

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA  
*Labor et Sapientia Libertas*

**“SISTEMA DIDÁCTICO PARA APOYO A LA ENSEÑANZA DE  
CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES”**

**TESIS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

**PRESENTA:**

ULISES ELOY VILLAVICENCIO DÍAZ

**DIRECTOR DE TESIS:**

M.C. JORGE LUIS BARAHONA ÁVALOS

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA. ABRIL DE 2011.



Tesis presentada el 14 de Abril de 2011 ante los siguientes sinodales:

Dr. Antonio Orantes Molina

M.C. Esteban Osvaldo Guerrero Ramírez.

M.C. Fermín Hugo Ramírez Leyva

Director de tesis:

M.C. Jorge Luis Barahona Ávalos



# Dedicatoria

*Dedico este trabajo de tesis a las personas que me dieron la vida, con mucho amor y cariño a mis padres: Lidia Díaz López y Juan Villavicencio Antonio (†), por siempre confiar en mí, por su apoyo incondicional, por ser fuente de inspiración y motivación para superarme cada día, y por enseñarme a alcanzar mis metas a pesar mis tropiezos. Mi triunfo será siempre el de ustedes ¡los quiero mucho!*

Ulises Eloy



# Agradecimientos

Tengo en mente a muchas personas a quien agradecer, que no quisiera que nadie quedara excluido, pero escribiría demasiado que me tardaría más en terminar la tesis, así que me aventurare a citar sobre las personas que de alguna manera han resaltado sus nombres en todo este camino.

Primero agradezco a Dios por darme la vida, haberme permitido llegar hasta la culminación de mi carrera, por mi salud y la esperanza de un futuro nuevo. Te agradezco los obstáculos y las penas que he pasado porque de ellos he aprendido y seguido adelante cuando mis pies habían perdido fuerza para continuar. Por iluminar mi mente y acompañarme en cada paso que doy. Por poner en mí camino aquellas personas que me han dado su amistad y su apoyo incondicional en momentos de flaqueza y desesperación.

Agradezco a mi papá Juan Villavicencio Antonio (†) ejemplo de superación y de que ante las más difíciles de las pruebas de la vida es posible sonreír, por su entereza y fortaleza. Por luchar tanto para sacarnos adelante a mi mamá y a mí. Aunque no te pueda ver, sé que me cuidas desde allá arriba, siempre te llevo en mis acciones, en mis valores y en mi corazón.

Agradezco a mi mamá Lidia Díaz López que me inculco desde niño todos los valores con los que cuento. Por tu confianza, paciencia, sabiduría, y el poderme guiar en momentos difíciles de la vida. Porque has sacrificado y luchado por sacarme siempre adelante ante la adversidad. Lo que soy hoy día te lo debo gran parte a ti, te quiero más de lo que puedo expresar en estas palabras.

Agradezco a familiares y amigos de la comunidad de Santa María Quiegolani, Oaxaca, de donde son originarios mis padres, lugar que se pierde entre la densa niebla y las montañas de Oaxaca, siempre que regreso me hace recordar mis raíces y de donde provengo.

A la familia Villavicencio y a la familia Díaz, incluyendo a todos mis tíos y tías sin excepción alguna, por tendernos su apoyo en momentos críticos de la vida.

A mi prima Tina por siempre estarnos apoyando y tenderme una mano cuando lo necesitamos.

A mi primo José por ayudarme con mi papá para que pudiera verme terminando mi carrera en el auditorio de la UTM.

A Verónica por ponerme con los pies en la tierra, por brindarme su amistad, su apoyo incondicional, y por ser una gran persona.

Agradezco especialmente a mi director de tesis el profesor M.C. Jorge Luis Barahona Ávalos por su amistad, sus consejos y la guía a lo largo de todo este proyecto de tesis, por su apoyo, por la confianza depositada, por el tiempo invertido, por el esfuerzo para que terminara el proyecto, y por entender mis inconsistencias durante el desarrollo de todo este proceso. ¡Gracias por todo profe!

A todos los maestros del instituto de mecatrónica, electrónica y computación de la UTM que he tenido a lo largo de la carrera por su amistad, sus consejos, sus conocimientos y enseñanzas. Al profesor Quique, al profesor Felipín, al profesor Moreno, la profesora Tello, al profesor Jacob, al profesor Justo así como los que me han brindado su amistad como el profesor Linares, el profesor Alejandro y el profesor Hugo.

A los sinodales Dr. Toño Orantes, el M.C. Hugo Leyva, y el M.C. Estaban Guerrero por la amistad y por el tiempo que se tomaron en revisar y realizar las observaciones de este documento de tesis, aprendí y tome en cuenta sus valiosísimas consideraciones.

Al profesor Heriberto, porque sin que se lo pidiera siempre tuvo un espacio para escucharme y aconsejarme.

A los encargados del Taller de Metales de la UTM por su colaboración, maestro Palma, maestro Migue, maestro Cali, maestro Pachón, ¡tienen que ver el proyecto terminado!

A los encargados del Taller de electrónica de la UTM, Toño, Santa y Checo, por sus enseñanzas y el haberme permitido realizar mi servicio social en ese lugar, me acuerdo de la retas de ping-pong.

A todos mis amigos y compañeros que he conocido a lo largo de mi carrera y durante el desarrollo de esta tesis, primero por la amistad brindada, porque nunca permitiera que decayera el ánimo, porque me mantuviera constante, por sus palabras de aliento para que viera la vida de forma optimista. Son muchos y cada uno tiene un lugar especial.

A mis amigos del círculo de la amistad a Miguelito, José Manuel (Vince), Juan Carlos (Huano, por el esfuerzo de alentarme para regresar a terminar la tesis), Dante, Héctor, Garfias, Dago, Magdiel, Lavariega, René, a todos ellos gracias por escucharme y brindarme ánimo para continuar con la tesis, como alguien dijo anteriormente salud con vino de Marqués de Cáceres: ¡por los amigos!

A mis amigos de aventuras, karaoke y tlayudas Andrea, William, Fidel, gracias por brindarme un espacio en sus vidas y por hacerme ver la vida de otra manera, por su confianza, el permitirme ser su amigo, y el hacer la estancia en el laboratorio de fibra óptica divertida, ¡los aprecio mucho!

A mis amigos de generación Pepe, Chino, Putla, Fito, Noé, Omar, Edgar, Raziél, Pancho, Arciris, Álvaro, Edel, Eder, Navidad, por tantas experiencias y momentos juntos durante la carrera, así como también a David, Selene, Lucía, Procopio, Daniel, Jorge, Alberto, Ociel, Sierrita, Mario, José Carlos, Willebaldo, Debbie, Sergate, Chío, los Julios, por brindarme su amistad.

A mis amigos del ex laboratorio del IEC Alejandro, Jaheri, Peña, Cano, Caro, Rabi. A mis amigos de Lucha Libre, Wii y Xbox Víctor, Karen, Chiquilín, Iván y Deysi, me acuerdo de aquellos días de quesadillas con frijol y tortillas de harina.

A mi amiga Luz y al profesor Víctor (diseño) por su invaluable ayuda en la construcción del proyecto.

A los amigos del club de baile de la UTM Adrian, Yara, Luz, Nash (muy padre persona), Hassan, Abril, Herwin, Gaby, Fer, con lo que hice mis pininos en dar los primeros pasos, así como el compañerismo que siempre se caracterizo en el grupo.

A los amigos del club de baile de Huajuapán, Tania (por compartir experiencias difíciles de la vida), Adriana, Gaby, Angélica, Jaz, Norma, Oscar, Carlos, Jorge, César, no pensé que integrarme en un grupo podrían volverse en personas muy entrañables y apreciadas, compañerismo mezclado con risas, punto de reunión donde exista salsa y cumbia, ¡los estimo mucho!

Al grupo de expresión oral en especial a Paola por siempre estar contribuyendo desinteresadamente a favor de buenas acciones para aquellos que no somos muy elocuentes, deberíamos aprender del ejemplo, por sus palabras de apoyo y por darme otros puntos de vista de la vida.

A mis amigas Lupita, Ursula, Marisol, Aide, Mayra, Liz, Yesenia y Grio, por las alegrías compartidas, el contarles mis penas, entenderme y brindarme unas palabras de aliento.

A Jessy, Rebeca y a Lupita por divertirme en eventos y ferias del 23 de julio, por las invitaciones a comer, por las penas y anécdotas compartidas. ¡1, 2, 3, Tamarindo!

A mis amigas Bety, Chabe y Selene por invitarme a sus tokines que organizaban, que por cierto yo hacía los carteles. A mis amigas Yael y Lety por hacerme la vida en Huajuapán amena y divertida.

A mis amigos Fox y Yoshito por brindarme su amistad, y por ser parte del equipo de polo acuático en el concurso de mini robótica, ese segundo lugar fue toda una experiencia para mí, gracias por compartirla conmigo.

A mis amigas Isa, Moni, Janet, Lore, Lupita, porque son la sal y la pimienta en las salidas a festejos, muchos momentos bohemios y otros felices, todo con tal de aminorar angustias.

A mis amigos Mike, Lalo, Ivonne, Janet (un poco locos), por alegrías y apoyo para sobrellevar el estrés de la tesis, así como también la amistad y el compañerismo de Claudia, Gamboa, Gerson, Ithiel, Jonathan, que somos discípulos del mismo mentor el profesor Barahona, les deseo que lleguen a buen término sus proyectos.

A los encargados de mantenimiento, vigilancia, contabilidad, secretariado, jardinería, almacén, limpieza, biblioteca, centro de idiomas, vicerectorías, servicios escolares, que laboran en la UTM que en este momento se me han olvidado sus nombres pero que compartieron un momento de su tiempo con un servidor.

Soy incapaz de recordar todas aquellas personas que he conocido durante la realización de este proyecto de tesis, este viaje ha sido agotador, angustioso, a veces deprimente, pero la culminación del proyecto valió la pena todo el esfuerzo, el tiempo y las lágrimas invertidos, espero contar con la comprensión de cualquier persona que haya olvidado mencionar aquí, pero saben que han sido especiales para cumplir esta meta importante para mí.

Por último y no menos importante agradezco a la Universidad Tecnológica de la Mixteca por la formación obtenida durante el transcurso de mi carrera, por las experiencias, vivencias, dolores de cabeza, amores, lágrimas, alegrías, gastos, por todo lo bueno y todo lo malo.

¡A todos les deseo buena suerte y éxito en sus vidas! y ¡por fin soy ingeniero!



# Índice general

## Contenido

RESUMEN.....	19
Capítulo 1   INTRODUCCIÓN.....	21
1.1 Planteamiento del problema .....	22
1.2. Objetivo general .....	23
1.2.1 Objetivo específicos .....	23
1.2.2 Metas .....	23
1.3 Justificación.....	23
1.4. Metodología de desarrollo.....	24
1.5 Aportaciones .....	26
1.6. Organización de la tesis.....	26
Capítulo 2   MARCO TEÓRICO .....	27
2.1 Fundamentos de los diagramas de escalera.....	27
2.1.1 Componentes básicos y sus símbolos.....	27
2.1.1.1 Transformadores de control .....	28
2.1.1.2 Fusibles .....	28
2.1.1.3 Interruptores .....	29
2.1.1.4 Interruptor tipo pushbutton.....	30
2.1.1.5 Actuadores de interruptores tipo pushbutton.....	31
2.1.1.6 Interruptor selector .....	32
2.1.1.7 Interruptores de fin de carrera .....	33
2.1.1.8 Lámparas indicadoras o pilotos.....	33
2.1.1.9 Bocinas .....	34
2.1.1.10 Relevadores .....	34
2.1.1.11 Relevadores de retardo de tiempo .....	35
2.1.1.11.1 Relevadores de retardo de tiempo a la conexión TON.....	35
2.1.1.11.1 Relevadores de retardo de tiempo a la desconexión TOF .....	36

2.1.2 Diagrama de escalera básico .....	36
2.1.3 Cableado.....	36
2.1.4 Abreviaturas .....	37
2.1.5 Terminología para el control de máquinas .....	37
2.2 Fundamentos de PLC's .....	38
2.2.1 Controlador Lógico Programable .....	39
2.2.1.1 Antecedentes .....	39
2.2.1.2 Definición.....	40
2.2.1.3 Configuraciones de PLC [6].....	40
2.2.1.4 Componentes típicos de un PLC [6].....	42
2.2.1.5 Diagrama a bloques del sistema .....	43
2.2.1.6 Ventajas del uso de PLC's.....	44
2.3 Fundamentos de la programación de PLC's.....	44
2.3.1 Lenguajes de programación .....	47
Capítulo 3  SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL APOYO A LA ENSEÑANZA DE PLC's .....	49
3.1. Estaciones de trabajo para capacitación de PLC que existen en el mercado.....	50
3.2. Requisitos del proyecto de tesis .....	51
3.3 Diseño y construcción física .....	51
3.3.1 Diseño en papel.....	51
3.3.2. Materiales utilizados en la parte frontal del SAE-PLC .....	53
3.4.3 Características del PLC utilizado en el SAE-PLC .....	56
3.3.4. Perforación de los orificios para el montaje de piezas del sistema SAE-PLC. ....	57
3.3.5. Diseño y corte de etiquetas en vinil como ayuda visual en el sistema SAE-PLC.....	59
3.4. Diseño eléctrico.....	63
3.4.1. Distribución de dispositivos sobre la platina.....	63
3.4.1.1 Materiales utilizados en el montaje de la platina.....	64
3.4.2. Esquema del cableado del SAE-PLC .....	68
3.4.3. Placa de relevadores para entradas externas o internas .....	68
3.4.4. Proceso de cableado .....	69
3.4.5 Resultado.....	70
3.4.6. Presupuesto del SAE-PLC .....	70
Capítulo 4  PRUEBAS Y RESULTADOS .....	73
Capítulo 5  CONCLUSIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	81

Apéndice A  MANUAL DE PRÁCTICAS .....	83
Normas de seguridad en laboratorios.....	87
INTRODUCCIÓN .....	89
Prácticas .....	90
Práctica No.1. Sistema Didáctico para Apoyo a la Enseñanza de Controladores Lógicos Programables.....	91
Objetivo Específico.....	91
Material y Equipo.....	91
Introducción Teórica .....	91
Procedimiento .....	91
Análisis de resultados.....	98
Práctica No.2. Introducción al STEP 7 MICRO/Win32 Versión 3.1 SP2.....	101
Objetivo Específico.....	101
Material y Equipo.....	101
Introducción Teórica .....	101
Procedimiento .....	102
Análisis de Resultados .....	112
Práctica No.3. Control de Marcha y Paro de un Motor de CD.....	115
Objetivo Específico.....	115
Material y Equipo.....	115
Introducción Teórica .....	115
Procedimiento .....	117
Análisis de Resultados .....	122
Práctica No.4. Semáforos.....	125
Objetivo Específico.....	125
Material y Equipo.....	125
Introducción Teórica .....	125
Procedimiento .....	126
Análisis de Resultados .....	135
Práctica No.5. Arranque de un motor trifásico.....	139
Objetivo Específico.....	139
Material y Equipo.....	139
Introducción Teórica .....	139
Procedimiento .....	140

Análisis de Resultados .....	145
Práctica No.6. Neumática.....	149
Objetivo Específico.....	149
Material y Equipo.....	149
Introducción Teórica .....	149
Procedimiento .....	149
Análisis de Resultados .....	155
Práctica No.7. Sensores.....	157
Objetivo Específico.....	157
Material y Equipo.....	157
Introducción Teórica .....	157
Procedimiento .....	158
Análisis de Resultados .....	163
Práctica No.8. Señales analógicas. ....	165
Objetivo Específico.....	165
Material y Equipo.....	165
Introducción Teórica .....	165
Procedimiento .....	166
Análisis de Resultados .....	169
Práctica No.9. Interrupciones .....	171
Objetivo Específico.....	171
Material y Equipo.....	171
Introducción Teórica .....	171
Procedimiento .....	172
Análisis de Resultados .....	174
Práctica No.10. Subrutinas. ....	177
Objetivo Específico.....	177
Material y Equipo.....	177
Introducción Teórica .....	177
Procedimiento .....	178
Análisis de Resultados .....	180
Apéndice B  ÁLGEBRA BOOLENA Y LÓGICA DE RELEVADORES .....	185
Apéndice C  IMÁGENES SAE-PLC .....	192
Apéndice D  MARCAS ESPECIALES.....	193

Apéndice E  ÁREAS DE MEMORIA.....	194
Apéndice F  PRIORIDADES DE LOS EVENTOS .....	195
Apéndice G  DATOS TÉCNICOS CPU 224 .....	196
Apéndice H  DATOS TÉCNICOS EM 235 .....	200

# Índice de figuras

Figura 1. 1 Ejemplo de Automatización en una línea de ensamble en la industria automotriz. [3].....	21
Figura 1. 2 Diagrama a bloques del sistema General.....	22
Figura 1. 3 Metodología para el desarrollo del proyecto .....	25
Figura 2. 1 a) Símbolo esquemático de un transformador de control, b) Ejemplo de un transformador marca STANCOR, [18]. .....	28
Figura 2. 2 a) Símbolo eléctrico de un Fusible [6], b) bases portafusibles [21] y c) tipos de fusibles [22]. .....	29
Figura 2. 3 Símbolo de Interruptores a)un polo un tiro (SPST), b) doble polo una vía, c) un polo doble vía d) un polo dos tiros (SPDT), e)doble polo doble tiro (DPDT),[23]. .....	29
Figura 2. 4 Ejemplos de interruptores a) switch slide (deslizable) CARLING, b) switch rocker (balancín) EATON, c) switch operated key C&K (operado por una llave), d) switch emergency stop (paro de emergencia) IDEC, e) switch foot LINEMASTER (operado por el pie) , f) switch toggle (palanca) CARLING, [18]. .....	30
Figura 2. 5 Símbolo de interruptores tipo pushbutton momentáneo, a) normalmente abierto (NA), b) normalmente cerrado (NC) y c) normalmente cerrado y normalmente abierto (NA y NC) [6]. .....	30
Figura 2. 6 Imagen de un interruptor tipo pushbutton mantenido. ....	31
Figura 2. 7 Ejemplos de interruptores pushbutton momentáneo y mantenido de diferentes fabricantes, a) TYCO ELECTRONICS, b)EATON, c) GRAYHILL, d)APEM e) OMRON, [18].....	31
Figura 2. 8 Ejemplos de interruptores actuadores a) interruptor pushbutton industrial guarded IDEC , b) interruptor pushbutton industrial flush IDEC, c) interruptor pushbutton industrial extended IDEC, [18].....	31
Figura 2. 9 Interruptores tipo pushbutton mushroom head a) palm head IDEC, b) emergency stop EATON y EAO, [18].....	32
Figura 2. 10 Símbolo esquemático de un Interruptor tipo pushbutton mushroom head a) normalmente abierto, b) normalmente cerrado. ....	32
Figura 2. 11 Símbolo de un interruptor selector a) normalmente abierto, b) normalmente abierto y normalmente cerrado, c) ejemplo de interruptores industrial selector IDEC, [18]. ....	32
Figura 2. 12 Interruptor fin de carrera a) símbolo, b) switch ITW SPDT 20A 480V [18]. .....	33
Figura 2. 13 Lámparas indicadoras a) símbolo, b) lámparas piloto industriales IDEC [18].....	33
Figura 2. 14 Bocina a) símbolo de alarma sonora, b) ejemplos de bocinas (sirena Edwards, bocina EAO y KLAXON, [18]). .....	34
Figura 2. 15 Elementos de un relevador [6].....	34

Figura 2. 16 Símbolos de un relevador a) normalmente abierto, b) normalmente cerrado, c) bobina, d) Relevador STRUTHERS DPDT, 120VAC, 30A, [18].	35
Figura 2. 17 Circuito básico de control.	36
Figura 2. 18 Ejemplo de etiqueta de un cable.	36
Figura 2. 19 Controlador Lógico Programable de Arquitectura abierta.	41
Figura 2. 20 Controlador Lógico Programable del tipo caja de zapato.	41
Figura 2. 21 Controlador Lógico Programable de arquitectura Modular.	41
Figura 2. 22 Diagrama a Bloques de un Controlador Lógico Programable.	43
Figura 2. 23 Diagrama eléctrico en escalera simple.	44
Figura 2. 24 a) Configuración de un relevador con una bobina Q, un contacto normalmente abierto I1 y un contacto normalmente cerrado I2. b) Bobina Q se encuentra desenergizada c) Bobina Q se encuentra energizada.	45
Figura 2. 25 Cableado lógico implementado con relevadores que se traduce en leguajes de contactos que puede ser implementado en PLC's y su representación utilizando algebra de Boole.	46
Figura 3. 1 Diseño en papel del SAE-PLC	52
Figura 3. 2 Gabinete industrial modelo Atlantic 55 marca Legrand 500x400x200 mm.	53
Figura 3. 3 PLC de la familia S7-200 del fabricante Siemens que posee en su inventario la Universidad Tecnológica de la Mixteca a) CPU 224, b) programa MicroWin STEP 7 para programar el PLC, c) módulo de expansión EM 235 de entradas y salida analógica.	56
Figura 3. 4 Diseño espacial de los componentes para el SAE-PLC en un archivo Corel Draw X3.	57
Figura 3. 5 Proceso de mecanizado del gabinete industrial a) fijación de la puerta del gabinete en la maquina CNC, b) perforación de los orificios del SAE-PLC, c) terminación del proceso de mecanizado de la puerta del gabinete mediante la troqueladora que se encuentra en el taller de metales de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.	58
Figura 3. 6 Perforaciones del SAE-PLC a) correspondientes a la instalación del ventilador de CA, b) tomacorriente AC para energizar al sistema.	59
Figura 3. 7 Perforaciones e instalación a) agarraderas para poder trasportar el sistema, b) bases para estabilidad del SAE-PLC.	59
Figura 3. 8 Etiquetas realizadas en vinil del SAE-PLC realizado en Corel Draw X3.	62
Figura 3. 9 Montaje de todos los materiales para el funcionamiento del SAE-PLC.	63
Figura 3. 10 Distribución y montaje sobre la platina de todos los dispositivos y materiales necesarios para el funcionamiento del SAE-PLC.	66
Figura 3. 11 Esquema general del cableado del SAE-PLC.	67
Figura 3. 12 Placa de relevadores para realizar la conmutación entre entradas digitales internas con las entradas digitales externas.	68
Figura 3. 13 Proceso de cableado del SAE-PLC y la implementación de terminales.	69
Figura 3. 14 Fase de construcción del sistema SAE-PLC terminada con todos sus elementos interconectados.	70
Figura 4. 1 Práctica 1, identificando elementos del SAE-PLC.	75
Figura 4. 2 Práctica 2, Partes del STEP 7 MicroWIN y Ejemplo1.mwp.	75
Figura 4. 3 Práctica 3, Motor CD.	75
Figura 4. 4 Práctica 4, Motor CA Trifásico.	75

Figura 4. 5 Práctica 5. Semáforos. ....	75
Figura 4. 6 Práctica 6, activación de electroválvula doble cilindro.....	75
Figura 4. 7 Práctica 7, sensor mecánico interruptor final de carrera.....	75
Figura 4. 8 Práctica 8, señales analógicas. ....	75
Figura 4. 9 Práctica 9, interrupciones.....	76
Figura 4. 10 Práctica 10, subrutinas. ....	76
Figura P1. 1 Diagrama General del sistema SAE-PLC, Vista Frontal.....	92
Figura P1. 2 Esquema General del Sistema SAE-PLC, vista lateral izquierda.....	96
Figura P1. 3 Cable PC/PPI para establecer la comunicación entre el sistema SAE-PLC y la PC.....	96
Figura P1. 4 Diagrama interno de los elementos que conforman al sistema SAE-PLC.....	97
Figura P2. 1 Señales de entrada de un PLC. ....	102
Figura P2. 2 Comunicación entre el PLC y la PC en modo PPI .....	103
Figura P2. 3 Ventanas del proceso de Ajuste de interface del Paso 2.2.1 y 2.2.2.....	104
Figura P2. 4 Entorno del Programa MicroWIN STEP 7 ver 3.0.....	106
Figura P2. 5 Programa de Ejemplo1.mwp. ....	106
Figura P2. 6 Esquema eléctrico de un circuito de autoretención. ....	109
Figura P2. 7 Circuito de autoretención implementado en un PLC.....	110
Figura P2. 8 Funciones Booleanas como AND, OR y NOT, representados por un esquema eléctrico. ....	111
Figura P3. 1 Diagrama Eléctrico de cómo cablear los elementos para el control de marcha y paro de un motor de CD utilizando un relevador 2 polo 2 tiros con el sistema SAE-PLC. ....	118
Figura P3. 2 Primer Diagrama de escalera, solución Ejemplo P3.1.....	119
Figura P3. 3 Diagrama de escalera por autoretención.....	119
Figura P3. 4 Segundo diagrama de escalera del Ejercicio P3.3. ....	120
Figura P3. 5 Diagrama de escalera del Telerruptor.....	121
Figura P3. 6 Solución Ejercicio P3.5. ....	121
Figura P3. 7 Diagrama de escalera de las solución del Ejerció P3.6.....	122
Figura P4. 1 Secuencia del semáforo del ejercicio P4.1 .....	127
Figura P4. 2 Solución del Ejercicio P4.1.....	127
Figura P4. 3 Secuencia del semáforo del ejercicio P4.2. ....	128
Figura P4. 4 Solución del Ejercicio P4.2.....	129
Figura P4. 5 Secuencia del semáforo del Ejercicio P4.3.....	130
Figura P4. 6 Solución del Ejercicio P4.3.....	131
Figura P4. 7 Secuencia del semáforo del Ejercicio P4.4.....	133
Figura P4. 8 Solución ejercicio semáforo, Ejercicio P4.4.....	134
Figura P5. 1 Diagrama eléctrico de un arranque de motor trifásico.....	140
Figura P5. 2 Diagrama de conexiones utilizando el sistema SAE-PLC para el arranque de un motor trifasico. ....	141
Figura P5. 3 Diagrama de escalera del circuito de mando para encender y parar el motor trifásico.....	142
Figura P5. 4 Diagrama de conexiones utilizando el sistema SAE-PLC para el arranque y cambio de giro de un motor trifásico. ....	144
Figura P5. 5 Diagrama de escalera del circuito de mando para encender y parar el motor trifásico.....	145
Figura P5. 1 Diagrama eléctrico de un arranque de motor trifásico.....	140

Figura P5. 2 Diagrama de conexiones utilizando el sistema SAE-PLC para el arranque de un motor trifásico. ....	141
Figura P5. 3 Diagrama de escalera del circuito de mando para encender y parar el motor trifásico.....	142
Figura P5. 4 Diagrama de conexiones utilizando el sistema SAE-PLC para el arranque y cambio de giro de un motor trifásico. ....	144
Figura P5. 5 Diagrama de escalera del circuito de mando para encender y parar el motor trifásico.....	145
Figura P6. 1 Diagrama de conexiones utilizando el sistema SAE-PLC para la activación y desactivación de un cilindro de simple efecto utilizando el equipo de neumática FESTO.....	152
Figura P6. 2 Elementos del compresor de aire 2.5HP con un tanque de 25lts. ....	152
Figura P6. 3 Diagrama de escalera de la solución del ejercicio P6.1.....	153
Figura P6. 4 Diagrama de conexiones utilizando el sistema SAE-PLC para la activación y desactivación de un cilindro de doble efecto utilizando el equipo de neumática FESTO.....	154
Figura P6. 5 Operaciones Booleanas implementadas en neumática, para las funciones con AND se ocupan las válvulas de simultaneidad, y para la función OR se ocupan válvulas selectoras. ....	155
Figura P7. 1 Diagrama de conexiones neumático utilizando sensores mecánicos del equipo FESTO.....	160
Figura P7. 2 Diagrama de conexiones eléctrico utilizando sensores mecánicos en el sistema SAE-PLC.....	161
Figura P7. 3 Elementos del compresor de aire 2.5HP con un tanque de 25lts. ....	161
Figura P7. 4 Solución Ejercicio P7.1 .....	162
Figura P7. 5 Sensor de proximidad inductivo y sensor de proximidad capacitivo. ....	163
Figura P8. 1 Diagrama de cableado SAE-PLC para señales analógicas de voltaje y corriente de entrada y salida.....	166
Figura P8. 2 Ubicación del modulo EM 235 en el interior del sistema SAE-PLC. ....	167
Figura P8. 3 Solución del Ejercicio P8.1.....	168
Figura P8. 4 Diagrama para el Ejercicio P8.1. ....	169
Figura P9. 1 Diagrama en KOP de la solución del Ejercicio P9.1. ....	173
Figura P9. 2 Diagrama en KOP para las interrupciones 10 y 11.....	174
Figura P10. 1 Subrutina Selección de tiempo. ....	179
Figura P10. 2 Interrupción Incrementar cuenta.....	179
Figura P10. 3 Interrupción Decrementar cuenta. ....	179
Figura P10. 4 Interrupción Decrementar cuenta. ....	180
Figura B1. 1 Figura B.1 Esquema AND en Diagrama de escalera. ....	185
Figura B1. 2 Esquema OR en Diagrama de escalera. ....	186
Figura B1. 3 Diagrama de escalera, operaciones AND, OR, AND-OR y OR-AND. ....	186
Figura B1. 4 Circuito prueba de Tierra. ....	187
Figura B1. 5 Circuito Latch.....	187
Figura B1. 6 . Circuito “2-Handed Operation” .....	188
Figura B1. 7 Circuito 2-Handed Operation, anti-repeat y anti-tie down.....	188
Figura B1. 8 Interruptor límite cam-operated. ....	189
Figura B1. 9 Circuito single-cycle. ....	190
Figura B1. 10 Circuito 2-handded, anti-tie down, anti-repeat, single-cycle. ....	191
Figura C1. 1 Vista interna SAE-PLC. ....	192

Figura C1. 2 Vista frontal SAE-PLC. ....	192
Figura C1. 3 Vista lateral izquierda y posterior SAE-PLC. ....	192
Figura C1. 4 Vista lateral derecha y posterior SAE-PLC.....	192
Figura C1. 5 Vista superior SAE-PLC.....	192
Figura C1. 6 Vista inferior SAE-PLC. ....	192

# Índice de tablas

Tabla 3. 1 Ejemplos de prototipos didácticos para entrenamiento en PLC's .....	50
Tabla 3. 2 Lista de materiales utilizados en la parte frontal del gabinete .....	54
Tabla 3. 3 Materiales que se utilizaron en la tapa del gabinete industrial y el propósito para los cuales se destinaron. ....	55
Tabla 3. 4.a Colores de las Etiquetas que se utilizaron en la construcción del sistema SAE-PLC.....	60
Tabla 3. 4.b Colores de las Etiquetas que se utilizaron en la construcción del sistema SAE-PLC.....	61
Tabla 3. 5.a Materiales y dispositivos utilizados en el interior del sistema SAE-PLC.....	64
Tabla 3. 5.b Materiales y dispositivos utilizados en el interior del sistema SAE-PLC.....	65
Tabla 3. 6 Precio aproximado del Sistema SAE-PLC. ....	71
Tabla P4. 1 Marcas especiales del STEP 7.....	126
Tabla P6. 1 Tabla de información del sistema de automatización FESTO. ....	151
Tabla P7. 1 Operación del STEP 7.....	158
Tabla P7. 2 Características de los sensores del sistema de automatización en neumática FESTO.....	159
Figura P8. 1 Diagrama de cableado SAE-PLC para señales analógicas de voltaje y corriente de entrada y salida. ....	166
Figura P8. 2 Ubicación del modulo EM 235 en el interior del sistema SAE-PLC. ....	167
Figura P8. 3 Solución del Ejercicio P8.1.....	168
Figura P8. 4 Diagrama para el Ejercicio P8.1. ....	169
Figura P9. 1 Diagrama en KOP de la solución del Ejercicio P9.1.....	173
Figura P9. 2 Diagrama en KOP para las interrupciones 10 y 11. ....	174
Tabla P10. 1 Declaración subrutinas. ....	178



# RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad el diseño y construcción de un sistema didáctico para apoyo a la enseñanza y/o aprendizaje de los Controladores Lógicos Programables, dispositivos que son utilizados en algunas asignaturas de los programas educativos que se imparten en la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Con ello se pretende brindar una herramienta que facilite a quien lo utilice, la asimilación de conceptos básicos e intermedios de PLC's.

El objetivo general es diseñar y construir un sistema donde el alumno pueda practicar la solución de un problema de automatización. Actualmente la Universidad Tecnológica de la Mixteca dispone de estos dispositivos en su inventario y pueden ser utilizados por el alumnado en general.

El sistema resultante, se construyó físicamente dentro de las instalaciones de la Universidad Tecnológica de la Mixteca en el área de taller de metales y en las instalaciones del laboratorio avanzado de electrónica.

Al sistema construido se le denominó SAE-PLC (Sistema para apoyo a la Enseñanza de Controladores Lógicos Programables); y cuenta con entradas y salidas digitales de 24 VDC y 120 VCA, entradas analógicas, una salida analógica, sistema de protección contra cortos y ventilación interna.

Se desarrolló un manual de prácticas con ejemplos de funciones básicas e intermedias que se utilizan para la programación de los PLC's. En el manual de prácticas se plasman problemas de automatización y su solución permitiendo a los estudiantes desarrollar conocimientos necesarios para operar, programar y desarrollar programas en lenguaje de escalera.



# Capítulo 1 | INTRODUCCIÓN

La automatización surgió con el fin de explotar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas, anteriormente efectuadas por seres humanos, y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana. En comunicaciones, aviación y astronáutica, se han utilizado dispositivos tales como equipos automáticos de conmutación telefónica, los pilotos automáticos de guía y los sistemas automatizados de control para efectuar diversas tareas con mayor rapidez y precisión, mejor de lo que podría hacerlo un ser humano [1]. Lo anterior solo es posible gracias al uso de diversas técnicas de control, accionamiento e informática. Un ejemplo de los alcances de la automatización es una línea de ensamble en la industria automotriz, como la mostrada en la Figura 1.1, donde se puede apreciar el proceso de soldadura de partes de un auto realizado por dispositivos especializados sin la intervención del elemento humano.



**Figura 1. 1** Ejemplo de Automatización en una línea de ensamble en la industria automotriz. [3]

La automatización emplea diversas tecnologías para integrar una variedad de procesos de control mediante dispositivos dotados con capacidades para la toma de decisiones, los cuales interactúan entre sí a través de un dispositivo programable que monitorea y procesa las variables de proceso, entregando a su vez señales de comando a los dispositivos actuadores; lo anterior se realiza en forma automática, resultando así mayor productividad, confiabilidad, estabilidad y calidad en los resultados del proceso [2].

De acuerdo con [3] la Automatización Industrial (automatización; del griego antiguo: guiado por uno mismo) es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos. Como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un simple sistema de control, abarcando la instrumentación industrial, que incluye sensores y transmisores de campo, sistemas de control y supervisión, sistemas de transmisión y recolección de datos y aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

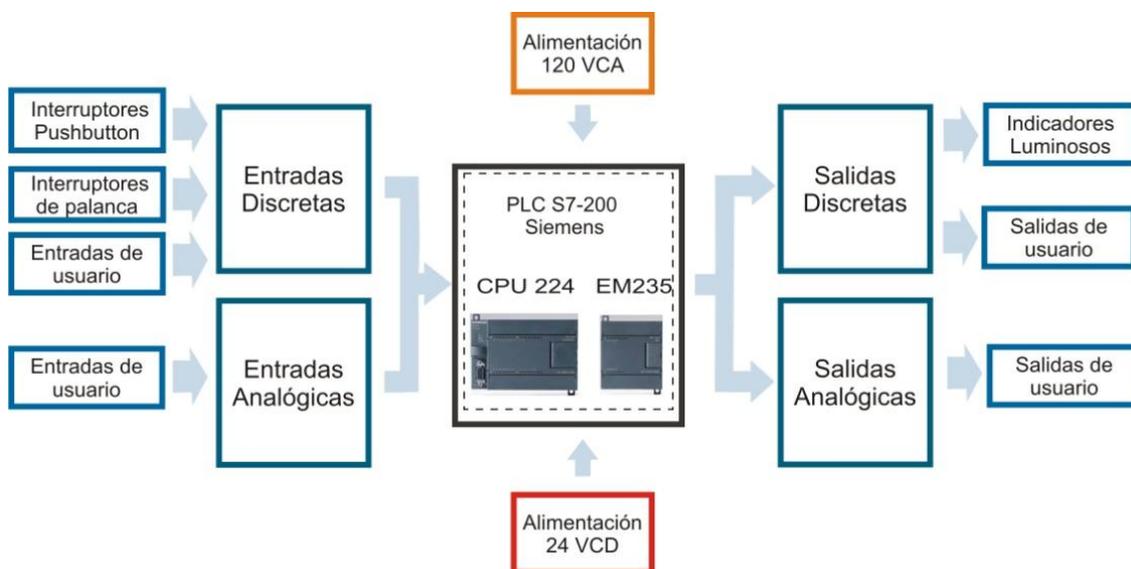
Hoy en día los desafíos que enfrentan las empresas ante la globalización de la economía obligan a que la industria adquiera herramientas para el desarrollo competitivo mediante la adaptación de nuevas tecnologías de producción para alcanzar niveles de competitividad y desarrollo propio y dinámico [4].

Este trabajo de tesis está relacionado con uno de los elementos comúnmente empleados en la automatización industrial: el Controlador Lógico Programable (PLC, por sus siglas en inglés, Programmable Logic Controller). Concretamente se aborda el diseño y construcción de un prototipo didáctico que facilite la enseñanza y aprendizaje de este tipo de dispositivos en algunas asignaturas de los diferentes programas educativos que oferta la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

La Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) posee en su inventario Controladores Lógicos Programables CPU's 224 que han permitido brindar a la comunidad estudiantil dispositivos para la elaboración e implementación de prácticas relacionadas con la automatización de procesos industriales. Sin embargo, los elementos externos al PLC necesarios para la implementación de dichas prácticas, la mayoría de las ocasiones no están disponibles en los laboratorios de la institución.

Por lo anterior, en este trabajo de tesis se planteó el diseño y construcción de una herramienta didáctica que permita al usuario realizar conexiones rápidas al momento de implementar la solución de un problema de automatización mediante el uso de PLC's. El sistema así diseñado puede recibir señales tanto internas como externas.

## 1.1 Planteamiento del problema



**Figura 1. 2 Diagrama a bloques del sistema General.**

Este trabajo de tesis está centrado en el Controlador Lógico Programable S7-200, CPU 224 del fabricante Siemens, el cual junto con otros elementos permitirán el diseño y construcción de un sistema didáctico de entrenamiento en el manejo de PLC's. El problema consiste en diseñar e implementar una herramienta didáctica que permita a los alumnos de

algunos de los programas educativos que ofrece la Universidad Tecnológica de la Mixteca, la realización de prácticas de automatización utilizando Controladores Lógicos Programables. Para resolver el problema planteado se propuso el sistema descrito por el diagrama a bloques de la Figura 1.2.

## 1.2. Objetivo general

El objetivo general planteado en este trabajo de tesis es el de diseñar y construir un sistema didáctico para apoyo a la enseñanza y aprendizaje de los Controladores Lógicos Programables (PLC).

### 1.2.1 Objetivo específicos

- Diseñar un sistema didáctico con base en un PLC.
- Construcción del sistema propuesto y probar su funcionamiento.
- Realizar prácticas con el sistema, que ilustren algunas de las aplicaciones típicas de un PLC y sus recursos.
- Redactar un documento del proceso de construcción del sistema didáctico.
- Redactar un documento que muestre las características del sistema didáctico y sus posibles automatismos.

### 1.2.2 Metas

- Diseñar el panel para el sistema de entrenamiento.
- Construir el sistema didáctico con 14 entradas digitales, 10 salidas digitales, 4 entradas analógicas y 1 salida analógica.
- Montar los componentes del sistema en un gabinete para su fácil sustitución en caso de daño.
- Implementar un módulo de protección contra sobrecargas de energía con el fin de brindarle protección al CPU 224.
- Realizar 5 prácticas para aprender el manejo de los recursos básicos de un PLC.
- Realizar 5 prácticas para utilizar los recursos intermedios del PLC.
- Elaborar el manual de usuario del sistema didáctico.
- Elaborar la guía de prácticas con manual de soluciones.
- Incluir prácticas sin solución con el fin de que el alumno pueda practicar los conocimientos adquiridos.

## 1.3 Justificación

Derivado de la puesta en marcha de nuevos planes de estudio en las diferentes carreras afines con el tema de automatización, como es el caso del área terminal de control y automatización de la carrera de Ingeniería en Electrónica, se requiere de una herramienta que permita facilitar el aprendizaje en el uso de los Controladores Lógicos Programables con el fin de poder afrontar problemas de automatización que se presenten en la industria.

El laboratorio de Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca cuenta con Controladores Lógicos Programables de la familia S7-200 de Siemens. El proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de un sistema didáctico donde los alumnos desarrollen prácticas típicas e implementen soluciones de automatización.

Sin embargo, los PLC's con que cuenta los laboratorios avanzados de electrónica, sólo están equipados con una tarjeta de interruptores de tipo palanca que permiten simular entradas al PLC. Con la finalidad de que los alumnos no solo simulen programas de un PLC sino que conecten este último con sistemas físicos reales, entonces es claramente necesario contar con la herramienta didáctica propuesta en éste trabajo de tesis.

Por lo regular los sistemas educativos para la enseñanza de PLC's dan facilidades al alumno para la realización de prácticas que muestran la solución de algún problema de automatización, haciendo que éste se interese por aprender la utilización de éstos dispositivos por las ventajas antes mencionadas. Estos sistemas en el mercado son considerablemente costosos, así como los cursos de capacitación para aprender a manejarlos. Por tal motivo es factible considerar que con los elementos que posee la Universidad se puede llevar a la realidad el diseño y construcción de un sistema de entrenamiento, para la implementación de prácticas de automatización que puedan realizar los alumnos, por lo que será el principal objetivo contemplado, dar una herramienta didáctica que auxilie la enseñanza de estos dispositivos.

En la universidad no hay muchos trabajos realizados con Controladores Lógicos Programables, por lo que con este trabajo se deja un precedente para futuros proyectos. Este proyecto muestra las características de los PLC's así como su flexibilidad para implementarse fácilmente a ambientes industrializados, dejando una propuesta viable para que el sistema pueda ampliarse, siendo factible la construcción en serie de varios sistemas para las otras universidades pertenecientes al SUNEО (Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca).

Con esto se da a los egresados de la UTM oportunidades de formación tecnológica ya que permite la creación y desarrollo de proyectos con el uso de los PLC's, así como también les brinda oportunidades de empleo en el ambiente laboral industrial en ciudades desarrolladas donde comúnmente es utilizada este tipo de tecnología, por lo que resulta relevante la enseñanza de estos temas de interés para la comunidad estudiantil.

Se capacita al alumno o usuario final a un bajo costo, debido a que el material didáctico lo posee la universidad en su inventario, así como contar con una plantilla de profesores altamente calificados que imparten materias de automatización con utilización de PLC's, por lo que la inversión monetaria para la capacitación de personal estudiantil es menor que en el sector privado, donde los cursos para aprender los conocimientos necesarios para operar estos dispositivos resultan elevados para la mayor parte del alumnado en general.

### 1.4. Metodología de desarrollo

Existen diferentes metodologías de la investigación para la realización del proyecto de tesis, se siguió un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos para el diseño, desarrollo y construcción del sistema, con el fin de que este fuera dinámico, cambiante y evolutivo [15]. Como se puede ver en el objetivo general de éste trabajo, se divide el proceso de desarrollo en tres etapas principales. En la primera parte fue el diseño en papel de todo el sistema, donde se exponen las características que contiene el sistema una vez finalizado, la segunda parte consiste en la construcción de todo lo planteado en la etapa anterior y por último se prueba el funcionamiento del sistema y se realiza la documentación de todo el proceso que llevó a la culminación del proyecto.

Por todo lo expresado anteriormente la metodología de desarrollo (ver Figura 1.3) se divide en las siguientes etapas:

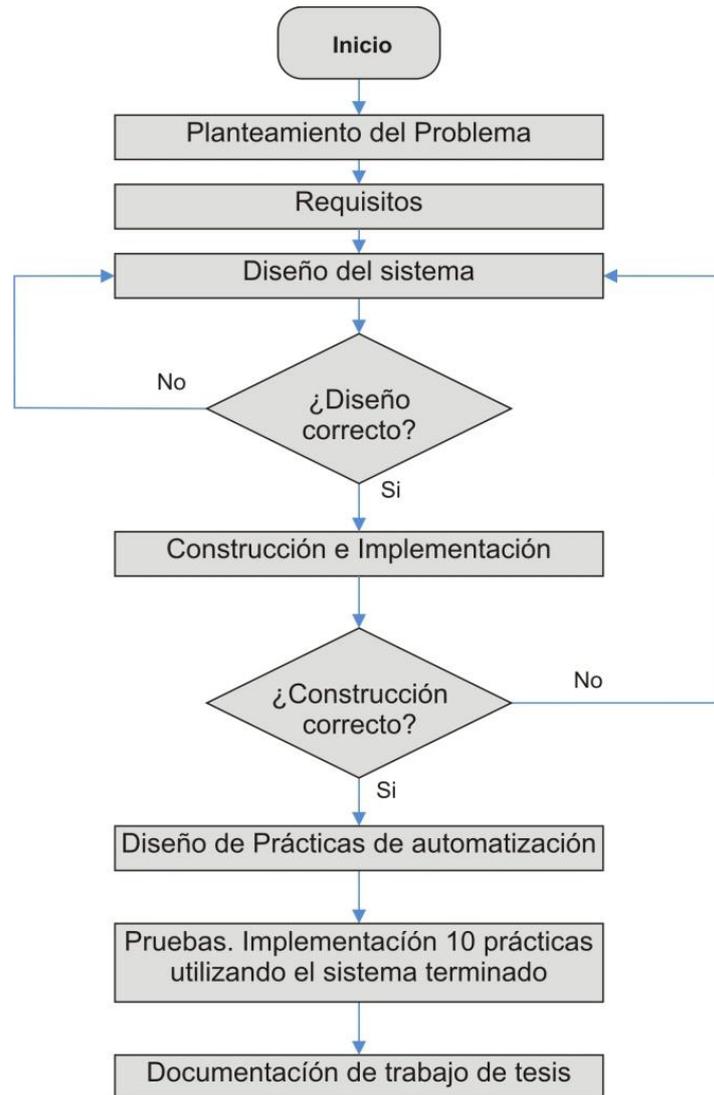


Figura 1. 3 Metodología para el desarrollo del proyecto

**Planteamiento del Problema.** Se detectó el problema, de que no existe en la Universidad Tecnológica de la Mixteca, un sistema para apoyo a la enseñanza de PLC's.

**Requisitos.** Se analizan los elementos que debe poseer el sistema con base a sistemas ya existentes en el mercado. También se comparan materiales e investiga equipo con que cuenta la universidad para llevar a cabo su construcción. La funcionalidad y ergonomía se toman en cuenta en esta parte para brindar comodidad al usuario final.

**Diseño del sistema.** Consiste en el proceso de plasmar en papel los elementos que constituyen al sistema, definiendo materiales y equipo a utilizar para su construcción. Se realizan diferentes bosquejos, y se elige la mejor opción para tener una idea general del resultado que se debe obtener a la culminación de todo el trabajo.

**Construcción e Implementación.** En base a la etapa de diseño, se construye el prototipo integrando todos los elementos, tanto eléctricos como mecánicos. El proceso de fabricación se desarrolla dentro de las instalaciones de la Universidad Tecnológica de la Mixteca,

específicamente en el taller de metales y en los laboratorios avanzados de electrónica. En esta fase se implementan los requisitos establecidos previamente.

**Diseño de Prácticas de automatización.** Se diseñan las pruebas que muestran el funcionamiento del sistema una vez terminada su construcción. Se plantean de modo tal que permitan exhibir las características, alcances y limitaciones del prototipo.

**Pruebas.** Se llevan a cabo y documentan 10 prácticas utilizando el prototipo construido. Dichas prácticas permiten corroborar el correcto funcionamiento.

**Documentación.** Se documenta todo el proceso de diseño, construcción y prueba de funcionalidad del prototipo.

## 1.5 Aportaciones

Las aportaciones del sistema propuesto son las siguientes:

- Implementación de una herramienta didáctica que permita conocer la estructura y funcionamiento de los Controladores Lógicos Programables.
- Construcción de un entrenador de PLC's a bajo costo en comparación con modelos que se ofertan en el mercado, cuyo costo es relativamente alto.
- Elaboración de un manual de prácticas para que el usuario pueda aprender los recursos básicos e intermedios de los Controladores Lógicos Programables.

## 1.6. Organización de la tesis

Este documento está organizado de la siguiente manera: el capítulo 1 contiene una breve introducción y marco de referencia del tema que se aborda; además se plantean los objetivos, metas y la justificación del problema que se detecta así como la metodología de desarrollo utilizada. En el capítulo 2 contiene los conceptos teóricos utilizados. En el capítulo 3 se describe el diseño y construcción del sistema para propósitos de enseñanza y aprendizaje de PLC's. En el capítulo 4 se reportan las pruebas de funcionalidad realizadas al sistema, mediante la implementación de prácticas diseñadas específicamente para tal fin; adicionalmente se incluyen algunas recomendaciones y observaciones de los problemas detectados durante el proceso de construcción e implementación. Finalmente, el capítulo 5 contiene las conclusiones y posibles trabajos futuros.

## Capítulo 2 | MARCO TEÓRICO

La gran mayoría, sino es que todas las máquinas o sistemas automáticos, tienen un sistema de control, y dependiendo de la tecnología empleada es posible dividirlos en neumáticos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos. En la industria es posible encontrar sistemas que utilicen una combinación de las diferentes tecnologías. Entre los ejemplos típicos de máquinas de control se encuentran aparatos electrodomésticos, videocámaras, vehículos, etc. Estos son ejemplos del resultado de la fusión de sistemas de control electrónico y la ingeniería mecánica.

Actualmente para el diseño de electrodomésticos, autos, robots, cámaras y otros dispositivos, se tiene preferencia en adoptar un enfoque interdisciplinario para el diseño. Lo anterior con el propósito de desarrollar sistemas de menor costo de producción, confiables y flexibles; para lo cual es necesario la integración de las ingenierías mecánica, eléctrica, electrónica y de control [8].

Cuando se habla de la programación de PLC's se requiere de conceptos básicos tales como: diagramas en escalera, algebra Booleana, lógica de relevadores y otros aspectos involucrados en la programación. Sin embargo, es importante considerar la marca y modelo de un PLC, debido a que presentan diferentes capacidades y características, aunque en la mayoría de las ocasiones su programación se realiza con base en diagramas de escalera.

Con el fin de adentrarse con el tema de los PLC's, la organización de este capítulo se menciona a continuación: la sección 2.1 describe los fundamentos de los diagramas de escalera, y se detallan los símbolos utilizados en dichos diagramas así como las abreviaturas más comúnmente empleadas. La sección 2.2 describe los fundamentos de PLC's y la sección 2.3 está dedicada a los fundamentos para la programación de PLC's.

### 2.1 Fundamentos de los diagramas de escalera

El diseño de máquinas de control es un área exclusiva de la ingeniería, que en la mayoría de las ocasiones requiere del conocimiento de diagramas de escalera. Aunque existen similitudes entre diagramas de control y diagramas electrónicos, la gran mayoría de los componentes y símbolos son diferentes. A continuación se proporciona una descripción breve de algunos de los componentes fundamentales en el desarrollo de diagramas de escalera. Los símbolos básicos se encuentran representados en diagramas de relevadores que pueden ser analizados siguiendo una lógica Booleana [6].

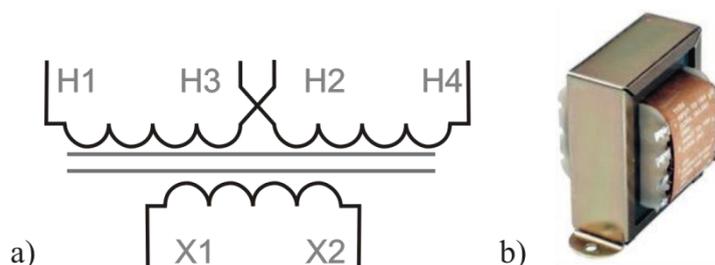
#### 2.1.1 Componentes básicos y sus símbolos

Se definen brevemente algunos de los componentes y símbolos fundamentales en el diseño de máquinas de control eléctrico como transformadores de control, interruptores, lámparas o pilotos, relevadores de control, que son elementos que se utilizan en el diseño de sistemas de control [6].

### 2.1.1.1 Transformadores de control

Por razones de seguridad, las máquinas eléctricas utilizan módulos de bajo voltaje. Debido a que los componentes internos y externos pueden ser tocados accidentalmente por trabajadores y personal de mantenimiento, es contrario a las normas eléctricas aplicar un voltaje mayor a 120 VCA a las terminales de cualquier control de operador. Por ejemplo, supóngase que una persona de mantenimiento está cambiando una lámpara piloto fundida sobre un panel de control y la lámpara se encuentra energizada por 480 VCA. En caso de que la persona toque alguna parte metálica de la base del foco mientras éste se encuentra energizado, puede producirse un choque eléctrico que puede ser letal. Sin embargo, si el foco es energizado por 120 VCA o con un voltaje menor, el choque resultante puede resultar menos severo.

Con el propósito de construir máquinas potentes, eficientes, de bajo costo y reducir la corriente de línea, estas se energizan con voltajes altos (como 240 VCA, 480 VCA ó más). Esto significa que el voltaje de la línea debe ser reducido a 120 VCA o menos para los controles, esto se logra usando un transformador de control. En la Figura 2.1(a), se muestra el símbolo de diagrama eléctrico para un transformador de control. Como se puede apreciar de la figura, existen dos devanados primarios con un voltaje nominal de 240 VCA cada uno. Conectados en paralelo, se obtiene un primario de 240 VCA y conectados en serie se tiene un primario de 480 VCA. Los arrollamientos secundarios son generalmente para voltajes nominales de 120 VCA, 48 VCA, o 24 VCA. Utilizando transformadores de control con dos devanados primarios los fabricantes logran reducir costos y hacer más versátiles sus productos [6].



**Figura 2.1 a) Símbolo esquemático de un transformador de control, b) Ejemplo de un transformador marca STANCOR, [18].**

### 2.1.1.2 Fusibles

Los circuitos de control están siempre protegidos por un fusible. Estos elementos previenen de daños a los transformadores de control en caso de cortos en los sistemas. El símbolo eléctrico se puede ver en la Figura 2.2 (a)

Cuando existen problemas de cortos circuitos o fallas, se usan fusibles de acción rápida para proteger a todo el sistema de las corrientes resultantes, ya que conforme aumenta la corriente de falla, se abre el fusible y el problema se elimina en unos milisegundos [19].

Los fusibles se construyen en forma de cartucho, calibrado a una determinada intensidad de corriente. En su interior se encuentra un hilo metálico, el cual, cuando la corriente que lo atraviesa supera el valor al cual fue calibrado, se funde por el calor producido interrumpiendo y abriendo así el circuito [20]. Para una mayor comodidad se utilizan bases portafusibles, algunos ejemplos se muestran en la Figura 2.2 (b).



**Figura 2. 2** a) Símbolo eléctrico de un Fusible [6], b) bases portafusibles [21] y c) tipos de fusibles [22].

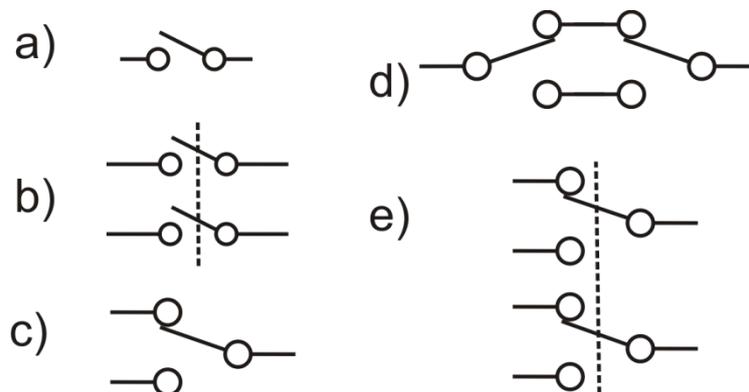
Frecuentemente se utilizan dos tipos de fusibles en instalaciones eléctricas de bajo voltaje [20]. El primero es el tipo gG o gL (ver Figura 2.2 (c)), el cual es un fusible de uso general que realiza protección contra cortos circuitos y sobrecargas. El segundo es el tipo aM, un fusible de acompañamiento de motores, cuya finalidad es la protección de las líneas de alimentación y su respuesta es lenta para el caso de sobrecargas de corriente.

### 2.1.1.3 Interruptores

Un interruptor eléctrico es un mecanismo utilizado para interrumpir el paso de una corriente eléctrica, o desviar su curso, y está diseñado para soportar una corriente y voltaje máximo de trabajo [3]. En automatización suelen dársele dos usos principales. En primer lugar son utilizados por los operarios para enviar señales al circuito de control. En segundo lugar, pueden ser instalados sobre partes móviles de una máquina para proveer de retroalimentación automática al sistema de control [6].

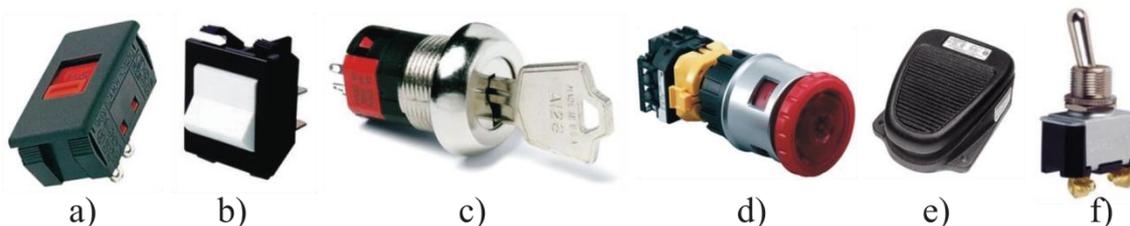
Los interruptores se caracterizan por poseer un número determinado de polos y tiros [23] (ver Figura 2.3). El número de polos es visto como la cantidad de circuitos individuales que se pueden controlar. Por ejemplo, si se quiere encender una lámpara se requiere de un interruptor de un polo; en cambio, si además de la lámpara queremos encender otro dispositivo como un actuador, se requiere de un interruptor de dos polos.

El número de vías o tiros se refiere a la cantidad de posiciones del interruptor. Por ejemplo, para encender un foco, se utiliza una vía, en la cual se encuentra encendida ó en la posición de apagado.



**Figura 2. 3** Símbolo de Interruptores a)un polo un tiro (SPST), b) doble polo una vía, c)un polo doble vía d) un polo dos tiros (SPDT), e)doble polo doble tiro (DPDT),[23].

Existen diferentes formas de energizar un sistema. El interruptor a utilizar depende de las necesidades y características del sistema. Algunos modelos de interruptores pueden apreciarse en la Figura 2.4. Los interruptores se emplean comúnmente para la construcción de paneles de control.

