10.11.1.

- Obtenga el diagrama de funcionamiento que incluya los temporizadores y considerando la secuencia obtenida en el ejemplo 10.10.2.
- Desarrolle el diagrama de temporizadores en cascada con memorias.
- Obtenga las ecuaciones del sistema, ahora incluyendo las ecuaciones de tiempo.
- El diagrama de conexiones eléctricas y la respectiva simulación con el FluidSim.

Ejemplo 10.11.2

Al ejemplo anterior agréguele que pueda operar en las tres opciones que tiene un sistema automático, que son: en Manual, o paso a paso, mediante un botón empujar para activar; en Semiautomático, que es un ciclo a la vez y se debe operar con un botón externo diferente al de la función de manual, y por último la función de automático. También le debe agregar cuatro alarmas al sistema, una para cada eje, que encienda cuando se ha sobrepasado un tiempo establecido de 10 segundos, puede ser variable, se requiere que esta alarma tenga el código visual que se muestra en la Fig. 10-523.

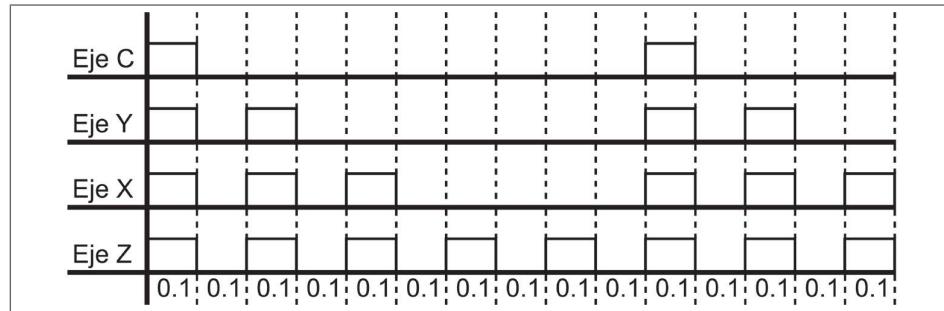


Fig. 10-53. Código de alarma visual de cada uno de los ejes.

Ejemplo 10.11.3

Al robot del tipo cartesiano que se muestra en la Fig. 10-54 se le debe aplicar un retardo de tiempo en la interacción de los ejes que debe ser de 0.5 segundos. También se debe considerar un retardo de tiempo para tomar la pieza que debe ser de 3 segundos.

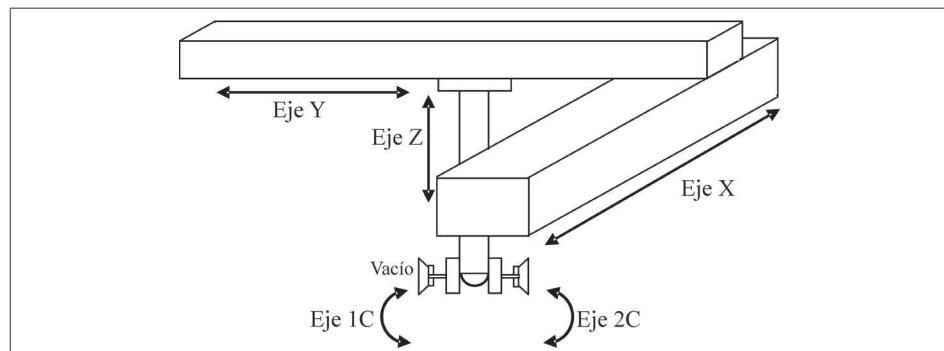


Fig. 10-54. Esquemático del ejemplo 10.11.3.

- Obtenga el diagrama de funcionamiento, incluyendo los temporizadores y considerando la secuencia obtenida en el ejemplo 10.6.2.
- Desarrolle el diagrama de temporizadores en cascada con memorias.
- Obtenga las ecuaciones del sistema, ahora incluyendo las ecuaciones de tiempo.
- El diagrama de conexiones eléctricas y la respectiva simulación con el FluidSim.

CAP TULO 11

Introducción a los sistemas electrohidráulicos

11.1 Introducción

La hidráulica se ocupa de la transmisión de los efectos de fuerzas y potencias mediante la aplicación de presión estática a un fluido, esta tarea se logra a través de un sistema hidráulico.

La estructura de un sistema hidráulico (Fig. 11-1) inicia con una máquina hidrostática, ya sea impulsada por un motor eléctrico o un motor de combustión interna. La energía mecánica obtenida del movimiento de la flecha del motor se convierte en energía hidráulica. Los componentes de mando actúan sobre la presión así como la dirección y magnitud del flujo del fluido. La máquina de fuerza hidrostática, una vez más, convierte la energía hidráulica en energía mecánica, si se aplica esta energía a un proceso, máquina o equipo que es movido mediante un sistema hidráulico.

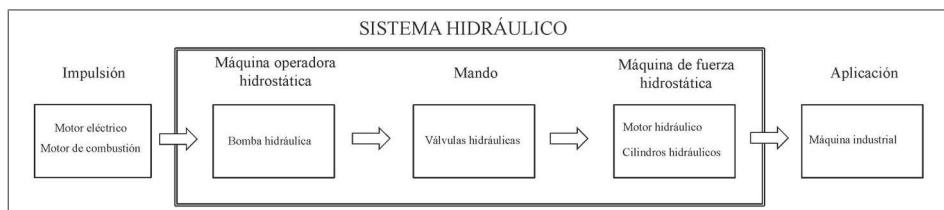


Fig. 11-1. Estructura de un sistema hidráulico.

La aplicación de los sistemas electrohidráulicos es más amplia comparada con los sistemas electroneumáticos debido a la gran diferencia en fuerza y velocidad, ya que tiene presiones hasta de 3,000psi y en algunos casos 5,000psi, mientras que las presiones generadas en un sistema electroneumático son máximo de 250psi y con un estándar de 120psi.

Las ventajas son varias. Sin embargo existen desventajas que deben ser consideradas al seleccionar un sistema electrohidráulico.

Las ventajas son:

- Transmisión de grandes fuerzas en espacios reducidos.
- Elevada densidad de energía.
- Variación sin cambios de magnitud, como velocidad, fuerza y momentos mecánicos.
- Posibilidad de almacenar energía.
- Elevada vida útil.
- Buena regulación en las fuerzas actuantes.
- Grandes rangos de transmisión.
- Desgaste reducido debido a la lubricación de los elementos mediante el propio fluido.
- Conversión simple de movimientos rotantes en rectilíneos y viceversa.

Son menos las desventajas pero existen, considerando como las más importantes a las siguientes:

- El óptimo funcionamiento depende de la viscosidad del aceite.
- Problemas de fugas de aceite.
- Contaminación del aceite.
- Alto riesgo al manipularlos y al darles mantenimiento.

11.1.1 Verificaciones periódicas en sistemas hidráulicos

Es importante saber, como primer punto, que las presiones con las que operan los sistemas hidráulicos son muy superiores a las que maneja un sistema neumático y como segundo que al tener un fluido como medio de presión no se puede desconectar ningún componente del circuito hidráulico ya que el fluido será derramado y si se considera que está a presión se puede tener un accidente irreversible en la persona que opera el sistema. Esto lo diferencia de los sistemas neumáticos que tienen como medio de presión un gas y al desconectar cualquier componente de un circuito neumático el aire que está manteniendo la presión dentro del circuito neumático simplemente se escapa a la atmósfera sin ningún problema.

La manipulación de ambos sistemas, hidráulico y neumático, es de riesgo; sin embargo se quiere dejar aclarado que los sistemas hidráulicos son más peligrosos que los neumáticos.

Como parte de la seguridad es importante el mantenimiento que se le debe programar a un sistema hidráulico, considerando que hay una amplia variedad de apli-

caciones, desde un sistema con una bomba fija para la alimentación de un servicio o usuario hasta sistemas complejos con múltiples bombas con funciones de regulación.

Las medidas de mantenimiento deben ser ejecutadas y planeadas de acuerdo a la importancia, al tiempo de uso, a las consecuencias de una falla y a la disponibilidad necesaria del equipo. Como parte de las inspecciones de un sistema hidráulico se sugieren los siguientes puntos a verificar:

- Verificación del nivel de aceite en el tanque. Con esta verificación se trata de identificar puntos de alto riesgo para el sistema hidráulico. Un bajo nivel de aceite indica la posibilidad de fugas externas, mientras que un incremento en el nivel de aceite la posibilidad de que se ha drenado aceite de dispositivos hidráulicos localizados por arriba del tanque de aceite durante el paro del equipo o que le ha entrado agua al sistema de aceite a través del intercambiador de calor.
- Verificación del sistema de enfriamiento. Cuando se aplican intercambiadores de aire-aceite es importante verificar que no exista polvo en el panel del intercambiador, ya que esto disminuirá la transferencia de calor del aceite. Cuando se tiene un intercambiador agua-aceite, los puntos que se deben cuidar son la calidad del agua, la presión y la temperatura. Es común que estos intercambiadores se llenen de sedimentos debido a sólidos suspendidos en el agua, lo que provoca que se adhieran a los tubos internos del intercambiador o placas, por lo que es necesario mantener un programa de limpieza de los intercambiadores.
- Verificación de la temperatura del aceite. Para que un sistema hidráulico opere eficientemente se requiere que la temperatura del aceite esté dentro de los parámetros del fabricante. Si el aceite está muy frío se corre el riesgo de tener movimientos lentos en los cilindros y válvulas direccionales, y si el aceite está caliente se corre el riesgo de dañar empaques de los cilindros y válvulas direccionales. Además, cuando se calienta, la viscosidad del aceite disminuye, lo que provoca un posible riesgo de dañar la bomba hidráulica. Es recomendable instalar un sensor de temperatura que no permita la operación del equipo o máquina si la temperatura del aceite está fuera del rango de operación, este sensor puede ser desde un termo-interruptor hasta un termopar aplicado a sistemas secuenciales analógicos.
- Verificación de la presión de operación. Antes de poner en operación un sistema hidráulico es recomendable verificar las presiones del sistema o realizar esta verificación de acuerdo a las horas de trabajo del equipo o sistema. Las presiones a verificar son la presión principal, en las válvulas direccionales, ya que su operación es crítica, y si el sistema cuenta con acumuladores hidráulicos, en este dispositivo se debe verificar la presión del gas nitrógeno. El nivel de presión nos indicará un posible incremento o reducción del tiempo de operación de la máquina o sistema hidráulico, también existe la posibilidad de que tenga suciedad el sistema de filtración y requiera cambio de filtro.

- Verificación de fugas de aceite. Ayuda a identificar mangueras o sellos de válvulas dañados. Ésta es una inspección visual y su aporte es el adelanto a un posible paro de equipo por la ruptura de mangueras o daño de sellos. También se inspeccionan las conexiones hidráulicas entre las mangueras y los cilindros; éstos pueden dañarse desde las roscas de los conectores hasta sufrir fatiga y presentar grietas en los conectores hidráulicos.
- Verificación de la limpieza del fluido hidráulico. Una inspección visual da solo una estimación de apariencia en color, en sólidos suspendidos y en viscosidad, si requiere tener un resultado más efectivo que indique los niveles de los metales suspendidos en el aceite, éste se obtiene con un análisis químico realizado a una muestra del aceite del sistema hidráulico.

La frecuencia de estas verificaciones depende del usuario porque él es el que conoce el equipo y el ambiente donde está instalado, se pueden realizar sugerencias de acuerdo a manuales y especificaciones de equipo, pero no significa que no se puedan cambiar y adaptarlas al ambiente y operación del equipo.

Como resultado de estas verificaciones se puede realizar un formato de verificación, donde cada uno de los puntos mencionados sea adaptado a la operación del equipo.

11.1.2 Elementos de control de un sistema secuencial electrohidráulico

Este tipo de sistemas está estructurado en dos tipos de circuito, uno del tipo eléctrico y el otro del tipo hidráulico. Para esto se requieren dos tipos de energía, energía eléctrica y energía hidráulica activa. La primera alimenta todos los dispositivos de control del tipo eléctrico y la segunda es requerida para realizar los movimientos de los dispositivos hidráulicos, desde las válvulas direccionales hasta los cilindros hidráulicos, esta energía es creada por las bombas hidráulicas.

Círculo eléctrico

Está estructurado por todos los componentes eléctricos con que cuenta el sistema, desde sensores hasta los pilotos eléctricos de las válvulas direccionales. Las memorias, los temporizadores y los contadores están en el circuito eléctrico. El diagrama de la Fig. 11-2 muestra la estructura del circuito eléctrico desde la fuente de energía hasta el elemento final de control, éste último es representado por una solenoide encargada de realizar la interfase entre el sistema eléctrico y el sistema hidráulico.

Círculo hidráulico

Está estructurado por todos los componentes hidráulicos, desde la fuente de energía, normalmente una bomba hidráulica, las válvulas de regulación de caudal,

válvulas direccionales con piloto eléctrico llamado elemento de control, hasta llegar al cilindro hidráulico identificado como el elemento final de control.

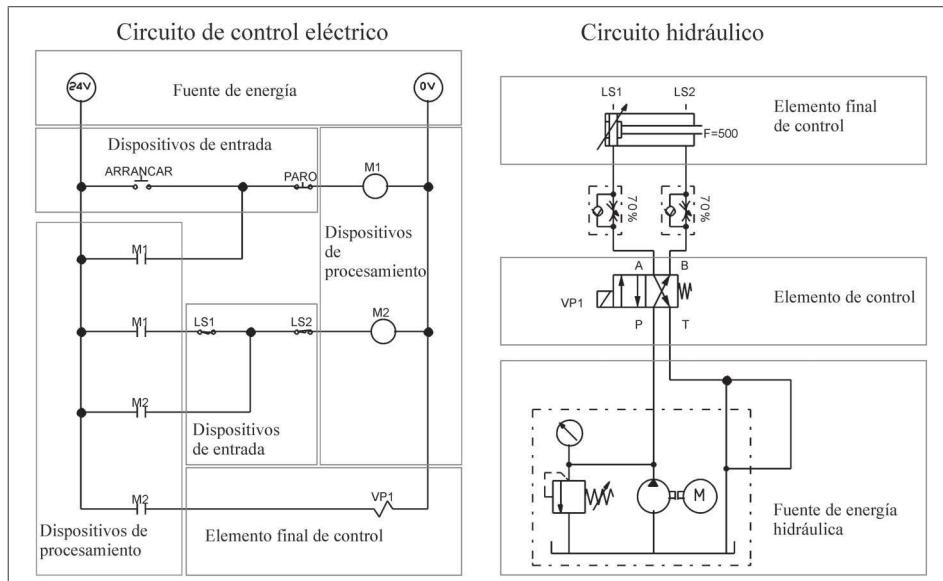


Fig. 11-2. Estructura de un sistema electrohidráulico.

11.2 Tipos de bombas hidr ulicas

Las bombas hidráulicas son las encargadas de convertir la energía mecánica proveniente de una máquina rotatoria, dada a través de un par giratorio o velocidad de rotación, las magnitudes físicas de la energía hidráulica son caudal y presión.

Al seleccionar una bomba hidráulica se deben considerar los siguientes puntos:

- El medio de servicio. Indica si es del tipo liviano, semipesado o pesado.
- Rango de presión. Es importante conocer la presión máxima requerida por el sistema antes de seleccionar una bomba hidráulica.
- Rango de velocidad. Es el rango de velocidad requerido para que se tenga una operación óptima de la bomba hidráulica.
- Máximo nivel de ruido. Es importante conocer este nivel debido al impacto que aporta a la contaminación auditiva en una planta productiva.

Éstos son solo algunos ejemplos de los requerimientos en una bomba hidráulica, se pueden agregar más puntos de acuerdo a la necesidad específica de la

aplicación. Al incrementar exigencias a una bomba se van discriminando bombas hidráulicas en la selección.

Bombas de engranes

Por su construcción, estas bombas se dividen en bombas de engranes dentados exterior y dentados interior.

La bomba de engranes dentados exterior el volumen se forman entre los flancos de los dientes y la carcasa. Al momento de la puesta en marcha, el fluido es transportado desde el lado de aspiración, localizado en la Fig. 11-3 en el lado inferior, hasta el lado de presión, lado superior en la figura. De este modo se produce una depresión en la tubería de aspiración, hasta alcanzar la bomba. El fluido es transportado a través de la cámara se conduce al sistema hidráulico a través del ducto de salida de presión, su mayor aplicación es en hidráulica móvil.

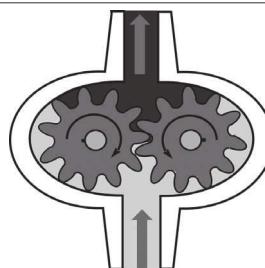


Fig. 11-3. Bomba de engranes exteriores (Cortesía de FESTO FluidSim H).

La presión máxima que puede generar este tipo de bombas es de 4300psi.

La característica principal de la bomba de engranes con dentado interior es el bajo nivel de ruido, esta razón hace que su aplicación sea en hidráulica estacionaria y en vehículos que trabajan en espacios cerrados.

Con el movimiento de rotación se incrementa el volumen de aceite entre los dientes del engrane. Este incremento se produce en un ángulo de giro de 120 grados, por esta razón no se llena la cámara de desplazamiento repentinamente sino relativamente despacio. En la cámara de llenado del fluido hidráulico no hay variación en el volumen. La Fig. 11-4 muestra este tipo de bombas, la presión máxima que puede alcanzar este tipo de bombas es de 4300psi.

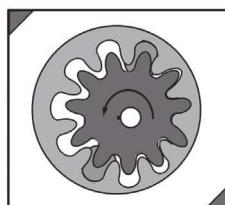
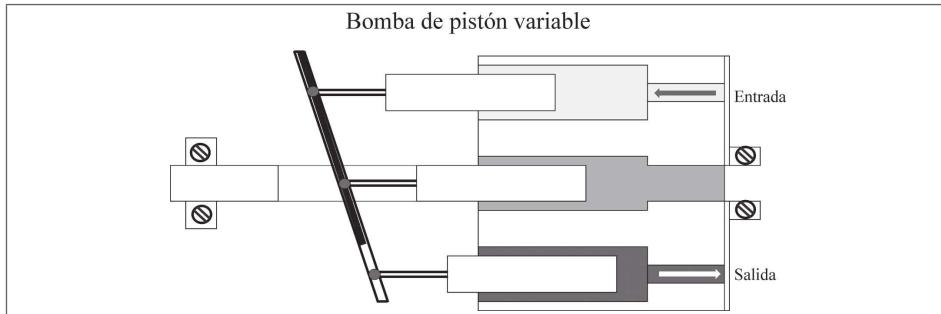


Fig. 11-4. Bomba de engranes internos (Cortesía de FESTO FluidSim H).

Bombas de pistones

Este tipo de bombas son del sector de alta presión, hasta 5800psi, su aplicación va desde prensas hidráulicas, máquinas para la elaboración de productos plásticos, hasta en los sectores donde se requieren altas presiones. Solo este tipo de bombas puede trabajar a presiones elevadas en servicio continuo. La Fig. 11-5 muestra un grupo rotativo hidráulico variable de pistones.



Bombas de paletas

Las paletas de un rotor se mueven radialmente. En este tipo de bombas varía la forma del estator, lo que limita la carrera de las paletas. El estator posee una superficie interna doblemente excéntrica, esto provoca que cada paleta realice dos carreras por vuelta del eje, las cámaras de desplazamiento se forman con el rotor, dos paletas, la superficie interna del anillo y las placas laterales de mando. La Fig.11-6 muestra una bomba de paletas.

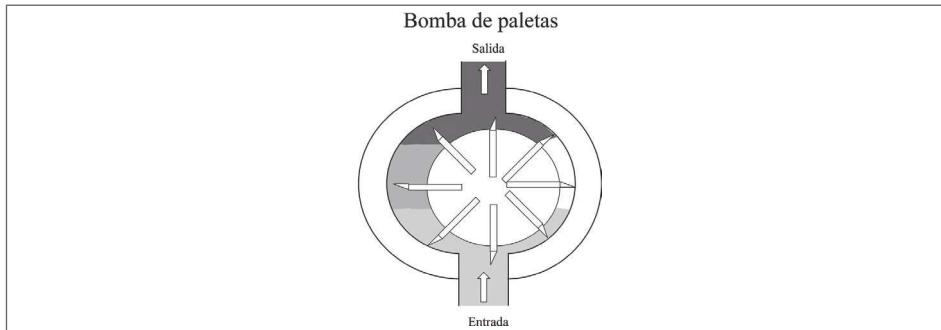


Fig. 11-6. Bomba de paletas.

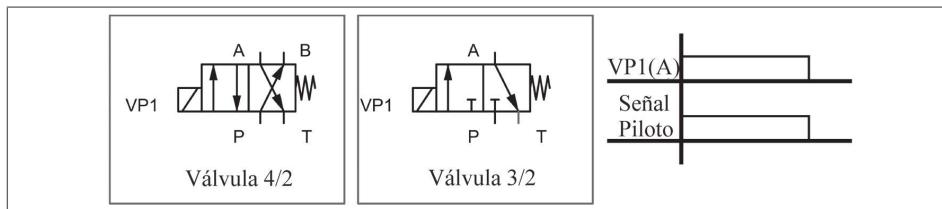
En este capítulo no se va a seleccionar el tipo de bomba, tampoco se van a calcular presiones o caídas de presión, se va a resolver el problema secuencial al utilizar sistemas hidráulicos.

11.3 Tipos de mandos en sistemas secuenciales electrohidráulicos

En sistemas hidráulicos, las válvulas direccionales cuentan con las configuraciones que tienen las válvulas neumáticas con la gran diferencia que el escape o descompresión va a tanque y no a la atmósfera. La hidráulica cuenta con válvulas piloteadas eléctricamente, por hidráulica, y retorno por resorte.

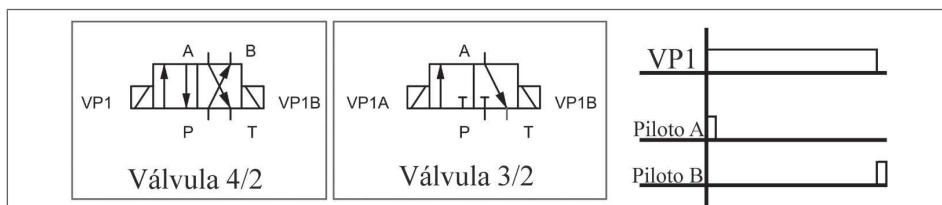
Válvula del tipo monoestable

Es una válvula 3/2 o 4/2, dependiendo de las necesidades de aplicación, pilotos eléctricos en A y retorno por resorte en B. Para seleccionar la posición A es necesario aplicarle un voltaje a la solenoide de corriente directa o de corriente alterna, depende de la solenoide que tenga la válvula, y al desconectar el voltaje se seleccionará inmediatamente la posición B de la válvula. La Fig. 11-7 muestra válvulas monoestables de 3 y 4 vías.



Válvula del tipo biestable

Es una válvula de dos posiciones y puede tener 3 o 4 vías. Los pilotos en posición A y B son del tipo eléctrico. Para seleccionar la posición A se requiere aplicar un voltaje a la solenoide, puede ser un pulso instantáneo y se quedará en la última posición seleccionada hasta que se active la posición complementaria. La Fig. 11-8 muestra el símbolo y el diagrama de mando de una electroválvula hidráulica del tipo biestable.



V Válvula de tres posiciones

Esta válvula puede seleccionarse de 3 o 4 vías. La Fig. 11-9 muestra esta válvula y su diagrama de mando, que cuenta con dos pilotos eléctricos que estarán seleccionando las posiciones de los extremos. La posición central estará seleccionada de inicio indicando que no requiere la activación de alguno de los dos pilotos.

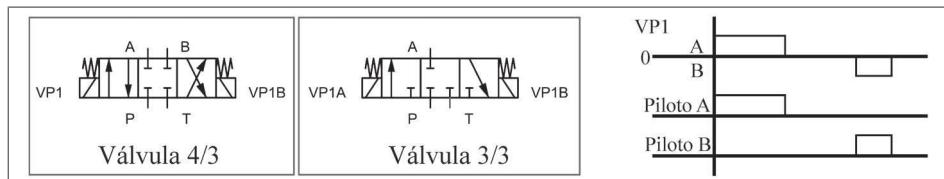


Fig. 11-9. Válvula de tres posiciones y el diagrama de mando.

En el diagrama de mando se observa que el tiempo que están presentes los pilotos es el tiempo que está seleccionada la posición, esto debido a los resortes que centran la válvula. Estas válvulas funcionan igual que las válvulas neumáticas.

11.4 Diagrama de funcionamiento en un sistema electrohidráulico

Al igual que los sistemas electroneumáticos, estos sistemas utilizan el diagrama espacio-fase y el diagrama de funcionamiento para resolver la secuencia de un sistema electrohidráulico. También se puede aplicar el método de la memoria de estado y el método de temporizadores en cascada, ambos aplicados para solucionar sistemas secuenciales del tipo electroneumático. El método de la memoria de estado es el que se estará aplicando en la solución del problema secuencial de un sistema electrohidráulico.

Ejemplo 11.4.1

Un sistema electrohidráulico se muestra en la Fig. 11-10 y consta de tres cilindros interconectados entre sí en los movimientos de fin de carrera, se consideran todos los sensores de inicio y fin de carrera en los tres cilindros, la función de inicio puede ser un botón empujar para activar. Como solución se debe obtener el diagrama de conexiones eléctricas e hidráulicas para que el sistema tenga la respuesta mostrada en el diagrama de funcionamiento.

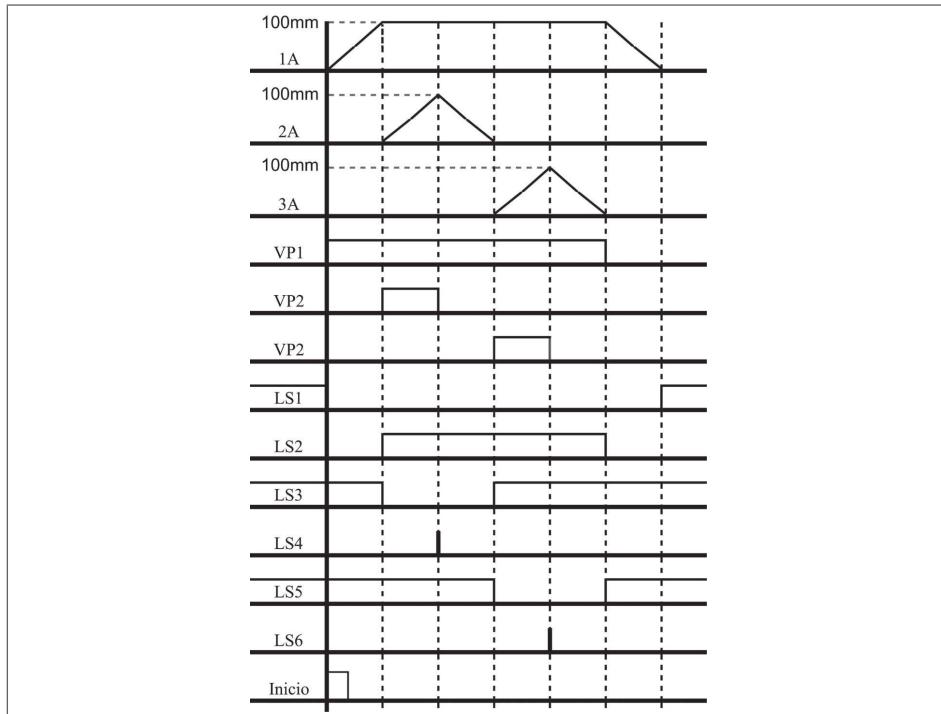


Figura 11.10. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 11.4.1

Para obtener el diagrama de conexiones eléctricas se aplica el método de la memoria de estado. El número de memorias a generar es $Mn+1$, donde $n=6$, por lo tanto son siete las memorias que se tienen que generar. El diagrama de funcionamiento de la Fig. 11-11 muestra la operación de las memorias, la interconexión de los cilindros y los sensores con que cuenta el sistema, uno para el inicio de carrera y otro para identificar el fin de carrera, esto para cada cilindro, lo que da un total de seis sensores y la función de inicio.

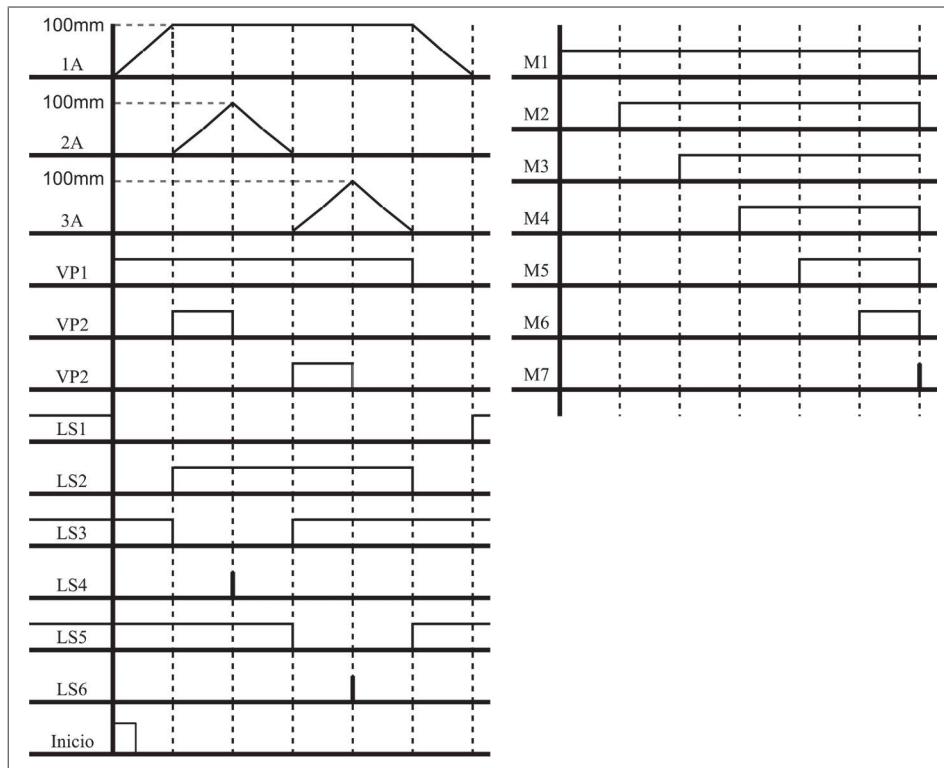


Fig. 11-11. Diagrama de funcionamiento con memorias incluidas.

De este diagrama de funcionamiento se obtiene el diagrama de memorias de estado, cada una de las memorias está condicionada por todas las funciones de entrada sin importar que estén encendidas o apagadas.

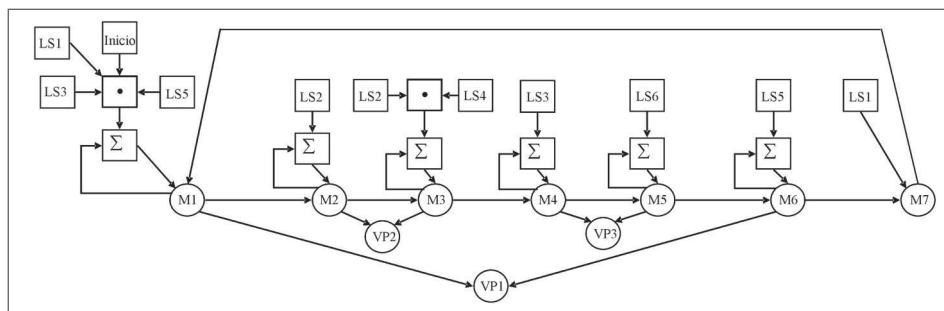


Fig. 11-12. Diagrama de memorias de estado para el ejemplo 11.4.1.

Se debe obtener una ecuación para cada memoria y una para cada función de salida, lo que da como resultado diez ecuaciones que representan el sistema secuencial automático.

$$M1 = [(LS1 LS3 LS5 INICIO) + M1] \overline{M7}$$

$$M2 = [LS2 + M2] M1$$

$$M3 = [LS2 LS4] + M3] M2$$

$$M4 = [LS3 + M4] M3$$

$$M5 = [LS6 + M5] M4$$

$$M6 = [LS5 + M6] M5$$

Las ecuaciones de las funciones de salida son obtenidas del mismo diagrama de memorias de estado. Las ecuaciones de las válvulas VP1, VP2 y VP3 representan el piloto eléctrico de la posición A. Las válvulas electrohidráulicas son de dos posiciones.

$$VP1 = M1 \overline{M6}$$

$$VP2 = M2 \overline{M3}$$

$$VP3 = M4 \overline{M5}$$

Las ecuaciones son representadas en un diagrama de conexiones eléctricas con el FluidSim y se obtiene la simulación con el mismo programa. El diagrama resultante se muestra en la Fig. 11-13. La función de inicio está a cargo de un botón empujar para activar llamado inicio.

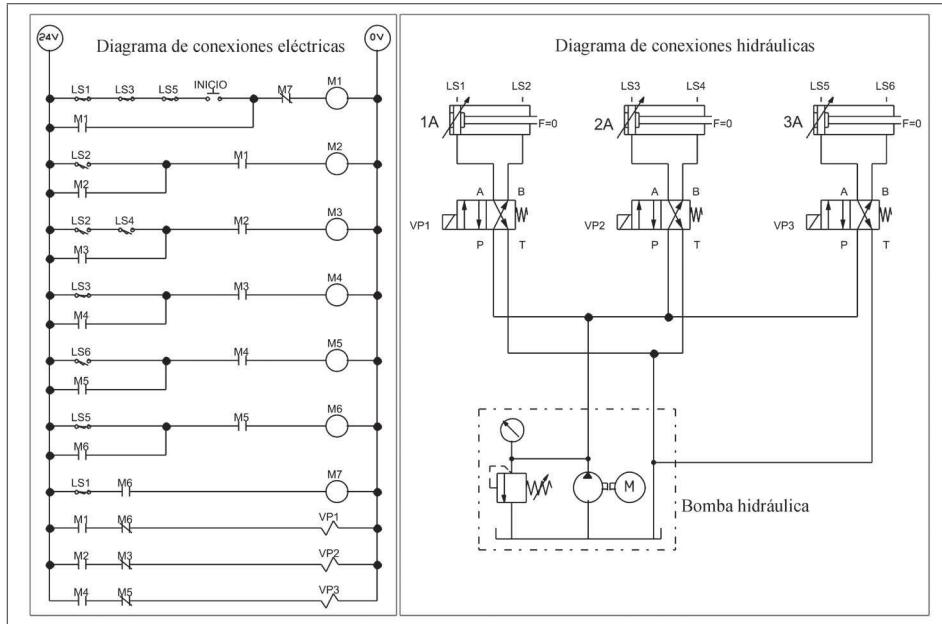


Fig. 11-13. Diagrama resultante de transferir las ecuaciones lógicas a un diagrama de conexiones eléctricas del ejemplo 11.4.1.

Ejemplo 11.4.2

Un sistema electrohidráulico es representado por un diagrama de funcionamiento. La sección del diagrama espacio-fase muestra la interconexión de dos cilindros hidráulicos, 1A y 2A.

La explicación del funcionamiento del sistema es la siguiente: al activar la función de entrada llamada inicio, se activa inmediatamente el cilindro 1A e inicia el desplazamiento hacia la salida, al llegar al fin de carrera se regresa inmediatamente. Cuando el cilindro 1A llega a su inicio de carrera, el cilindro 2A sale inmediatamente y al llegar a su fin de carrera se regresa de inmediato. Cuando el cilindro 2A llega a su inicio de carrera, una vez más el 1A sale rápidamente y al llegar a su fin de carrera se regresa inmediatamente y cuando llega al inicio de carrera nuevamente, el sistema estará llegando a su fin de ciclo.

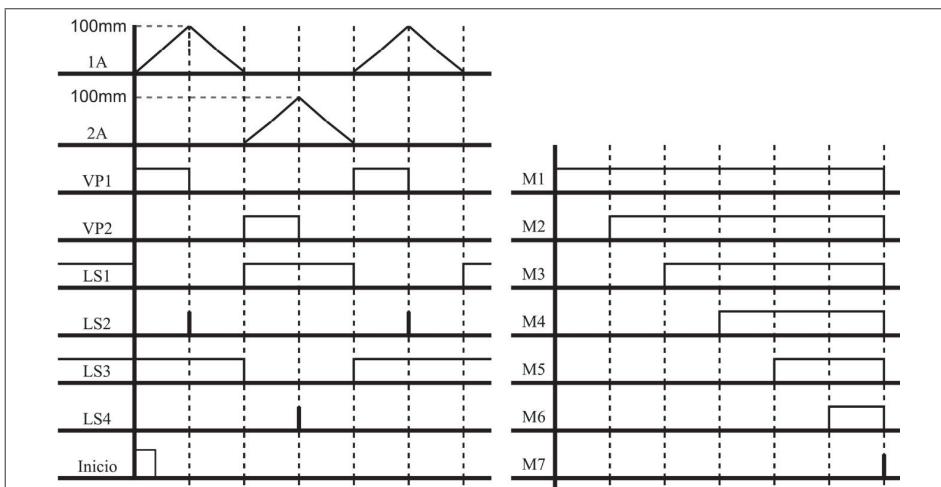


Fig. 11-14. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 11.4.2.

El sistema secuencial cuenta con seis estados, razón por la cual se deben generar siete memorias para resolver la secuencia automática. De acuerdo al diagrama de mando localizado en el diagrama de funcionamiento las válvulas son de dos posiciones y cuatro vías.

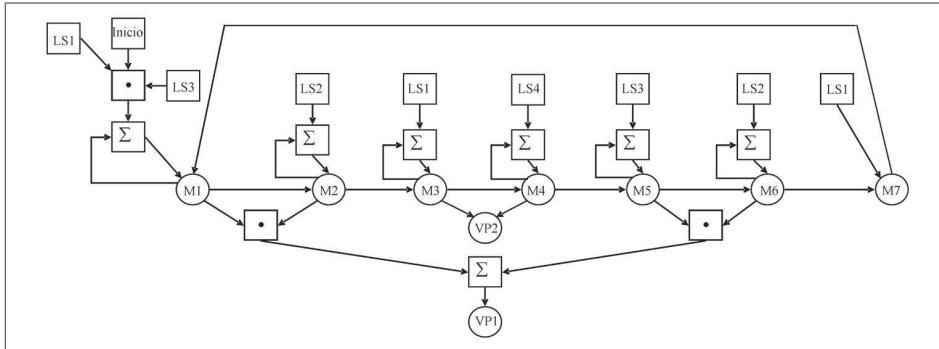


Fig. 11-15. El diagrama de memorias del ejemplo 11.4.2.

Entre las condiciones para activar las memorias se están considerando solo los sensores que se activan en cada estado, aunque se puede condicionar con todos los sensores en cada estado, aun aquellos que estén desactivados. Sin embargo esto puede ocasionar que el sistema pare por el desajuste de algún sensor. Pero si no se requiere que el sistema esté verificando todos los sensores en cada estado se pueden escoger solo aquellos que son importantes. Para disminuir el circuito de conexiones eléctricas se consideran solo los sensores que se activan en cada estado. Las ecuaciones que representan el sistema se obtienen del diagrama de memorias de estado mostrado en la Fig. 11-15.

$$M1 = [(LS1 \cdot LS3 \cdot INICIO) + M1] \overline{M7}$$

$$M2 = [LS2 + M2] M2$$

$$M3 = [LS1 + M3] M3$$

$$M4 = [LS4 + M4] M3$$

$$M5 = [LS3 + M5] M4$$

$$M6 = [LS2 + M6] M5$$

$$M7 = LS1 M6$$

$$VP1 = (M1 \overline{M2}) + (M5 \overline{M6})$$

$$VP2 = M3 \overline{M4}$$

Del diagrama de funcionamiento se ve que el cilindro 1A se activa dos veces en un ciclo de operación, esto da como resultado que la ecuación de la función de salida $VP1$ sea la suma de dos multiplicaciones.

El diagrama de conexiones eléctricas se obtiene al transferir las ecuaciones lógicas al FluidSim, el resultado se muestra en la Fig. 11-16.

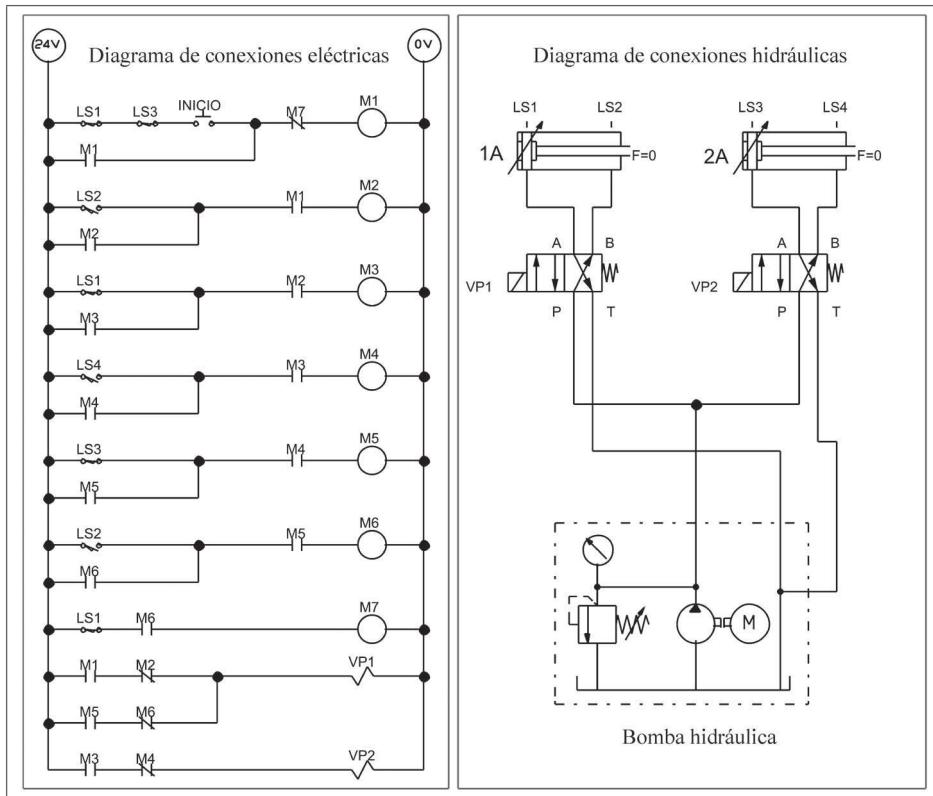


Fig. 11-16. Diagrama de conexiones eléctricas e hidráulicas para el ejemplo 11.4.2.

Ejemplo 11.4.3

Una prensa hidráulica realiza el trabajo de embutir un tubo metálico en una placa de acero; para eso se utilizan dos cilindros hidráulicos, uno es el alimentador de la pieza y el otro es el encargado de generar la fuerza para embutir el tubo dentro de la placa de acero. Para evitar tener piezas malas por daño en una aplicación excesiva de fuerza, el proceso se realiza en dos pasos: el primer paso consiste en avanzar hacia la mitad de la pieza y el segundo en aplicar toda la carrera del cilindro hidráulico para que quede terminado el proceso. El esquemático de la Fig. 11-17 muestra los cilindros.

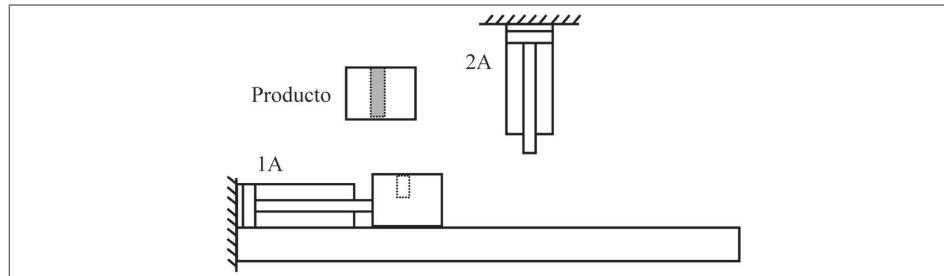


Fig. 11-17. Esquemático del ejemplo 11.4.3.

Se debe considerar una función de inicio que se encargue de poner en operación el sistema. La secuencia explicada es transferida a un diagrama de funcionamiento en el que se consideren todos los sensores requeridos en la solución del sistema secuencial. Este diagrama se muestra en la Fig. 11-18. Se considera que los dos cilindros tienen una distancia de 100 mm.

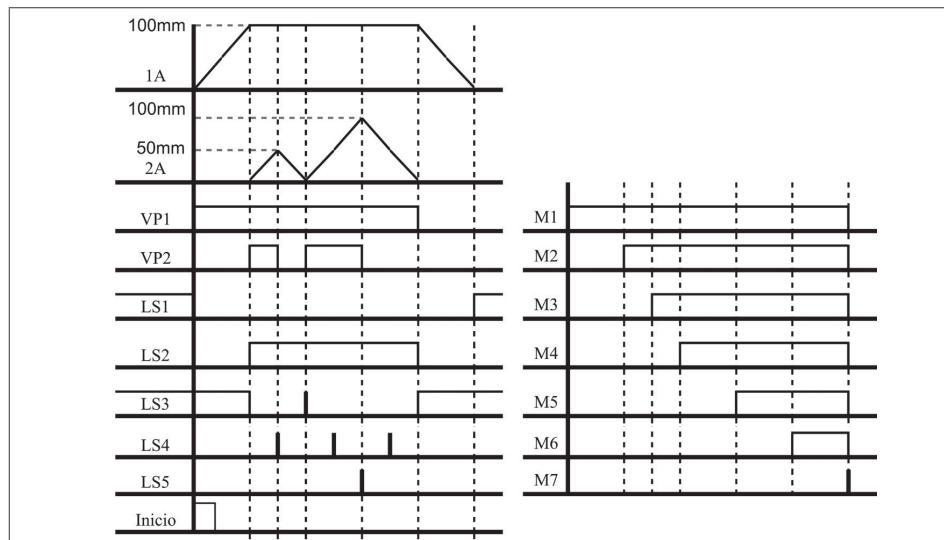


Fig. 11-18. Diagrama de funcionamiento con memorias incluidas.

El sistema secuencial se va a resolver aplicando el método de memorias de estado. Los estados que tiene el sistema son seis, por lo tanto se deben generar siete memorias. Del diagrama de funcionamiento se obtiene el diagrama de memoria de estado que se muestra en la Fig. 11-19.

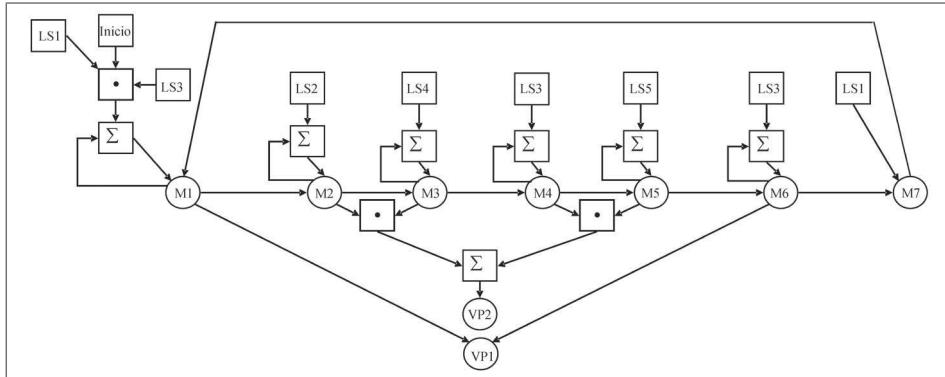


Fig. 11-19. Diagrama de memorias de estado que resuelve el sistema secuencial del ejemplo 11.4.3.

Ecuaciones del sistema

Las ecuaciones del sistema se obtienen del diagrama de memorias y solo se consideran como condición los sensores que se encienden en los estados, los que ya están encendidos o están apagados no son considerados como condición.

$$M1 = [(LS1 LS3 INICIO) + M1] \overline{M7}$$

$$M2 = [LS2 + M2] M1$$

$$M3 = [LS4 + M3] M2$$

$$M4 = [LS3 + M4] M3$$

$$M5 = [LS5 + M5] M4$$

$$M6 = [LS3 + M6] M5$$

$$M7 = LS1 M6$$

$$VP1 = M1 \overline{M6}$$

$$VP2 = (M2 \overline{M3}) + (M4 \overline{M5})$$

Las ecuaciones son transferidas a un diagrama de conexiones eléctricas, la simulación y el diagrama se obtienen con el apoyo del FluidSim, el resultado se muestra en el diagrama de conexiones eléctricas e hidráulicas de la Fig. 11-20.

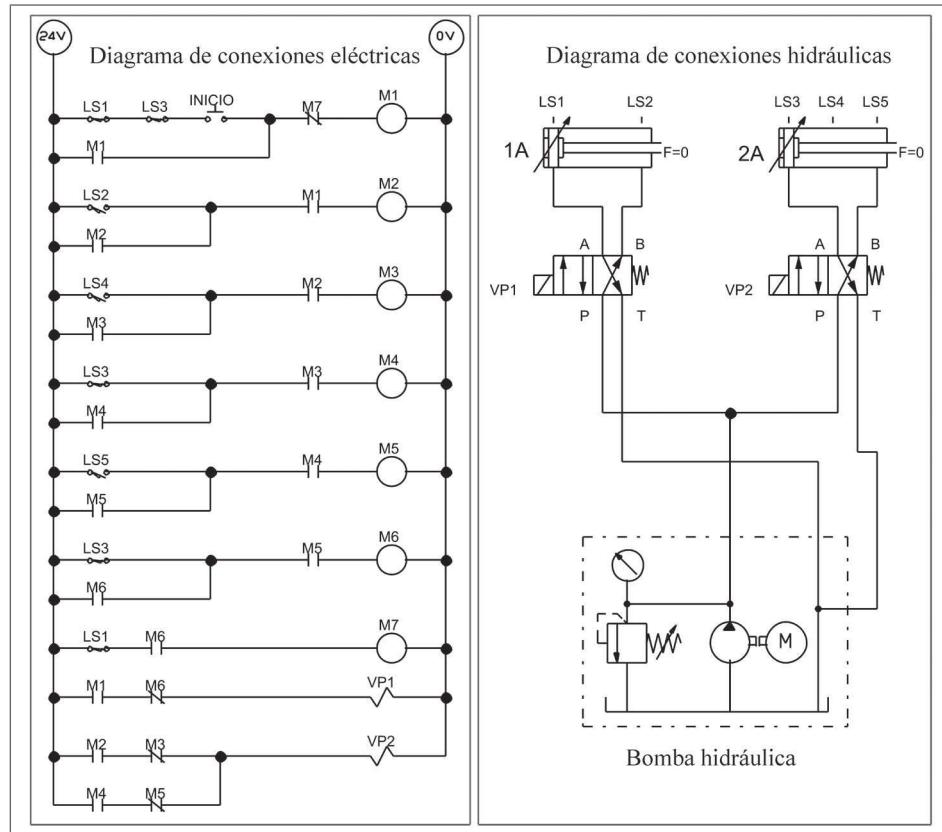


Fig. 11-20. Diagrama de conexiones eléctricas e hidráulicas del ejemplo 11.4.3.

11.5 M todo temporizadores en cascada aplicado a sistemas electrohidráulicos

Hasta el momento se han solucionado sistemas secuenciales sin la función tiempo dentro de la estructura secuencial. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones requiere que la función tiempo esté presente algunas veces como reposo de la bomba hidráulica; es decir, si se activa un cilindro inmediatamente después de que ha terminado de operar otro se pueden tener problemas de flujo, si es que la bomba está muy justa en la aplicación. Lo recomendable es aplicar retardos de tiempo entre

las activaciones de los cilindros para darle oportunidad a la bomba que se estabilice en la aplicación del flujo y presión al sistema. En otras aplicaciones, el retardo de tiempo es necesario para transferir fuerza hacia la aplicación que se esté realizando y también se utiliza en la coordinación de cilindros hidráulicos. Se recomienda que entre activations de cilindros se aplique un retardo de tiempo que no figure en el tiempo de ciclo ni mucho menos en la calidad de la pieza, pero que sí sea una separación entre las funciones o cilindros para evitar que pueda ocasionar daños irreversibles al sistema mecánico.

Cuando se tiene un equipo en semiautomático, es decir, operado por una persona, se debe contar con protección en las botoneras y se debe evitar que el sistema funcione si uno de los botones quedó cerrado, ya que esto evita que se pueda trabajar con una mano y que la otra esté disponible y de esta manera se pueda tener un incidente o accidente.

Las siguientes aplicaciones industriales se dejan como ejemplos de estudio.

Ejemplo 11.5.1

El esquemático de la Fig. 11-21 muestra una prensa que debe funcionar con todas las seguridades. En los botones se debe poner protección para las dos manos. El ciclo de operación es el siguiente:

- Al activar los dos botones con un retardo de tiempo máximo de 0.1 segundo se debe activar el cilindro 2A. Al llegar a su fin de carrera, después de un retardo de tiempo de 0.1 segundo, se debe activar el cilindro 1A que al llegar a su fin de carrera debe mantenerse extendido por un período de tiempo ajustado a través de una TD200. Al cumplirse el tiempo establecido se regresa el cilindro 1A y al llegar a su inicio de carrera deberá esperar 0.1 segundo para que regrese el cilindro 2A.

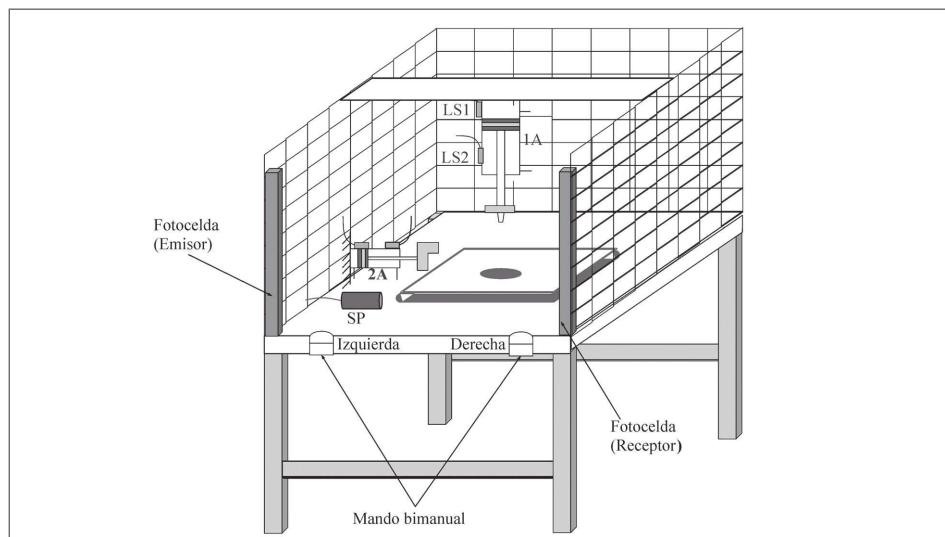


Fig. 11-21. Esquemático del problema 11.5.1.

Para este ejemplo considere el diagrama de tiempos de las funciones de las manos que se muestra en la Fig. 11-22.

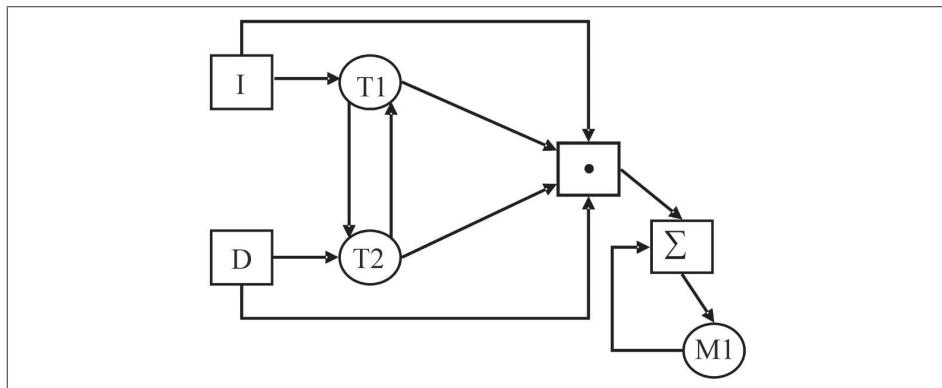


Fig. 11-22. Función de tiempo de protección a dos manos.

- Obtenga el diagrama de funcionamiento.
- El diagrama de memorias de estado y considere que los sensores ópticos del tipo barrera, al ser interrumpidos, apagan la bomba hidráulica.
- Las ecuaciones del sistema.
- Diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens y el programa para ajustar el tiempo de sostenimiento del cilindro 2A.

Ejemplos a partir del diagrama de funcionamiento

En cada uno de los diagramas de funcionamiento que se mostrarán a continuación se debe obtener el diagrama de funcionamiento con las memorias, el diagrama de tiempos y memorias de estado, las ecuaciones del sistema y la simulación con el FluidSim.

Ejemplo 11.5.2

Al diagrama que se muestra en la Fig. 11-23, además de lo que se está pidiendo, se le deben agregar dos mensajes a la secuencia del PLC Siemens, uno de bienvenida y el otro para ajustar el tiempo de sostenimiento del cilindro 2A.

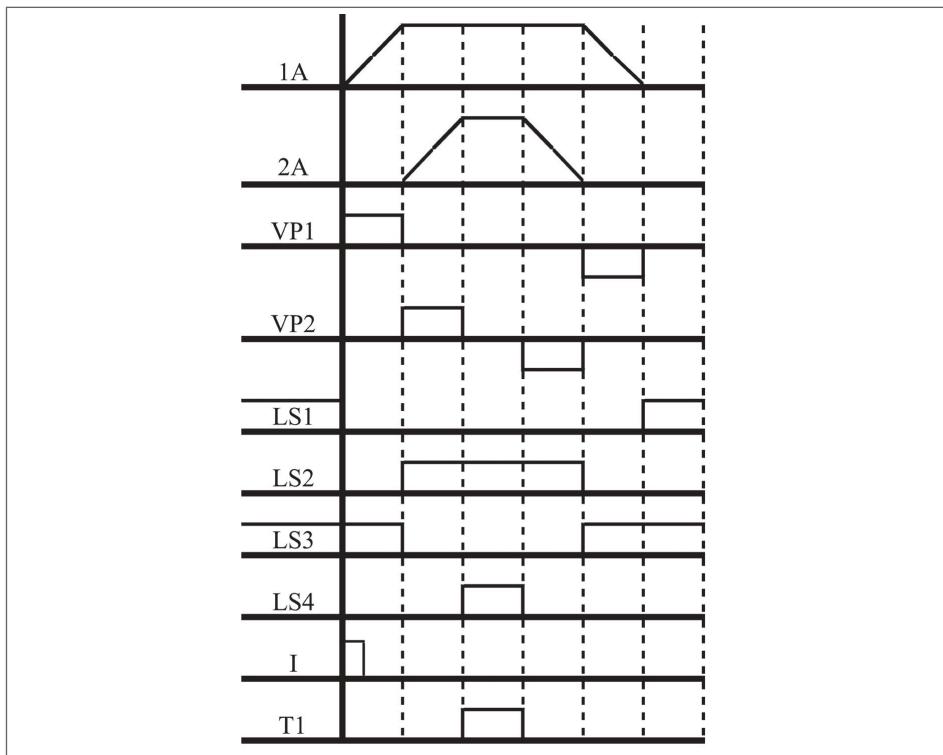


Fig. 11-23. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 11.5.2.

Ejemplo 11.5.3

En el diagrama de funcionamiento de la Fig. 11-24 se debe considerar que todos los tiempos son ajustados a través de la TD200 del PLC Siemens. También se debe realizar el diseño de la secuencia considerando que se puede operar en manual, semiautomático y automático.

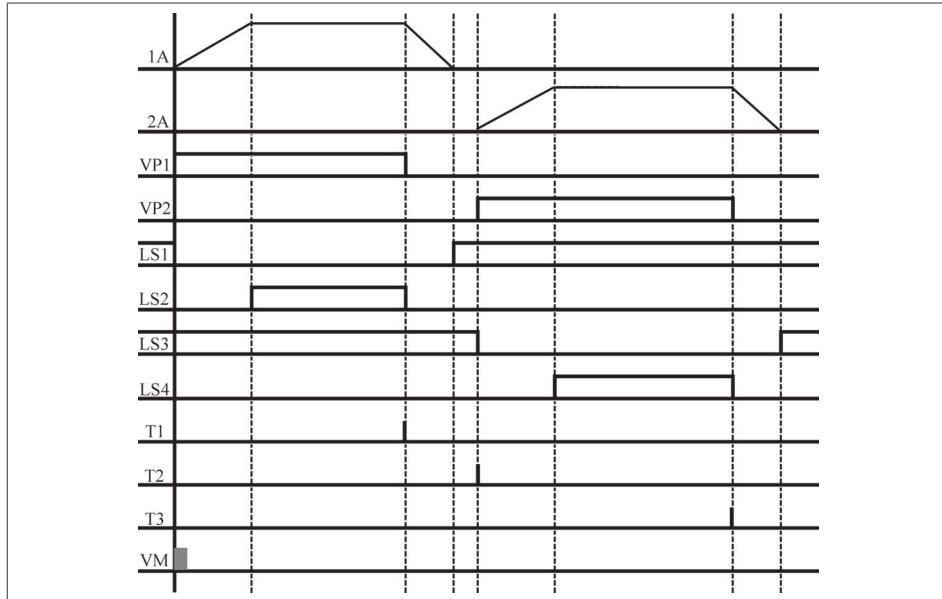


Fig. 11-24. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 11.5.3.

Ejemplo 11.5.4

El diagrama de la Fig. 11-25. muestra tres cilindros interconectados entre sí. Se supone que se tienen problemas de flujo con la bomba actual y se observa que sucede cuando el sistema realiza el cambio de funciones, entonces como medida de solución se aplican retardos en la fase de extensión de los cilindros, considere este retardo de 0.5 segundos para la interconexión entre 1A y 2A, y de 0.2 segundos para la interconexión de los cilindros 2A y 3A.

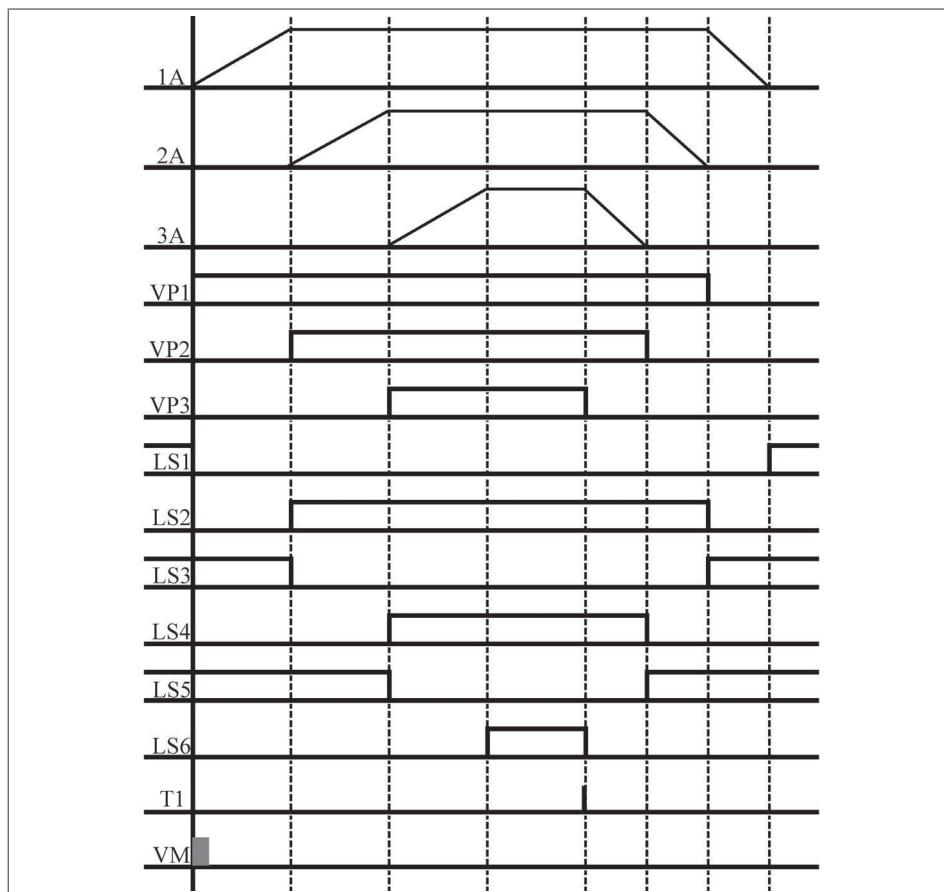


Fig. 11-25. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 11.5.4.

Ejemplo 11.5.5

En el diagrama de funcionamiento que se muestra en la Fig. 11-26 además de los puntos que se piden, se debe ajustar el valor preestablecido de T1 a través de una TD200 de Siemens y se debe desarrollar el diagrama de lógica de contactos para el PLC Siemens.

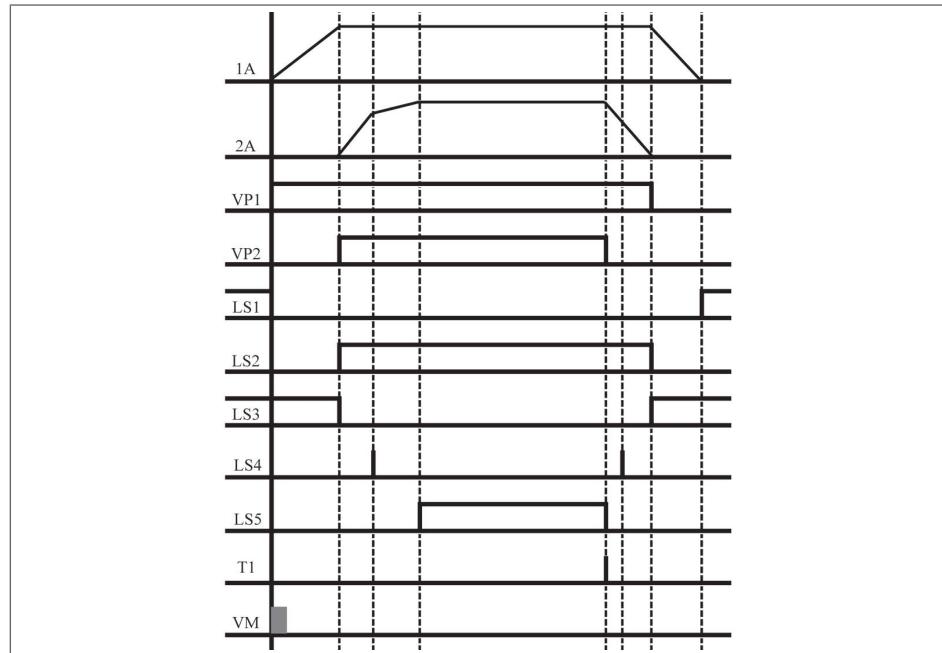


Fig. 11-26. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 11.5.5.

Ejemplo 11.5.6

El diagrama de funcionamiento de la figura 11.27 muestra la aplicación de un contador en sistemas electrohidráulicos. Se debe ajustar el valor preestablecido de C1 y de los dos temporizadores, T1 y T2, a través de la TD200 de Siemens. Dentro del diseño de la secuencia, considere que puede trabajar en manual, semiautomático y automático.

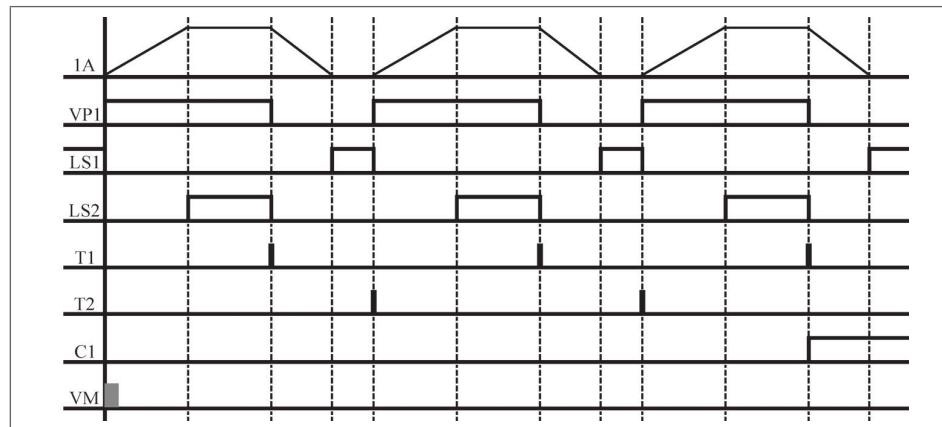


Fig. 11-27. Diagrama de funcionamiento del ejemplo 11.5.6.

CAP TULO 12

Introducción a los sistemas analógicos

12.1 Introducción

El presente capítulo trata de manera simple el uso de señales analógicas dentro de la automatización industrial así como la instrumentación necesaria para manejarlas. Los temas son tratados de manera introductoria.

Hasta este punto, se han utilizado señales discretas del tipo encendido - apagado. Las señales que entran en esta categoría sólo pueden tomar 2 estados, los cuales se pueden correlacionar con el 1 y 0 lógico, o el encendido y apagado respectivamente. En ocasiones, el uso de dos estados para representar alguna variable de proceso no es suficiente para desarrollar un sistema robusto, por ejemplo en sistemas de monitoreo o en el diseño de lazos de control. Por lo tanto, en estas ocasiones se requiere utilizar señales más complejas, las cuales pueden tomar una infinidad de estados en un determinado rango para representar mejor la dinámica de la variable de proceso, por ahora estas señales recibirán el nombre de *señales analógicas*, en la sección 1 de este capítulo se explicará en detalle este punto.

El capítulo está estructurado de la siguiente manera: en la primera sección se clasificarán las señales haciendo hincapié en las diferencias entre las señales analógicas y discretas. Después se mostrarán los esquemas de procesamiento de señales de manera analógica y digital, dentro de esta sección se hará énfasis en las etapas de conversión digital-analógica y analógica-digital. Luego se presentará una breve descripción de la gama de módulos analógicos que ofrece la familia S7-200 de Siemens y se realizarán diferentes ejemplos, los cuales muestran cómo manipular entradas y salidas analógicas. Se recomienda que el lector que tenga conocimientos previos en el tema inicie desde este punto. Finalmente se mostrará cómo realizar control en lazo cerrado utilizando las funciones PID que ofrece la familia S7-200.

Se revisará el proceso necesario para crear la instrucción PID a partir del asistente y se verá cómo utilizar el asistente de sintonización para elegir las ganancias del controlador.

12.2 Clasificación de señales

Antes de clasificar las señales, debemos definir claramente lo que es una señal: *Una señal es una cantidad (no necesariamente física), la cual cambia con respecto al tiempo o alguna otra variable.*

Aunque la definición es muy amplia, en este texto sólo se consideran señales físicas (voltajes, corrientes, presiones, temperaturas, densidades, distancias, etc.) que evolucionan con respecto al tiempo. La razón de esta discriminación es que dentro de la automatización es difícil encontrar una señal que no tenga estas características. Normalmente la notación que se usa es $s(t)$, lo cual indica que la señal s depende de la variable t que denota el tiempo.

Las señales se pueden clasificar de muchas formas, a continuación se mencionan algunas de las más comunes.

12.2.1 De acuerdo a la naturaleza de la variable

Una de las formas más comunes de clasificar las señales es de acuerdo a su naturaleza. Aquí las señales se clasifican de acuerdo a la variable que representan, por ejemplo, tenemos señales de voltaje, señales de corriente, señales de presión, etc. Note que debido a la naturaleza electrónica de la mayoría de los dispositivos usados dentro de la automatización industrial, comúnmente se trabaja con señales eléctricas, ya sean estas de voltaje o de corriente, los estándares más utilizados en dichas señales son las de corriente de 4-20mA y las de voltaje de 0-10 VCD y 1-5 VCD.

Cuando es necesario trabajar con una señal que no es de naturaleza eléctrica, es común usar algún tipo de transductor que se encarga de convertir la señal original en una eléctrica proporcional a ésta para que así el dispositivo electrónico pueda utilizarla. El transductor es una especie de “convertidor”, ya que convierte la señal de origen de una naturaleza en una señal de salida proporcional, en una naturaleza distinta.

Además la naturaleza de una señal nos puede indicar ciertas características de la señal. Por ejemplo, una señal óptica posee un ancho de banda superior al de una señal eléctrica; es decir, la primera puede llegar a ser más rápida. Por tal motivo las señales ópticas (por ejemplo las aplicaciones de fibra óptica) se usan en

aplicaciones de gran ancho de banda en las cuales se manejan una gran cantidad de información.

En la práctica, el lazo de corriente es más popular que el lazo de voltaje debido a que los lazos de corriente no son susceptibles a las caídas de voltaje (la impedancia en serie del conductor que transporta la señal produce una caída de voltaje pero no afecta la corriente), por tal razón se pueden emplear en distancias más largas.

12.2.2 Señales estocásticas y señales deterministas

Las señales deterministas pueden ser expresadas exactamente por una fórmula matemática, algunos ejemplos son:

$$x(t) = \cos(2\pi t) \quad x(t) = 8 + 3t \quad x(y, x) = x^2 + y^2$$

En contraparte, las señales estocásticas o aleatorias no pueden ser representadas por fórmulas matemáticas debido a su complejidad. Las señales estocásticas se representan por elementos probabilísticos. Existen varias distribuciones probabilísticas usadas comúnmente para representar señales de este tipo, a pesar de esto, la que más se usa es la distribución normal, la cual se define con los elementos estadísticos “media y la varianza”. Un ejemplo común de una señal estocástica es el ruido, el cual debido a su comportamiento errático se representa por elementos probabilísticos en lugar de una fórmula matemática.

12.2.3 Señales digitales y señales analógicas

Hasta este punto, se ha usado el término de señal discreta para referirse a señales que toman dos estados, ejemplos claros de estas señales son las provenientes de switches o de elementos encendido-apagado. A su vez, al inicio de este capítulo se menciona que una señal analógica puede tomar una infinidad de estados en un determinado rango. Por lo tanto el propósito de esta sección es clarificar dichos conceptos.

Otra manera de clasificar las señales es de acuerdo a su continuidad en tiempo y/o magnitud. El resultado de esta clasificación nos lleva a las definiciones de una señal analógica y una señal digital.

A continuación se muestran las definiciones de continuidad en el tiempo y continuidad en magnitud. Posteriormente, en base a éstas se definirá qué es una señal analógica y qué una digital.

Clasificación de las señales de acuerdo a su naturaleza temporal

Señales en tiempo continuo: Se dice que una señal está en tiempo continuo si es que existe para todo tiempo dentro de un intervalo de tiempo dado.

Note que para este caso es posible conocer el valor de la señal para cualquier instante de tiempo dado, esto es para cualquier instante t , se conoce el valor de $x(t)$.

Señales en tiempo discreto: Una señal en tiempo discreto es aquella que sólo existe en ciertos instantes de tiempo dentro de un intervalo de tiempo dado.

Note que a diferencia del caso continuo, en el caso discreto no es posible conocer el valor de la señal $x(t)$ para cualquier valor arbitrario de la variable temporal t , solamente se conoce el valor de la señal en ciertos instantes de tiempo, a estos valores se los conoce como muestras. Se dice que las señales en tiempo discreto están constituidas por muestras, normalmente la distancia temporal entre las muestras está equiespaciada. Si este es el caso, dicha distancia temporal recibe el nombre de *periodo de muestreo T_m* , el inverso del *periodo de muestreo* es conocido como *frecuencia de muestreo F_m* indica la frecuencia con la que se toman las muestras.

El proceso necesario para convertir una señal de tiempo continuo a discreto es llamado *muestreo* y consiste en tomar *muestras* de la señal de tiempo continuo con cierta frecuencia de muestreo F_m . Es común representar la operación de muestreo por un switch que comuta cada Tm segundos. En la Fig. 12-1 (a)-(b) se muestra una señal en tiempo continuo y (c)-(d) una señal en tiempo discreto.

Clasificación de las señales de acuerdo a su naturaleza en magnitud

Señales continuas: Se dice que una señal es continua (en magnitud) si es que puede tomar cualquier valor de amplitud en un intervalo dado.

A este intervalo se le llama rango. Note que debido a que no existen restricciones sobre la amplitud de la señal, ésta puede tomar cualquier valor para el caso de señales continuas (en magnitud).

Señales discretas: Se dice que una señal es discreta (en magnitud) si su magnitud sólo puede tomar un conjunto finito de valores en cierto rango.