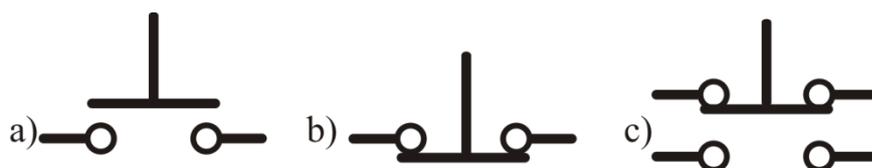


**Figura 2.4** Ejemplos de interruptores a) *switch slide* (deslizable) CARLING, b) *switch rocker* (balancín) EATON, c) *switch operated key* C&K (operado por una llave), d) *switch emergency stop* (paro de emergencia) IDEC, e) *switch foot* LINEMASTER (operado por el pie), f) *switch toggle* (palanca) CARLING, [18].

#### 2.1.1.4 Interruptor tipo pushbutton

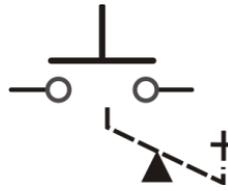
Es el más común de todos y es ampliamente utilizado. Existen en el mercado dos tipos, el momentáneo (“*momentary*”) y el mantenido (“*maintained*”). El primero es activado cuando el botón del interruptor es presionado y se desactiva cuando es liberado. El segundo, se activa cuando es presionado, pero se mantiene activado cuando es liberado, entonces para desactivarlo se debe presionar el botón por segunda vez [6].

Los contactos en los interruptores pueden ser de dos tipos, a saber, normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC). Los contactos NA conectan el circuito cuando se activa el switch; por el contrario los contactos NC desconectan el circuito cuando se activa el mecanismo. En la Figura 2.5 se muestra el símbolo de diagrama eléctrico para un interruptor tipo momentáneo.



**Figura 2.5** Símbolo de interruptores tipo pushbutton momentáneo, a) normalmente abierto (NA), b) normalmente cerrado (NC) y c) normalmente cerrado y normalmente abierto (NA y NC) [6].

La mayoría de los interruptores industriales puede tener contactos extras denominados “*piggy backed*” (uno encima de otro), sobre un mismo interruptor, de tal manera que satisfagan las necesidades del diseño. El símbolo esquemático para un interruptor tipo pushbutton mantenido se muestra en la Figura 2.6.



**Figura 2. 6** Imagen de un interruptor tipo pushbutton mantenido.

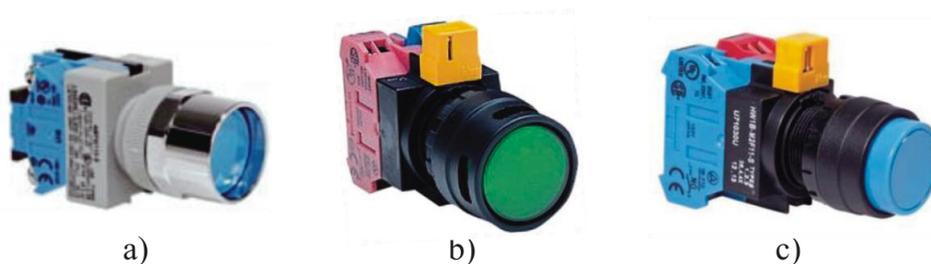
En muchas ocasiones los interruptores momentáneo y mantenido, tienen el mismo aspecto y se diferencian solo en su funcionamiento que será indicado en es indicado en las especificaciones del fabricante (ver Figura 2.7).



**Figura 2. 7** Ejemplos de interruptores pushbutton momentáneo y mantenido de diferentes fabricantes, a) TYCO ELECTRONICS, b)EATON, c) GRAYHILL, d)APEM e) OMRON, [18].

### 2.1.1.5 Actuadores de interruptores tipo pushbutton

El actuador de un interruptor pushbutton es la parte que se oprime para activar o desactivar al interruptor. Estos actuadores pueden ser de diferentes estilos, como se muestra en la Figura 2.8. En la figura 2.8 (a) se muestra un interruptor con actuador “*guarded*” o “*shrouded*” (protegido). En este caso el pushbutton se encuentra dentro de un “*sleeve*” (cilindro de protección) y puede solamente ser presionado por un objeto pequeño menor al tamaño del *sleeve*, por ejemplo un dedo. Esto provee de protección al interruptor contra una posible activación accidental ya sea por la palma de la mano u otro objeto, lo que puede provocar una situación de peligro inesperado [6].



**Figura 2. 8** Ejemplos de interruptores actuadores a) interruptor *pushbutton industrial guarded* IDEC , b) interruptor *pushbutton industrial flush IDEC*, c) interruptor *pushbutton industrial extended IDEC*, [18].

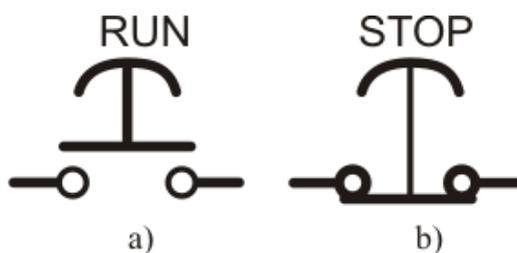
El interruptor mostrado en la Figura 2.8 tiene un actuador que está alineado con el borde del cilindro de protección. Es conocido como interruptor con actuador “*flushed*” (a ras, plano). Proporciona una protección similar contra operaciones accidentales. Sin embargo, el nivel de protección es menor comparado con los interruptores *guarded* [6].

El interruptor de la Figura 2.8 (c) es llamado interruptor con actuador “*extended*” (amplio). Este actuador se extiende más allá del tamaño del *sleeve*, donde el botón puede ser fácilmente presionado por un dedo, palma de la mano o algún objeto.

Los interruptores que aparecen en la Figura 2.8, generalmente no son usados para operaciones de paro de emergencia. En estos casos es preferible utilizar interruptores “*mushroom head*” (cabeza de hongo) mostrados en la Figura 2.9.(a) y (b) [6]. El símbolo de diagrama eléctrico para un interruptor cabeza de hongo se muestra en la Figura 2.10 (a) y (b).



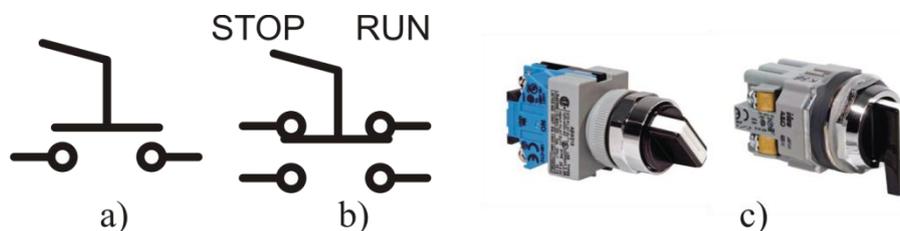
**Figura 2. 9** Interruptores tipo *pushbutton mushroom head* a) *palm head* IDEC, b) *emergency stop* EATON y EAO, [18].



**Figura 2. 10** Símbolo esquemático de un Interruptor tipo *pushbutton mushroom head* a) normalmente abierto, b) normalmente cerrado.

### 2.1.1.6 Interruptor selector

Un interruptor “*selector*” es también conocido como giratorio o rotativo y su símbolo esquemático se muestra en la Figura 2.11 (a) y (b) [6].



**Figura 2. 11** Símbolo de un interruptor selector a) normalmente abierto, b) normalmente abierto y normalmente cerrado, c) ejemplo de interruptores industrial selector IDEC, [18].

### 2.1.1.7 Interruptores de fin de carrera

En la Figura 2.12 se puede ver el símbolo y ejemplo de un interruptor de fin de carrera. Estos interruptores rara vez son utilizados por los operadores humanos. Frecuentemente son activados por partes en movimiento de una máquina. En la industria son utilizados como interruptores mecánicos, pero también pueden ser activados por luz o magnéticamente [6].



**Figura 2.12** Interruptor fin de carrera a) símbolo, b) switch ITW SPDT 20A 480V [18].

### 2.1.1.8 Lámparas indicadoras o pilotos

Todos los paneles de control utilizan lámparas indicadoras o pilotos. Éstos son los encargados de indicar al operador cuando está energizada una máquina así como el estado de operación en el que se encuentra. Los pilotos son dibujados como un círculo con líneas en diagonal como se muestra en la Figura 2.13.



**Figura 2.13** Lámparas indicadoras a) símbolo, b) lámparas piloto industriales IDEC [18].

Suelen emplearse pilotos de colores según el diseño de la máquina o el sistema de control a diseñar. Entre los colores que se emplean destacan los siguientes, los pilotos rojos son reservados para indicar seguridad crítica o peligrosa (alto voltaje, una máquina en funcionamiento, el acceso a un panel está abierto, o que una falla ha ocurrido). El verde es utilizado para indicar condiciones de seguridad (un motor se encuentra desenergizado, el paro de un motor). El amarillo indica condiciones que son importantes pero no peligrosas (máquina en pausa, calentamiento de una máquina). Otros colores indican información no crítica para operaciones de seguridad de la máquina (tiempo de mantenimiento preventivo).

### 2.1.1.9 Bocinas

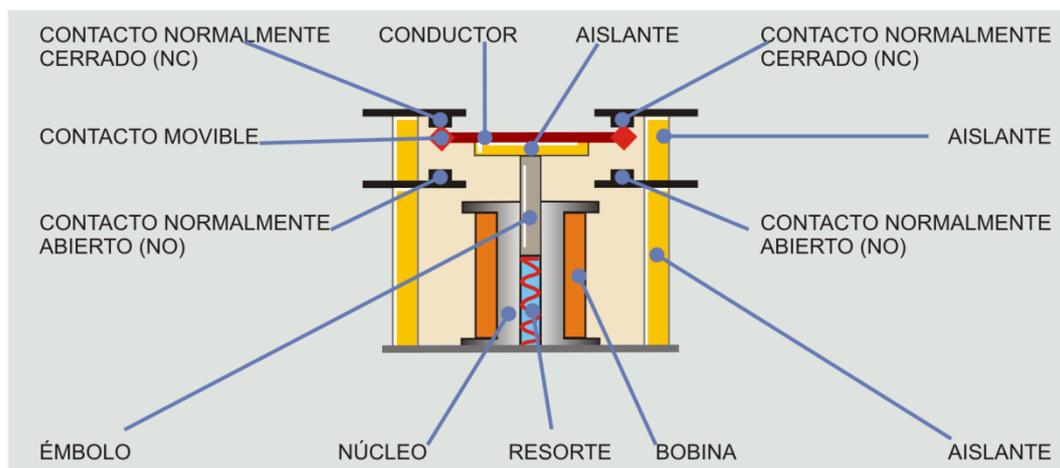
Muchos sistemas utilizan sonidos indicadores de algún evento para informar al operario de la situación del equipo. Para ello suelen emplearse bocinas o alarmas indicadoras de eventos tales como: peligro, en marcha, precaución o falla. Su símbolo se muestra en la Figura 2.14.



**Figura 2. 14 Bocina a) símbolo de alarma sonora, b) ejemplos de bocinas (sirena Edwards, bocina EAO y KLAXON, [18]).**

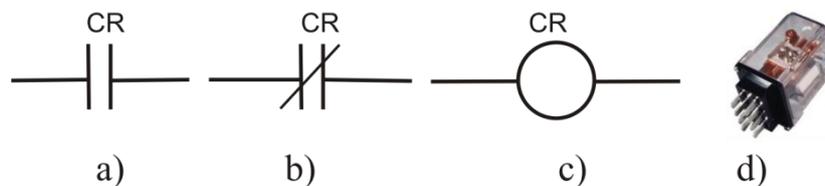
### 2.1.1.10 Relevadores

En un inicio los sistemas de control eléctrico estaban constituidos principalmente por relevadores e interruptores. En la Figura 2.15 se muestra el esquema de un relevador. Un relevador, o Contactor, es un dispositivo electromagnético compuesto de un núcleo con un electroimán y contactos (algunos móviles y otros fijos). Los contactos móviles están montados mediante un aislante a un émbolo que se mueve dentro de la bobina. Una bobina de alambre de cobre es enrollada sobre el núcleo para crear un electroimán. Un resorte mantiene el émbolo alejado del electroimán. Cuando el electroimán es energizado mediante una corriente eléctrica a través de la bobina, el campo magnético jala el émbolo dentro del núcleo, el cual a su vez jala los contactos móviles hacia abajo. Dos pares de contactos fijos están montados en la estructura del relevador sobre aislantes de modo tal que cuando los contactos móviles no son jalados hacia el núcleo, físicamente tocan el par de contactos fijos superiores y, en caso contrario, tocan el par de contactos fijos inferiores. Pueden existir varios conjuntos de contactos montados en la estructura del relevador. Los contactos fijos superiores son conocidos como contactos normalmente cerrados, y los inferiores como contactos normalmente abiertos.



**Figura 2. 15 Elementos de un relevador [6].**

Es importante recordar que los símbolos esquemáticos usados en diagramas eléctricos son diferentes que los símbolos para los componentes de los diagramas electrónicos. En la Figura 2.16 se muestran tres de los símbolos de relevadores más comúnmente usados en diagramas eléctricos. Estos tres símbolos son: un contacto normalmente abierto (Figura 2.16 (a)), un contacto normalmente cerrado (Figura 2.16 (b)) y una bobina (Figura 2.16 (c)). Nótese que el símbolo del contacto normalmente abierto puede ser fácilmente mal interpretado en un diseño electrónico por un capacitor.



**Figura 2. 16** Símbolos de un relevador a) normalmente abierto, b) normalmente cerrado, c) bobina, d) Relevador STRUTHERS DPDT, 120VAC, 30A, [18].

La Figura 2.16 (c) representa la bobina real del relevador y es representada por un círculo, o en ocasiones por un paréntesis. Cuando la bobina es energizada, todos los contactos normalmente abiertos se cierran y todos los contactos normalmente cerrados se abren. De la misma manera si la bobina es desenergizada, ocurre lo contrario.

Al relevador también se le conoce como contactor, con el cual podemos tener un dispositivo de mando a distancia, que permite abrir o cerrar circuitos, ya sea en vacío o bajo carga, que aseguran el establecimiento y corte de la corriente principal del circuito de mando [6].

#### 2.1.1.11 Relevadores de retardo de tiempo

Es un relevador que tiene incorporado un sistema de retardo de tiempo que conecta o desconecta un circuito después de un intervalo de tiempo. También denominado relevador de retardo de tiempo o TDR's. El símbolo esquemático para una bobina y contactos de un relevador TDR es similar a uno convencional, excepto que en el símbolo de la bobina tiene escritas las letras TDR o TR. El relevador se ve igual a algún otro relevador excepto que tiene un mando de control en el que permite al usuario activar un circuito en una determinada cantidad de tiempo. Hay dos tipos de relevadores de retardo de tiempo. Existen el relevador de retardo a la conexión, algunas veces llamado TON, y el relevador con retardo a la desconexión, llamado algunas veces TOF.

##### 2.1.1.11.1 Relevadores de retardo de tiempo a la conexión TON

Cuando se requiere de un tiempo automático para energizar un circuito, el usuario ajusta en el relevador TON el tiempo deseado de retardo para la conexión. Este tiempo de ajuste es llamado *preset* (preestablecido). Cuando la bobina es energizada, el temporizador interno dentro del relevador empieza a correr (esto puede ser impulsado por un temporizador mecánico o electrónico). Cuando el valor del tiempo en el temporizador alcanza el valor de preselección, el relevador es energizado. Cuando esto sucede, los contactos normalmente abiertos se cierran y los contactos normalmente cerrados son abiertos. Cuando se deja de suministrar voltaje a la bobina, los contactos retornan su estado de desenergizado, el temporizador se reinicializa, y el

relevador está listo para empezar la cuenta nuevamente. Si se aplica voltaje a la bobina y se apaga antes de que se alcance el valor de preselección, los contactos del relevador no son activados.

#### 2.1.1.11.1 Relevadores de retardo de tiempo a la desconexión TOF

Para un relevador de retardo a la desconexión, en el instante que es aplicado voltaje en la bobina, el temporizador empieza a correr, los contactos son activados, esto quiere decir, los contactos normalmente abiertos con cerrados y los normalmente cerrados son abiertos. Cuando el valor de preselección es alcanzado el relevador se desactiva, los contactos normalmente abiertos se abren y los normalmente cerrados se cierran.

#### 2.1.2 Diagrama de escalera básico

La mayoría de los diagramas de control de máquinas eléctricas se dibujan utilizando un formato estándar. Este formato es llamado *diagrama de escalera*. Se inicia con el transformador de control, al cual se le agrega un fusible de protección a su izquierda, o en muchos casos el fusible es parte del transformador. Después de dibujar el fusible y el transformador, se dibujan a ambos lados líneas horizontales seguidas de líneas verticales como se muestra en la Figura 2.17. Estas líneas verticales se les denominan “*rails power*” o rieles de potencia, y la diferencia de voltaje entre los dos rieles es igual al voltaje del devanado secundario del transformador [6].

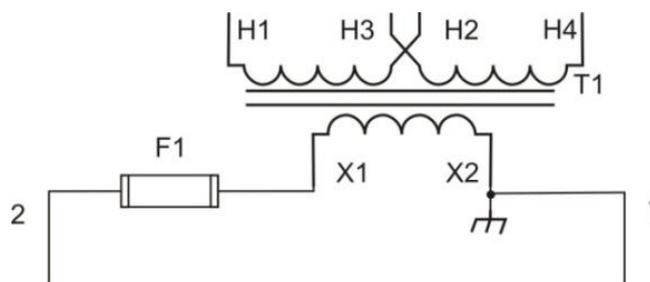


Figura 2.17 Circuito básico de control.

#### 2.1.3 Cableado

Es una buena práctica de diseño de tableros de control eléctrico numerar el cableado empleado. En el diagrama de la Figura 2.17, se aprecia que el riel izquierdo es etiquetado con el número 2 y el derecho con el número 1. Cuando se construye el sistema, el cableado usado para conectar los componentes tiene una etiqueta al final del cable como se ve en la Figura 2.18. Estas marcas facilitan la construcción, localización de fallas y la modificación del circuito.



Figura 2.18 Ejemplo de etiqueta de un cable.

El cable generalmente utilizado para circuitos de control es AWG 14 (“*American Wire Gauge*”), es una referencia de clasificación de conductores eléctricos de acuerdo a sus diámetros) o AWG 16, tipo MTW o THHN. El cable MTW (de “*machine tool wire*”) es utilizado en aplicaciones donde el cableado no es expuesto a gas o aceite, siendo menos caro, más flexible y fácil de cablear; por el contrario el cable tipo THHN (de “*thermoplastic heat-resistant nylon-coated*”) es utilizado en áreas donde el cableado está expuesto a gas o aceite, como máquinas operadas hidráulicamente, es más caro que el MTW, no es flexible y es difícil de cablear [6].

#### 2.1.4 Abreviaturas

Cada componente de un diagrama eléctrico tiene una abreviatura o referencia, que consiste en una etiqueta que facilita su localización en un diagrama. La referencia se compone de un prefijo y un número. Entre los prefijos más comúnmente utilizados se encuentran los siguientes [6]:

T	transformador
CR	relevador de control
R	resistencia
C	capacitor
LS	<i>limit switch</i> o interruptor final de carrera
PB	<i>pushbutton</i>
S	<i>switch</i> o interruptor
SS	<i>switch selector</i>
TDR	relevador con retardo de tiempo
M	motor
LP	lámpara piloto
F	fusible
CB	circuito <i>breaker</i> o de protección
OL	interruptor de sobrecarga

Cuando se realiza el diseño de un diagrama eléctrico, a los elementos que intervienen se les asocia un número para facilitar su comprensión, localización y evitar duplicidad de elementos. Por ejemplo los relevadores de control son numerados como CR1, CR2, CR3, etc.; para los fusibles se emplea F1, F2, etc. y así sucesivamente con los demás dispositivos.

#### 2.1.5 Terminología para el control de máquinas

Existen algunas palabras reservadas que se emplean en sistemas de control de máquinas y que tienen significados especiales. Por razones de seguridad, el uso de éstas palabras es explícito y no pueden tener otro significado. Una lista de algunos de los términos más comúnmente empleados, es la siguiente [6].

<i>ON.</i>	Es un estado en el cual se le suministra voltaje a la máquina y a su sistema de control. La máquina se encuentra lista para ponerse en funcionamiento. Algunas veces es llamado estado de <i>STANDBY</i> (espera).
<i>OFF.</i>	Eléctricamente, es lo opuesto a ON. El voltaje que es suministrado hacia la máquina y al circuito de control es interrumpido. En ésta condición, presionar algún interruptor en el panel de control no tiene ningún efecto.

- RUN.* Un estado en el cual la máquina está en funcionamiento o se encuentra ejecutando la tarea para la cual fue diseñada. Este estado es iniciado presionando el interruptor RUN. No debe confundirse el estado RUN con el estado de ON. Es posible que una máquina se encuentre en estado ON pero no estar en funcionamiento o en marcha.
- STOP.* Es el estado en el cuál la máquina se encuentra en estado ON pero no en RUNNING. Si la máquina está en RUNNING, presionando el interruptor de STOP el estado de RUN se suspende.
- JOG.* Una condición en la cual a la máquina se le da “un ligero empuje”, es decir, se interrumpe el funcionamiento de la máquina para que el operador coloque en su sitio la materia prima a utilizar o posicione algún otro aspecto relacionado con el funcionamiento de la máquina. El control de máquinas debe ser diseñado de tal forma que la máquina no pueda pasar automáticamente de una condición JOG a una condición de RUN mientras el operador esta posicionando la materia prima.
- INCH.* Es similar al estado JOG.
- CYCLE.* Es un modo de operación en el cual la máquina ejecuta un ciclo de operación completo y automáticamente se detiene; es decir, la máquina solo se mantiene funcionando por un lapso de tiempo determinado ejecutando una o más tareas programadas sin sobrecalentarse. Presionando el interruptor de CYCLE la máquina ejecuta solamente un ciclo de operación.
- 2 HAND OPERATION.* Un método de diseño de control en el cual una máquina no está en estado de RUN o CYCLE a menos que sean presionados simultáneamente dos interruptores que se encuentran separados.

## 2.2 Fundamentos de PLC's

En años recientes, los sistemas de control han representado un papel cada vez más importante en el desarrollo y avance de la civilización moderna y la tecnología. Prácticamente, cada aspecto de las actividades de nuestra vida diaria está afectado por algún tipo de sistema de control. Los sistemas de control se encuentran en gran cantidad en todos los sectores de la industria, tales como son: control de calidad de los productos manufacturados, líneas de ensamble automático, control de máquinas-herramientas, tecnología espacial, armamento, control por computadora, sistemas de transporte, sistemas de potencia, robótica y muchos otros. Aún el control de inventarios y los sistemas económicos y sociales se pueden visualizar a través de la teoría de control automático [5].

La inversión en tecnología de automatización debe ser considerada como una estrategia de competitividad dentro de los planes estratégicos y operativos de las empresas. No se puede ver como pérdida sino como una opción para alcanzar los objetivos de las mismas. Con la automatización se reduce la utilización de recurso humano pero existe un costo de especialización y capacitación para el uso y mantenimiento de los sistemas automatizados. Las ventajas de automatizar un proceso industrial radican en que se incrementan la precisión, exactitud y la calidad del producto industrializado. Esto trae como consecuencia ahorro en

tiempo de manufactura y reducción de gastos de materias primas. Uno de los dispositivos comúnmente utilizados en automatización industrial es el así llamado PLC (por sus siglas en inglés, *Programmable Logic Controller*).

Los sistemas de control basados en PLC's ofrecen gran facilidad de conexión de sensores y actuadores brindando flexibilidad en aquellos casos en los que las características del proceso cambian continuamente, logrando hacer modificaciones importantes en plazos de tiempos cortos.

## 2.2.1 Controlador Lógico Programable

### 2.2.1.1 Antecedentes

Las máquinas antiguas eran controladas por medios mecánicos utilizando levas, engranes, niveladores y otros dispositivos mecánicos básicos [6]. Si crecía la complejidad de la máquina, crecía la complejidad del sistema de control. Dicho sistema solo contenía elementos de control tales como relevadores e interruptores. Estos elementos se cableaban conforme era requerido para proporcionar la lógica de control necesaria para controlar un tipo particular de maquinaria. Esto era válido para una máquina que no necesitaba ser modificada, pero conforme las técnicas de fabricación mejoraban y eran necesarios nuevos productos, surgió la necesidad de desarrollar un medio más versátil para controlar estas máquinas de fabricación. La lógica cableada con interruptores y relevadores era tediosa y consumía demasiado tiempo realizar modificaciones. El cableado tenía que ser removido y reemplazado para proporcionar el nuevo esquema de control requerido. Esta modificación era difícil y consumía tiempo diseñarla e instalarla y cualquier pequeño error en el diseño podría resultar en un problema a corregir, ya que podría requerir que el cableado del sistema fuera cambiado por completo. Entonces surgió la necesidad de un nuevo medio para modificar la circuitería de control sin consumir una cantidad de tiempo considerable. El campo para desarrollar éste nuevo medio fue la industria automotriz de los Estados Unidos. El periodo de tiempo para tal desarrollo fue a finales de los 60's y principios de los 70's y el resultado fue el Controlador Lógico Programable (PLC).

El PLC que fue desarrollado durante esta época no era fácil de programar. El lenguaje era tedioso de escribir y requería de programadores altamente entrenados. Representó solamente un reemplazo de los relevadores y era capaz de hacer sólo unas cuantas cosas más. Al principio el PLC tuvo un desarrollo gradual y después vertiginoso hasta convertirse en un componente de sistemas de control altamente versátil. Las unidades actuales son capaces de realizar funciones matemáticas complejas que incluyen integración y diferenciación numéricas y operan a las velocidades de los microprocesadores disponibles actualmente. Los PLC's antiguos solo eran capaces de manejar entradas y salidas discretas (esto es, señales de tipo encendido/apagado), mientras que los sistemas actuales pueden aceptar y generar voltajes y corrientes analógicos así como también un rango amplio de niveles de voltaje y señales moduladas por pulso. De modo distinto a una computadora personal, un PLC puede desempeñarse en un ambiente con vibraciones, descargas eléctricas, temperaturas elevadas y ruido eléctrico, a los cuales está expuesto cualquier equipo de fabricación.

Conforme más fabricantes se involucraron con la producción y desarrollo del PLC, y conforme se ampliaron las capacidades del mismo, fue necesario avanzar en el desarrollo del lenguaje de programación. Los fabricantes tienden a desarrollar sus propias versiones de el lenguaje lógico de escalera (el lenguaje utilizado para programar a los PLC's). Esto complica en general, aprender a programar PLC's, ya que un lenguaje aprendido no puede ser aplicado a todas las marcas y tipos. Sin embargo como con otros lenguajes de computadora, una vez que

se aprenden las bases de operación y programación en diagrama de escalera de un PLC en particular, no es difícil realizar adaptaciones para programar PLC's de diferentes marcas y tipos.

Para un PLC no existe una normativa o línea de fabricación como en las computadoras personales; cada fabricante tiene sus propias normas de fabricación y programación, aunque éste último solo es distinto en algunos aspectos de fabricante a fabricante. Como ya se mencionó anteriormente, todos los PLC's pueden ser programados utilizando el así llamado lenguaje de diagramas en escalera.

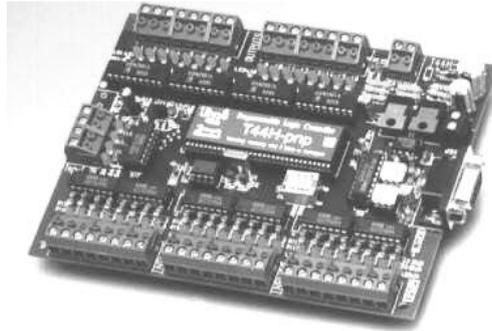
### 2.2.1.2 Definición

De acuerdo con el estándar IEC 61131 (IEC, International Electrotechnical Commission, por sus siglas en inglés) un autómata programable (AP) es “*Un sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para la realización de funciones específicas tales como enlaces lógicos, secuenciación, temporización, recuento y cálculo, para controlar, a través de entradas y salidas digitales o analógicas, diversos tipos de máquinas o procesos*”. Tanto el PLC como sus periféricos asociados están diseñados de forma que puedan integrarse fácilmente en un sistema de control industrial y ser fácilmente utilizados en todas las aplicaciones para las que están previstos.

### 2.2.1.3 Configuraciones de PLC [6]

Los controladores Lógicos programables son parecidos a las computadoras personales debido a que el usuario se puede sentir abrumado ante el vasto número de opciones y configuraciones existentes en el mercado. Básicamente puede considerarse que existen PLC's de arquitectura abierta, tipo caja de zapatos y de tipo modular, los cuales se definen a continuación [6].

**PLC de arquitectura abierta.** Este tipo de PLC se muestra en la Figura 2.19. Se encuentran disponibles sobre una placa de circuito impreso. Son totalmente autónomos (con excepción de la fuente de alimentación), y cuando son instalados en un sistema, son simplemente montados dentro de un gabinete. Las terminales de tornillo que están montadas en la placa del circuito impreso permiten la conexión de los cables de entrada, salida y de alimentación. Estas unidades por lo general no son expandibles, lo que significa que no pueden añadirse más entradas, salidas y memoria a la unidad básica. Sin embargo, algunos de los modelos más sofisticados pueden ser conectados a tarjetas de expansión que pueden incrementar el número de entradas y/o salidas disponibles. Este tipo de PLC's son baratos, fáciles de programar, pequeños y consumen poca energía; pero, generalmente hablando, no tienen un número grande de entradas y salidas, además de que tienen un conjunto de instrucciones limitado. Son sugeribles para aplicaciones de control pequeñas y relativamente simples.



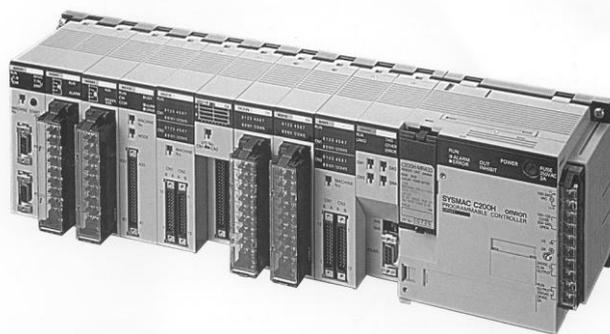
**Figura 2. 19** Controlador Lógico Programable de Arquitectura abierta.

*PLC del tipo caja de zapato.* Los recursos de este PLC (memoria, CPU, alimentación, etc.) están disponibles en un solo gabinete (por ello comúnmente son referidos como caja de zapatos; véase la Figura 2.20). Generalmente se seleccionan de acuerdo a la memoria de programa, y al número de entradas y salidas requeridas para la aplicación. Comúnmente tienen un puerto de expansión que permite que se conecten al sistema, unidades especializadas, tales como: contadores de alta velocidad y entradas y salidas analógicas o bien más entradas y salidas digitales.



**Figura 2. 20** Controlador Lógico Programable del tipo caja de zapato.

*PLC modulares.* Son unidades sofisticadas con una amplia gama de opciones. Los componentes típicos que posee un PLC modular son: procesador, bastidor de montaje, módulo de entradas y salidas, fuente de poder, unidad de programación (véase la Figura 2.21).



**Figura 2. 21** Controlador Lógico Programable de arquitectura Modular.

#### 2.2.1.4 Componentes típicos de un PLC [6].

**Procesador:** El procesador (algunas ocasiones llamado CPU) es generalmente especificado de acuerdo a la memoria requerida para el programa a implementar. En versiones de tipo modular, la capacidad puede ser un factor. Esto incluye características tales como funciones matemáticas, lazos de control PID y comandos de programación opcionales. El procesador consiste de un microprocesador, memoria de programa, memoria de datos, puertos de comunicación para impresora, conexión serie con el dispositivo de programación, y en algunos casos, un sistema de energía para alimentar al procesador y a los módulos de E/S (entrada/salida).

**Módulo de entradas y salidas.** Los módulos de entrada y salida son especificados de acuerdo a las señales de entrada y salida asociadas con la aplicación particular. Los módulos de entrada/salida pueden ser discretas, analógicas, contadores de alta velocidad o de tipo registro. Los módulos de entrada/salida discretos son generalmente capaces de manejar un número variado de entradas o salidas de tipo encendido/apagado, dependiendo de la marca y modelo. Los módulos son especificados como entrada o como salida pero generalmente no ambos aunque algunos fabricantes ahora ofrecen módulos que pueden ser configurados ya sea como entrada o como salida. Los módulos pueden ser especificados como solo de AC, DC o AC/DC junto con el valor del voltaje para el cual fueron diseñados.

Existen módulos de entrada y salida analógica que son especificados de acuerdo a la resolución deseada y al rango de voltaje o corriente. Al igual que los módulos discretos, son generalmente de entrada o de salida, sin embargo algunos fabricantes proporcionan entrada y salidas analógicas en un mismo módulo.

Las entradas *tipo pulso* pueden ser conectadas a un PLC usando módulos de conteo rápido. Estos módulos son capaces de medir la frecuencia de una señal de entrada desde un tacómetro u otro dispositivo generador de frecuencia. También pueden contar los pulsos de entrada hacia el PLC si se desea.

Módulos entrada o salida *tipo registro* transfieren palabras de 8 o 16 bits de información hacia y desde el PLC. Estas palabras son generalmente números (BCD o binario) que son generados desde interruptores o sistemas de encoder (dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital).

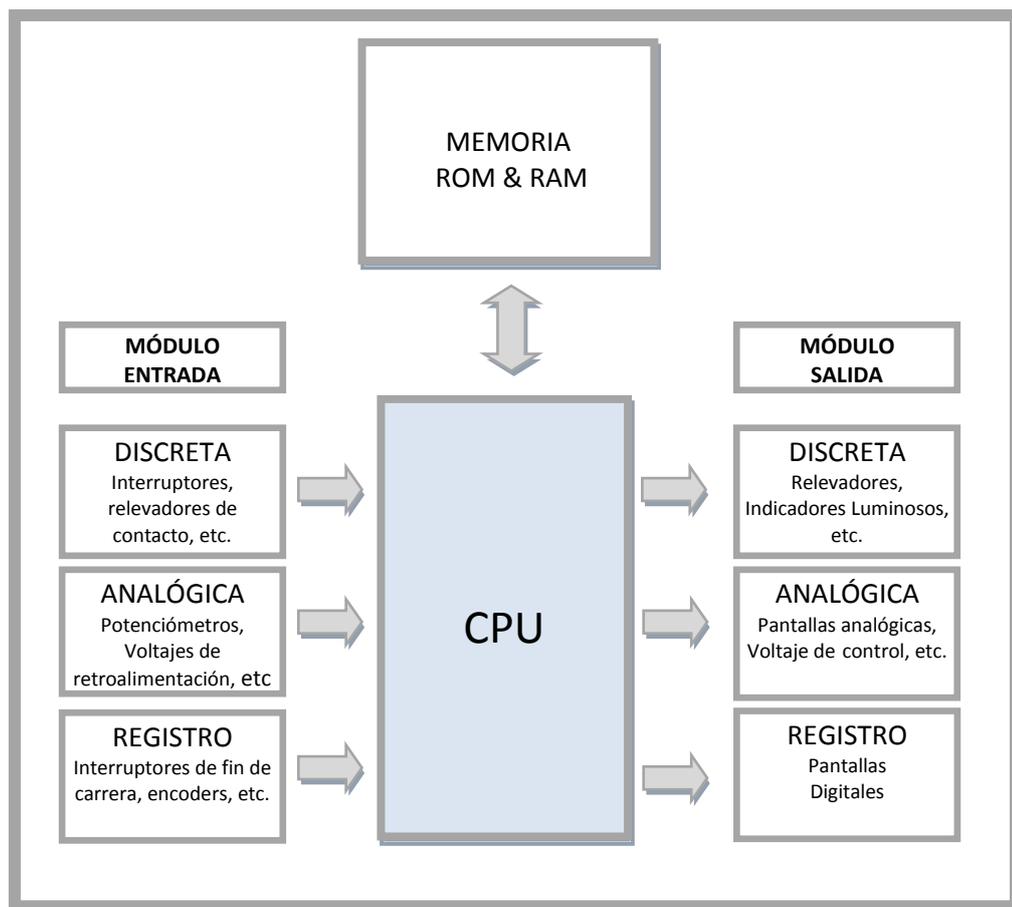
**Fuente de alimentación.** La fuente de alimentación depende del fabricante del PLC que se utilizará en la aplicación. En algunos casos una fuente de alimentación es capaz de entregar toda la energía requerida por los elementos del sistema. Si la fuente de alimentación es un modulo separado, debe ser capaz de suministrar una gran corriente que es necesaria para los otros módulos del sistema.

**Unidad de programación.** La unidad de programación permite al ingeniero o técnico introducir y editar el programa a ser ejecutado en el PLC. En su forma más simple se trata de una unidad manual con un teclado para introducir el programa y una pantalla (LED o LCD) para visualizar los pasos o funciones del programa. Los sistemas más avanzados utilizan una computadora personal con el software especializado para realizar la edición y descarga del programa hacia o desde el PLC a través de una interfaz especializada.

### 2.2.1.5 Diagrama a bloques del sistema

Un Controlador Programable es una computadora especializada. Tiene todos los componentes básicos que cualquier otra computadora [6], una *unidad central de procesamiento*, *memoria*, *interfaz de entradas y salidas*. Un diagrama a bloques típico se muestra en la Figura 2.22.

La *unidad central de procesamiento* (CPU) es la parte de control del PLC. Interpreta los comandos del programa recuperados de la memoria y procesa tales comandos. El CPU está alojado en el módulo de procesador de los sistemas modulares.



**Figura 2. 22 Diagrama a Bloques de un Controlador Lógico Programable.**

La *memoria* en el sistema es generalmente de dos tipos: ROM y RAM. La memoria ROM contiene la información del programa que permite al CPU interpretar y ejecutar el Programa *lógico de escalera* almacenado en la memoria RAM. Debido a la volatilidad de la memoria RAM, ésta es conservada mediante una batería de respaldo de tal manera que el programa descargado hacia el PLC no se pierda cada vez que se apaga la alimentación. La memoria RAM de algunos PLC's actuales es de tipo EEPROM.

### 2.2.1.6 Ventajas del uso de PLC's

Entre las ventajas de construir, diseñar e implementar sistemas utilizando Controladores Lógicos Programables se pueden mencionar las siguientes [6]:

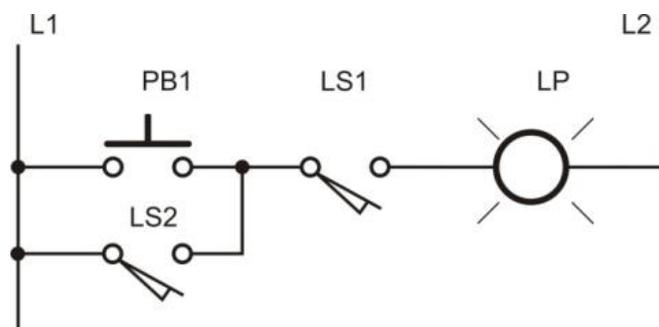
- Menor tamaño físico para las soluciones de cableado.
- La realización de cambios es más fácil y rápida.
- Los PLC's llevan integradas funciones de diagnóstico.
- Las aplicaciones pueden ser inmediatamente documentadas.
- Se puede reutilizar código (mediante subrutinas).
- Flexibilidad de configuración y programación.
- Cambios rápidos en la lógica de control así como una gran variedad de funciones.
- Localización fácil y rápida de averías y posibles fallas.
- Alta confiabilidad.
- Consumo de energía reducido
- Reducción del costo a medida que aumenta la complejidad del proceso.
- Capacidad de trabajo en ambientes hostiles (humedad, temperatura, ruido, etc.)

Los PLC's han sido adaptados a los requerimientos de los clientes hasta tal punto que ya es posible adquirir un PLC exactamente adaptado para casi cada aplicación. Así, hay disponibles actualmente desde PLC's en miniatura con unas decenas de entradas/salidas hasta grandes PLC's con miles de ellas.

Muchos PLC's pueden ampliarse por medio de módulos adicionales de entradas/salidas, módulos analógicos y de comunicación. Otros PLC's son capaces de procesar varios programas al mismo tiempo (Multitarea). Finalmente, los PLC's pueden conectarse con otros componentes de automatización, creando así áreas considerablemente amplias de aplicación.

## 2.3 Fundamentos de la programación de PLC's

El diagrama de escalera sigue siendo la forma tradicional de representar secuencias y operaciones eléctricas. Estos diagramas representan conexiones entre distintos dispositivos de campo; se puede ver la secuencia de eventos que determinan la activación o desactivación de alguna máquina o dispositivo de control. Un ejemplo sencillo se puede visualizar en el diagrama de la Figura 2.23.



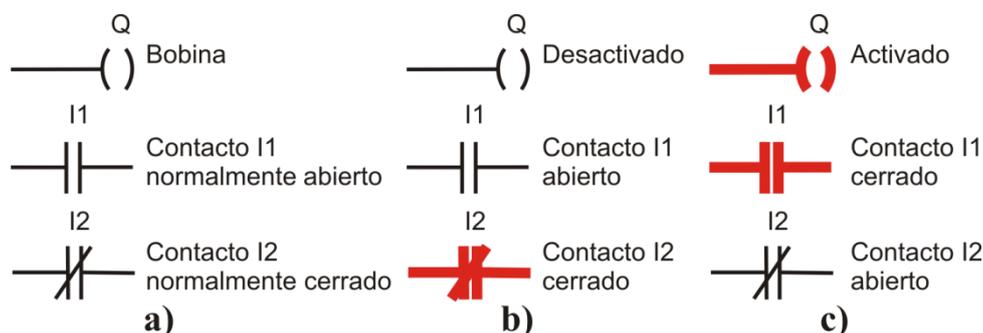
**Figura 2. 23** Diagrama eléctrico en escalera simple.

Los diagramas en escalera eran utilizados para representar el cableado lógico de los circuitos para el control de máquinas o equipo. Debido a que fueron empleados ampliamente en la industria se llegó a convertir en un estándar al momento de diseñar sistemas de control. Como

más tarde se introdujeron los PLC's para resolver problemas de control entonces los diagramas en escalera eran empleados por su fácil interpretación e implementación en los sistemas de control que empleaban este tipo de dispositivo.

Los PLC's funcionan utilizando el sistema de numeración de base 2, es decir las variables pueden asumir dos valores "0" o "1", al igual que también se pueden emplear sistemas octal ( $2^3$ ) y hexadecimal ( $2^4$ ). Los PLC's realizan la conexión interna de las señales de entrada, mediante un programa previamente almacenado en su memoria dando como resultado la activación y desactivación de una o varias salidas. Para lograr esto se apoya en el álgebra de Boole para realizar la lógica cableada que antes de la aparición de los PLC's se venían implementando en los sistemas de control.

El cableado lógico se refiere a funciones de control como tiempo, secuencia y control, que son determinados por todos los dispositivos que se encuentran interconectados en todo el sistema de control siguiendo una lógica implementada por contactores y relevadores. Por el contrario en los PLC's este cableado lógico se implementa mediante funciones lógicas que son programadas y que pueden ser fácilmente cambiadas. El cableado lógico de un sistema de control en un PLC es basado en tres funciones lógicas básicas que son AND, OR y NOT, y son las que determinan que dispositivos son activados y cuáles no lo son. Estas instrucciones son implementadas en el PLC mediante comandos que también se le denomina lenguaje, y el más común en utilizar son los diagramas en escalera. Los diagramas en escalera pueden ser conocidos como símbolos de contactos y pueden ser equivalentes a los símbolos de contactos que se implementan mediante relevadores [24].



**Figura 2. 24 a) Configuración de un relevador con una bobina Q, un contacto normalmente abierto I1 y un contacto normalmente cerrado I2. b) Bobina Q se encuentra desenergizada c) Bobina Q se encuentra energizada.**

Los símbolos de contactos son un modo simple de expresar un control lógico mediante el uso de símbolos que son utilizados en diagramas esquemáticos de control que utilizan relevadores. Los contactos que son programados en el PLC y los que utilizan los relevadores electromecánicos operan de manera similar. Los símbolos que son frecuentemente utilizados son los contactos normalmente abiertos, contactos normalmente cerrados y bobinas que representan a un relevador, se puede apreciar en la Figura 2.24.

En la Figura 2.24 se puede apreciar un relevador el cual tiene ligado una bobina Q y dos conjuntos de contactos, uno normalmente abierto I1 y otro normalmente cerrado I2. Si la bobina Q no se encuentra energizada, el contacto I1 se encuentra abierto y el contacto I2 permanece cerrado. En cambio, si la bobina Q es energizada, esta se activa, dando lugar a que se active el contacto I1 encontrándose en estado de cierre y el contacto I2 permanezca abierto. Las líneas

rojas de la Figura indican el estado de activado. Recuerde que cuando un conjunto de contactos se cierran provee el flujo de energía o continuidad en el circuito.

Los símbolos usados para traducir un control lógico implementado con relevadores a un lenguaje de símbolos de contactos son los siguientes:

*Contacto normalmente abierto.* Este símbolo representa alguna entrada de control lógico, que puede provenir de algún cierre de interruptor, sensor o la salida de un contactor. Solo reconoce una condición ON (activado). Si el estado es “1”, el contacto se cierra y permite el flujo de corriente a través del contacto, si el estado es “0” el contacto se abre, prohibiendo el flujo de corriente a través de contacto.

*Contacto normalmente cerrado.* Representa alguna entrada de control lógico, que puede provenir de algún cierre de interruptor, sensor o de la salida de un contactor. Solo reconoce una condición OFF (desactivado). Si el estado es “0”, el contacto se cierra, de ese modo la corriente pasa a través del contacto, si el estado es 1 el contacto se abre y prohíbe el flujo de corriente a través del contacto.

*Bobina.* Representa una salida que es resultado de una combinación de entradas lógicas. La salida puede ser la activación de un dispositivo de campo o una salida interna. Si las condiciones de entrada que involucren una trayectoria de izquierda a derecha son verdaderas (es decir que todos los contactos involucrados en la trayectoria se encuentren cerrados) entonces la bobina es energizada y los contactos ligados a esta bobina son energizadas [8].

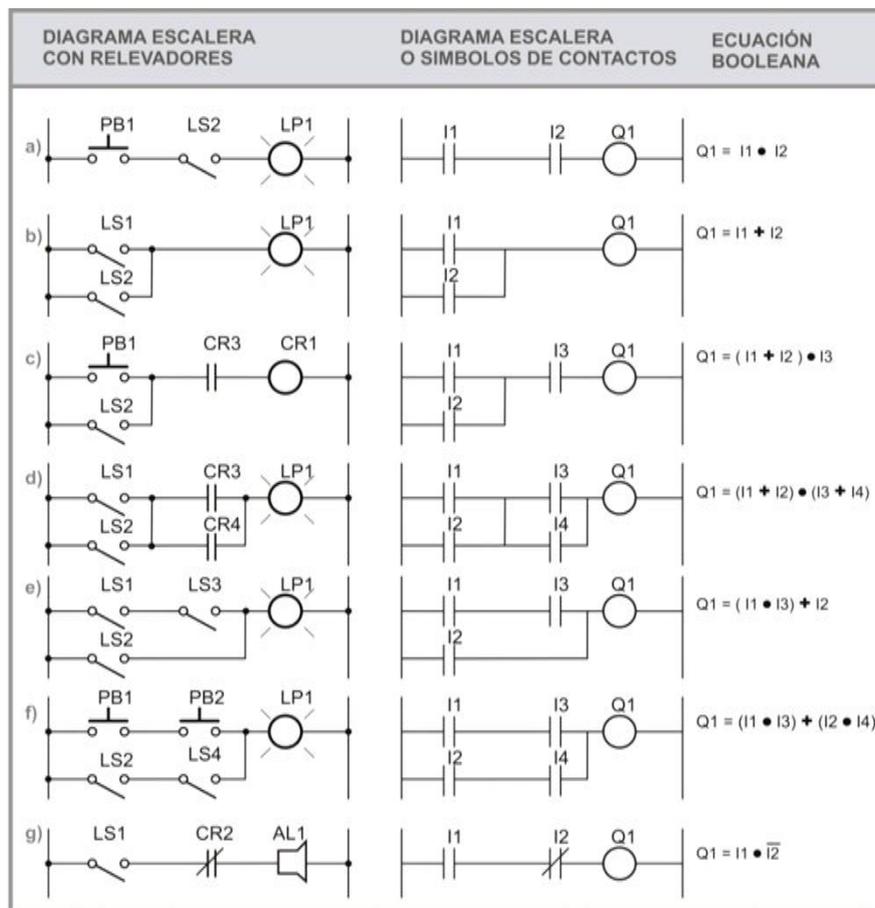


Figura 2. 25 Cableado lógico implementado con relevadores que se traduce en lenguajes de contactos que puede ser implementado en PLC's y su representación utilizando algebra de Boole.

La Tabla 2.1 muestra como los circuitos con lógica de relevadores se encuentran en serie y paralelo y pueden ser fácilmente representados en un PLC mediante diagramas de escalera. Un circuito en serie (Figura 2.25 (a)) es equivalente a una operación Booleana AND, por lo tanto todos los contactos deben estar en ON para activar la salida. Para el circuito en paralelo (Figura 2.25) equivale a una operación Booleana OR, si alguna de las entradas se encuentra en ON entonces activara la salida. Véase en la Figura 2.25 que los diagramas pueden estar en serie, paralelo, serie/paralelo o paralelo/serie y puede ser representado mediante una ecuación Booleana.

### 2.3.1 Lenguajes de programación

Los PLC's sustituyeron a los enormes cableados eléctricos contruidos con relevadores y contactores con que se realiza la automatización de procesos industriales, por lo que dificultaba enormemente la actualización del sistema o simplemente encontrar alguna falla o hacer una modificación resultaba tedioso. Por este motivo surgieron los lenguajes de programación para los Controladores Lógicos Programables orientados a resolver este tipo de problemas. Regulados por la norma IEC 1131 [14] que es un estándar para la programación, que no solo es enfocado para los PLC's sino para sistemas de automatización complejos. A este estándar se integran los diagramas de escalera, los diagramas de bloque de función, los diagramas de lista de instrucciones, texto estructurado y diagramas de funciones secuencial.

*Diagrama de contactos o diagrama de escalera:* El diagrama de escalera es el más utilizado por los ingenieros eléctricos. Es un lenguaje gráfico de esquemas de mandos eléctricos constituidos principalmente de contactos ya sean normalmente cerrados o normalmente abiertos, relevadores y bobinas.

*Diagrama de bloques de función:* Tiene su origen en el diagrama lógico que se utiliza en el diseño de circuitos electrónicos. Aquí el diagrama de bloques de funciones y las funciones se encuentra representados gráficamente e interconectados.

*Lista de instrucciones:* este lenguaje se encuentra enfocado hacia un texto tipo ensamblador donde la lista de instrucciones es formulada de acuerdo a instrucciones de control integrados por un operador y operando.

*Texto estructurado (Structured text) ST.* El texto estructurado es un lenguaje de alto nivel, que consiste en expresiones e instrucciones y se definen principalmente con: instrucciones de selección, tales como IF, THEN, ELSE, así como también instrucciones de repetición tales como FOR, WHILE etc. y llamadas a bloques de función.

*Diagrama de funciones secuencial (Sequential function chart) SFC.* Es un diagrama orientado a la estructuración de los programas en forma de secuencias de control y algunas veces denominado como GRAFCET. Los elementos que lo conforman son las etapas, las transiciones y las derivaciones alternativas y en paralelo.



## Capítulo 3 | SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL APOYO A LA ENSEÑANZA DE PLC's

Los sistemas de entrenamiento en PLC's son una herramienta de gran utilidad ya que permiten al usuario diseñar, almacenar, poner en funcionamiento y corregir diagramas en escalera que se utilizan para programar Controladores Lógicos Programables. Su finalidad es lograr que el alumno o usuario final se involucre en conceptos de programación, desarrollo e implementación de problemas de control de procesos mediante el uso de estos dispositivos, que por su versatilidad y robustez tienen gran aceptación en el mercado industrial.

En el mercado existen diferentes sistemas de entrenamiento cuya principal particularidad es la incorporación de un PLC. Las características y prestaciones que brinda un sistema didáctico dependen del fabricante del PLC empleado, el cual en ocasiones está diseñado para una aplicación de propósito específico. Así, es necesario conocer las características del PLC con el que se construye el sistema entrenador con el fin de saber su potencial y versatilidad.

Los sistemas entrenadores deben ser capaces de brindar al alumno o usuario final una herramienta de fácil manejo, proporcionando la incorporación de elementos tales como: pilotos, una interfaz amigable, medios impresos (manuales de usuario); la posibilidad de una implementación rápida y casi intuitiva del alambrado para la solución de un problema; sistemas de protección en caso de corto y sobre-corriente. Se debe tener en cuenta en donde se instalará el equipo a fin de que sea fácil de transportar. Otro factor importante, es el precio, que depende de la marca del fabricante, la disponibilidad en el mercado así como la demanda.

Es importante tomar en cuenta todos los elementos antes mencionados al momento de adquirir un sistema entrenador de PLC's, de ahí radica la importancia de construir un sistema entrenador en la Universidad Tecnológica de la Mixteca que se amolde a las necesidades detectadas.

Como se estableció previamente, es necesario tener una herramienta para realizar prácticas esenciales de PLC's por lo que se construyó como proyecto de tesis un prototipo de sistema entrenador que permite la realización de dichas prácticas permitiendo la interacción entre el usuario y máquina. En este capítulo se describe el desarrollo del proceso de diseño y construcción del sistema SAE-PLC, que es un sistema entrenador de PLC's utilizando un micro PLC S7-200/CPU 224 del fabricante Siemens. En la sección 3.1 se muestran ejemplos de estaciones de trabajo para capacitación que existen en el mercado; posteriormente en la sección 3.2 se determinan los requisitos de este proyecto de tesis. Más tarde en la sección 3.3 se realiza el detalle del diseño y construcción del sistema, y, finalmente, en la sección 3.4 se muestra el diseño eléctrico que se implementó en el SAE-PLC así como los componentes que se utilizaron.

### 3.1. Estaciones de trabajo para capacitación de PLC que existen en el mercado.

Empresa	Descripción	Figura
TII Technical Education Systems, [9]	Sistema Completo de Entrenamiento de PLC con el SLC 100 de Allen Bradley montado sobre una base de acero inoxidable, fuente de 24 voltios DC, 10 entradas y 6 salidas.	
Sistemas GADU, [10]	Sistema Educativo de PLC Básico. Consta de un PLC Siemens de 8 entradas y 6 salidas digitales, memoria de programa y de datos, software de programación STEP 7, cable de comunicación hacia una pc, manual de usuario y guía de prácticas.	
Sistemas FESTO, [11]	Sistema EduTrainer® para el aprendizaje de PLC's. El PLC está integrado en una caja, Se ajusta en los bastidores de montaje ER y DIN A4 de muchos sistemas de laboratorio, las entradas pueden simularse con interruptores y potenciómetros.	
Equipamiento didáctico técnico EDIBON, [12]	Posee 16 entradas digitales, activadas por interruptores y 16 LED's de confirmación (rojos), 14 salidas digitales con 14 LED's de aviso (verdes), 16 entradas analógicas (-10V. a + 10V.), 4 salidas analógicas (-10V. a+ 10V), pantalla táctil, PLC Panasonic.	
Lab-Volt, [13]	Sistema de Entrenamiento Serie 3240. Utiliza un PLC MicroLogix 1200 Allen-Bradley con 14 entradas y 10 salidas mediante switches e indicadores luminosos, software del PLC, cable de comunicación, simulador de procesos mecánicos, manual de estudiante, guía para el instructor, software de simulación del PLC (P-SIM 2000).	

Tabla 3. 1 Ejemplos de prototipos didácticos para entrenamiento en PLC's

Por las características que poseen los PLC's aprender a utilizarlos resulta una ventaja en el mercado laboral, por tal motivo, un gran número de fabricantes tienen disponibles en el mercado una gran variedad de sistemas de entrenamiento para PLC's. Algunos ejemplos se pueden apreciar en la Tabla 3.1.

Los sistemas de entrenamiento mostrados en la Tabla 3.1 ofrecen diferentes características, tales como: fácil de transportar, manejabilidad del equipo, documentación, estética del sistema, ergonomía, etc. No obstante es importante recalcar que los costos de los entrenadores para PLC's comercialmente disponibles, llegan a ser considerablemente elevados, al igual que los cursos de capacitación correspondientes.

## 3.2. Requisitos del proyecto de tesis

De acuerdo con los sistemas didácticos de entrenamiento vistos en el mercado y con los recursos disponibles al momento del diseño y construcción del sistema prototipo de entrenamiento, se establecieron ciertos elementos que este debe poseer una vez terminada la etapa de construcción. A continuación se argumentan las características establecidas:

- Se le asignó al prototipo el nombre de sistema para apoyo a la enseñanza de Controladores Lógicos Programables ó SAE-PLC.
- El sistema debe tener acceso a las entradas y salidas digitales del CPU 224.
- El SAE-PLC cuenta con un acceso a las entradas y a la salida analógica para la manipulación de este tipo de señales, esto se logra mediante el uso de un módulo de expansión.
- Tiene la versatilidad de simular entradas internas digitales de 24 VDC ("1" lógico) o poder conectar señales externas de 24 VDC provenientes de algún actuador externo.
- Debe contener elementos de protección de sobrecargas de corrientes.
- Se fijaron los voltajes de las salidas digitales en 24 VDC y 120 VAC.
- El sistema debe de poseer un elemento de protección contra sobrecalentamiento de los dispositivos internos utilizados.
- Todo el sistema debe ser implementado en un gabinete industrial de uso rudo.
- El sistema puede trasladarse con facilidad.
- El cableado interno de todos los elementos se realiza ordenadamente.
- Debe brindar al usuario un ambiente amigable para las conexiones rápidas al momento de realizar las prácticas.
- El sistema puede reproducirse fácilmente si así se requiere.

## 3.3 Diseño y construcción física

### 3.3.1 Diseño en papel.

Primero se establece la fase de diseño en papel, para verificar cómo se verá el sistema una vez terminado. Para esto primero se consideran todos los elementos que intervienen en el sistema como lámparas piloto para las salidas digitales, interruptores para las entradas digitales internas, y bornes para las entradas digitales externas, las salidas digitales, las entradas y salida analógica, salidas de la fuente de 24 VDC, y para las salidas a 120 VAC, (ver Figura 3.1).