Es decir, la magnitud de la señal no puede tomar cualquier valor, solo ciertos valores en específico, los cuales para el caso de las señales digitales están relacionados con el número de bits usados en la etapa de cuantificación y codificación. La cuantificación es el proceso para obtener señales discretas a partir de señales continuas, mientras que la codificación consiste en asignar un código (usualmente una representación binaria) a cada valor discreto. Los procesos de cuantificación y codificación son descritos en 12.5.3, mientras que el proceso de muestreo es descrito en 12.5.2. En la Fig. 12-1 (a)-(c) se muestra una señal continua y (b)-(d) una señal discreta. Note que la diferencia es la amplitud de la señal, la cual en el caso de la señal continua puede tomar cualquier valor, mientras que para el caso de la señal discreta solamente puede tomar cuatro valores permitidos. Los valores permitidos se representan por 00, 01, 10 y 11 debido a que se usan dos bits para codificar la señal. En general la cantidad de valores permitidos depende del número de bits y está dada por 2^n , donde n representa en número de bits usados en la codificación. Finalmente se presentan las definiciones de una señal analógica y una señal digital. La primera

son señales continuas en tiempo continuo (Fig. 12-1 (a)) y la segunda son señales discretas en tiempo discreto (Fig. 12-1 (d)).

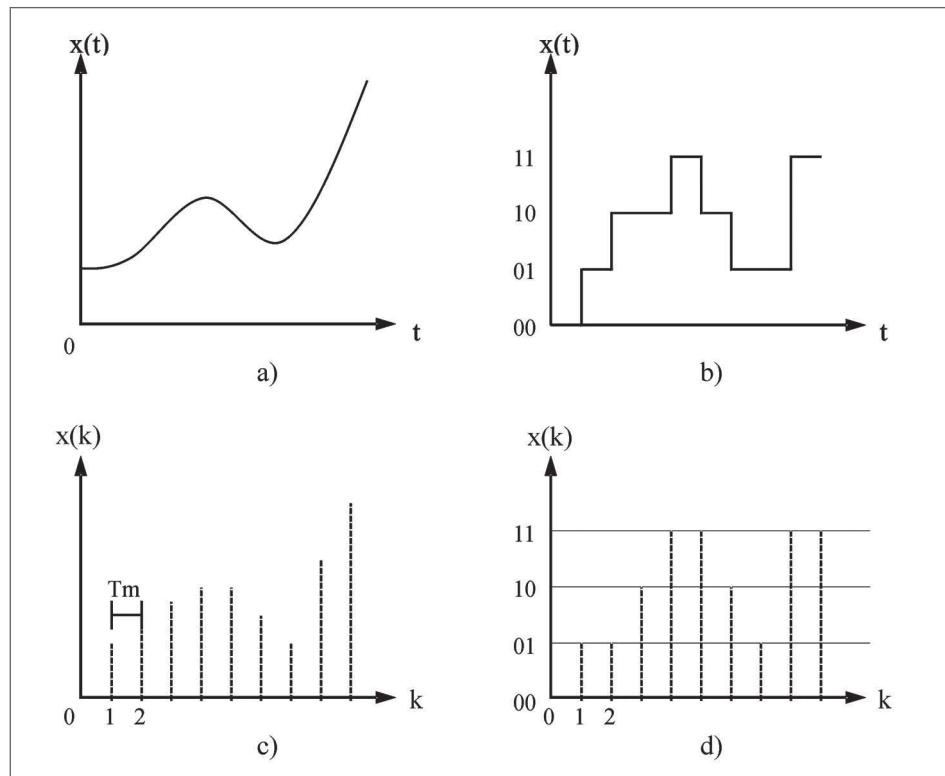


Fig. 12-1. (a) señal continua en tiempo continuo (analógica), (b) señal discreta en tiempo continuo, (c) señal continua en tiempo discreto y (d) señal discreta en tiempo discreto (digital).

12.3 Atributos de una señal analógica

Para describir una señal, además de clasificarla, hay que darle ciertos atributos o propiedades, las cuales nos indican su comportamiento. En este punto se tratarán algunas de estas propiedades.

Rango. Es un intervalo acotado de valores que puede tomar la amplitud de la señal, se especifica por el valor máximo y mínimo que toma la señal. Algunos rangos

estándares en instrumentos son: 4-20mA, 1-5 V, 3-15 PSI. Nótese que todos los rangos mencionados presentan una relación de 1 a 5 y no un cero vivo; es decir, el valor mínimo de escala no comienza en 0 (mA, V o PSI), lo cual hace posible distinguir entre una falla y el valor de escala mínima.

Ejemplo:

Un instrumento medidor de temperatura mide la temperatura de 0-100 °C en su entrada, la salida del instrumento se conecta a un transmisor que produce una salida proporcional a ésta de 4-20mA. En este caso el rango de la señal de entrada es 0-100 °C, mientras que el rango de la señal de salida es 4-20mA. Ambos rangos se muestran en la Fig. 12-2.

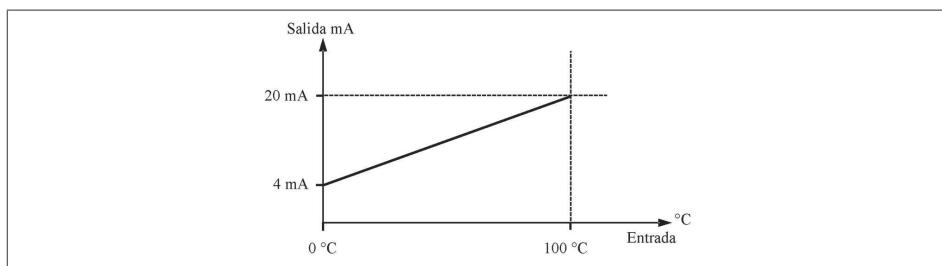


Fig. 12-2. Plano entrada/salida, mostrando el rango de entrada y el rango de salida, así como la relación que existe entre ambas variables mediante una línea, nótense que para este caso la relación entrada/salida es lineal.

Resolución. La resolución se relaciona con el incremento mínimo que puede presentar la señal. En el caso de señales digitales la resolución depende de la distancia entre los valores discretos que toma la señal y del rango que tiene ésta. Una gran resolución indica que la distancia entre estos valores es pequeña.

La resolución adecuada para cuantificar una señal depende de la aplicación y de la cantidad de recursos disponibles por parte del sistema. Es decir, tal vez para la medición de la temperatura en una habitación la diferencia de +/- 1 °C es aceptable pero esa misma resolución puede ser ineficiente para medir la temperatura en algún proceso donde el factor temperatura es crucial.

La resolución se puede indicar de diversas formas, algunas de las más comunes son:

- Variable medida
- Porcentaje del rango

Las señales del tipo encendido - apagado son las que poseen la menor resolución posible. En cambio, la máxima resolución de una señal se da cuando la señal es analógica debido a que su magnitud es continua.

En ocasiones también se refiere a la resolución como la cantidad de bits usada para representar una muestra de la señal, por ejemplo en el PLC S7-200 de Siemens generalmente se indica una resolución de 12 bits, con lo cual se da a entender que se ocupan 12 bits para representar el valor de las muestras de las señales analógicas, entonces la señal digital resultante puede tomar 2^{12} valores posibles dentro del ran-

go (sean éstas de voltaje o de corriente) de los cuales el valor mínimo 0000000000 representa la cota inferior del rango y el valor máximo 111111111111 representa la cota superior del rango. Nótese que en este caso la resolución se expresa en términos del número de bits usado para representar la señal.

Offset (Corrimiento de CD). En una señal, el offset indica la cantidad de DC que contiene la señal. En la Fig. 12-3 se muestra una señal senoidal con offset y sin offset. Nótese que el offset indica un corrimiento por un componente de directa y que la señal con offset puede ser reconstruida al sumar la señal sin offset más una constante.

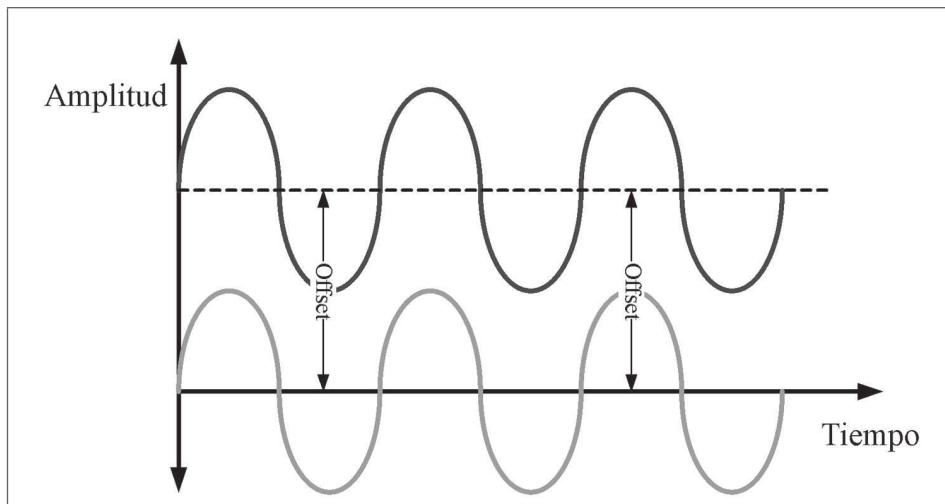


Fig. 12-3. Offset presente en una entrada sinusoidal.

El offset se puede calcular por integración:

$$S(0) = \int_{t=-\infty}^{\infty} s(t)dt$$

El intervalo en el que se calcula la integral debe abarcar toda la señal. Ahora, si la señal es periódica de duración infinita (onda cuadrada diente de sierra senoidales, etc.) entonces basta con calcular el offset sobre un solo período $[-T_p/2, T_p/2]$.

$$S(0) = \frac{1}{T_p} \int_{t=T_p/2}^{T_p/2} s(t)dt$$

Nótese que en ambos casos el offset representa una especie de promedio de la señal.

12.4 Sistemas

Es importante recalcar que las señales son generadas y procesadas por sistemas. Visto de otra manera, sin los sistemas no habría manera de procesar o generar las señales. En nuestro caso el controlador lógico usado representa un sistema discreto que se encarga de generar, modificar, almacenar y monitorear sus señales de entradas y salidas.

Definición: *Un sistema es un conjunto de elementos que interactúan entre sí con algún fin.*

En la mayoría de los casos los sistemas son excitados por señales de entrada o estímulos y producen señales de salida como respuesta a éstas, un diagrama muy básico que explica este concepto es el diagrama de caja negra que se muestra en la Fig. 12-4.

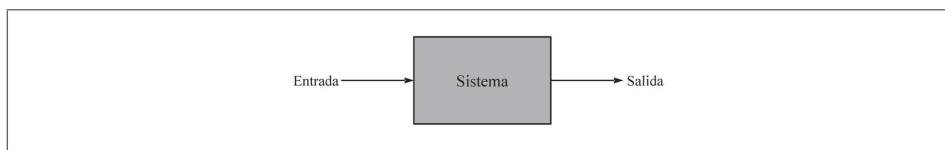


Fig. 12-4. Concepto de sistema como caja negra.

El concepto de sistema es muy amplio, un sistema puede ser un instrumento de medición, una máquina o un proceso industrial completo, dependiendo del punto de vista. Además, al igual que las señales, los sistemas también se pueden clasificar, la clasificación de sistemas se puede realizar de muchas formas posibles, algunas de las más comunes son:

- **De acuerdo a la variable de proceso.** Los sistemas se clasifican de acuerdo a la naturaleza del proceso, algunos ejemplos son: sistemas eléctricos, sistemas mecánicos, sistemas neumáticos, sistemas hidráulicos; incluso combinaciones como el caso del motor que es un sistema electro-mecánico.
- **De acuerdo al tipo de señales que manejan.** Los sistemas se pueden clasificar en función al tipo de señales que manejan:
 - Sistemas continuos-Trabajan con señales en tiempo continuo (analógicas).
 - Sistemas discretos-Trabajan con señales en tiempo discreto (digitales).
- **De acuerdo al número de entradas y número de salidas**
 - Sistemas SISO (Single Input Single Output, Una entrada una salida).
 - Sistema MISO (Multiple Input Single Output, Varias entradas una salida).

- Sistemas SIMO (Single Input Multiple Output, Una entrada varias salidas).
- Sistemas MIMO (Multiple Input Multiple Output, Varias entradas, varias salidas).
- **Sistemas variantes en el tiempo y sistemas invariantes en el tiempo**
- **Sistemas invariantes en el tiempo** - La respuesta del sistema no depende del instante en el que se aplica la señal de entrada.
- **Sistemas variantes en el tiempo** - La respuesta del sistema depende del instante de tiempo en el que se aplica la señal de entrada. Por ejemplo, un sistema mecánico en el cual los parámetros del sistema cambian debido al envejecimiento de los componentes.
- **Sistemas lineales y sistemas no lineales**
 - Sistemas lineales - cumplen con el principio de superposición*.
 - Sistemas no lineales - no cumplen con el principio de superposición*.
- **Sistemas causales y no causales**
 - Sistemas causales La salida actual del sistema sólo depende de la entrada actual y entradas pasadas.
 - Sistemas no causales.- La salida actual del sistema puede depender de entradas futuras.

La razón de estas clasificaciones es que cada una de estas clases de sistemas se ataca con herramientas particularmente diferentes.

***Nota:** El principio de superposición se cumple si se cumplen los principios de aditividad y homogeneidad. A continuación mencionaremos cada uno de ellos de una manera sencilla.

Principio de aditividad: Si a un sistema se introducen las entradas $e_1(t)$ y $e_2(t)$ separadamente, se obtienen las salidas $s_1(t)$ y $s_2(t)$. Entonces al introducir la suma de las entradas $s_1(t)+s_2(t)$ se debe obtener la suma de las salidas $s_1(t)$ y $s_2(t)$ en la salida.

Principio de homogeneidad: Si al introducir la entrada $e_1(t)$ se obtiene la salida $s_1(t)$, entonces al introducir la entrada escalada $ce_1(t)$, donde c es el factor de escalamiento, la salida del sistema debe ser la salida provocada por la entrada $e_1(t)$ escalada por c , i.e. $cs_1(t)$.

En resumen, las señales son procesadas por sistemas y existen dos esquemas para procesar una señal, uno es el *procesamiento digital de señales* y el otro es el *procesamiento analógico de señales*. La diferencia básica entre el procesamiento digital y el analógico es que en el primero se usa un sistema discreto para procesar la señal, mientras que en el segundo se usa un sistema continuo. Debido a que la mayoría de las señales que se pueden encontrar en la naturaleza son continuas, es necesario añadir convertidores en la etapa de procesamiento digital. En la siguiente sección se abordan los temas del procesamiento analógico y digital de señales.

12.5 Procesamiento analógico de una señal analógica

Antes de la invasión del mundo digital, el procesamiento de señales analógicas se hacía de manera analógica (mediante un sistema continuo). Los instrumentos analógicos utilizan elementos analógicos para procesar la señal, uno de los elementos más comunes es el amplificador operacional que normalmente se llama *Op amp* (Operational amplifier). Dicho amplificador se verá en detalle en siguientes secciones debido a que también se utiliza frecuentemente en las etapas de conversión analógica digital y digital analógica del procesamiento digital de señales. El procesado analógico de señales se utiliza todavía, sobre todo en señales con gran ancho de banda (que cambian bruscamente en el tiempo), debido a que los sistemas digitales requieren frecuencias de muestreo muy altas para trabajar con ellas.

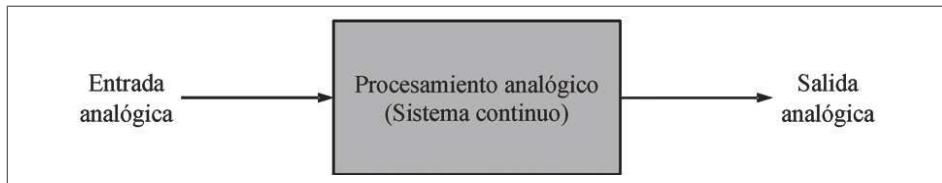


Fig. 12-5. Esquema de procesamiento analógico de una señal.

12.5.1 El amplificador operacional

El amplificador operacional Op amp es un amplificador analógico (sistema continuo) que cuenta con muchas etapas, gracias a esto el amplificador operacional cuenta con una ganancia elevada. El Op amp es muy versátil ya que puede tener muchos usos, algunos de ellos son: comparador, limitador, generador de señales, schmitt trigger, inversor, sumador, derivador, integrador, además de usarse en el diseño de filtros y controladores continuos. La Fig. 12-6 muestra la representación usada comúnmente del Op amp en diagramas eléctricos. El Op amp cuenta con dos terminales de polarización (requiere una alimentación dual de +/- Vs); dos entradas, entrada inversora (-) y no inversora (+), y una salida (Vout).

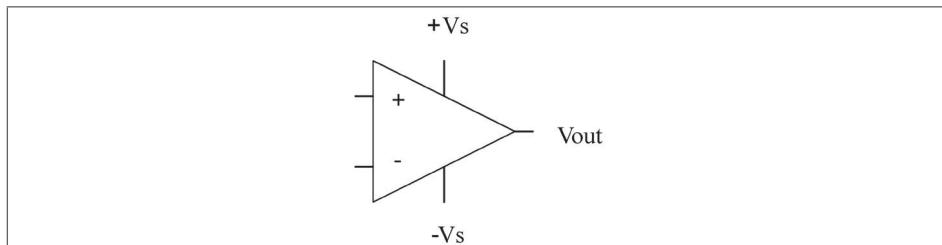


Fig. 12-6. Representación de un Op amp, donde Vout es el voltaje de salida, +/- Vs el voltaje de suministro y las terminales (+) y (-) las entradas no inversora e inversora.

El amplificador operacional recibe su peculiar nombre debido a que fue usado en las primeras computadoras analógicas para realizar operaciones matemáticas entre señales analógicas, el tipo de operación dependía de la configuración del Op amp por lo que una nueva operación requería que el amplificador operacional se recableara, lo cual resultaba sumamente tedioso y complicado si se compara con lo que sucede hoy en día: la unidad aritmética y lógica (ALU) de un microprocesador. Como es de esperarse, con el surgimiento de la era digital en la década de los 70 las computadoras analógicas se volvieron obsoletas, pero el Op amp no corrió con la misma suerte ya que debido a sus peculiares características es un dispositivo muy usado en la actualidad.

Las características ideales de estos amplificadores son:

- Alta ganancia en lazo abierto.
- Impedancia infinita en las entradas inversora y no inversora.
- Impedancia de salida nula.
- Ancho de banda infinito.

A continuación se ven dos configuraciones básicas del Op amp, una es el lazo abierto y la otra el lazo cerrado, la principal diferencia entre ellas es la existencia del lazo de retroalimentación, mediante el cual se puede ajustar la ganancia del amplificador.

12.5.2 Op amp en lazo abierto

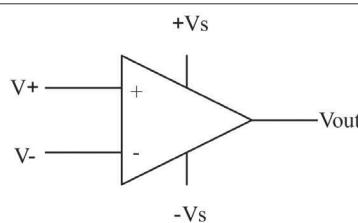


Fig. 12-7. Op amp en lazo abierto.

En esta configuración que se muestra en la Fig. 12-7 la diferencia de voltaje entre la entrada inversora y la no inversora es amplificada por la ganancia del amplificador, idealmente la ecuación de salida del amplificador es:

$$V_{out}(t) = K(V^+(t) - V^-(t))$$

Pero debido a la alta ganancia $K \gg 1$ y a que el amplificador se satura (no entrega más voltaje que el de polarización en su salida), una pequeña diferencia de voltaje entre las entradas inversora y no inversora provoca la saturación del amplificador, por lo cual el comportamiento del amplificador operacional en lazo abierto es:

$$V_{out}(t) = \begin{cases} +V_s(t) & V^+(t) > V^-(t) \\ -V_s(t) & V^+(t) < V^-(t) \end{cases}$$

Nótese que en lazo abierto el Op amp funciona como un comparador de dos señales analógicas. Cuando el voltaje en la terminal no inversora es superior al de la terminal inversora la salida del amplificador es el voltaje de suministro positivo $+V_s$. En el caso contrario, cuando el voltaje en la entrada inversora es superior al de la entrada no inversora la salida del amplificador es el voltaje de suministro $-V_s$ (Véase Fig. 12-8).

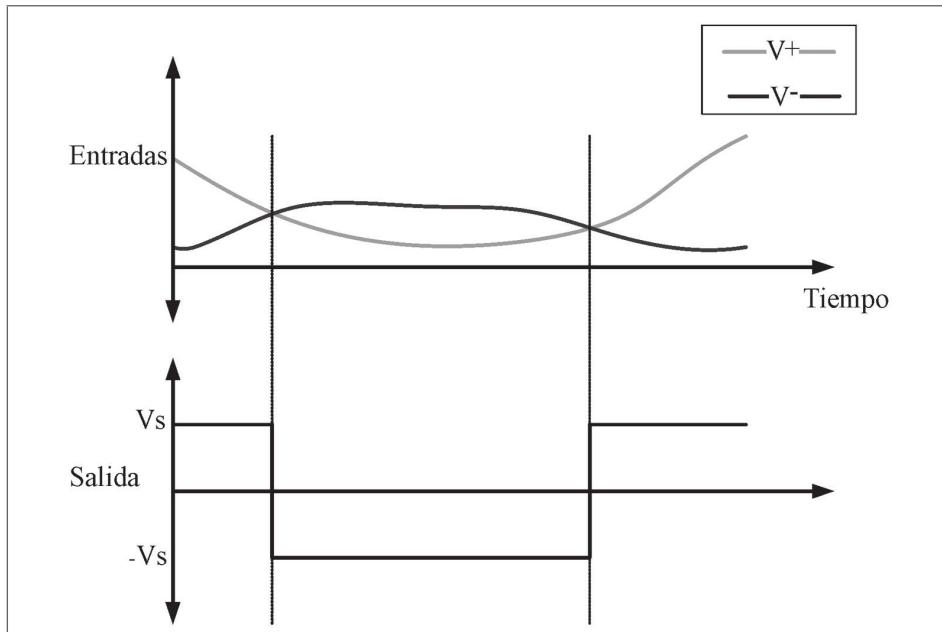


Fig. 12-8. Funcionamiento de un Op amp en lazo abierto usado como comparador.

12.5.3 Op amp en lazo cerrado

En esta configuración se añaden redes de retroalimentación. La retroalimentación va de la salida del amplificador a alguna de las entradas. Mediante esta configuración las características del circuito elaborado con Op amp dependen totalmente de los componentes (resistencias, capacitores, etc.) conectados al amplificador y no del amplificador en sí mismo.

A continuación se muestran algunas configuraciones comúnmente usadas en Op amp en lazo cerrado. Para analizar estos circuitos se aplican las siguientes dos aproximaciones.

- Debido a la alta impedancia de la entrada se considera que las corrientes de la entrada inversora y no inversora son nulas.

$$i^+ = i^- = 0$$

- Se considera que los voltajes en las terminales inversora y no inversora son iguales. Lo cual se conoce como cortocircuito virtual.

$$V^+ = V^-$$

A continuación se ven algunos esquemas básicos de Op amp en lazo cerrado.

Amplificador inversor

Como su nombre lo indica, el amplificador inversor es usado como amplificador o atenuador de señales y tiene la peculiaridad de desfasar 180° la señal, ya que la salida del amplificador es proporcional al inverso de su entrada. La configuración del amplificador inversor se muestra en la Fig. 12-9.

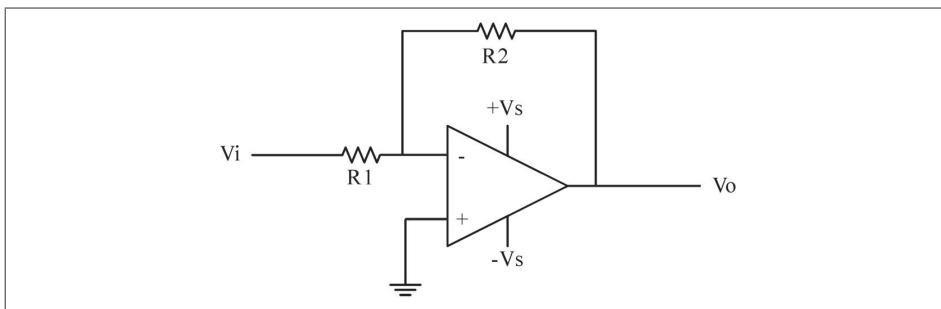


Fig. 12-9. Amplificador inversor

Nótese que la resistencia R2 sirve como retroalimentación entre la salida del amplificador y su entrada no inversora. Para analizar el circuito se aplica la ley de corrientes de Kirchhoff. Si se aplica una sumatoria de corrientes en el nodo de la terminal inversora se tiene que:

$$\frac{V_i - V^-}{R_1} + \frac{V_o - V^-}{R_2} + i^- = 0 \quad (2)$$

Donde debido a las características ideales del Op amp $V^+ = V^-$ y debido a que V^- está aterrizado se tiene que $V^+ = V^-$. Además, debido a la impedancia infinita del amplificador se tiene que la corriente de la entrada $i^- = 0$. Entonces (2) se simplifica a:

$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} = 0 \quad (3)$$

Al resolver (3) para V_o se obtiene la ecuación de salida del amplificador:

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$

Se observa que su ganancia es negativa (por esta razón recibe el nombre de amplificador inversor) y depende de la relación existente entre las resistencias R_2 y R_1 .

A continuación se muestran otras configuraciones de Op amp muy utilizadas para realizar distintas operaciones matemáticas con la(s) señal(es) de entrada. Para calcular la ecuación de salida en cada caso solamente es necesario recurrir a las propiedades ideales del Op amp al igual que en el ejemplo anterior.

Amplificador no inversor

Uso: Como amplificador, la principal ventaja con respecto al inversor es la ganancia positiva. A diferencia del amplificador inversor, éste no puede usarse como atenuador debido a que la ganancia siempre es superior a la unidad.

Configuración:

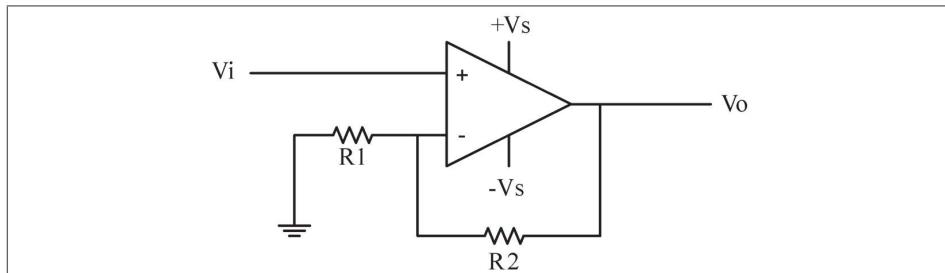


Fig. 12-10. Amplificador no inversor.

Ecuación de salida:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_i$$

Buffer o Seguidor

Uso: La función principal de este circuito es aislar la salida de la entrada del amplificador, es una especie de aislante que protege el equipo localizado en las etapas anterior y posterior al amplificador. Por ejemplo, si los componentes electrónicos de un equipo son de alto costo, es posible colocar a la salida del equipo un Op amp en esta configuración. Por lo tanto si una falla (cortocircuito, sobrecarga, etc.) ocurre, el Op amp resultará dañado en lugar de la electrónica anterior a él, ya que actúa como un aislante.

Configuración:

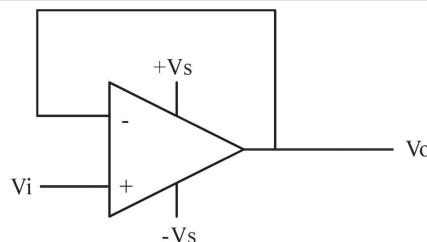


Fig. 12-11. Buffer o seguidor.

Ecuación de salida:

$$V_o(t) = V_i(t)$$

Sumador

Uso: Variación al amplificador inversor usada comúnmente para sumar señales, una aplicación común de estos amplificadores es en los convertidores análogicos R-2R.

Configuración:

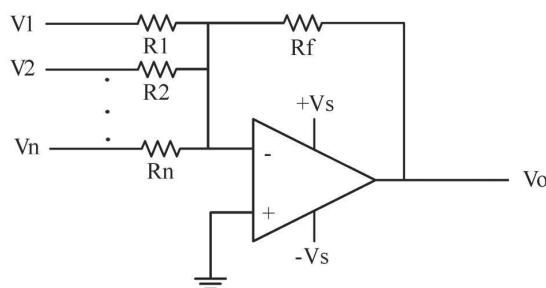


Fig. 12-12. Amplificador sumador.

Ecuación de salida:

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \cdots + \frac{R_f}{R_n} V_n \right)$$

Amplificador Diferenciador

Uso: Variación del amplificador sumador, se utiliza para realizar restas. En este amplificador su salida es proporcional a la diferencia de voltaje entre sus entradas.

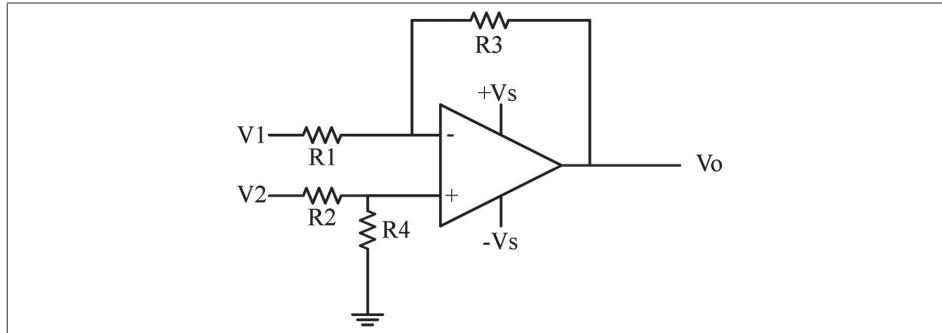


Fig. 12-13. Amplificador diferenciador.

La ecuación de salida se expresa por:

$$V_o = V_2 \left(\frac{R_3 + R_1 R_4}{R_4 + R_2 R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right)$$

Amplificador de instrumentación

El amplificador de instrumentación es otro tipo de amplificador diferenciador, su principal característica es su alta impedancia en la entrada. El amplificador de instrumentación es comúnmente usado en equipos que procesan señales de muy baja potencia, por ejemplo equipos médicos. El amplificador de instrumentación se usa también dentro de los módulos analógicos de entrada de la familia S7-200 para acondicionar las señales de entrada al módulo. Por ejemplo, cuando se realiza el proceso de calibración del módulo de entradas se realiza el ajuste de la ganancia del amplificador mediante su resistencia de ajuste. El amplificador de instrumentación se muestra en la Fig. 12-14.

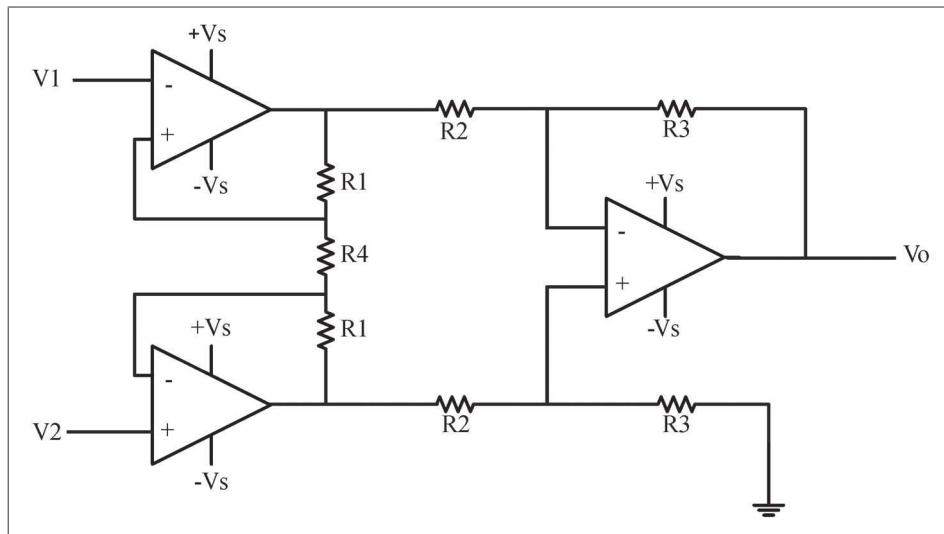


Fig. 12-14. Amplificador de instrumentación.

La ecuación de salida del amplificador se expresa por:

$$V_o = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R_1}{R_4} \right) \frac{R_3}{R_2}$$

Normalmente la resistencia R_4 es variable y mediante ésta es posible ajustar la ganancia del amplificador.

Derivador e Integrador

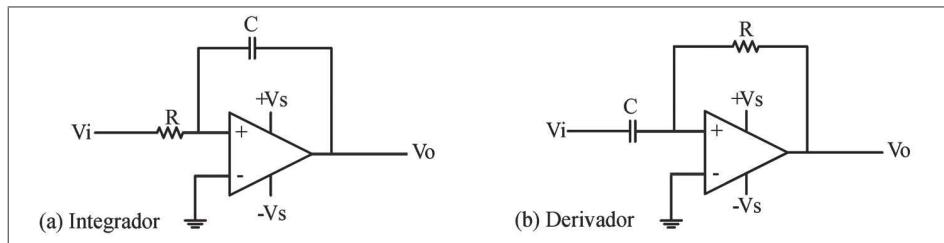


Fig. 12-15. Amplificador integrador (a) y amplificador derivador (b).

El Op amp también se puede configurar para obtener derivadas y/o integrales de su entrada, para esto, además de elementos pasivos (resistencias) es necesario usar elementos almacenadores de energía (capacitores y/o inductancias) en las redes del amplificador.

El circuito mostrado en la Fig.12-15 (b) obtiene en su salida la derivada de la entrada, mientras que el circuito (a) obtiene la integral. En ambos circuitos se usa la misma metodología que se utilizó en secciones anteriores para obtener la salida del amplificador, sólo que el caso del capacitor, se relacionan proporcionalmente el voltaje y la integral de la corriente, es decir:

$$V_c(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t I_c(\tau) d\tau + V_c(t_0)$$

Entonces, si se aplica la metodología usada en el amplificador inversor, obtenemos que la salida de el Op amp integrador mostrado en la Fig.12-15 (a) es:

$$V_c(t) = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^t V_i(\tau) d\tau + V_i(t_0)$$

Mientras que la salida del Op amp derivador usado en la Fig.12-15 (b) está dada por:

$$V_c(t) = -\frac{1}{RC} \frac{dV_i(t)}{dt}$$

Hasta este punto solo se habían usado resistencias para hacer los circuitos con Op amp. El uso de elementos almacenadores de energía (capacitores e inductancias) permite expandir sus posibilidades, como ya se vio. Mediante el uso de estos elementos es posible diseñar derivadores e integradores. Al manejar los elementos almacenadores de energía es posible diseñar sistemas dinámicos mediante redes de Op amp, como el caso de los filtros o controladores.

12.6 Procesamiento digital de una señal analógica

Recordemos que la mayoría de las señales en la naturaleza son analógicas, algunos ejemplos son el voltaje, campo eléctrico, la presión, etc. Procesar estas señales continuas en tiempo y magnitud con un sistema digital es imposible, supongamos que deseamos guardar un segundo de información de una señal analógica en una computadora, la cantidad de memoria necesaria para guardar “toda” la señal sería infinita, debido a que es continua, por lo que existe en cualquier instante de tiempo, y como sabemos los dispositivos digitales poseen memoria finita.

Para procesar señales analógicas mediante sistemas digitales es necesario usar convertidores. La Fig.12-16 muestra el esquema de procesamiento digital de una señal analógica. Nótese que un convertidor analógico-digital (CAD) se usa para pasar la entrada de analógica a digital, de esta forma el sistema digital recibe una señal digital que

representa la señal analógica original. Además, en caso de ser necesario, se usa un convertidor digital analógico (CDA) para pasar la respuesta del sistema en formato digital a analógica.



Fig. 12-16. Esquema básico del procesamiento digital de una señal.

Un problema de la conversión de una señal es la presencia de errores, ya que las etapas de conversión (convertidor AD) los ocasionan. Los errores se deben a que la operación del convertidor AD consiste en distorsionar (cuantificar) y diezmar (muestrear) la información contenida en la señal de entrada. Por lo tanto si el convertidor está mal diseñado se corre el riesgo de *distorsionar y desperdiciar* información de la entrada. Si los errores en el convertidor no son tomados en cuenta es posible generar errores en el resultado esperado.

Nótese que a pesar de poseer errores inherentes a su procesamiento, los sistemas discretos son más usados en comparación a los analógicos, lo anterior se debe a que tienen mayor flexibilidad ya que es más sencillo modificar el software asociado al proceso digital que el hardware asociado al proceso continuo, además es más fácil almacenar y reproducir la información, y en general son más robustos.

En la siguiente sección se muestran los procesos de conversión AD y DA más detalladamente, y se hace especial énfasis en los errores generados en la conversión AD.

12.6.1 Convertidor AD

La función del convertidor analógico digital es representar la señal analógica en su entrada por una señal digital a su salida, la conversión A/D se puede representar por los siguientes dos procesos:

El Muestreador

Éste toma muestras de la señal original con cierta frecuencia, a la que se conoce como *frecuencia de muestreo*, con lo cual la señal resultante es convertida de señal en tiempo continuo a señal en tiempo discreto.

El Cuantificador

Su función es aproximar el valor de las muestras a un conjunto de valores permitidos. Con lo cual la señal resultante es convertida de señal continua a señal discreta.

El Codificador

Éste le asigna un código (usualmente una palabra binaria) a cada valor permitido en amplitud por el cuantificador.

Tanto el proceso de cuantificación como el de muestreo pueden provocar errores significativos en la conversión de la señal si no son tomados en cuenta los atributos de la señal a ser tratada. Los errores de muestreo son ocasionados por el traslape *aliasing* de señales, lo cual ocurre cuando la frecuencia de muestreo es elegida por debajo de la tasa de Nyquist, mientras que los *errores en el cuantificador*, conocidos como errores de cuantificación, son ocasionados por la distorsión provocada al redondear o truncar la señal al conjunto de valores digitales permitidos.

El proceso de obtener una secuencia en tiempo discreto a partir de una señal analógica se denomina *muestreo* y se puede representar al evaluar la señal original en múltiplos del período de muestreo $t=nT$.

$$s(n) = s(t) \Big|_{t=nT} \text{ donde } n = 0, 1, 2, \dots$$

Donde $T = 1/f_s$ es conocido como tiempo de muestreo y $s(n)$ es la secuencia obtenida a partir de la señal $s(t)$, es común llamar *secuencia* a las señales en tiempo discreto.

El problema aquí es que **existen diferentes señales $s(t)$ que poseen la misma secuencia $s(n)$** . Entonces, si no se toma esto en cuenta, sería imposible poder identificar la señal original a partir de su secuencia asociada. Para ilustrar lo anterior vea el siguiente ejemplo:

Considere las siguientes señales: $s_1(t) = \cos(2\pi f_1 t)$ y $s_2(t) = \cos(2\pi f_2 t)$, donde la frecuencia de la segunda cosenoide es el doble que la de la primera $f_2 = 2f_1$.

Si ambas señales se muestrean con una frecuencia de muestreo $f_m = f_1$, se obtendrán dos secuencias idénticas, es decir, dos señales diferentes se asociarán con la misma secuencia.

Para obtener las secuencias asociadas a $s_1(t)$ y $s_2(t)$ se procede a evaluar ambas señales en múltiplos del período de muestreo, para $S_i(t)$ se tiene que:

$$s_1(n) = \cos\left(2\pi f_1 \frac{n}{f_m}\right) \quad (1)$$

Debido a que la frecuencia de muestreo se elige tal que $f_m = f_1$, entonces (1) se reduce a:

$$s_1(n) = \cos(2\pi n)$$

Mientras que, siguiendo un procedimiento similar, se encuentra la secuencia asociada a $S_2(t)$, la cual está dada por:

$$s_2(n) = \cos(4\pi n) = s_1(n)$$

A pesar de provenir de dos señales diferentes, las secuencias obtenidas al evaluar la señal en múltiplos del período de muestreo son las mismas, para el caso anterior esto se debe a que $\cos(2\pi n) = 1$ para $n = 0, 1, 2, \dots$, por lo tanto las secuencias obtenidas en ambos casos corresponden al escalón unitario.

	$f_m = f_1$		$f_m = 2f_1$	
Muestra	$s_1(n) = \cos(2\pi n)$	$s_1(n) = \cos(4\pi n)$	$s_1(n) = \cos(\pi n)$	$s_1(n) = \cos(2\pi n)$
0	1	1	1	1
1	1	1	-1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	-1	1
4	1	1	1	1
5	1	1	-1	1
6	1	1	1	1
7	1	1	-1	1
8	1	1	1	1
9	1	1	-1	1

Tabla 12-1. Valores de las secuencias resultantes para las diferentes tasas de muestreo usadas.

El confundir este tipo de señales es conocido como *traslape aliasing*. El problema de este fenómeno es que debido a que solamente se poseen las muestras para representar la señal no se sabe con certeza cuál de las dos (en este caso) señales es la verdadera.

Una forma de evitar el traslape de señales es escogiendo una frecuencia de muestreo lo suficientemente alta, por ejemplo en el caso anterior, si la frecuencia de muestreo aumenta al doble $f_m = 2f_1$ entonces las secuencias obtenidas al muestrear $S_1(t)$ y $S_2(t)$ se expresan por secuencias diferentes: $s_1(n) = \cos(\pi n)$ y $s_2(n) = \cos(2\pi n)$.

La tabla 12-1 muestra ambos casos. En sus primeras dos columnas muestra las secuencias obtenidas para $f_m = f_1$, mientras que en sus últimas dos muestra las obtenidas para $f_m = 2f_1$. Nótese que el hecho de aumentar la frecuencia de muestreo provoca que las señales se puedan diferenciar una de la otra. Por lo tanto, es posible deducir que los errores de traslape en el muestreador se pueden eliminar si es que se utiliza una frecuencia de muestreo lo suficientemente alta.

Una buena pregunta es qué tan alta debe ser la frecuencia de muestreo para evitar el traslape. De cierta manera, la frecuencia de muestreo está ligada a la evolución de la señal. Las señales que cambian muy rápido (con componentes de alta frecuencia) necesitan frecuencias de muestreo grandes para capturar todas las dinámicas de la señal, mientras que las señales que cambian lento (con componentes de baja frecuencia) se pueden representar correctamente con frecuencias de muestreo menores.

La respuesta a la pregunta anterior la resolvió H. Nyquist, en 1928, en su trabajo *Certain topics in telegraph transmission theory*, en el cual menciona su teorema del muestreo que se enuncia a continuación sin prueba:

Considere una señal limitada en banda cuya frecuencia máxima está dada por $f_{\max} = \beta$ Hz, entonces la frecuencia de muestreo necesaria para poder recuperar la señal original a partir de sus muestras debe cumplir con: $f_m \geq 2\beta$.

Es decir, la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos dos veces más grande que la frecuencia máxima de la señal en orden de evitar el traslape y poder recuperar la señal original a partir de sus muestras.

12.6.3 Errores en el cuantificador

Para poder realizar el procesamiento digital de una señal es necesario representar su valor con un conjunto finito de valores, el tamaño de dicho conjunto está dado por el número de bits a usar para representar la señal. Por ejemplo, si se usan 4 bits para representar la señal, ésta puede solamente tomar $2^4 = 16$ valores posibles, los cuales se llamarán *valores discretos* x_i , dichos valores representan un conjunto finito de valores. La función del cuantificador será obtener el valor discreto más cercano al valor real de la señal. Esto es:

$$x_q(n) = Q[x(n)]$$

El operador Q toma el valor discreto x_i más cercano al valor de la magnitud de $x(n)$.

La magnitud de cada valor discreto está dada por:

$$x_i = i \frac{R}{2^n} \text{ para } i = 0, 1, 2, \dots, 2^n - 1 \quad (12-2)$$

Aquí R representa el valor máximo del rango de la señal y n el número de bits usados en la palabra digital que la representa.

Nótese que los valores discretos x_i están separados uniformemente alrededor del rango de la señal. A este tipo de arreglo se le llama *cuantificador uniforme*. Dicho cuantificador es el más común y sencillo de usar, pero también existen otros cuantificadores que no poseen una separación equiespaciada uniformemente entre sus valores discretos.

Además, existen dos tipos de cuantificadores, los de truncación y los de redondeo. La diferencia entre los dos es la manera en que realizan la aproximación a la señal. Los cuantificadores por truncación truncan el valor real de la señal al valor discreto inferior más cercano.

$$x_q(n) = x_i \text{ para el valor discreto } x_i \text{ que cumpla } x_i \leq x(n) < x_{i+1}$$

Los cuantificadores por redondeo aproximan el valor real de la señal al valor discreto más cercano.

$$x_q(n) = x_i, \text{ para el valor discreto } x_i \text{ que cumpla } x_i - \frac{1}{2} LSB < x(n) < x_i + \frac{1}{2} LSB$$

Aquí LSB representa el tamaño en magnitud de la señal del bit de menor peso, el cual se da por el cociente del rango usado en la señal y el número de combinaciones discretas usadas para representar la señal .

Ejemplo

A continuación se muestra el proceso de cuantificación y codificación usando 3 bits para representar una señal de 0- 1VCD.

Si se aplica la ecuación (12-2) se tiene que la magnitud de cada valor discreto se da por múltiplos de 1/8,

$$x_i = \frac{i}{8}, \text{ para } i = 0,1,2,\dots,7$$

Debido a que se disponen 8 combinaciones digitales diferentes (000 - 111) a cada valor discreto se le asigna el código digital que se muestra en la tabla.

	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Valor discreto	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
Código digital	000	001	010	011	100	101	110	111

Tabla 12-2. Codificación con 3 bits de una señal discreta.

En este caso, la función del cuantificador será redondear o truncar el valor de la señal de entrada al valor discreto más próximo.

En la Fig. 12-18 (a) y (b) muestran la operación de un cuantificador unipolar por truncamiento y por redondeo, mientras que en la Fig. 12-17 se muestra la operación del cuantificador por redondeo bipolar (-V a V). En ambas se muestra la relación entrada-salida del cuantificador.

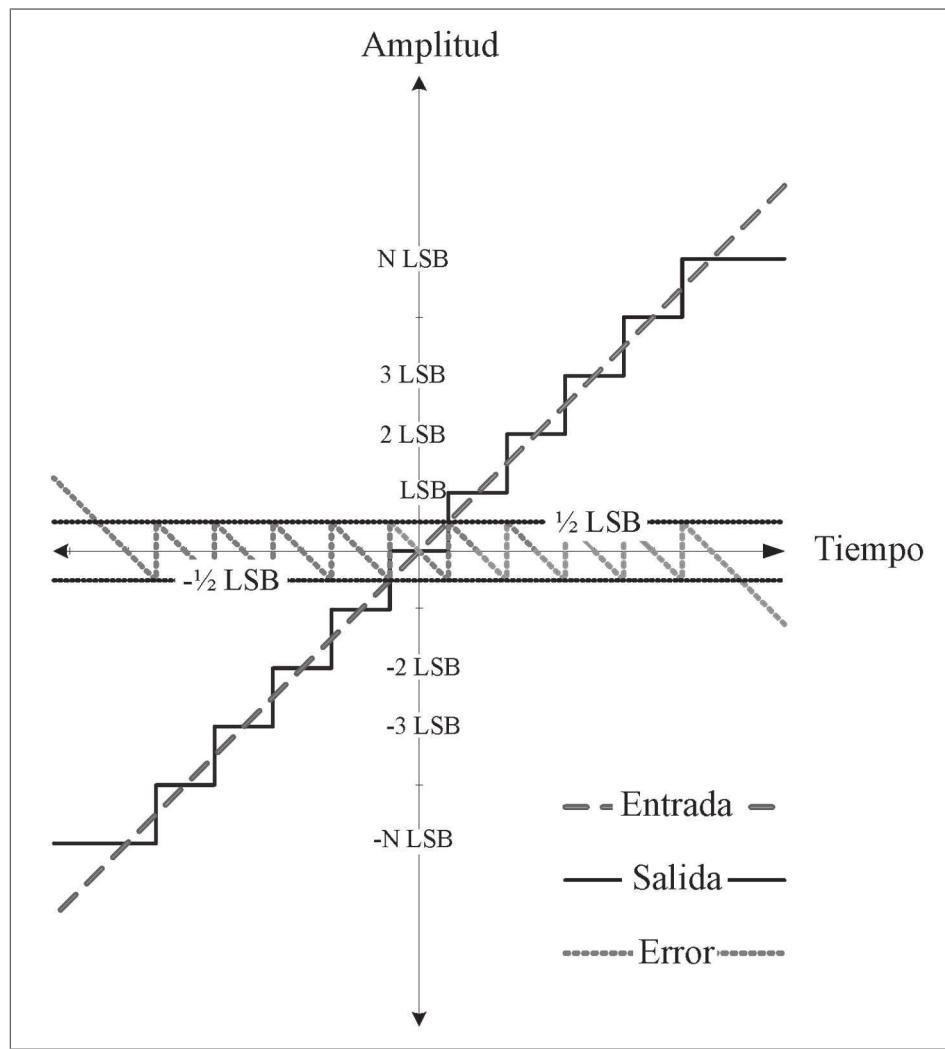


Fig. 12-17. Operación del cuantificador bipolar por redondeo para una entrada rampa unidad.

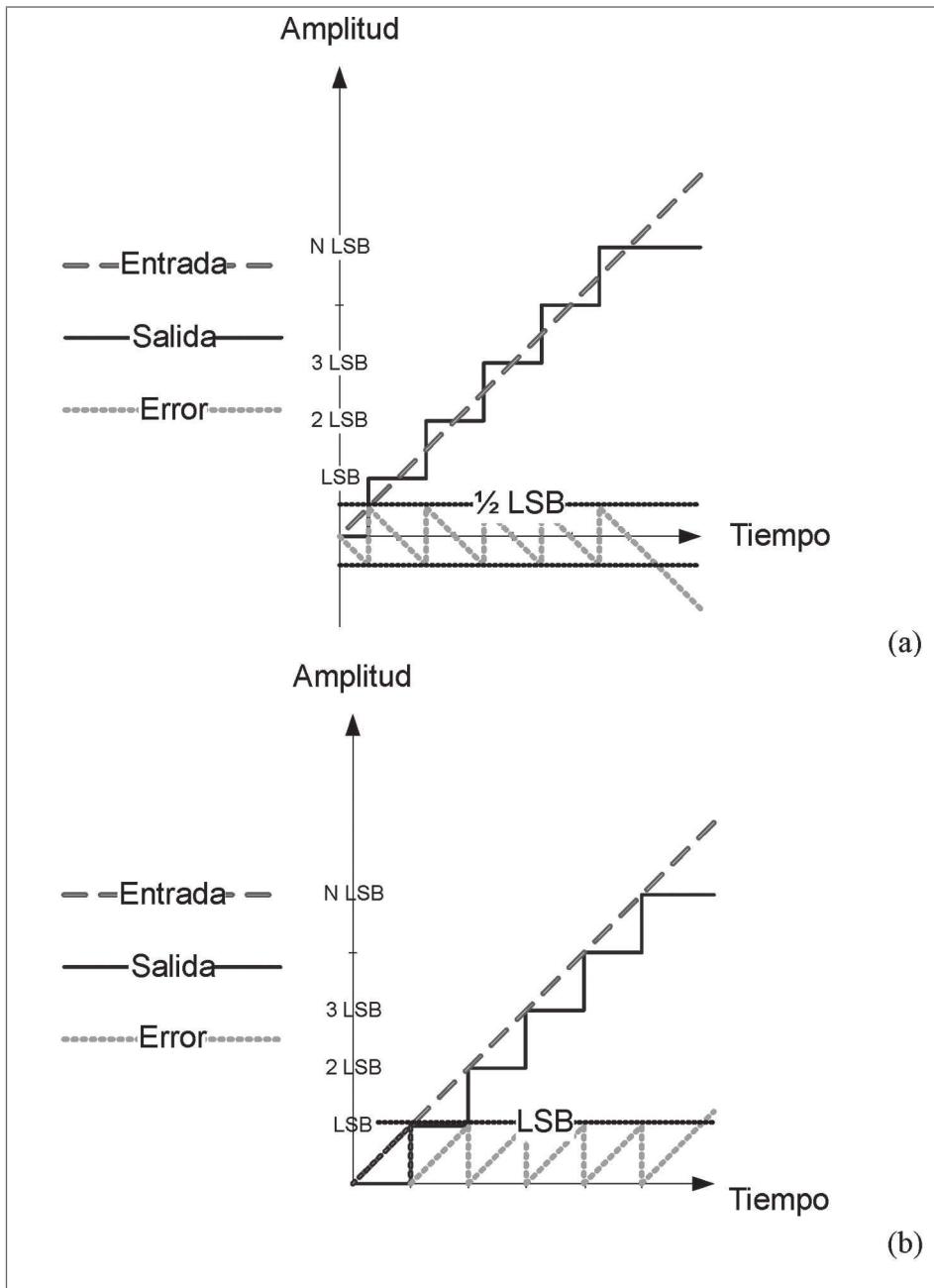


Fig. 12-18. Operación de los cuantificadores inmolares por redondeo (a) y truncamiento (b) para una entrada rampa unidad.

Para el caso del cuantificador por redondeo, el error máximo puede ocurrir cuando el valor de la señal se encuentra en medio de dos valores discretos, mientras que en el cuantificador por truncamiento el valor máximo se presenta cuando el valor real de la señal es “casi igual” al valor discreto.

Al error originado en el proceso de cuantificación se lo conoce como *error de cuantificación*. Si nos basamos en la Fig. 12-18 se puede deducir que para el caso del cuantificador por redondeo se tiene que el error de cuantificación está expresado por:

$$e_q = \frac{1}{2} LSB = \frac{1}{2} \frac{R}{2^n} \quad (12-3)$$

Por otro lado, para el caso de un cuantificador por truncamiento se tiene que el error de cuantificación está expresado por:

$$e_q = LSB = \frac{R}{2^n} \quad (12-4)$$

Finalmente, es importante recalcar que a diferencia del error en el muestreador, el cual puede ser evitado, si se elige una frecuencia de muestreo adecuada, el error originado en el cuantificador siempre estará presente. El error generado en el cuantificador no se puede reparar debido a que la señal se está distorsionando al redondear/truncarla a un conjunto de valores permitidos. Por lo tanto el error de cuantificación es irreparable. Pero a pesar de ser un error irreparable, el error de cuantificación se puede hacer más pequeño de dos formas que se pueden deducir de (12-3)-(12-4):

- Aumentar la resolución mediante la adición de más bits.
- Reducir el rango de la señal.

A continuación se muestran algunos esquemas básicos de convertidores análogo-digital comúnmente usados en la práctica.

12.6.4 Convertidor de aproximaciones sucesivas

Es el convertidor integrado a la mayoría de las aplicaciones comerciales, siempre y cuando no requieran resoluciones y/o velocidades elevadas (el convertidor maneja tiempos de microsegundos), esto es debido a su bajo costo.

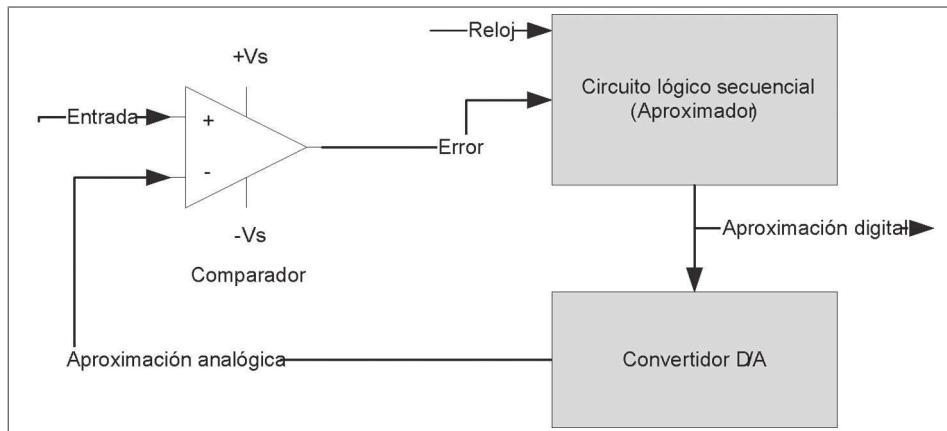


Fig. 12-19. Esquema del convertidor AD por aproximaciones sucesivas.

El funcionamiento consiste en aproximar la señal de manera sucesiva mediante el comparador hasta llegar a la mejor aproximación posible; en cada nueva aproximación se mide el error entre la señal analógica original y la señal digital de salida; para lograr esto es necesario el convertidor DA en la retroalimentación. El diagrama esquemático de este convertidor es mostrado en la Fig. 12-19.

El circuito de aproximaciones sucesivas es el encargado de proponer la nueva aproximación en cada pulso de reloj basándose en el signo del error y en la aproximación anterior.

La idea más sencilla del circuito de aproximaciones sucesivas es una en la cual se aumente por uno el valor de la salida cuando el error es positivo y se decremente por uno el valor binario de la salida cuando el error es negativo (a este circuito se lo conoce como *contador ascendente/descendente*). La desventaja de este tipo de aproximación es que es un método muy lento y tarda tiempos diferentes (medidos en pulsos de reloj) para encontrar cada valor. Existen algoritmos más veloces, una alternativa común es usar un algoritmo de biseción, el cual *analiza por mitades*, las ventajas de estos algoritmos son su rapidez y el número de pulsos de reloj necesarios para encontrar un valor, el cual es constante.

Para explicar el funcionamiento de este algoritmo de biseción de una manera más sencilla solamente se usarán 3 bits en la cuantificación de la señal. Además se supone que la señal de entrada es de un rango de 0-10 VCD.

Nuestra primera aproximación digital es poner el bit de mayor peso en 1 y los demás en 0. En nuestro caso esto forma el código 100. Nótese que en la salida del CDA de la retroalimentación obtendremos aproximadamente del rango (5 VCD en nuestro caso), este valor se compara con la señal original, si la señal original es mayor, entonces el bit de mayor peso se deja en uno; por el contrario, si la señal original es menor, el bit de mayor peso se pone en 0.

En el siguiente pulso de reloj este procedimiento se repite con el siguiente bit y así sucesivamente hasta llegar al bit de menor peso. Nótese que el número de pulsos de

reloj necesarios para formar cualquier valor discreto es constante e idéntico al número de bits. En nuestro caso, debido a que tenemos 3 bits, necesitamos 3 pulsos de reloj para formar la aproximación independientemente de qué valor posea la señal de entrada.

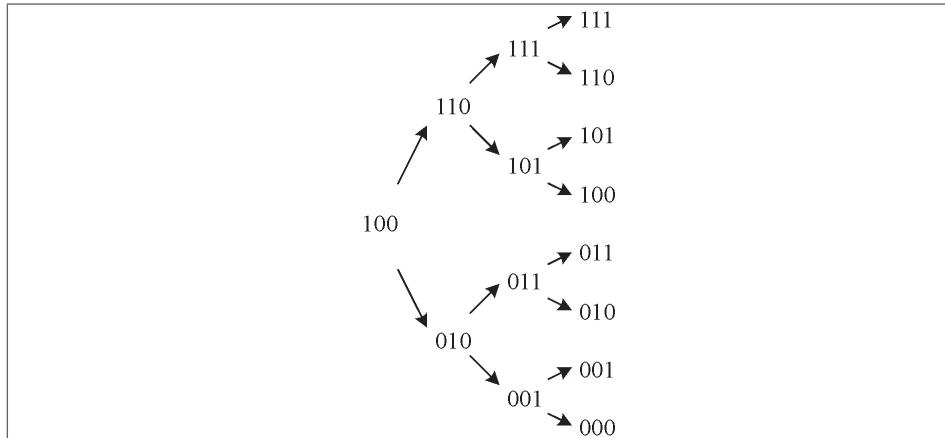


Fig. 12-20. Algoritmo de biseción usado en un convertidor de aproximaciones sucesivas de 3 bits.

12.6.5 Convertidor tipo flash

Este convertidor obtiene la representación digital de la señal mediante un divisor de voltaje y una red de comparadores conectados en paralelo. La ventaja de este convertidor es su rapidez, maneja tiempos de hasta nano-segundos. La razón de su rapidez es que la operación es realizada en paralelo. La principal desventaja de este convertidor es su costo, que es elevado en comparación al anterior.

La resolución del convertidor está dada por el número de bits usados en la conversión y el valor máximo de la señal. La resolución es proporcional al número de amplificadores operacionales conectados. El número de Op amp debe ser $2^b - 1$, donde b es el número de bits usados en la conversión, por lo tanto el número de Op amp aumenta exponencialmente de acuerdo a la cantidad de bits necesitada, lo que aumenta su costo drásticamente al necesitar resoluciones elevadas, por ejemplo con una resolución de 8 bits se necesitarían 255 Op amp.

La función del convertidor flash es la siguiente: en las terminales inversoras de los Op amp se conectan voltajes de referencia, cada voltaje de referencia está dado por el divisor de voltaje, entonces el n -ésimo Op amp tendrá un voltaje de referencia igual a V_{ref}/n . En la terminal no inversora de los Op amp se conecta la entrada, recordemos que el Op amp en lazo abierto funciona como un comparador, cuando el voltaje de entrada supera el voltaje de referencia entonces la salida del Op amp es activada a un 1 lógico; en otro caso la salida tiene un 0 lógico debido a que el voltaje en la terminal no inversora es superior al voltaje en la terminal inversora.

Nótese que la conversión se realiza en paralelo. Finalmente el código generado por los comparadores es traducido a código binario mediante un arreglo de lógica combinacional.

La Fig. 12-21 muestra el diagrama esquemático de un convertidor flash con una resolución de 2 bits.

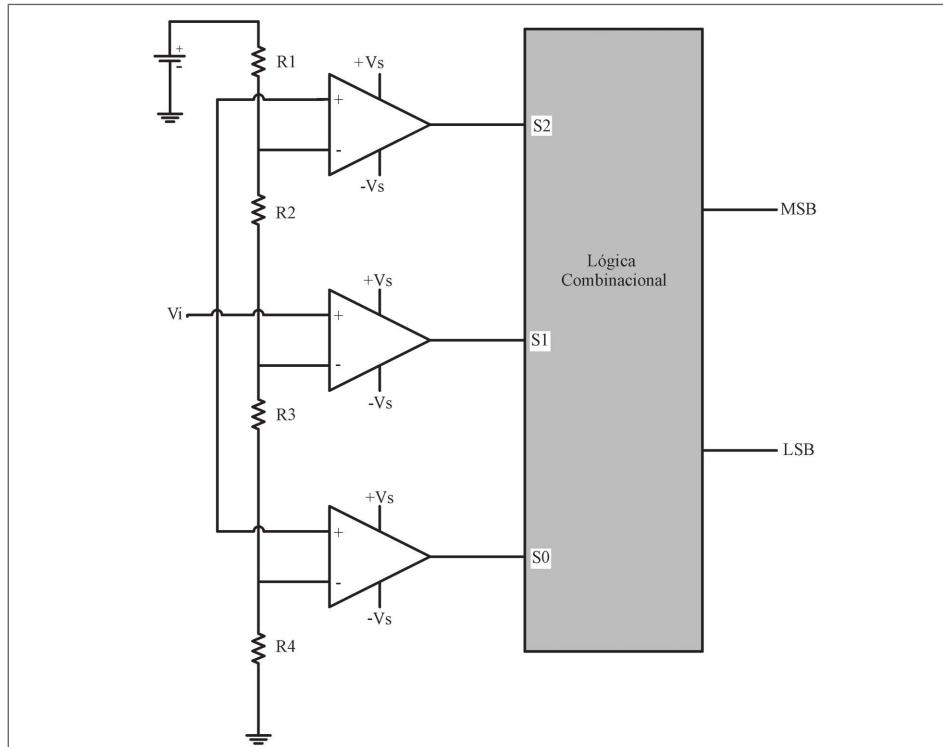


Fig. 12-21. Diagrama esquemático del convertidor AD tipo flash

La Tabla 12-3 muestra la salida del circuito para diferentes valores de entrada suponiendo una señal de entrada con rango de 0-10 VCD.

Entrada (VCD)	S_0	S_1	S_2	MSB	LSB
[0,0,2,5]	0	0	0	0	0
[2,5,5,0]	1	0	0	0	1
[5,0,7,5]	1	1	0	1	0
[7,5,10,0]	1	1	1	1	1

Tabla 12-3. Estado del convertidor tipo flash para un rango de entrada de 0-10 VCD y una resolución de 2 bits.

12.6.6 Convertidor DA

En ocasiones el sistema digital debe producir una salida analógica. Para traducir la codificación digital guardada en la memoria del sistema a una salida analógica es necesaria una etapa de conversión DA, la cual se muestra a continuación.

El convertidor digital analógico reconstruye una señal analógica a partir de una señal digital. Para entender qué debe hacer el convertidor DA para recuperar la señal analógica a partir de una versión digital es necesario comprender las consecuencias de la conversión análogico digital AD.

Al muestrear una señal en el tiempo, su espectro (el espectro es una función que nos indica qué frecuencias contiene la señal) se periodiza y se escala por la frecuencia de muestreo tal y como se muestra en la Fig. 12-22. A cada copia del espectro se le llama *alias* y aparecen centrados en frecuencias múltiplos de la frecuencia de muestreo.

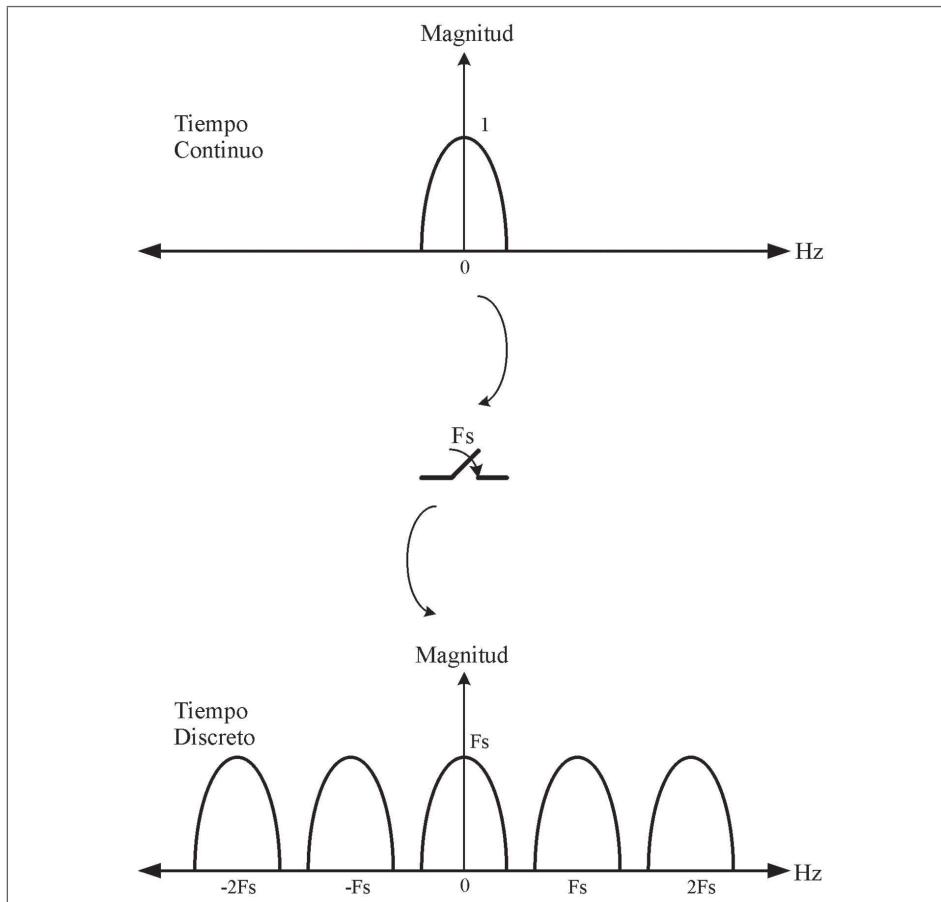


Fig. 12-22. Efecto del muestreador en el espectro de la señal.

Entonces, muestrear una señal continua provoca que su espectro se periodice, por tal razón la operación inversa (recuperar la señal continua a partir de sus muestras) se realiza al recuperar el espectro de la señal original.

Si en el dominio de la frecuencia se extrae el espectro original de las copias mediante un filtro pasa bajas, entonces en el tiempo se obtendrá la señal original (continua) de la señal muestreada sin error alguno.

La función del filtro pasa bajas como convertidor DA ideal sólo deja pasar el espectro original y elimina las copias que se habían producido al muestrear la señal. La acción del filtro en la frecuencia se muestra en la Fig. 12-23.

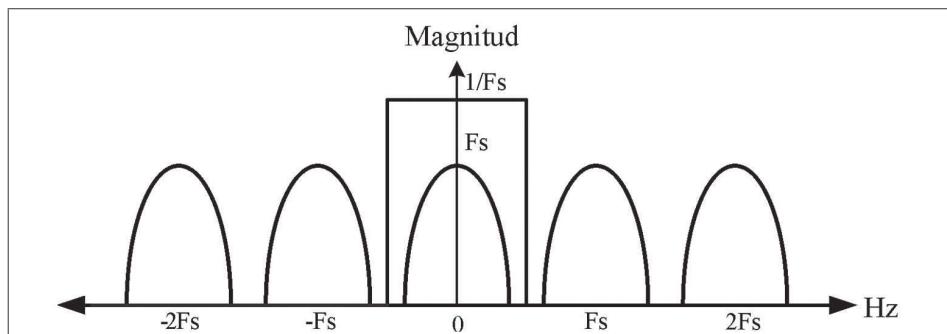


Fig. 12-23. Operación del convertidor DA ideal.

Un filtro pasa bajas ideal está dado por la siguiente respuesta en frecuencia:

$$H(\omega) = \begin{cases} 1/F_s & \text{para } \omega \leq \omega_s \\ 0 & \text{para } \omega > \omega_s \end{cases}$$

Este filtro es físicamente irrealizable ya que es un sistema no causal (su salida en el instante actual depende de entradas futuras), debido a esto en la práctica se utilizan sistemas causales, los cuales se aproximan al filtro ideal. Estos sistemas tienen el mismo objetivo: dejar pasar el espectro de la señal original y eliminar las copias que se producen al muestrear la señal.

Los convertidores polinomiales son aproximaciones usadas comúnmente debido a que son de bajo costo computacional. El más común de ellos es a su vez el más sencillo y recibe el nombre de *retenedor de orden cero* (ZOH, Zero Order Hold), el cual interpola las muestras con funciones de orden cero (constantes) como se muestra en la Fig. 12-24. También existen los retenedores de diferentes órdenes, como el retenedor de primer orden que interpola las muestras con funciones de primer orden (líneas), en general el retenedor polinomial de orden n interpola las muestras con funciones de orden n . Es importante recalcar que los retenedores a partir de segundo orden carecen de utilidad práctica. Comúnmente se usan solamente retenedores de orden cero y en algunas aplicaciones de primer orden.

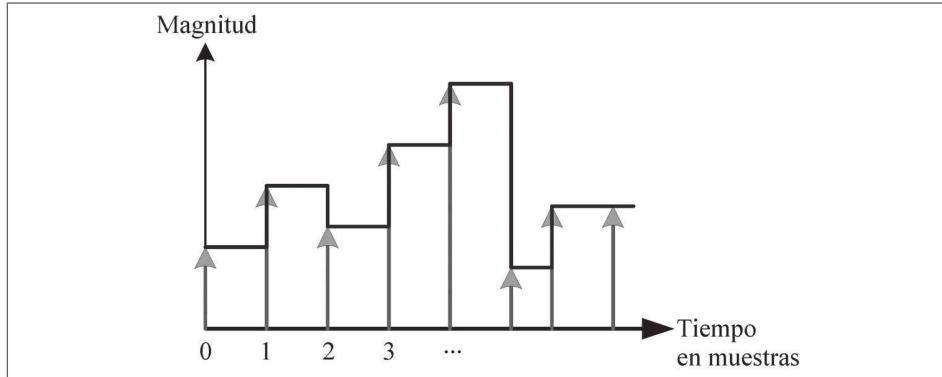


Fig. 12-24. Funcionamiento del retenedor de orden cero que mantiene el valor de la muestra hasta la siguiente.

La aproximación de orden 0 a la señal continua original presenta errores que se reducen al aumentar el período de muestreo.

A continuación se muestra un tipo de convertidor DA usado comúnmente en la práctica para pasar señales del dominio discreto al continuo.

12.6.6.1 Convertidor R-2R

Un tipo de convertidor DA muy sencillo y de muy bajo costo es el convertidor R-2R que no es más que un Op amp sumador, en el cual las resistencias ($R_1, R_2, R_3\dots$) se escogen como potencias de 2 (ésta es la principal dificultad) y las entradas ($B_1, B_2\dots$) sólo pueden tomar 2 estados. La configuración del Op amp se muestra en la Fig. 12-25.

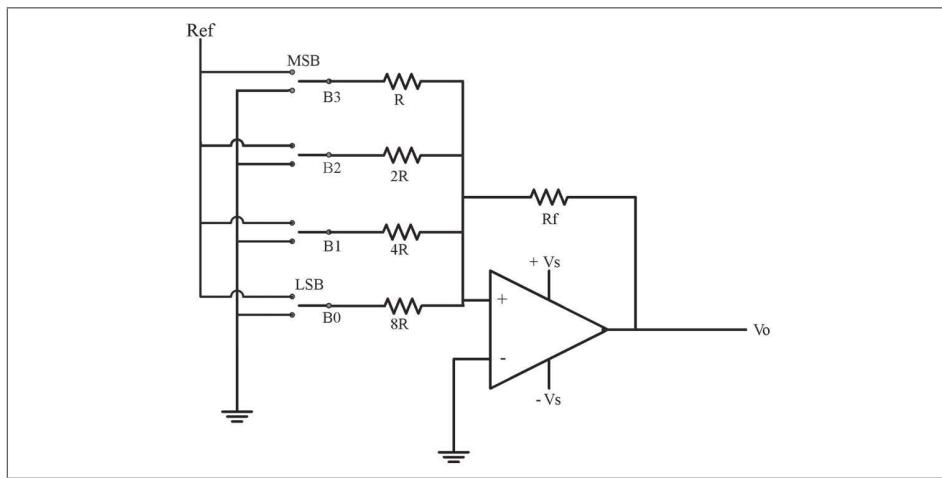


Fig. 12-25. Convertidor DA tipo R-2R.

Nótese que la salida es una variable analógica, la cual es proporcional al código binario en las entradas del Op amp sumador y está dada por la siguiente relación:

$$V_o = -\frac{R_f}{R} \left(\frac{B3}{1} + \frac{B2}{2} + \frac{B1}{4} + \frac{B0}{8} \right) V_{ref}$$

La principal dificultad es la elección de las resistencias en orden $2^n R$ $n=1,2,\dots$, sobre todo para valores grandes, por esta razón se plantea una manera equivalente de realizar el circuito la cual sólo hace uso de 2 valores de resistencias, de las cuales una es el doble de la otra. El circuito equivalente se muestra en la Fig. 12-26.

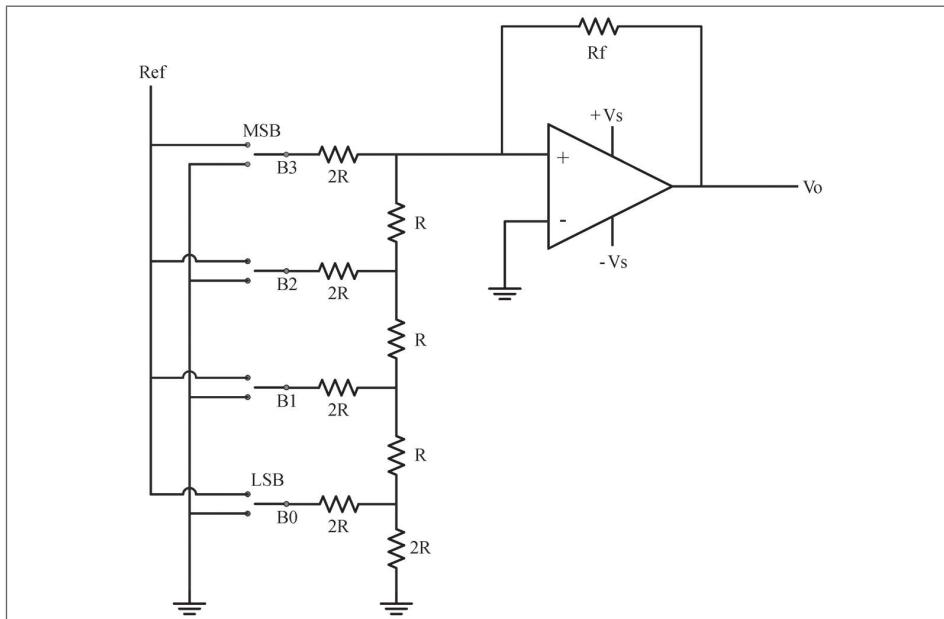


Fig. 12-26. Modificación al convertidor R-2R.