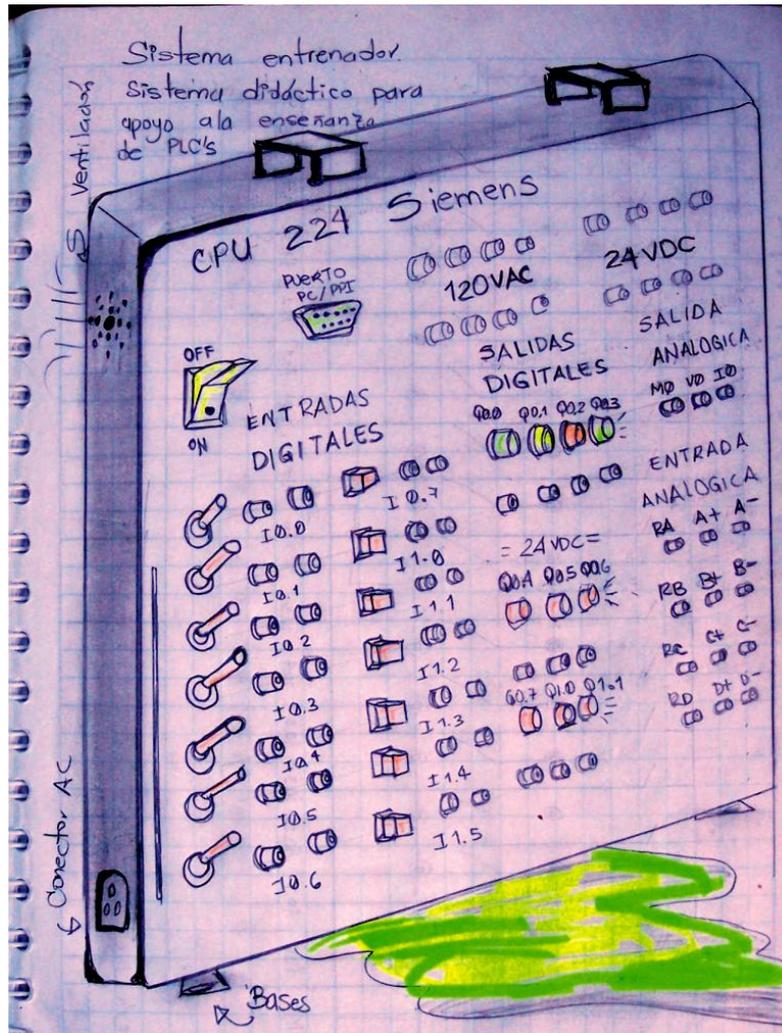


Figura 3. 1 Diseño en papel del SAE-PLC

Una vez aprobado el diseño en papel, se procede a escoger el chasis en el cual se implementa el sistema. Así que se determinó que la mejor opción para el desarrollo del presente trabajo de tesis era adquirir un gabinete industrial, por diferentes razones, entre las que destaca que la fabricación de este tipo de gabinete obedece a normas industriales.

Existen diferentes gabinetes industriales en el mercado pero el que se eligió por precio y calidad fue el Gabinete industrial modelo Atlantic 55 de la marca Legrand con platina debido a las características que posee como son [16]:

- Apertura de la puerta de un solo lado.
- Suministrado con platina galvanizada para montaje de elementos.
- Revestimiento de  $60 \mu\text{m}$  de espesor de poliéster texturizado.
- Excelente resistencia a la corrosión y condiciones climáticas exigentes.
- Totalmente sellados en la parte superior e inferior.
- Medidas del gabinete: 500 mm x 400 mm x 200 mm.



**Figura 3. 2** Gabinete industrial modelo Atlantic 55 marca Legrand 500x400x200 mm.

Por las características antes mencionadas, se cumple con las necesidades establecidas en la fase de requisitos del sistema. Una vez comprado el gabinete industrial se adquirieron todos los materiales necesarios para la construcción del sistema, debido a que eran imprescindibles las medidas precisas para realizar las perforaciones correspondiente sobre la puerta del gabinete, con el fin de montar sobre ésta todas las piezas destinadas para el proyecto, haciendo una buena distribución espacial de todos los componentes. Para lograr este objetivo se realizó un diseño en Corel Draw X3 con las medidas exactas y realizando una óptima distribución. A este proceso se le domina mecanizado, que es el conjunto de operaciones que se realizan sobre un determinado material para darle la forma final deseada; en nuestro caso, el mecanizado del gabinete industrial que puede ser llevado a cabo mediante herramientas manuales o con ayuda de máquinas especializadas [21].

### 3.3.2. Materiales utilizados en la parte frontal del SAE-PLC

Para lograr simular entradas digitales hacia el PLC, así como para visualizar cuando una salida digital se encuentra en uso, se colocaron diferentes elementos sobre el gabinete industrial, y los cuales se muestran en la Tabla 3.2 [17]. Los componentes mostrados en dicha tabla, se adquirieron tomando en cuenta algunas características, principalmente que sean de bajo costo y la facilidad con la que se pueden conseguir en caso de daño. La función asignada a los componentes empleados en el panel frontal del sistema SAE-PLC, es mostrada en la Tabla 3.3.

Elemento	Descripción
	<i>Foco en encapsulado redondo, color rojo, de 12 VDC.</i> Foco en encapsulado redondo, color rojo, de 12 VDC para montaje sobre chasis.
	<i>Foco neón en encapsulado redondo, color amarillo, rojo y verde de 117 VCA.</i> Foco neón en encapsulado redondo, color amarillo, rojo y verde, de 117 VCA.
	<i>Jack tipo banana o Phillips, color rojo y negro.</i> Conector hembra (jack) tipo Phillips (banana), para montaje en chasis. Fabricado en plástico color rojo y negro.
	<i>Switch de balancín, de 2 polos, 1 tiro, 2 posiciones, con piloto.</i> Interruptor (Switch) de balancín, con foco piloto, de 20/16 Amperes, 127/250 VCA, 2 polos, 1 tiro y 2 posiciones (ON-OFF). Fabricado en plástico color negro.
	<i>Switch de palanca 1 polo, 1 tiro, 2 posiciones, 15 Amperes.</i> Interruptor de palanca (Switch) de 15/10 Amperes, 250/125 VCA, 1 polo, 1 tiro, 2 posiciones (ON-OFF), vida útil de 30000 operaciones eléctricas y 100000 mecánicas.
	<i>Switch de palanca 2 polos, 2 tiros, 3 posiciones, 15 Amperes.</i> Interruptor de palanca (Switch) de 15/10 Amperes, 250/125 VCA, 2 polos, 2 tiros, 3 posiciones (ON-OFF-ON), vida útil de 30000 operaciones eléctricas y 100000 mecánicas.
	<i>Switch de push, de botón cuadrado, normalmente cerrado.</i> Interruptor (switch) de presión ( <i>push</i> ) con botón cuadrado, de 125 VCA, 3 Amperes, 2 terminales, normalmente cerrado (NC), encendido-apagado (ON-OFF), con seguro. Fabricado en PVC color rojo.
	<i>Resistencia de alambre, de 5 Watts, al 10% de tolerancia.</i> Resistencia de alambre (cerámica) de 100 Ohms a 5 Watts con $\pm 10\%$ de tolerancia.

**Tabla 3. 2** Lista de materiales utilizados en la parte frontal del gabinete

Material	Función y medidas para realizar la perforación
	<i>Interruptor de Balancín con piloto</i> Se le asignó para el encendido y apagado de todo el sistema con el identificador SW15 y las medidas que tiene para realizar la perforación son 2.9 cm x 2.2 cm.
	<i>Bornes para montar en chasis</i> Con esto se pueden realizar las conexiones rápidas para realizar las prácticas de automatización, muy utilizadas en la construcción de todo el sistema. Se le asignaron diferentes identificadores según la función que desempeñaban, se utilizaron en dos colores, rojo para indicar positivo ó fase, y negro para indicar negativo ó neutro. Se utilizaron para las siguientes funciones: fuente de 24 VDC (B1-B10), salidas a 120 VAC (B11-B18), salidas digitales externas a 24 VDC(B19-B30), salidas digitales externas a 120 VAC(B31-B38), salida analógica (B39-B41), entradas analógicas (B42-B53), entradas digitales externas de 24 VDC (B54-81). El diámetro para realizar las perforaciones correspondientes es de 0.9 cm.
	<i>Lámparas piloto para 115 VAC para montar en chasis</i> Se utilizaron como indicadores luminosos a 120 VAC para las salidas digitales Q0.0–Q0.3 en tres colores verde, amarillo y rojo (LP1-LP4). El diámetro para realizar las perforaciones correspondientes es de 1 cm.
	<i>Lámparas piloto para 12 VDC para montar en chasis</i> Se utilizaron como indicadores luminosos para las salidas Q0.4-Q1.1 (LP5-L10) del CPU 224, sólo se consiguieron en color rojo. Cabe señalar que para limitar la corriente que pasaba a través de los pilotos se le agregó en serie una resistencia de 100 ohms para evitar que se sobrecalentaran debido a que eran para 12 VDC. El diámetro para realizar las perforaciones correspondientes es de 1.6 cm.
	<i>Interruptores de palanca</i> Se implementaron interruptores de palanca con el fin de simular señales de 24 VDC para las entradas digitales de 24 VDC que posee el CPU 224. Se destinaron para las entradas de I0.0–I0.6 (SW1-SW7). El diámetro para realizar las perforaciones correspondientes es de 1.4 cm.
	<i>Interruptores de palanca 3 posiciones</i> Se implementaron interruptores de palanca 3 posiciones (SW16 y SW17) con el fin de poder hacer el cambio de entradas digitales internas con el de entradas digitales externas, esto se logra energizando unos relevadores para hacer el cambio. Brindándole al usuario versatilidad para el uso de señales de eventos externos.
	<i>Interruptores pushbutton</i> Se implementaron interruptores tipo pushbutton de tipo mantenido con el fin de simular entradas de 24 VDC para las entradas digitales del PLC. Se destinaron para las entradas I0.7-I1.5 (PB8-PB14). El diámetro para realizar las perforaciones correspondientes es de 1.2 cm.

**Tabla 3. 3** Materiales que se utilizaron en la tapa del gabinete industrial y el propósito para los cuales se destinaron.

### 3.4.3 Características del PLC utilizado en el SAE-PLC

*Controlador Lógico Programable.* El sistema contiene un Controlador Lógico Programable S7-200 CPU 224 del fabricante Siemens, siendo este un micro-PLC ideal para aplicaciones pequeñas de tipo industrial, y el cual puede visualizarse en la Figura 3.3.a.



**Figura 3. 3** PLC de la familia S7-200 del fabricante Siemens que posee en su inventario la Universidad Tecnológica de la Mixteca a) CPU 224, b) programa MicroWin STEP 7 para programar el PLC, c) módulo de expansión EM 235 de entradas y salida analógica.

Entre las características de este modelo de PLC podemos mencionar que es alimentado con un voltaje nominal de 120 VAC, con una corriente de entrada mínima de 60 mA hasta 200 mA. Posee una fuente de alimentación interna de 24 VDC. Se le pueden adaptar hasta 7 módulos de ampliación. Cuenta con 14 entradas discretas con un valor nominal de 24 VDC a 4 mA; 10 salidas discretas a relevador con un rango de voltaje de 5 a 30 VDC ó 5 a 250 VAC [14].

*Entradas discretas.* Las entradas discretas son de tipo encendido/apagado (0 ó 24 VCD) que le permiten al PLC recibir información desde un proceso. Las señales de entrada al PLC del prototipo didáctico pueden ser introducidas mediante interruptores de tipo pushbutton o bien mediante interruptores de tipo palanca, los cuales se conectan directamente a la fuente de alimentación interna del sistema. Sin embargo, también se permite al usuario introducir señales externas provenientes de sensores.

*Entradas analógicas.* El sistema cuenta con un módulo de expansión EM 235 de Siemens (ver Figura 3.3 (c)), el cual contiene 4 entradas y una salida analógicas, las cuales pueden ser utilizadas por el usuario para introducir señales que provengan de sensores con niveles de voltaje y/o corriente estándares (0–10 VCD, 4–20 mA CD).

*Alimentación de CA.* Es la alimentación que proporciona Comisión Federal de Electricidad para uso doméstico de aproximadamente 120 VCA a 60Hz, que son los requerimientos mínimos para que el PLC funcione en condiciones normales.

*Alimentación de CD.* Se utilizará la fuente de voltaje que posee el PLC, así como de una fuente auxiliar de 24 VDC con el fin de que se puedan conectar otros dispositivos y así no demandarle más corriente de lo que puede dar la fuente interna del PLC al momento de conectar otros dispositivos como pueden ser sensores.

*Salida Discreta.* El sistema tendrá indicadores luminosos para visualizar la activación de señales de salida digitales, simulando la activación de actuadores u otros dispositivos de control. También se podrán conectar otros dispositivos debido a que se cuenta con salidas de tipo jack hembra que están conectadas a las salidas del PLC permitiendo la conexión de dispositivos de control externo. Las salidas son a relevador y pueden conectarse dispositivos de DC o AC siempre y cuando no excedan la corriente de 2 A que es la que soportan los relevadores de salida del CPU 224. Se recuerda que este dispositivo contiene 10 salidas a relevador, de las cuales se dejan 4 salidas para voltaje alterno y 6 salidas para voltaje de corriente continua [14].

*Salida Analógica.* Gracias al módulo de expansión EM 235, el sistema propuesto proporcionará al usuario 1 salida analógica. Para mayor información se puede consultar el manual del sistema de automatización S7-200.

3.3.4. Perforación de los orificios para el montaje de piezas del sistema SAE-PLC.

Una vez obtunidas las medidas de todos los elementos que se montan sobre el gabinete industrial, se realizó una distribución en su superficie útil, determinándose que la superficie en dónde es posible montar los elementos es de 43.50 cm x 33.50 cm como se puede apreciar en la Figura 3.4, apreciándose todos los orificios distribuidos en toda esta área efectiva.

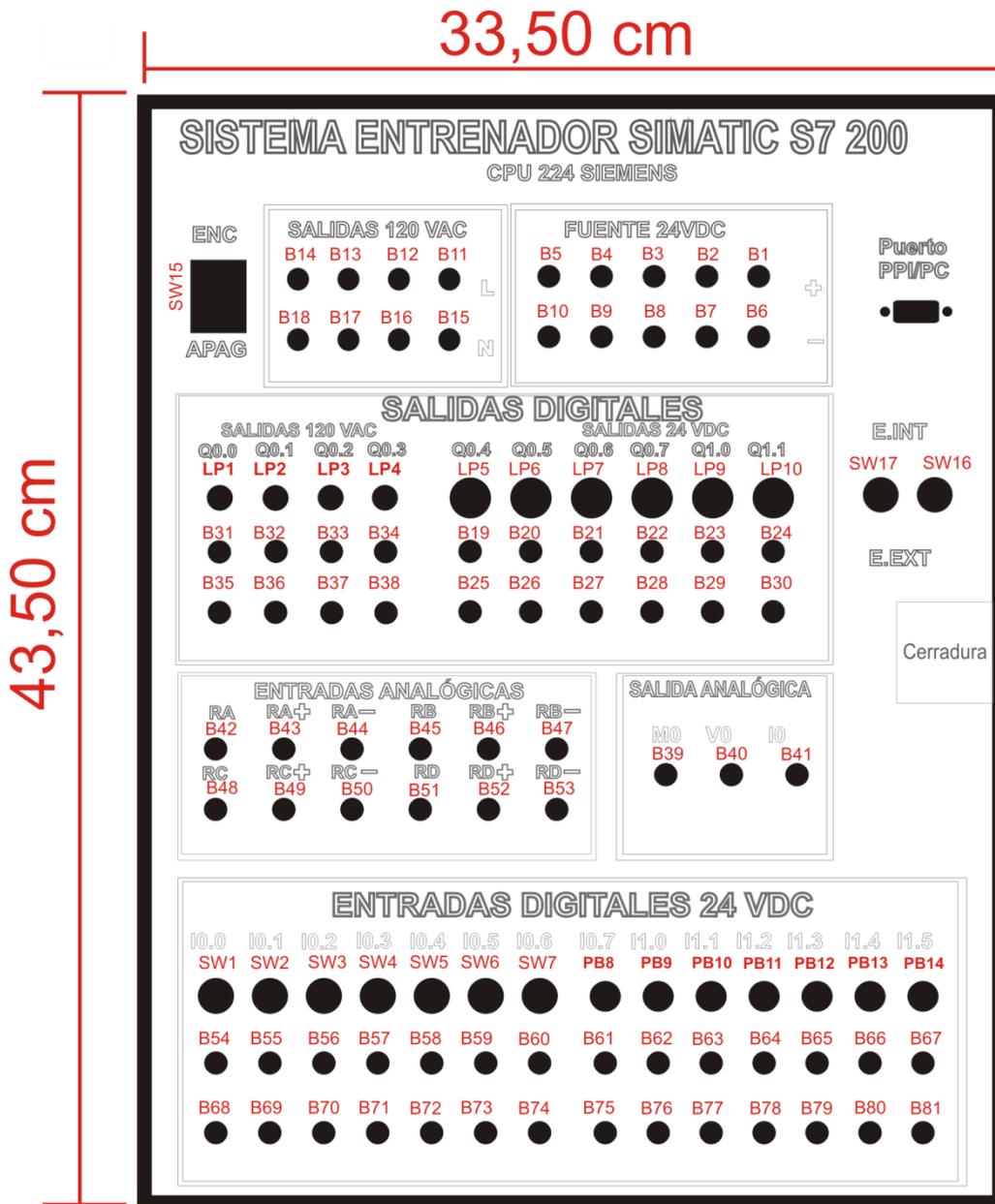


Figura 3. 4 Diseño espacial de los componentes para el SAE-PLC en un archivo Corel Draw X3.

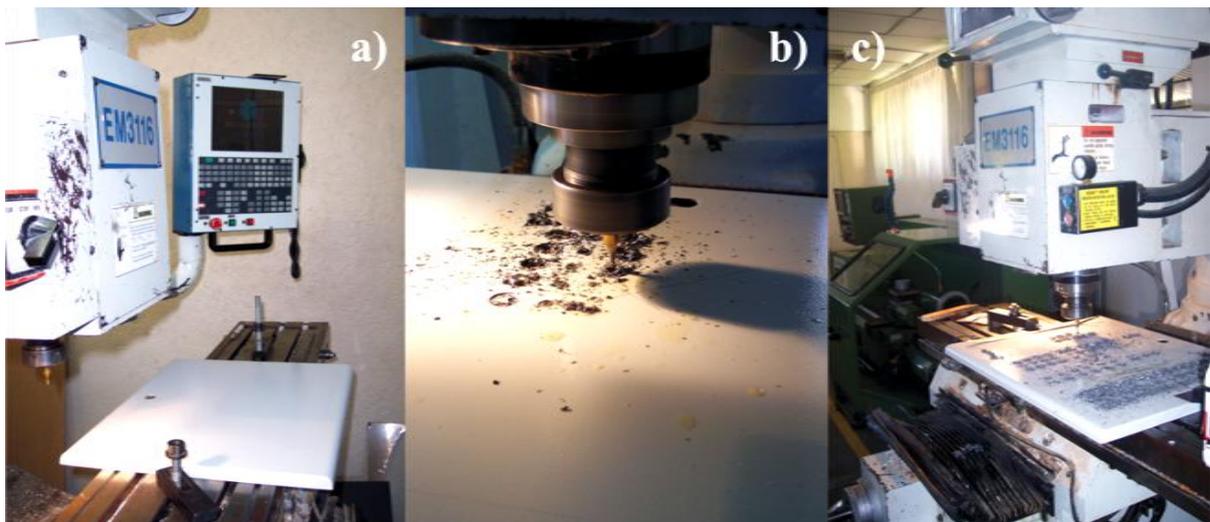
La Figura 3.4 es un archivo en Corel Draw X3 en donde se pueden manejar medidas a escala real. Se puede ver en la imagen anterior figuras rellenas de color negro (círculos y cuadrados), son los orificios que se perforaron para lograr montar todos los elementos en el gabinete, con una referencia y número asociado a cada elemento que se montó, por ejemplo interruptor 1 = SW1, interruptor 2 = SW2, etc.

Se puede observar que se cambió el diseño original realizado en papel con el fin de lograr una mejor distribución en toda la superficie de la tapa del gabinete. En este punto ya se tiene una idea del resultado final, debido a que en base al archivo de Corel Draw X3 citado anteriormente, se manejan medidas exactas.

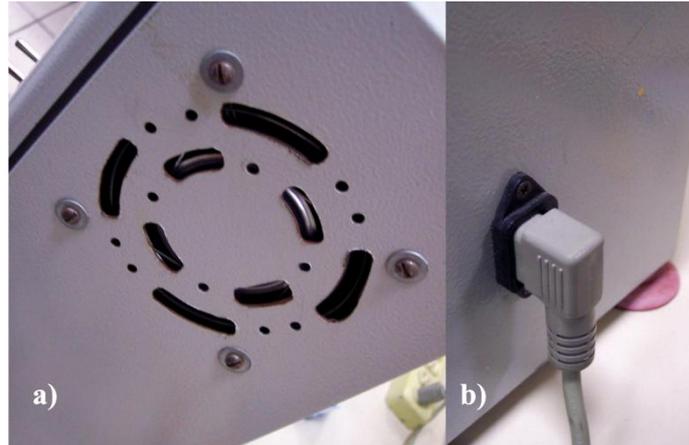
Una vez hecha la distribución final se procedió a conocer las medidas que existían entre cada orificio. Como son demasiadas medidas se omitió un dibujo al respecto por lo que se agrega a este trabajo de tesis el archivo realizado en Corel Draw X3, donde se aprecian las medidas correctas. Cabe mencionar que la distribución de los elementos se realizó con el fin de darle estética al sistema, generando con ello un ambiente ameno de trabajo para el usuario.

Más tarde se hace el mecanizado del gabinete industrial en el taller de metales de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Mediante el apoyo logístico de los encargados del taller de metales durante el desarrollo de este proyecto se realiza ésta tarea. Se vacían las medidas del archivo hecho en Corel Draw X3 a un archivo en el programa VISICAD.

Por otro lado, mediante un archivo en VISICAD, se puede dirigir en forma automática la posición de un cortador para metal, utilizando la información numérica contenida en dicho archivo. La máquina empleado para perforar los orificios del sistema SAE-PLC es una troqueladora de control numérico (CNC, por sus siglas en inglés, *Computer Numerical Control*). Este procedimiento se puede ver a groso modo en la Figura 3.5. Para facilidad de manejo se desmontó la puerta del gabinete.



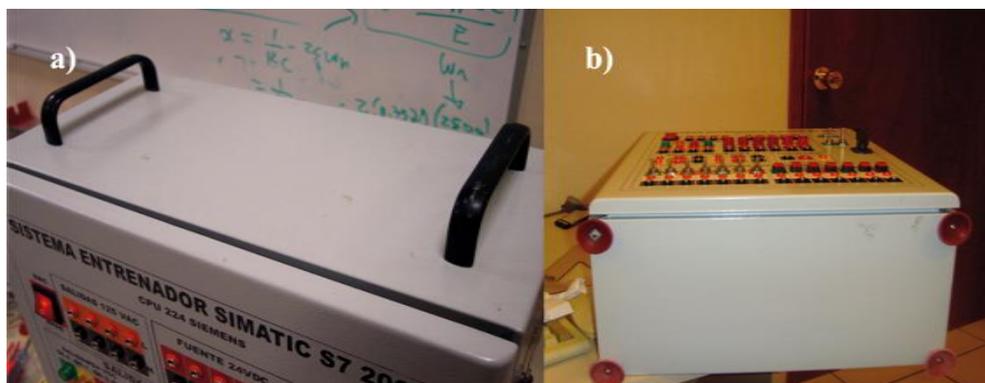
**Figura 3. 5** Proceso de mecanizado del gabinete industrial a) fijación de la puerta del gabinete en la maquina CNC, b) perforación de los orificios del SAE-PLC, c) terminación del proceso de mecanizado de la puerta del gabinete mediante la troqueladora que se encuentra en el taller de metales de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.



**Figura 3. 6** Perforaciones del SAE-PLC a) correspondientes a la instalación del ventilador de CA, b) tomacorriente AC para energizar al sistema.

Una vez concluido el trabajo con la puerta del gabinete se procedió a realizar las perforaciones correspondientes a la ventilación del sistema, así como el conector para la toma de la corriente eléctrica, lo que se puede ver en la Figura 3.6.

Adicionalmente se maquinan las perforaciones para la instalación de bases tipo chupón con el fin de brindarle estabilidad a todo el sistema al momento de realizar la práctica. Dichas bases se pueden ver ya instaladas en la Figura 3.7 (b). Además se instalaron agarraderas al equipo con el fin de poder transportar todo el sistema al lugar de trabajo donde se vayan a efectuar las prácticas que también se puede observar en la Figura 3.7 (a).



**Figura 3. 7** Perforaciones e instalación a) agarraderas para poder trasportar el sistema, b) bases para estabilidad del SAE-PLC.

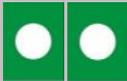
### 3.3.5. Diseño y corte de etiquetas en vinil como ayuda visual en el sistema SAE-PLC

Se diseñan etiquetas en vinil como referencia visual correspondiente a los elementos que conforman todo el sistema. Para ello se realizó el diseño en un archivo en Corel Draw X3 con las medidas exactas de las figuras de vinil a cortar. Además se asignaron diferentes colores para los distintos elementos del SAE-PLC. En las Tabla 3.4 (a) y (b) se establecen las figuras y el color del vinil de la etiqueta (cuadrado) asignada a cada elemento para su fácil identificación.

Se tomaron en cuenta varios elementos para realizar las medidas de corte de la etiqueta, como son el tamaño de los orificios que ocupa cada elemento en la superficie del gabinete (interruptores, focos, bornes, etc.) y también se consideraron las medidas espaciales entre un elemento y otro, con el fin de que los recortes en vinil a pegar no se traslaparan entre ellos y generar confusión.

Color de la etiqueta	Función
	<p>Se utilizó una etiqueta de vinil de color rojo más grande de lo normal para indicar el encendido o apagado de todo el sistema.</p>
	<p>Para indicar las salidas a 120 VAC se colocó vinil de color naranja alrededor de los bornes rojos correspondientes con el fin de indicar la fase; y vinil de color negro alrededor de los bornes negros para indicar el neutro. Los bornes asociados con las salidas de Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3 indican salidas externas a 120 VAC por lo que se pegaron etiquetas de color naranja para fase y vinil de color negro para indicar neutro. Con estos bornes se puede realizar la conexión, mediante puntas con terminación en banana, de un elemento de salida que se active con 120 VAC como relevadores y pilotos siempre y cuando no se exceda los 2 A para su funcionamiento.</p>
	<p>Para indicar las salidas provenientes de una fuente de 24 VDC que se encuentra dentro del gabinete, se determinó identificarlas con el color rojo alrededor de los bornes correspondientes para el positivo, y negro alrededor de los bornes para el negativo.</p>
	<p>Para indicar la activación de las salidas a 120 VAC provenientes del PLC para Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3 se colocaron pilotos, y alrededor de estos se colocó vinil con los colores verde, amarillo y rojo, esto con el fin de brindarle al usuario facilidad al momento de identificar la salida que se encuentra activada. Además con esto se pueden asociar con los colores los procesos como marcha, espera, alto, etc.</p>
	<p>Se alambra pilotos a las salidas digitales, de la Q0.4 a Q1.1 del PLC para indicar su activación en 24 VDC, alrededor de los focos se colocaron etiquetas con los colores verde, amarillo y rojo, esto con el fin de brindarle al usuario facilidad al momento de identificar la salida que se encuentra activada. Además se pueden asociar a diferentes procesos de una máquina como marcha, sobrecalentamiento, precaución, máquina detenida, etc.</p>
	<p>Los bornes relacionados con las salidas digitales, de la Q0.4 a la Q1.1 indican salidas externas a 24 VDC que se activan con el PLC por lo que se adhirieron etiquetas de color azul para visualizar el positivo L+ y etiquetas de color negro para indicar tierra o masa, con el fin de que se pueda conectar un elemento de salida como relevadores o pilotos que se activen con 24 VDC y que no excedan los 2 A para su funcionamiento.</p>

**Tabla 3. 4.a** Colores de las Etiquetas que se utilizaron en la construcción del sistema SAE-PLC.

Color de la etiqueta	Función
	<p>Se colocaron bornes que van conectadas a un módulo de expansión de entradas y salida analógica con el fin de utilizar este tipo de señales en el sistema. Se colocaron etiquetas de color amarillo si se quiere utilizar una entrada analógica medida en corriente, rojo para indicar si se requiere utilizar una señal medida en voltaje, y negro para indica tierra.</p>
	<p>El sistema SAE-PLC puede generar señales analógicas mediante los bornes M0, I0 y V0 que se encuentran conectados al módulo de expansión EM 235, instalada interiormente en el sistema. Por ello se asociaron los colores negro para tierra, rojo si se requiere una señal de voltaje como salida y amarillo si se requiere como corriente.</p>
	<p>El sistema posee interruptores tipo palanca o pushbutton que permiten o no tener 24 VDC en el módulo de entradas digitales del PLC que tiene el SAE-PLC (simulando señales digitales de entrada de un proceso). Se colocan alrededor de estos interruptores etiquetas de diferentes colores como verde, amarillo, rojo, naranja, con el fin de brindar al usuario una manera sencilla de identificar las entradas al momento de realizar una práctica, sirviéndole con esto poder asignar un color a un proceso en particular como inicio, marcha, paro, protección de sobrecalentamiento, stop, emergencia, etc.</p>
	<p>El SAE-PLC puede conectar entradas digitales provenientes de otro dispositivo siempre y cuando sea 24 VDC como 1 lógico. El color con el que se identifican las entradas digitales externas es el color blanco, y se encuentran cableadas a las entradas del PLC.</p>
	<p>Se colocan dos interruptores tipo palanca, que activan o desactivan los relevadores que son los responsables de hacer el cambio de entradas digitales internas a entradas digitales externas. Se asignaron etiquetas de color verde para identificar estos interruptores en el sistema SAE-PLC.</p>
<p><b>SISTEMA ENTRENADOR S7 200</b> CPU 224 SIEMENS <b>SALIDAS ENTRADAS DIGITALES 24VDC</b> ENTRADAS ANALÓGICAS SALIDA ANALÓGICA</p>	<p>Las letras de todo el sistema se realizan en vinil de color negro con tipo de letra Arial, debido a que con este material es fácil realizar la colocación de los letreros en el sistema y hacer posibles cambios en caso de modificaciones posteriores.</p>
	<p>También se colocó una etiqueta de color verde para indicar el puerto DB9 para realizar la programación del PLC.</p>

**Tabla 3. 5.b** Colores de las Etiquetas que se utilizaron en la construcción del sistema SAE-PLC.



Figura 3. 8 Etiquetas realizadas en vinil del SAE-PLC realizado en Corel Draw X3.

Las etiquetas en vinil empleadas como referencia para cada elemento del proyecto se fabricaron en este material debido a que, si era necesario hacer modificaciones durante el proceso de construcción, dichas modificaciones pudieran realizarse fácilmente. En la Figura 3.8 se puede ver el archivo final en Corel Draw con el color del vinil de todas las etiquetas que se utilizaron en el sistema.

Las etiquetas de vinil se realizaron en un plóter de corte, mediante el archivo en Corel Draw X3 correspondiente. Una vez realizadas las etiquetas se procedió a pegarlas en sus respectivos sitios, siguiendo la guía del archivo que se visualiza en la Figura 3.8.

Una vez que se perforaron todos los orificios y se pegaron todas las etiquetas en el sistema, se procedió a instalar nuevamente la tapa en el gabinete y se montó sobre ésta todos los elementos que previamente se adquirieron para el proyecto, (ver Tabla 3.2).

La Figura 3.9 muestra como se ve el sistema una vez instalados todos los elementos externos que se requerían para el SAE-PLC y como se puede apreciar en la Figura, los acabados del sistema fueron realizados de manera precisa y ergonómica.

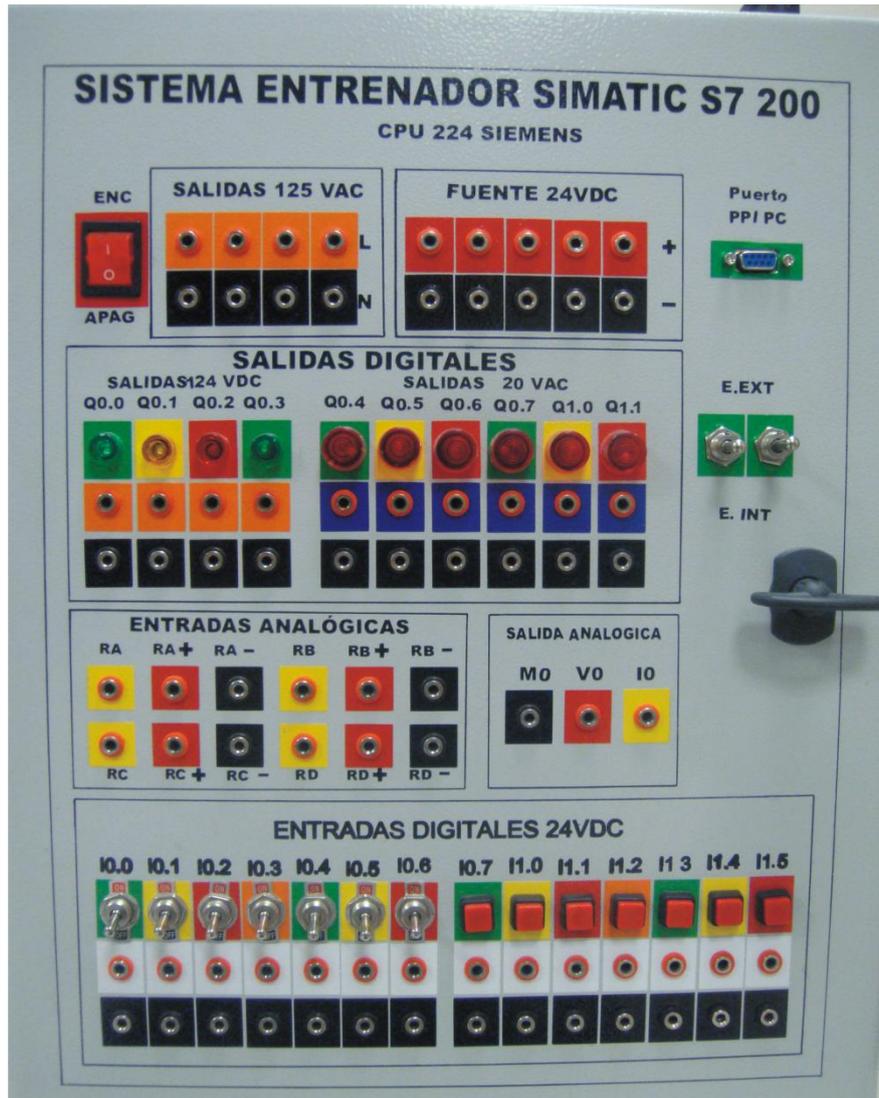


Figura 3.9 Montaje de todos los materiales para el funcionamiento del SAE-PLC.

### 3.4. Diseño eléctrico.

#### 3.4.1. Distribución de dispositivos sobre la platina.

La platina es una placa lisa metálica de una sola pieza, montada en el fondo del gabinete, donde se colocan dispositivos eléctricos mediante el mecanizado de la placa y accesorios tales como rieles y canaletas para la fijación de los elementos que intervienen en la composición del panel de control del sistema didáctico [21].

Una vez que se montaron todos los elementos externos del sistema (ver Figura 3.9), se procedió a colocar los dispositivos internos, que son los que en realidad realizan todo el funcionamiento. Para esto fue necesario montar en la platina del gabinete industrial el CPU 224 de Siemens, el módulo de expansión EM 235 y la fuente de voltaje de 24 VDC que es necesaria para indicar las señales digitales que se necesitan.

### 3.4.1.1 Materiales utilizados en el montaje de la platina

A continuación se presentan en las Tablas 3.5 (a) y (b) los materiales y dispositivos que ayudaron para construir la etapa interna del gabinete correspondiente al área de la platina [17].

Elemento	Descripción
	<i>Terminal de latón tipo Fastón, hembra, desnuda.</i> Terminal de latón tipo Fastón, hembra, desnuda, de 6,3 mm (1/4 de pulgada), calibre 22 a 18 AWG.
	<i>Terminal de latón tipo Fastón, hembra, desnuda.</i> Terminal de latón tipo Fastón, hembra, desnuda, de 4,5 mm (3/16 de pulgada), para cable calibre 22-18 AWG.
	<i>Terminal de latón tipo Fastón, hembra, desnuda.</i> Terminal de latón tipo Fastón, hembra, desnuda, de 3 mm (1/8 de pulgada), calibre 22 a 18 AWG.
	<i>Terminal de latón tipo Fastón, macho, desnuda.</i> Terminal de latón tipo Fastón, macho, desnuda, de 6.3 mm (1/4 de pulgada), calibre 22 a 18 AWG.
	<i>Kit de tubo termo-contráctil (Thermofit) de 1/8 pulgada (3,2 mm) de diámetro, con 5 colores.</i> Kit de tubo termo-contráctil (Thermofit) de 1/8 de pulgada (3,2 mm) de diámetro, con 5 colores (azul, verde, amarillo, rojo y transparente), 1 m por color en tramos de 20 cm. Al calentarlo a 70° centígrados, se contrae al 50% de su diámetro. Útil para agrupar cables o algún objeto.
	<i>Thermofit.</i> Tubo termo-contráctil color negro. Al calentarlo a 70° centígrados, se contrae al 50% de su diámetro. Útil para agrupar cables o algún objeto. Se vende por metro o en rollo de 25 m. las medidas utilizadas son: 3/8 pulgada (9.5 mm) de diámetro, 3/32 pulgada (2.4 mm) de diámetro, 1/2 pulgada (12.7 mm) de diámetro, color negro.
	<i>Base autoadherible de nylon, de 2.8 x 2.8 cm, color blanco.</i> Base autoadherible de nylon, de 2.8 x 2.8 cm, color blanco, para cinchos sujetacables (Ty-rap) de hasta 5 mm de ancho. Útil para mantener organizados cables de uso eléctrico o electrónico en superficies planas (pared o metal).
	<i>Bolsa con 300 cinchos sujetacable económico.</i> Bolsa con cinchos sujetacable (Ty-rap) de nylon, de diferentes colores y medidas. Ideales para agrupar cables eléctricos y electrónicos, fijar piezas, tubos, mangueras, componentes y más. Contiene 300 piezas.
	<i>Relevador compacto de 1 polo, 2 tiros (SPDT) y bobina de 24 VDC.</i> Relevador compacto de 1 polo, 2 tiros (SPDT) y bobina de 24 VDC. Ideal para equipos y proyectos electrónicos.
	<i>Extensión para monitor o mouse, de 1,8 m.</i> Extensión para monitor o mouse con conector macho (plug) DB9 a conector hembra (jack) DB9, de 1,8 m.

Tabla 3. 6.a Materiales y dispositivos utilizados en el interior del sistema SAE-PLC

Elemento	Descripción
	<i>Conector tomacorriente para chasis, de cara plana, polarizada</i> Conector tomacorriente (receptáculo) para chasis, de cara plana, polarizado y conexión para tierra. Fabricado en plástico color negro.
	<i>Ventilador 115 VCA S/C</i> . Se implementa para la ventilación de los elementos internos del gabinete, debido que algunos elementos internos del SAE-PLC podrían sobrecalentarse.
	<i>Clemas portafusibles tipo americano</i> . Permiten la conexión de elementos y brindan protección debido a que pueden incorporar un fusible, se puede montar en riel DIN.
	<i>Clema de paso 22-12 AWG 24A</i> . Permiten la conexión entre elementos y se puede montar en riel DIN.
	<i>Weidmuller canaleta ranurada gris 25x60 2mts c/tapa</i> . Ayuda a estructurar el cableado. Se utilizan para los cables eléctricos del sistema ayudando al reparto de éstos a los diferentes dispositivos, con este tipo de canalización la ampliación o modificación es fácil, ya que se tiene acceso al interior una vez retirada la tapa.
	<i>Weidmuller RAIL DIN 1mt acero trop perforado</i> . Es una placa o perfil doblado que permite montar diferentes dispositivos industriales. Se fija en la platina con tornillos.
	<i>Tira de conexiones</i> . Realizan la conexión de los cables a un mismo punto o varios.
	<i>Bases tipo chupón</i> . Bases que le dan soporte y brindan estabilidad al sistema.
	<i>Fusibles 2A</i> . Se utilizan fusibles de 2A para protección de sobrecorrientes en el sistema SAE-PLC.
	<i>Fuente de voltaje siemens 93-265V AC 6EW1380-1AA, DIN RAIL, DC 24V/4A, (USADA)</i> . Provee al SAE-PLC de voltaje de 24 VDC necesario para el funcionamiento de todo el sistema.
	<i>PLC CPU 224 S7-200 siemens</i> . Es el corazón del SAE-PLC y es el encargado de realizar la lógica de automatización.
	<i>Módulo de expansión EM 235</i> . Éste módulo provee al SAE-PLC el uso de señales analógicas provenientes de señales externas.

Tabla 3. 7.b Materiales y dispositivos utilizados en el interior del sistema SAE-PLC

Fue necesario acomodar y distribuir todos los elementos antes mencionados en la platina, tomando en cuenta los espacios disponibles para acomodar el cableado dentro de las canaletas en forma ordenada. Para montar el PLC, el módulo de expansión, la fuente de voltaje, las clemas de paso y las clemas portafusibles, se utilizaron rieles tipo DIN, los cuales se fijaron sobre la platina. La forma final en la que quedaron colocados los componentes dentro del gabinete puede verse en la Figura 3.10.

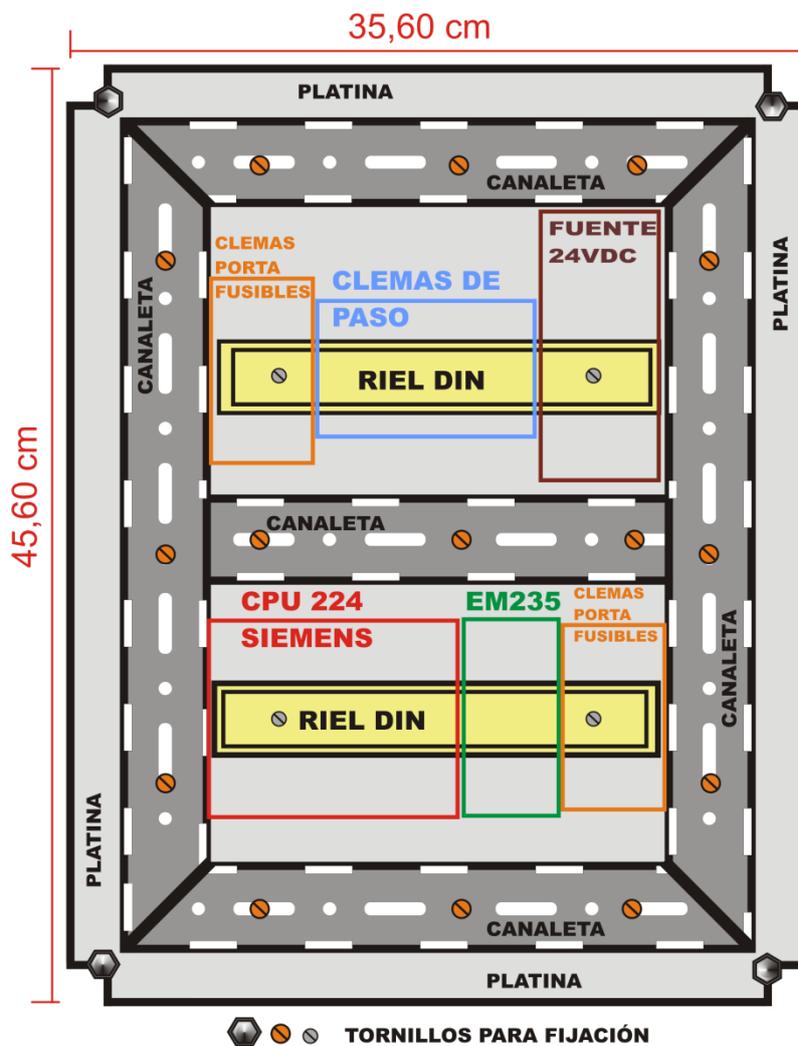


Figura 3. 10 Distribución y montaje sobre la platina de todos los dispositivos y materiales necesarios para el funcionamiento del SAE-PLC.

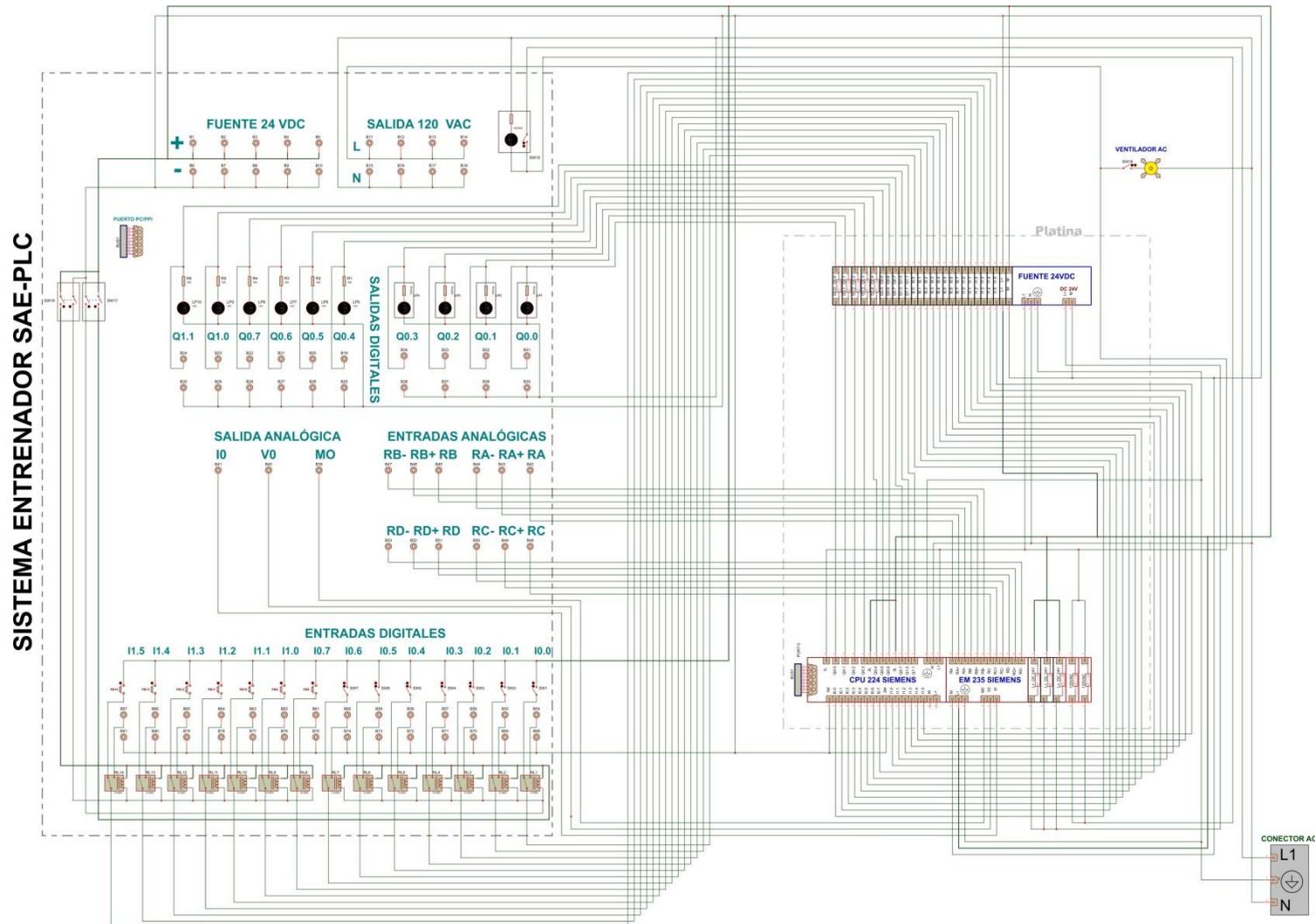


Figura 3. 11 Esquema general del cableado del SAE-PLC.

Como se puede ver en la Figura 3.10, no existe espacio en dado caso que se requiera colocar otros elementos no contemplados, por lo que una vez determinado la distribución final se procedió a construirlo en el taller de metales de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Como parte final del montaje de dispositivos se procedió a implementar el ventilador de 115 VAC para la ventilación del sistema, colocándose en la parte lateral superior derecha del gabinete industrial.

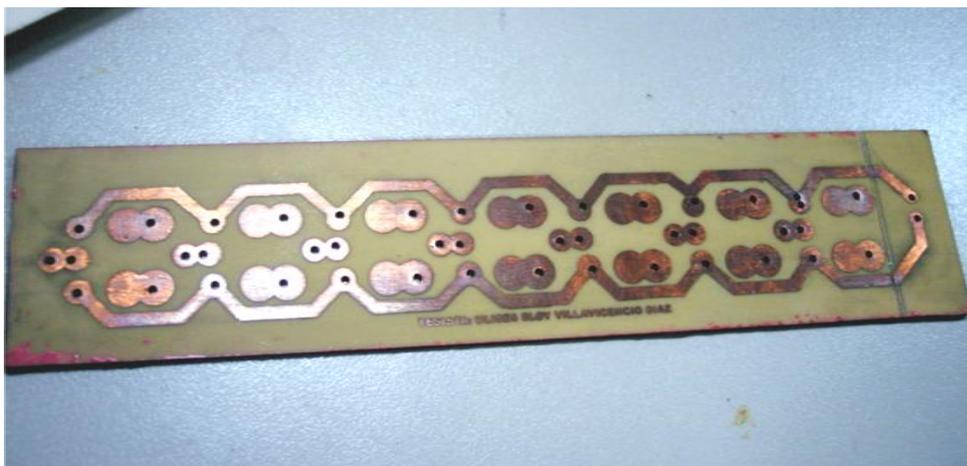
### 3.4.2. Esquema del cableado del SAE-PLC

Una vez que se montaron todos los materiales y dispositivos tanto externos como internos del sistema se procedió a cablear los elementos instalados en la puerta del gabinete (interruptores, focos, bornes) con los dispositivos y materiales montados en la platina (plc, módulo de expansión, fuente de voltaje).

Para cablear todo el sistema es necesario un diagrama de conexiones general del SAE-PLC, donde se pueda ver el cableado que se va a realizar. Por lo tanto se realizó un archivo del alambrado en Proteus 7.5 que es un programa para realizar simulaciones de circuitos electrónicos, pero en este caso se emplea para realizar el diagrama del cableado general del SAE-PLC. En la Figura 3.11 se puede apreciar cómo se encuentran interconexionados todos los elementos. En la parte izquierda se ven los materiales montados en la puerta del gabinete y en la parte derecha se observa los elementos que se encuentran instalados en la platina.

### 3.4.3. Placa de relevadores para entradas externas o internas

En el esquema general de la Figura 3.11 se puede ver que el sistema tiene implementado una serie de relevadores para realizar la conmutación entre entradas digitales internas y externas. Se utilizaron 14 relevadores cuya bobina funciona con 24 VDC por lo que se realiza una pequeña placa para montar este módulo en el sistema. En la Figura 3.12 se puede ver la placa de montaje.



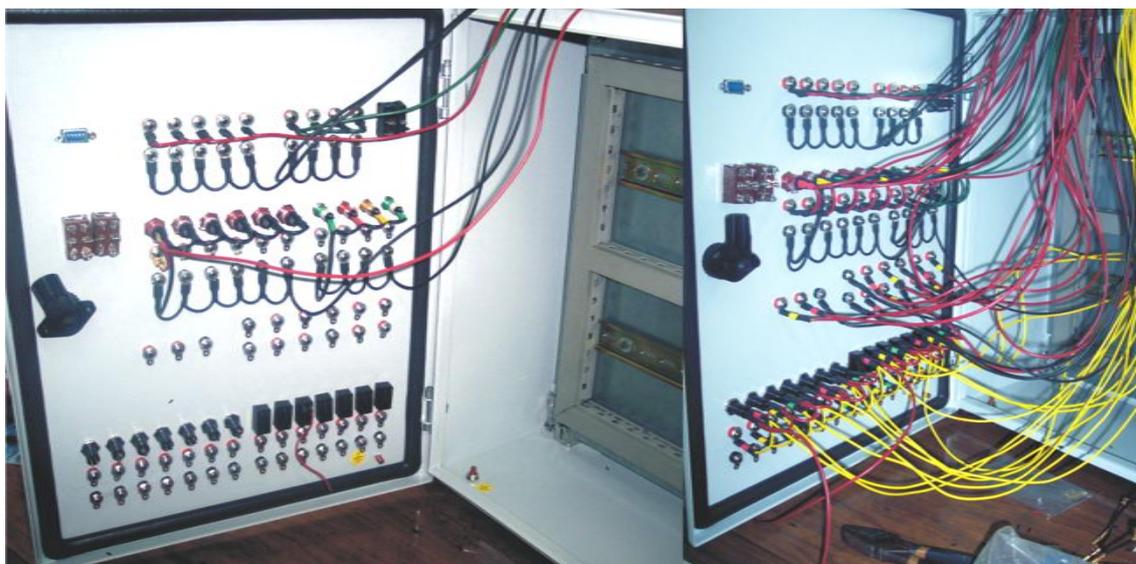
**Figura 3. 12** Placa de relevadores para realizar la conmutación entre entradas digitales internas con las entradas digitales externas.

El montaje físico de esta placa se realizó en frente de los interruptores de palanca y pushbutton en el interior del gabinete debido a que por cuestiones de espacio de la platina fue necesario implementarlos en este espacio disponible.

#### 3.4.4. Proceso de cableado

Una vez que se tienen los elementos y dispositivos montados en el gabinete se procedió a cablear de acuerdo al diagrama general de conexiones. Para que el proceso de cableado resulte fácil, además de que los cables tengan una buena terminación para evitar desconexiones o falsos, se utilizaron terminales hembra de latón tipo Fastón de medidas 1/4, 3/16, 1/8 de pulgada para la conexión rápida de los interruptores, pilotos y bornes. Lo anterior con la finalidad de que si se daña un material éste sea reemplazado rápidamente. La fijación del cable con las terminales se hace mediante la pinza para terminales o pinza de Crimpar, [21].

Como las terminales Fastón se encontraban desnudas se utilizó Thermofit de diferentes medidas y colores para evitar confusión. Este material plástico se contrae al calentarlo, por lo que fue de gran ayuda para cubrir conectores, cables y terminales expuestas evitando posibles accidentes de cortos que pudieran dañar a los equipos y materiales. Esto se puede ver en la Figura 3.13.



**Figura 3. 13** Proceso de cableado del SAE-PLC y la implementación de terminales.

El proceso de cableado fue tardado y meticuloso, pues se toma en cuenta el factor estético, así como también la optimización del espacio disponible para tal fin. Se hace la observación de que un alambrado inadecuado puede resultar en situaciones de peligro para el usuario, además de generar posibles accidentes por falsos contactos.

Para lograr la sujeción de los cables se utilizaron cinchos de plástico de diferentes colores y bases autoadheribles de nylon. El cable utilizado en todo el sistema se determinó que fuera de calibre No.18 de marca IUSA en diferentes colores. Así se alambrió con cable color verde para el manejo de 120 VAC; los colores amarillo y blanco para las entradas al PLC de 24 VDC; el rojo para las salidas del PLC de 24 VDC y otras señales que utilizan 24 VDC además

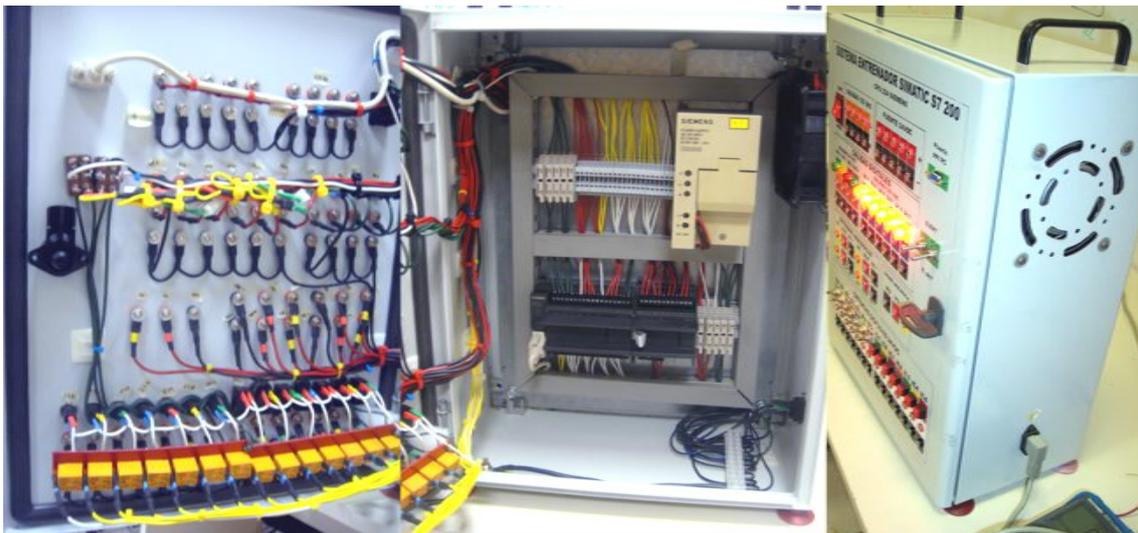
para las entradas y salida analógica, y por último el negro se empleó para indicar señales de neutro, tierra o masa y tierra física.

Las canaletas que se encuentran fijadas a la platina se utilizan para sujetar los conductores eléctricos por el interior del cuadro que éstos forman en la platina, como se puede ver en la Figura 3.10, sin la intervención de otros elementos sujetadores. Con la utilización de canaletas se hace el reparto de cables a los diferentes dispositivos que se encuentran montados sobre el riel tipo *DIN*. Además resulta sencillo acceder al interior del gabinete y la identificación y manipulación de los cables se realiza de manera eficaz.

Por último se cableó el puerto serial del PLC a la parte frontal del gabinete, mediante un cable de extensión con conector macho DB9 a conector hembra DB9. Esto con el fin de conectar el cable PC/PPI del PLC con una PC en el exterior del gabinete, para poder programar el PLC con el software STEP 7 MicroWIN.

### 3.4.5 Resultado

En la Figura 3.14 se puede ver la interconexión de todos los módulos implementados.



**Figura 3. 14** Fase de construcción del sistema SAE-PLC terminada con todos sus elementos interconectados.

### 3.4.6. Presupuesto del SAE-PLC

En la Tabla 3.6 se muestra la lista de precios de los componentes empleados para la construcción del sistema SAE-PLC. Cabe señalar que no todos los elementos se compraron ya que varios de estos materiales y dispositivos se encontraban en la Universidad Tecnológica de la Mixteca [17].