Por esta razón este amplificador recibe el nombre de convertidor D/A R-2R. La ecuación de salida de este amplificador sigue estando dada por:

$$V_o = -\frac{R_f}{R} \left(\frac{B3}{2} + \frac{B2}{4} + \frac{B1}{8} + \frac{B0}{16} \right) V_{ref}$$

12.7 Módulos analógicos de la familia S7-200

Los módulos analógicos son usados dentro de los PLC's para poder interactuar con señales analógicas, las cuales provienen de distintos instrumentos y sensores analógicos. Los módulos analógicos pueden ser de entradas o de salidas, o combinadas. Comúnmente los módulos analógicos manejan rangos estándares de instrumentación, como lo son las señales de corriente de 0-20 mA y las señales de voltaje de 0-10 VCD, entre otros. Además, en el caso de la familia S7-200 existen módulos especializados que permiten leer entradas más específicas, como los módulos de entradas de termopar o entradas de RTD. Básicamente un módulo analógico responde al esquema que se muestra en la Fig. 12-27.

Nótese que el módulo posee un convertidor A/D para las entradas y un convertidor D/A para las salidas, además posee la electrónica necesaria para comunicarse con el CPU principal.

La función del módulo analógicos de entrada es leer los datos de entrada y mandarlos a una dirección en el registro de datos del CPU, mientras que la función de los módulos de salida es tomar el valor discreto de la dirección en CPU y convertirlo a señal analógica a través del CDA integrado. El CPU manipula los datos analógicos escribiendo y leyendo dichas direcciones.

Los puntos claves para entender y usar módulos analógicos se presentan en el párrafo anterior, éstos son:

- **A cada entrada/salida le corresponde una dirección en memoria** que varía en tamaño y dirección dependiendo de la marca y el modelo del PLC.
- **El CPU interactúa con cada entrada/salida mediante convertidores AD/DA**, lo cual es de suma importancia ya que **en la dirección asociada al dato analógicos no se leerán los valores de corriente o voltaje sino la codificación usada por los convertidores** asociada a dichos valores.

En orden de usar algún módulo analógico de cualquier marca hay que tomar en cuenta estos dos puntos, es decir es necesario saber cómo se va a dirigir, con cuántos bits se va a guardar el dato analógico y qué codificación va a ser usada para representarlo.

A continuación se mostrará cómo usar los módulos de expansión analógicos del S7-200.

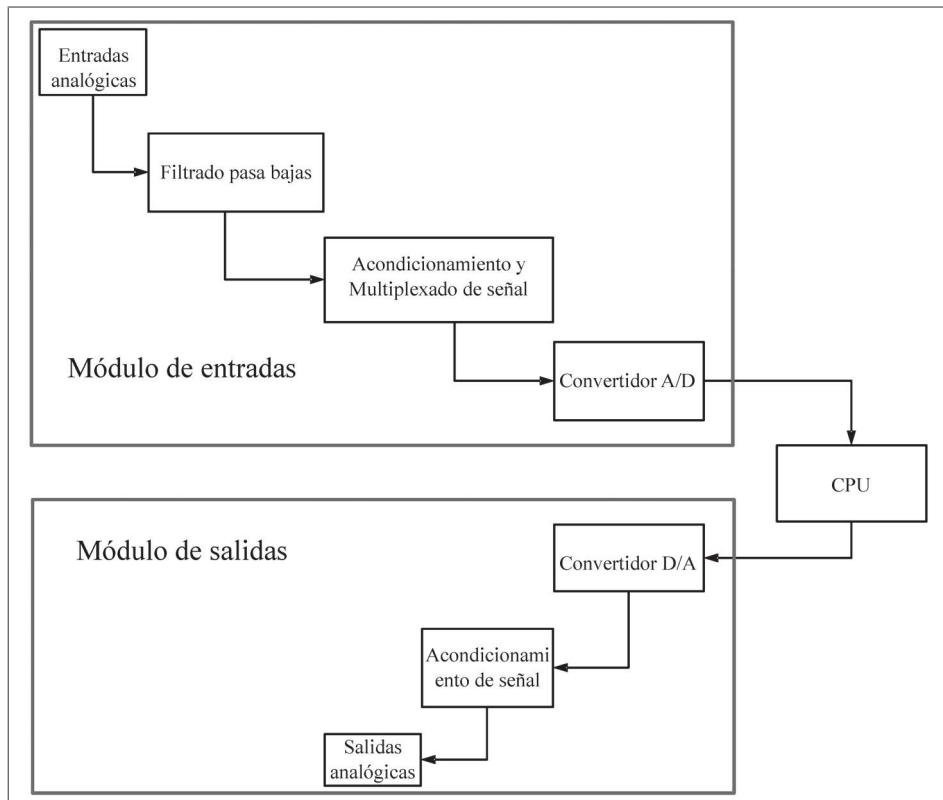


Fig. 12-27. Diagrama de bloques de un módulo de entradas y un módulo de salidas analógicas.

12.7.1 Módulos analógicos en el S7-200 - CPU 22X

A continuación se muestra cómo manejar datos analógicos mediante PLC's 22X de la familia S7-200, con este fin es necesario añadir una expansión analógica al CPU, direccionar la entrada o salida y escalarla en caso de que sea necesario. La Tabla 12-4 muestra las diferentes expansiones analógicas disponibles dentro de la familia S7-200 para PLC's 22X:

Modelo del Módulo	Número de entradas	Número de salidas
EM231 Entrada analógica	4 corriente/voltaje	-
EM232 Salida analógica	-	2 corriente/voltaje
EM235 Combinación analógica	4 corriente/voltaje	1* corriente/voltaje

Tabla 12-4. Capacidad de los módulos de la familia S7-200 en cuanto a entradas y salidas.

- * Existe una salida físicamente disponible en el módulo, pero el CPU reserva dos salidas para este módulo.

Además de los tres módulos mostrados en la Tabla 12-4 existen dos módulos especiales variantes del EM231, ambos son de entradas. Estos módulos son el EM231 RTD el cual puede leer dos entradas de RTD directamente y el módulo EM231 para termopar el cual lee directamente dos o cuatro entradas de termopar. Tanto el RTD como el termopar son instrumentos medidores de temperatura, el RTD se basa en una resistencia que cambia su valor conforme cambia la temperatura y el termopar se basa en la unión de dos metales diferentes que producen una diferencia de potencial (muy pequeña) al someter la unión a cambios de temperatura (efecto Seebeck).

12.7.2 Direccionamiento

A diferencia de las señales discretas, las cuales se pueden almacenar en un bit, cuyo estado representa un uno o cero lógico, las señales analógicas no pueden guardarse en un bit del PLC y se necesitan direccionar a un arreglo digital de mayor tamaño.

Sin importar el tipo de módulo, dentro del S7-200 los datos analógicos se guardan en formato de palabras (arreglos de 16 bits) y debido a esto es posible usar todas las instrucciones a nivel palabra para manipularlos. Por ejemplo, se puede comparar el valor de datos analógicos con las funciones de comparación a nivel palabra, se pueden mover y copiar datos mediante las funciones de transferencia a nivel palabra y se pueden realizar operaciones matemáticas entre señales analógicas mediante las funciones aritméticas a nivel palabra, en general todas las funciones a nivel palabra se pueden usar para procesar un dato analógico, ya sea éste de entrada o de salida.

Direccionamiento de un dato analógico

Específicamente, la dirección de la palabra en la cual se guarda la entrada o salida analógica comienza por A, luego le sigue una letra I, si es entrada, o una letra Q que indica que es salida. Después le sigue la letra W que marca que la dirección es a nivel palabra y luego el número de entrada y/o salida.

A I/Q W

Entonces, el direccionamiento usado para referirse a una entrada analógica es: AIW#, donde # indica el número de entrada. Por ejemplo, la dirección AIW0 está relacionada con la entrada analógica número 0, mientras que la dirección AIW2 está relacionada con la entrada analógica número 2.

Para direccionar una salida se utiliza la siguiente expresión: AQW#, donde # representa el número de salida.

Por ejemplo, AQW0 representa la salida número 0 mientras que AQW1 representa la salida número 1.

M s de un m dulo

Para el caso en el que hay conectados más de 1 módulo en el CPU, las señales analógicas del primer módulo ocuparán los primeros números de entradas o salidas y las del siguiente módulo ocuparán las siguientes. A continuación se ilustra este concepto con un ejemplo.

Ejemplo 1

Suponga que se usa un CPU 224, seguido de un módulo EM232, seguido de un módulo EM231, seguido de un módulo EM235.



Fig. 12-28. Configuración del PLC para el ejemplo 1.

Los registros AQW0 y AQW1 se relacionan con las salidas número 0 y número 1 del primer módulo EM232, mientras que la salida AQW2 se relaciona con la salida 0 del módulo EM235.

Para el caso de las entradas, las entradas AIW0, AIW1, AIW2 y AIW3 se relacionan con las entradas 0, 1, 2 y 3 del módulo EM231 mientras que las entradas AIW4, AIW5, AIW6 y AIW7 se relacionan con las entradas del módulo EM235.

Finalmente, existe un caso especial, a pesar de que el EM235 sólo tiene una salida analógica necesita dos puntos de salida en el CPU, es decir si se coloca un módulo EM235 éste absorberá dos direcciones de salida en lugar de sólo una.

Ejemplo 2

Si se coloca el EM235 y después un EM232 se tendrá que:

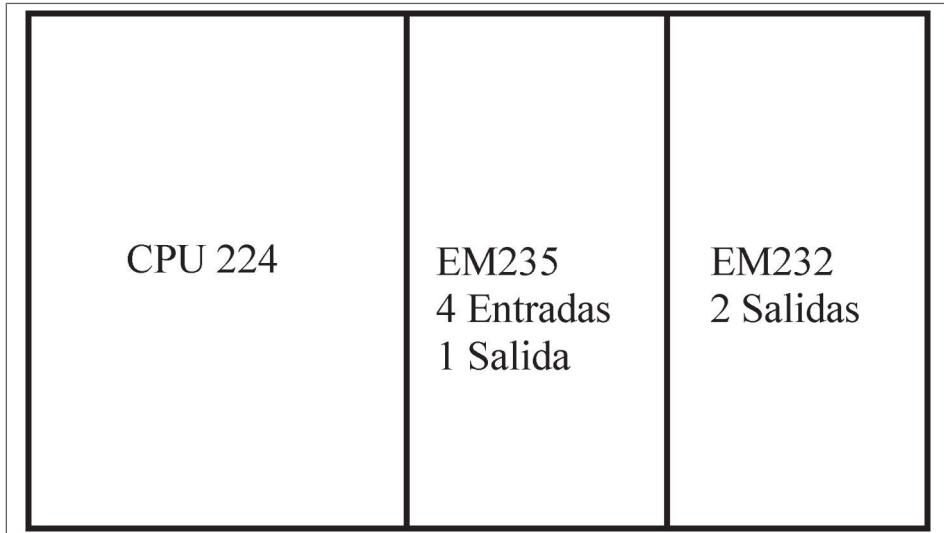


Fig. 12-29. Configuración del PLC para el ejemplo 2.

La salida AQW0 pertenece al EM235, y las salidas AQW2 y AQW3 pertenecen al EM232, note que la salida AQW1 no se usa debido a que la absorbe el EM235.

A pesar de que el direccionamiento es un tema que tienen en común todos los módulos analógicos, cada uno tiene sus particularidades. Por ejemplo, en conexiones, rangos de señal, configuraciones, en la codificación usada en las conversiones DA/AD, etc. Las especificaciones de cada módulo se verán en la siguiente sección.

12.7.3 Codificación

La codificación es el principal punto que se debe entender en orden de poder manejar un dato analógico en un PLC. Como se mencionó anteriormente la codificación corresponde al proceso de asignar un valor binario a cierta magnitud de la entrada, ya sea de corriente o voltaje.

La principal razón de la importancia de la codificación es el hecho de que en la memoria del PLC (AIW# para entradas o AIQ# para salidas) no se almacena el valor de corriente o de voltaje de la señal de entrada o salida. Lo que se almacena en dicha memoria es el código binario asociado a dicho valor.

Por ejemplo, si se introduce un valor de 5 VCD a la entrada analógica número 0, ¿qué se esperará leer en el registro AIW0? La respuesta no es AIW0=5, el valor guardado en la memoria será el código binario equivalente a 5VCD, pero ¿cuál es éste?

En el caso general, los módulos EM231, EM232 y EM235 usan convertidores de 12 bits, por lo cual se puede representar la señal analógica por 4096 combinaciones posibles que se codifican regularmente en una escala lineal de 0 a 32000. Esto quiere decir que el registro asociado a una señal mínima (0 VCD o 0mA) tendrá un valor de 0, mientras que el asociado a una señal máxima (10 VCD o 20mA) tendrá el valor de 32000.

Para el caso de entradas de voltaje también es posible escoger el formato bipolar, en el cual el módulo es capaz de leer valores de -10 VCD a 10 VCD, a los cuales se les asocia una codificación binaria de -32000 a 32000.

Finalmente es importante recalcar que los rangos máximos de las entradas no necesariamente tienen que ser 10V y 20mA, los rangos máximos a los cuales corresponden las codificaciones máximas (+/- 32000) se pueden elegir mediante la configuración del módulo, la cual se puede cambiar mediante el DIP switch que posee el módulo.

En el caso de las entradas, la relación entre la magnitud de la señal de entrada y el código binario guardado en AIW# está dada por la relación lineal que se muestra en la Fig. 12-30.

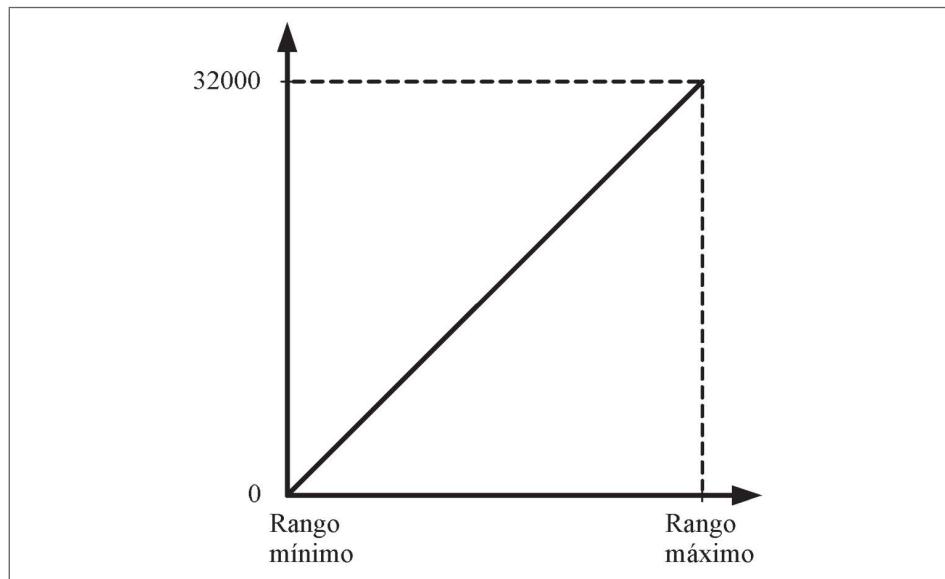


Fig. 12-30. Relación entre la entrada aplicada al módulo y la codificación usada para representarla en memoria.

Mientras que para el caso de las salidas, la relación que existe entre el código binario guardado en AQW# y la salida analógica asignada a dicha dirección se muestra en la Fig. 12-31.

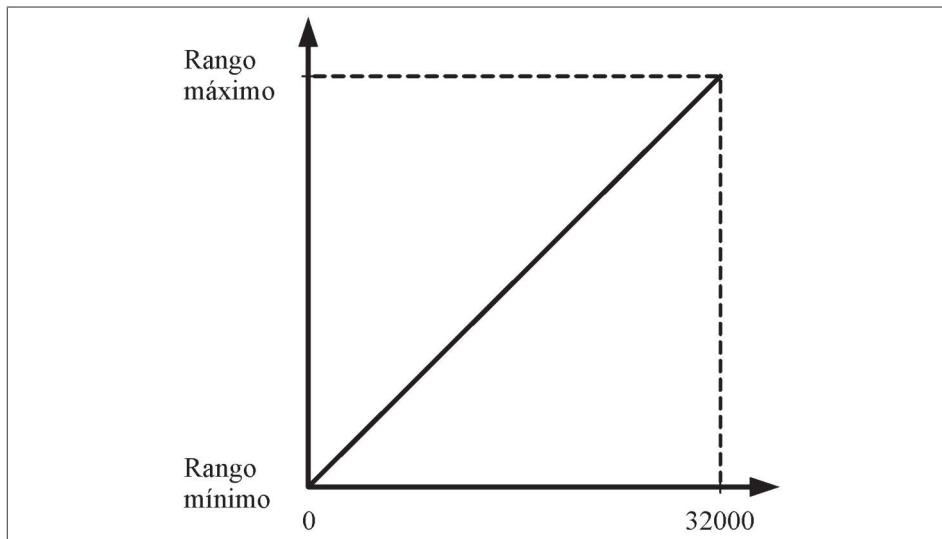


Fig. 12-31. Relación entre la codificación escrita en memoria y la salida medida del módulo.

Debido a que la relación es lineal, es posible calcular qué código se guardará en AIW#, cuando la señal de entrada tenga cierto valor, o qué valor de salida aparecerá en el módulo cuando se escriba tal valor en el registro AQW#.

Por ejemplo, considere una entrada conectada en AIW0, si el rango máximo y mínimo corresponde a 0-10 VCD, a los cuales les corresponden los valores de 0 y 32000 en el registro AIW0, entonces qué valor tendrá AIW0 cuando se le aplique una entrada de 5VCD al módulo. La respuesta es 16000, y se puede calcular mediante sencillas reglas de tres debido a que la relación entrada-registro es lineal.

Para ayudar a entender la codificación usada, se presenta el formato en el que se codifican los registros asociados a las entradas y salidas analógicas:

		Formato de salida de corriente															
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AQWX	0	Valor de salida 11 bits											0	0	0	0	
		Formato de salida de tensión													LSB		
AQWX	Valor de salida 12 bits													0	0	0	
		Formato unipolar													LSB		
AIWX	0	Valor de salida 12 bits											0	0	0	0	
		Formato bipolar													LSB		
AIWX	Valor de salida 12 bits													0	0	0	

Fig. 12-32. Formato de codificación usado para codificar entradas y salidas analógicas en los módulos del S7-200.

Codificaciones especiales - módulos EM231 RTD y EM231 TMP

La codificación de estos módulos difiere ya que el valor usado en la codificación no es fijo y depende de la configuración del módulo. En estos módulos la codificación guardada en los registros de entrada AIW# representa la temperatura, escalada por un factor de 10. Por ejemplo, si se conecta un RTD pt100ohm al módulo EM231 RTD, el valor leído en la entrada AIW# cuando la temperatura del RTD sea de 10 °C será de 100, mientras que el valor leído en el registro cuando la temperatura sea de 27 °C será de 270.

12.7.4 Especificaciones de los módulos analógicos

A continuación se muestran las especificaciones de cada módulo. Para el caso de los módulos de entrada en la Tabla 12-5 y para el caso de los módulos de salida en la Tabla 12-6.

General	EM231	EM235
Formato de palabra Bipolar Unipolar	-32000 a +32000 0 a 32000	-32000 a +32000 0 a 32000
Impedancia de entrada	>10 Mohms (voltaje) 250 ohm (corriente)	>10 Mohms (voltaje) 250 ohm (corriente)
Filtrado de entrada a partir de	-3 db a 3.1 kHz	-3 db a 3.1 kHz
Voltaje máximo de entrada	30 VCD	30 VCD
Corriente máxima de entrada	32mA	32mA
Resolución	12 bits CAD	12 bits CAD
Aislamiento	Ninguno	Ninguno
Tipo de entrada	Diferencial	Diferencial
Rangos de entrada		
Voltaje (unipolar)	0-10 V o 0-5V	0-10V, 0-5V, 0-1V, 0-500mV, 0-100mV, 0-50mV.
Voltaje (bipolar)	+ - 5V, o + - 2.5V	+ - 10V, + - 5 V, + - 2.5 V, + - 1 V, + - 500 mV, + - 250 mV, + - 100 mV, + - 50 mV, + - 25 mV.
Corriente	0 a 20mA	0-20mA
Resolución	Depende de la configuración	Depende de la configuración
Tiempo de conversión AD	< 250 microseg.	< 250 microseg.
Respuesta al escalón	1.5 ms al 95%	1.5 ms al 95%
Voltaje de alimentación.	20.4 a 28.8 VCD	20.4 a 28.8 VCD

Tabla 12-5. Especificaciones de los módulos de entradas EM231 y EM 235.

General	EM232	EM235
Aislamiento	Ninguno	Ninguno
Rango de señal Salida de Voltaje Salida de corriente	+/-10VCD 0 a 20mA	+/-10VCD 0 a 20mA
Resolución Voltaje Corriente	12 bits 11 bits	12 bits 11 bits
Formato de palabra Voltaje Corriente	-32000 a 32000 0 a 32000	-32000 a 32000 0 a 32000
Exactitud Peor caso 0° a 50 °C Voltaje Corriente Típica a 25 °C Voltaje Corriente	+/- 2% de plena escala +/- 2% de plena escala +/- 0.5% de plena escala +/- 0.5% de plena escala	+/- 2% de plena escala +/- 2% de plena escala +/- 0.5% de plena escala +/- 0.5% de plena escala
Tiempo de establecimiento Voltaje Corriente	100 microseg. 2 miliseg.	100 microseg. 2 miliseg.
Carga máxima Voltaje Corriente	5000 ohms 500 ohms	5000 ohms 500 ohms

Tabla 12-6. Especificaciones de los módulos de salidas EM232 y EM 235.

12.7.5 Configuración y calibración de los módulos de entrada

La configuración y calibración de los módulos de entradas analógicas permite la correcta operación del módulo. Los módulos de entrada se deben configurar mediante la adecuada configuración de un DIP switch que poseen integrado y consiste en elegir el rango en el cual trabajará el módulo analógico, ya sea de tensión o de corriente. Las siguientes tablas muestran las diferentes configuraciones usadas por los módulos EM235 y EM231 para elegir el rango de la entrada. El rango elegido se corresponderá con un 0 y un 32000 guardado en la memoria asociada a la entrada para unipolares y un -32000 a un 32000 para entradas bipolares.

Nótese que en ambas tablas la configuración de voltaje de 0-5 V es idéntica a la de corriente de 0-20mA, esto es debido a que la resistencia interna del módulo de 250 ohms convierte la señal de corriente de 0-20mA en una de voltaje de 0-5 V cuando se puentean las terminales R y +.

Configuración de entradas para EM235

Entradas unipolares						Rango máximo	Resolución
Sw. 1	Sw. 2	Sw. 3	Sw. 4	Sw. 5	Sw. 6		
ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	0-50mV	12.5microV
OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	0-100mV	25microV
ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	0-500mV	125microV
OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	0-1V	250microV
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	0-5V	1.25mV
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	0-20mA	5microAmp
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	0-10V	2.5mV
Entradas bipolares							
ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	+25mV	12.5micrV
OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	+50mV	25microV
OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	+100mV	50microV
ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	+250mV	125microV
OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	+500mV	250microV
OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF	+1V	500microV
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	+2.5V	1.25mV
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	+5V	2.5mV
OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	+10V	5mV

Tabla 12-7. Tabla de configuración del módulo EM235. Mediante el DIP switch localizado en su parte inferior derecha es posible elegir el rango de entrada.

Configuración de entrada para EM231

Entradas unipolares			Rango máximo	Resolución
Sw. 1	Sw. 2	Sw. 3		
ON	OFF	ON	0-10V	2.5mV
ON	ON	OFF	0-5V	1.25mV
ON	ON	OFF	0-20mA	20mA
Entradas bipolares				
OFF	OFF	ON	+5 VCD	2.5mV
OFF	ON	OFF	+2.5 VCD	1.25mV

Tabla 12-8. Tabla de configuración del módulo EM231. Mediante el DIP switch localizado en su parte inferior derecha es posible elegir el rango de entrada.

Los módulos RTD y TMP también se necesitan configurar mediante su DIP switch integrado. La configuración permite elegir el tipo de RTD o termopar a conectar en el módulo. Las tablas de configuración de dichos módulos se encuentran en el manual del usuario del S7-200.

M todo de calibraci n

Respecto al método de calibración, los módulos EM231 y EM235 pueden ser calibrados mediante potenciómetros internos, dichos potenciómetros están localizados en la parte inferior del módulo y sirven para modificar la ganancia (EM231 y EM235) y/o el offset (EM235) del amplificador de instrumentación localizado posteriormente al multiplexador (ver diagrama esquemático de módulos en las Figs.12-41 y 12-42).

Si el módulo se encuentra calibrado correctamente, entonces cuando se lean los valores (voltajes o corrientes) mínimos y máximos del rango se escribirá un 0 o un 32000 en el registro de la entrada asociada para entradas unipolares, o un -32000 y un 32000 para entradas bipolares.

Para calibrar el módulo analógico se siguen los siguientes pasos:

- Desconecte la alimentación al módulo.
- Seleccione mediante los DIP switches el rango de entrada deseado (ver Tablas 12-7 y 12-8).
- Conecte la alimentación.
- Aplique una entrada nula al módulo usando un sensor o una fuente de tensión o intensidad (idealmente esta entrada se debe asociar con un valor nulo leído en el registro asociado AIWX).*
- Lea el valor en la CPU para la entrada correspondiente.*
- Ajuste el potenciómetro de offset hasta que el valor leído en el CPU sea igual a cero.*
- Aplique la entrada de rango máximo al módulo.
- Lea el valor asociado en el CPU para la entrada correspondiente.
- Ajuste con el potenciómetro GAIN hasta que el valor en la CPU sea igual a 32000.
- * Sólo para EM235.

12.7.6 Diagramas de conexión

Todos los módulos deben ser energizados por una fuente externa de 24 VCD, es posible utilizar la fuente interna de 24 VCD del CPU en el que el módulo va a ser instalado.

Conexión de una salida

Cada salida tiene asociadas tres terminales etiquetadas M#, V# e I#, donde # representa el número de salida. La conexión depende de si se requiere una salida de corriente y/o de voltaje. Para una salida de voltaje hay que conectar la carga analógica entre el punto común M y la terminal de voltaje V. Mientras que si se necesita una salida de corriente hay que conectar la carga analógica entre el común M y la terminal de corriente I.

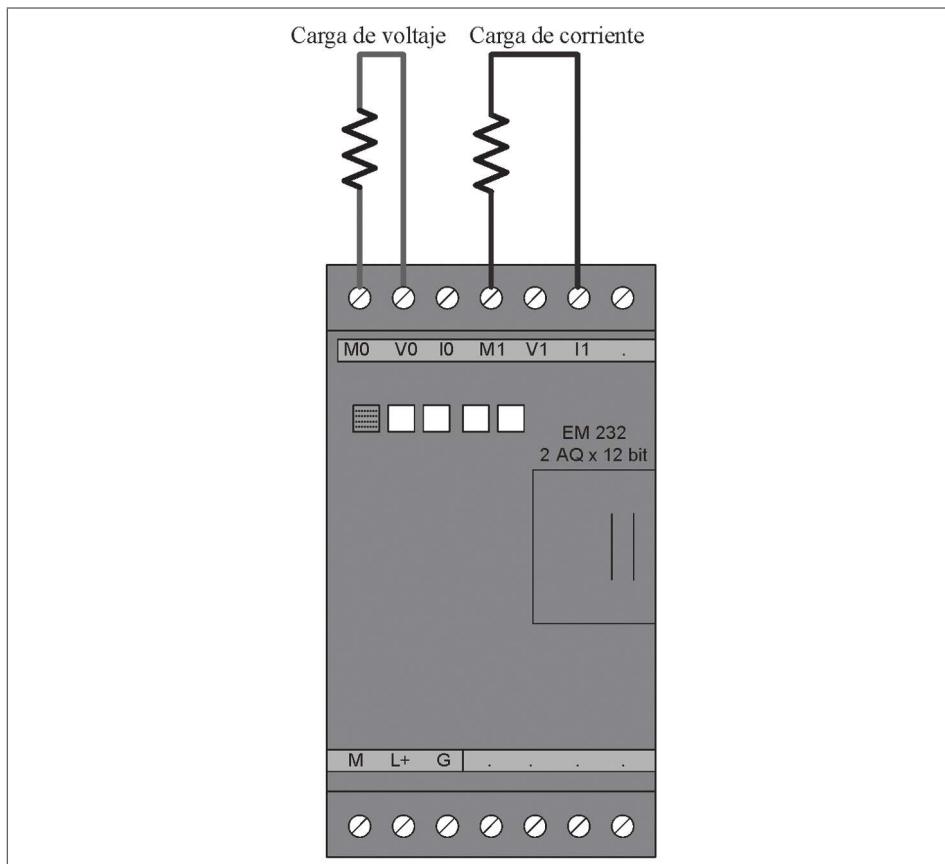


Fig. 12-33. Conexión de una salida de voltaje en canal 1 y una salida de corriente en el canal 2.

Por ejemplo, si la salida 0 del módulo EM232 es de voltaje y la salida 1 es de corriente, ¿cómo se deben realizar las conexiones?

Para la salida 0 se necesita conectar la carga entre M0 y V0, mientras que para la salida 1 se requiere conectar la carga entre M1 e I1.

Conexión de una entrada

Al igual que las salidas, se debe de elegir si se va a medir corriente y/o voltaje dependiendo exclusivamente del tipo de conexión que se realice.

Al igual que las salidas, las entradas también tienen tres terminales que son etiquetadas como: RA, A+ y A- para la primera entrada, RB, B+ y B- para la segunda y así sucesivamente hasta llegar a la cuarta entrada etiquetada como RD, D+ y D-.

Entrada de voltaje

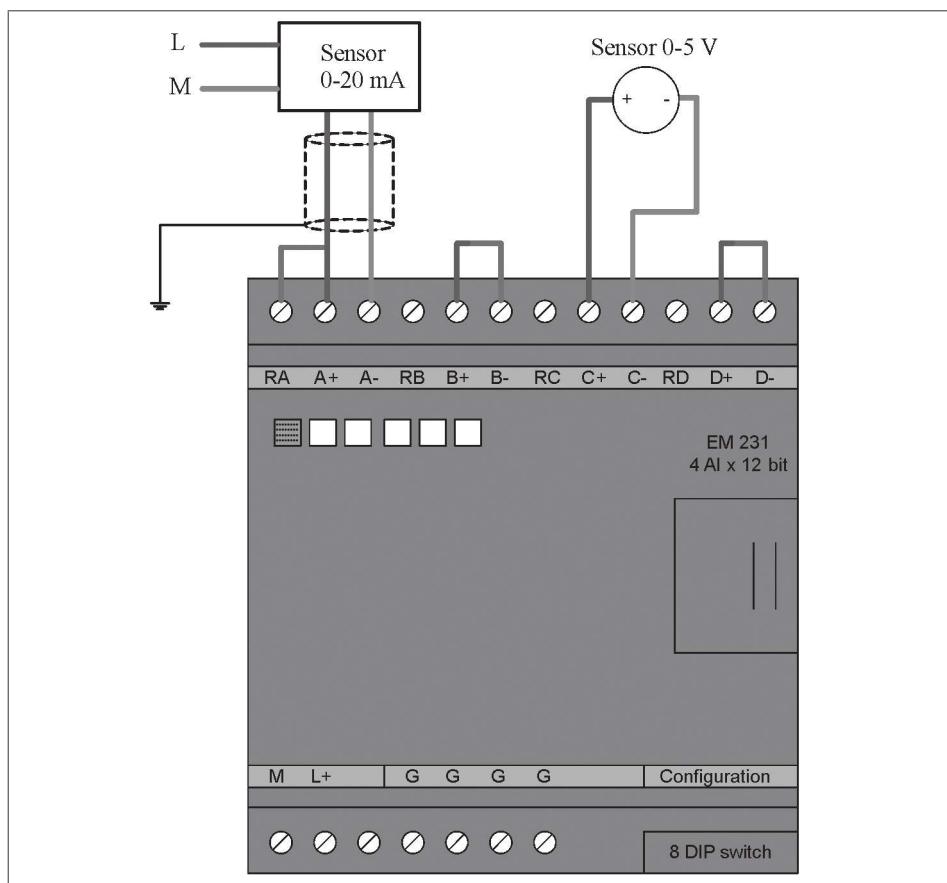


Fig. 12-34. Conexión de entradas, una entrada de corriente en canal a y una de voltaje en el canal c.

La entrada de voltaje se conecta directamente entre las terminales positiva y negativa de la entrada. Por ejemplo, en la Fig. 12-34 la entrada 3 (C) del módulo EM231 es elegida como entrada de voltaje. Para conectarle la señal de voltaje solo es necesario conectar el positivo de la fuente de señal a C+ y el negativo a C- como lo muestra la figura.

Importante: las señales de voltaje solamente necesitan dos terminales, cuando use señales de voltaje no es necesario conectar la terminal R (A, B, C o D). El voltaje leído por el módulo es el voltaje diferencial entre las terminales positiva y negativa de la entrada.

Entrada de corriente

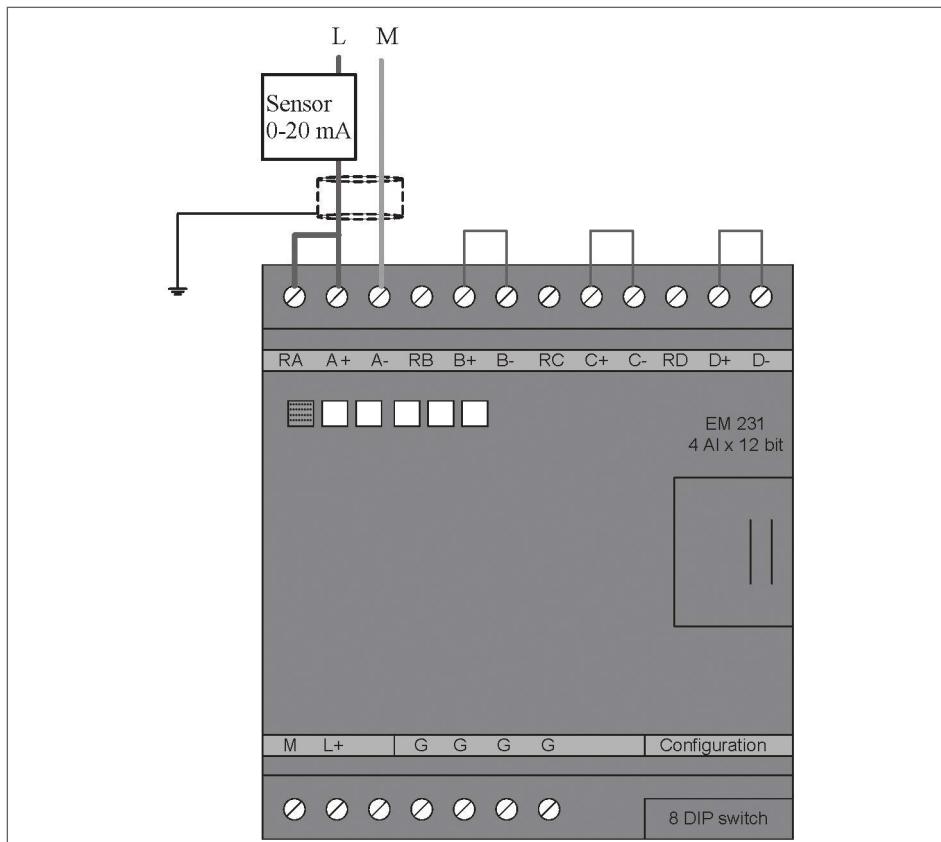


Fig. 12-35. Conexión de un transmisor de 2 hilos en el canal a.

Para el caso de las entradas de corriente es necesario utilizar las tres terminales (R,+ y -). La diferencia entre la conexión de voltaje y corriente para el caso de las entradas es la existencia de un puente entre las terminales + y R.

La Fig. 12-35 muestra el diagrama de conexión para un transmisor de 2 hilos de 4-20mA, este transmisor necesita ser energizado por una fuente externa. El transmisor se coloca en serie con la fuente. La fuente usada para energizar el transmisor puede ser externa o puede ser la fuente interna del CPU. La conexión en serie es negativo de fuente a negativo de módulo, positivo de fuente a positivo transmisor y negativo de transmisor a positivo de módulo (+ y R).

Entrada no usada

Si una entrada no va a ser utilizada es posible dejarla sin conectar o realizar un puente entre las terminales positiva y negativa de la entrada para asegurar una diferencia de potencial 0 entre estas entradas y minimizar el ruido. Vea los canales no usados en las Figs. 12-34 - 12-35.

Entradas RTD

La configuración del tipo de RTD, así como las conexiones (2, 3 o 4 hilos), dependen de la configuración del DIP switch del módulo. A continuación se muestra cómo realizar la conexión de una entrada RTD de 4 hilos.

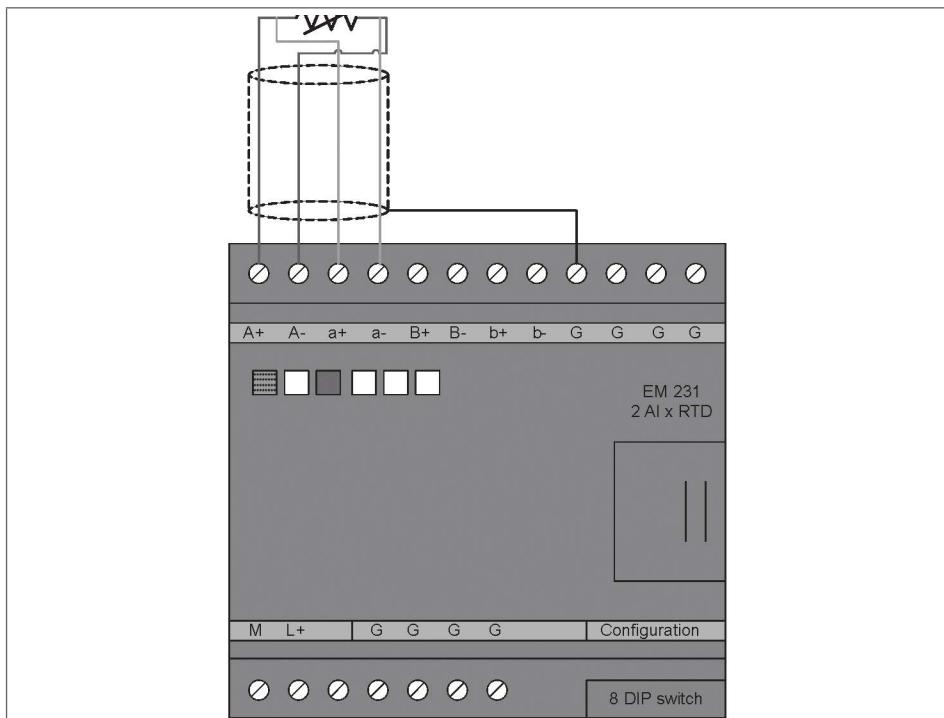


Fig. 12-36. Conexión de una entrada RTD en el canal a, el LED SF se activa debido a que se detecta circuito abierto en el canal b.

Si la otra entrada disponible no se conecta, el LED SF se activará, debido a que se detecta un circuito abierto. Si se quiere eliminar la condición de circuito abierto y apagar SF, se puede conectar la entrada libre en paralelo con la usada, así las dos leerán el mismo valor de resistencia. Esta conexión se muestra en la Fig. 12-37.

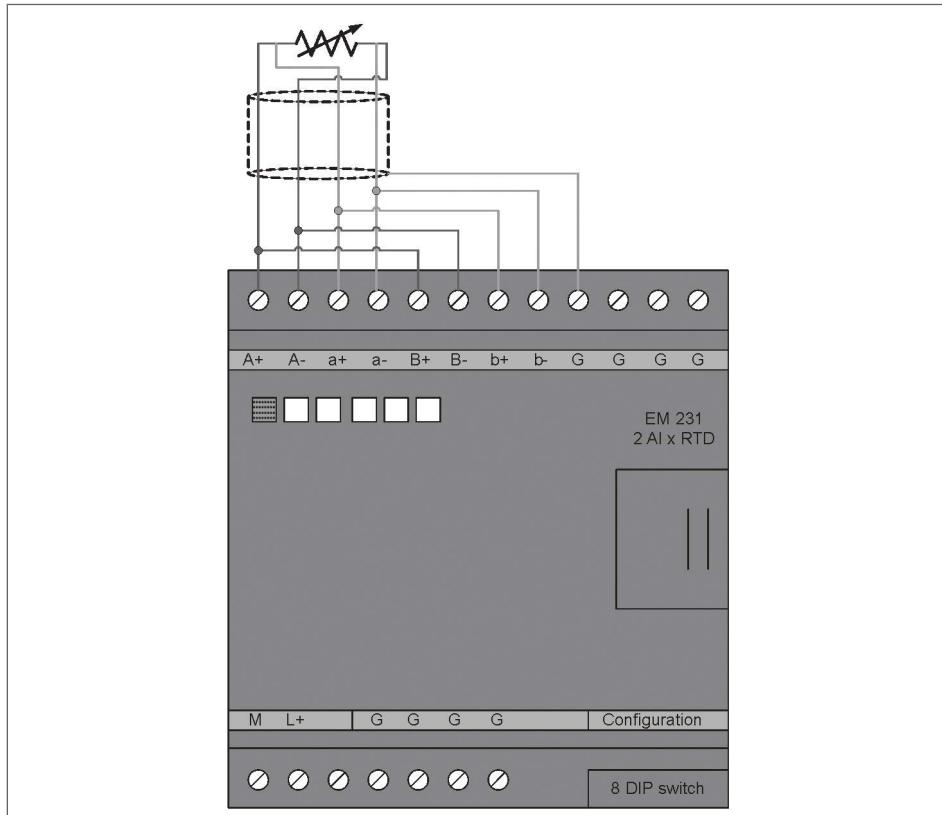


Fig. 12-37. Si el canal b no se utiliza, es posible conectarlo en paralelo con el canal a para eliminar la condición de circuito abierto.

También es posible usar una resistencia de valor fijo para engañar a la entrada no utilizada. La Fig. 12-38 muestra el arreglo:

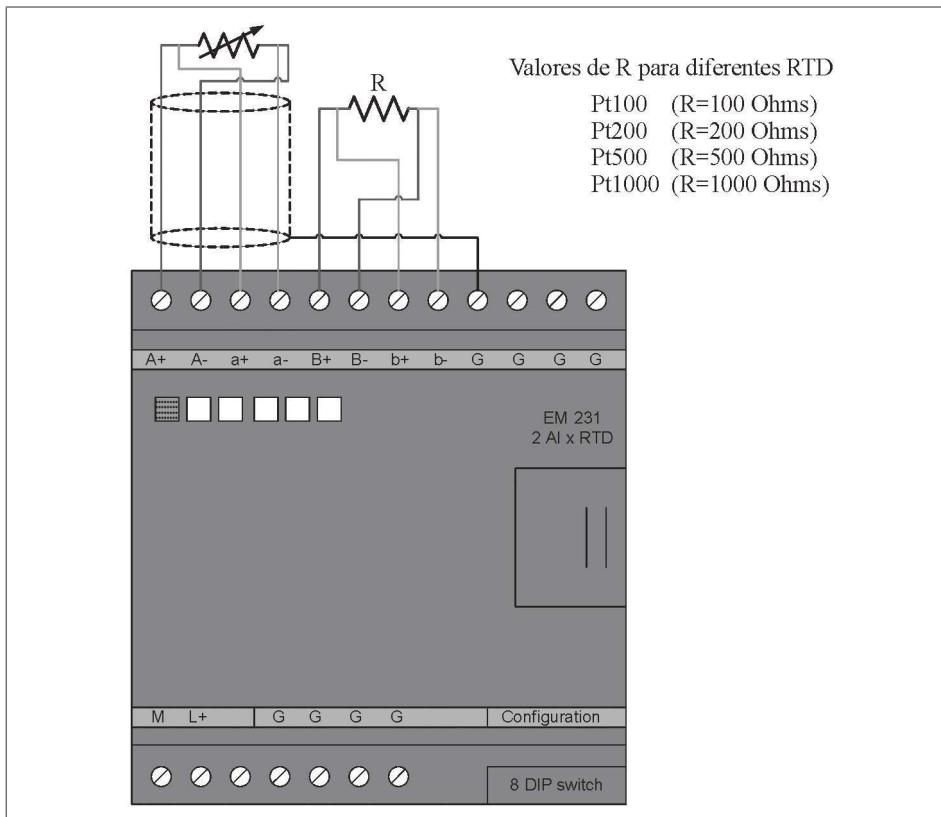


Fig. 12-38. Conexión de una resistencia de valor fijo en el canal b para eliminar la condición de circuito abierto.

El valor de resistencia se elige para generar una valor nulo en el registro asociado a la entrada. Por ejemplo, en el caso de un Pt100, un valor de resistencia de 100 ohms corresponde a un valor de 0 grados.

Entradas termopar

Los módulos de entradas termopar son capaces de leer voltajes muy pequeños provenientes de entradas termopares, los módulos se conectan directamente al termopar sin la necesidad de algún transmisor. El módulo lee la diferencia de potencial entre sus terminales. La Fig. 12-39 muestra la conexión de un módulo EM231 con 4 entradas para termopar.

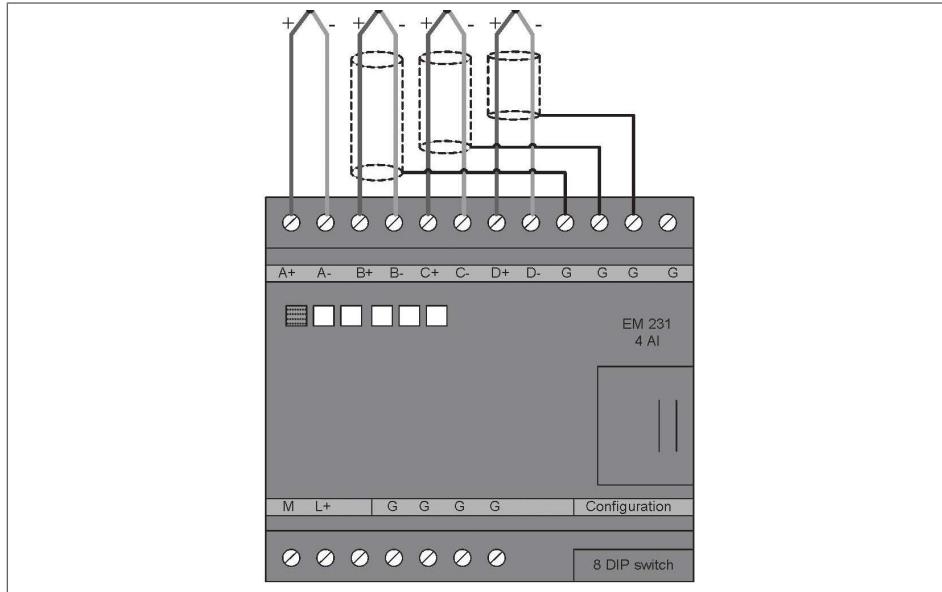


Fig. 12-39. Conexión del módulo de entradas termopar.

Si alguna entrada no es utilizada, es posible cortocircuitarlas o conectarlas en paralelo con otra entrada para eliminar la condición de circuito abierto. Estas conexiones se muestran en la Fig. 12-40.

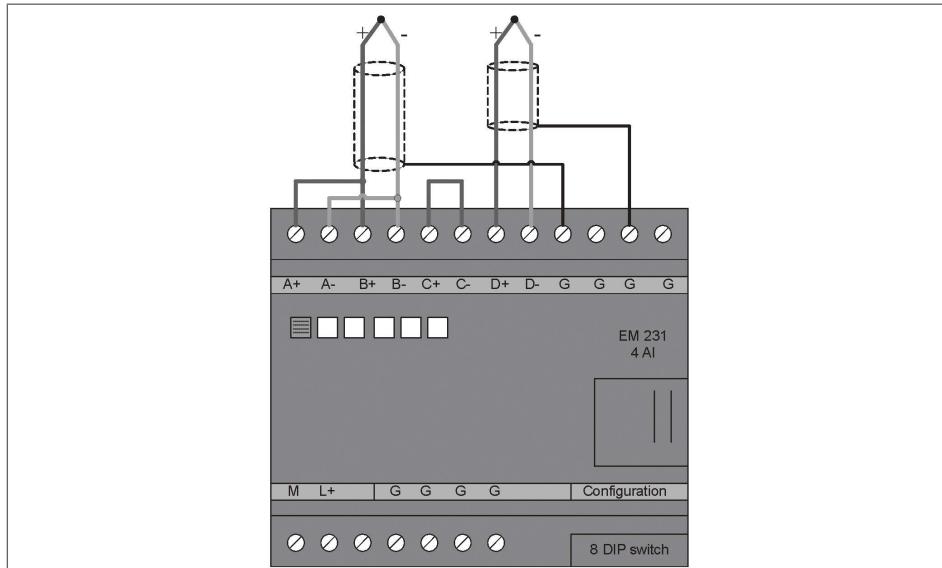


Fig. 12-40. Al igual que en el módulo RTD es necesario conectar en paralelo o cortocircuitar las entradas no usadas.

Diagramas esquemáticos de módulos analógicos

Desde la Fig. 12-41 hasta la 12-43 se muestran las etapas de las que constan los módulos de entradas y salidas analógicas. En los diagramas se separa con un cuadro cada bloque del módulo.

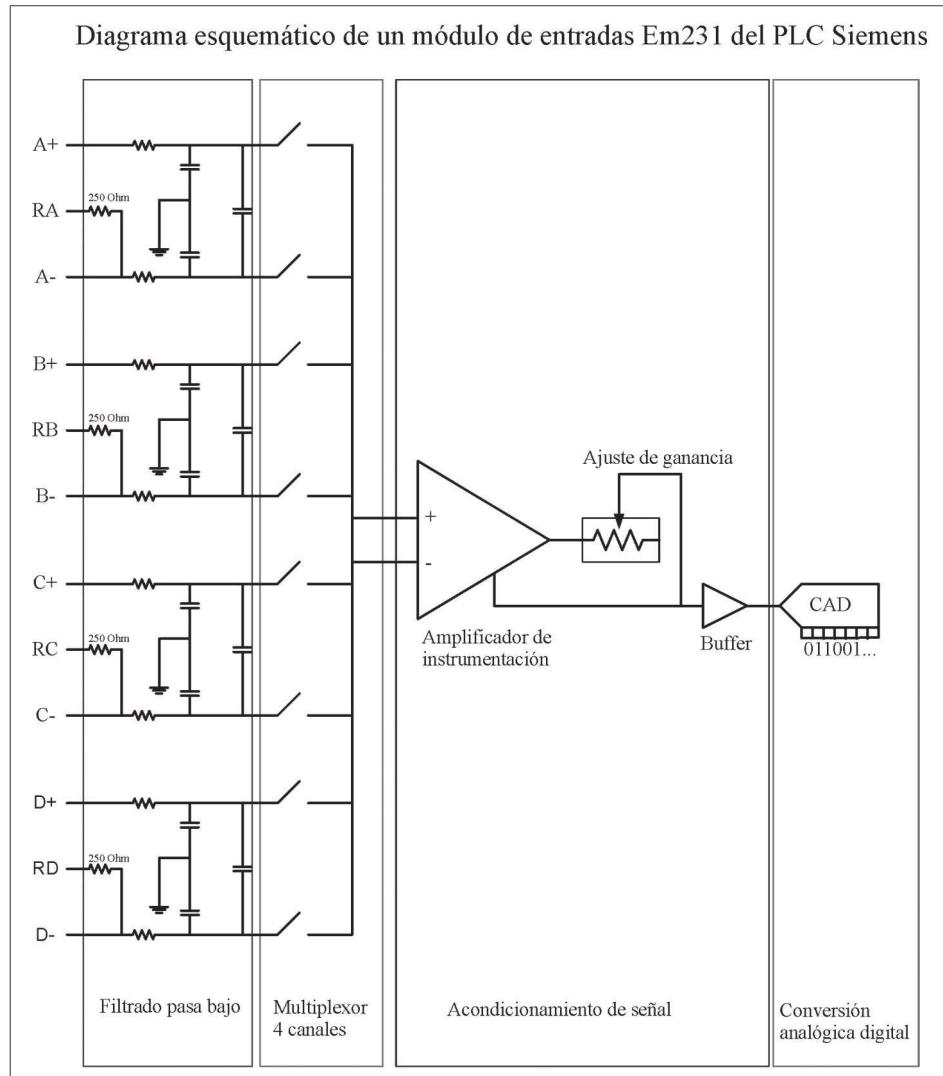


Fig. 12-41. Esquemático del módulo de entradas EM231.

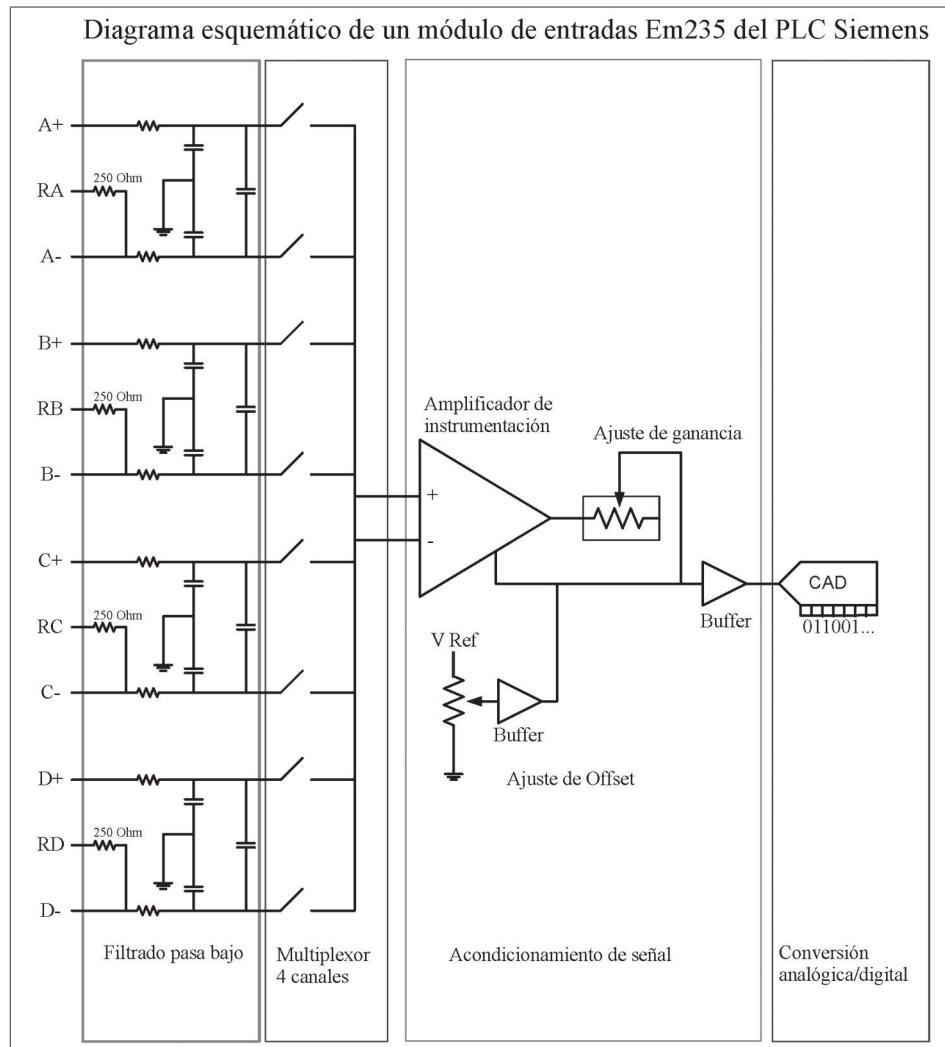


Figura 12.42. Esquemático del módulo de entradas EM235

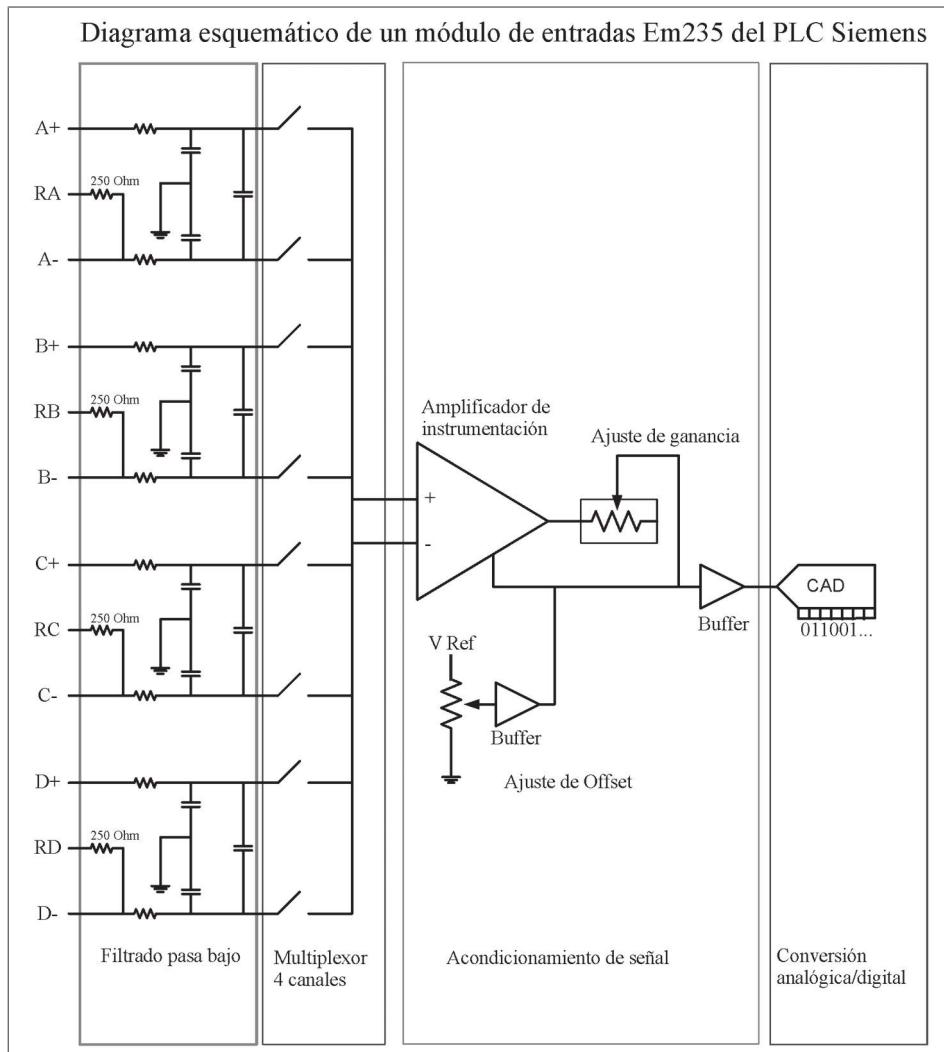


Fig. 12-43. Esquemático del módulo de salidas EM232 y EM235.

12.8 Ejemplos

El propósito del presente ejemplo es mostrar que las funciones a nivel palabra pueden ser usadas para manejar datos analógicos. Dentro de éstas, las instrucciones que se usarán con más frecuencia son las funciones de transferencia, las matemáticas y las de comparación.

12.8.1 Primer ejemplo: Prueba del módulo analógico

A continuación, como primer ejemplo se muestra una prueba realizada a un módulo analógico para verificar su correcto funcionamiento. La prueba consiste en leer el dato analógico de la entrada 0, después mover el valor leído en el registro AIW0 a AQW0. Si el voltaje generado en la salida analógica 0 es idéntico al voltaje de entrada en la entrada analógica 0, entonces el módulo está funcionando correctamente, ya que esto indica que se realizaron adecuadamente las conversiones AD/DA, la comunicación módulo-CPU y la lógica del programa.

Primer paso: realice el siguiente programa en MicroWin32.

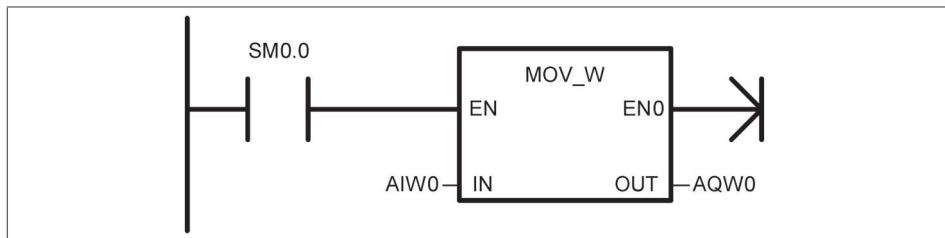


Fig. 12-44. Prueba de funcionamiento a un módulo analógico.

Segundo paso: Verifique la correcta configuración del módulo de entradas y de salidas para leer y escribir voltaje 0-10 VCD respectivamente (ver Tablas 12-7 y 12-8).

Tercer paso: Conecte los módulos analógico al CPU y descargue el programa.

Cuarto paso: Verifique, con la ayuda de un voltímetro, que el voltaje en la entrada analógica 0 es idéntico al voltaje de la salida analógica 0.

Ejercicio:

¿Cómo modificaría el programa para que a la señal de 0-10 VCD en AIW0 le corresponda una señal equivalente de 0-5 VCD en AQW0? Recuerde que todas las funciones a nivel palabra pueden ser usadas para manipular los datos analógicos.

12.8.2 Ejemplo 2: Alarmas

Considere que se usa un sensor de presión conectado a AIW0 que tiene una salida de 4-20mA que es equivalente linealmente a un rango de presión de 0-15 PSI. Active una alarma de nivel alto en Q0.0 si la salida del sensor es inferior a 7.5 PSI.

El programa de PLC solo cuenta con un renglón y éste está dado por:

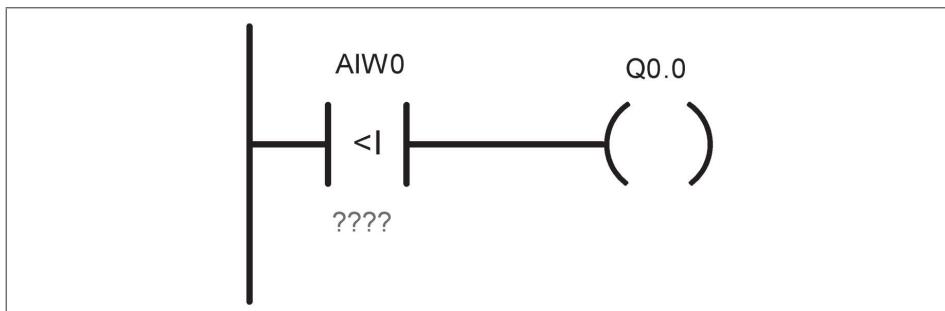


Fig. 12-45. Las condiciones de alarma (baja o alta) se realizan con funciones de comparación a nivel palabra.

El problema aquí es saber qué valor le corresponde una presión de 7.5 PSI a AIW0. Para esto hay que tomar en cuenta la relación entrada - salida del sensor.

$$0 \text{ PSI} - 4\text{mA}$$

$$15 \text{ PSI} - 20\text{mA}$$

Además, si se usa un módulo EM231, EM235 se tiene que el rango de 0-20mA se codifica en el rango de 0-32000, entonces:

$$0 \text{ PSI} - 4\text{mA} - 6400$$

$$15 \text{ PSI} - 20\text{mA} - 32000$$

De esta relación se puede obtener el valor de 7.5 PSI por una regla de tres simple: 7.5 PSI equivale a un valor de 19200 codificado en AIW0.

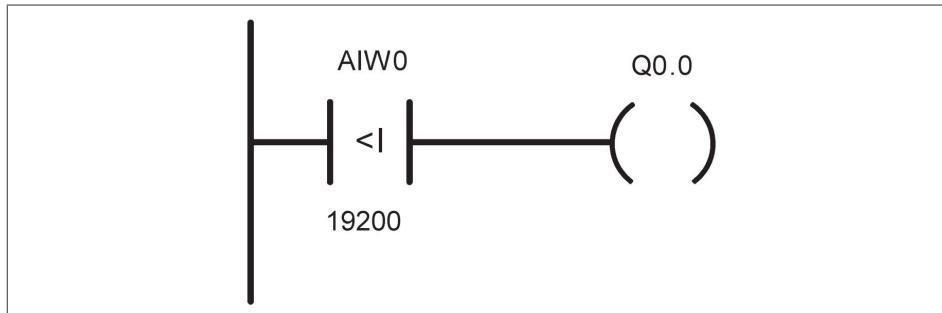


Fig. 12-46. La salida se activa cuando la entrada es menor a 19200=7.5 PSI.

12.8.3 El concepto de escala

Como se vio hasta este punto, dentro de la memoria del PLC no se almacenan datos de corriente o de voltaje, lo que se almacena en la memoria asociada a una señal analógica es la codificación binaria usada para representar dicha señal, ya sea de corriente o de voltaje.

Tal y como se mostró en secciones anteriores, para el S7-200 los valores máximos y mínimos de la codificación binaria usada para señales unipolares son 0 y 32000, los cuales representan el mínimo y el máximo de la escala de rango pleno, mientras que para señales bipolares son -32000 y 32000.

Entonces, el valor guardado en memoria no representa la magnitud en voltaje o corriente de la señal analógica, mucho menos representa el valor de la variable de proceso; bueno, en realidad sí representa ambos, pero de una manera escalada.

En ocasiones, es de mayor utilidad guardar el valor de la señal analógica en escalas diferentes a la usual de 0-32000, sobre todo en aplicaciones de monitoreo. Por ejemplo, suponga que se requiere monitorear la presión en una TD200, con este fin se conecta un sensor de presión de 4-20mA en la entrada analógica 0. Claramente, si se monitorea directamente el registro AIW0 en el TD200 no se podrá leer directamente la presión, sino su versión escalada (si se asume un sensor de presión lineal), esto es, se leerán valores de 6400-32000. Si se pretende monitorear la presión real entonces es necesario volver a escalar el registro AIW0 a un nuevo registro VW900 en el cual se guarde la señal escalada.

*AIW0
6400-32000*

*VW900
0-128 PSI*

Escala

Suponiendo un sensor bastante lineal, la relación entre la variable de proceso (entrada del sensor) y su salida estará dada por una línea recta.

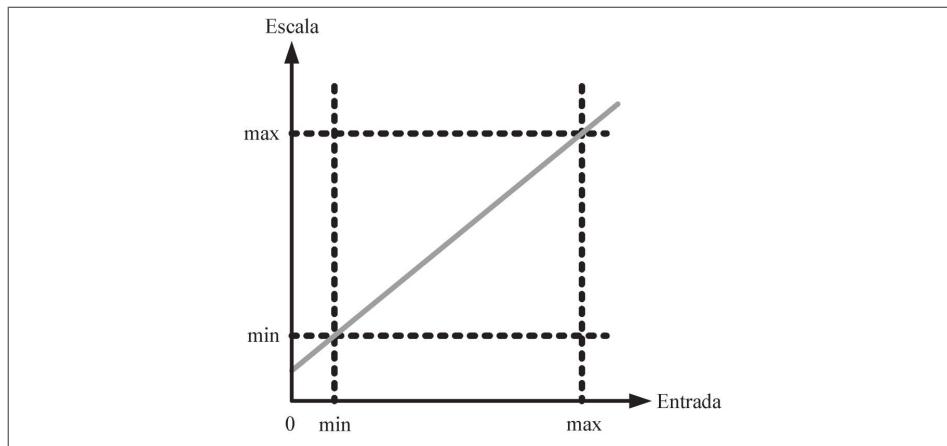


Fig. 12-47. El escalamiento de una señal relaciona el rango de entrada y el rango de la señal escalada por una relación lineal (línea recta).

Nótese que la ecuación con la que se encuentra el valor de y para cada valor de x está dada por:

$$y = Mx + B$$

Donde x es la entrada, y es la salida escalada, M es la pendiente y B es el offset.

El valor de la pendiente y del offset se calcula de acuerdo a las siguientes fórmulas.

Para la pendiente se tiene:

$$M = \left(\frac{L}{N} \right)$$

Donde los enteros L y N se expresan por:

$$L = \text{MÁX (ESCALA)} - \text{MIN (ESCALA)}$$

$$N = \text{MÁX (ENTRADA)} - \text{MIN (ENTRADA)}$$

Mientras que el término de offset B se calcula por:

$$B = \text{MIN(ESCALA)} - \left(\frac{L}{N} \right) \text{MIN (ENTRADA)}$$

Entonces, para cambiar la escala de una señal sólo es necesario multiplicar la señal por un valor y sumarle otro valor. Esto es de especial importancia en el uso de señales analógicas, ya que permite la posibilidad de visualizar el dato en una escala completamente diferente a la estándar de 0-32000.

Nótese que regularmente el valor de la pendiente es un número racional, el cual se puede expresar por la división de dos números enteros. En el caso general una escala se realiza de la siguiente manera:

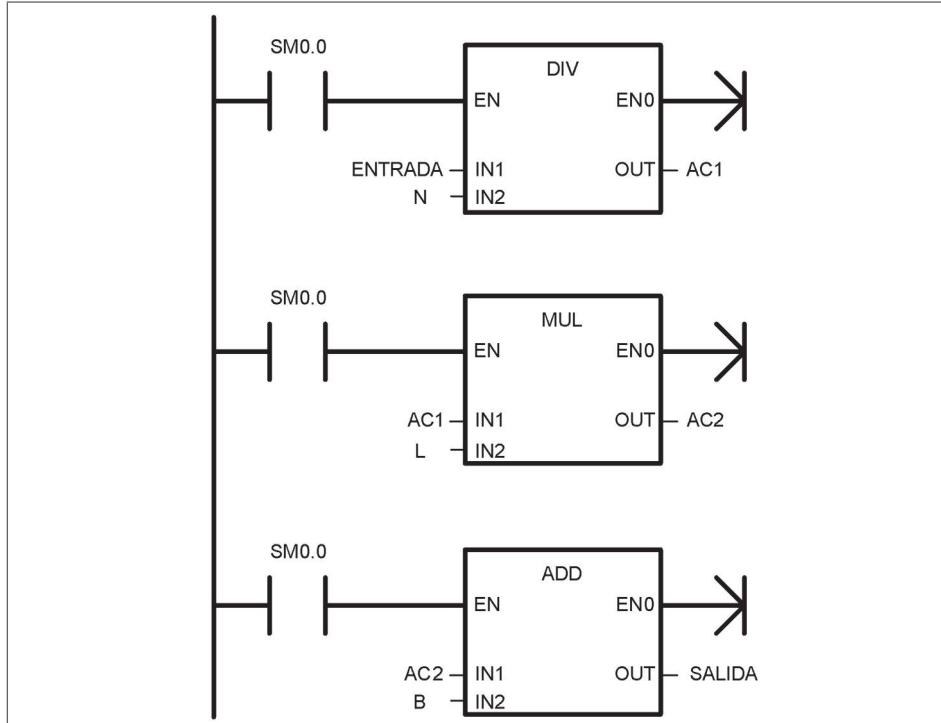


Fig. 12-48. Escalamiento de la señal ENTRADA a la señal SALIDA.

Para el caso particular del ejemplo se calculan los valores de la pendiente: $M=128/25600$ y offset $B=-32$. Nótese que se usan las operaciones con coma flotante para lograr una mejor resolución, en orden de usar las operaciones con coma flotante es necesario pasar las señales analógicas a un formato de doble palabra real. Las Figs. 12-51 y 12-52 muestran ejemplos para convertir señales de formato palabra a doble palabra.

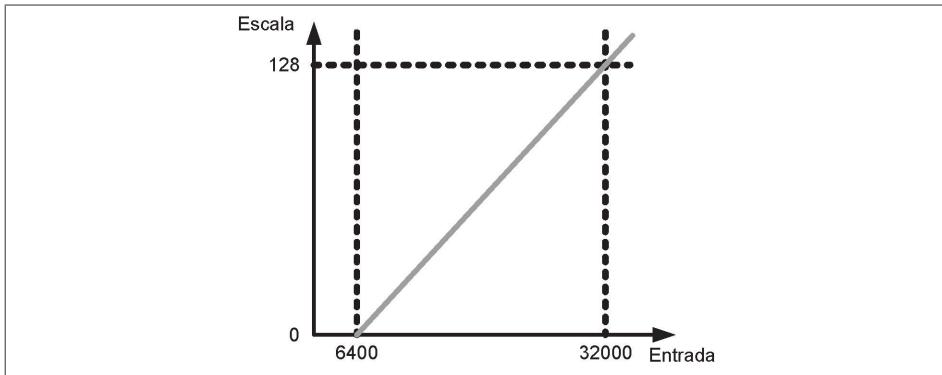


Fig. 12-49. Parámetros de la escala para el caso del ejemplo.

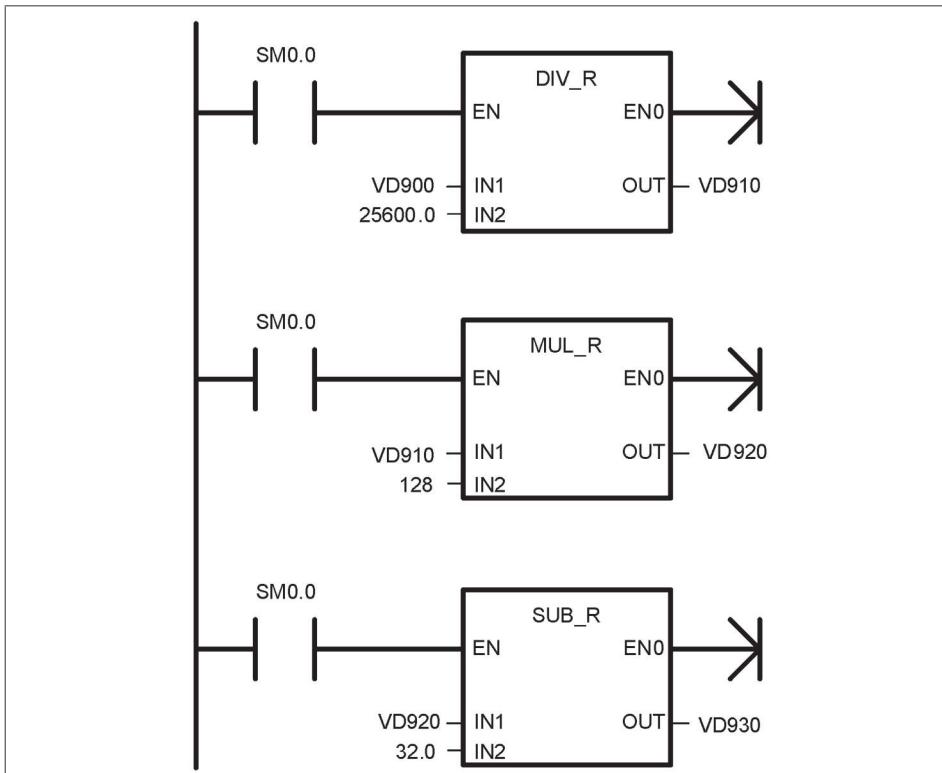


Fig. 12-50. Escalamiento del registro VD900 al VD930.

Para pasar la entrada de un formato entero con signo a un formato de doble palabra real (32 bits) es necesario el siguiente bloque en el cual la conversión la realiza la instrucción DI_R.