Cantidad	Descripción	Precio	Total
6	Foco en encapsulado redondo, color rojo, de 12 VDC.	10,00	60,00
4	Foco neón en encapsulado redondo, color amarillo, rojo y verde de 117 VCA.	10,00	40,00
43	Jack tipo banana o Phillips, color rojo.	10,00	430,00
38	Jack tipo banana o Phillips, color negro.	10,00	380,00
1	Switch de balancín, de 2 polos, 1 tiro, 2 posiciones, con piloto.	33,00	33,00
7	Switch de push, de boton cuadrado, normalmente cerrado.	11,00	77,00
7	Switch de palanca 1 polo, 1 tiro, 2 posiciones, 15 Amperes.	19,00	133,00
2	Switch de palanca 2 polos, 2 tiros, 3 posiciones, 15 Amperes.	22,00	44,00
14	Relevador compacto de 1 polo, 2 tiros (SPDT) y bobina de 24 VDC.	17,00	238,00
6	Resistencia de alambre (cerámica) de 100 Ohms a 5 Watts .	4,00	24,00
1	Kit de tubo termo-contráctil (Thermofit) de 1/8 pulgada (3,2 mm) de diámetro, con 5 colores	29,00	29,00
113	Terminal de latón tipo Fastón, hembra, desnuda, de 6,3 mm (1/4 de pulg).	3,00	339,00
14	Terminal de latón tipo Fastón, hembra, desnuda, de 4,5 mm (3/16 de pulg).	3,00	42,00
22	Terminal de latón tipo Fastón, hembra, desnuda, de 3 mm (1/8 de pulg), calibre 22 a 18 AWG	3,00	66,00
14	Terminal de latón tipo Fastón, macho, desnuda, de 6,3 mm (1/4 de pulgada) .	6,00	84,00
2	Tubo termo-contráctil (Thermofit) de 3/8 pulgada (9,5 mm) de diámetro, color negro.	8,00	16,00
2	Tubo termo-contráctil (Thermofit) de 3/32 pulgada (2,4 mm) de diámetro, color negro.	4,00	8,00
2	Tubo termo-contráctil (Thermofit) de 1/2 pulgada (12,7 mm) de diámetro, color negro.	10,00	20,00
100	Cable AWG 18 IUSA vendido por metro.	3,00	300,00
5	Base autoadherible de nylon, de 2,8 x 2,8 cm, color blanco.	3,00	15,00
1	Conector tomacorriente para chasis, de cara plana, polarizada.	11,00	11,00
1	Extensión conector macho (plug) DB9 a conector hembra (jack) DB9.	42,00	42,00
1	Bolsa con 300 cinchos sujetacable económico.	68,00	68,00
1	Ventilador 115 VCA S/C.	450,00	450,00
10	Clemas portafusible tipo americano.	15,00	150,00
21	Clema de paso 22-12 AWG 24A.	10,00	210,00
1	Weidmuller canaleta ranurada gris 25x60 2mts c/tapa.	100,00	100,00
1	Weidmuller riel din 1mt acero trop perforado.	50,00	50,00
1	Tira de conexiones.	12,00	12,00
4	Bases tipo chupón.	15,00	60,00
10	Fusibles 2A.	10,00	100,00
1	Fuente de voltaje siemens 93-265VAC+B10, DIN RAIL, DC 24V/4A, (USADA).	1.000,00	1000,00
1	Gabinete industrial modelo Atlantic 55 marca Legrand 500x400x200.	1.000,00	1000,00
1	PLC CPU 224 S7-200 Siemens.	5.000,00	5000,00
1	Módulo de expansión EM 235	2.000,00	2000,00
<b>Total</b>			12631,00

Tabla 3. 8 Precio aproximado del Sistema SAE-PLC.



## Capítulo 4| PRUEBAS Y RESULTADOS

Para comprobar que el sistema propuesto funciona correctamente, se implementaron una serie de prácticas documentadas con el fin de que el usuario se familiarice con conceptos de problemas de automatización. Dichas prácticas se toman, al mismo tiempo, como las pruebas que se realizaron al sistema SAE-PLC.

En la Tabla 4.1 se encuentran resumidas las pruebas realizadas al SAE-PLC. Estas se encuentran asentadas en un documento en forma de actividades experimentales denominado “Manual de prácticas”. Se proporcionan las soluciones correspondientes a cada práctica y tales soluciones son consideradas como los resultados de las pruebas de funcionamiento. El manual constituye una ayuda para el usuario y/o alumno, pero de ningún modo sustituye a una capacitación más completa que pueda ser proporcionada en el aula de clases.

También se tomó en cuenta el punto de vista del usuario final ya que son ejercicios sencillos que fácilmente se pueden implementar en el lenguaje KOP-STEP 7 (diagrama de escalera). Gracias a las facilidades del software STEP 7 MicroWIN de Siemens, es posible que el alumno observe el comportamiento de las soluciones en tiempo real. Es importante hacer notar que el software mencionado es amigable al usuario.

Las 10 prácticas mostradas en el manual correspondiente incluido en el Apéndice A, fueron implementadas con éxito en el sistema SAE-PLC. Siempre y cuando, en la medida de lo posible, se sigan las instrucciones contenidas en el manual, el usuario puede obtener los mismos resultados. Aunque es posible implementar otros problemas de acuerdo con las características del SAE-PLC, se debe tener cuidado al momento de implementar otras prácticas distintas a las ya establecidas para así evitar posibles daños al equipo o lesiones personales.

Los resultados obtenidos muestran la funcionalidad del SAE-PLC y su potencialidad para ser interconectado con otros sistemas didácticos con los que se cuenta en los laboratorios de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Ejemplos de ello son los resultados obtenidos en las actividades experimentales en las que se conectó el SAE-PLC con el equipo LabVolt y el kit de neumática de FESTO.

Así, puede decirse que la implementación y solución de problemas de automatización reportadas en el manual de prácticas, permiten considerar como satisfactorias las pruebas de funcionalidad realizadas.

No. Práctica	Título	Resultado
1.	<i>Sistema Didáctico para Apoyo a la Enseñanza de Controladores Lógicos Programables.</i>	<i>Esta práctica es informativa debido a que se conocen los módulos con que cuenta el sistema SAE-PLC, sus características físicas y su funcionamiento (ver Figura 4.1).</i>
2	<i>Introducción al STEP 7 MICRO/Win32 versión 3.1 SP2.</i>	<i>Se conocen las partes que integran el software que provee el fabricante del PLC (Siemens) y se implementó un programa sencillo en lógica escalera (ver Figura 4.2).</i>
3	<i>Control de marcha y paro de un Motor de CD.</i>	<i>En esta práctica se controló el funcionamiento de un motor de CD mediante la acción de marcha y paro implementado con el sistema SAE-PLC (ver Figura 4.3)..</i>
4	<i>Semáforos</i>	<i>En esta práctica se diseñó e implementó el funcionamiento de semáforos utilizando temporizadores con retardo a la conexión en el sistema SAE-PLC (ver Figura 4.4)..</i>
5	<i>Arranque de un motor trifásico.</i>	<i>En esta práctica se controló el arranque, marcha y paro de un motor trifásico mediante la utilización del sistema SAE-PLC y el sistema Lab-Volt (ver Figura 4.5).</i>
6	<i>Neumática.</i>	<i>En esta práctica se controló la activación y desactivación de una electroválvula así como el manejo de un cilindro de simple efecto y de doble efecto, mediante la implementación de un programa en escalera utilizando el sistema SAE-PLC y el sistema de neumática FESTO (ver Figura 4.6)..</i>
7	<i>Sensores.</i>	<i>Esta práctica se utilizó para la solución de un ejercicio de sensores mecánicos conocidos como final de carrera, electroválvulas y cilindros de doble efecto mediante la implementación de un programa en escalera utilizando el sistema SAE-PLC, sistema neumática FESTO y haciendo uso de señales externas digitales (ver Figura 4.7)..</i>
8	<i>Señales analógicas.</i>	<i>En esta práctica se utilizó una entrada y una salida analógicas para la solución de un ejercicio, con el fin de comprobar la funcionalidad del módulo de ampliación en entradas y salida analógica EM 235 que se implementó en el sistema SAE-PLC (ver Figura 4.8)..</i>
9	<i>Interrupciones.</i>	<i>En esta práctica se utilizan funciones de interrupción que provee el CPU 224 para la resolución de un problema de automatización. La solución se presenta en el manual de prácticas y se implementó en el sistema SAE-PLC (ver Figura 4.9)..</i>
10	<i>Subrutinas.</i>	<i>En esta práctica se utilizó una función de subrutina que provee el CPU 224 para la resolución de un problema de automatización. La solución se presenta en el manual de prácticas y se implementó en el Sistema SAE-PLC (ver Figura 4.10)..</i>

**Tabla 4. 1 Resultados obtenidos al utilizar el sistema SAE-PLC.**

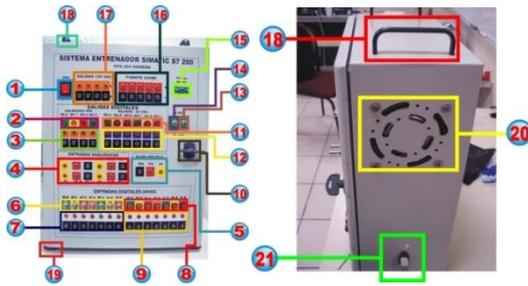


Figura 4. 1 Práctica 1, identificando elementos del SAE-PLC.

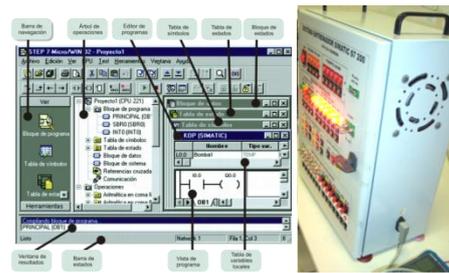


Figura 4. 2 Práctica 2, Partes del STEP 7 MicroWIN y Ejemplo1.mwp.



Figura 4. 3 Práctica 3, Motor CD.



Figura 4. 4 Práctica 4, Motor CA Trifásico



Figura 4. 5 Práctica 5. Semáforos.



Figura 4. 6 Práctica 6, activación de electroválvula doble cilindro

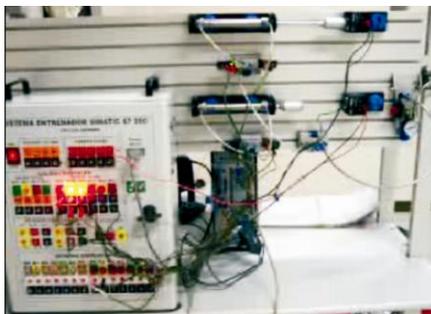


Figura 4. 7 Práctica 7, sensor mecánico interruptor final de carrera.

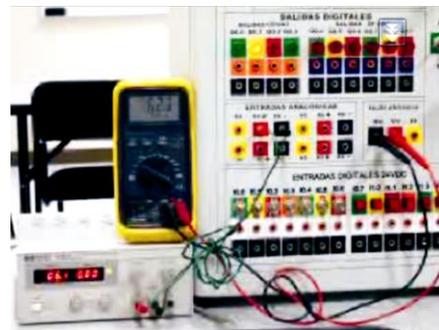


Figura 4. 8 Práctica 8, señales analógicas.



Figura 4. 9 Práctica 9, interrupciones.



Figura 4. 10 Práctica 10, subrutinas.

## Capítulo 5 | CONCLUSIONES

Actualmente muchas industrias utilizan tecnologías de automatización en alguna etapa de sus procesos sino es que se encuentran totalmente automatizadas. Dependiendo del tipo de industria será el grado de automatización a realizar y el tipo de necesidades específicas a las cuales se deben dar solución. Uno de los dispositivos comúnmente empleados para implementar dichas soluciones, es el así llamado Controlador Lógico Programable, que es utilizado en la automatización de muchos procesos industriales.

Para adentrarse en los temas de automatización mediante PLC's existen en el mercado varios equipos que ofrecen capacitación. Dependiendo del fabricante será el costo del equipo y de la capacitación correspondiente. Por tanto es útil contar en las instituciones de educación superior, como la UTM, con sistemas que permitan capacitar de manera adecuada y oportuna, pero aun costo más bajo a los estudiantes que en ella se preparan.

Como se plantea en el objetivo general de este trabajo, la finalidad la tesis consiste en el desarrollo de una herramienta capaz de brindar apoyo didáctico a alumnos y profesores involucrados en el proceso de enseñanza-aprendizaje de automatización de sistemas utilizando un PLC. Con base al trabajo realizado se proporcionan las siguientes conclusiones:

1. Se diseñó, construyó e implementó una herramienta didáctica para apoyo a la enseñanza de Controladores Lógicos Programables, al que se le designó con el nombre de SAE-PLC, (Sistema para Apoyo a la Enseñanza de Controladores Lógicos Programables), comprobando su correcto funcionamiento mediante la implementación de varios problemas de automatización.
2. El sistema SAE-PLC se encuentra provisto de 6 salidas digitales a 24 VDC cableadas a bornes para una conexión fácil; 4 salidas a 120 VAC cableadas a bornes para una conexión fácil; 6 lámparas piloto de 12 VDC que indican cuando una salida a 24 VDC se encuentra en uso; 4 lámparas piloto de 120 VAC que indican cuando una salida digital a 120 VAC se encuentra en uso; 7 entradas digitales internas cableadas a interruptores de palanca que dejan o no pasar 24 VDC al PLC; 7 entradas digitales internas cableadas a interruptores tipo pushbutton que dejan o no pasar 24 VDC a las entradas del PLC; 14 entradas digitales que pueden ser utilizadas por señales externas de 24 VDC; 2 interruptores para cambiar el modo entre entradas digitales internas y externas; 4 entradas analógicas; 1 salida analógica; fuente de 24 VDC; salidas a 120 VAC; fusibles de protección interna para la protección contra sobre corrientes; ventilador AC para la ventilación interna y cable de alimentación.
3. El sistema SAE-PLC está montado en un gabinete de mediano tamaño, con agarraderas y bases para estabilidad; lo que permite que sea transportado con facilidad al lugar donde se realizan las prácticas. Esto se pensó debido a que en algunas prácticas es necesario transportarlo hasta donde se encuentran otros sistemas didácticos.

---

4. El SAE-PLC maneja diferentes colores en la parte frontal con el fin de ayudar visualmente al alumno al momento de estar en una práctica. Estos colores son de uso estándar en el mundo industrial, principalmente en los procesos de arranque, paro, paro de emergencia, precaución, entre otros.

5. Se diseñó y desarrolló un manual de prácticas enfocado al sistema SAE-PLC para maximizar el aprovechamiento del equipo, donde se plantean ejercicios y sus soluciones empleando el sistema; esto ayuda a la comprensión del contenido del documento generando información funcional. Además se plantean ejercicios complementarios que pueden ser implementados en el sistema.

6. Es posible simular sistemas de control mediante una interfaz física amigable que proporciona el SAE-PLC, estimulando al usuario a implementar un sistema de control, simularlo y ejecutarlo en tiempo real, así como la facilidad de poder implementar sus propios diseños de control logrando que el estudiante o usuario final comprenda el funcionamiento y utilización de los PLC's en un ambiente industrial.

7. Se verificó el funcionamiento del SAE-PLC mediante la implementación de 10 prácticas que se encuentran documentadas en el manual mencionado en el punto número 6 de estas conclusiones.

8. El sistema SAE-PLC cumple con los objetivos generales y específicos planteados.

9. Con la culminación de este trabajo de tesis se cumplen muchos intereses que se gestaron en el transcurso del desarrollo del sistema. El primero de ellos es el académico, ya que se generó material didáctico para realizar actividades experimentales en los laboratorios de la UTM. En segundo lugar, un interés administrativo, debido a que poco a poco el uso de los PLC's en las materias de los nuevos planes y programas de estudio se han ido incorporando para lograr la acreditación de las carreras afines al uso de estos dispositivos. Y por último, a título personal, ya que me siento satisfecho con el trabajo terminado.

10. Se capacita al alumnado o usuario final a un bajo costo, ya que los conocimientos como el material didáctico lo posee la UTM en su inventario, por lo que la inversión monetaria para la capacitación del personal estudiantil es menor a comparación del sector privado, donde los cursos para aprender los conocimientos necesarios para operar los PLC's resultan elevados para la mayor parte del alumnado en general.

11. No existen muchos trabajos de tesis que se hayan realizado con Controladores Lógicos Programables en la UTM, por lo que con este sistema se sientan precedentes para futuros con el sistema SAE-PLC, como los que a continuación se enumeran:

1. Realización de prácticas avanzadas que involucren varios sistemas de automatización al mismo tiempo para agregar al manual de prácticas, estableciendo el mismo formato, es decir, el problema con su solución implementada con el sistema SAE-PLC.

2. Utilización de otras funciones del software STEP 7 MicroWIN.

3. Utilización de más clemas portafusibles para implementarlas en el sistema SAE-PLC para la protección de todas las entradas y salidas con las que cuenta.

4. Realizar mejoras al sistema SAE-PLC para que se convierta en una herramienta más completa y versátil de lo que ya resulta, como por ejemplo incorporación de un número mayor de entradas y salidas digitales, un mayor número de entradas y salidas analógicas.
  
5. Construcción en serie de varias estaciones de trabajo para instalarse en las otras universidades pertenecientes al SUNEО (Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca) que oferten carreras relacionadas con automatización y control mediante la utilización de PLC's.



---

# BIBLIOGRAFÍA

## Libros

- [1] Ingeniería de Control Moderna. Ogata, Katsuhiko, México: Prentice-Hall Hispanoamericana , 1998, 4ta. Edición.
- [5] Sistemas de control automático. Kuo, Benjamin C. México : Prentice-Hall Hispanoamericana, 1996, 7ma. Edición.
- [6] Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications. Hackworth, John and Frederick, 1ra. Edición.
- [7] Programmable logic controllers, nivel básico, Libro de texto TP31, Bliesenser, F.Ebel ,Festo didactic, 2002.
- [8] Introduction to PLC's, Jay F. Hooper, Second Edition.2006.
- [14] Programmable Controllers An engineer's guide, E.A. Parr, 3ra. edición.
- [15] Metodología de la investigación. Hernández Sampieri, Roberto: Mc Graw Hill, 2006, 4ta. Edición.
- [19] Electrónica de potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones , Rashid, Muhammad H.: Prentice-Hall Hispanoamericana, 2da. Edición.
- [20] Instalaciones eléctricas interiores, Cabello,Manuel: Editex.
- [21] Automatización industrial, Martin, Juan Carlos: Editex.
- [23] Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica, Bolton: Alfaomega, 3ra Edición, 2006.
- [24] PLC Automation with programmable logic controlllers, Rohner, Peter, UNSW PRESS .

## URL's

- [2] Metodología para realizar una automatización utilizando PLC, [En línea]. Vol. 1, No.1, Departamento de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Sonora; 2005. Disponible en: [http://www.itson.mx/revistaimpulso/vol1p1\\_files/articulos/V1\\_art4.pdf](http://www.itson.mx/revistaimpulso/vol1p1_files/articulos/V1_art4.pdf). Enero 2010.
- [3] Automatización industrial, [en línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org>. Enero 2010.
- [4] Automatización Industrial, Jiménez, Miguel García, Miguel. [En línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com>. Marzo 2010.
- [9] Un Sistema Completo de Entrenamiento de PLC con el SLC 100 de Allen Bradley , [En línea]. Disponible en: <http://www.tii-tech.com/spanish/mb650.html>. Febrero 2010.

- [10] Sistema Educativo de PLC Básico, [En línea]. Disponible en <http://www.gadu.com.mx>. Mayo 2010.
- [11] Sistema para el aprendizaje de PLC's, [En línea]. Disponible en: <http://www.festo-didactic.com>. Mayo 2010.
- [12] Equipamiento didáctico técnico, [en línea]. Disponible en: <http://www.edibon.com>. Enero 2010.
- [13] PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) TRAINING SYSTEM, SERIES 3240, [pdf, en línea]. Disponible en: <http://www.labvolt.com>. Enero 2010.
- [16] Gabinete Atlantic marca Legrand. Disponible en: [www.legrand.com.mx](http://www.legrand.com.mx). Enero 2010.
- [17] Elementos para montar. Disponible en: [www.steren.com.mx](http://www.steren.com.mx). Enero 2010.
- [18] Materiales. Disponible en: [www.newark.com](http://www.newark.com). Enero 2010.
- [22] Materiales. Disponible en: [www.gobantes.cl](http://www.gobantes.cl). Enero 2010.
- [25] Información PLC Siemens CPU 224. Disponible en: [www.siemens.com](http://www.siemens.com), <http://support.automation.siemens.com>. Diciembre 2010.
- [26] Elaboración de prácticas automatizadas mediante modelo S7-200. [pdf, en línea]. Disponible en: <http://www.educa.jcyl.es>. Mayo 2010.
- [27] Diseño y construcción de tableros simuladores para plc [pdf, en línea]. Disponible en: <http://eav.upb.edu.co/banco/files/TE SISTABLEROS ENTRENADORES.pdf>. Mayo 2010.

## **Apéndice A | MANUAL DE PRÁCTICAS**





# Universidad Tecnológica de la Mixteca



## Manual de Prácticas

PLC cpu 224 siemens de la serie s7-200



Sistema de Apoyo en la enseñanza de  
Controladores Lógicos Programables

## Nivel Básico e Intermedio



## Normas de seguridad en laboratorios.

### Para estudiantes y profesores

Localice la ubicación del gabinete de primeros auxilios en su sitio de trabajo o laboratorio. Insistimos que cualquier herida o cortadura debe recibir atención inmediata, así parezca insignificante. Notifíquese a su profesor sobre este tipo de casos. Él sabrá lo que tiene que hacer.

La seguridad es un deber para quien trabaja con electricidad. La electricidad es peligrosa y aún fatal, para quienes trabajan sin observar sus normas. Mucha gente se electrocuta cada año por energía de CA en las redes domiciliarias. Aun así, los más experimentados técnicos por exceso de confianza o por descuido, violan las normas básicas de la seguridad personal con riesgo de choques eléctricos. La primera norma de la seguridad es: **¡Primero Piense!**

Esta norma cubre a todos los que trabajan en la industria y a quienes trabajan con electricidad. Desarrolle buenos hábitos de trabajo. Aprenda el uso correcto y seguro de las herramientas. Estudie la tarea por desarrollar y analice sus procedimientos, métodos, herramientas de uso, instrumentos y máquinas antes de ejecutar algo. No se distraiga en el trabajo ni distraiga a los demás que estén desarrollando trabajo de riesgo. ¡No haga bromas! Evite las bromas cerca de máquinas en movimiento o máquinas eléctricas. Hay tres tipos de accidentes de ocurrencia frecuentes entre estudiantes y técnicos: *el choque eléctrico, las quemaduras y los daños por equipos*. Conocer y estudiar sobre el tema le harán una persona segura en el trabajo y le evitara problemas personales y experiencias costosas.

Las corrientes por encima de 300 mA son fatales con riesgo de muerte. Un operario conectado por una corriente superior a los 200 mA puede sobrevivir mediante un tratamiento oportuno. Las corrientes menores de 100 mA pueden ser dolorosas y en ocasiones fatales. Una norma: **No se sitúe en la posición de encontrar un choque eléctrico.**

### Nueve normas para prácticas seguras y prevención de choques eléctricos:

1. Asegúrese del estado del equipo y de los peligros potenciales antes de operarlos. Muchos deportistas murieron por creer que el arma no estaba cargada y muchos técnicos se confiaron en un "circuito muerto".
2. Nunca confíe de dispositivos como fusibles, relés o sistemas de cierre para su protección. Pueden no operar y fallan en su protección cuando más lo necesita.
3. Nunca retire la tierra de una conexión de tres cables. Esto elimina tierra del equipo con riesgo de choque eléctrico.
4. Nunca trabaje sobre un banco en desorden. El desorden puede llevarlo a choques, corto circuitos y accidentes. Ordene su puesto de trabajo y consolide este hábito.
5. Nunca trabaje en pisos húmedos o mojados. Esto puede reducir su resistencia a tierra. Trabaje sobre pisos encauchados o con tapetes de caucho.
6. No trabaje solo. Es de sentido común tener a alguien alrededor en caso de accidente para cortar la corriente, dar respiración artificial o llamar al médico.
7. Trabaje con una mano detrás o en su bolsillo. Una corriente entre las manos atraviesa su corazón en forma más letal que una corriente que va de la mano al pie. El técnico responsable siempre trabaja con una mano.
8. No hable mientras trabaja. Evite distraerse. Tampoco le hable a quien está trabajando con equipo de riesgo. No se convierta en causa de accidente.
9. Muévase lentamente mientras trabaja con circuitos. Los movimientos rápidos y violentos conducen a corto-circuitos y descargas.

### Quemaduras:

Este tipo de accidentes, no del todo fatales, son dolorosos. La disipación de la energía eléctrica produce calor.

### Hay cuatro normas sobre prevención de quemaduras:

1. Las resistencias consumen calor y pueden quemar las yemas de sus dedos. Espere a que se enfríen.
2. Cuidarse de los capacitores, los cuales pueden aun retener algo de carga y en ocasiones pueden ser elementos peligrosos, causantes de choques eléctricos por descarga eléctrica con quemaduras. Si el voltaje de los capacitores electrolíticos se excede o se invierten sus polaridades, se calientan demasiado y pueden estallar.
3. Tenga cuidado con cautines calientes. No los deje sobre el banco en donde pueden ser tocados por su brazo y causarle un accidente. Nunca los almacene si aun están calientes, alguien que ignore su estado puede tomarlos.
4. Un cautín caliente quema la piel. Espere a que se enfríe. Para desoldar uniones no sacuda el cautín caliente, usted o su vecino puede recibir algo en los ojos, su vestimenta o su cuerpo.

### Daños causados por equipos:

#### Existen 5 normas para prevenir accidentes por equipos:

1. Las esquinas y bordes metálicos cortantes en chasis y paneles pueden cortar y raspar. Suavícelos con lima.
2. Una inadecuada selección de equipos e instrumentos puede ocasionarle daños físicos y daño de equipo.
3. Utilice gafas de protección cuando esmerile o trabaje en metales que puedan despedir chispas.
4. Proteja sus manos, ropa y ojos cuando trabaje con ácido de batería, solventes y fluidos de acabado, ¡son muy corrosivos!
5. Si no sabe, pregúntele al profesor.



# INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control son vitales para el funcionamiento del equipo moderno y son una pieza fundamental en todo proceso industrial complejo. Estos sistemas abarcan diferentes etapas, desde el arranque de un motor eléctrico, hasta dirigir el flujo de energía de una fábrica completamente automatizada. Para lograr que todo funcione en armonía es necesaria la utilización de operadores humanos que controlan todo el proceso industrial. En la industria se ocupan los PLC's que sustituyen operadores humanos que realizan funciones de control. Las secuencias de control pueden involucrar diferentes clases de operaciones tales como marcha, paro, inversión de giro, control de velocidad, sincronización, aceleración de motores, encendido de pilotos, etc.

Las prácticas contenidas en el presente manual, fueron diseñadas para dar al usuario un material de apoyo que junto con el instructor lo adentrará al mundo de la automatización mediante la utilización de los Controladores Lógicos Programables, partiendo de los fundamentos y adentrándose poco a poco a conocer estos dispositivos e implementando problemas de control mediante los PLC's.

El sistema SAE-PLC es una herramienta didáctica que proporciona elementos básicos e intermedios para la preparación práctica en el mundo industrial sobre la utilización de este tipo de dispositivos.

La característica más notable del SAE-PLC es que mediante diagramas eléctricos y diagramas en escalera es posible simular sistemas de control mediante la interfaz física amigable que proporciona el SAE-PLC, estimulando al usuario a implementar un sistema de control, simularlo y correrlo en tiempo real, así como la facilidad de poder implementar sus propios diseños de control logrando preparar al estudiante o usuario final a comprender estos elementos en el mundo industrial moderno.

# Prácticas

**Título:**

**Práctica No.1. Sistema Didáctico para Apoyo a la Enseñanza de Controladores Lógicos Programables**

**Objetivo Específico**

Que el estudiante:

- Se familiarice con el sistema SAE-PLC (Sistema de Apoyo a la Enseñanza de Controladores Lógicos Programables), así como identificar los elementos que lo conforman.

**Material y Equipo**

- Manual de Prácticas, apartado Práctica No.1.
- Sistema SAE-PLC.
- Cable PC/PPI configurado a 9.1 Kb/s
- Cable de alimentación para el SAE-PLC.

**Introducción Teórica**

El Controlador Lógico Programable o mejor conocido como PLC, proveniente del acrónimo de Programmable Logic Controller, no sólo puede aplicarse para el ambiente industrial sino que también puede emplearse para automatizar procesos en el hogar. Este dispositivo es fácilmente programable para tareas de control y fue concebido para ser utilizado en ambientes industriales.

Un PLC es un dispositivo electrónico de estado sólido capaz de controlar un proceso o máquina y puede ser programado para ejecutar una aplicación. Funciona monitoreando sus entradas, aisladas mediante el uso de optoacopladores con el fin de aislar los elementos internos de las tensiones de alimentación externas, y, dependiendo del estado de éstas, posteriormente ejecuta el programa previamente cargado en el PLC y así actualiza sus salidas. Los componentes básicos de un PLC son: una Unidad Central de Procesamiento, Módulos de entrada, Módulos de salida, Memoria para el programa y Programa en lenguaje escalera del PLC.

El SAE-PLC es un sistema didáctico diseñado específicamente para lograr que el usuario se involucre con conceptos de programación y desarrollo de control de procesos mediante su implementación en un PLC. Tales procesos incluyen áreas tan diversas como: pintura, soldadura, alimentos, industria automotriz, entre otros. Simplemente agregando ciertos sensores y actuadores se tiene un sistema de tipo industrial, logrando con esto que el usuario se familiarice de una manera práctica con equipos de control de procesos productivos.

**Procedimiento**

El sistema SAE-PLC es una herramienta que le proporciona al profesor y al alumno un complemento para la enseñanza y/o aprendizaje de la materia que involucre el uso de PLC's; por tanto es necesario hacer una pequeña descripción de los elementos que constituyen al

sistema. El sistema se diseñó e implementó en base a un gabinete industrial de la serie Atlantic de la marca Legrand con medidas de 50 cm x 40 cm x 20 cm.

**Paso 1.1** Como primer paso Identificaremos visualmente todos los elementos que posee el SAE-PLC, estos se muestran en la Figura P1.1. Los elementos que lo conforman son los siguientes:

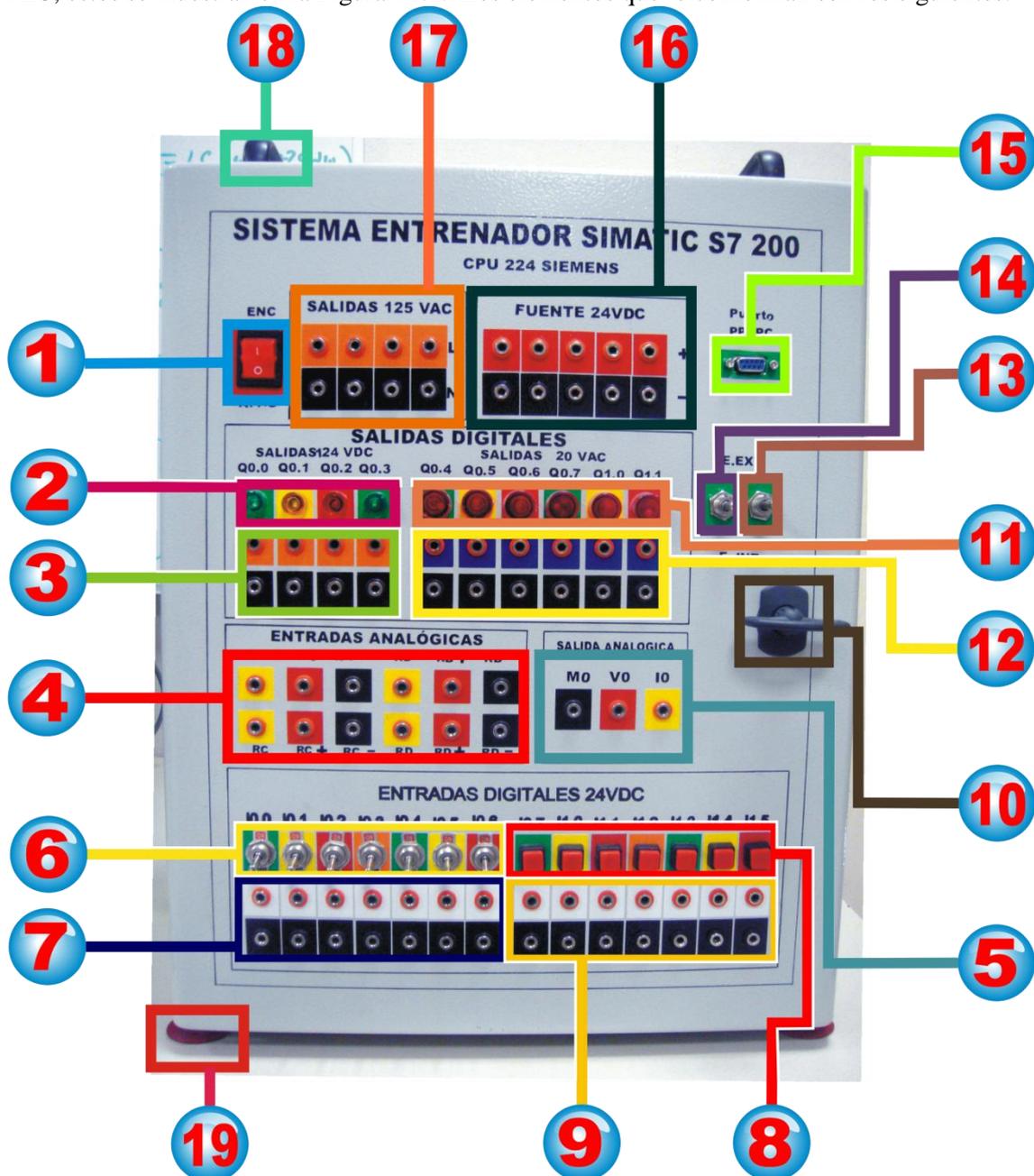


Figura P1. 1 Diagrama General del sistema SAE-PLC, Vista Frontal.

**Elemento 1. Switch de ENCENDIDO/APAGADO.** Con este interruptor se energiza o desenergiza todo el sistema SAE-PLC, siendo de un switch tipo balancín 2 polos, 1 tiro, 2 posiciones con piloto, y en el sistema se identifica mediante la etiqueta en vinil de color rojo para indicar ENCENDIDO o APAGADO.

**Elemento 2. Pilotos indicadores de salidas digitales (Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3).** Estos son encapsulados redondos tipo foco que funcionan como indicadores luminosos activándose con 120 VAC, por lo que señalan cuando una salida se encuentra activa o en uso. Se diseñaron etiquetas para asignar un color a cada salida en base a tres colores fundamentales debido a que se relacionan con conceptos industriales como por ejemplo verde para marcha o continuar, amarillo como alerta o precaución, y rojo para paro o detener.

**Elemento 3. Bornes de salidas digitales (Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3 con voltaje de salida de 120 VAC).** En estos bornes de montaje en chasis existen 120 VAC cuando se encuentran en uso, dando flexibilidad al usuario de conectar un dispositivo que se active con 120 VAC, siempre y cuando no exceda los 2 A de corriente para su funcionamiento. Para ayudar a la visualización del usuario se relacionaron con el color naranja por lo que se les puede ubicar en el sistema con facilidad siendo naranja para Fase y negro para Neutro.



Los bornes para montaje en chasis que se relacionan con 120 VAC o que se relacionan con las etiquetas de color naranja deben manejarse con cuidado debido a que pueden ocasionar graves accidentes por alto voltaje, pudiendo causar daños al usuario y/o equipo, antes de utilizarlos revise bien las conexiones para evitar cortos circuitos u otros accidentes

**Elemento 4. Bornes de entrada analógica (RA, RB, RC, RD).** Los bornes para montar en chasis de entrada analógica del SAE-PLC se encuentran cableadas a las entradas analógicas de un módulo de expansión EM 235, por lo que permiten conectar hasta un máximo de 4 entradas analógicas que son RA(RA, RA+, RA-), RB(RB, RB+, RB-), RC(RC, RC+, RC-) y RD (RD, RD+, RD-), según la configuración de la tabla A-13 del Manual de documentación del S7-200 (apartado destinado a el EM 235) el módulo acepta una tensión unipolar de entrada de 0 a 10 V, 0 a 5 V, 0 a 1 V, 0 a 500 mV, 0 a 100 mV, 0 a 50 mV, y tensiones bipolares de  $\pm 10$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 2.5$  V,  $\pm 1$  V, 500 mV,  $\pm 250$  mV,  $\pm 100$  mV,  $\pm 50$  mV,  $\pm 25$  mV. Así como una corriente de entrada de 0 a 20 mA.

**Elemento 5. Bornes de salida analógica (M0, V0, I0).** Los bornes para montar en chasis relacionados con la salida analógica se encuentran cableados a la salida del módulo de expansión EM 235 siendo M0, V0 e I0. La salida analógica posee una tensión bipolar de  $\pm 10$  V o una salida de corriente de 0 a 20 mA. Para mayor información consulta la Figura A-19 del Manual del S7-200 de documentación. También aquí influyen los colores para la salida analógica debido a que para el voltaje V0 se relaciona con el rojo, tierra o masa con el negro siendo representado en el sistema con el color negro y para la corriente I0 con el color amarillo.

**Elemento 6. Entradas digitales Internas tipo interruptores de palanca (I0.0, I0.1, I0.2, I0.3, I0.4, I0.5, I0.6).** Los interruptores de palanca se encuentran cableados a las entradas I0.0, I0.1, I0.2, I0.3, I0.4, I0.5 e I0.6, del CPU 224 con el fin de dejar pasar 24 VDC o 0VDC a las entradas digitales del PLC; son de 1 polo, 1 tiro, con 2 posiciones (ON-OFF), es decir 0V o 24 VDC. Se le asignaron diferentes colores con el fin de evitar posibles confusiones al momento de simular funciones a las entradas del PLC. Se puede asignar un color dependiendo del interruptor a utilizar, representando una entrada digital del problema a implementar, por ejemplo verde para arranque, amarillo como fusible protector, rojo paro, naranja marcha.

**Elemento 7. Bornes de entradas digitales externas (I0.0, I0.1, I0.2, I0.3, I0.4, I0.5, I0.6).** Los bornes para montaje en chasis se encuentran cableados a las entradas digitales del PLC para I0.0, I0.1, I0.2, I0.3, I0.4, I0.5 e I0.6 del CPU 224 con el fin de facilitar al usuario la utilización

de otro elemento externo como entrada digital, como sería el caso de algún sensor. Estos bornes se encuentran relacionados con el color blanco para su fácil ubicación. Se activan o desactivan mediante el encendido o apagado del interruptor 1 del elemento 14 del SAE-PLC.

**Elemento 8. Entradas digitales internas tipo push-button (I0.7, I1.0, I1.1, I1.2, I1.3, I1.4, I1.5).** Los interruptores push-button son interruptores de presión normalmente cerrados (NC), de dos terminales, son de tipo de encendido-apagado con seguro lo que permite mantener ya sea abierto o cerrado (0 VDC o 24 VDC) el circuito para la entrada digital del PLC para las entradas I0.7, I1.0, I1.1, I1.2, I1.3, I1.4 e I1.5. Al igual que los interruptores de palanca cuentan con colores para la fácil identificación de cada interruptor.

**Elemento 9. Bornes de entradas digitales externas (I0.7, I1.0, I1.1, I1.2, I1.3, I1.4, I1.5).** Estos bornes para montaje en chasis están cableadas a las entradas I0.7, I1.0, I1.1, I1.2, I1.3, I1.4 e I1.5 del CPU 224 logrando con esto conectar otro dispositivo como entrada digital al PLC como un sensor. Se encuentran relacionadas con el color blanco. Se activan o desactivan mediante el encendido o apagado del interruptor 2 del elemento 13 del SAE-PLC.

**Elemento 10. Chapa con Llave.** Al abrir la cerradura se puede ver el interior del SAE-PLC con el fin de que se pueda visualizar los elementos que conforman al sistema así como el cableado general.

**Elemento 11. Pilotos indicadores de salidas digitales (Q0.4, Q0.5, Q0.6, Q0.7, Q1.0 y Q1.1).** Estos son focos redondos encapsulados de 12 VDC de color rojo que se encuentran cableados a las salidas a relevador del PLC para las salidas digitales Q0.4, Q0.5, Q0.6, Q0.7, Q1.0 y Q1.1, ayudan a visualizar cuando una salida se encuentra activa o no, debido a que cuando se activa una salida a relevador esta se encuentra cableada a una fuente de 24 VDC cerrando el circuito y encendiendo el piloto. También se diseñaron etiquetas para asignar un color a cada salida y evitar posibles confusiones, los colores que se asignaron son verde, amarillo y rojo.

**Elemento 12. Bornes de salida digital (Q0.4, Q0.5, Q0.6, Q0.7, Q1.0, Q1.1 con voltaje de salida digital de 24 VDC).** Son bornes para montaje en chasis para salidas externas que se encuentran cableados a las salidas a relevador que posee el PLC, y estas se cablean a una fuente de 24 VDC, por lo que cuando se encuentren activas podrán alimentar con 24 VDC a cualquier elemento que se conecte como salida externa ya sea relevador o actuador, siempre y cuando funcionen con este nivel de voltaje. A este tipo de salidas se le asignó el color azul para su fácil ubicación.

**Elemento 13. Interruptor 2 para activar y desactivar entradas digitales internas/externas (I0.7, I1.0, I1.1, I1.2, I1.3, I1.4, I1.5).** Este interruptor energiza/desenergiza una serie de relevadores que hacen activar/desactivar como entradas del PLC ya sea las entradas digitales internas tipo push-button o los bornes para montaje sobre chasis para las entradas I0.7, I1.0, I1.1, I1.2, I1.3, I1.4, I1.5. Se relaciona con el color verde.

**Elemento 14. Interruptor 1 para activar y desactivar las entradas digitales internas/externas (I0.0, I0.1, I0.2, I0.3, I0.4, I0.5 e I0.6).** Este interruptor energiza/desenergiza una serie de relevadores que hacen activar/desactivar como entradas del PLC ya sea las entradas digitales internas tipo palanca o los bornes para montaje sobre chasis para las entradas I0.0, I0.1, I0.2, I0.3, I0.4, I0.5 e I0.6. Se relaciona con el color verde.

**Elemento 15. Puerto PPI/PC para conexión externa.** Este es el puerto PPI que posee el PLC para establecer la comunicación con la PC y en este se conecta el extremo RS-485 del cable PC/PPI. Se encuentra relacionado con la etiqueta verde para su fácil ubicación en el sistema.

**Elemento 16. Bornes de salida a 24 VDC.** Estos Bornes para montaje en chasis se encuentran cableados a la salida de una fuente de 24 VDC que puede dar hasta 4 A, por lo que su salida siempre será de 24 VDC. Se diseñaron etiquetas para asignar un color a estos bornes siendo el color rojo el elegido.

**Elemento 17. Bornes de salida a 120 VAC.** Estos se encuentran cableados a la fase y neutro, por lo que siempre nos dará una salida de 120 VAC que es el voltaje que nos entrega CFE. En el sistema SAE-PLC se le asignó el color naranja para identificar 120 VAC.



Los bornes para montaje en chasis que se relacionan con 120 VAC o que se relacionan con las etiquetas de color naranja deben manejarse con cuidado debido a que pueden ocasionar graves accidentes por alto voltaje, pudiendo causar daños al usuario y/o equipo, antes de utilizarlos revise bien las conexiones para evitar cortos circuitos u otros accidentes

**Elemento 18. Agarraderas.** Se implementaron dos agarraderas con el fin de brindarle portabilidad al SAE-PLC.

**Elemento 19. Bases.** Se montaron 4 bases tipo chupón para darle soporte al sistema y evitar posibles accidentes.

**Elemento 20. Ventilador de AC.** Se instaló un ventilador de CA con el objetivo de darle ventilación interna al sistema y evitar el sobrecalentamiento de los dispositivos internos del SAE-PLC, así como una rejilla de protección interna para evitar posibles accidentes por parte del usuario, ver figura P1.2.

**Elemento 21. Conector macho de alimentación.** Se instaló un conector macho para la alimentación del SAE-PLC, aquí se conecta el cable de alimentación de CA para energizar a todos los elementos internos, ver Figura P1.2.

**Elemento 22. Cable PC/PPI.** Cable para establecer la comunicación entre el PLC CPU 224 y la PC, ver Figura P1.3. Para ver las configuraciones y velocidades de transmisión de datos leer el apartado de comunicación del manual del S7-200.

**Paso 1.2.** Una vez identificado todos los elementos que conforman al sistema SAE-PLC, se procederá a medir los voltajes entre los bornes de salida de 120 VAC y entre los bornes de salida para la fuente de 24 VDC con el fin de verificar que los voltajes sean los correspondientes al sistema. Para ello se energizará al sistema SAE-PLC activando el interruptor general (elemento 1, ver Figura P1.1) y se configura el voltímetro de acuerdo al voltaje a medir ya sea AC o DC. Una vez realizado las mediciones correspondientes se apagará el sistema por completo desactivando el interruptor general.

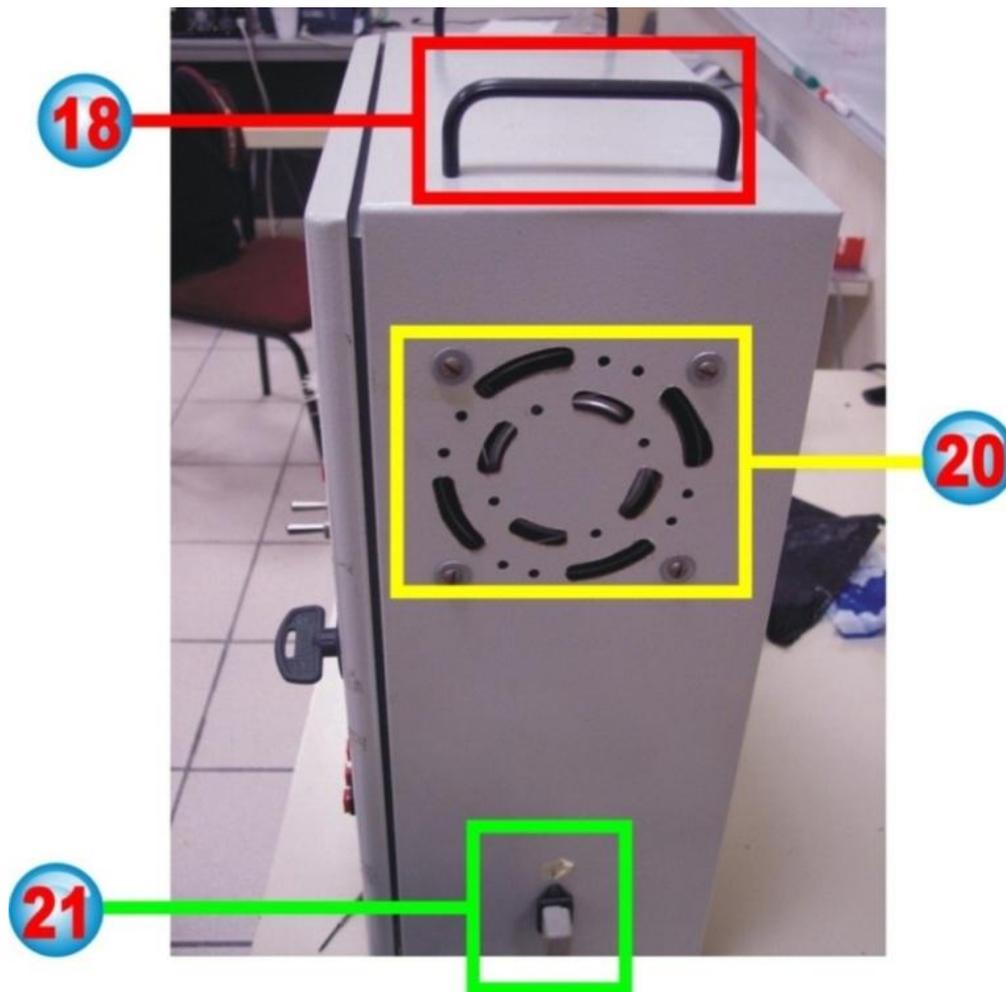


Figura P1. 2 Esquema General del Sistema SAE-PLC, vista lateral izquierda.



Figura P1. 3 Cable PC/PPI para establecer la comunicación entre el sistema SAE-PLC y la PC.

**Paso 1.3.** Mas tarde procederá a abrir la cerradura con la llave del gabinete industrial con el fin de identificar los elementos internos que conforman al SAE-PLC.

**Paso 1.4.** Una vez abierto la puerta del gabinete se identificaran los siguientes elementos que conforman al sistema SAE-PLC, a continuación su descripción, ver Figura P1.4.

**Elemento 23. Controlador Lógico Programable. CPU 224 de la familia S7-200 de Siemens.** Este es el corazón del SAE-PLC debido a que es donde se procesarán las funciones de control; pertenece a la familia del S7-200 de Siemens, posee 14 entradas digitales (nivel de entrada, 0VDC, 24 VDC), 10 salidas a relevador , alimentación de 120 VAC, ver Figura P1.4.

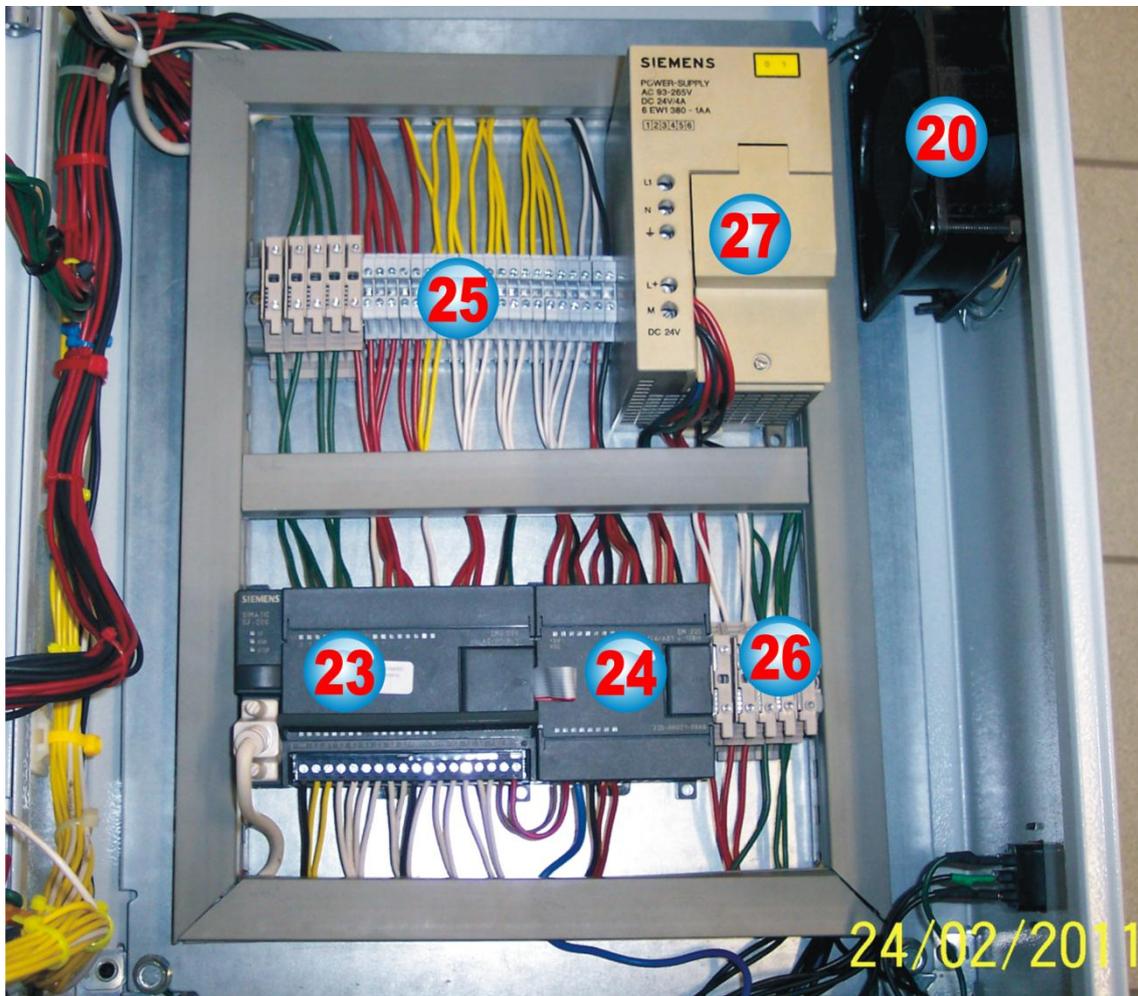


Figura P1. 4 Diagrama interno de los elementos que conforman al sistema SAE-PLC.

**Elemento 24. Módulo de expansión EM 235.** Módulo de expansión de 4 entradas analógicas, 1 salida analógica y alimentación de 24 VDC.

**Elemento 25. Clemas de sujeción.** Este tipo de clemas se implementaron con el fin de facilitar el cableado de todo el sistema. No contienen fusibles por cuestiones de presupuesto, se pensaron para cablear entradas y salidas que no circulan corrientes altas para su funcionamiento.

**Elemento 26. Clemas portafusibles.** Se utilizan para facilitar el cableado del sistema, así como brindarle protección contra posibles cortos que se puedan generar en el transcurso de alguna práctica, los elementos que se cablearon con clemas portafusible son la Fase 120 VAC, y la salida positiva de 24 VDC.

**Elemento 27. Fuente de voltaje de 24 VDC.** Este es una fuente de voltaje de 24 VDC/4 A con una alimentación de 93/265 VAC de Siemens para montaje sobre perfil RAIL DIN.

**Paso 1.5.** Leer el manual de documentación del S7-200 , revisar las especificaciones técnicas con las que cuenta el CPU 224, y el módulo de expansión EM 235.

#### **Análisis de resultados**

- Se conocieron las características del sistema SAE-PLC, así como de sus elementos internos que lo conforman.

# Preguntas

1. ¿Qué es un PLC?

---



---

2. ¿ Cuáles son los componentes básicos de un PLC?

---



---



---



---



---

3. ¿Cómo se consigue el aislamiento eléctrico entre las señales digitales de entrada externas y las señales de entrada de un PLC?

---



---



---

4. ¿Configuraciones de velocidad de transmisión que utiliza el cable PC/PPI?

---



---

## Datos Técnicos del PLC utilizado en el Sistema SAE-PLC

Nombre del PLC utilizado: \_\_\_\_\_

**Tensión de funcionamiento:**

Tensión nominal: \_\_\_\_\_

Margen de tensión admisible: \_\_\_\_\_

Consumo de corriente: \_\_\_\_\_

**Entradas digitales**

Cantidad de entradas: \_\_\_\_\_

Nivel de voltaje de entrada: \_\_\_\_\_

Corriente de entrada: \_\_\_\_\_

**Salidas Digitales:**

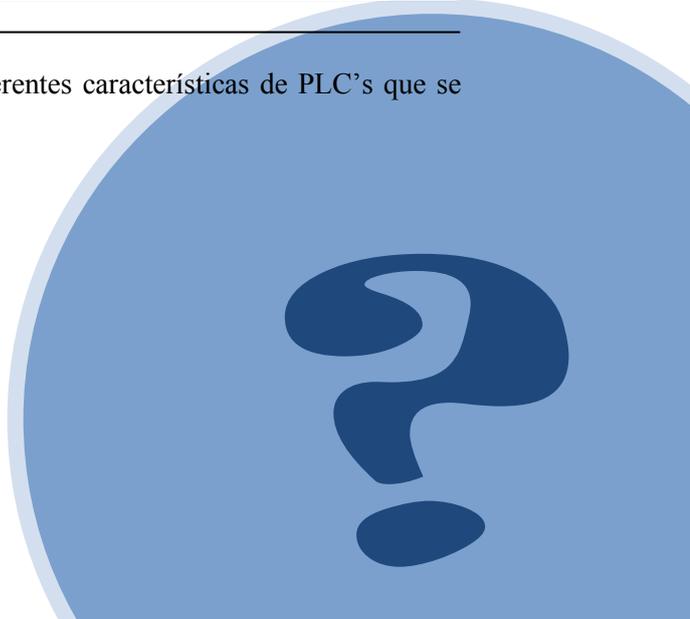
Tipo de salida de conmutación: \_\_\_\_\_

Cantidad de salidas: \_\_\_\_\_

Voltaje de salida: \_\_\_\_\_

Corriente de salida: \_\_\_\_\_

Realice un reporte en un ensayo breve sobre los diferentes características de PLC's que se encuentran en el mercado.



## Preguntas

1. ¿Que es un PLC?

Un PLC es un dispositivo electrónico de estado sólido capaz de controlar un proceso o máquina y puede ser programado para ejecutar una aplicación.

2. ¿ Cuales son los componentes básicos de un PLC?

Los componenetes básicos de un Controlador Lógico Programable son:

Una unidad central de procesamiento

Módulos de entradas

Módulos de salidas.

Memoria para el programa.

Programa escalera del PLC.

3. ¿Cómo se consigue el aislamiento eléctrico entre las señales digitales de entrada externas y las señales de entrada de un PLC?

Las señales externas provenientes de un sensor o actuador y las del PLC estan aisladas eléctricamente por medio de un optoacoplador, debido a esto no existen interferencias entre estos elementos.

4. ¿Configuraciones de Velocidad de transmision que utiliza el cable PC/PPI?

38.4 kb/s, 19.2 kb/s, 9.6 kb/s, 2.4 kb/s y 1.2 kb/s.

### Datos Técnicos del PLC utilizado en el Sistema SAE-PLC

Nombre del PLC utilizado: CPU 224 de la serie S7-200 de siemens. AC/DC/Relé 6ES7 214-1BD21-0XB0

#### Tensión de funcionamiento:

Tensión nominal: 127 VAC a 60 Hz

Margen de tensión admisible: De 85 a 264 VAC y de 47 a 63 Hz.

Consumo de corriente: máximo 280mA

#### Entradas digitales

Cantidad de entradas: 14entradas

Nivel de voltaje de entrada: 24 VDC

Corriente de entrada: de 1mA a 4mA máxima.

#### Salidas Digitales:

Tipo de salida de conmutación: Salidas a relevador

Cantidad de salidas: 10 salidas a relevador

Voltaje de salida: De 5 a 30 VDC ó de 5 a 250 VAC

Corriente de salida: hasta 2A.



**Título:**

**Práctica No.2. Introducción al STEP 7 MICRO/Win32 Versión 3.1 SP2**

**Objetivo Específico**

Que el estudiante:

- Se familiarice, cree, compile, cargue y utilice un programa realizado con el software MICRO/WIN STEP 7 Ver 3.0 en el sistema SAE-PLC.

**Material y Equipo**

- Manual de Prácticas, apartado Práctica No.2.
- Computadora con sistema operativo Windows XP
- Software STEP 7 MICRO/WIN ver 3.0
- Sistema SAE-PLC.
- Cable de alimentación.
- Cable PC/PPI configurado a 9.1 kb/s.
- Archivo Ejemplo1.mwp

**Introducción Teórica**

En esta práctica se desarrollará un ejemplo sencillo con el fin de que el usuario se familiarice con el entorno del STEP 7 MICRO/WIN mediante la utilización del sistema SAE-PLC descrito anteriormente. Cabe señalar que este manual fue creado con el fin de dar un panorama general de las funciones básicas con que cuenta el CPU 224 de Siemens con el cual se va trabajar durante el transcurso de este manual. Se realizaron de una manera austera por lo cual no sustituye la documentación del S7-200, se recomienda ampliamente, leer la parte de seguridad del manual para evitar posibles accidentes, las especificaciones de los dispositivos que se implementaron en el sistema SAE-PLC, así como las funciones para complementar la información.