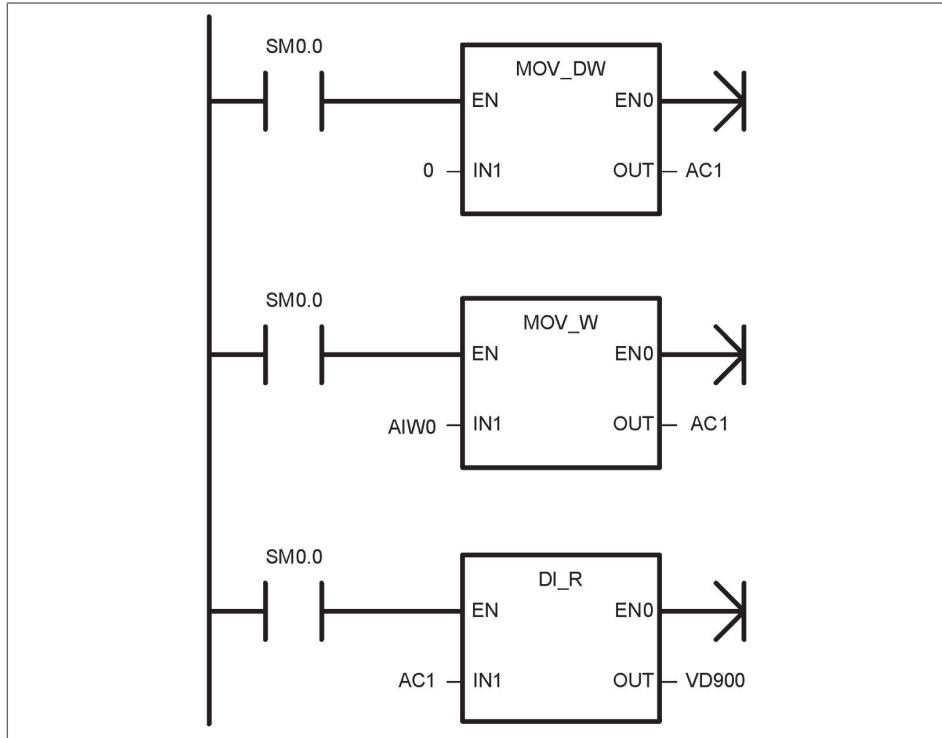


Fig. 12-51. Conversión de formato: AIW0 (16 bits) a VD900 (32 bits).

Por el contrario, en ocasiones también es necesario regresar del formato real (32 bits) al entero (16 bits). En esta ocasión el encargado de hacerlo es el siguiente bloque:

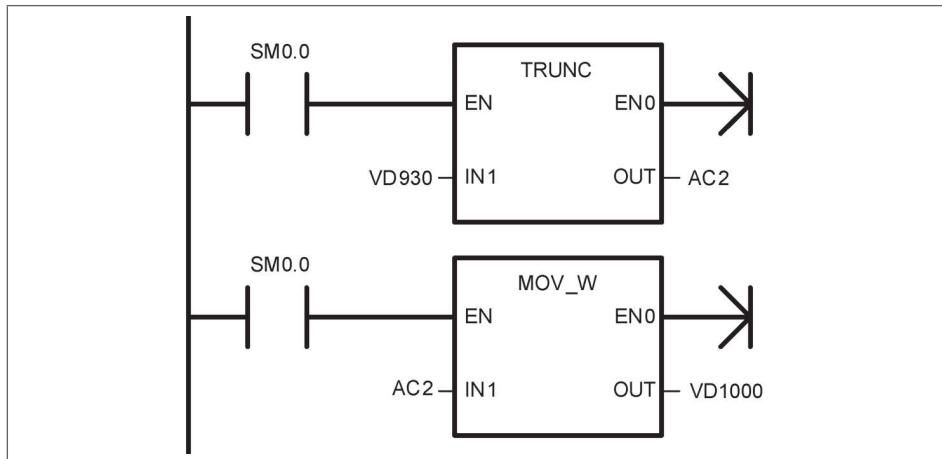


Fig. 12-52. Conversión de formato: VD930 (32 bits) a VW1000 (16 bits).

En el cual la operación TRUNC convierte de real a entero.

Ejemplo 3:

Suponga que se desea monitorear en la memoria VW930 el valor de la variable medida por la señal analógica AIW0 en la cual está conectado un sensor inductivo de distancia que tiene una salida de voltaje de 0-10 VCD que corresponde a un rango de distancia de 20-150 mm. El propósito del programa es guardar en VW900 el valor de la variable medida.

Procedimiento: un buen primer paso es graficar la relación escala - salida, la cual se muestra en la Fig. 12-53.

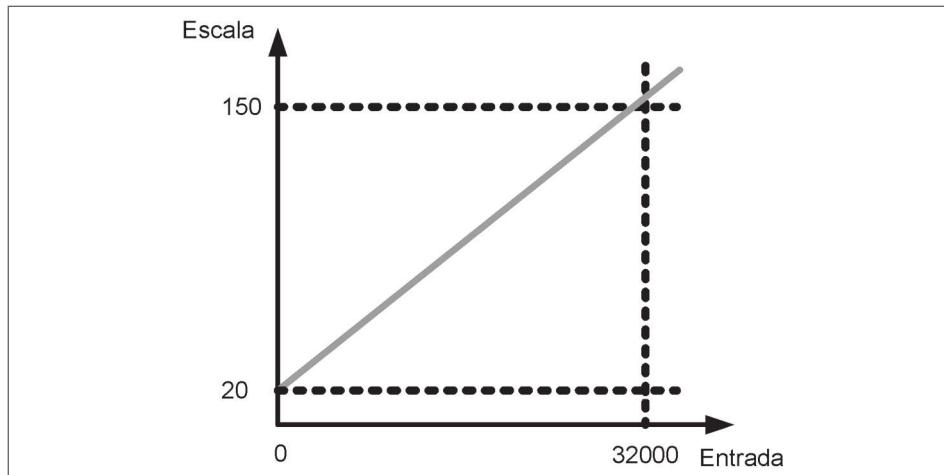


Fig. 12-53. Relación entre la variable de entrada (0-10 V) y la variable escalada (20-150).

De las ecuaciones se obtienen la pendiente y el offset necesarios para realizar la escala:

$$M=130/32000$$

$$B=20$$

El programa consiste en multiplicar AIW0 por la pendiente y al resultado sumarle el offset calculado

$$VW930=AIW0*m+b$$

Donde el rango de AIW0 es de 0-32000 y el de VW900 es de 20-150.

La Fig. 12-54 muestra el programa final dentro de MicroWin:

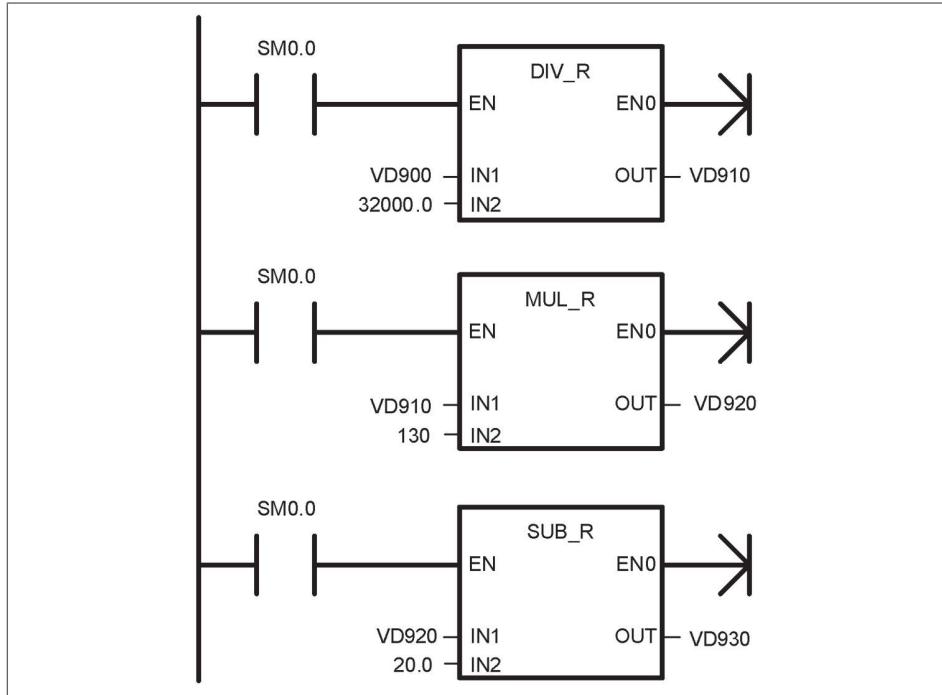


Fig. 12-54. Escalamiento de una entrada analógica de 0-32000 a un valor de 20-150.

Nota: Al igual que en el programa anterior, la entrada se pasa a formato real en VD900 para manejar instrucciones de coma flotante y mejorar la resolución.

Ejercicio: Medición de voltaje

Suponga que es necesario almacenar el valor de voltaje entregado por el sensor en lugar de la distancia, calcule los parámetros de la escala y elabore el programa.

12.8.4 Control de velocidad de conveyor

Suponga que el control de velocidad de un conveyor se guarda en porcentaje en la memoria VW500 mediante un TD200. Con el fin de controlar la velocidad, la salida del PLC AQW0 está conectada a un drive que mueve el conveyor a una velocidad máxima de 2.5 mts/seg cuando el PLC manda una señal de voltaje de 20mA y a una velocidad nula cuando el PLC manda una señal de voltaje de 4mA.

Elabore el programa que convierte la entrada en porcentaje VW500 a una salida escalada de 4-20mA en AQW0.

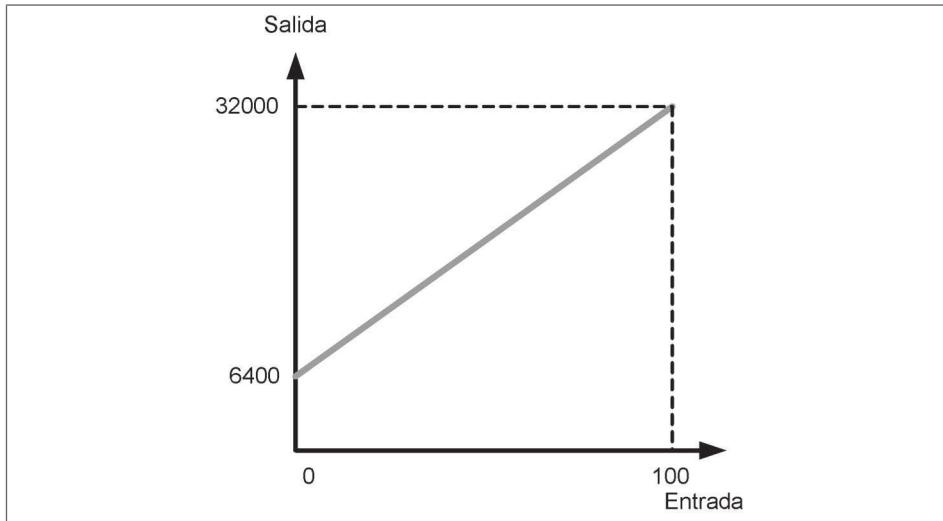


Fig. 12-55. Relación entre la entrada (0-100) y la salida (4-20mA).

Los valores de la pendiente y el offset son:

$$M = (32000 - 6400) / (100 - 0) = 25600 / 100 = 256$$

$$B = 6400$$

Por lo tanto el programa que escala VW500 de (0-100) a AQW0 de (6400-32000) se muestra en la Fig. 12-56. Nótese que debido a que la pendiente es un número entero no es necesaria la división implícita en la Fig. 12-50.

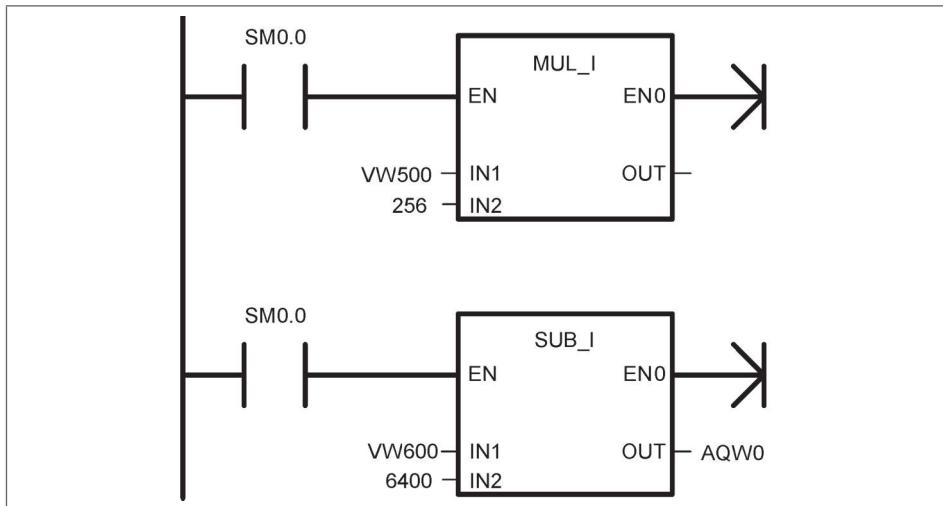


Fig. 12-56. Programa que convierte el valor del registro VW500 (0-100) en un equivalente 4-20mA en la salida analógica 0.

Ejercicio

Repita el ejemplo anterior, pero utilice, en lugar de una señal de 4-20mA, una señal de 0-10 VCD como salida.

12.8.5 Control ON-OFF

A continuación se presenta un controlador ON-OFF como preámbulo al control en lazo cerrado. Éste posee una salida discreta que se activa y se desactiva cuando la variable de proceso sale de cierta banda que se llama *banda proporcional*. El control ON-OFF se ilustra en la siguiente imagen:

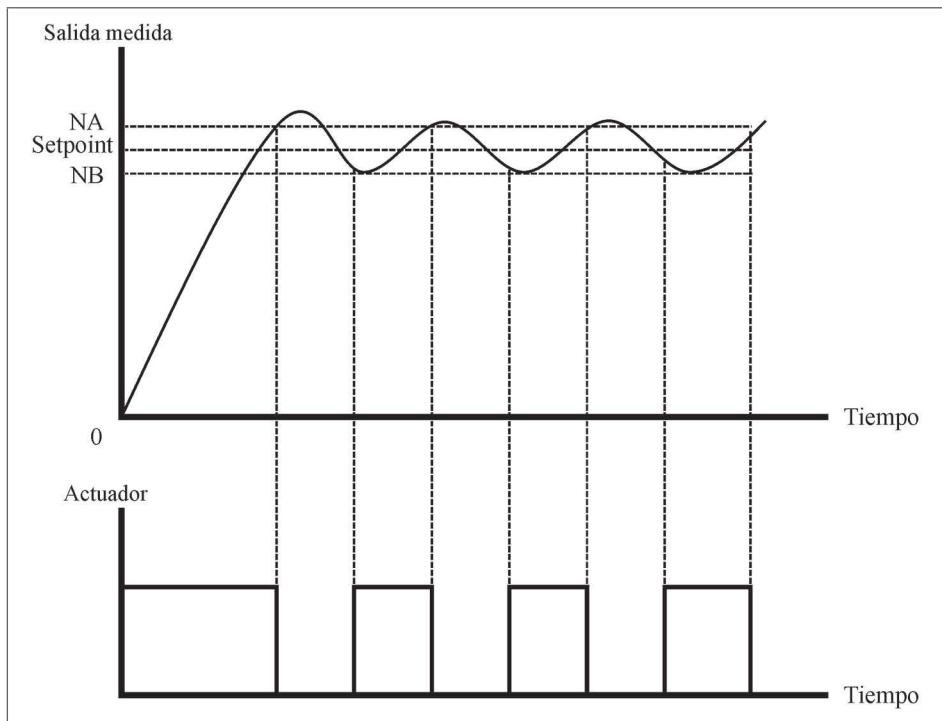


Fig. 12-57. Controlador ON-OFF, la variable de proceso aumenta al activar el actuador.

Nótese que a una banda más ancha el controlador tendrá menos exactitud. Por el contrario, una banda proporcional pequeña provoca que el controlador sea más exacto, pero esto ocasiona también que el actuador esté alternando de manera más rápida entre sus estados de encendido y apagado, lo cual provocará más desgaste. Por lo tanto, en el control ON-OFF hay que tener un compromiso entre la exactitud del control y la vida útil del actuador.

El funcionamiento del control ON-OFF se puede deducir de la Fig. 12-57. Nótese que la salida se enciende cuando la variable medida es inferior a NB y se apaga cuando la variable es superior a NA. Entonces el control ON-OFF no es más que un circuito de paro y arranque en el cual la condición de arranque del actuador es que la variable medida sea inferior a NB y la condición de paro sea mayor a NA.

Además existe un caso contrario. Por ejemplo, si la figura de la gráfica se pudiera correlacionar con un proceso de temperatura en el cual si la temperatura no ha llegado a su límite se acciona una resistencia, cuando la temperatura llega a NA la resistencia se apaga y así sucesivamente; pero ¿qué pasaría si en lugar de una resistencia como actuador se tuviera un enfriador (por ejemplo un abanico)? Es decir, la imagen anterior corresponde a un proceso en el cual el activar el actuador aumenta la variable medida, pero también existe el caso contrario en el cual la activación del actuador provoca un decremento en la variable medida, en este caso lo único que se tiene que hacer es invertir las condiciones de paro y arranque:

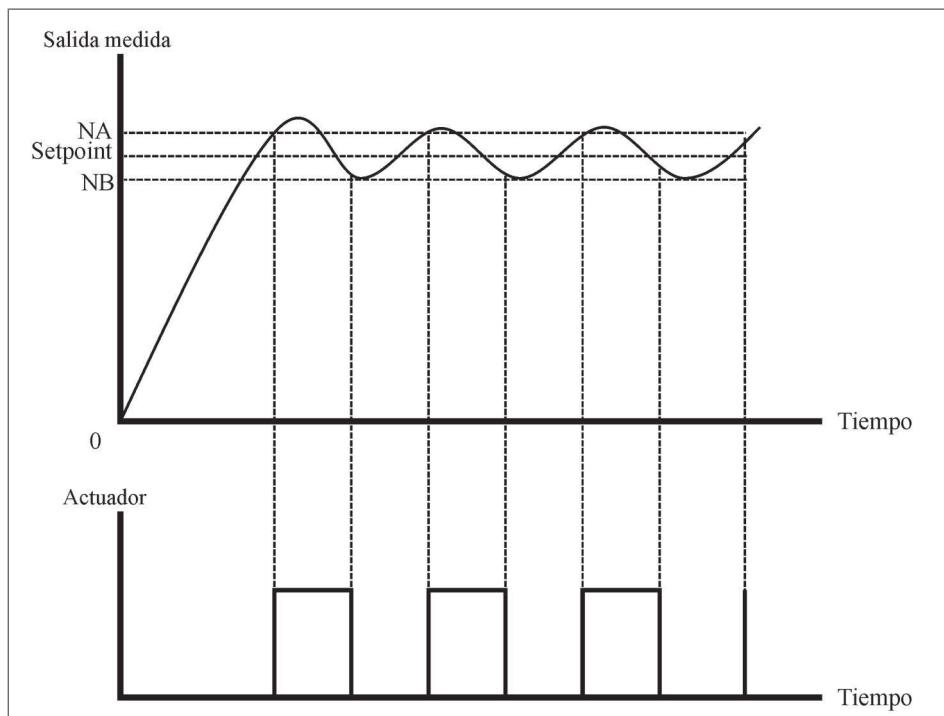


Fig. 12-58. Control ON-OFF, la variable de proceso disminuye al activar el actuador.

La Fig. 12-59 muestra un ejemplo de programa usando MicroWin. En los primeros dos renglones se calculan los límites de nivel alto y bajo, y en los últimos dos renglones se activa y se desactiva la salida cuando ocurre la condición de paro y la condición de arranque respectivamente.

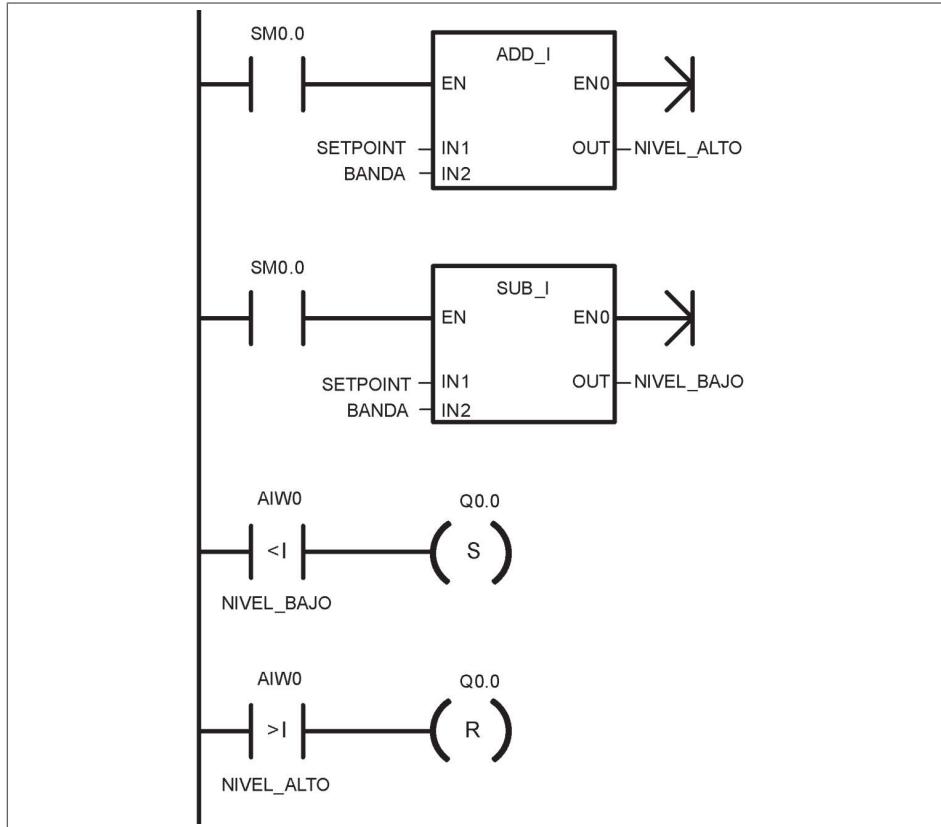


Fig. 12-59. Programa de control ON-OFF.

Se deja como ejercicio al lector elaborar el programa que realice lo contrario, es decir que active el actuador en Q0.0 cuando se detecte nivel alto y que lo desactive cuando se detecte nivel bajo.

12.9 Control en lazo cerrado

Regularmente, el uso de señales e instrumentación analógica sirve para monitorear y/o controlar un proceso en lazo cerrado. Esta sección describe, a simple modo, cómo diseñar un controlador del tipo P proporcional, PI proporcional + integral y PID proporcional + integral + derivativo.

Sin duda alguna, dentro de la teoría de control existe un sinfín de controladores. Esta sección solo se enfoca en los controladores P, PI y PID debido a su aplicación práctica, ya que éstos son los más usados en la industria, alrededor del 90% de los procesos industriales son controlados mediante alguno de estos controladores. La razón es que son muy robustos, la mayoría de las ocasiones no se necesita conocer el modelo matemático, su desempeño se basa en calibrar sus parámetros y se fabrican por la mayoría de los fabricantes, ya sea en controladores de propósito general o en PLC.

El esquema de control en lazo cerrado en el que se usan estos controladores la mayoría de las ocasiones se muestra en la Fig. 12-60.

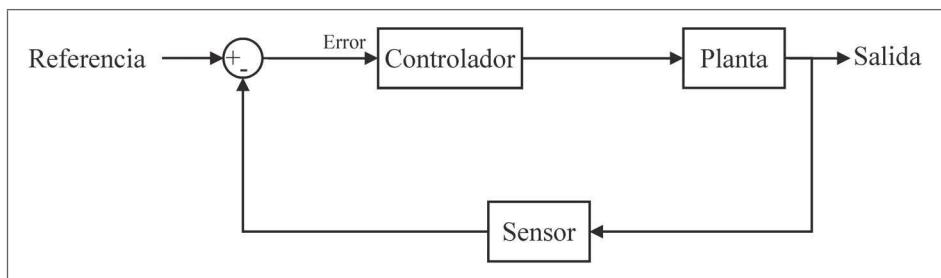


Fig. 12-60. Esquema de control en lazo cerrado.

Donde la entrada al controlador es la señal de error $e(t)$ que representa el error entre el setpoint o entrada y la salida retroalimentada. En la mayoría de los casos, el propósito del controlador es garantizar que la salida siga a la entrada garantizando estabilidad y desempeño. La salida del controlador $u(t)$ es la señal de control, mediante esta señal el controlador es capaz de modificar el proceso para así tratar de hacer que la salida siga al valor de referencia.

Las siguientes secciones explican de manera sencilla y sin mucho detalle matemático las estrategias empleadas por los controladores P, PI y PID para alcanzar este objetivo. Se inicia con el controlador más sencillo, P, y se termina con el más complejo, PID (nótese que los controladores P son un subconjunto del PI, que a su vez es un subconjunto del PID).

12.9.1 El control proporcional

En este tipo de controlador, la señal de control es proporcional al error.

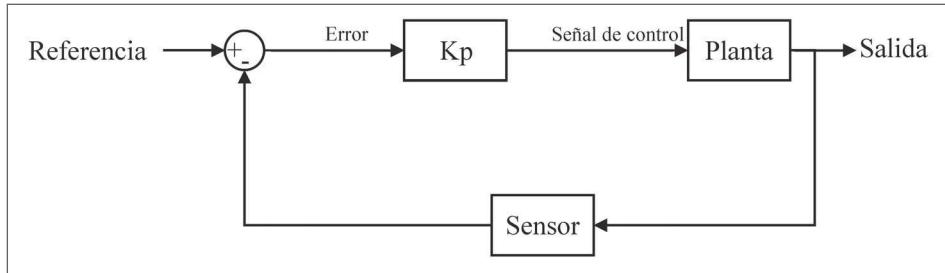


Fig. 12.61. En el control proporcional, el control es una constante.

Esto implica que a mayor error mayor señal de control. La ley de control está dada por:

$$u(t) = K_p e(t)$$

La constante K_p es conocida como *constante proporcional* o *constante de transmisión* y es la que da la proporción de la señal de error a la de control. Un ejemplo sencillo para mostrar el concepto es la palanca mecánica.

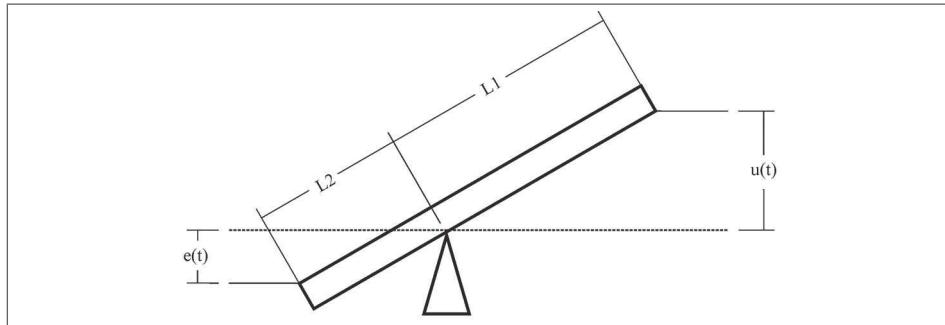


Fig. 12.62. Ejemplo de ley de control proporcional.

Donde el movimiento en cada extremo cumple con:

$$e(t)l_1 = u(t)l_2$$

Si se considera $u(t)$ como la salida del sistema y $e(t)$ como la entrada se tiene que $u(t)$ en términos de $e(t)$ está dada por:

$$u(t) = \frac{l_1}{l_2} e(t)$$

Donde $K_p = \frac{l_1}{l_2}$ es la constante de proporcionalidad.

Nótese que en el caso de la palanca la constante proporcional que relaciona el desplazamiento de cada extremo de la palanca depende del pivote. Dicha constante se obtiene de la longitud de cada extremo al pivote. Si el pivote se encuentra cerca

de la entrada, entonces $K_p \ggg 1$. Por el contrario, si el pivote se encuentra cerca de la salida entonces $K_p \lll 1$, en el caso crucial en el que ambos extremos tienen la misma longitud $K_p = 1$.

El caso de la palanca es ilustrativo para ver cómo afecta un cambio en K_p a la relación señal de control ante señal de error, si $K_p \ggg 1$, un pequeño cambio en el error produce gran cambio en la señal de control (pivote de la palanca cercas de la entrada). Por el contrario, si $K_p \lll 1$ se produce el efecto contrario, los cambios en el error provocan pequeños cambios en la señal de control (pivote de la palanca cercas de la salida).

De todas formas, implementar el controlador proporcional con una palanca (sistema mecánico) es muy poco práctico. Para implementar el regulador en un lazo de control, se puede usar un circuito elaborado con Op amp. En concreto, se usa el amplificador inversor o el no-inversor, donde la ganancia proporcional depende de la relación entre la resistencia de entrada y la resistencia de retroalimentación.

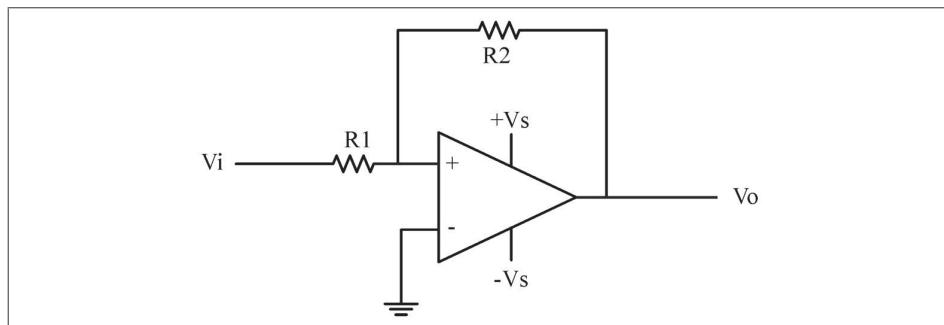


Fig. 12-63. Es posible usar el amplificador inversor o el no inversor como control proporcional.

$$u(t) = -\frac{R_f}{R_i} e(t)$$

Debido a que la ley de control del control proporcional solamente implica multiplicar la entrada por una constante. Se puede realizar el programa que se muestra en la Fig. 12-64 para implementar un control proporcional en un S7-200.

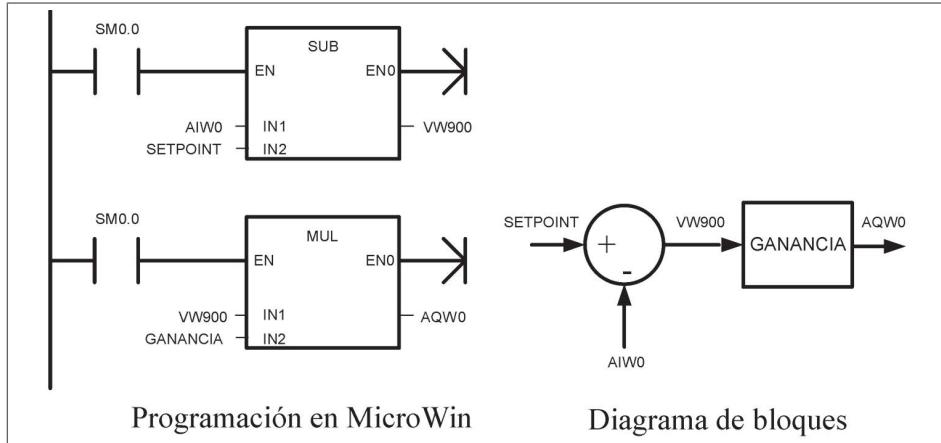


Fig. 12-64 Control proporcional, donde AIW0 es la retroalimentación, SETPOINT el punto de consigna, VW900 la señal de error, GANANCIA la constante del control Kp y AQW0 la señal de control.

12.9.2 El control proporcional más integral (PI)

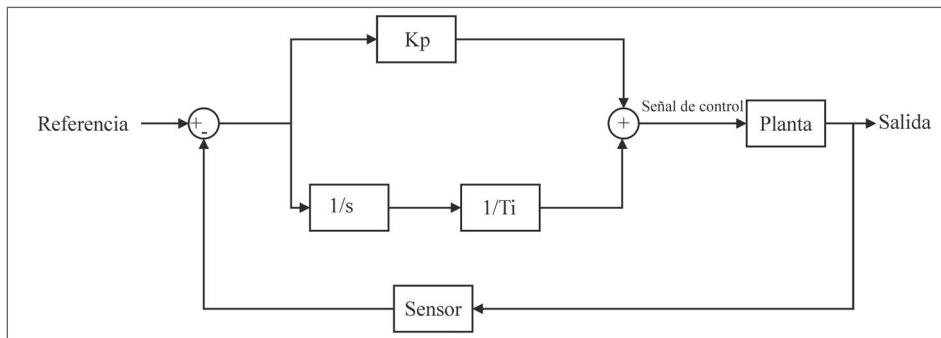


Fig. 12-65. Esquema de control proporcional más integral (PI).

Una de las principales desventajas del controlador proporcional es la presencia de error en estado estable, para cierto tipo de sistemas, además de una limitada libertad de diseño (sólo tiene un parámetro). La principal función de la parte integral del control PI es eliminar el error en estado estable y añadir un segundo parámetro de diseño con el cual se pueden lograr cambios dinámicos más variados en la salida. El controlador PI está dado por la suma de dos acciones, una con relación proporcional al error y la otra con relación integral a éste.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) d(t)$$

En ocasiones, el término de ganancia integral K_i se expresa por su inverso $\frac{1}{T_i}$,

el cual se conoce como *tiempo integral*. Nótese que si $K_i = 0$ el controlador PI se reduce al controlador proporcional.

La idea fundamental del control PI es que el término integral añadido al controlador P ayude a hacer más precisa la salida del controlador, haciendo que en lazo cerrado la salida de sistema siga con más exactitud a la entrada. El término *integral* es especialmente útil para disminuir el error en estado estacionario.

Nótese en la Fig. 12-66 que ante la presencia de un error constante (error en estado estacionario) la señal de control aumenta tratando de eliminarlo, esto debido a la parte integral.

En su forma continua el controlador puede realizarse por el siguiente circuito:

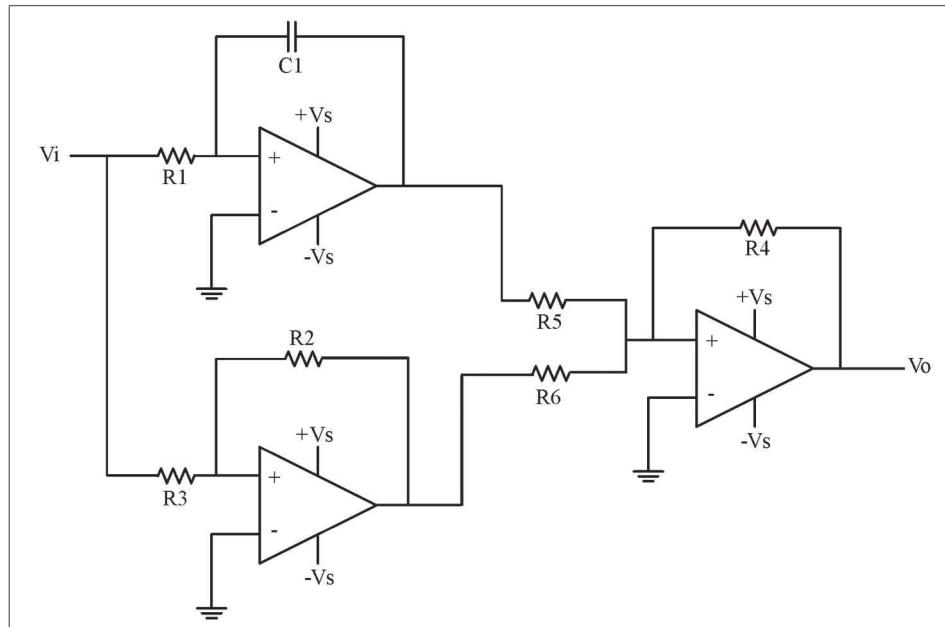


Fig. 12-66. Control proporcional + integral elaborado a partir de Op amp.

Donde la salida es dada por:

$$V_o(t) = \frac{R_4}{R_5 R_1 C_1} \int V_{in}(t) dt + \frac{R_4 R_2}{R_6 R_3} V_{in}(t)$$

La siguiente imagen muestra la respuesta del circuito a una entrada escalón.

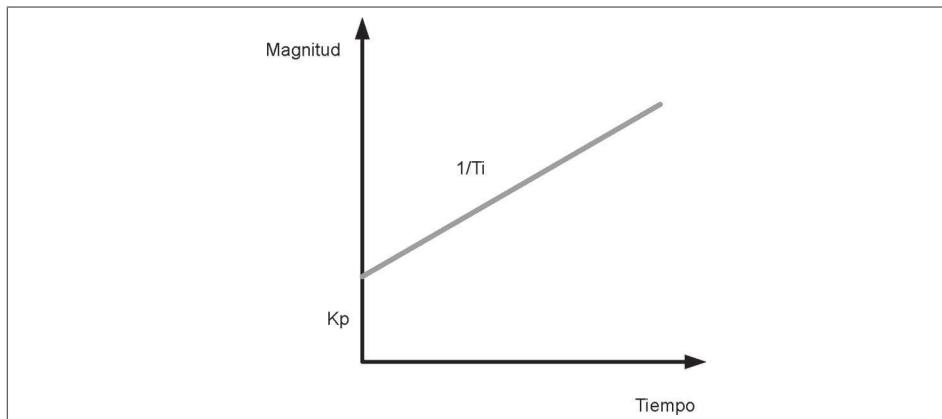


Fig. 12-67. Respuesta al escalón de un control PI.

Nótese que primero reacciona la parte proporcional, lo que da una respuesta rápida ante la discontinuidad del escalón. Enseguida la parte integral reacciona como un ajuste, el cual incrementa la señal de control ante el escalón constante.

Si se requiere implementar un controlador PI en un dispositivo digital, como ejemplo con un microprocesador, se tiene que implementar una aproximación a la integral, ya que no se conoce el error para todo tiempo, solo sus muestras en determinados instantes, normalmente las muestras están equiespaciadas en cada período de muestreo T .

La aproximación a la función integral en un dispositivo discreto se realiza de la manera mostrada en la Fig. 12-68.

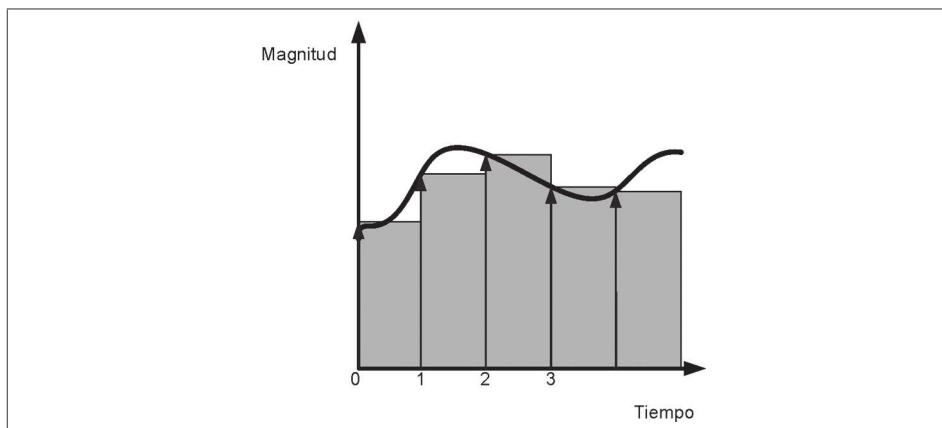


Fig. 12-68. Aproximación a la acción integral mediante un algoritmo discreto.