Los primeros PLC's surgieron de la necesidad de sustituir enormes sistemas de control contruidos por contactores y relevadores. Esto hace al sistema redundante y difícil de ser interpretado por los técnicos electricistas e ingenieros que anteriormente instalaban un sistema de control. Por lo tanto para establecer un estándar para la programación entre los distintos fabricantes de PLC's que existen, surge el estándar IEC 1131-3. Los lenguajes más significativos de este estándar son: KOP (Diagrama de contactos o Diagrama escalera), FBD (Diagrama de bloques de función), lista de instrucciones (AWL). El editor KOP de STEP 7-Micro/WIN 32 permite crear programas con componentes similares a los elementos de un diagrama de escalera, y el cual es de uso estándar en aplicaciones industriales de automatización. El editor FUP permite visualizar las operaciones en forma de cuadros lógicos similares a los circuitos lógicos. El editor AWL permite crear programas de control introduciendo la nemotécnica de las operaciones. Se enfocará en el lenguaje KOP, debido a que es el lenguaje preferido de numerosos programadores y encargados del mantenimiento de sistemas de automatización.

Los PLC's solo pueden entender señales de ON (existe voltaje) u OFF (no existe voltaje), ver Figura P2.1. Estas señales son las que se toman y procesan para activar o desactivar los dispositivos que se encuentren conectados a las salidas del PLC. Los principales símbolos son los contactos normalmente abiertos, contactos normalmente cerrados y bobinas.

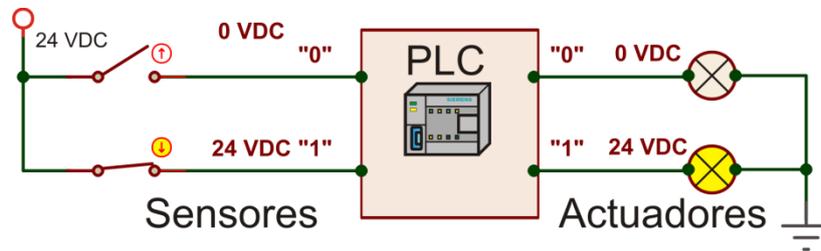


Figura P2. 1 Señales de entrada de un PLC.

Símbolo	Definición
	<i>Contacto Normalmente Abierto (NA).</i> Representa una entrada de control lógica. Un CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO estará ABIERTO y no pasará señal alguna a través de él cuando está INACTIVO.
	<i>Contacto Normalmente Cerrado (NC).</i> Representa una entrada de control lógica. Un CONTACTO NORMALMENTE CERRADO estará CERRADO y PASARÁ energía o señal a través de él cuando está INACTIVO.
	<i>Bobinas.</i> Representa una salida que es el resultado de una combinación de entradas lógicas. Una bobina es un componente pasivo que almacena energía en forma de campo magnético. Si la bobina recibe tensión entonces se activa.

Tabla P2. 1 Símbolos utilizados en el PLC.

## Procedimiento

### 2.1. Comunicación

**Paso 2.1.1.** Realizar la conexión entre el PLC y la computadora, para más información Véase Cap. 3 del Manual de usuario para el CPU 224 de Siemens (Instalación y configuración del sistema), así como establecer la comunicación en modo PPI entre la PC y el sistema SAE-PLC con la configuración de un solo maestro y sin ningún otro elemento instalado, para ello se muestra la configuración para 9.6 Kb/S en la Figura P2.2.

**Paso 2.1.2.** Ajustar los interruptores DIP del cable PC/PPI a 010 (configuración para 9.6 Kb/s). Seleccione también las posiciones “0 = 11 bits” y “0 = DCE”.

**Paso 2.1.3** Conecte el extremo RS-232 del cable PC/PPI al puerto de comunicaciones de su PC ya sea COM1 ó COM2 ó COM3, etc., según el puerto con el que vaya a trabajar.

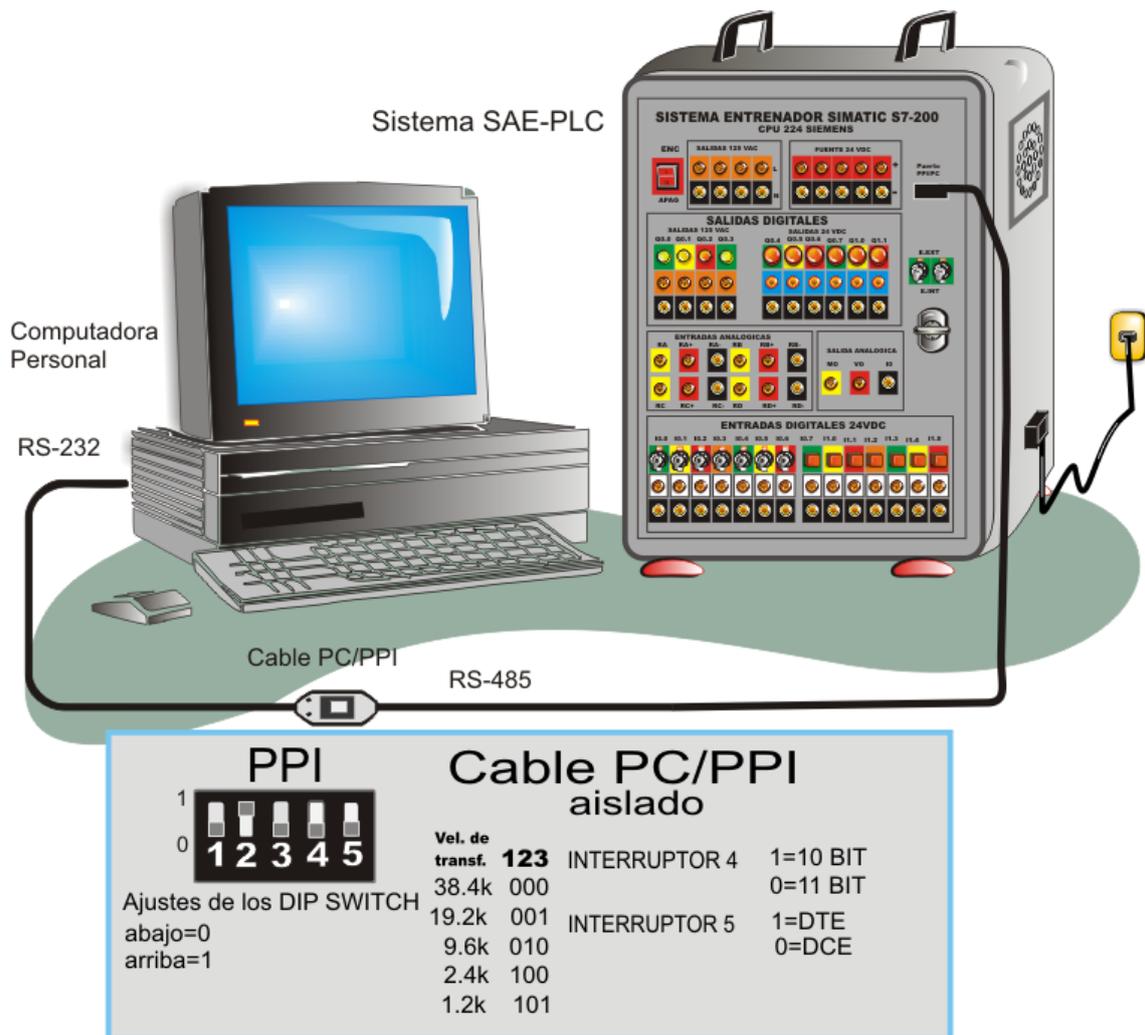


Figura P2. 2 Comunicación entre el PLC y la PC en modo PPI

**Paso 2.1.4.** Conecte el extremo RS-485 (“PPI”) del cable PC/PPI al puerto de comunicaciones de la CPU 224 (PORT1).

**Paso 2.1.5.** Posteriormente ejecutar el programa MICRO/WIN Step7 Ver 3.0, haciendo doble clic al icono STEP7-MicroWIN 32.

## 2.2. Ajustar la interface

**Paso 2.2.1.** Hacer doble clic en el icono de comunicación o en su caso en el programa STEP 7 ir a la opción *CPU/Tipo/...* y elegir en donde dice “Tipo de CPU” el CPU que se está utilizando; en nuestro caso será CPU 224, y se hará clic en “leer CPU”. Con ello la CPU conectada debe reconocerse y registrarse de manera automática.



En caso de no ser reconocida o producirse un error se deberá hacer clic en la opción Comunicación. Y hacer doble clic en la sección de “Haga clic en actualizar”, con eso debe de actualizarse nuevamente el CPU con la PC, ver Figura P2.3.

En caso se marcar error como por ejemplo “Excedido el Timeout de comunicación” es decir que no es posible establecer comunicación, proceda a hacer doble click en el campo PC/PPI Cable (PPI).

**Paso 2.2.2.** En la ventana “Ajustar interface PG/PC” se selecciona Cable PC/PPI y a continuación presionaremos el campo “Propiedades”. Y en la ventana de “Propiedades – PC/PPI cable (PPI)” se ajustan los parámetros: Dirección de CPU: 0, Timeout: 1 s, Velocidad de transferencia: 9.6 Kb/s, Dirección de estación más alta: 15; y en la ventana de “Conexión Local”, seleccione el puerto (interface) en la que se haya conectado el cable PC/PPI es decir COM1, COM2 ó COM3 dependiendo del puerto que se emplea. Realizar todos estos cambios pulsando “Aceptar” en cada ventana utilizada.

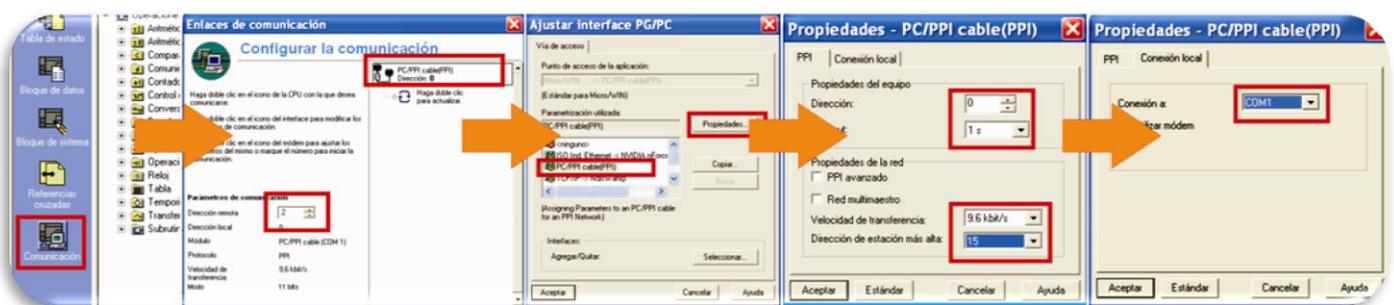


Figura P2. 3 Ventanas del proceso de Ajuste de interface del Paso 2.2.1 y 2.2.2.

**Paso 2.2.3.** A continuación nuevamente se da doble click en el campo de Actualizar la comunicación y con ellos debe de reconocer y registrarse automáticamente el CPU. De lo contrario, se cambian nuevamente los parámetros de “Ajustar interface PD/PC” hasta que éste reconozca al CPU 224.

### 2.3. Programa STEP 7

**Paso 2.3.1.** Antes de comenzar con el programa deben identificarse algunas partes que lo conforman, para ello la Tabla P2.1 muestra la descripción de los componentes elementales de un proyecto en el STEP 7.

Identificar visualmente las diferentes partes que conforman el software MicroWIN, para ello ver la Figura P2.4.

**Paso 2.3.2** Realizar una prueba de comunicación poniendo en modo de STOP o RUN  al PLC mediante los iconos de RUN y STOP del STEP 7 MicroWIN 32.

**Paso 2.3.3.** Después cargar el archivo ejemplo en el programa MicroWIN STEP 7, para esto ir a *Archivo>Abrir>...Ejemplo1.mwp* (Ver Figura P2.5), y ya una vez abierto cargar el programa en el CPU, para esto se hace click en el icono *Cargar en PG*  y con esto se transfiere el programa que se visualiza en pantalla al PLC (el PLC deberá estar en estado de STOP y para ello se tiene que dar click en el ícono de STOP del software MicroWIN). Cabe señalar que con esto se sobrescribe el programa que previamente se encuentre grabado en el PLC, se debe estar seguro de grabar el programa que se encuentre visualizado en la pantalla de la PC ya que se pueden perder datos.

**Paso 2.3.4.** Una vez grabado el programa en el PLC se hace click en el ícono de “Estado del Programa” , y con esto se sabrá cómo se comporta el programa en tiempo real ya que interactúa el CPU 224 con el software.

Elemento	Descripción
 Bloque de Programa	<b>Bloque del Programa.</b> El bloque de programa incluye el código ejecutable y los comentarios. STEP 7--Micro/WIN ofrece tres editores para crear programas: Esquema de contactos (KOP), Lista de instrucciones (AWL) y Diagrama de funciones (FUP). Con algunas restricciones, los programas creados con uno de estos editores se pueden visualizar y editar con los demás. El código se compila y se carga en la CPU, más no los comentarios del programa.
 Tabla de símbolos	<b>Tabla de símbolos:</b> La tabla de símbolos permite al usuario utilizar direccionamiento simbólico para la programación. Con ello permite facilitar la tarea al usuario facilitando el entendimiento del programa. El STEP 7 carga el programa compilado en la CPU 224 y convierte los símbolos en direcciones absolutas. Es posible crear varias tablas de símbolos, pero una misma cadena no se puede utilizar más de una vez como símbolo global.
 Tabla de estado	<b>Tabla de estado.</b> Muestra el estado del programa. La información contenida en la tabla no se carga en el CPU. Su función primordial es para supervisar o modificar los valores de las variables del proceso a media que el S7-200 ejecuta el programa de control. Se pueden supervisar el estado de las entradas, salidas o variables del programa, visualizando para ellos los valores actuales.
 Bloque de datos	<b>Bloque de Datos:</b> En el bloque de datos se almacenan los valores de las diferentes variables utilizadas en el programa como pueden ser valores iniciales de memoria, valores de constantes así como también los comentarios, estos últimos son opcionales. Se pueden efectuar asignaciones a bytes, palabras o palabras dobles.
 Bloque de sistema	<b>Bloque de sistema.</b> Comprende los datos de configuración, tales como son los parámetros de comunicación, las áreas remanentes, los filtros de las entradas analógicas y digitales, los valores de las salidas en caso de un cambio a STOP y la información sobre la protección con contraseña. Las informaciones contenidas en el bloque de sistema se cargan en la CPU. El bloque de sistema permite configurar diversas opciones de hardware para el S7--200.

Tabla P2. 2 Íconos del programa STEP 7.

**Paso 2.3.5.** Solo resta poner en RUN al PLC para revisar cómo se comporta el programa, para esto solo tiene que darse un click en el ícono de RUN del programa STEP 7 MicroWIN. En caso de no encontrar el archivo correspondiente al Ejemplo1.mwp, proceda a capturar el programa siguiendo el diagrama de escalera presentado en la Figura P2.5 de este documento, puede apoyarse en la ayuda que proporciona el programa STEP 7 en el apartado de Guía de iniciación, capítulo 3. Introducir programas en KOP.

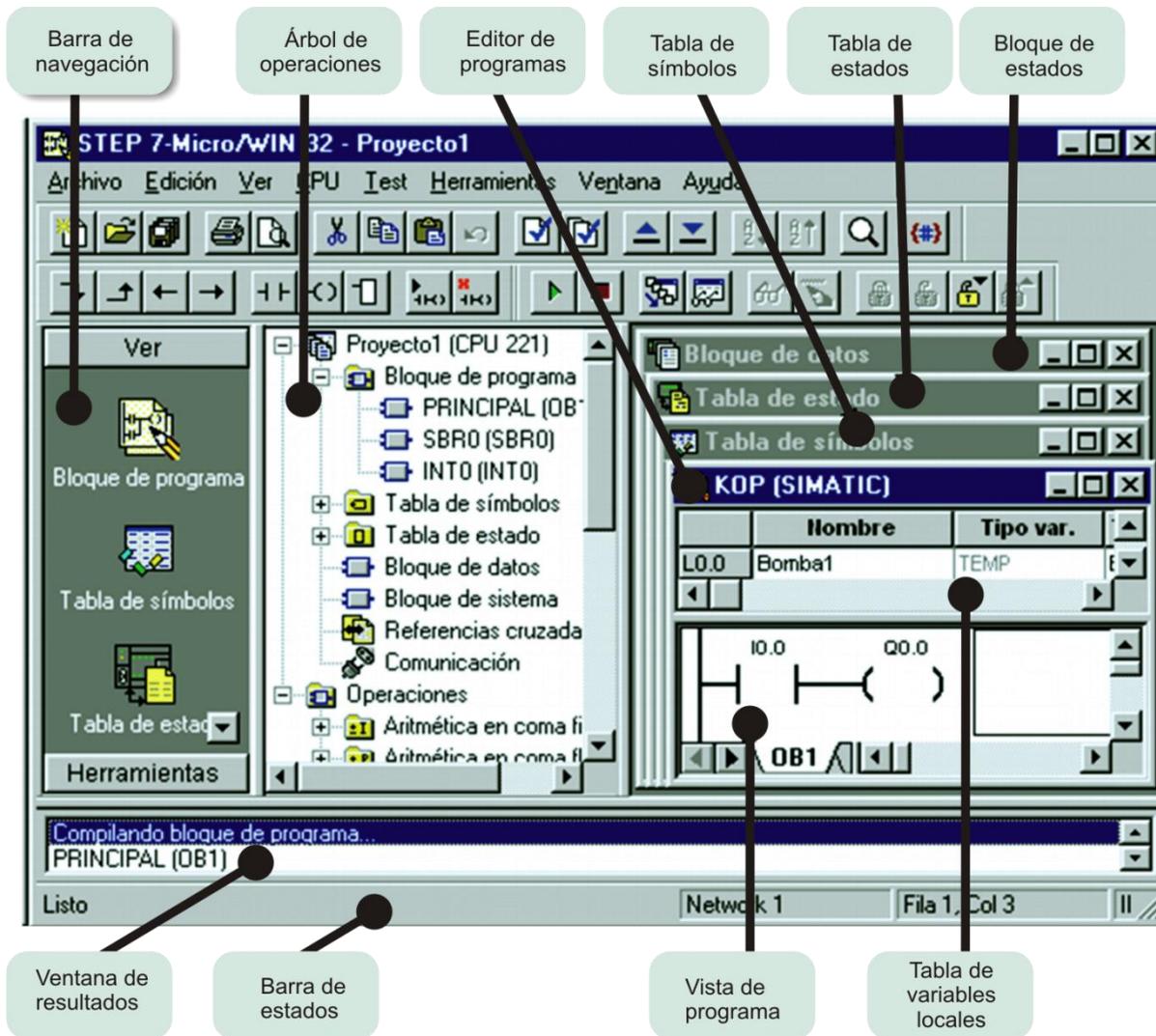


Figura P2. 4 Entorno del Programa MicroWIN STEP 7 ver 3.0.

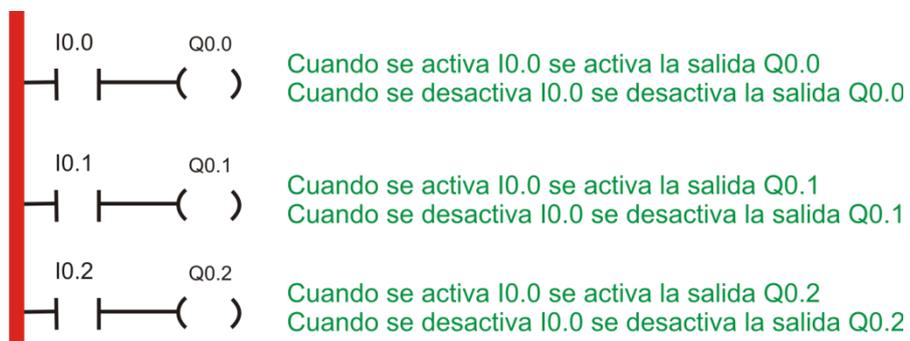


Figura P2. 5 Programa de Ejemplo1.mwp.

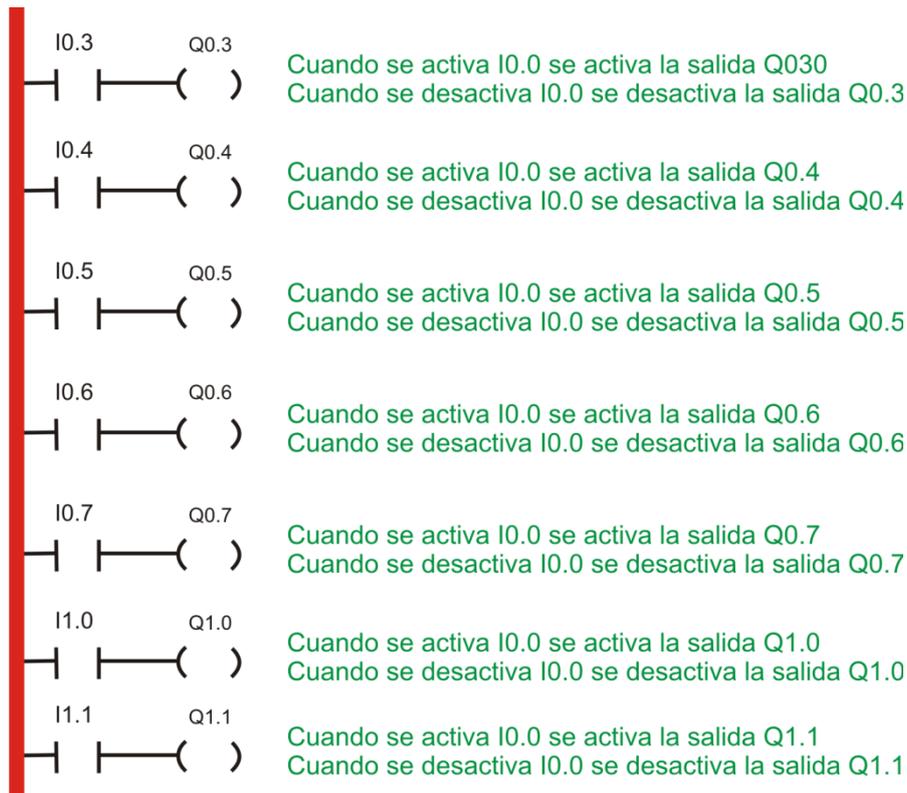


Figura P2. 5 Continuación programa de Ejemplo1.mwp.

**Paso 2.3.6.** Verifique y analice que acciones realiza el programa que acaba de cargar en el PLC accionando los interruptores que posee el SAE-PLC, desde el interruptor I0.0 hasta el interruptor I1.1 del sistema.



Las salidas (bornes) de Q0.0, Q0.1, Q0.2, Q0.3 son salidas a 120 VAC por lo que se debe de manejar con cuidado por posibles accidentes de cortos circuitos en el equipo, quemaduras o choques eléctricos.

El programa cargado en el PLC se basa en el lenguaje de contactos KOP por tratarse de un lenguaje fácil e intuitivo con carácter eléctrico nos avocaremos a este tipo de diagramas en el transcurso del desarrollo de las prácticas. Entre sus principales elementos en el programa se

encuentran el menú herramientas que consta de las siguientes funciones que se ven en la Tabla P2.4:

Ícono	Descripción
	<b>Línea abajo.</b> Inserta una línea abajo del esquema en escalera.
	<b>Línea arriba.</b> Inserta una línea arriba del esquema en escalera.
	<b>Línea izquierda.</b> Inserta una línea a la izquierda esquema en escalera.
	<b>Línea derecha.</b> Inserta una línea a la derecha esquema en escalera.
	<b>Contactos.</b> Representan condiciones lógicas de "entrada" similares a interruptores, botones, condiciones internas, etc. Representan un interruptor por el que la corriente puede circular. La corriente circula por un contacto normalmente abierto sólo cuando el contacto está cerrado (es decir, cuando su valor lógico es "1"). De forma similar, la corriente circula por un contacto normalmente cerrado o negado (NOT) sólo cuando dicho contacto está abierto (es decir, cuando su valor lógico es "0").
	<b>Bobinas.</b> Representan condiciones lógicas de "salida" similares a lámparas, arrancadores de motor, relevadores interpuestos, condiciones internas de salida, etc. Representan un relevador o una salida excitada por la corriente..
	<b>Cuadros.</b> Representan operaciones adicionales tales como temporizadores, contadores u operaciones aritméticas, que más adelante se verán. Representan una función que se ejecuta cuando la corriente llega al cuadro. Un segmento comprende dichos elementos, representando un circuito completo. La corriente circula desde la barra de alimentación izquierda (representada en el editor KOP mediante una línea vertical en el lado izquierdo de la ventana) a través de los contactos cerrados para excitar las bobinas o los cuadros.

Tabla P2. 3 Íconos del menú herramientas del programa STEP 7.

**Paso 2.3.7.** Con la información anterior modifique el programa de tal forma que cuando el interruptor I0.0 este activo se encienda todas las salidas (Q0.0 - Q1.1) del sistema SAE-PLC.

En la industria es común utilizar esquemas eléctricos donde se encuentran definidos todos los elementos que conforman la instalación eléctrica así como de sus interconexiones. Para pasar de un esquema eléctrico a un programa en PLC solo gire hacia la izquierda 90° quedando con esto la barra de Fase hacia la izquierda y la de Neutro hacia la derecha. En el centro del esquema quedan situados los elementos de lógica que se utilizan en el esquema eléctrico como pueden ser contactores de mando y relevadores de tiempo. En el programa de un PLC a la izquierda se encuentran situados los elementos de entrada como son los contactores de mando y por la derecha los elementos de salida como los relevadores de tiempo. A este tipo de diagramas se les conoce como diagramas de escalera que es el lenguaje que comúnmente utilizan los técnicos eléctricos.



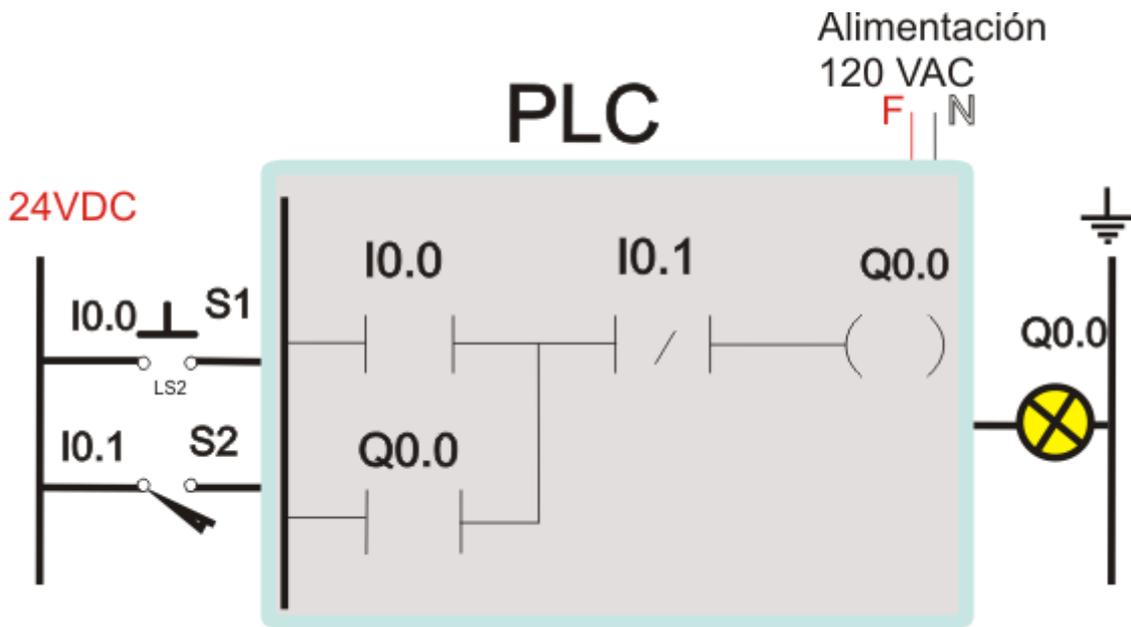


Figura P2. 7 Circuito de autoretención implementado en un PLC.



La salida a Q0.0 es una salida a 120 VAC por lo que se debe de manejar con cuidado por posibles accidentes de cortos circuitos en el equipo, quemaduras o choques eléctricos.

Se puede ver que cuando se acciona I0.0 se mantiene la salida activada hasta que se acciona I0.1 para desactivarla.

De modo similar a una PC, el PLC funciona utilizando el sistema de numeración en base 2. Por ello solo puede recibir dos valores para las entradas digitales, “0” o “1”, o en nuestro caso 0 ó 24 VDC. Al igual que en lógica combinacional, el álgebra de Boole se puede implementar en los PLC's.

Las conexiones entre los elementos que conforman al sistema pueden ser representados por medio de contactos eléctricos, es decir funciones como AND, OR y NOT pueden ser implementadas sin problemas en un PLC. Para ello se definen algunas de las operaciones de Boole más representativas en la Figura P2.8.

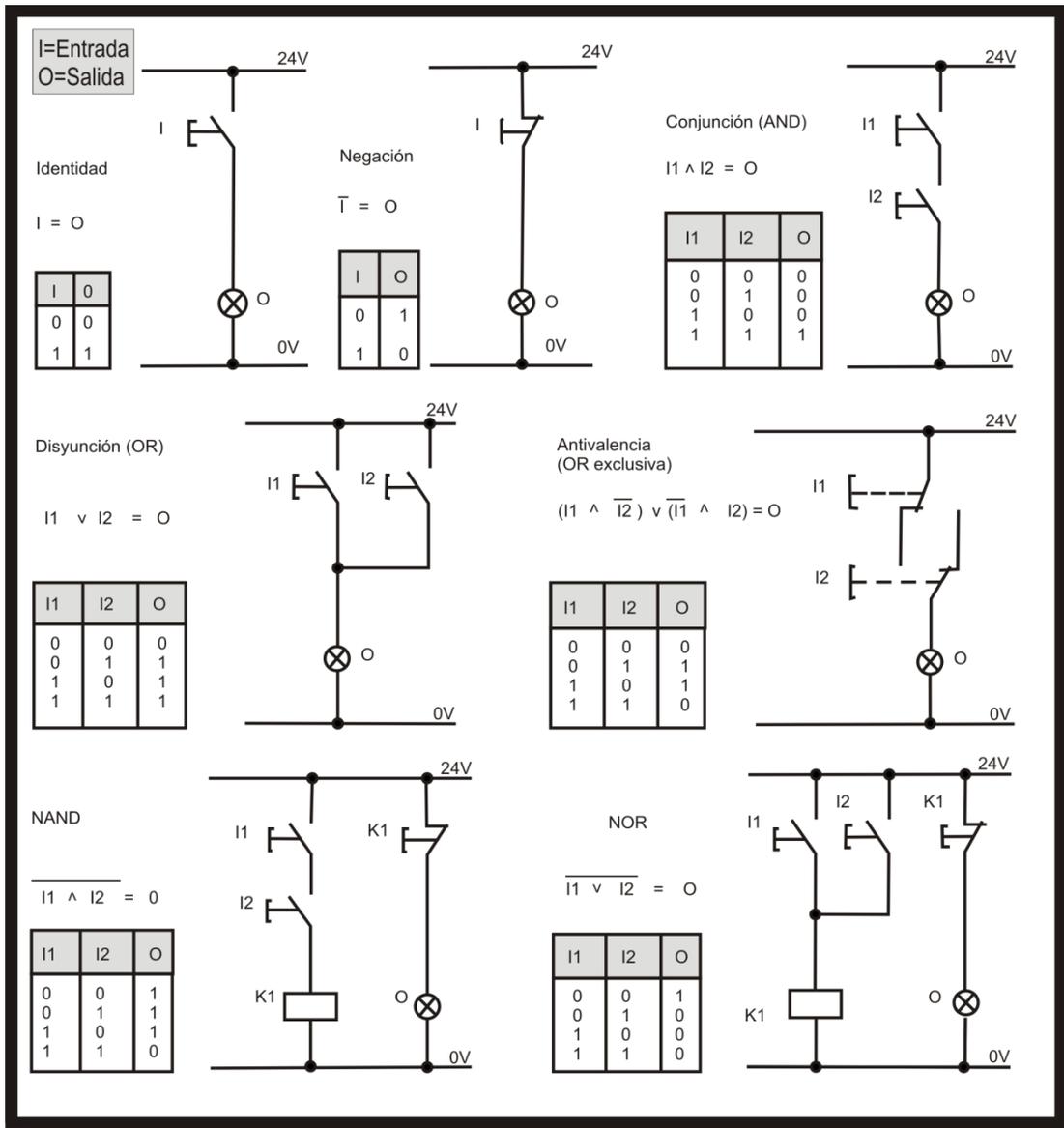


Figura P2. 8 Funciones Booleanas como AND, OR y NOT, representados por un esquema eléctrico.

**Paso 2.3.10.** Posteriormente implemente cada una de las funciones lógicas en el sistema SAE-PLC, carguelo y simúlelo utilizando los interruptores de palanca como entradas digitales internas.

*Análisis de Resultados*

- Se familiarizó con el entorno de programación del STEP 7 MICROWIN Ver 3.0.
- Se implementó el circuito de autoretención en un PLC mediante la utilización del sistema SAE-PLC.
- Se vieron operaciones Booleanas en esquemas eléctricos.

## Preguntas

1. ¿Lenguajes de programación de PLC's que se encuentran en el estandar IEC 1131-3?

---

---

---

2. ¿ Cuáles son los símbolos que más se utilizan en un PLC ?

---

---

3. ¿Cuáles son las teclas de función utilizadas para insertar un contacto, bobina y un cuadro en el STEP 7 Micro WIN ?

---

4. ¿Qué funciones se pueden insertar con el ícono de cuadro?

---

5. ¿Qué es un contacto Normalmente Cerrado?

---

---

6. Implemente en el Micro WIN STEP 7 la funciones Booleanas vistas en la práctica.

7. Realice un reporte con las anotaciones correspondientes.



## Preguntas

1. ¿Lenguajes de programación de PLC's que se encuentran en el estándar IEC 1131-3? Los lenguajes más significativos del estándar IEC 1131-3 son el KOP (Diagrama de contactos o Diagrama escalera), el FBD (Diagrama de bloques de función), y la Lista de instrucciones (AWL).

2. ¿Cuales son los símbolos que más se utilizan en un PLC ?

Los símbolos mas utilizados en un PLC son : Contactos normalmente abiertos, contactos normalmente cerrados y bobinas.

3. ¿Cuáles son las teclas de función utilizadas para insertar un contacto, bobina y un cuadro en el STEP 7 Micro WIN ?

F4- Contacto, F6 – Bobinas, F9 – Cuadros.

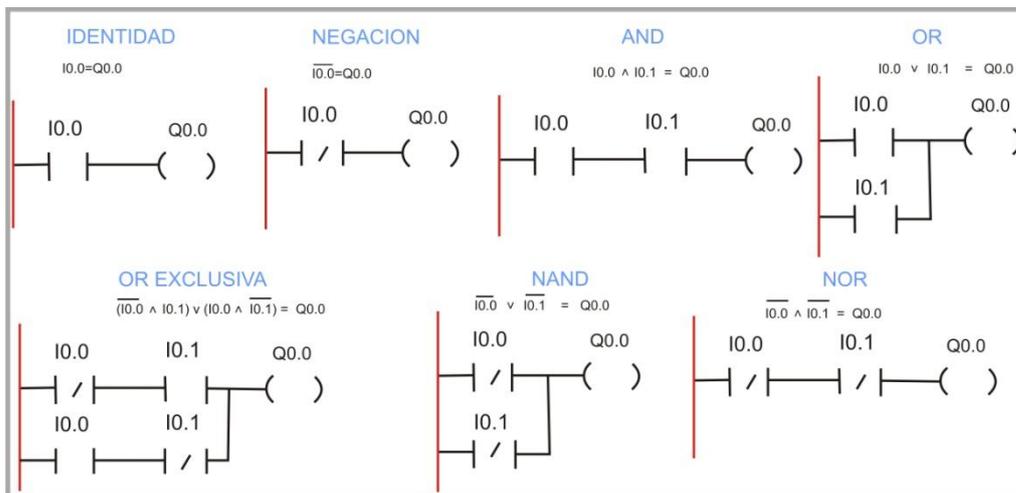
4. ¿Que funciones se pueden insertar con el ícono de cuadro?

Se pueden insertar temporizadores, contadores u operaciones aritméticas.

5. ¿Qué es un contacto Normalmente Cerrado?

Representa una entrada de control lógico. Un CONTACTO NORMALMENTE CERRADO estará CERRADO y PASARA energía o señal a través de él cuando está INACTIVO.

6. Implemente en el Micro WIN STEP 7 la funciones Booleanas vistas en la práctica.



**Título:**

**Práctica No.3. Control de Marcha y Paro de un Motor de CD**

**Objetivo Específico**

Que el estudiante:

- Controle la marcha y el giro de rotación de un motor de CD utilizando el sistema SAE-PLC.

**Material y Equipo**

- Manual de Prácticas, apartado Practica No.3.
- Computadora con sistema operativo Windows XP.
- Software STEP 7 MICRO/WIN ver. 3.0.
- Sistema SAE-PLC.
- Cable de alimentación para el SAE-PLC.
- Cable PC/PPI configurado a 9.1 Kb/s.
- Motor de CD 24 V.
- Relevador 2 polos 2 tiros.
- Protoboard.
- Puntas para conexiones rápidas.
- Alambre para realización de conexiones.
- Puntas con terminación en banana para hacer conexiones rápidas.

**Introducción Teórica**

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotatorio. En la actualidad existen nuevas aplicaciones con motores eléctricos que no producen movimiento rotatorio, sino que con algunas modificaciones, ejercen tracción sobre un riel. Estos motores se conocen como motores lineales.

Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes, un estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica. En el estator además se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas.

Para poder implementar un programa que controle un motor de CD, se deben conocer algunas de las funciones de memoria básicas del STEP 7 como set, reset, detección de flancos, operaciones lógicas de negación, marcas y temporizadores (Tabla P3.I).

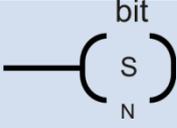
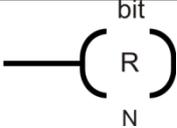
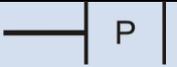
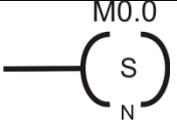
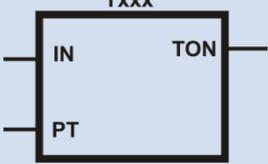
Símbolo	Descripción
	<p>Set: Cuando llega corriente ya sea por un impulso o una señal de “1” de un contactor anterior en una bobina de Set(S) activan n bits a partir de la dirección entrada y no se desactivan cuando deja de llegar corriente quedando el valor enclavado a uno, es decir se encuentran permanentemente activadas. Si en la bobina de “Set” y en su bobina asociada de “Reset” de una salida se aplica señal "1", tiene prioridad la operación que está después en el programa, es decir, tiene prioridad la última operación en el ciclo.</p>
	<p>Reset: Cuando llega corriente a una bobina de Reset(R) se desactivan n bits a partir de la dirección entrada. No se activan cuando deja de llegar corriente quedando su valor en cero.</p>
	<p>Detección de flanco positivo: El cambio que ocurre en un contacto de una entrada o salida de abierto (FALSO) a cerrado(VERDADERO) se designa como flanco positivo. Por ello circula corriente cuando se detecta un cambio de “0” a “1”.</p>
	<p>Detección de flanco negativo: El cambio que ocurre en un contacto de una entrada o salida de cerrado (VERDADERO) a abierto(FALSO) se designa como flanco positivo. Deja circular la corriente cuando se detecta un cambio de “1” a “0”.</p>
	<p>Negación: Cambia el valor de la corriente de cero o uno o viceversa (de circular corriente a no circular o viceversa).</p>
	<p>Marcas. La marca de bit "M0.0" se utiliza dentro del PLC para memorizar un resultado intermedio en lugar de una salida (Q0.0, Q0.1,...). Una marca puede ser utilizada en cualquier punto que se desee dentro del programa, se utilizan como salidas y su función es similar a los relés o contactores auxiliares utilizados en la técnica convencional. Las marcas pueden utilizarse todas un número indefinido de veces que se desee y su contenido está inmediatamente disponible (en el mismo ciclo) para las combinaciones siguientes.</p>
	<p>Temporizador de retardo a la conexión (TON): Cuenta el tiempo al estar activada (ON) la entrada de habilitación. Si el valor actual (Txxx) es mayor o igual al valor de preselección (PT), se activa el bit de temporización (bit T). El valor actual del temporizador de retardo a la conexión se borra cuando la entrada de habilitación está desactivada (OFF). El temporizador continúa contando tras haber alcanzado el valor de preselección y para de contar cuando alcanza el valor máximo de 32767. Se dispone de temporizadores TON, TONR y TOF con tres resoluciones. La resolución viene determinada por el número del temporizador que muestra la tabla siguiente. El valor actual resulta del valor de conteo multiplicado por la base de tiempo. Por ejemplo, el valor de conteo 50 en un temporizador de 10 ms equivale a 500 ms.</p>

Tabla P3. 1 Instrucciones del STEP 7.

En la Tabla P3.1 se describen funciones del STEP 7 que se pueden utilizar en el CPU 224 con el ícono ligado.

Cuando se ejecutan las operaciones set (S) y reset (R), se activan o se desactivan el número indicado de salidas (N) a partir de la dirección indicada por el parámetro binario (Q0.0, Q0.1,... etc.). El margen de E/S que se pueden poner a 0 está comprendido entre 1 y 255. Con la operación reset, si el bit especificado es un bit T (bit de temporización) o un bit C (bit de contaje), se desactivará el bit de temporización o de contaje y se borrará el valor del temporizador o del contador.

Cabe señalar que las instrucciones antes mencionadas son algunas del conjunto de instrucciones que posee el CPU 224, por lo que no se detallan, para mayor información consulte el manual de usuario o en el programa STEP 7 presione F1 o de click en ayuda donde podrá encontrar mayor información detallada. Consulte manual de documentación del S7-200 que proporciona el fabricante del PLC.

### Procedimiento

**Paso 3.1.** Cablee el diagrama que se muestra en la Figura P3.1 donde se muestran cómo estarán conectados los diferentes elementos para mover un motor de CD.

**Paso 3.2.** Las entradas Q0.4 y Q0.5 se cablean al Relevador de 2 polos 2 tiros como se muestran en la Figura P3.1 que serán las funciones de marcha y cambio de giro en todo el sistema.



Se pueden producir daños materiales y personales al utilizar las salidas Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3, ya que utiliza 120 VAC como salida.

**Paso 3.3.** Una vez terminado de cablear todo el sistema, proceda a implementar los siguientes circuitos, con el fin de implementar programas para controlar el motor de CD.

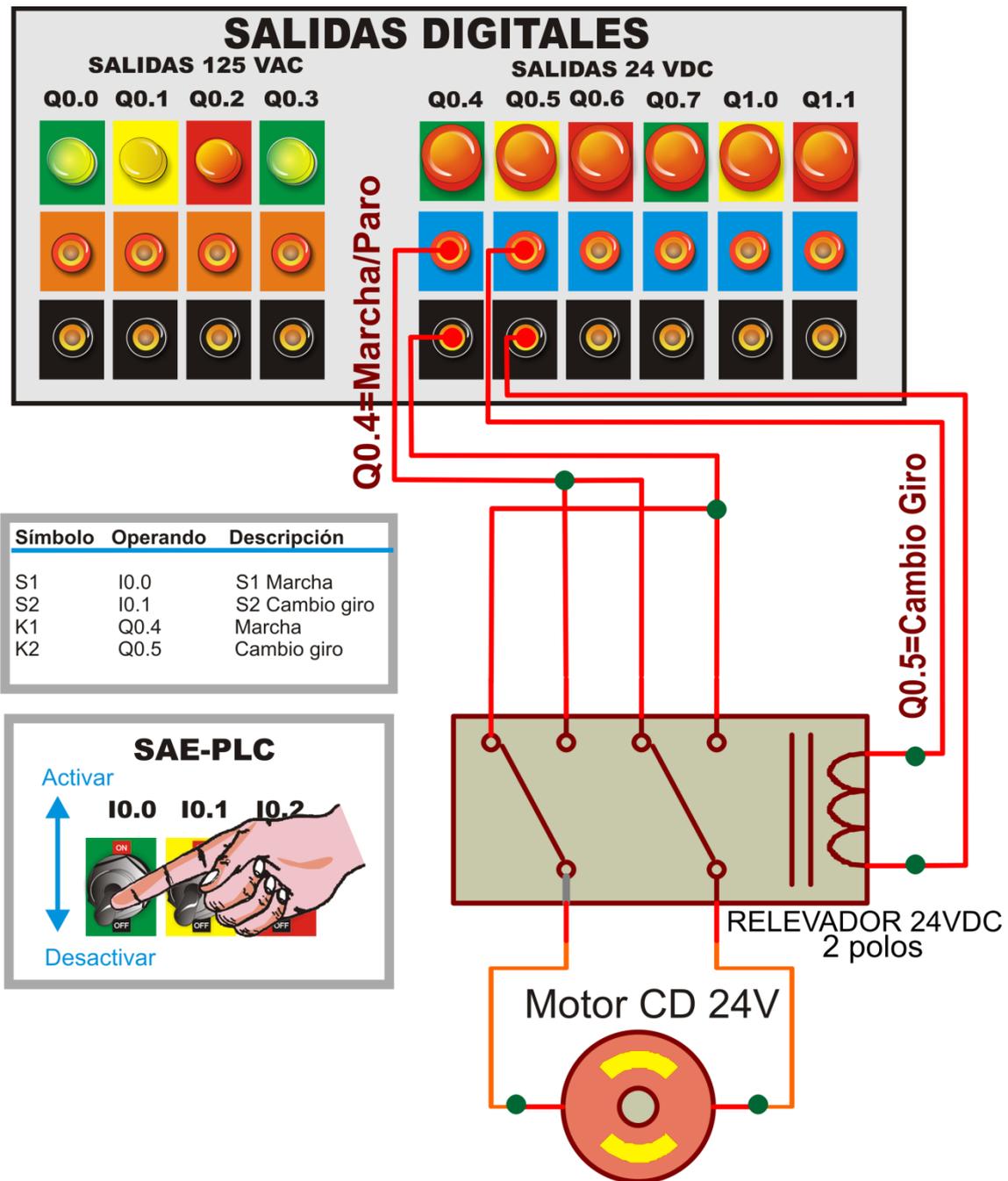


Figura P3. 1 Diagrama Eléctrico de cómo cablear los elementos para el control de marcha y paro de un motor de CD utilizando un relevador 2 polo 2 tiros con el sistema SAE-PLC.

**Ejercicio P3.1.** Diseñe un programa en lenguaje escalera que al pulsar un interruptor S1 se ponga en marcha el motor de CD y al desactivarse S1 se detenga, además que al pulsar S2 cambie el sentido de giro del motor.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 3.4.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P3.2, cárguelo y simúlelo en tiempo real con el sistema SAE-PLC, active y desactive los interruptores I0.0 e I0.1 y explique su funcionamiento.

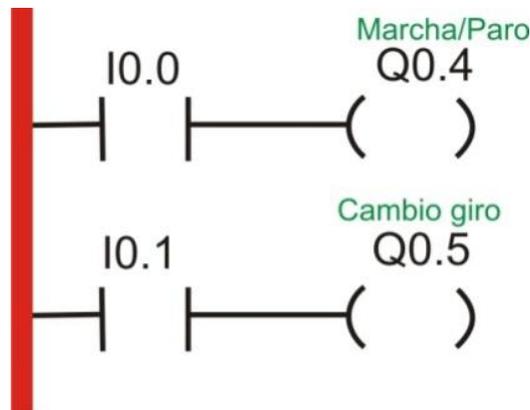


Figura P3. 2 Primer Diagrama de escalera, solución Ejemplo P3.1.

**Explicación.** Cuando se activa I0.0 empieza la marcha del motor, el motor realiza la acción de paro cuando se desactiva I0.0. Además cuando se activa I0.1 se activa la salida Q0.5 que es la salida a la cual se encuentra conectada al relevador, por lo cual cambia el sentido de giro del motor, y cuando se desenergiza I0.1 vuelve a cambiar de sentido el motor de CD.

**Ejercicio P3.2.** Modifique el programa anterior para que al pulsar el interruptor I0.0 se ponga en marcha el motor de CD y este no detenga su estado de marcha a pesar de que I0.0 se desactive. Además que al pulsar I0.1 cambie el sentido de giro del motor. Agregue el interruptor I0.2 para paro.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 3.5.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P3.3, explique su funcionamiento cargando y corriendo el programa en el SAE-PLC, active y desactive los interruptores I0.0, I0.1, I0.2 del sistema.

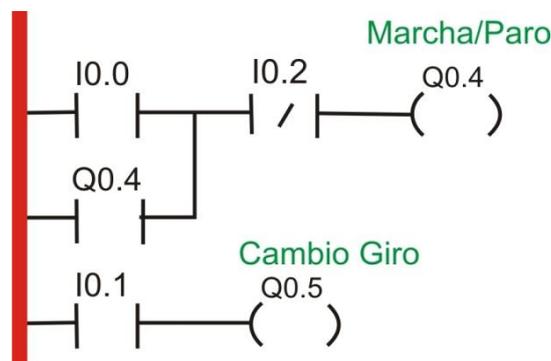


Figura P3. 3 Diagrama de escalera por autoretención.

**Explicación.** Cuando se activa I0.0 empieza la marcha del motor de cd debido a que I0.2 se encuentra desactivado, una vez iniciado la marcha del motor ésta se queda en marcha debido a que la salida Q0.4 retiene el estado activo, el motor realiza la acción de paro cuando se activa

I0.2. Cuando se activa I0.1 se activa la salida Q0.5 que es la salida a la cual se encuentra conectada al relevador por lo cual cambia el sentido de giro del motor y cuando se desenergiza I0.1 vuelve a cambiar de sentido el motor de cd.

**Ejercicio P3.3.** Realice el Ejercicio P3.1 utilizando las operaciones set y reset.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 3.6.** Implementar el diagrama de escalera de la Figura P3.4 en el sistema SAE-PLC, cargue el programa en el PLC, active y desactive los interruptores I0.0, I0.1, I0.2 y explique

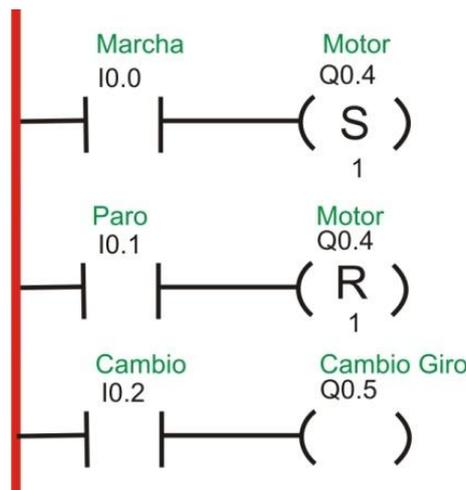


Figura P3. 4 Segundo diagrama de escalera del Ejercicio P3.3.

**Explicación.** Funciona como el circuito de autoretenición implementado en la práctica anterior pero en éste caso utilizando las instrucciones Set y Reset. Cuando se activa el interruptor I0.0 se mantiene la salida Q0.4 activada aunque se desactive I0.0 y cuando se activa I0.1 se desactiva la salida Q0.4 y se mantiene desactiva no importa que se desactive I0.1. Caso contrario con la salida Q0.5, debido a que cuando se activa I0.2 se activa la salida Q0.5 y cuando se desactiva I0.2 se desactiva Q0.5.

**Paso 3.7.** Cambie del diagrama de escalera anterior el número de salidas a activar o desactivar, del número 1 con que se implemento por el número 2 y explique.

**Explicación.** Con éste cambio, se activan las salidas Q0.4 y Q0.5 simultáneamente cuando se activa I0.0, y se desactivan simultáneamente cuando se activa I0.1.

**Ejercicio P3.4.** Investigue e implemente en diagrama escalera un circuito telerruptor o mando a distancia utilizando el motor de CD.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 3.8.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P3.5, que representa un telerruptor, cargue el diagrama en el PLC y verifique el estado del programa al activar y desactivar I0.0. Explique.

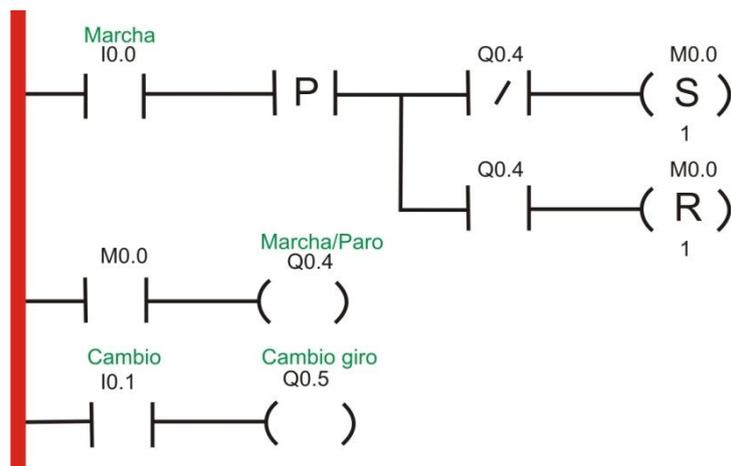


Figura P3. 5 Diagrama de escalera del Telerruptor.

**Explicación.** Cada Flanco Positivo que existe en I0.0 se activa o desactiva la salida Q0.4 mediante la utilización de la marca M0.0.

**Paso 3.9.** Cambie el programa anterior del Ejercicio P3.4 implementándolo con un flanco negativo.

**Explicación.** Cada Flanco Negativo que existe en I0.0 se activa o desactiva la salida Q0.4 mediante la utilización de la marca M0.0.

**Ejercicio P3.5.** Diseñe un programa en lenguaje escalera que al pulsar un interruptor se ponga en marcha el motor de CD después de 5 segundos posteriores al accionamiento del interruptor.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 3.10.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P3.6, cargue y simule en el sistema SAE-PLC, que es la respuesta al Ejercicio P3.5, y explique.

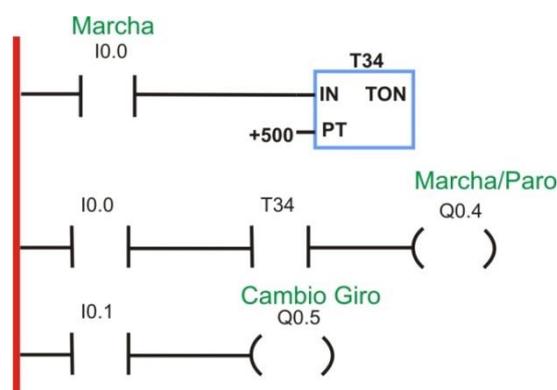


Figura P3. 6 Solución Ejercicio P3.5.

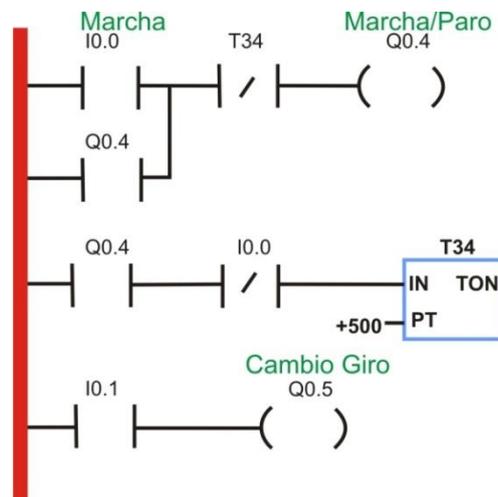
**Explicación.** Cuando se activa I0.0 activa el temporizador con retardo a la conexión T34 (T34 tiene una base de tiempo de 10 ms,  $500 \times 10 \text{ ms} = 5 \text{ s}$ ) entonces cuando se active T34 que será después de haber transcurrido 5 s es cuando el motor se ponga en marcha.

**Paso 3.11.** Haga lo siguiente: Si selecciona **Ver->KOP** podrá ver el programa en diagrama de contactos. Si Selecciona **Ver->FUP** lo verá como bloques lógicos. Si selecciona **Ver->AWL** podrá visualizar en pantalla el diagrama escalera en lenguaje de lista de instrucciones. Todo programa editado en diagrama AWL o en FUP no es objetivo de este curso por lo que la mayor parte de los programas se implementarán en lenguaje de contactos. Aunque a veces este tipo de visualización no siempre funciona por ejemplo cuando se pasa de lista de instrucciones a diagrama de contactos, los segmentos que se pueden traducir se muestran en diagrama de contactos, y los que no, permanecen en lista de instrucciones.

**Ejercicio P3.6.** Diseñe un programa en lenguaje escalera que al pulsar un interruptor se ponga en marcha el motor de CD y cuando se desactive dicho interruptor, el motor deberá funcionar otros 5 segundos y luego pararse.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 3.12.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P3.7, que es la respuesta al Ejercicio P3.6, cargue y simúlelo en el SAE-PLC, y explique.



**Figura P3. 7** Diagrama de escalera de las solución del Ejercicio P3.6.

**Explicación.** Si se acciona I0.0 se produce la autoretenCIÓN de la salida Q0.4, y T37 se encuentra desactivado. Cuando I0.0 se desactiva la autoretenCIÓN de Q0.4 se mantiene hasta que transcurra  $T37 = 10 \text{ ms} * 500 = 5 \text{ s}$ , este circuito también es conocido como retardo a la desconexión.

**Paso 3.13.** Implemente el Ejercicio P3.1 y el Ejercicio P3.2 utilizando como contador a T32 y T37 y configure el valor de preselección dependiendo de las bases de tiempo que posean estos temporizadores para un conteo de 5 segundos y explique.

**Explicación.** Para  $T32 = 1 \text{ ms} * 5000 = 5 \text{ s}$  y para  $T37 = 100 \text{ ms} * 50 = 5 \text{ s}$ .

**Análisis de Resultados**

- Se utilizaron las funciones de Set, Reset, Detección de Flancos, Marcas y Temporizadores.

# Preguntas

1. ¿Para que se utilizan las funciones de Set(S) y Reset(R)?

---



---

2. En una instrucción Set y Reset de una misma salida ¿Quién tiene mayor prioridad?

---

3. ¿Cuántas salidas simultáneamente pueden activar o desactivar Set y Reset ?

---



---

4. ¿Que es un telerruptor e implemente con el STEP7 un telerruptor bipolar y tripolar?

---



---



---

5. ¿Para que se utilizan las marcas en el STEP7?

---

6. ¿Cuántos temporizadores de pueden utilizar en un CPU 224?.

---

7. ¿Cuales son las bases de tiempo que se pueden utilizar en los temporizadores? .

---

8. ¿Se pueden utilizar temporizadores repetidos en un programa en el STEP 7?

---

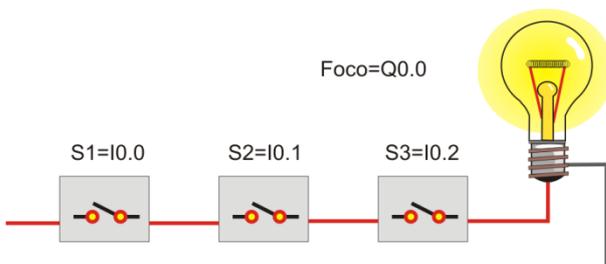
9. ¿Qué es un relevador 2 polos 2 tiros?

---



---

**Ejercicio P3.3.** Diseñe un programa en lenguaje KOP e impleméntelo con el STEP 7, el control del encendido de un foco mediante la activación y desactivación de 3 interruptores (S1, S2, S3), que se colocaran en 3 lugares distintos. Cuando se activa cualquier interruptor se activa el foco, cuando se desactiva cualquier interruptor se desactiva el foco.



## Preguntas

1. ¿Para que se utilizan las funciones de Set(S) y Reset(R)?

Se utilizan para mantener permanentemente activadas o desactivadas entradas, salidas o marcas cuando se activen brevemente por impulso de un contacto antepuesto.

2. En una instrucción Set y Reset de una misma salida ¿Quién tiene mayor prioridad?

Tiene prioridad la última operación del programa.

3. ¿Cuántas salidas simultáneamente pueden activar o desactivar Set y Reset ?

Pueden activar o desactivar hasta 255 salidas simultáneamente (bobinas, temporizadores o marcas).

4. ¿Que es un telerruptor e implemente con el STEP7 un telerruptor bipolar y tripolar?

El telerruptor, también conocido como relé de impulsos o interruptor remoto, es un dispositivo electromecánico, controlado a distancia, que gestiona la activación y desactivación de cargas desde uno más puntos distantes entre sí. Dispone de una bobina que se activa o desactiva cada vez que recibe un impulso desde el exterior, mediante un pulsador.

5. ¿Para que se utilizan las marcas en el STEP7?

Se utiliza dentro del PLC para memorizar un resultado intermedio en lugar de una salida.

6. ¿Cuántos temporizadores de pueden utilizar en un cpu 224?.

Se disponen de 256 Temporizadores de T0 a T254.

7. ¿Cuales son las bases de tiempo que se pueden utilizar en los temporizadores? .

Se pueden utilizar bases de tiempo de 1ms, 10ms y 100ms.

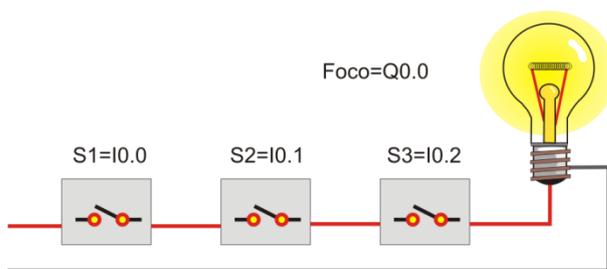
8. ¿Se pueden utilizar temporizadores repetidos en un programa en el STEP 7?

No.

9. ¿Qué es un relevador 2 polos 2 tiros?

Un Relevador, también conocido como relé, es un dispositivo que controla el estado de un interruptor mediante una entrada eléctrica. En la configuración de 2 polos 2 tiros se tienen 2 entradas que pueden controlar de distintas maneras 2 interruptores dobles independientes.

**Ejercicio P3.3.** Diseñe un programa en lenguaje KOP e impleméntelo con el STEP 7, el control del encendido de un foco mediante la activación y desactivación de 3 interruptores (S1, S2, S3), que se colocaran en 3 lugares distintos. Cuando se activa cualquier interruptor se activa el foco, cuando se desactiva cualquier interruptor se desactiva el foco.



*Título:*

#### **Práctica No.4. Semáforos.**

#### **Objetivo Específico**

Que el estudiante:

- Implemente un ejemplo de un semáforo utilizando temporizadores en el sistema SAE-PLC.

#### **Material y Equipo**

- Manual de Prácticas, apartado Práctica No.4.
- Computadora con sistema operativo Windows XP.
- Software STEP 7 MICRO/WIN ver. 3.0.
- SAE-PLC Sistema de apoyo para la enseñanza de controladores Lógicos Programables.
- Cable de alimentación para el SAE-PLC.
- Cable PC/PPI configurado a 9.1 Kb/s.
- Puntas para fuente.

#### **Introducción Teórica**

Los semáforos son dispositivos de señalización posicionados en intersecciones de calles, pasos de peatones y otros lugares para regular el tráfico de vehículos y el tránsito de peatones.

El motivo por el que se eligieron el color rojo y el verde para la regulación del tráfico es que se heredaron del mundo del ferrocarril que a su vez las había heredado del marítimo. Desde siglos atrás, los barcos utilizaban un código de colores para señalar el derecho de paso (código de colores que se sigue usando hoy en día y, ahora también, en las alas de los aviones): rojo a babor y verde a estribor. De este modo, si dos barcos se acercan el uno al otro perpendicularmente; uno de ellos ve la luz roja en el babor del otro, que se le acerca por la derecha, y el barco que viene por la derecha ve la luz verde en el estribor del otro barco. El timonel que veía la luz roja sabía que debía ceder el paso al otro barco, y el que veía la luz verde sabía que podía continuar sin problemas.

Es necesario implementar programas para la simulación de operación de un semáforo sencillo en el cual podamos ver su solución utilizando PLC's. En esta práctica utilizaremos el byte de marcas 0 (SM0.0 - SM0.7) que contiene ocho bits de estado que la CPU 224 actualiza al final de cada ciclo. El programa de usuario puede leer el estado de estos bits y decidir cómo reaccionar conforme al valor del bit. Para más información vea el apartado Bit's de estado SMB0 en la ayuda del MicroWIN STEP 7.

Nombre simbólico S7-200	Dirección	Descripción de tarea
Siempre_ON	SM0.0	Este bit siempre está activado.
Primer_ciclo_ON	SM0.1	Este bit se activa sólo en el primer ciclo. Se utiliza, por ejemplo, para llamar una subrutina de inicialización.
Reloj_60s	SM0.4	Este bit ofrece un reloj que está desactivado durante 30 segundos y activado durante 30 segundos, siendo el tiempo de ciclo de 1 minuto. Ofrece un retardo fácil de utilizar o un tiempo de reloj de 1 minuto.
Reloj_1s	SM0.5	Este bit ofrece un reloj que está desactivado durante 0,5 segundos y activado durante 0,5 segundos, siendo el tiempo de ciclo de 1 segundo.

Tabla P4. 1 Marcas especiales del STEP 7.

Utilizará **temporizadores de retardo a la conexión** (TON). Estos temporizadores cuentan el tiempo transcurrido mientras la entrada de habilitación (IN) está activa; cuando se inactiva IN, la cuenta vuelve a cero, y podemos utilizar desde el temporizador T37 hasta el T63.

Otras instrucciones son las de **Operaciones de comparación**. El resultado de las operaciones de comparación permite tomar decisiones de control. El esquema de contactos (KOP) utiliza contactos de comparación para comparar valores de bytes, enteros y palabras dobles. Las comparaciones posibles son las siguientes: menor o igual ( $\leq$ ), igual ( $=$ ), mayor o igual ( $\geq$ ).

**Procedimiento**

A continuación se muestran ejercicios resueltos utilizando temporizadores, por lo cual es necesario que los analice e implementa la solución.

**Ejercicio P4.1.** *Diseñe un programa en lenguaje escalera e impleméntelo con el STEP 7 el funcionamiento de un semáforo con la secuencia que se muestra en la Figura P4.1 utilizando temporizadores, y explique su funcionamiento.*

**SOLUCIÓN.**

**Paso 4.1.** Se detectan las entradas y salidas, para esto se asignan de la siguiente manera.

Entradas: I0.0= Marcha/Paro.

Salidas: Q0.0 = Piloto Verde, Q0.1 = Piloto Amarillo, Q0.2 = Piloto Rojo.

Ubique las entradas y salidas asignadas en el sistema SAE-PLC.

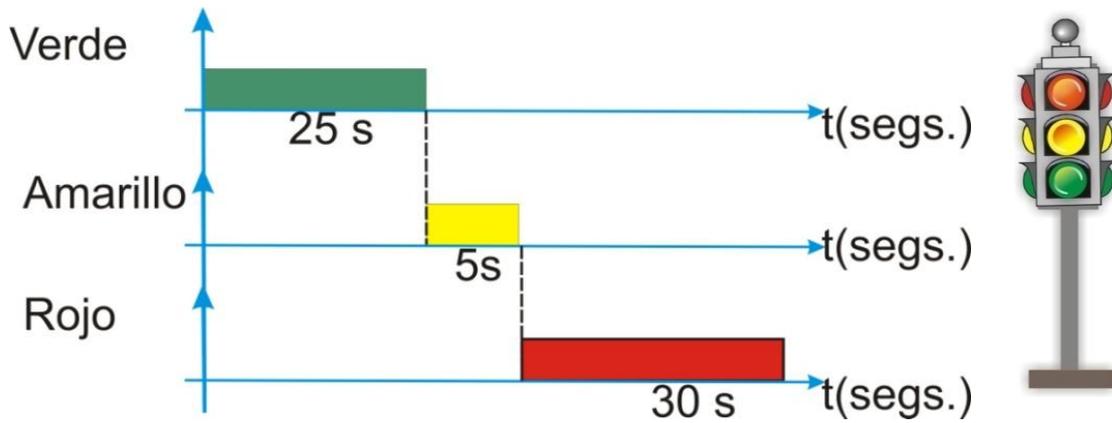


Figura P4. 1 Secuencia del semáforo del Ejercicio P4.1



Precaución: Se utilizan altos voltajes en la realización de esta práctica si es que el usuario desea utilizar como salidas Q0.0, Q0.1, Q0.2 o Q0.3. No realice conexiones con el sistema encendido, revise sus conexiones antes de utilizar el sistema.

**Paso 4.2.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P4.2, explique su funcionamiento cargando y corriendo el programa en el sistema SAE-PLC, active y desactive el interruptor I0.0.

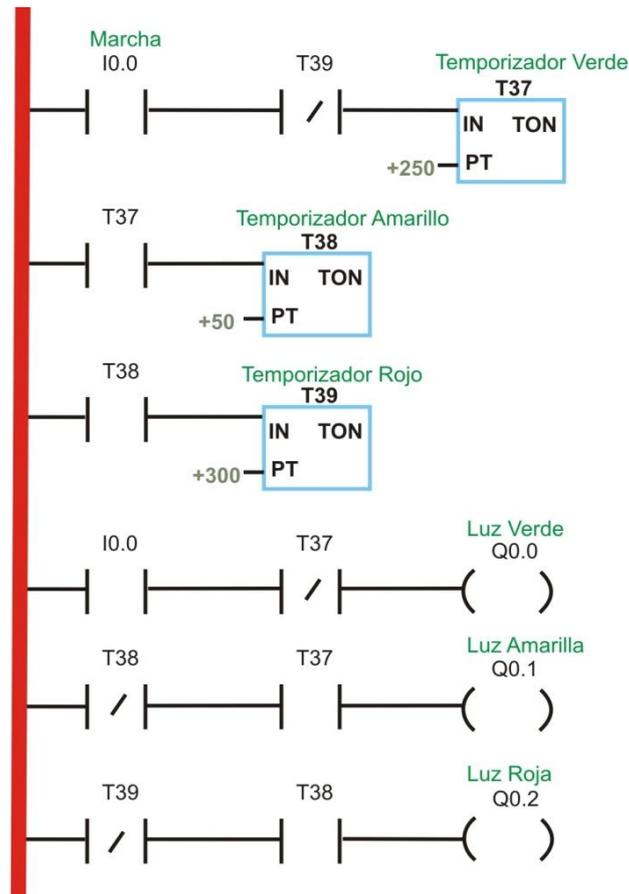


Figura P4. 2 Solución del Ejercicio P4.1.

**Explicación.** Se utilizan 3 temporizadores, para esto se asignan para T37 = Temporizador verde, T38 = Temporizador amarillo, T39 = Temporizador rojo, Cuando se activan I0.0,  $\overline{T39}$  se encuentra negado entonces empieza a contar el temporizador T37, pero como en la condición que activa al piloto verde es el negado  $\overline{T37}$  entonces se activa Q0.0 por 25 segundos ( $T37 = 250 * 100 \text{ ms} = 25 \text{ s}$ , que es el tiempo que dura T37 antes de activarse). Cuando se activa T37 se desactiva la salida Q0.0 (Luz verde), a su vez empieza a contar T38 que cuenta por 5 segundos antes de activarse ( $T38 = 100 \text{ ms} * 50 = 5 \text{ s}$ , que es el tiempo que cuenta antes de activarse T38) encontrándose asociado el negado de  $\overline{T38}$  a Q0.1, entonces el piloto amarillo que se activara durante este lapso de tiempo. Por último cuando se activa T38 empieza a contar T39 por 30 segundos ( $T39 = 100 \text{ ms} * 300 = 30 \text{ s}$ , que es el tiempo que tarda en contar antes de activarse) y por este lapso de tiempo enciende el piloto rojo. Cuando se activa T39 vuelven a cero todos los contadores y empieza nuevamente el ciclo empezando la cuenta del temporizador T37, siempre y cuando I0.0 se mantenga activo. Si I0.0 se encuentra desactivado no se encuentra en funcionamiento los temporizadores por tanto se encuentra en paro la secuencia de este programa.

**Ejercicio P4.2.** Diseñe un programa en lenguaje escalera e impleméntelo con el STEP 7 el funcionamiento de un semáforo con la secuencia que se muestra en la Figura P4.3 utilizando Temporizadores y operaciones de comparación de enteros, y explique su funcionamiento.

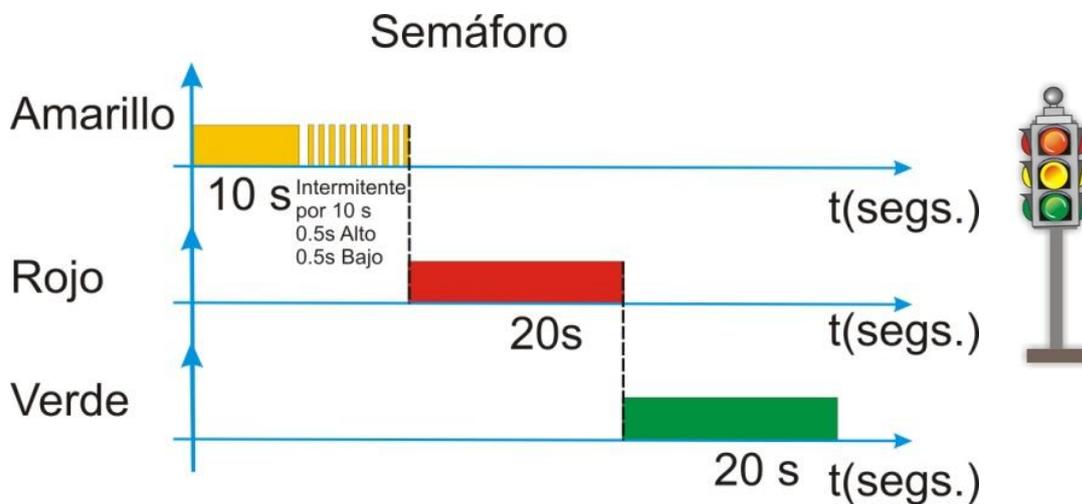


Figura P4. 3 Secuencia del semáforo del Ejercicio P4.2.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 4.3.** Se detectan entradas y salidas, que se asignan de la siguiente manera.

Entradas: I0.0= Marcha/Paro.

Salidas: Q0.0 = Piloto Verde, Q0.1 = Piloto Amarillo, Q0.2 = Piloto Rojo.

Ubique las entradas y salidas asignadas en el sistema SAE-PLC.



Precaución: Se utilizan altos voltajes en la realización de ésta práctica si es que el usuario desea utilizar como salidas Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3. No realice conexiones con el sistema encendido, revise conexiones antes de utilizar el sistema .

**Paso 4.4.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P4.4, explique su funcionamiento corriendo el programa, active y desactive el interruptor I0.0 en el sistema SAE-PLC.

**Explicación.** Se tiene la condición de inicialización, en el primer ciclo se activa la marca SM0.1 y con esto se resetean todas las marcas utilizadas, así como las salidas. Como se puede ver en la solución se están utilizando en el programa operaciones de comparación de enteros, y el valor que se compara es el valor del contador del temporizador T37 que cuenta de 0 a 600. Posteriormente cuando se detecta un flanco positivo en I0.0, inicia el temporizador T37 y se estará reiniciando cada 60 segundos ( $T37 = 100 \text{ ms} * 600 = 60 \text{ s}$ ) que es el tiempo que se tarda en ejecutar la secuencia de luces. Cada piloto se encuentra asociada a una sentencia de comparación de enteros, el ciclo del semáforo empieza con el piloto amarillo (Q0.1) se activa cuando el temporizador se encuentre entre 0 y 10 s y entre 10 s y 20 s parpadea mediante la utilización de la marca especial SM0.5 (0.5 s en alto y 0.5 s en bajo), para el piloto rojo se activa entre 20 s y 40 s de la cuenta del temporizador, por último cuando el temporizador se encuentre contando entre los 40 s y 60 s activa el piloto verde. Por último cuando el temporizador llega a los 60 s es cuando se activa T37 entonces se procede a resetear el temporizador para iniciar nuevamente la cuenta. Cuando se detecta un flanco negativo se desactivan todas las marcas y salidas utilizadas por lo que se pone en paro el semáforo.

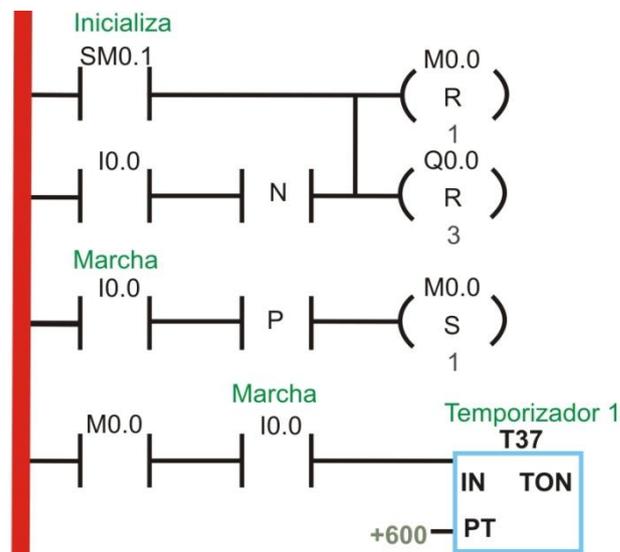


Figura P4. 4 Solución del Ejercicio P4.2.

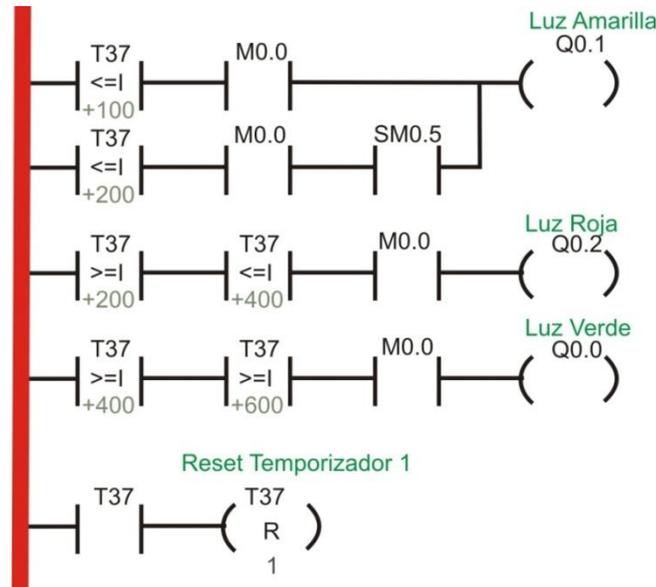


Figura P4.4 Continuación de la Solución del Ejercicio P4.2.

**Ejercicio P4.3.** Diseñe un programa en lenguaje escalera e implémtelo con el STEP 7 en el sistema SAE-PLC el funcionamiento de dos semáforos con la secuencia que se muestra en la Figura P4.5 utilizando Temporizadores, y explique su funcionamiento.

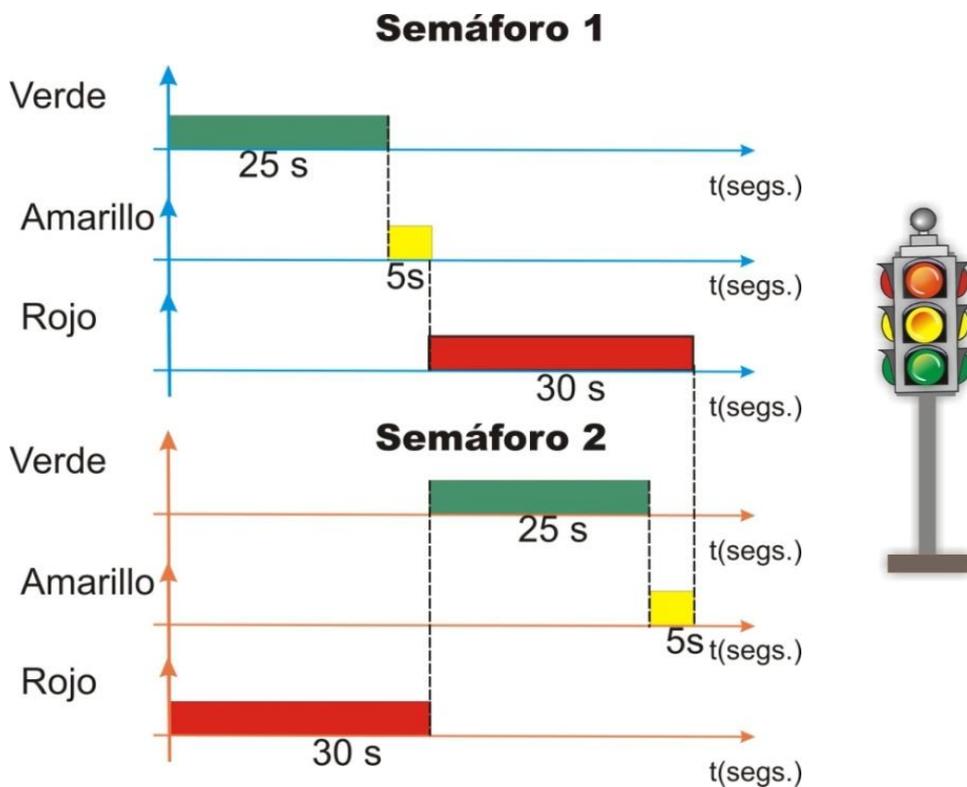


Figura P4. 5 Secuencia del semáforo del Ejercicio P4.3.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 4.5.** Se detectan entradas y salidas, que se asignan de la siguiente manera.

Entradas: I0.0= Marcha/Paro.

Salidas: Para el semáforo 1, Q0.0 = Piloto Verde, Q0.1 = Piloto Amarillo, Q0.2 = Piloto Rojo,

para el semáforo 2, Q0.4 = Piloto Verde, Q0.5 = Piloto Amarillo, Q0.6 = Piloto Rojo,

Ubique las entradas y salidas asignadas en el sistema SAE-PLC.



Precaución: Se utilizan altos voltajes en las salidas Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3 en el sistema SAE-PLC (120 VAC). No realice conexiones con el sistema encendido, revise conexiones antes de utilizar el sistema .

**Paso 4.6.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P4.6, explique su funcionamiento cargando y corriendo el programa en el sistema SAE-PLC, active y desactive el interruptor I0.0.

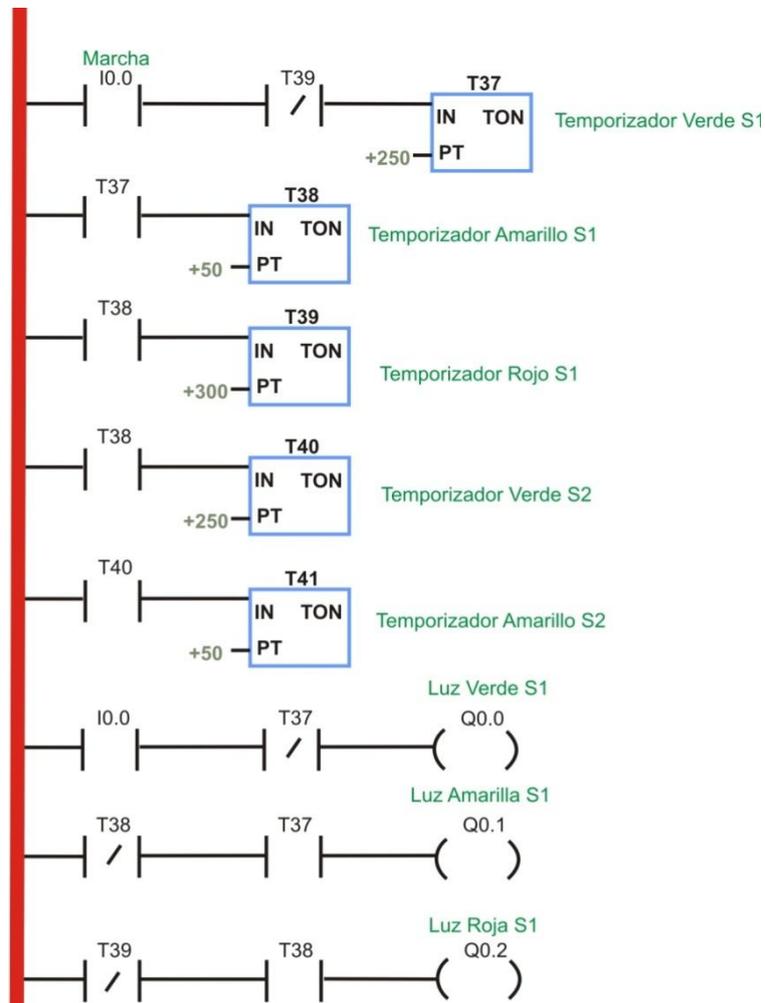


Figura P4. 6 Solución del Ejercicio P4.3.

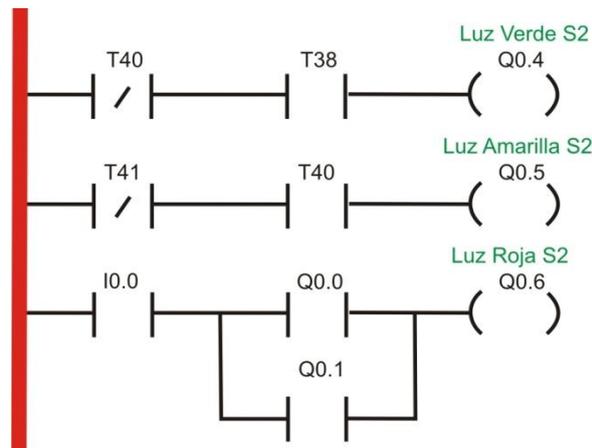


Figura P4. 6 Continuación solución del Ejercicio P4.3.

**Explicación.** Se utilizan 5 temporizadores para realizar la simulación de 2 semáforos, para esto asignaremos para el semáforo 1 los temporizadores T37 = Temporizador Verde, T38 = Temporizador amarillo, T39 = Temporizador Rojo y para el semáforo 2, T40 = Temporizador Verde, T41 = Temporizador amarillo. Cuando se activa I0.0 y T39 no esté activado entonces empieza a contar el temporizador T37, la luz verde del semáforo 1 se activa al igual que la luz roja del semáforo 2. Cuando se activa T37 entonces empieza la cuenta de T38, mientras está contando el temporizador T38 sin que alcance el valor de preselección, la luz amarilla del semáforo 1 se activa al igual que se mantiene la luz roja del semáforo 2. Cuando se activa T38 empieza a contar T39 y T40, mientras cuentan se activan la Luz Roja del semáforo 1 y Luz verde del semáforo 2. Se activa primero T40 logrando que comience la cuenta de T41, entonces se mantiene la Luz Roja del semáforo 1, y se activa Luz Amarilla de semáforo 2. Cuando T39 se activa se resetean los contadores y vuelve a empezar el ciclo activando la Luz Verde del semáforo 1 y la Luz roja del semáforo 2. Cuando se desactiva I0.0 se encuentra en paro la secuencia de temporizadores.

**Ejercicio P4.4.** Diseñe un programa en lenguaje escalera e impleméntelo con el STEP 7 en el sistema SAE-PLC el funcionamiento de dos semáforos con la secuencia que se muestra en la Figura P4.7 utilizando temporizadores y operaciones de comparación de enteros, y explique su funcionamiento.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 4.7.** Se detectan entradas y salidas, que se asignan de la siguiente manera.

Entradas: I0.0 = Marcha/Paro.

Salidas: Para el semáforo 1, Q0.0 = Piloto Verde, Q0.1 = Piloto Amarillo, Q0.2 = Piloto Rojo, para el semáforo 2, Q0.4 = Piloto Verde, Q0.5 = Piloto Amarillo, Q0.6 = Piloto Rojo, Ubique las entradas y salidas asignadas en el sistema SAE-PLC.

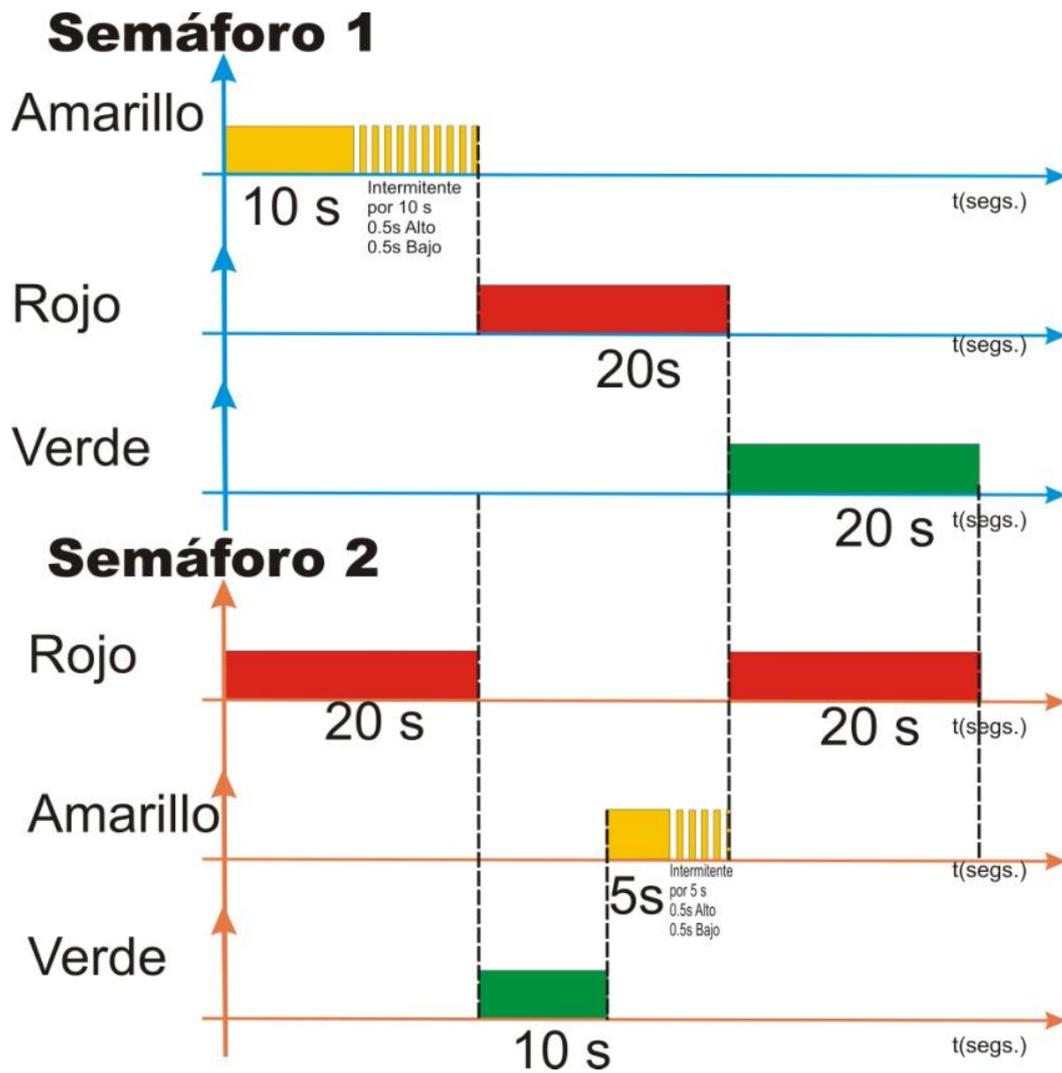


Figura P4. 7 Secuencia del semáforo del Ejercicio P4.4.

**Paso 4.8.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P4.8, explique su funcionamiento corriendo el programa y activando y desactivando el interruptor I0.0.



Precaución: Se utilizan altos voltajes en las salidas Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3 en el sistema SAE-PLC (120 VAC). No realice conexiones con el sistema encendido, revise conexiones antes de utilizar el sistema .

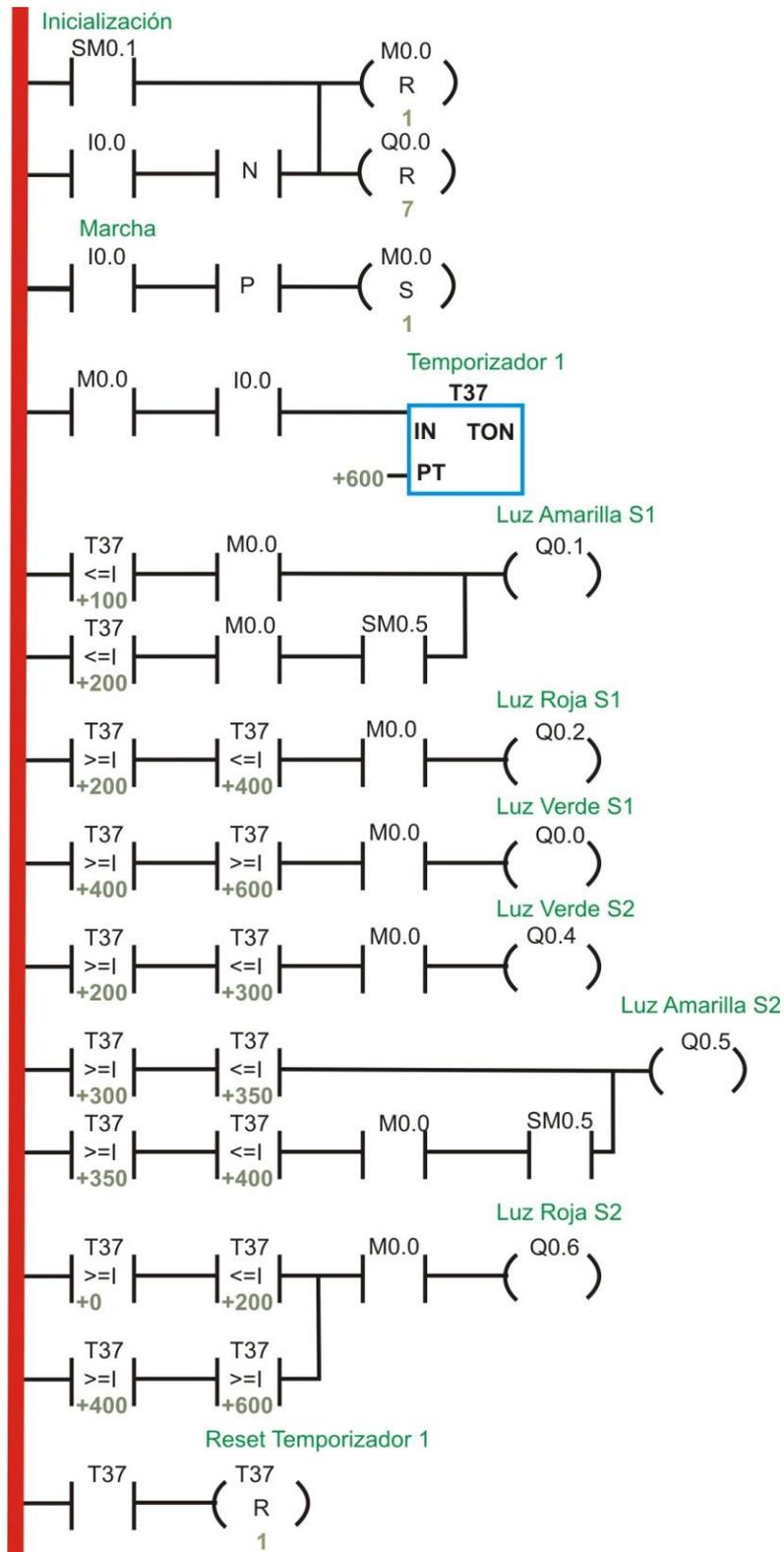


Figura P4. 8 Solución ejercicio semáforo, Ejercicio P4.4.

**Explicación.** La condición de inicialización se realiza de la siguiente manera, en el primer ciclo se activa la marca SM0.1 y con esto se resetean todas las marcas utilizadas, así como las salidas. Como se puede ver en la solución se están utilizando en el programa operaciones de comparación de enteros, y el valor que se compara es el valor del contador del temporizador T37 que cuenta de 0 a 600. Posteriormente cuando se detecta un flanco positivo en I0.0, inicia el temporizador T37 y se estará reiniciando cada 60 segundos ( $T37 = 100 \text{ ms} * 600 = 60 \text{ s}$ , del segundo 0 al 60) que es el tiempo que se tarda en ejecutar la secuencia de luces. Cada piloto de los semáforos se encuentra asociada a una sentencia de comparación de enteros, se estableció para la luz Amarillo del semáforo 1 se activa entre el segundo 0 a 20 s, para la Luz roja del semáforo 1 se activa entre el segundo 20 y 40, la luz Roja del semáforo 1 se activa entre el segundo 40 y 60. Para la luz Roja del semáforo 2 se activa entre el segundo 0 y 20, para la luz Verde del semáforo 2 se activa entre el segundo 20 y 30, para la luz Amarilla del semáforo 2 se activa entre el segundo 30 y 40, para la luz Roja del semáforo 2 se activa entre el segundo 40 y 60. Por último cuando el temporizador llega a los 60 s es cuando se activa entonces se procede a resetear el temporizador para iniciar nuevamente la cuenta. Cuando se detecta un flanco negativo se desactivan todas las marcas y salidas utilizadas por lo que se pone en paro el semáforo.

### Análisis de Resultados

- Se implementaron en diagrama escalera la simulación de semáforos mediante la utilización de operaciones de comparación y temporizadores utilizando el SAE-PLC.



## Ejercicios

1. ¿Para que se utiliza la marca SM0.1?

---

---

2. ¿Para qué se utiliza la marca SM0.5?

---

---

**Ejercicio P4.5. VENTILADOR DE SECADO DE PINTURA.** Se desea automatizar un proceso de secado de pintura, de modo que al pulsar un botón, se ponga en marcha un ventilador y esté funcionando durante 10 segundos. La entrada Interruptor de marcha = I0.0 (ON = 24V, OFF = 0V) Q0.4 = Contactor motor ventilador (Q0.0 24V = giro, 0V = paro)

**Ejercicio P4.6. ADICIÓN DE UN SEGUNDO VENTILADOR.** Sobre el proceso anterior se añade un segundo ventilador, de modo que el proceso sea el siguiente: al pulsar el botón se pone en marcha el primer ventilador durante 10 segundos, y transcurrido este tiempo se desconecta el primer ventilador y se pone en marcha un segundo ventilador durante 20 segundos. La salida Q0.5 = Contactor segundo ventilador (24V = giro, 0V = paro). Se pide: modificar el programa anterior para que contemple estos nuevos elementos y probar el resultado sobre el autómeta.

**Ejercicio P4.7. GENERACIÓN DE UNA SEÑAL PERIÓDICA.** Diseñe un programa en lenguaje escalera e impleméntelo con el STEP 7 el funcionamiento de un tren de pulsos con 0.5s en alto y 0.5s en bajo.

**Ejercicio P4.8. EL AUTO INCREIBLE.** Realizar, utilizando los bits de la entrada I0.0, la secuencia de encendido y apagado de LED's del auto de la popular serie de televisión "El auto increíble". La temporización entre bit y bit ha de ser de 1 segundo.

**Ejercicio P4.9. INTERMITENTE.** Realizar un programa que simule el funcionamiento de un intermitente.

**Ejercicio P4.10. SEMÁFORO.** Diseñe un programa en lenguaje escalera e impleméntelo con el STEP 7 el funcionamiento de tres semáforos usted proponga los tiempos de los pilotos de cada semáforo, dibuje la secuencia de luces de cada semáforo como en la Figura P4.7.



## Ejercicios

1. ¿Para que se utiliza SM0.1?

Se utilizan como bit de inicio o para inicializar una bobina y se activa en el primer ciclo del programa implementado en el STEP7.

2. ¿Para qué se utiliza SM0.5?

Se puede ver como un tren de pulsos el cual se encuentra siempre funcionando; se activa durante 0.5 segundos y desactiva durante 0.5 segundos.

**PROGRAMA P4.5. VENTILADOR DE SECADO DE PINTURA.** Se desea automatizar un proceso de secado de pintura, de modo que al pulsar un botón, se ponga en marcha un ventilador y esté funcionando durante 10 segundos. La entrada Interruptor de marcha = I0.0 (ON = 24V, OFF = 0V) Q0.4 = Contactor motor ventilador (Q0.0 24V = giro, 0V = paro)

**EJERCICIO P4.6. ADICIÓN DE UN SEGUNDO VENTILADOR.** Sobre el proceso anterior se añade un segundo ventilador, de modo que el proceso sea el siguiente: al pulsar el botón se pone en marcha el primer ventilador durante 10 segundos, y transcurrido este tiempo se desconecta el primer ventilador y se pone en marcha un segundo ventilador durante 20 segundos. La salida Q0.5 = Contactor segundo ventilador (24V = giro, 0V = paro). Se pide: modificar el programa anterior para que contemple estos nuevos elementos y probar el resultado sobre el autómeta.

**Ejercicio P4.7. GENERACIÓN DE UNA SEÑAL PERIÓDICA.** Diseñe un programa en lenguaje escalera e impleméntelo con el STEP 7 el funcionamiento de un tren de pulsos con 1 segundo en alto y 0.5 segundos en bajo y que indican que se utilizaran dos temporizadores.

**EJERCICIO P4.8. EL AUTO INCREIBLE.** Realizar, utilizando los bits de la entrada I0.0, la secuencia de encendido y apagado de LED's del auto de la popular serie de televisión "El auto increíble". La temporización entre bit y bit ha de ser de 1 segundo.

**EJERCICIO P4.9. INTERMITENTE.** Realizar un programa que simule el funcionamiento de un intermitente.

**EJERCICIO P4.10. SEMÁFORO.** Diseñe un programa en lenguaje escalera e impleméntelo con el STEP 7 el funcionamiento de tres semáforos usted proponga los tiempos de los pilotos de cada semáforo.



*Título:*

### Práctica No.5. Arranque de un motor trifásico.

#### *Objetivo Específico*

Que el estudiante:

- Implemente el arranque de un motor trifásico utilizando el sistema SAE-PLC y el sistema LabVolt.

#### *Material y Equipo*

- Manual de Prácticas, apartado Práctica No.5.
- Computadora con sistema operativo Windows XP
- Software STEP 7 MICRO/WIN ver. 3.0.
- Sistema SAE-PLC.
- Cable PC/PPI configurado a 9.1 Kb/s.
- Cable de alimentación para el SAE-PLC.
- Puntas para fuente.
- 1 Motor Trifásico (jaula de ardilla 4 polos, trifásico, 60Hz) del sistema LabVolt.
- 2 Contactores del sistema LabVolt
- 1 Relevador de sobrecargas del sistema LabVolt.

#### *Introducción Teórica*

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos regenerativos.

Son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Así, en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos.

Para poder lograr el control de motores en la industria es común utilizar dispositivos de control que manejen cargas de corriente pesadas como son los contactores, relevadores de control, relevadores de sobrecarga, entre otros elementos.

**Contactores.** Los contactores son dispositivos para establecer e interrumpir repetidamente un circuito de energía eléctrica.- Un contactor electromecánico es un relevador de tipo de potencia con contactos de trabajo pesado para interrumpir cargas industriales.

**Relevador de control.** Los relevadores de control se diseñan para utilizarlos como dispositivos en circuitos pilotos, su potencia de operación es relativamente baja y se pueden clasificar como relevadores de trabajo ligero tipo sensible.

**Relevador de sobrecarga.** El relevador de sobrecarga es un dispositivo de circuito de control, para proteger a un motor contra cargas excesivamente pesadas. En serie con los conductores de la línea del motor se conectan los elementos térmicos o magnéticos sensibles a la corriente. Cuando se produce algún valor determinado de corriente de sobrecarga, el relevador se dispara y corta la energía a los controles de arranque, lo que para el motor (el sistema LabVolt cuenta con relevador de sobrecargas EMS modelo 9101).

**Procedimiento**

**EJERCICIO P5.1. ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO.** Se desea arrancar el motor de corriente trifásica. Como se puede observar en la Figura P5.1 se utilizan circuitos de mando y potencia, cada circuito contiene los siguientes elementos:

- F3F = Relevador de sobrecorriente.
- S1 = Interruptor de marcha.
- S2 = Interruptor de paro.
- K1 = Relevador mantener el circuito conectado.
- H1 = Piloto para apagado.
- H2 = Piloto para marcha.

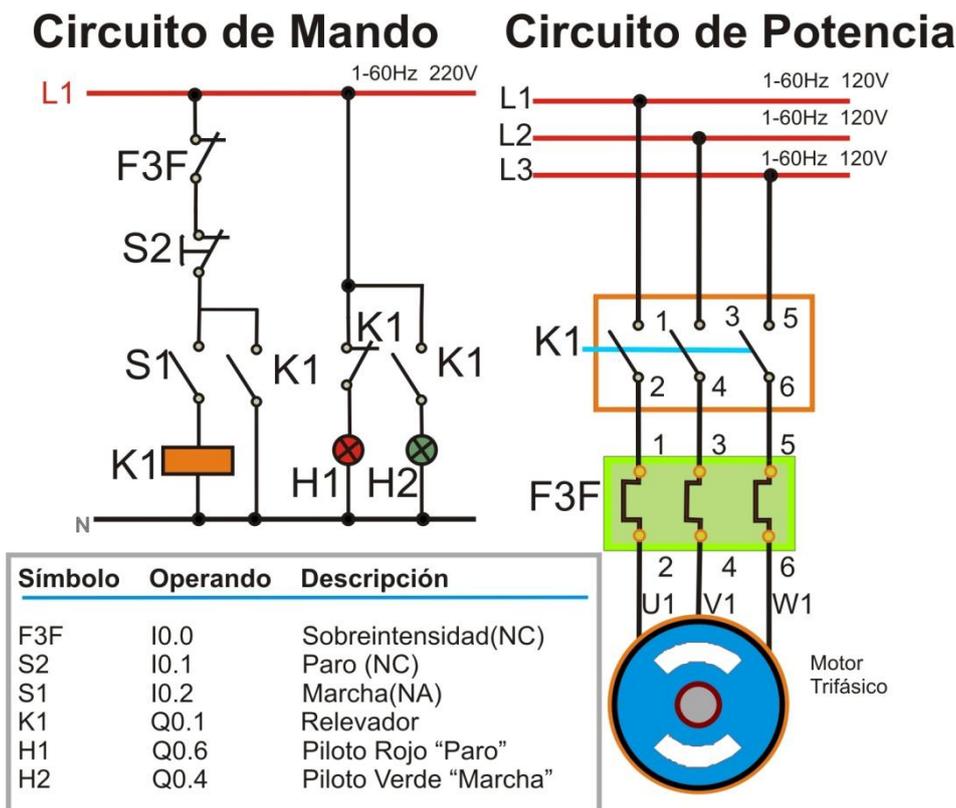


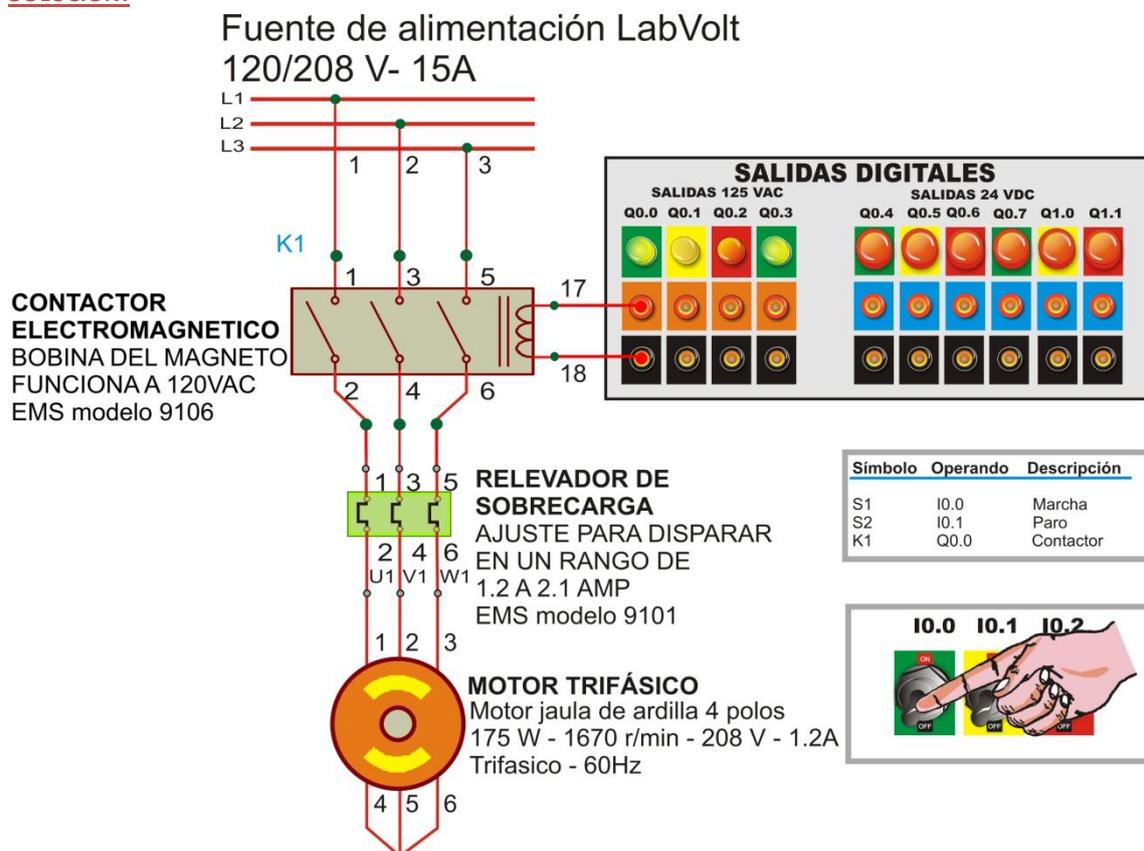
Figura P5. 1 Diagrama eléctrico de un arranque de motor trifásico.

El funcionamiento del circuito de potencia es como sigue: el contacto k1 se cablea en serie con un relevador de sobrecargas y este a su vez se cablea con el motor trifásico, el contactor es el que suministra o corta la energía al motor trifásico mientras que se implementa el relevador de sobrecargas como protección para el motor.

El funcionamiento del circuito de mando es como sigue: en el momento que se pulsa el pulsador de marcha (S1) se permite que pase la corriente conectando el relevador (K1M) que permanece conectado proporcionando una conexión que mantendrá el motor en marcha. El circuito se mantendrá conectado hasta que se pulse el interruptor de paro (S2) que interrumpirá el paso de corriente apagando el motor.

Programa en Lenguaje de contactos el circuito de mando que permita arrancar el motor desde un PLC, en caso de que se pulsen simultáneamente los pulsadores de paro y marcha, determine cuál tiene preferencia y como implementarlo.

**SOLUCIÓN.**



**Figura P5. 2** Diagrama de conexiones utilizando el sistema SAE-PLC para el arranque de un motor trifásico.

**Paso 5.1.** Primero se detectan las entradas y salidas, para esto se le asignarán de la siguiente manera.

Entradas: I0.0 = Marcha, I0.1 = Paro.

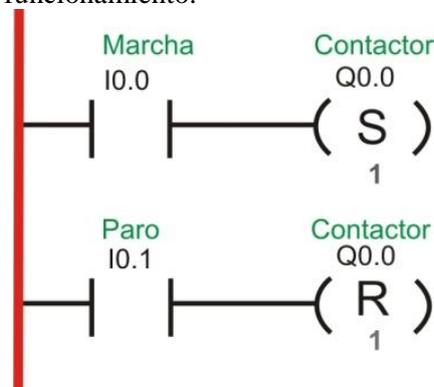
Salidas: Q0.0 = Contactor electromagnético bobina funciona a 120VAC.



Precaución: Se utilizan altos voltajes en la realización de ésta práctica ya que el usuario utiliza como salidas Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3 en el sistema SAE-PLC (120 VAC). No realice conexiones con el sistema encendido, revise conexiones antes de utilizar el sistema .

**Paso 5.2.** Implemente el circuito de la Figura P5.2 donde se muestra el cableado para arrancar un motor trifásico, los contactores y el motor que se utilizan en esta práctica son equipos que proporciona el sistema LabVolt que se encuentra instalado en el laboratorio de sistemas electrónicos de Potencia del Instituto de Laboratorios Avanzados de Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

**Paso 5.3.** Realice el diagrama de la Figura P5.3, muestra el diagrama de escalera de la solución al Ejercicio P5.1, explique su funcionamiento.



**Figura P5. 3** Diagrama de escalera del circuito de mando para encender y parar el motor trifásico.

**Explicación.** Cuando se activa I0.0 se mantiene activada la salida Q0.0, y solo se desactiva cuando se activa la entrada I0.1. El que tiene la mayor prioridad cuando ambos interruptores se activan es I0.1 debido a que es la última instrucción en el programa implementando en el lenguaje escalera.

**Paso 5.3.** Modifique y haga lo siguiente:

**EJERCICIO P5.2.** Modifique el programa de la Figura P5.3 considerando la adición de dos pilotos Verde y Rojo para indicar Marcha del motor y Paro del motor y la entrada para una señal de un fusible contra sobrecorrientes. Desarrolle e implemente con las correcciones correspondientes para la utilización de una única salida que es Q0.0, que es la encargada de energizar el contactor de paro y arranque del motor trifásico para los Ejercicios P3.1, P3.2, P3.5, P3.6. En caso de tener dudas pregunte a su asesor.



Los bornes para la utilización de las salidas Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3 o que tengan las etiquetas de color naranja se relacionan con 120 VAC, deben manejarse con cuidado debido a que pueden ocasionar graves accidentes por alto voltaje, pueden ocasionar daños serios al usuario y/o equipo, antes de utilizarlos revise bien las conexiones para evitar cortos circuitos u otros accidentes

**EJERCICIO P5.3.** *ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO Y CAMBIO DE GIRO.* Del Ejercicio P5.1 modifique el diagrama de potencia y de mando Figura P5.1 para que al momento que se pulsa el interruptor de marcha (S1) se permite que pase la corriente conectando el relé (K1M) que permanece conectado proporcionando una conexión que mantendrá el motor en marcha. El circuito se mantendrá conectado hasta que se pulse el interruptor de paro (S2) que interrumpirá el paso de corriente apagando el motor. Agregar un pulsador de cambio de giro para que cuando se pulse, energice un contactor para haga el cambio necesario para el cambio de giro de motor. Cabe señalar que se debe considerar para el cambio de giro un tiempo de espera de 10 s para que se pare completamente el motor trifásico y evitar un posible daño en el equipo.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 5.4.** Se detectan las que entradas y salidas, que se asignan de la siguiente manera.

Entradas: I0.0 = Marcha, I0.1 = Paro I0.2 = Cambio Giro.

Salidas: Q0.0 = Contactor 1 electromagnético, la bobina funciona a 120VAC.

Q0.1 = Contactor 2 electromagnético, la bobina funciona a 120VAC.



No activar al mismo tiempo los contactores responsables de hacer el cambio de giro del motor trifásico (K1 y K2), debido a que se ocasionan daños graves al equipo y/o usuario, antes de realizar la práctica cerciórese de que se cumpla esta condición, revise bien las conexiones para evitar cortos circuitos u otros accidentes.

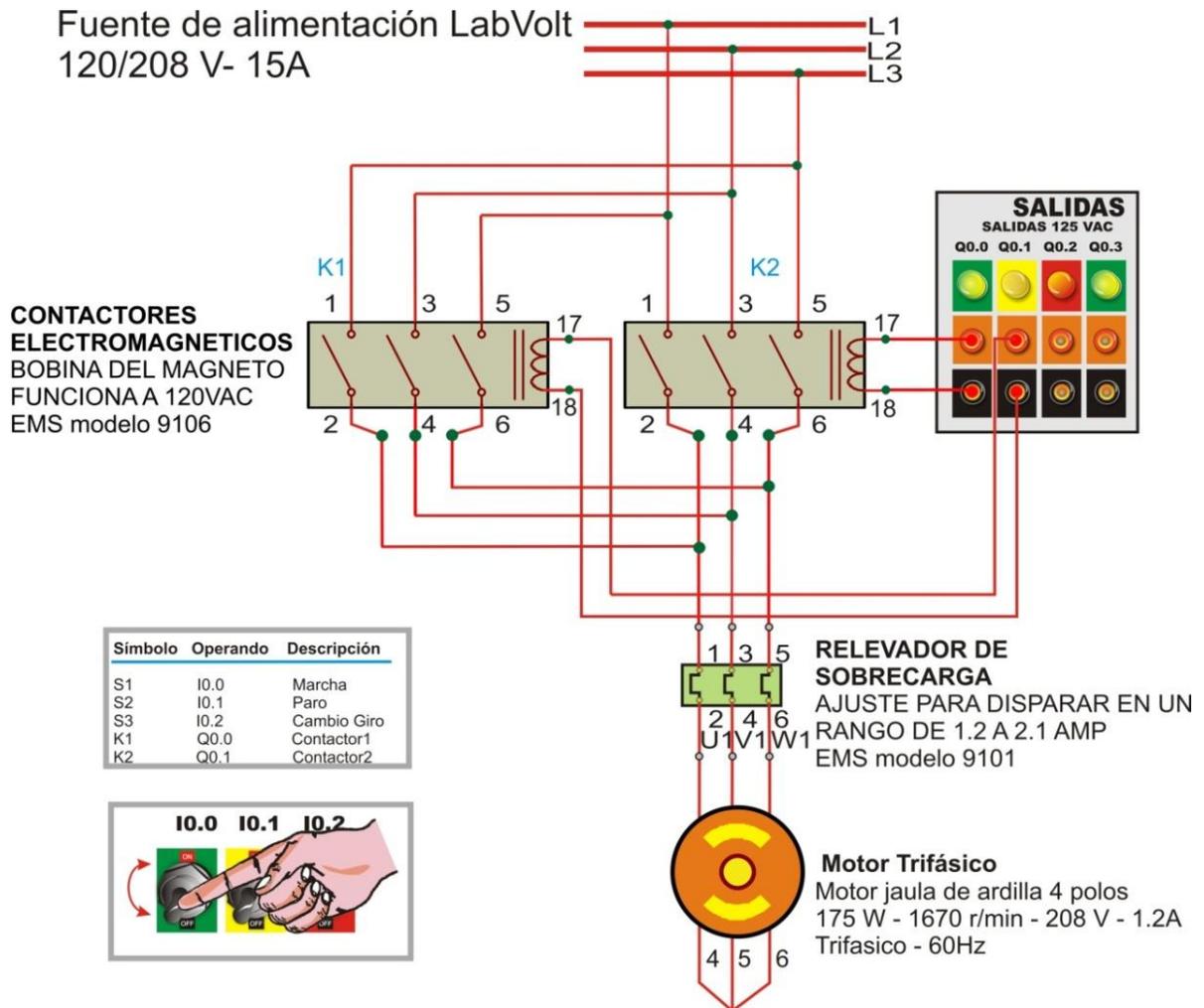


Figura P5. 4 Diagrama de conexiones utilizando el sistema SAE-PLC para el arranque y cambio de giro de un motor trifásico.