En la Fig. 12-68 se representan la función de error y sus muestras. Recuerde que la integral de una función puede estar relacionada con el área sobre la curva, entonces si solo se disponen las muestras y no se conoce el valor de la función entre

éstas, el área se puede aproximar por una serie de rectángulos; cada rectángulo tiene el alto de la muestra y un ancho del período de muestreo.

En la versión digital, la aproximación a la ley de control del PID está dada por:

$$u(nT) = K_p e(nT) + \frac{1}{T_i} T \sum_{k=0}^n e(kT)$$

Donde representa la n -ésima muestra de la señal, la cual es tomada con un período de muestreo T .

Con respecto a la aplicación en el S7-200, no existe una función específica que calcule el algoritmo de integración, por lo tanto la manera más sencilla de implementar el control PI es mediante el *asistente para la configuración de PID*.

12.9.3 El control proporcional + integral + derivativo

En el control proporcional + integral + derivativo PID, la señal del control, además de tener la acción proporcional y la integral, añade un término derivativo que obtiene la derivada del error y la multiplica por un parámetro de escalamiento T_d . La derivada de una función en cierto punto puede asociarse con su pendiente o razón de cambio, entonces la acción derivativa está fuertemente relacionada con cambios en el error, a mayor acción derivativa, más acción de control a cambios en el error.

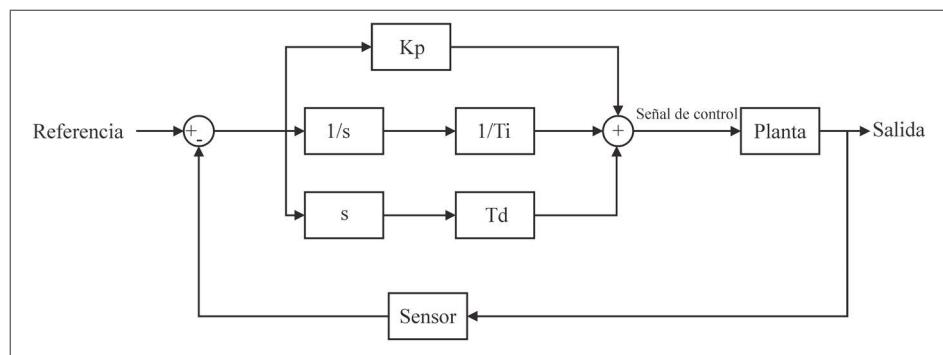


Fig. 12-69. Esquema del control proporcional + integral + derivativo (PID).

La ecuación del control PID se da por:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) d(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde T_d es conocido como el tiempo derivativo. Nótese que la señal de control depende de la calibración de tres acciones diferentes (proporcional, integral y derivativa), cada una de ellas escalada por su respectivo parámetro (K_p , T_i , T_d).

Al igual que en los controladores anteriores, en el caso del PID, para el caso continuo, el control se puede implementar mediante un circuito elaborado con Op amp, el cual se muestra en la Fig. 12-70.

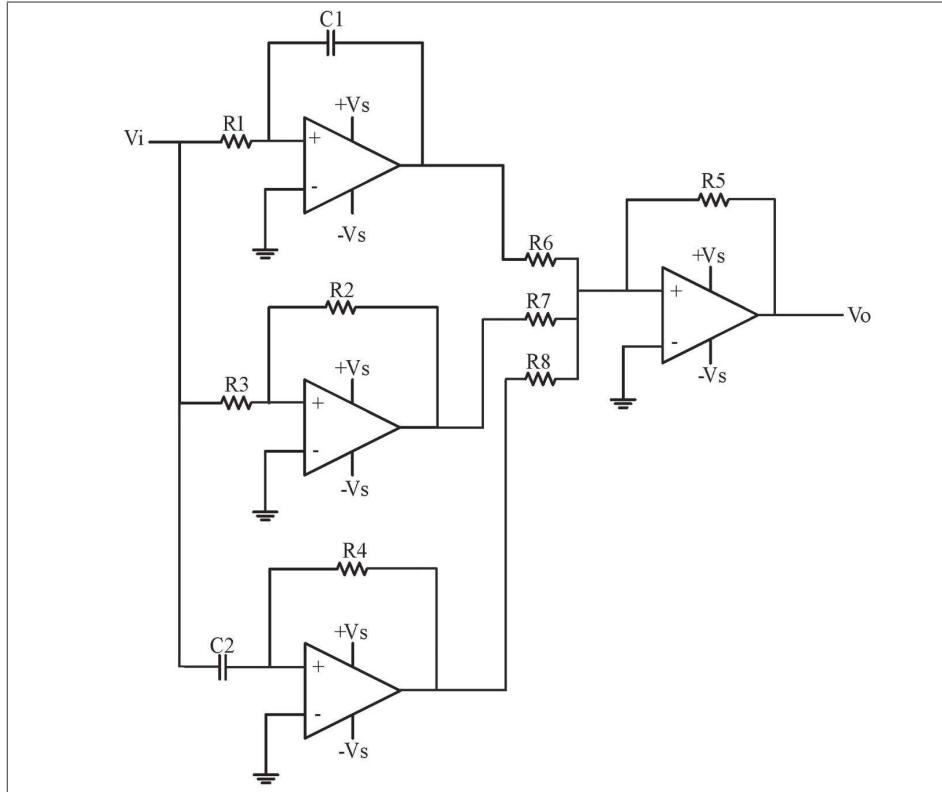


Fig. 12-70. Controlador PID elaborado con Op amp.

Se deja como ejercicio para el lector obtener la ecuación que representa la salida del circuito en términos de su entrada.

Nótese que la acción derivativa solo reacciona ante cambios en el error, esto le da al control capacidad de oponerse ante cambios rápidos. El propósito de las acciones proporcional e integral no se discute debido a que estos comportamientos ya fueron abordados en las discusiones previas sobre el control proporcional P y el control proporcional más integral PI.

Concluimos esta sección mencionando que en forma digital el PID se puede implementar por la siguiente ecuación en diferencias:

$$u(nT) = K_p e(nT) + \frac{1}{T_i} T \sum_{k=0}^n e(kT) + T_d \left(\frac{e(kT) - e((k-1)T)}{T} \right)$$

Nótese que en el caso discreto tanto la acción derivativa como la integral se vuelven más exactas conforme el tiempo de muestreo se hace más pequeño, es decir:

$$\lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{e(kT) - e((k-1)T)}{T} \right) = \frac{de(t)}{dt} \quad \lim_{T \rightarrow 0} T \sum_{k=0}^n e(kT) = \int e(t) dt$$

12.10 Control PID implementado con el S7-200

Es posible implementar un lazo de control PID o sus variantes (P, PI) con el S7-220, para esto el software MicroWin 32 posee un asistente que es de gran ayuda: el asistente para configuración de PID que nos permite de una manera muy amigable introducir los parámetros de la instrucción PID, como lo son el formato de las entradas y salidas (bipolar, unipolar, escalado a 20%), las ganancias del controlador (K_p , T_i , T_d) y el tiempo de muestreo. A su vez, también permite ingresar algunos parámetros adicionales como alarmas de nivel alto/bajo, niveles de alarma, opción de control manual/automático, etc.

Básicamente el asistente creará dos subrutinas: una llamada PID_EXE y otra llamada PID_INT. El diagrama escalera principal es sumamente sencillo y sólo necesita un renglón en el cual se llama en cada ciclo a la subrutina PID_INT que, a la vez, llama a la subrutina PID_EXE en cada instante de muestreo. Un ejemplo de programa se muestra en la Fig. 12-71. El algoritmo realizado por dicha instrucción corresponde a un PID discreto.

Con el propósito de ilustrar la correcta configuración del asistente, a continuación se muestra un pequeño ejemplo en el cual se explica paso a paso cómo configurar correctamente la instrucción PID.

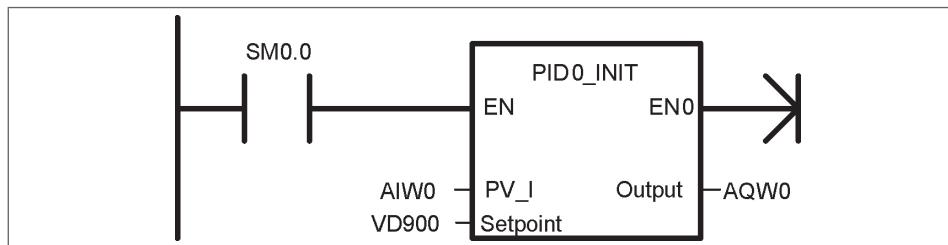


Fig. 12-71. Programa de control PID, para programar el PID solamente es necesario usar este renglón.

Ejemplo de uso del asistente para configurar instrucción PID

Cree un nuevo programa dentro del software MicroWin, abra el menú **asistentes** y elija el asistente para PID.

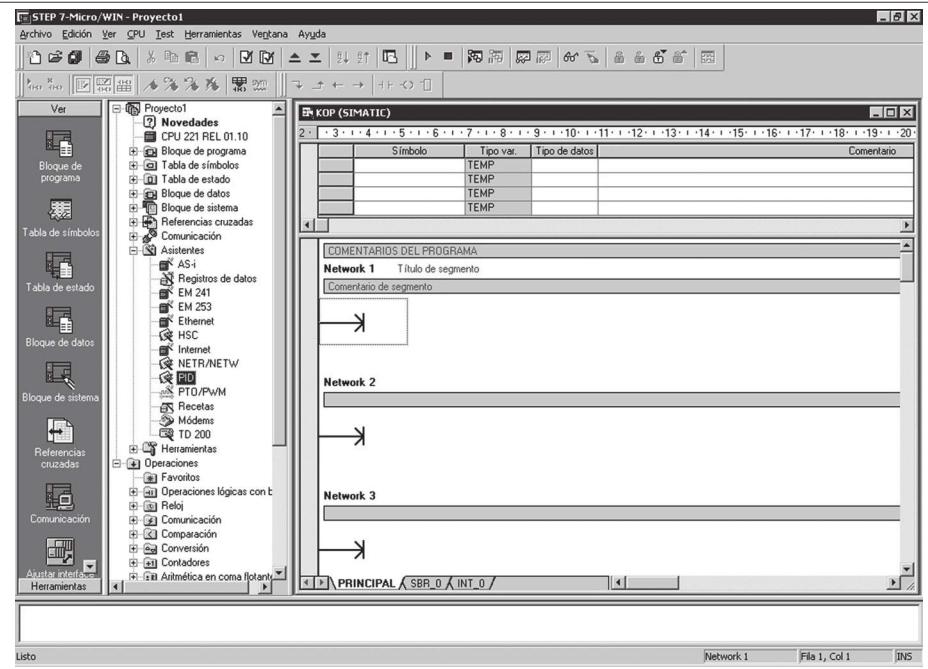


Fig. 12-72. Selección del asistente para PID.

Al abrir el asistente la primera pantalla le mostrará el número de lazo a utilizar que está asociado con el PID a utilizar. Es importante recalcar que cada PID a programar requiere un diferente número de lazo.

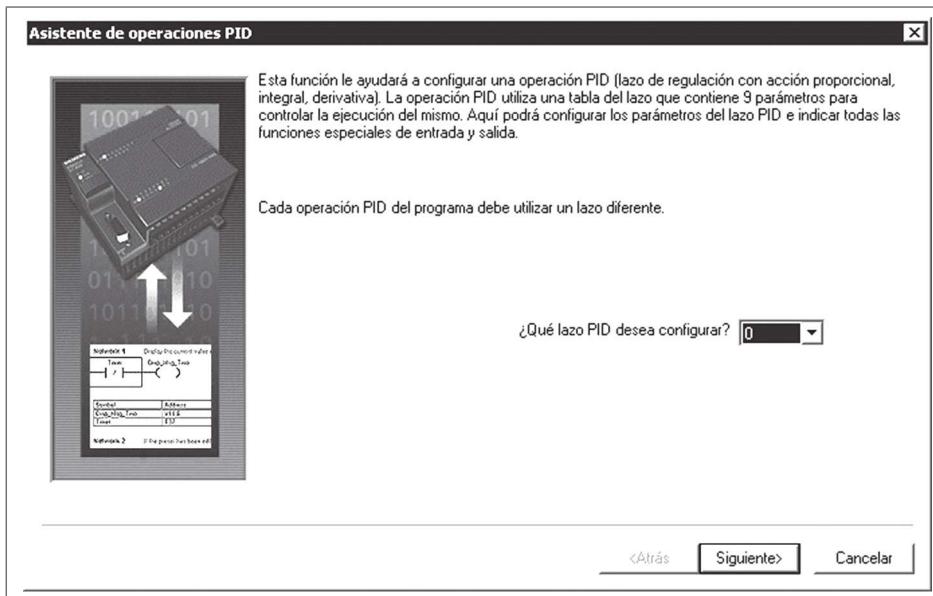


Fig. 12-73. Selección del número de lazo.

La siguiente pantalla muestra en su parte superior los límites alto y bajo de la consigna de lazo (setpoint). El setpoint escalará a los valores máximo y mínimo. En el ejemplo mostrado, 0-100 indican que el setpoint se indicará en porcentaje. Esta pantalla se muestra en la Fig.12-74.

La parte inferior de esta pantalla permite introducir los parámetros del algoritmo PID. Dichos parámetros son las tres ganancias (K_p , T_i y T_d) y el período de muestreo. Si aun no ha sintonizado el PID puede introducir cualquier parámetro, ya que éstos se pueden modificar después de creada la instrucción.

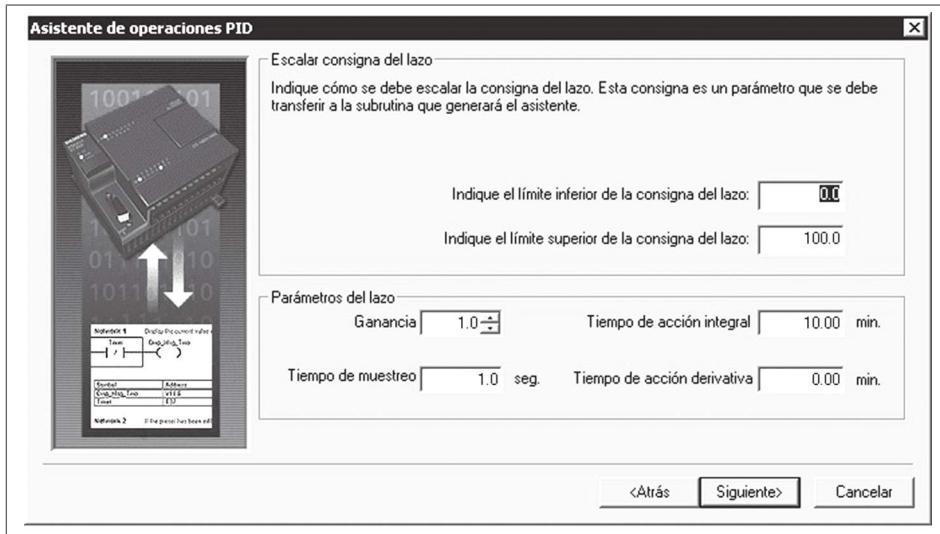


Fig. 12-74. Configuración de los parámetros del PID.

A continuación, el asistente muestra el escalamiento de las entradas y salidas, aquí se puede elegir si las entradas y/o salidas son unipolares (0-3200) o bipolares (-32000 a 32000) o si se utiliza un offset del 20% (de uso particular en las señales de 4-20mA y 1-5 VCD). Además, para el caso de las salidas se tiene que la salida puede ser también digital, la cual es entregada en formato PWM (Pulse width modulation, modulación por ancho de pulso). Este paso se muestra en las Figs. 2-75 y 12-76.

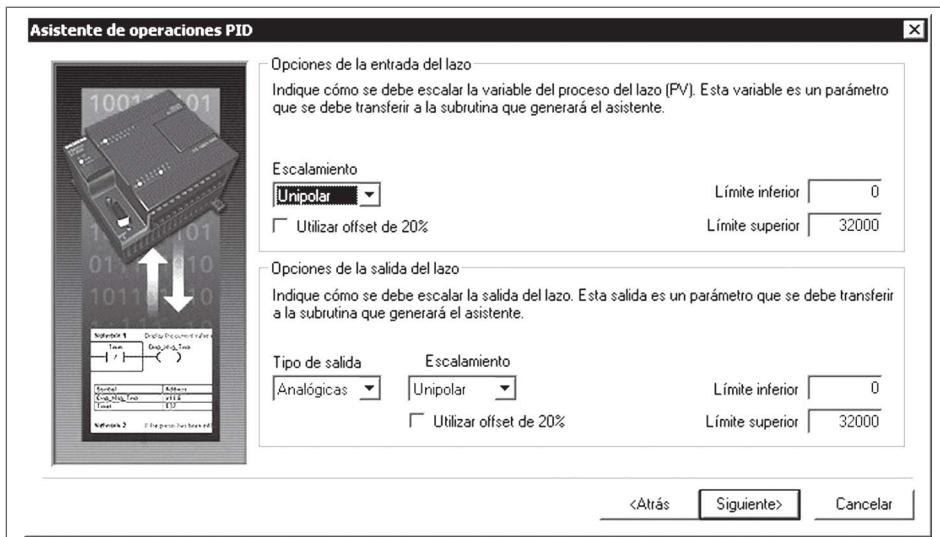


Fig. 12-75. Configuración de la entrada y salida del controlador.

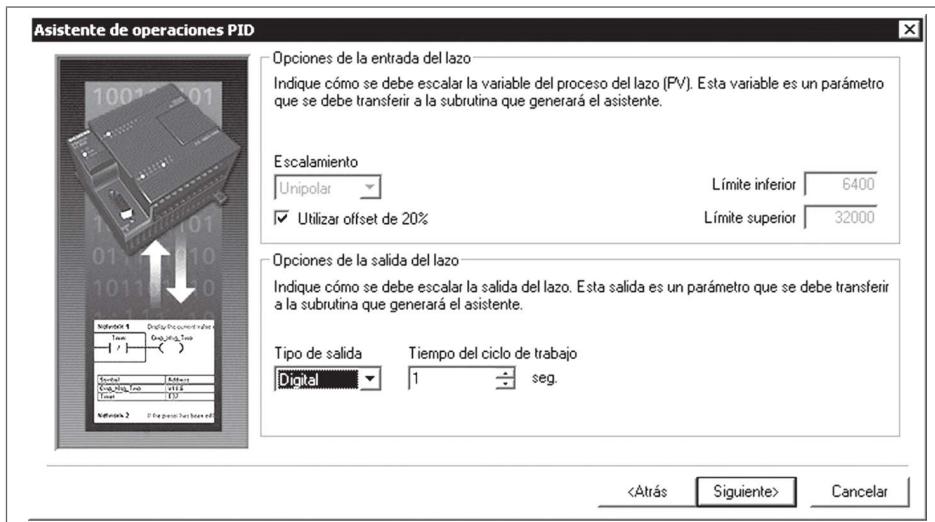


Fig. 12-76. Ejemplo de salida tipo PWM.

A continuación, la pantalla que se muestra en la Fig. 12-77 nos permite crear condiciones de alarma que sirven para indicar niveles altos y bajos así como errores en el módulo de entradas analógicas. Para configurarlas solo es necesario especificar los niveles de alarma donde 1 representa el 100%. En el caso presentado la alarma de nivel bajo se activará cuando la salida sea menor al 10% y la de nivel alto cuando la salida sea mayor al 90%. Para configurar la alarma de error en el módulo analógico sólo es necesario especificar el número de slot que ocupa el módulo.

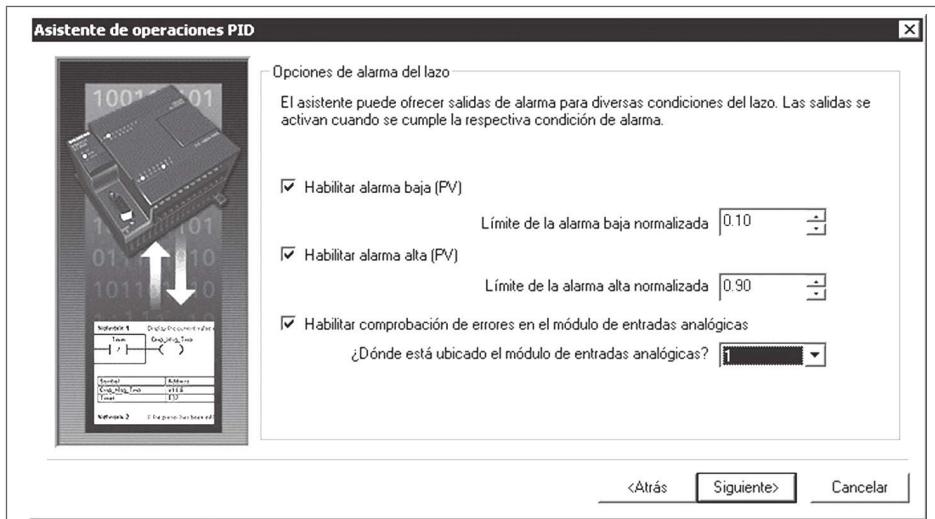


Fig. 12-77. Selección de alarmas y límites.

Al seleccionar *siguiente*, se termina la configuración del asistente. Lo único que resta es proponer un espacio libre en la memoria para almacenar todos los parámetros requeridos por la instrucción. La cantidad de memoria disponible debe ser igual a 80 bytes, lo cuales deben ser usados únicamente por la instrucción PID. Este paso se muestra en la Fig.12-78.

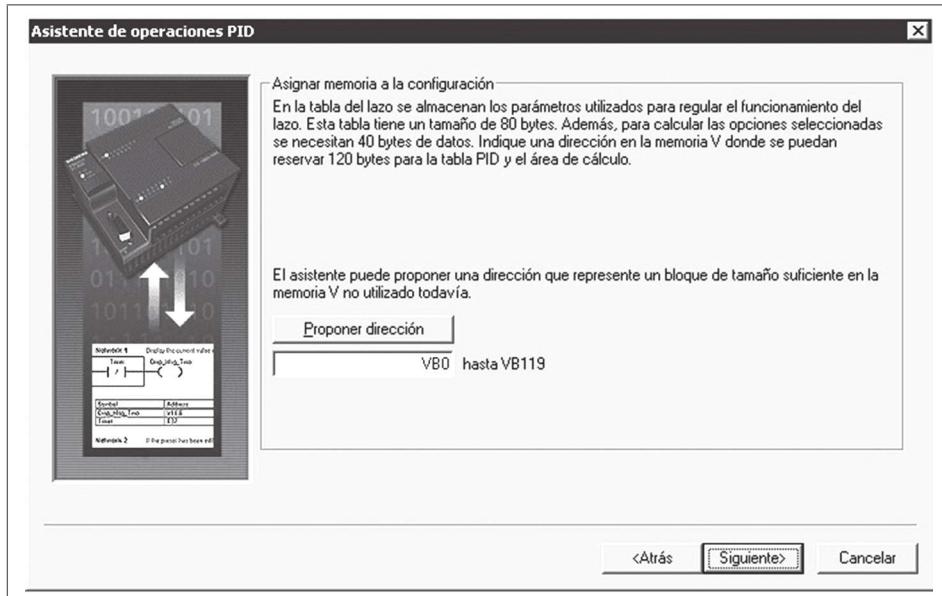


Fig. 12-78. Asignación del bloque de memoria.

La pantalla final se muestra en la Fig. 12-79. En ésta el asistente crea las dos subrutinas necesarias para ejecutar el algoritmo, es posible cambiar el nombre de las subrutinas por cualquier otro, por esta ocasión utilizaremos los nombres que asigna el asistente. Nótese que en esta pantalla también es posible establecer un switch que nos permita cambiar de control manual a automático. Dentro del modo automático, el algoritmo PID se ejecuta cada período de muestreo, mientras que en el modo manual el algoritmo PID no se ejecuta y la salida de lazo permanece constante.

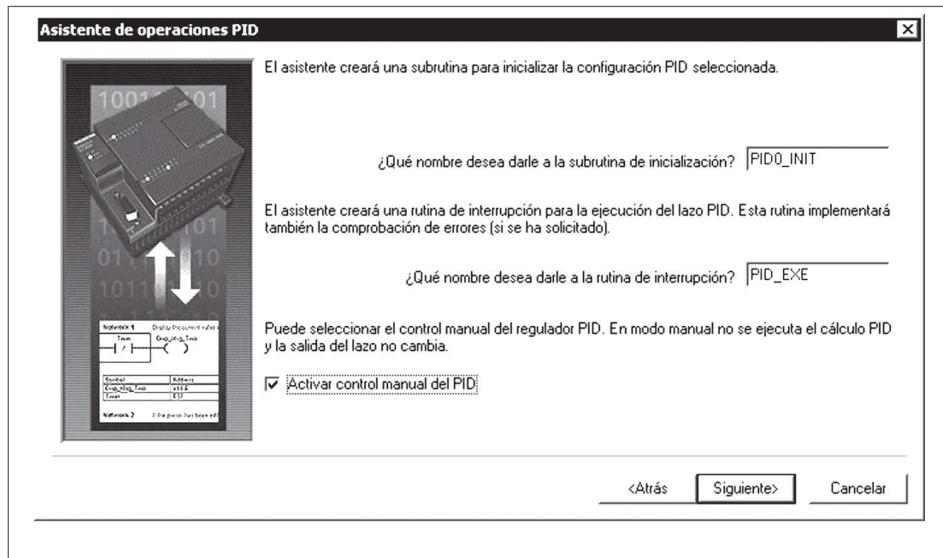


Fig. 12-79. Selección de la opción de control manual y nombrado de subrutinas.

Al finalizar, el asistente crea todos los elementos necesarios para ejecutar el algoritmo PID y después lo único que resta es realizar el programa que se muestra en la Fig. 12-80.

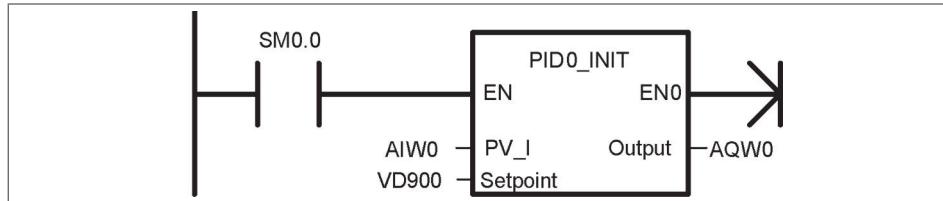


Fig. 12-80. Programa en subrutina principal.

En el caso de usar alarmas y/o modo manual automático, la instrucción PID tendrá más entradas/salidas. Estas señales son discretas. La Fig. 12-81 muestra un ejemplo de programa que involucra todos estos parámetros.

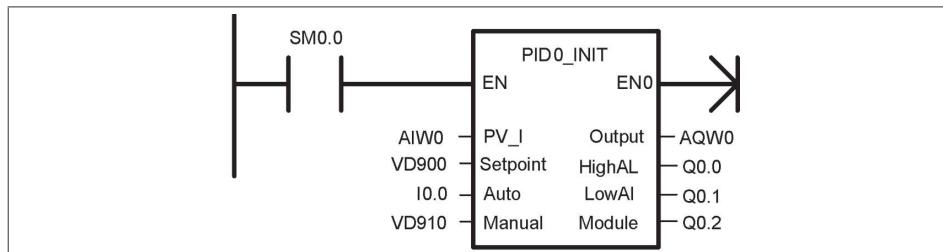


Fig. 12-81. Programa principal para PID, incorporando alarmas y control manual.

Donde AIW0 es la retroalimentación medida del proceso, VD900 es el setpoint o referencia, I0.0 es el selector de modo automático y manual, VD910 es el valor de la salida en manual, AQW0 representa la dirección de la salida hacia el proceso, Q0.0 y Q0.1 son las alarmas de nivel alto y bajo respectivamente, y Q0.2 es la alarma de falla en módulo analógico.

12.11 Sintonización

La sintonización de PID's consiste en encontrar un conjunto de parámetros (K_p , T_i , T_d) tal que el desempeño del sistema en lazo cerrado se apegue a cierto comportamiento deseado.

El controlador proporcional es el más sencillo de sintonizar debido a que sólo cuenta con un parámetro. En contraparte, el control PID es el más difícil de sintonizar debido a que se deben ajustar correctamente los tres parámetros del controlador.

Encontrar los parámetros adecuados no es una tarea trivial, se debe hallar una tripleta adecuada que garantice estabilidad del sistema en lazo cerrado, además de cierto tipo de respuesta deseada. Existen diversos métodos de sintonización, a continuación se revisarán algunos de ellos. Pero antes es importante recalcar que los parámetros proporcionados por estos métodos sólo ofrecen una primera aproximación, la cual después se puede mejorar a través de la experiencia y prueba y error.

12.11.1 Reglas de sintonización de Zeiger-Nichols

Existen diversos métodos propuestos en la literatura para sintonizar PID's que tienen la ventaja de que no es necesario conocer el modelo matemático del sistema para lograr un buen desempeño de un controlador PID. A continuación se muestran los métodos de sintonización usados por Zeiger-Nichols que se basan en la respuesta en el tiempo del sistema para encontrar el conjunto de parámetros que logran su buen desempeño.

Es importante recalcar que no en todos los procesos es posible implementar dichos métodos ya que se encuentran restringidos a ciertos tipos de sistemas.

Primer m todo

Este método consiste en estimular el sistema en lazo abierto con una entrada escalón de magnitud unitaria.

El método es aplicable si el sistema presenta una salida con forma de "S" tal y como se muestra en la figura.

Se toman tres parámetros de la respuesta del sistema. Estos parámetros son la ganancia K y los tiempos L y T. La ganancia es simplemente el valor máximo que alcanza la salida del sistema, mientras que los tiempos T y L se obtienen al trazar una línea tangente al punto de inflexión (punto en el cual la salida alcanza su razón de cambio máxima). El tiempo L es obtenido desde el instante en que se aplica la entrada hasta el instante en el cual la línea tangente cruza con el eje temporal, mientras que el punto T se obtiene desde el instante en el que la línea tangente se cruza con el eje temporal y el instante en el que la línea tangente toma el valor de la ganancia del sistema. Una explicación gráfica se muestra en la Fig. 12-82.

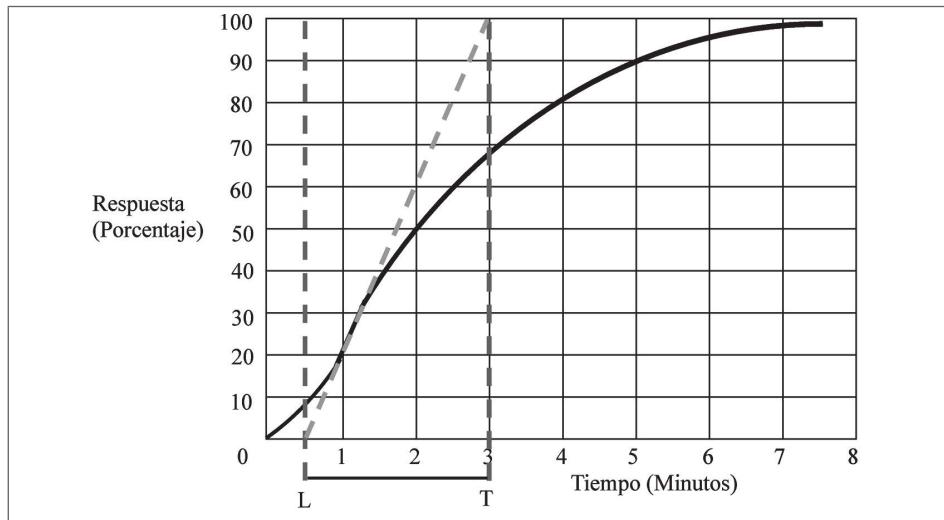


Fig. 12-82. Respuesta al escalón.

Ya con los parámetros K, L y T es posible encontrar las ganancias para el tipo de controlador deseado (P, PI o PID) mediante las siguientes relaciones:

Tipo de Controlador	K _p	T _i	T _d
P	T/L	∞	0
PI	.9 T/L	L/0.3	0
PID	1.2 T/L	2L	0.5L

Tabla 12-9. Parámetros del PID en base a parámetros de la prueba de escalón.

Segundo m todo

En este método se pretende hacer oscilar al sistema para después encontrar los valores de las ganancias del controlador mediante los parámetros obtenidos de la oscilación (Período de oscilación y ganancia en la cual el sistema oscila).

Los pasos para utilizar el método son los siguientes:

01. Elimine la acción integral, al poner el tiempo integral al máximo, en ocasiones es posible también eliminar la acción integral al usar $Ti=0$.
02. Elimine la acción derivativa $Td=0$.
03. A partir de este paso el control PID se convierte en un control P (Tabla 12-10)
04. Aumentar la ganancia proporcional poco a poco hasta que el sistema comience a oscilar.
05. Seguir aumentando la ganancia proporcional hasta que el sistema oscile de manera mantenida.
06. Anote el tiempo entre cada oscilación y la ganancia requerida para hacer oscilar al sistema.

En base a Kc y Tu obtenga los parámetros del controlador de acuerdo a la siguiente tabla.

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	.9 T/L	$L/0.3$	0
PID	1.2 T/L	$2L$	0.5L

Tabla 12.10. Selección de los parámetros del PID.

Nótese que para este método se requiere que el sistema presente oscilaciones mantenidas para cierto valor de ganancia de un controlador proporcional, lo cual no se cumple para todos los sistemas.

Entonces, es imposible generalizar los métodos de sintonización presentados para todas las clases de sistemas. En algunas ocasiones se podrán usar los dos, en otras alguno y existen otros sistemas en los que no se podrá usar ninguno de los dos. Además es importante recalcar que las ganancias obtenidas por los métodos nos proporcionan un primer ajuste, para después realizar ajustes finos mediante prueba y error.

12.11.2 Sintonización de PID en MicroWin

El software MicroWin presenta una herramienta que es de gran ayuda para sintonizar PID's ya que nos permite cambiar los parámetros de la instrucción de manera rápida, monitorear y registrar las variables involucradas en el sistema de control.

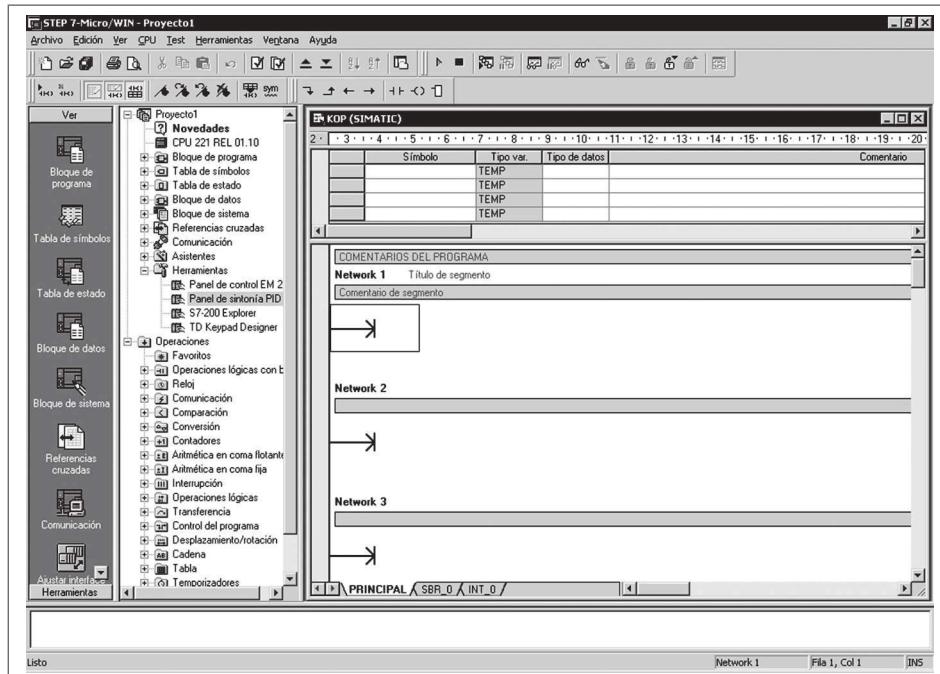


Fig. 12-91. Panel de sintonía.

Nota: El panel de sintonía para PID cuando existe comunicación entre nuestro ordenador y un PLC.

BIBLIOGRAF A

- 01| SIEMENS AG (1998). SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN S7-200, MANUAL DEL SISTEMA. REPÚBLICA FEDERAL DE ALEMANIA.**
- 02| FLUIDSIM, NEUMÁTICA MANUAL DEL USUARIO, EDICIÓN 11/2001.**
- 03| FLUIDSIM, HIDRÁULICA MANUAL DEL USUARIO, EDICIÓN 04/2004.**
- 04| SORIA-TELLO S., ESPARZA-RAMÍREZ F. J. (2009). TEMPORIZADORES EN CASCADA APLICADOS A SISTEMAS SECUENCIALES SÍNCRONOS. CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN SOMI XXIV. MÉRIDA, YUCATÁN. OCTUBRE DE 2009.**
- 05| SORIA-TELLO S., ESPARZA-RAMÍREZ F. J., LOYA-CABRERA A. E., CASTILLO-MARTÍNEZ R., PLATAS-GARZA M. A., DÍAZ-ROMERO D. A., AND POSADAS-CASTILLO C. (2011) "MEMORY STATE METHOD APPLIED TO PNEUMATIC SEQUENTIAL SYSTEMS". INTERNATIONAL CONGRESS ON INSTRUMENTATION AND APPLIED SCIENCES. PUEBLA, PUEBLA., MÉXICO OCTOBER 5-8, 2011.**
- 06| SORIA-TELLO S., ESPARZA-RAMÍREZ F. J., CANTÚ-GARZA G. I., PLATAS-GARZA M. A. (2011). REPRESENTACIÓN DE SISTEMAS SECUENCIALES NEUMÁTICOS MEDIANTE ECUACIONES LÓGICAS. VII CONGRESO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS. SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MÉXICO 1-2 DE SEPTIEMBRE 2011.**