**Paso 5.5.** Implemente el circuito de la Figura P5.4 donde se muestra el cableado para arrancar un motor trifásico y cambio de giro, los contactores y el motor que se utilizan en esta práctica son equipos que proporciona el sistema LabVolt que se encuentra instalado en el laboratorio de sistemas electrónicos de Potencia del Instituto de Laboratorios Avanzados de Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

**Paso 5.6.** Realice el diagrama de la Figura P5.5, muestra el diagrama de escalera de la solución al Ejercicio P5.1, explique su funcionamiento.

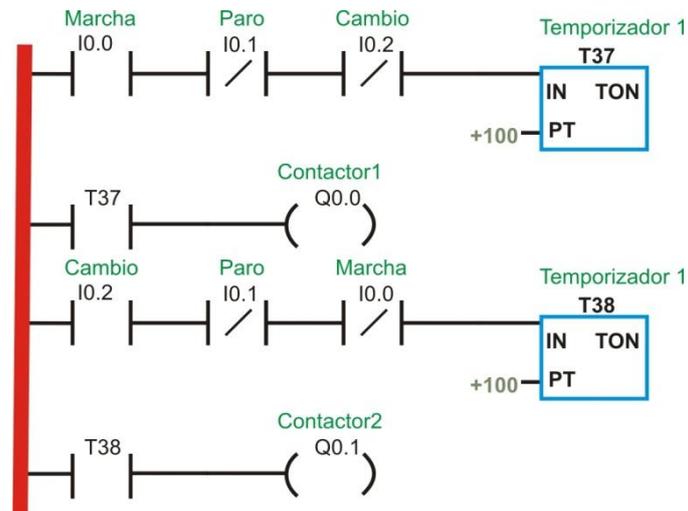


Figura P5. 5 Diagrama de escalera del circuito de mando para encender y parar el motor trifásico.

**Explicación.** Cuando se activa I0.0 y no se active I0.1 ni I0.2, empieza la cuenta del temporizador T37, una vez que se active T37 (después de  $T37=100\text{ms} \cdot 100=10\text{s}$  que es el tiempo que tarda para activarse) se activa la salida Q0.0. Cuando se active I0.2 y no se active I0.1 ni I0.0 empieza la cuenta del temporizador T38, una vez que se active T38 ( $T38 = 100 \text{ ms} \cdot 100 = 10 \text{ s}$  es el tiempo que tarda para activarse) se activa la salida Q0.1 que es el que se encarga de energizar el contactor que hace el cambio de giro del motor trifásico. Si se activa I0.1 o el interruptor de marcha y cambio se desactivan todas las salidas. No pueden activarse simultáneamente ambos contactores Q0.0 y Q0.1 porque causarían graves daños en el equipo.

#### Análisis de Resultados

- Se arranco un motor trifásico utilizando un contactor y un relevador para sobrecargas como protección mediante el uso de un PLC (SAE-PLC) como control de mando.



# Ejercicios

1. ¿Qué es un contactor?

---



---



---

2. ¿Qué es un contactor de sobrecorriente?

---



---



---



---

3. ¿Qué es un relevador de control?

---

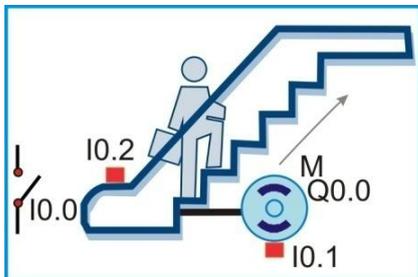


---



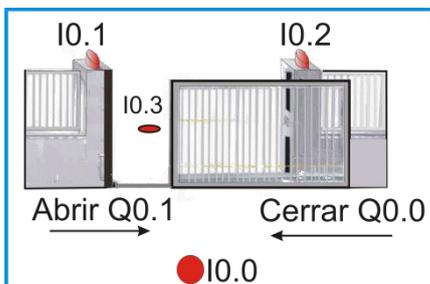
---

**EJERCICIO P5.4. CONTROL DE UNA ESCALERA MECÁNICA.** El control del motor trifásico de una escalera mecánica consta de un interruptor de emergencia; un sensor de temperatura del bobinado del motor que detiene la escalera en caso de sobrecalentamiento y un sensor óptico a la entrada de la misma para detectar la llegada de una persona. Se desea que el funcionamiento sea el siguiente: la escalera normalmente estará detenida y sólo se pondrá en marcha si se detecta la llegada de una persona a la misma (mediante el sensor). El trayecto de subida dura 5 segundos, y una vez finalizado el mismo la escalera debe detenerse. Se debe tener



cuidado con que no quede ninguna persona en mitad del recorrido si llega a la escalera cuando otra ya ha iniciado la subida. En todos los casos, si se acciona el interruptor de emergencia se detendrá la escalera y si se detecta un exceso de temperatura también. Para esto se define las entradas: IO.0=Interruptor emergencia (ON=0V, OFF=24V por seguridad), IO.1=Sensor temperatura (24V=OK, 0V=exceso temperatura), IO.2=Detector paso persona (24V = detección, 0V=no detección); y las salida Q0.0=Contactor motor escalera (120 VAC=marcha, 0 VAC=paro).

**EJERCICIO P5.5. APERTURA DE UNA PUERTA.** Realice e implemente un programa en lenguaje escalera en el PLC que controle la apertura de una puerta automática. Cuando se active el interruptor de apertura de puerta, la puerta se abre (si no estaba abierta) y cuando el vehículo se encuentra en el interior del recinto y presiona el sensor de paso la puerta se cierra. Como se ve en la figura las



entradas y salidas que intervendrán en el proceso de control. Entradas: IO.0=Interruptor de apertura de puerta, IO.1= Sensor de fin de carrera (puerta cerrada), IO.2=Sensor de fin de carrera (puerta abierta), IO.3=Sensor de paso de vehículos, Salidas: Q0.0= Cerrar puerta, Q0.1=abrir puerta.



## Ejercicios

1. ¿Qué es un contactor?

Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina.

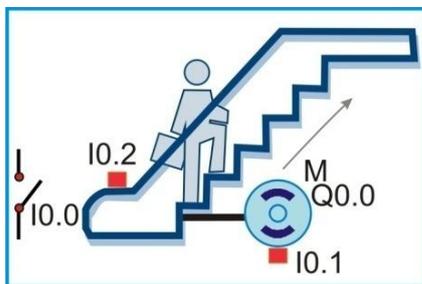
2. ¿Qué es un contactor de sobrecorriente?

El relevador de sobrecarga es un dispositivo de circuito de control, para proteger a un motor contra cargas excesivamente pesadas. En serie con los conductores de la línea del motor se conectan los elementos térmicos o magnéticos sensibles a la corriente. Cuando se produce algún valor determinado de corriente de sobrecarga, el relevador se dispara y corta la energía a los controles de arranque, lo que para el motor.

3. ¿Qué es un relevador de control?

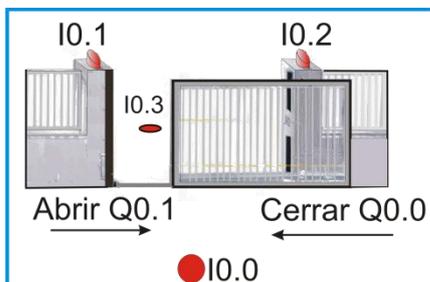
Los relevadores de control se diseñan para utilizarlos como dispositivos en circuitos pilotos, su potencia de operación es relativamente baja y se pueden clasificar como relevadores de trabajo ligero tipo sensible.

**EJERCICIO P5.2. CONTROL DE UNA ESCALERA MECÁNICA.** El control del motor trifásico de una escalera mecánica consta de un interruptor de emergencia; un sensor de temperatura del bobinado del motor que detiene la escalera en caso de sobrecalentamiento y un sensor óptico a la entrada de la misma para detectar la llegada de una persona. Se desea que el funcionamiento sea el siguiente: la escalera normalmente estará detenida y sólo se pondrá en marcha si se detecta la llegada de una persona a la misma (mediante el sensor). El trayecto de subida dura 5 segundos, y una vez finalizado el mismo la escalera debe detenerse. Se debe tener cuidado con que no quede ninguna persona en mitad del recorrido si llega a la escalera cuando otra ya ha iniciado la subida. En todos los casos, si se acciona el interruptor de emergencia se detendrá la escalera y si se detecta un exceso de temperatura también. Para esto se define las entradas:  $I0.0$  = Interruptor emergencia (ON = 0V, OFF = 24V por seguridad),  $I0.1$  =



Sensor temperatura (24V = OK, 0V = exceso temperatura),  $I0.2$  = Detector paso persona (24V = detección, 0V = no detección); y las salida  $Q0.0$  = Contactor motor escalera (120 VAC = marcha, 0 VAC = paro).

**EJERCICIO P5.3. APERTURA DE UNA PUERTA.** Realice e implemente un programa en lenguaje escalera en el PLC que controle la apertura de una puerta automática. Cuando se active el interruptor de apertura de puerta,



la puerta se abre (si no estaba abierta) y cuando el vehículo se encuentra en el interior del recinto y presiona el sensor de paso la puerta se cierra. Como se ve en la figura las entradas y salidas que intervendrán en el proceso de control. Entradas:  $I0.0$  = Interruptor de apertura de puerta,  $I0.1$  = Sensor de fin de carrera (puerta cerrada),  $I0.2$  = Sensor de fin de carrera (puerta abierta),  $I0.3$  = Sensor de paso de vehículos, Salidas:  $Q0.0$  = Cerrar puerta,  $Q0.1$  = abrir puerta.



*Título:*

## Práctica No.6. Neumática

### *Objetivo Específico*

Que el estudiante:

- Realice un sistema utilizando elementos electroneumáticos mediante el sistema de neumática FESTO y el sistema PLC.

### *Material y Equipo*

- Manual de Prácticas nivel Básico, apartado Practica No.6.
- Computadora con sistema operativo Windows XP
- Software STEP 7 MICRO/WIN ver. 3.0
- SAE-PLC Sistema de apoyo para la enseñanza de controladores Lógicos Programables.
- Sistema de Automatización Neumática FESTO.
- Cable PC/PPI configurado a 9.1 Kb/s.
- Puntas para fuente.
- Cable de alimentación para el SAE-PLC.
- Compresor.

### *Introducción Teórica*

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. El aire es un material elástico y por tanto, al aplicarle una fuerza, se comprime, mantiene esta compresión y devolverá la energía acumulada cuando se le permita expandirse, según la ley de los gases ideales. La energía neumática es el diferencial de presión de aire utilizada para provocar movimiento en diferentes sistemas (para inflar neumáticos y o poner sistemas en movimiento).

Los mandos neumáticos están constituidos por elementos de señalización, elementos de mando y un aporte de trabajo. Los elementos de señalización y mando modulan las fases de trabajo de los elementos de trabajo y se denominan válvulas. Los sistemas neumáticos e hidráulicos están constituidos por: Elementos de información, mando y de trabajo.

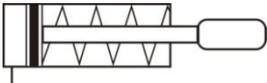
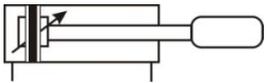
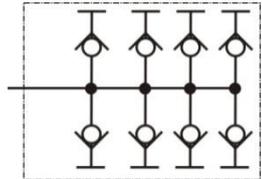
### *Procedimiento*

**Paso 6.1.** Reconozca los elementos con los que se trabajará en esta práctica. Para esto vea la Tabla P6.1 donde se muestra el equipo del sistema de automatización FESTO de neumática con el que cuenta la Universidad Tecnológica de la Mixteca. En la tabla se da una descripción breve sobre las características de cada equipo o su función, para lo cual la información presentada en la tabla nos será útil en el sistema a implementar.

### Seguridad

- Se debe tener cuidado al montar los componentes y equipo, los componentes de neumática deben ser montados en la placa perfilada de forma firme y segura. Aplique aire comprimido sólo hasta que se hayan asegurado todas las conexiones de la práctica a realizar.
- Cuando se aplique aire comprimido se debe tener cuidado ya que los equipos utilizados como los cilindros de simple y doble efecto pueden avanzar y retroceder al momento de que se les suministre aire por el compresor.
- No debe desconectar líneas de aire que estén bajo presión, cuando note que exista líneas sueltas desconecte el aire.
- No trabaje cuando el compresor sobrepase la presión de trabajo máximo permitida de 8 bar.



Figura	Descripción	Símbolo
	<p><b>Cilindro de simple efecto con leva de control.</b> Este equipo viene incluido con el sistema de neumática FESTO, puede montarse sobre una placa perfilada de aluminio, logrando fijarse rápidamente mediante dos tuercas. Construcción: Cilindro de émbolo. Presión de funcionamiento: Máximo 1000 kPa (10 bar). Carrera: Máximo 50 mm. Fuerza a 600 kPa (6 bar): 150 N. Fuerza mínima del muelle de retorno: 13,5 N.</p>	
	<p><b>Cilindro de doble efecto con leva de control.</b> Amortiguaciones de final de recorrido regulables. En el émbolo hay dispuesto un imán permanente. Su campo magnético puede accionar un interruptor de proximidad. Construcción: Cilindro de émbolo. Presión de funcionamiento: Máximo 1000 kPa (10 bar). Carrera: Máximo 100 mm. Fuerza a 600 kPa (6 bar): 165 N. Fuerza de retroceso a 600 kPa (6 bar): 140 N.</p>	
	<p><b>Distribuidor de aire con ocho válvulas de antirretorno autocerrantes.</b> Un distribuidor común (QS-6 para tubo de plástico PUN 6 x 1) permite alimentar aire comprimido al control a través de ocho conexiones individuales (QS-4 para tubo de plástico PUN 4 x 0.75). Conexión: G 1/8.</p>	

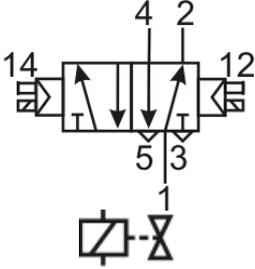
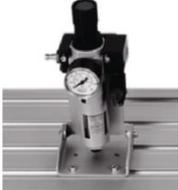
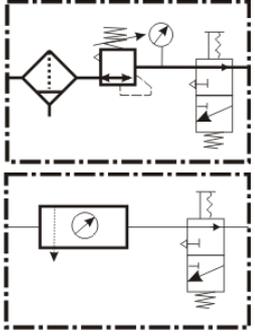
	<p><b>Electrovalvula de 5/2 vías, doble solenoide.</b> Las señales de conmutación están indicadas por LED's en el cuerpo. La válvula está dotada de dos accionamientos manuales. Las conexiones eléctricas están protegidas ante polaridad incorrecta para el LED y poseen circuito supresor.</p> <p><b>Neumática:</b> Construcción: Válvula de corredera, pilotada. Margen de presión: 150–800 kPa (1,5–8 bar). Tiempo de respuesta a 600 kPa (6 bar): 10 ms. Caudal nominal 1...2 y 1...4: 500 l/min.</p> <p><b>Eléctrico:</b> Consumo: 1.5 W. Ciclo de trabajo: 100 % .</p>	
	<p><b>Filtro regulador con manómetro.</b> Se puede montar en la placa perfilada por medio de tornillos y tuercas. El filtro limpia el aire comprimido de suciedad, posibles virutas en la tubería, óxidos y agua. Permite el ajuste de aire suministrado a la presión requerida para el funcionamiento del equipo compensando así las fluctuaciones de presión de entrada.</p>	

Tabla P6. 1 Tabla de información del sistema de automatización FESTO.

Una vez que se han conocido los elementos del equipo con el que se trabaja para el desarrollo de esta práctica, identifique las entradas y salidas que posee cada equipo y proceda a resolver el Ejercicio P6.1.

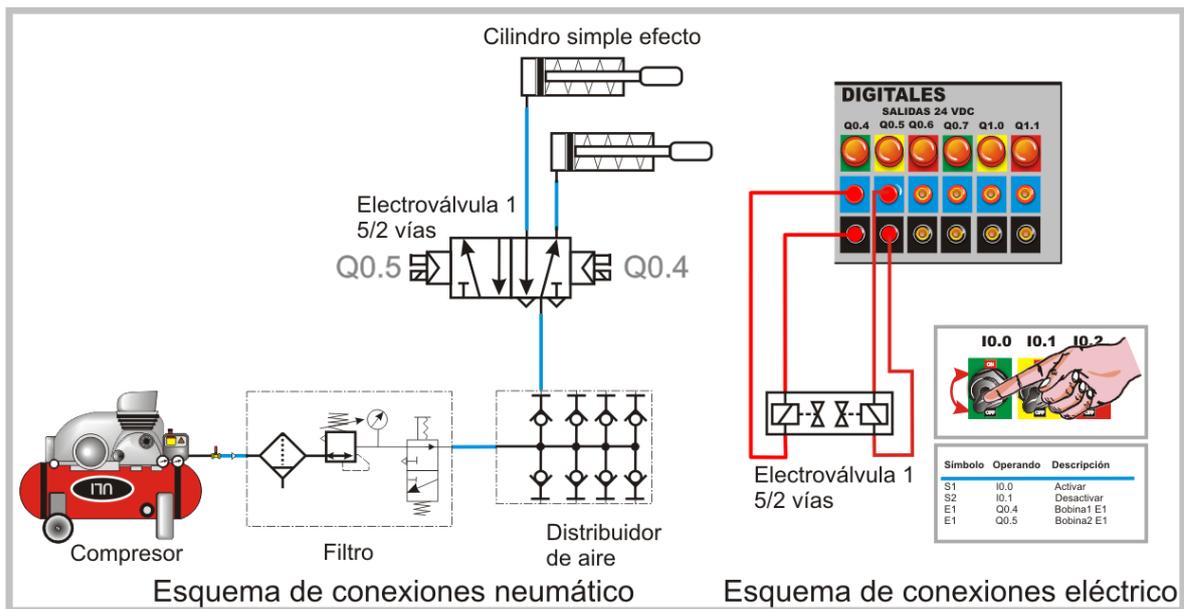
**EJERCICIO P6.1.** ACTIVACIÓN DE UN CILINDRO DE SIMPLE EFECTO. Se desea activar y desactivar un cilindro de control de simple efecto. Con la activación de un pulsador se activa el cilindro y con otro pulsador se desactiva.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 6.2.** Se detectan las entradas y salidas, que se asignan de la siguiente manera.

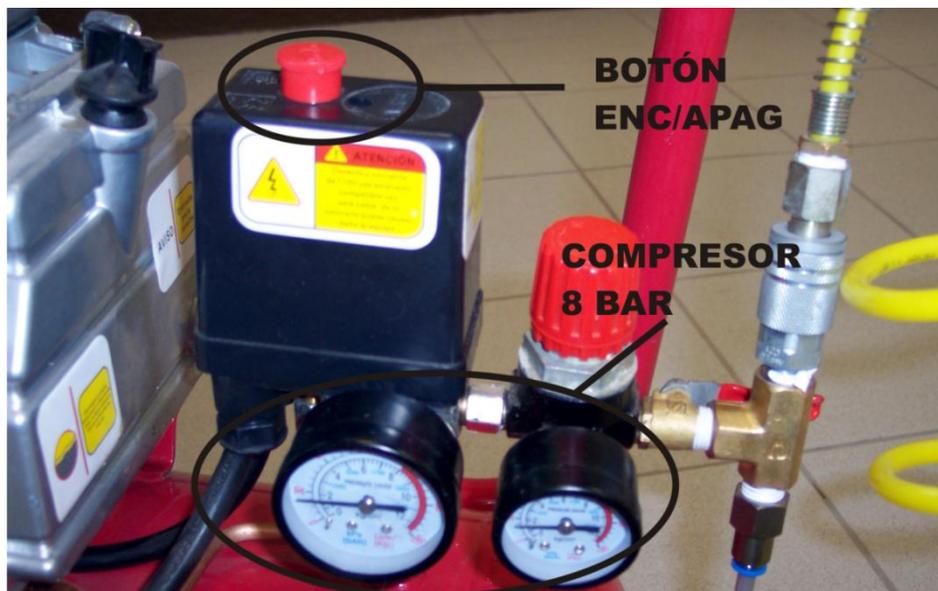
- Entradas: I0.0 = Activar, I0.1 = Desactivar.
- Salidas: Q0.4 = Bobina1 de la electroválvula 1 de 5/2 vías.
- Q0.5 = Bobina2 de la electroválvula 1 de 5/2 vías.

**Paso 6.3.** Implemente el esquema de conexiones de la Figura P6.1 donde se muestra el cableado neumático y electrónico para activar y desactivar un cilindro de simple efecto utilizando el kit de automatización de neumática con el que cuenta la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Las conexiones neumáticas se realizan mediante tubos de plástico con el que cuenta el kit FESTO que distribuyen el aire de proviene del compresor a todo el sistema y las conexiones eléctricas se realiza mediante puntas para fuente con terminaciones tipo banana.



**Figura P6. 1** Diagrama de conexiones utilizando el sistema SAE-PLC para la activación y desactivación de un cilindro de simple efecto utilizando el equipo de neumática FESTO.

**Paso 6.4.** Una vez que se ha montado el diagrama de la Figura P6.1 procedemos suministrar de aire al circuito mediante el funcionamiento del compresor de aire 2.5 HP, lo conectamos a la red eléctrica y activamos el botón de encendido y lo ponemos en marcha hasta que el manómetro con el que viene incorporado indique un presión de 6 bar que es con el nivel con el que estaremos trabajando. Una vez que haya alcanzado dicho nivel se apaga el compresor. Se puede ver claramente en la Figura P6.2 el botón de marcha y paro del compresor.



**Figura P6. 2** Elementos del compresor de aire 2.5HP con un tanque de 25lts.

**Paso 6.5.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P6.3, explique su funcionamiento corriendo el programa y activando y desactivando el interruptor IO.0, IO.1.

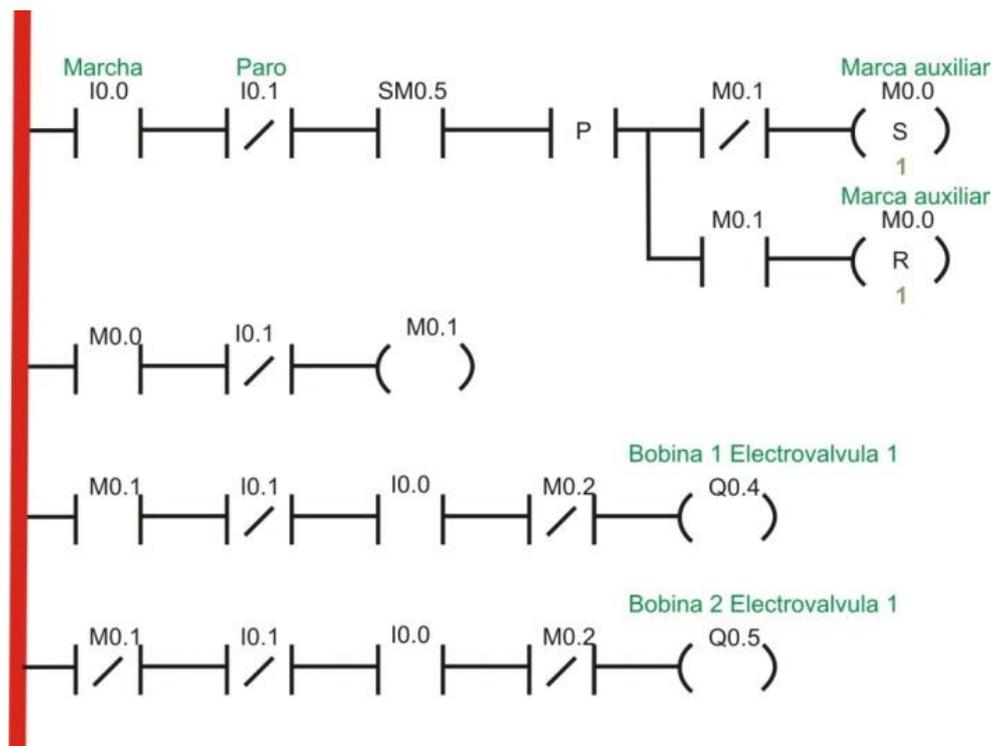


Figura P6. 3 Diagrama de escalera de la solución del Ejercicio P6.1.

**EJERCICIO P6.2.** ACTIVACIÓN DE UN CILINDRO DE DOBLE EFECTO. Se desea activar y desactivar un cilindro de control de doble efecto. Con la activación de un pulsador se activa el cilindro y con otro pulsador se desactivará.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 6.2.** Se detectan las entradas y salidas, que se asignan de la siguiente manera.

Entradas: I0.0 = Activar, I0.1 = Desactivar.

Salidas: Q0.4 = Bobina1 de la electroválvula 1 de 5/2 vías.

Q0.5 = Bobina2 de la electroválvula 1 de 5/2 vías.

**Paso 6.3.** Implemente el esquema de conexiones de la Figura P6.1 donde se muestra el cableado neumático y eléctrico para activar y desactivar un cilindro de doble efecto utilizando, como se puede apreciar en la Figura P6.4 es similar al esquema que se utiliza para el cilindro de simple efecto.

**Paso 6.4.** Utilice el diagrama de escalera de la Figura P6.3, explique su funcionamiento corriendo el programa y activando y desactivando el interruptor I0.0, I0.1.

**Paso 6.5.** A continuación se muestra la Figura P6.5 donde se pueden ver como se implementan funciones Booleanas utilizando elementos de neumáticas, implemente estas funciones con el PLC y utilizando un cilindro de doble efecto como salida.

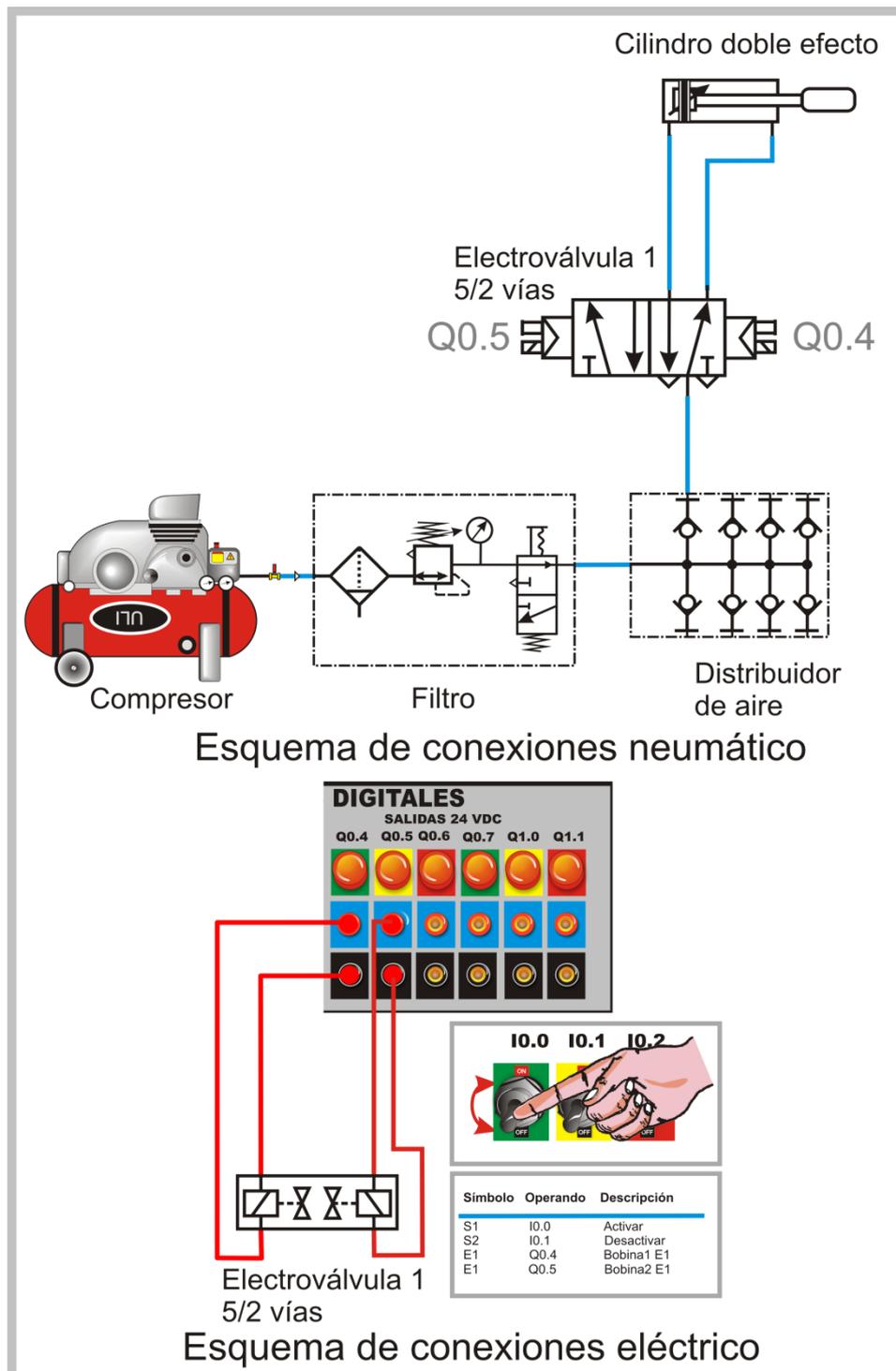


Figura P6. 4 Diagrama de conexiones utilizando el sistema SAE-PLC para la activación y desactivación de un cilindro de doble efecto utilizando el equipo de neumática FESTO.

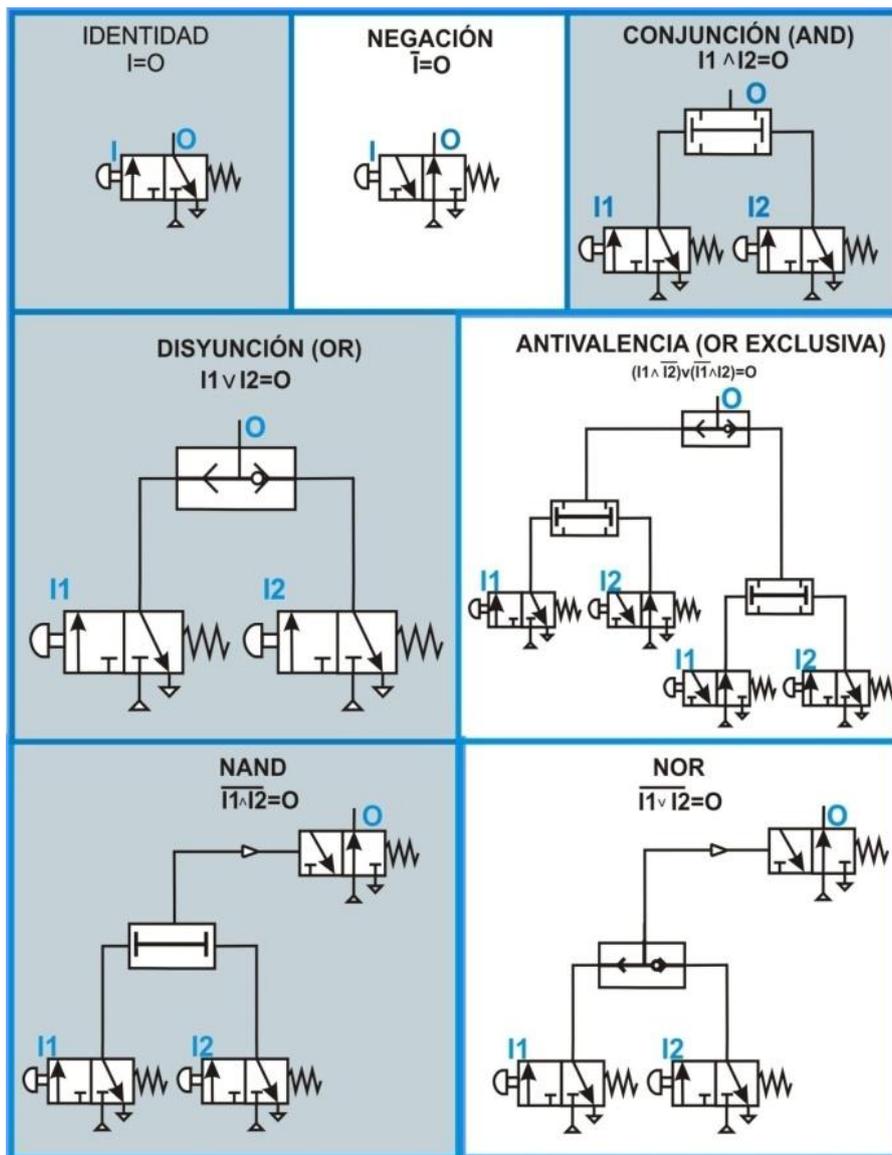


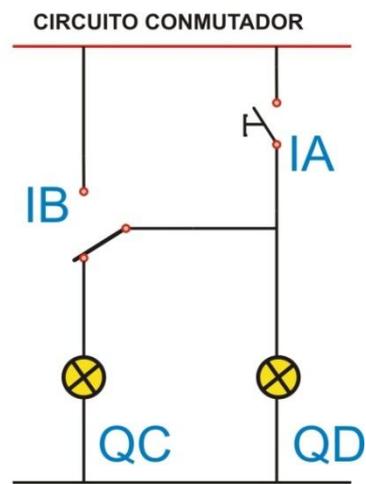
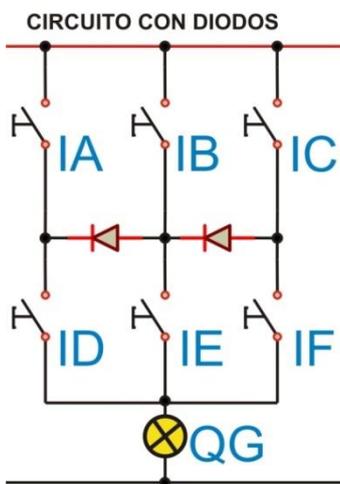
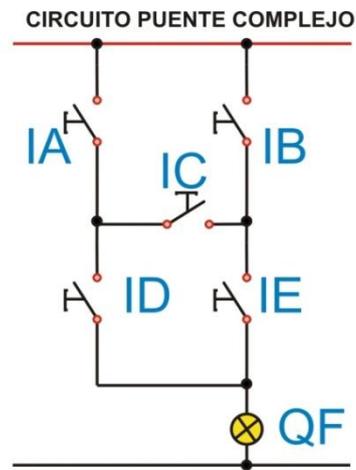
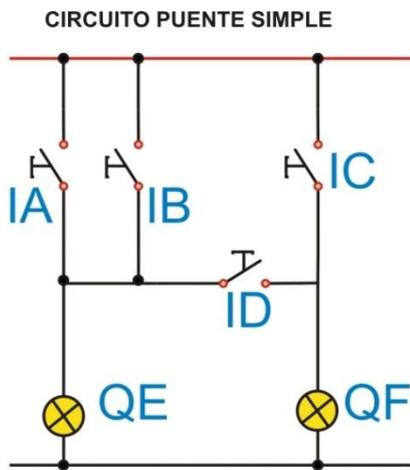
Figura P6. 5 Operaciones Booleanas implementadas en neumática, para las funciones con AND se ocupan las válvulas de simultaneidad, y para la función OR se ocupan válvulas selectoras.

### Análisis de Resultados

- Se realizó un diagrama de escalera que muestra la activación y desactivación de un cilindro de simple efecto y un cilindro de doble efecto utilizando el sistema SAE-PLC en conjunto con el equipo de automatización en neumática FESTO.

# Ejercicios

Implemente lo siguientes diagramas eléctricos en el STEP7 Micro WIN y como salida utilice un cilindro de simple efecto:



*Título:*

## **Práctica No.7. Sensores**

### *Objetivo Específico*

Que el estudiante:

- Realice un sistema utilizando sensores mecánicos como entradas de señal digital externas utilizando el SAE-PLC.

### *Material y Equipo*

- Manual de Prácticas, apartado Practica No.7.
- Computadora con sistema operativo Windows XP
- Software STEP 7 MICRO/WIN ver. 3.0.
- SAE-PLC.
- Cable de alimentación.
- Cable PC/PPI configurado a 9.1 Kb/s.
- Puntas para fuente.
- Sistema de automatización de neumática FESTO
- Compresor.

### *Introducción Teórica*

Un sensor es un dispositivo que mide una cantidad y por lo general la medición la convierte a una señal eléctrica. Tiene como tarea captar información de cómo se está realizando el trabajo por lo que es el elemento que cierra el lazo de control de un sistema. Los sensores pueden ser de dos tipos: analógicos y digitales.

En el mercado existen una gran variedad de tipos de sensores los cuales destacan los de acción mecánica, de acción magnética, de acción capacitiva y de acción neumática.

Los interruptores mecánicos se utilizan para desconectar una máquina mediante sensores límites de carrera, también son utilizados para limitar el avance de una máquina como puede ser un ascensor. Para poder activar los interruptores mecánicos es necesario de contacto físico entre la máquina y la palanca del interruptor. Se utilizan en ambientes donde no es permitido el uso de sensores capacitivos o inductivos.

Los sensores de proximidad inductivos incorporan una bobina electromagnética la cual se utiliza para detectar la presencia de un objeto metálico conductor. Este tipo de sensor ignora objetos no metálicos.

Los sensores de proximidad capacitivos son similares a los inductivos. La diferencia entre los dos tipos es que los sensores capacitivos producen un campo electrostático en lugar de un campo electromagnético. Los sensores capacitivos reconocen objetos metálicos también como materiales no metálicos como papel, vidrio, líquidos y tela.

En esta práctica se utilizará la operación Incrementar contador (Tabla P7.1).

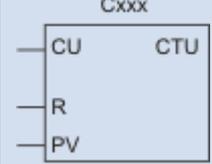
Símbolo	Descripción
	<p>La operación Incrementar contador (CTU) empieza a contar adelante a partir del valor actual cuando se produce un flanco positivo en la entrada de contaje adelante CU. Si el valor actual (Cxxx) es mayor o igual al valor de preselección (PV), se activa el bit de contaje (Cxxx). El contador se inicializa cuando se activa la entrada de desactivación (R) o al ejecutarse la operación Poner a 0 (Reset). El contador se detiene cuando el valor de contaje alcance el valor límite superior (32.767). Rangos de contaje: Cxxx=C0 hasta C255.</p>

Tabla P7. 1 Operación del STEP 7.

### Procedimiento

#### Seguridad

- Se debe tener cuidado al montar los componentes y equipo, los componentes de neumática deben ser montados en la placa perfilada de forma firme y segura. Aplique aire comprimido sólo hasta que se hayan asegurado todas las conexiones de la práctica a realizar.
- Cuando se aplique aire comprimido se debe tener cuidado ya que los equipos utilizados como los cilindros de simple y doble efecto pueden avanzar y retroceder al momento de que se les suministre aire por el compresor.
- No debe desconectar líneas de aire que estén bajo presión, cuando note que exista líneas sueltas desconecte el aire.
- No trabaje cuando el compresor sobrepase la presión de trabajo máxima permitida de 8 bar.



**Paso 7.1.** Reconozca los elementos con los que vamos a trabajar en esta práctica. Para esto vea la tabla 7.2 donde se muestran los sensores que posee el equipo del sistema de automatización FESTO de neumática con el que cuenta la Universidad Tecnológica de la Mixteca. En la tabla se da una descripción breve sobre las características de cada equipo o su función, para lo cual la información presentada en la tabla nos será útil en el sistema a implementar.

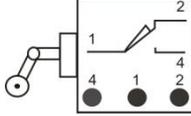
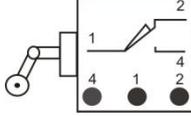
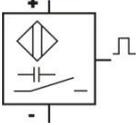
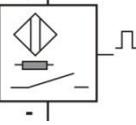
Figura	Descripción	Símbolo
	<p><b>Final de carrera izquierda</b> El final de carrera eléctrico tiene un microinterruptor accionado mecánicamente. Cuando se presiona el rodillo, por ejemplo con la leva de un cilindro, se acciona el microinterruptor. El circuito se cierra o se abre a través de los contactos. El microinterruptor puede cablearse como normalmente abierto, normalmente cerrado o como conmutador. Carga de los contactos: Máximo 5 A. Frecuencia de conmutación: Máximo 200 Hz. Precisión repetitiva: 0.2 mm. Recorrido del interruptor: 2.7 mm. Fuerza de accionamiento: 5 N.</p>	
	<p><b>Final de carrera derecha.</b> El final de carrera eléctrico tiene un microinterruptor accionado mecánicamente. Cuando se presiona el rodillo, por ejemplo con la leva de un cilindro, se acciona el microinterruptor. El circuito se cierra o se abre a través de los contactos. El microinterruptor puede cablearse como normalmente abierto, normalmente cerrado o como conmutador. Carga de los contactos: Máximo 5 A. Frecuencia de conmutación: Máximo 200 Hz. Precisión repetitiva: 0.2 mm. Recorrido del interruptor: 2.7 mm. Fuerza de accionamiento: 5 N.</p>	
	<p><b>Sensor de proximidad capacitivo.</b> Interruptor de proximidad que detecta la presencia de objetos conductores por un cambio en la capacitancia y emite una señal. El sensor de proximidad tiene salida PNP y está diseñado como contacto normalmente abierto. Un LED amarillo indica el estado. El interruptor está protegido contra polaridad inversa, sobrecarga y cortocircuito. Tensión de conmutación: 10 –30 V DC. Distancia nominal de conmutación: 4 mm. Frecuencia de conmutación: Máximo 100 Hz. Función de salida: Contacto normalmente abierto, conmutación positiva. Corriente de salida: Máximo 200 mA</p>	
	<p><b>Sensor proximidad inductivo.</b> Interruptor de proximidad que detecta la presencia de objetos conductores por un cambio en la inductancia y emite una señal. El sensor de proximidad tiene salida PNP y está diseñado como contacto normalmente abierto. Un LED amarillo indica el estado. El interruptor está protegido contra polaridad inversa y cortocircuito. Tensión de conmutación: 10 – 30 V DC. Distancia nominal de conmutación: 4 mm (material S 235 JR). Frecuencia de conmutación: Máximo 800 Hz. Función de salida: Contacto normalmente abierto, conmutación positiva. Corriente de salida: Máximo 400 mA.</p>	

Tabla P7. 2 Características de los sensores del sistema de automatización en neumática FESTO.

Una vez conocido el equipo con el que se trabajará para el desarrollo de esta práctica, identifique las entradas y salidas que posee cada equipo y se proceda a resolver el Ejercicio P7.1.

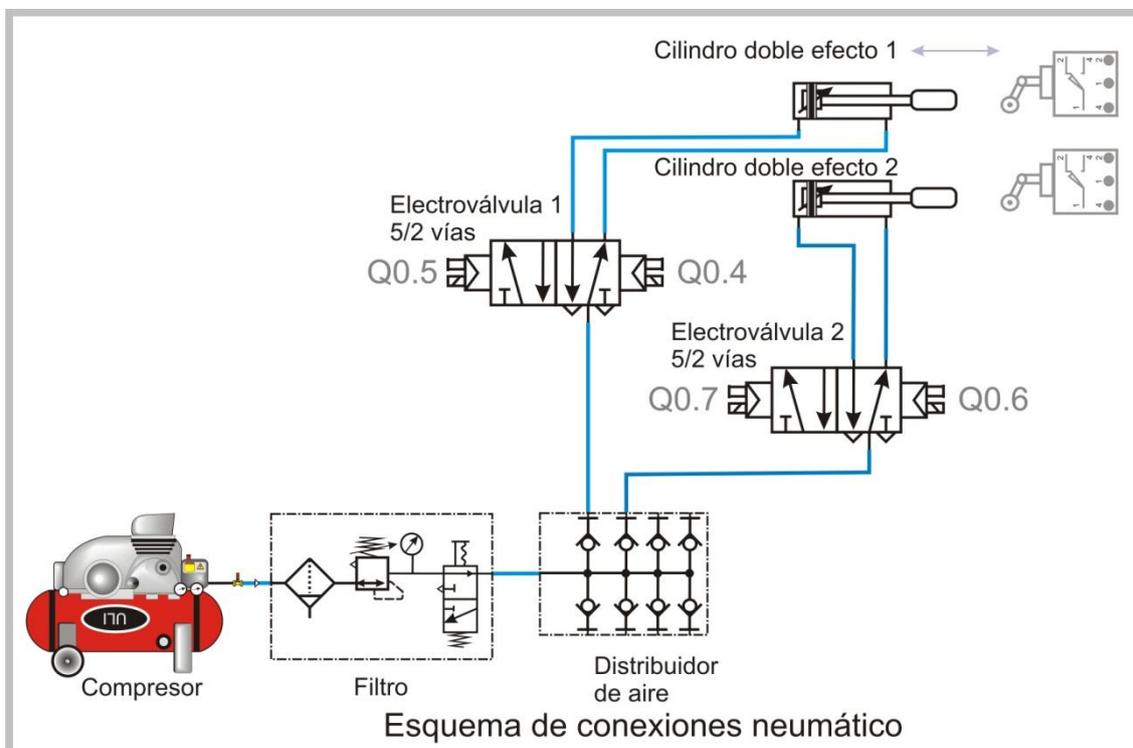
**EJERCICIO P7.1. SENSORES MECÁNICOS FINAL DE CARRERA.** Realice un programa en diagrama de escalera que mediante sensores mecánicos cuente 10 veces la activación de un cilindro de doble efecto y posteriormente active el funcionamiento de un segundo cilindro de doble efecto y con ayuda de otro sensor mecánico cuente otras 10 veces su activación. Una vez realizado el ciclo vuelva a activar la secuencia empezando con el funcionamiento del primer cilindro de doble efecto.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 7.2.** Se detectan las entradas y salidas, para esto se le asignarán de la siguiente manera.

Entradas: I0.0 = Marcha, I0.1 = Paro.

Salidas: Q0.4 = Bobina 1 de la electroválvula 1 de 5/2 vías.  
 Q0.5 = Bobina 2 de la electroválvula 1 de 5/2 vías.  
 Q0.6 = Bobina 1 de la electroválvula 2 de 5/2 vías.  
 Q0.7 = Bobina 2 de la electroválvula 2 de 5/2 vías.



**Figura P7. 1** Diagrama de conexiones neumático utilizando sensores mecánicos del equipo FESTO.

**Paso 7.3.** Implemente el esquema de conexiones de la Figura P7.1 donde se muestra el cableado neumático y eléctrico. Donde se puede ver que hemos utilizado los sensores mecánicos final de carrera, así como estamos utilizando la funcionalidad del sistema SAE-PLC en relación de que puede recibir señales digitales externas de 24 VDC. Cabe señalar que a las entradas de las señales digitales externas del SAE-PLC no hemos conectado la tierra debido a que internamente ya se encuentra conectada la tierra de la fuente de 24 VDC del sistema con la tierra en el PLC.

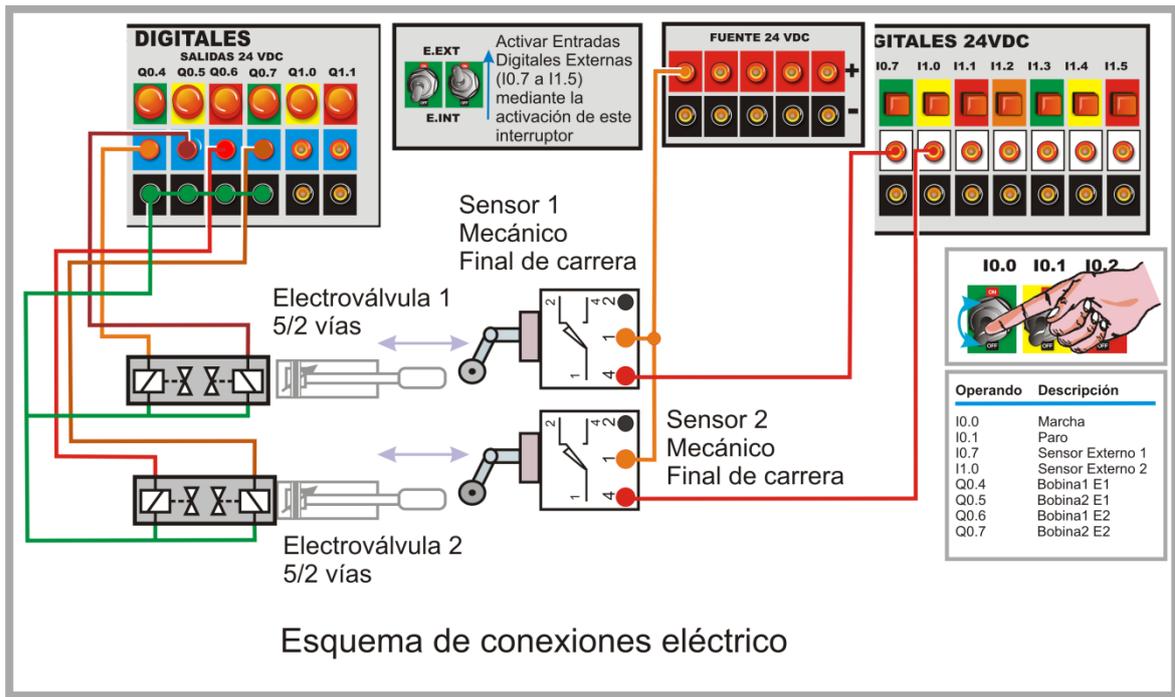


Figura P7. 2 Diagrama de conexiones eléctrico utilizando sensores mecánicos en el sistema SAE-PLC.

**Paso 7.4.** Se debe tener en cuenta que para esta práctica se debe activar el interruptor que activa los relevadores del sistema SAE-PLC para que se puedan conectar señales digitales externas. Una vez que hemos montado el diagrama de la Figura P7.1 procedemos suministrar de aire al circuito mediante el funcionamiento del compresor de aire 2.5 HP, lo conectamos a la red eléctrica y activamos el botón de encendido y lo ponemos en marcha hasta que el manómetro con el que viene incorporado indique una presión de 6 bar que es con el nivel con el que se trabajará. Una vez que haya alcanzado dicho nivel se apaga el compresor. Se puede ver claramente en la Figura P7.3 el botón de marcha y paro del compresor.

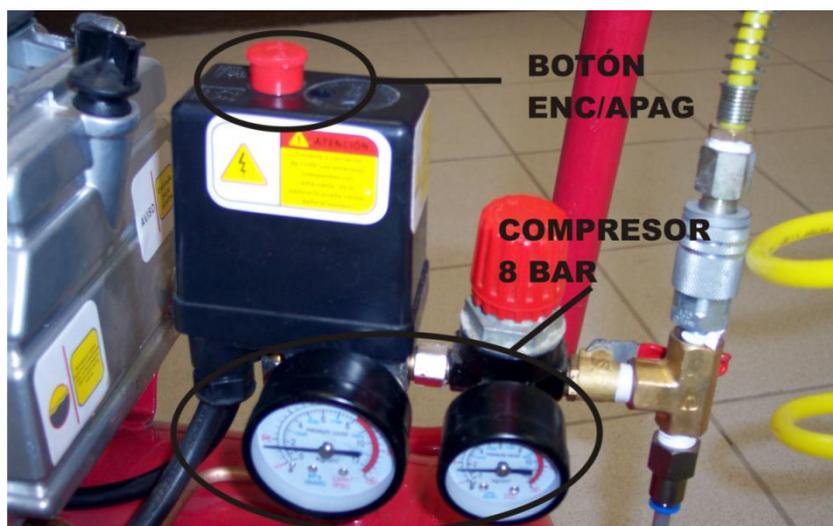


Figura P7. 3 Elementos del compresor de aire 2.5HP con un tanque de 25lts.

**Paso 7.6.** Implemente el diagrama de escalera de la Figura P7.3, explique su funcionamiento corriendo el programa y active y desactive el interruptor IO.0, IO.1.

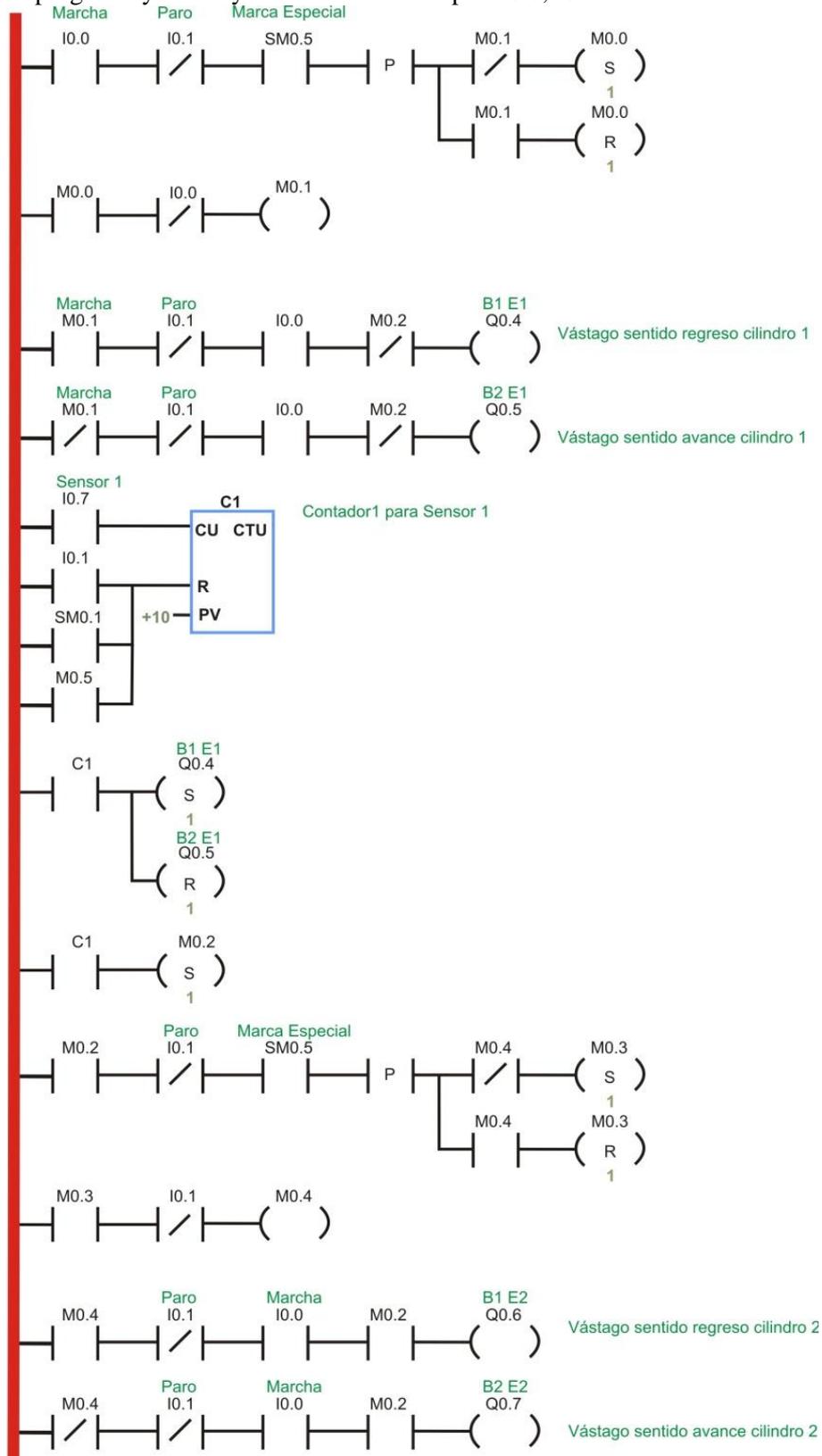


Figura P7. 4 Solución Ejercicio P7.1

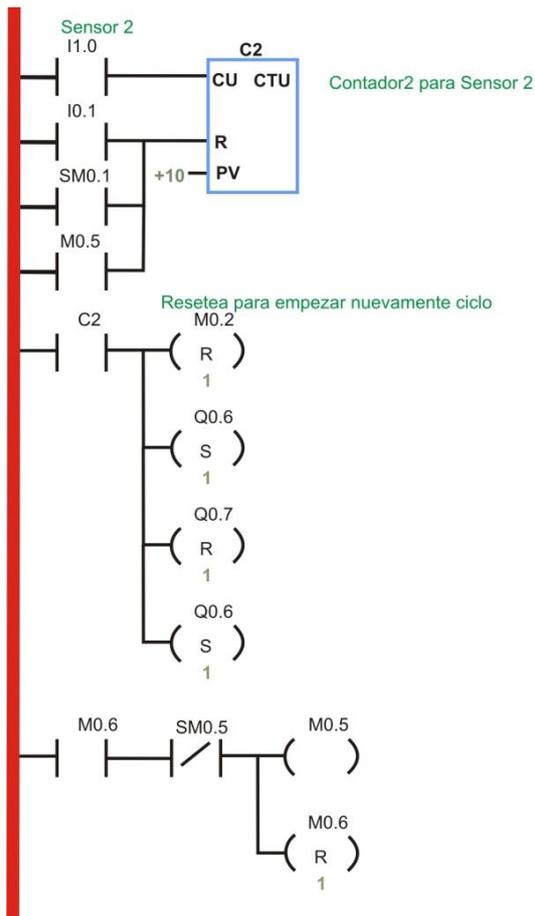


Figura P7.4. Continuación solución Ejercicio P7.1

**Paso 7.7.** Modifique si es necesario los diagramas en escalera de manera que los sensores mecánicos se puedan sustituir por un sensor inductivo y un sensor capacitivo. Para esto vea la Figura P7.5 donde se muestra como se alimentan estos sensores.

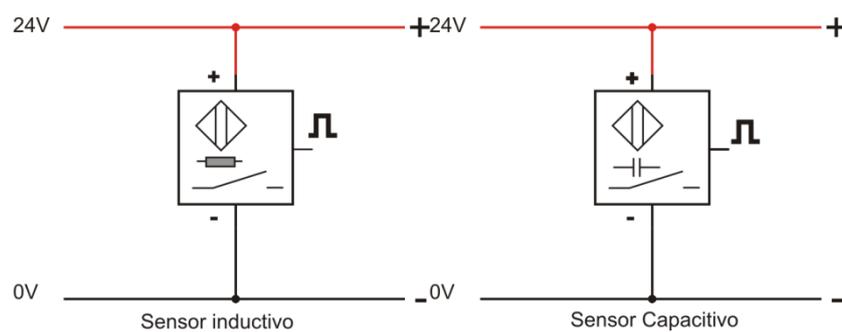


Figura P7. 5 Sensor de proximidad inductivo y sensor de proximidad capacitivo.

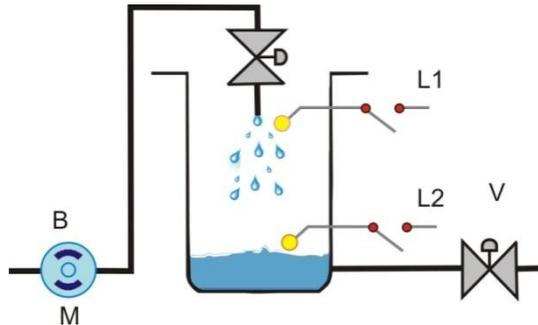
### Análisis de Resultados

- Se realizó un diagrama de escalera que muestra cómo se pueden utilizar sensores en el SAE-PLC en conjuntos con el sistema de automatización en neumática de FESTO.

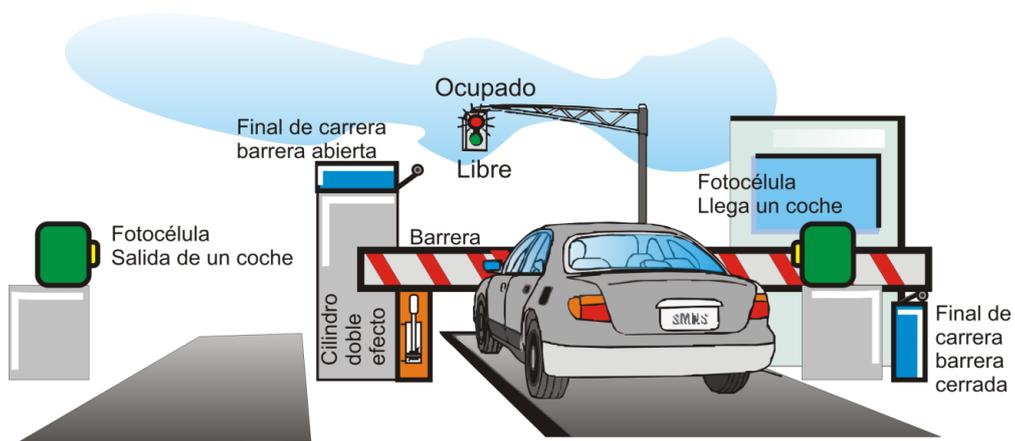
## Ejercicios

Resuelva los siguientes ejercicios propuestos utilizando el software STEP7 Micro WIN::

**EJERCICIO P5.2. CONTROL DE NIVEL DE AGUA.** En la instalación de la Figura el nivel del agua en el tanque debe mantenerse en todo momento entre L1 y L2, donde L1 y L2 son dos sensores de niveles digitales, B es una bomba de agua de ingreso de agua, y se coloca una válvula de desagüe del tanque la cual no forma parte del esquema de control.



**EJERCICIO P5.2. ESTACIONAMIENTO.** Cuando un auto llega al estacionamiento y exista lugares disponibles se procede a abrir la barrera. A la salida del estacionamiento no tenemos barrera. Cuando se retire un auto del estacionamiento simplemente sabemos que ha salido por la fotocélula de salida. En el estacionamiento caben 15 autos. Cuando el estacionamiento tenga menos de 15 coches mantenga activa la luz verde de libre. Cuando el estacionamiento este lleno encienda la luz roja de no disponible para estacionar. Cuando llegue un auto y no exista lugares disponibles no abra la barrera.



**Título:**

**Práctica No.8. Señales analógicas.**

**Objetivo Específico**

Que el estudiante:

- Realizar un sistema utilizando la entrada y salida analógica que provee el SAE-PLC mediante el módulo de ampliación EM235 de siemens.

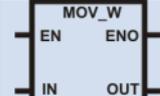
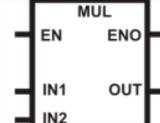
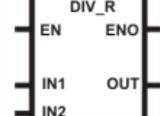
**Material y Equipo**

- Manual de Prácticas, apartado Práctica No.8.
- Computadora con sistema operativo Windows XP.
- Software STEP 7 MICRO/WIN ver. 3.0.
- Sistema SAE-PLC.
- Cable de alimentación.
- Cable PC/PPI configurado a 9.1 Kb/s.
- Puntas para fuente.

**Introducción Teórica**

Una señal analógica es un tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que es representable mediante una función matemática continua en la que es variable su amplitud (distancia máxima entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio) y periodo (tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes de la onda) en función del tiempo. Una señal de entrada analógica es una señal continua es decir ininterrumpida. Las entradas analógicas comunes son de corriente (0 a 20mA y 4 a 20mA) y de voltaje (0 a 10V).

A continuación en la Tabla P8.1 se enuncian operaciones utilizadas en esta práctica

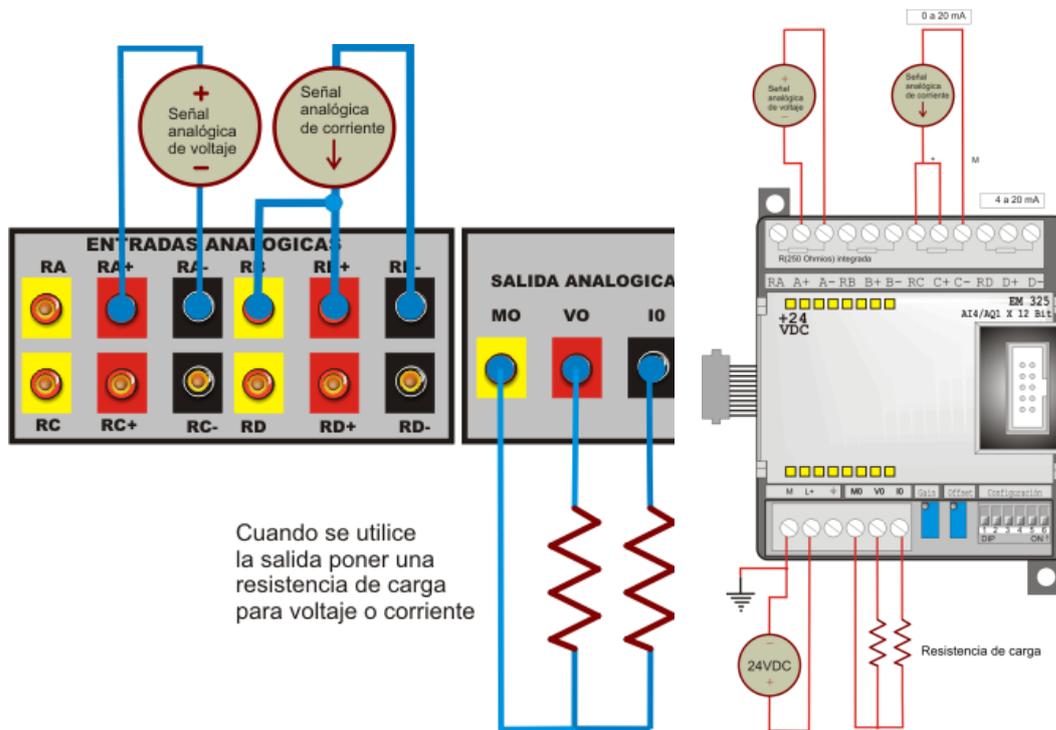
<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
	La operación Transferir palabra transfiere la palabra de entrada (IN) a la palabra de salida (OUT). La palabra de entrada permanece inalterada.
	La operación Multiplicar enteros de 16 bits a enteros de 32 bits multiplica dos números enteros de 16 bits, arrojando un producto de 32 bits.
	La operación Convertir de entero doble a real convierte un entero de 32 bits con signo (IN) en un número real de 32 bits y deposita el resultado en la variable indicada por OUT.
	La operación Dividir reales divide dos números reales de 32 bits, dando como resultado un cociente de número real de 32 bits.

**Tabla P8. 1 Operaciones STEP 7 utilizadas en esta práctica.**

**Procedimiento**

El SAE-PLC es una estación de trabajo que cuenta con un módulo de expansión EM 235. Con esto provee al sistema de 4 entradas analógicas y 1 salida analógica por lo que resulta útil citar un ejemplo para la utilización y manipulación de este tipo de señales. Para conocer este dispositivo puede dirigirse al apéndice del manual de documentación del CPU 224 y encontrará más información de la que se presenta en este documento.

En la Figura P8.1 se muestra el diagrama de cableado para la utilización de las entradas y salida analógica del SAE-PLC



**Figura P8. 1** Diagrama de cableado SAE-PLC para señales analógicas de voltaje y corriente de entrada y salida.

**Paso 8.1.** Identificar el módulo EM 235 dentro del sistema SAE-PLC, para esto abrir la puerta del gabinete, ver Figura P8.2. Posteriormente identifique los interruptores DIP que se encuentra en el lado derecho del bloque de bornes inferior del módulo.

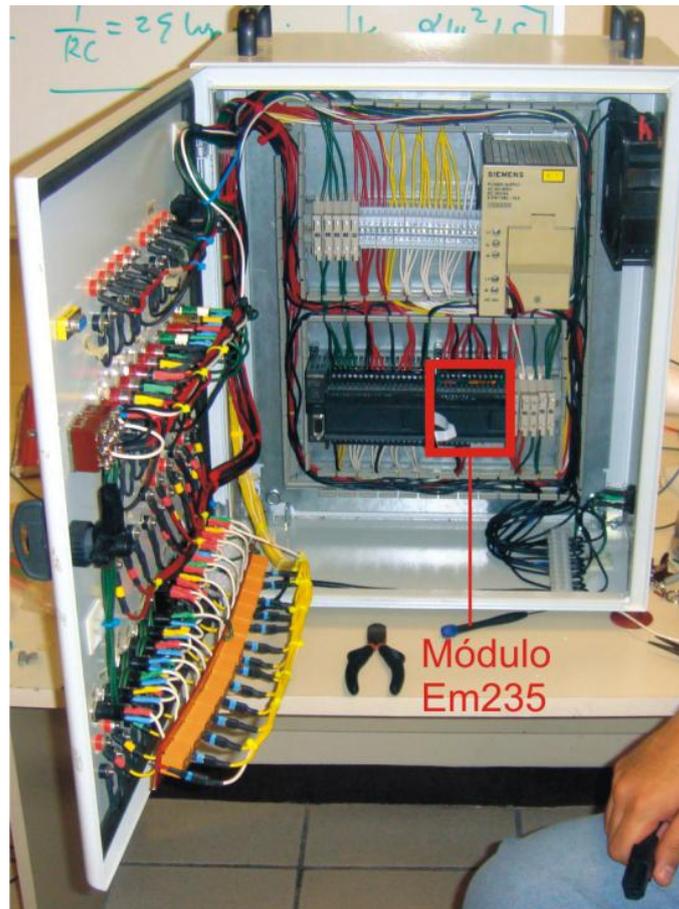


Figura P8. 2 Ubicación del módulo EM 235 en el interior del sistema SAE-PLC.

En la Tabla 8.II se muestra cómo se puede configurar el módulo EM 235 utilizando los interruptores DIP. Con los interruptores 1 a 6 es posible seleccionar el rango de entradas analógicas y la resolución. Se puede utilizar un formato unipolar o bipolar para nuestro caso solo se muestra el caso del formato unipolar.

Unipolar						Margen de tensión	Resolución
Interruptor							
1	2	3	4	5	6		
ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	0 a 50 mV	12.5 $\mu$ V
OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	0 a 10 mV	25 $\mu$ V
ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	0 a 500 mV	125 $\mu$ V
OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	0 a 1V	250 $\mu$ V
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	0 a 5 V	1.25 mV
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	0 a 20 mA	5 $\mu$ A
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	0 a 10 V	2.5 mV

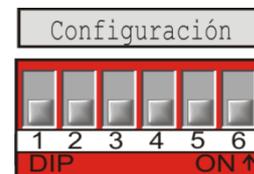


Tabla P8. 2 Tabla de interruptores para la configuración del EM 235 para seleccionar un rango unipolar de entradas analógicas.

El sistema se encuentra con la configuración del rango de entrada para un voltaje unipolar de 0 a 10 VDC, si realiza modificaciones una vez que termine de realizar la práctica vuelva a poner los interruptores DIP para este tipo de configuración.

**EJERCICIO P8.1. ENTRADA Y SALIDA ANALÓGICA.** Realice un programa en diagrama de escalera que mediante la utilización una fuente de voltaje variable externa de CD adquiera el valor del voltaje mediante el SAE-PLC, varié el valor de la fuente de 0 a 10 VDC simulando una entrada analógica y muestre el valor en la salida analógica del SAE-PLC mediante la utilización de un multímetro. Cuando el valor de la fuente llegue a un valor de 5.5 VDC o mayor active una la salida Q0.1 haciéndola intermitente simulando una señal de precaución.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 8.2.** Se detectan las entradas y salidas, que se asignan de la siguiente manera.

- Entradas: AIW0 = Entrada Analógica.
- Salidas: AQW0 = Salida analógica.
- I0.0 = Marcha, I0.1 = Paro.
- Q0.1 = Salida.

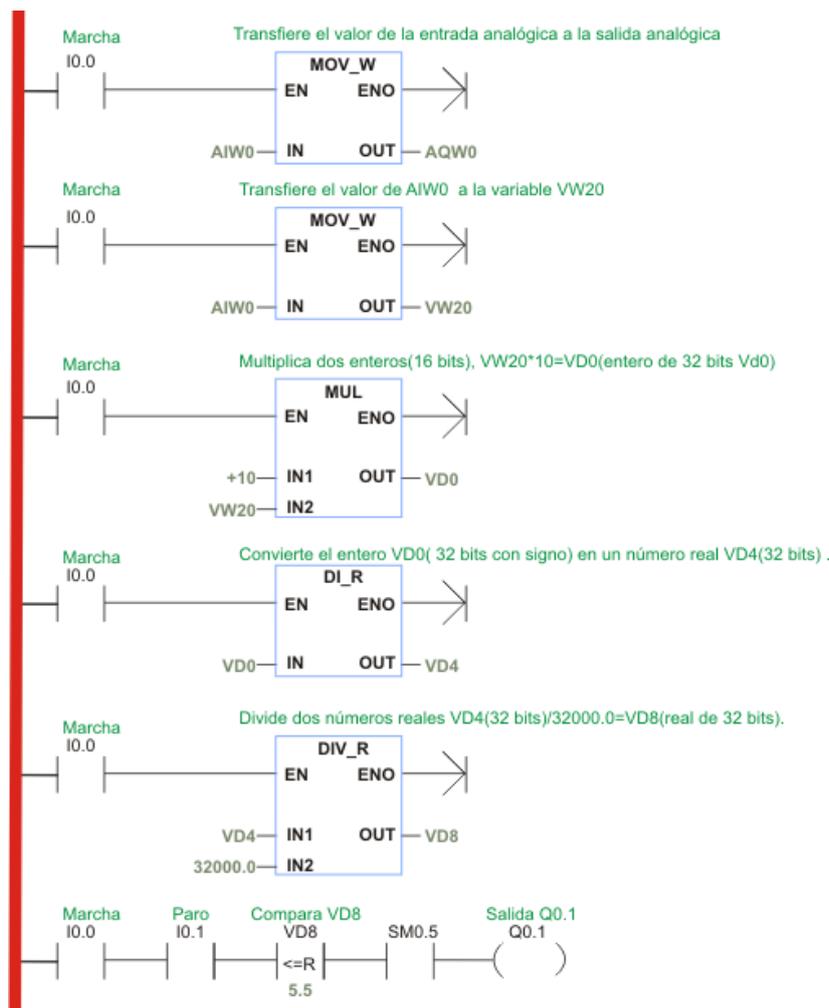


Figura P8. 3 Solución del Ejercicio P8.1.

**Paso 8.3.** Posteriormente realice el diagrama de escalera de la Figura P8.3, que es la solución del Ejercicio P8.1.

Como se puede ver en la Figura P8.4, el valor de la señal analógica se almacena en AIW0. Se realizó el escalado del valor almacenado en la variable VW20, multiplique el fondo de escala 10 V dividiendo el resultado entre 32000. En la variable VD8 se encuentra el número real del voltaje medido.

**Paso 8.3.** Más tarde implemente el diagrama de la Figura P8.4.

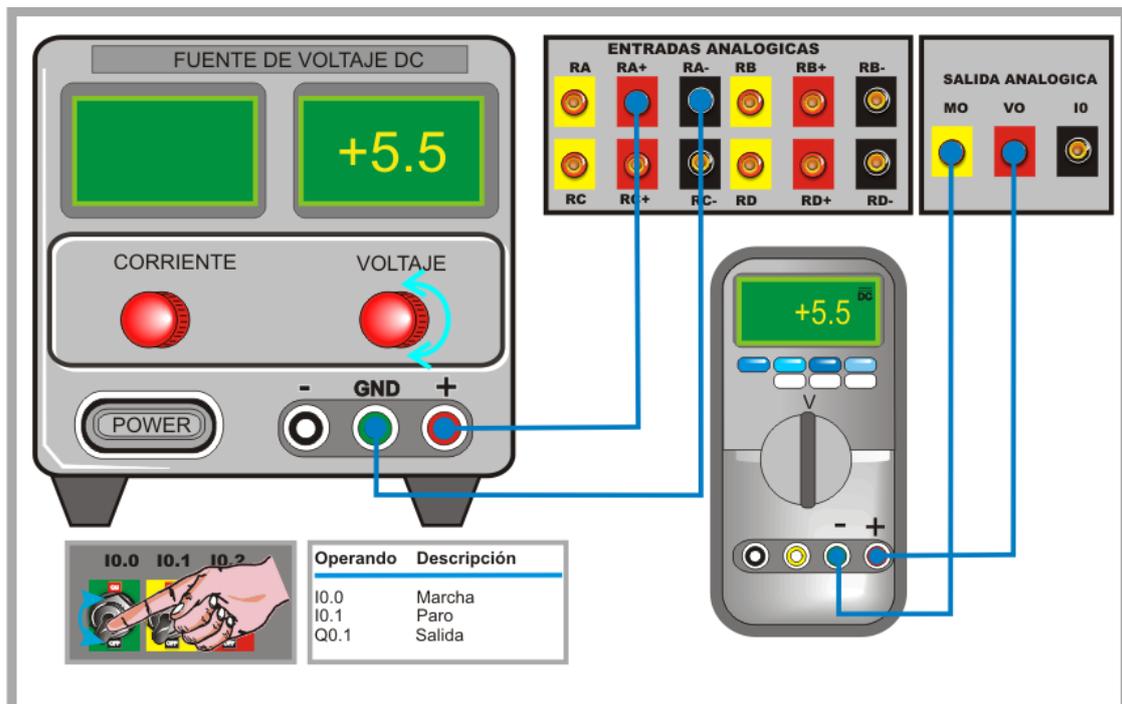


Figura P8. 4 Diagrama para el Ejercicio P8.1.

**Paso 8.4.** Corra el programa y explique su funcionamiento.

### Análisis de Resultados

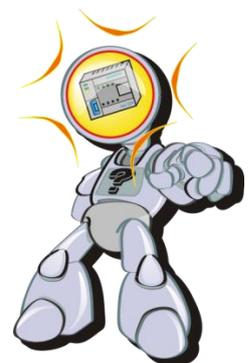
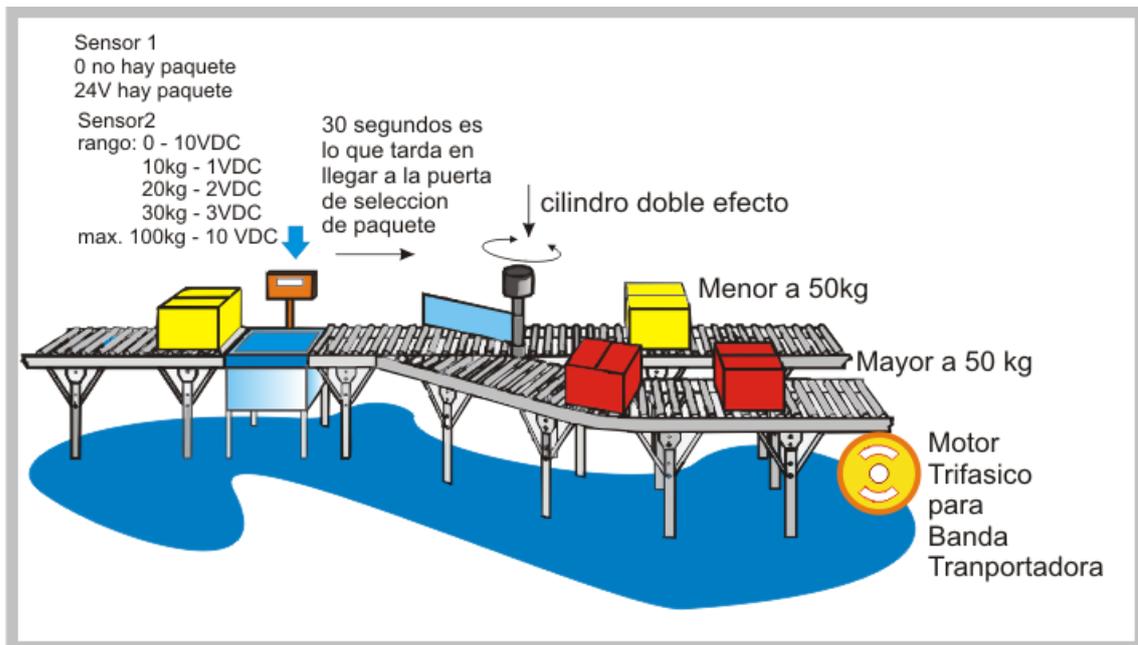
- Se realizó un diagrama de escalera que muestra cómo se pueden utilizar una señal de entrada y una señal de salida analógica en el sistema SAE-PLC.

## Ejercicios

Resuelva los siguientes ejercicios propuestos utilizando el software STEP7 Micro WIN:

**EJERCICIO P8.2. DETECTOR DE TEMPERATURA.** Realice un programa en diagrama de escalera que mediante la utilización un sensor de temperatura LM35 indique cuando la temperatura se encuentra por arriba de los 40°C.

**EJERCICIO P8.3. BANDA TRANSPORTADORA.** Se coloca un sensor que convierte una medida de peso en voltaje como se muestra en la Figura, realice un programa que seleccione paquetes menores a 50 kg y mayores a 50 kg como se muestra en la figura



*Título:*

## Práctica No.9. Interrupciones

### *Objetivo Específico*

Que el estudiante:

- Realice un programa en escalera utilizando funciones de interrupción e impleméntelo en el sistema SAE-PLC.

### *Material y Equipo*

- Manual de Prácticas nivel Básico, apartado Practica No.9.
- Computadora con sistema operativo Windows XP
- Software STEP 7 MICRO/WIN ver. 3.0.
- Sistema SAE-PLC.
- Cable PC/PPI configurado a 9.1 kb/s.
- Cable de alimentación.

### *Introducción Teórica*

Las interrupciones se utilizan cuando se requiere de atención urgente ante determinados eventos. Se estructuran de modo que devuelvan el control al programa principal, con instrucciones cortas y precisas, en caso contrario se pueden esperar resultados inesperados.

Las interrupciones se pueden deber a varios motivos: por flancos positivos y negativos de entrada/salida, contadores rápidos y salidas a impulsos.

Para nuestro caso en esta práctica solo serán de interés las interrupciones por flancos positivos y negativos de una entrada (I0.0, I0.1, I0.2 o I0.3). Las interrupciones nos ayudan para atender un evento de manera inmediata. Para mayor información acerca de las interrupciones, consulte la Tabla de interrupciones, prioridades y números de evento que se encuentra en la ayuda del programa MicroWIN STEP 7.

Las interrupciones se procesan en el orden que aparecen dentro de su respectiva prioridad. Por lo tanto, sólo se ejecuta una rutina de interrupción a la vez. Si se está ejecutando una interrupción temporizada, ni una posterior interrupción de bit digital ni una interrupción de comunicación podrá detener la interrupción temporizada. Las interrupciones se ponen en cola de espera para ser procesadas posteriormente.

Algunas de las operaciones utilizadas en esta práctica se ven en la Tabla 9.1.

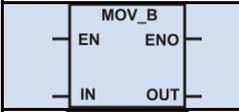
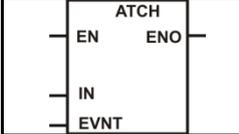
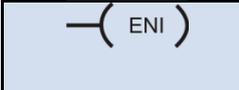
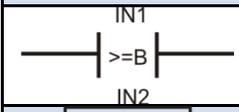
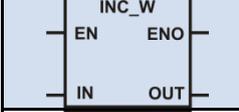
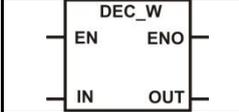
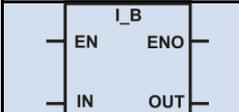
Símbolo	Descripción
	La operación Transferir byte transfiere el byte de entrada (IN) al byte de salida (OUT). El byte de entrada permanece inalterado.
	La operación Asociar interrupción (ATCH) asocia el número de una rutina de interrupción (INT) a un evento de interrupción (EVNT), habilitando así éste último.
	La operación Habilitar todos los eventos de interrupción (ENI) habilita la ejecución de todos los eventos asociados.
	La operación Comparar byte se utiliza para comparar dos valores: IN1 e IN2. IN1 >= IN2.
	Las operaciones Incrementar palabra suman 1 al valor de la palabra de entrada (IN) y depositan el resultado en OUT.
	Las operaciones Decrementar palabra restan 1 al valor de la palabra de entrada (IN) y depositan el resultado en OUT.
	La operación Convertir de entero a byte convierte el valor de entero (IN) en un valor de byte y deposita el resultado en la variable indicada por OUT.

Tabla P9. 1 Operaciones del STEP 7.

**Procedimiento**

**EJERCICIO P9.1. INTERRUPCIÓN DE ENTRADA/SALIDA.** Realice un programa en diagrama de escalera que cuente de 0 a 255. Utilice la marca M0.0, mediante la utilización de interrupciones haga que si M0.0 no está activada el programa cuente de forma ascendente y si M0.0 está activada el programa cuente descendientemente. Implemente el contador utilizando incrementar palabra y decrementar palabra. Incremente o decremente el contador una vez cada segundo.

**Paso 9.1.** En este caso se procederá a implementar el diagrama de escalera de la solución el Ejercicio P9.1, para esto ubique la Figura P9.1 donde se muestra el programa principal.

### Programa Principal

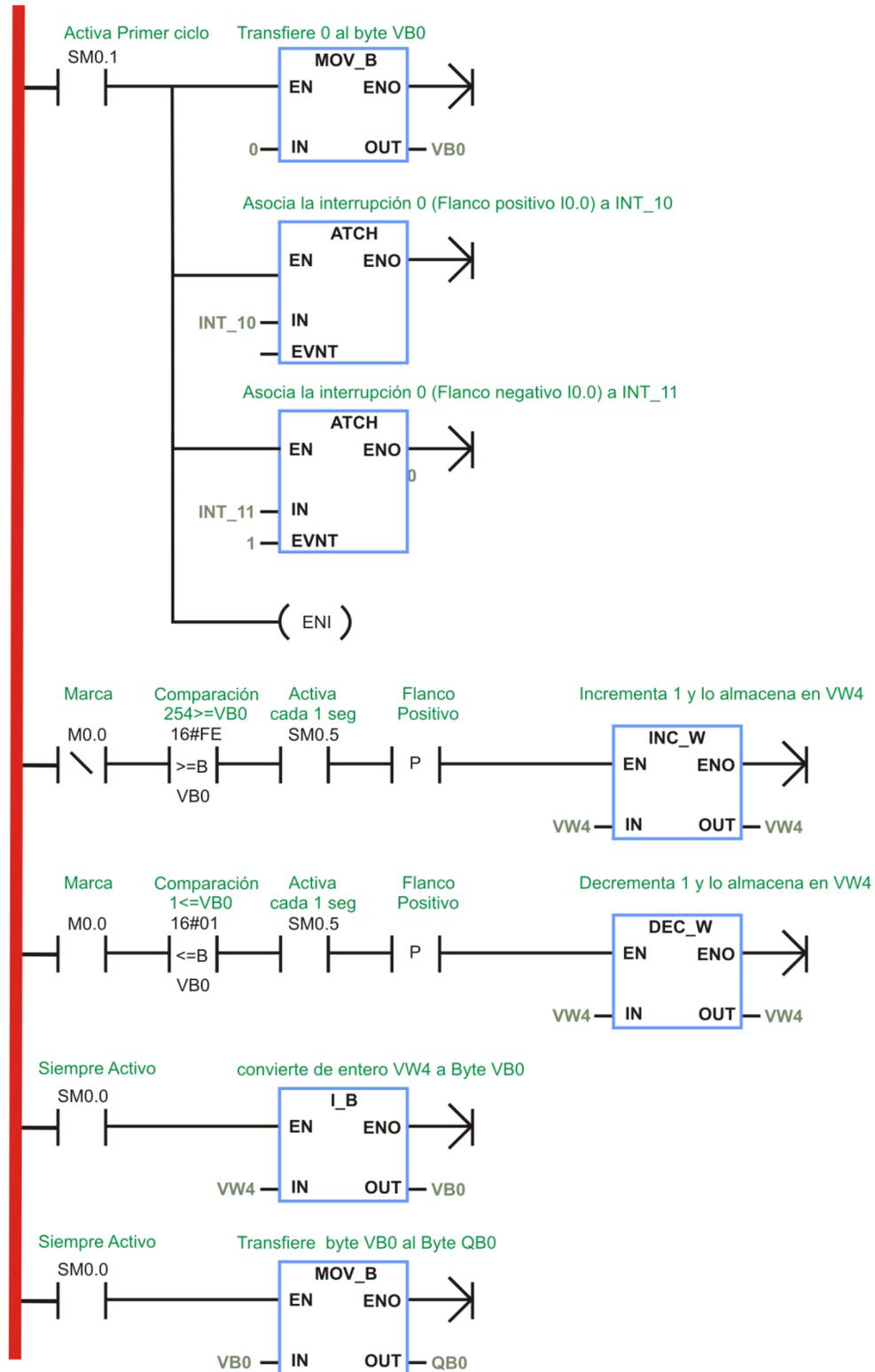


Figura P9.1 Diagrama en KOP de la solución del Ejercicio P9.1.

**Paso 9.2.** Ubíquese dentro del programa MicroWIN STEP7 y posicione en el árbol de operaciones, seleccione de bloque de programa y de clic derecho, a continuación aparecerá un recuadro en el cual deberá seleccionar insertar Interrupción. Repita nuevamente la acción anterior y cambie el nombre de las interrupciones que acaba de insertar y escriba INT\_10 e INT\_11.

**Paso 9.3.** Más tarde ubique la sección de las interrupciones INT\_10 e INT\_11. Implemente los diagramas en escalera de la Figura P9.2 y la Figura P9.3.

### Interrupción INT\_10



### Interrupción INT\_11

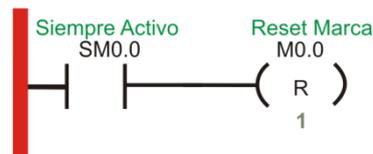


Figura P9. 2 Diagrama en KOP para las interrupciones 10 y 11.

**Paso 9.4.** Corra el programa y explique su funcionamiento.

#### Análisis de Resultados

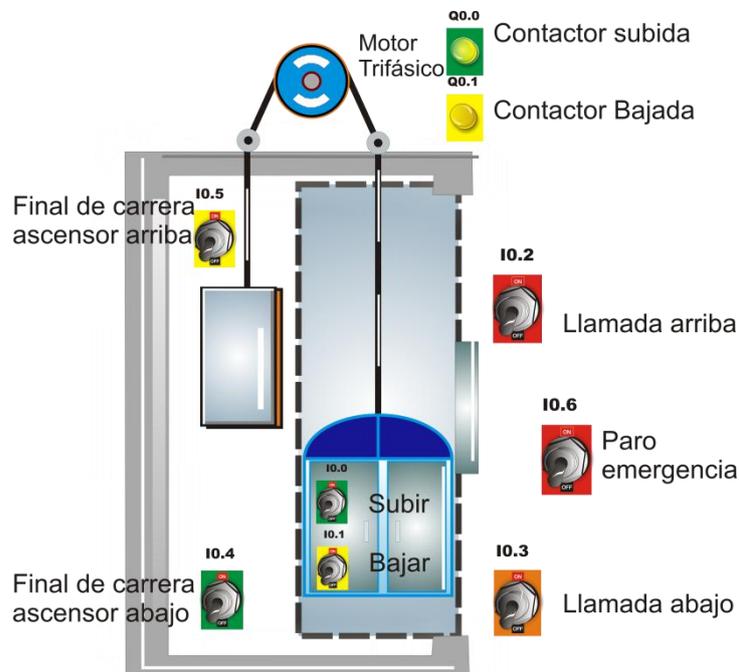
- Se realizó un diagrama de escalera que muestra la utilización de interrupciones.

# Ejercicios

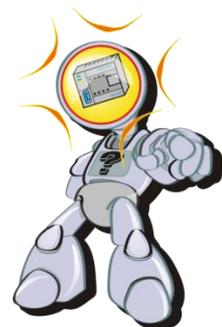
Resuelva los siguientes ejercicios propuestos utilizando el software STEP7 Micro WIN:

**EJERCICIO P9.2. ENCENDER MOTOR.** Realice un programa en diagrama de escalera que mediante la utilización de interrupciones con un flanco positivo de I0.0 se encienda el motor, con un flanco negativo de I0.0 de pare el motor.

**EJERCICIO P9.3. ASCENSOR.** Realice un programa en diagrama en KOP que mediante la utilización de interrupciones que realice el funcionamiento de un ascensor. Cabe señalar que la interrupción se utiliza para el paro de emergencia. En la figura se muestra el diagrama.



**EJERCICIO P9.4. INTERRUPCION TEMPORIZADA.** Realice un programa en diagrama de escalera que mediante la utilización de interrupciones realice la lectura de una entrada cada 100 ms de tiempo.





**Título:**

**Práctica No.10. Subrutinas.**

**Objetivo Específico**

Que el estudiante:

- Realice un problema utilizando una función de subrutina e implementelo en el sistema SAE-PLC.

**Material y Equipo**

- Manual de Prácticas, apartado Práctica No.10.
- Computadora con sistema operativo Windows XP.
- Software STEP 7 MICRO/WIN ver. 3.0.
- Sistema SAE-PLC.
- Cable de alimentación.
- Cable PC/PPI configurado a 9.1 Kb/s.

**Introducción Teórica**

Una subrutina es un grupo de instrucciones que se encuentra escrito por separado del programa principal para realizar una función que pueda ser utilizada repetidamente por este. Las subrutinas permiten y facilitan la estructuración de un programa y se implementa mediante la asociación de dos instrucciones CALL y RETURN, ya que estructuran o dividen el programa en bloques más pequeños siendo estos más fáciles de gestionar. Cuando el programa principal llama a una subrutina para que ésta se ejecute, la subrutina procesa su programa hasta el final. El sistema retorna luego el control al segmento del programa principal desde donde se llamó a la subrutina.

Las subrutinas facilitan la comprobación y la eliminación de errores tanto en las subrutinas como en el programa entero debido a que se encuentran estructurados en bloques pequeños. Además permite a la CPU funcionar eficientemente ya que solo se llama al bloque sólo cuando se necesite, en vez de estar ejecutando todos los bloques del programa en cada ciclo.

Para declarar una subrutina es necesario realizar 3 tareas: primero crear la subrutina (insertar subrutina), posteriormente definir los parámetros en la tabla de variables locales de la subrutina en caso de ser necesario, aunque este paso es posible omitir si es que no se quieren utilizar parámetros de entrada y salida. Y por último llamar a la subrutina desde la unidad de organización del programa en cuestión, es decir, desde el programa principal, o desde una subrutina diferente.

Las subrutinas pueden ser de 3 tipos: de llamadas múltiples, anidadas y de final múltiple. En las subrutinas de Llamadas múltiples una vez que son ejecutadas las instrucciones el control vuelve a la operación que sigue a la llamada de la subrutina. En las subrutinas

anidadas, es posible anidar una subrutina con otra, es decir, situar una llamada a subrutina en otra subrutina, solo es permitido anidar hasta 8 niveles. Y en las subrutinas de llamado múltiples una subrutina puede llamarse a sí misma, también es conocida como recursión, aunque se debe tener cuidado con este tipo de subrutinas.

En el software MicroWIN STEP 7 las subrutinas se declaran de la siguiente manera

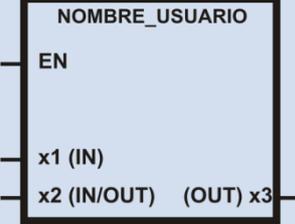
Símbolo	Descripción
	<p>La operación Llamar subrutina o la operación CALL (AWL) transfiere el control a la subrutina (n). La operación "Llamar subrutina" se puede utilizar con o sin parámetros. En cada llamada a subrutina se pueden utilizar 16 parámetros de entrada/salida como máximo. Si le ha asignado un nombre simbólico a la subrutina, como p.ej. NOMBRE_USUARIO, éste aparecerá en la carpeta "Subrutinas" del árbol de operaciones</p> <p>Llamando:          &lt;I0.0&gt;→L0.0,&lt;I1.0&gt;→L0.1,&lt;VB20&gt;→LB1,&lt;VW20&gt;→LW2 &lt;VD30&gt;→LD4,          &lt;VD40&gt;→LD8</p> <p>Retornando:          &lt;LD8&gt;→VD40, &lt;LI2.0&gt;→Q2.0</p>

Tabla P10. 1 Declaración subrutinas.

**Procedimiento**

**EJERCICIO P10.1. SUBRUTINAS.** Realice un programa en diagrama de escalera que varíe el ciclo de temporización de un semáforo, mediante la acción de interrupciones y subrutinas. El funcionamiento del semáforo dependerá de los autos que se encuentren en cola de espera. En el carril se colocaron dos sensores para indicar cuando un auto entra en la calle y cuando se retira. Cuando en el carril se encuentran menos de 5 autos, la secuencia de luces del semáforo debe ser: amarillo 5s, rojo 5 s y verde 20 s. Cuando en el carril se encuentran más de 5 autos, la secuencia de luces del semáforo debe ser: amarillo 20s, rojo 10 s y verde 20 s.

**SOLUCIÓN.**

**Paso 10.1.** Se detectan las entradas y salidas, que se asignan de la siguiente manera.

Entradas: I0.0 = Marcha/Paro, I0.1 = Sensor entrada auto al carril,  
 I0.2= Sensor salida auto del carril.

Salidas: Q0.0 = Lámpara Verde.  
 Q0.1 = Lámpara Amarilla.  
 Q0.2 = Lámpara Roja.

**Paso 10.2.** Realizar la subrutina Selección Tiempo que se puede ver en la Figura 10.1. Para esto primero de insertará la Subrutina y se nombrará como Selección Tiempo. Posteriormente como se puede ver en la figura se declararan dentro de la subrutina en la sección de “Tabla de variables locales”, los parámetros entrada “Contador” de tipo byte y como parámetros de salida “TA”, “TR” y “TV”, que son los que almacenara los valores de la secuencia de temporización de cada piloto del semáforo.

Tabla de variables locales de la subrutina Selección Tiempo

Nombre	Tipo var.	Tipo de datos
Contador	IN	BYTE
TA	OUT	INT
TR	OUT	INT
TV	OUT	INT

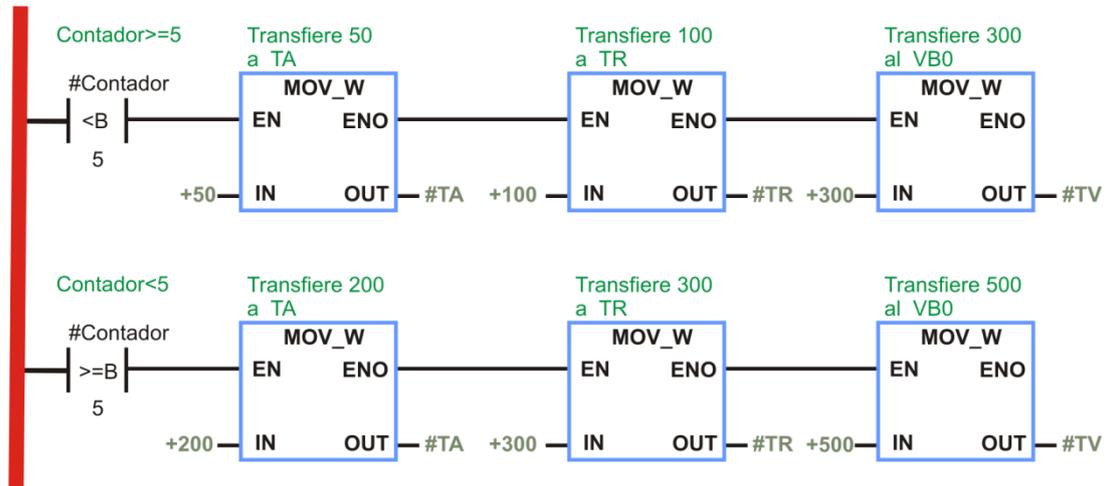


Figura P10. 1 Subrutina Selección de tiempo.

Paso 10.3. Posteriormente declarar las interrupciones incrementar y decrementar contador

Interrupción Incrementar

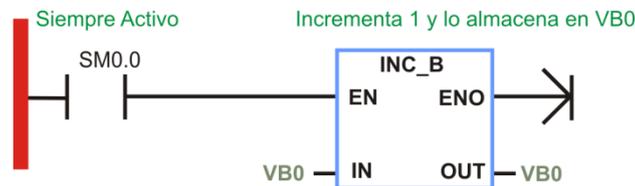


Figura P10. 2 Interrupción Incrementar cuenta

Interrupción Decrementar

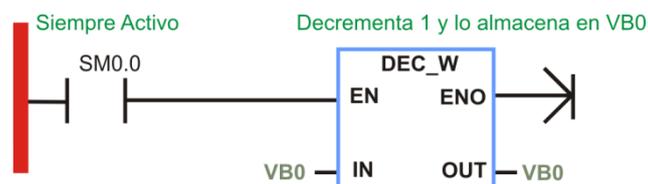


Figura P10. 3 Interrupción Decrementar cuenta.

Paso 10.4. Posteriormente realice el diagrama de escalera del programa principal de la solución del Ejercicio P10.1.

Programa Principal

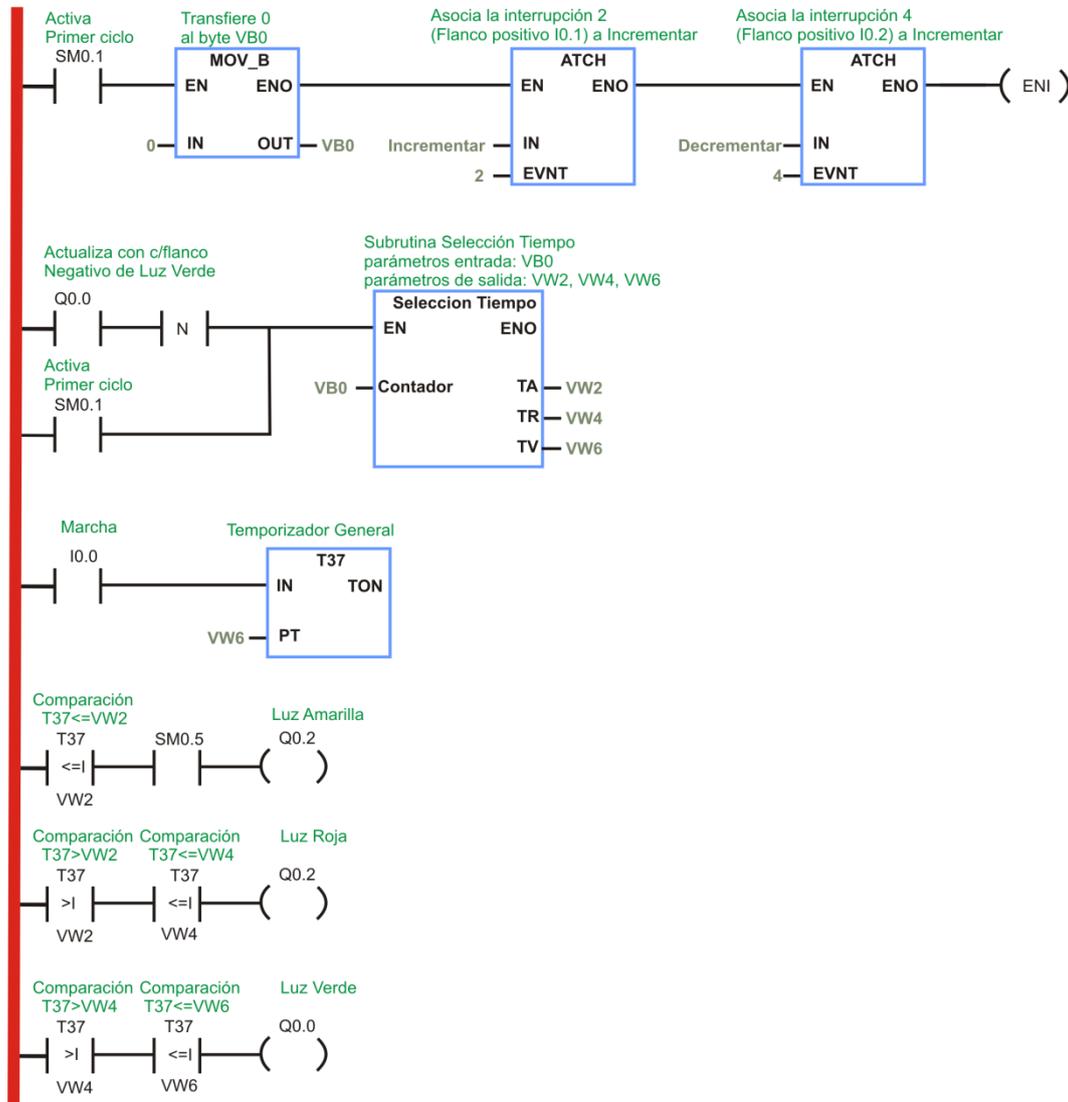


Figura P10. 4 Interrupción Decrementar cuenta.

Paso 10.5. Corra el programa y explique su funcionamiento.

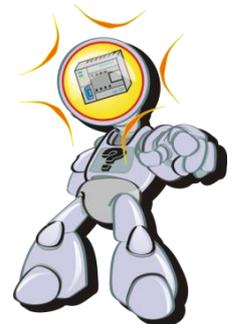
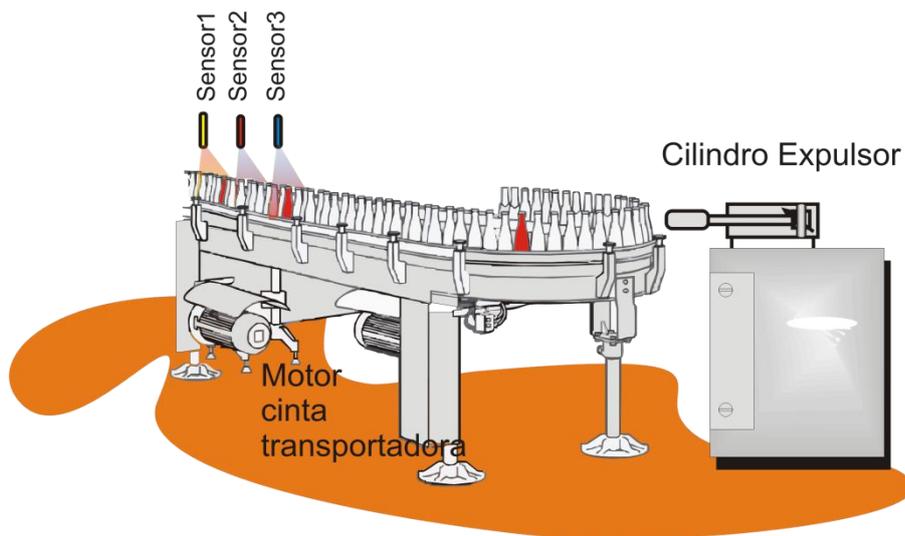
Análisis de Resultados

- Se realizó un problema utilizando funciones de subrutinas y se implementó en el sistema SAE-PLC.

## Ejercicio

Resuelva el siguiente ejercicio propuesto utilizando subrutinas en el software STEP7 Micro WIN:

**EJERCICIO P10.2.** En una línea de llenado de frascos, los frascos se someten a tres comprobaciones con un sistema de sensores: nivel correcto de producto en el frasco, presencia de etiqueta en el envase, tapón colocado. Las comprobaciones se realizan con tres sensores, en estaciones consecutivas sobre la cinta transportadora. Los sensores devuelven un "0" cuando no hay defecto y devuelven un "1" en presencia de defecto. Estos sensores están conectados a tres entradas digitales del PLC. El resultado de la inspección, (las señales de los sensores) hay que llevarlas en tres registros de forma paralela al avance de las piezas en la cinta transportadora. El expulsor neumático colocado al final de la cinta rechaza los frascos defectuosos con uno o más Defectos (tras una temporización de 5 s). Si el frasco no tiene ningún defecto el expulsor no actúa.





Hoja de Evaluación dirigida para el profesor.



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA**

*Labor et Sapientia Libertas*

**Profesor:**

**Alumno:**

**EVALUACIÓN**

EVALUACIÓN					
	PORCENTAJE	1 - 4	5 - 7	8 - 10	Nota
CONOCIMIENTO	Del 20 al 30%	Conocimiento deficiente de los fundamentos teóricos	Conocimiento y explicación incompleta de los fundamentos teóricos	Conocimiento completo y explicación clara de los fundamentos teóricos.	
APLICACIÓN DEL CONOCIMIENTO	Del 40% al 60%	Realiza el análisis de resultados con alguna ayuda	Realiza el análisis de los resultados con mucha ayuda	Realiza el correcto análisis del procedimiento solamente auxiliándose del material proporcionado	
ACTITUD	Del 15% al 30%	No tiene actitud proactiva	Actitud propositiva y con propuestas no aplicables al contenido de la guía	Tiene actitud proactiva y sus propuestas son correctas	
	TOTAL	100%			

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA





# Apéndice B | ÁLGEBRA BOOLENA Y LÓGICA DE RELEVADORES

Los relevadores que se encuentran montados en una máquina realizan una operación de control, y se puede interpretar como una función lógica. Al igual que en una función Booleana, los circuitos de control consisten en operaciones lógicas fundamentales como AND, OR y NOT. Las bobinas y los contactos normalmente cerrados y abiertos se pueden conectar de tal modo que lleven a cabo estas funciones fundamentales y puedan crear cualquier operación.

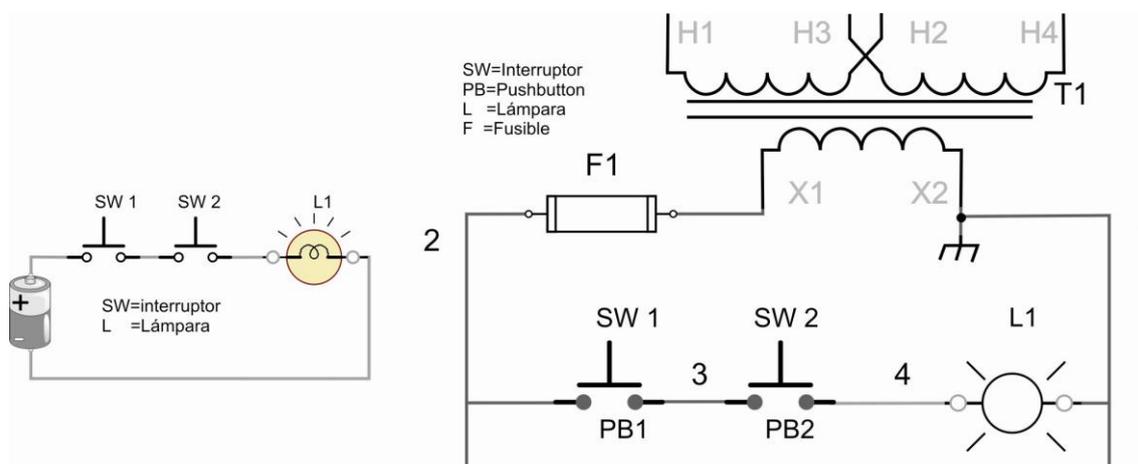


Figura B1. 1 Figura B.1 Esquema AND en Diagrama de escalera.

En la Figura B1.1 se puede ver la conversión del circuito de la función AND a diagrama de escalera en una máquina eléctrica. Se agrega dos interruptores en serie con la lámpara entre los rieles de poder que se encuentran en los extremos del diagrama. A este circuito se puede decir que se le agregó un peldaño. La razón del nombre “escalón” es debido a que a medida que se le añaden circuitos en el diagrama, se comenzará a parecerse a una escalera con dos montantes y muchos peldaños.

Los interruptores están colocados a la izquierda y la lámpara está a la derecha. Este es un estándar para el diseño de circuitos en una máquina. Los dispositivos de control siempre son colocados en el lado izquierdo del escalón, y los dispositivos a controlar se colocan en el lado derecho del escalón. Este esquema se hace por razones de seguridad.

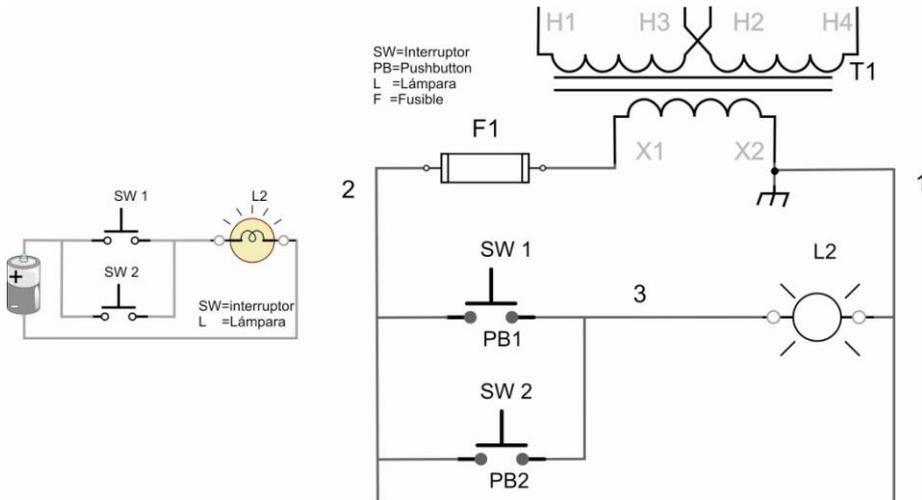


Figura B1. 2 Esquema OR en Diagrama de escalera.

En la Figura B1.2 se aprecia la conversión de la función OR a diagrama de escalera en una máquina eléctrica. Se ven dos interruptores en paralelo en serie con una lámpara que se encuentra entre los rieles de poder.

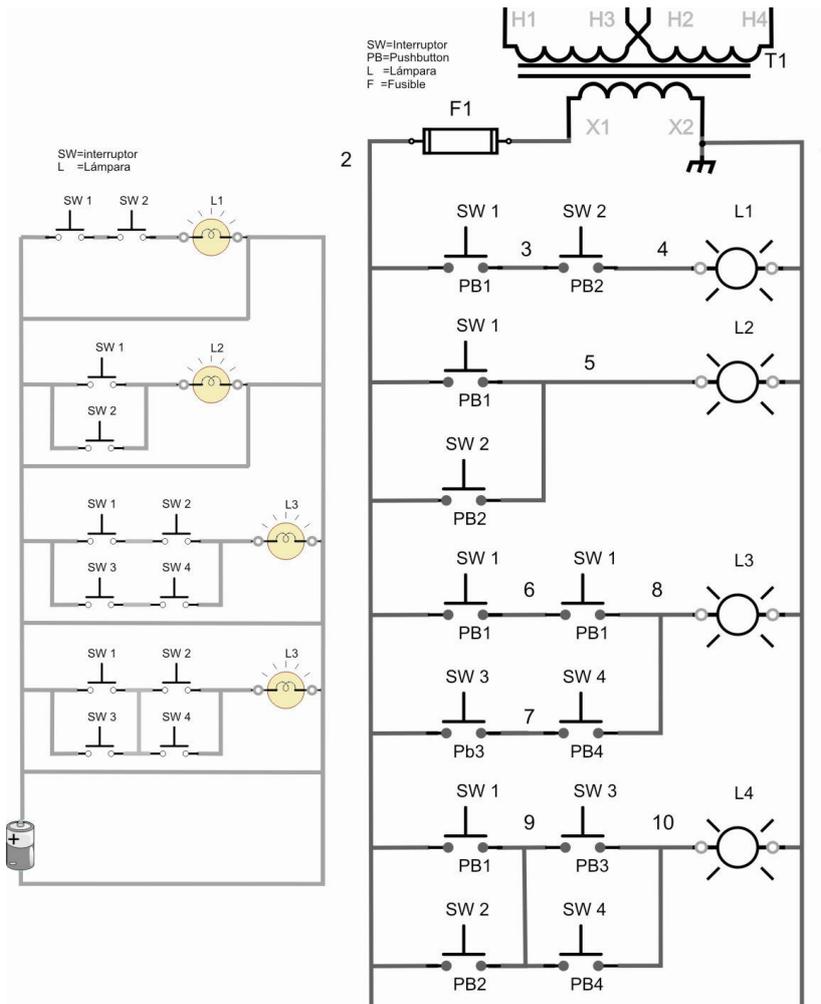
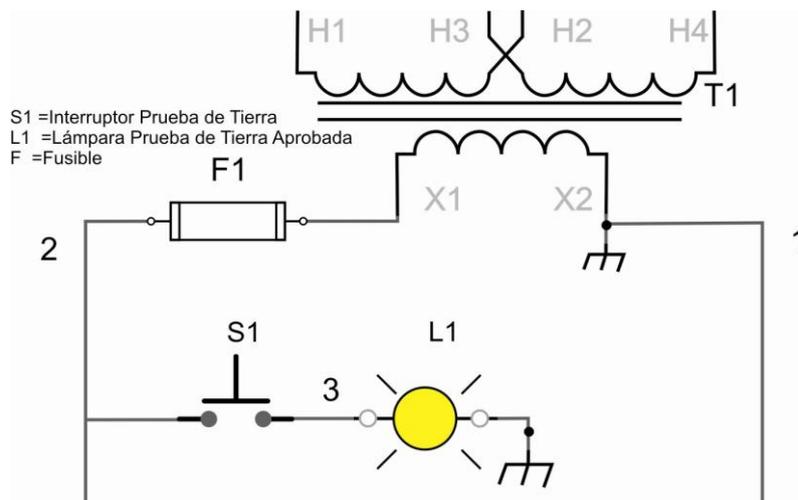


Figura B1. 3 Diagrama de escalera, operaciones AND, OR, AND-OR y OR-AND.

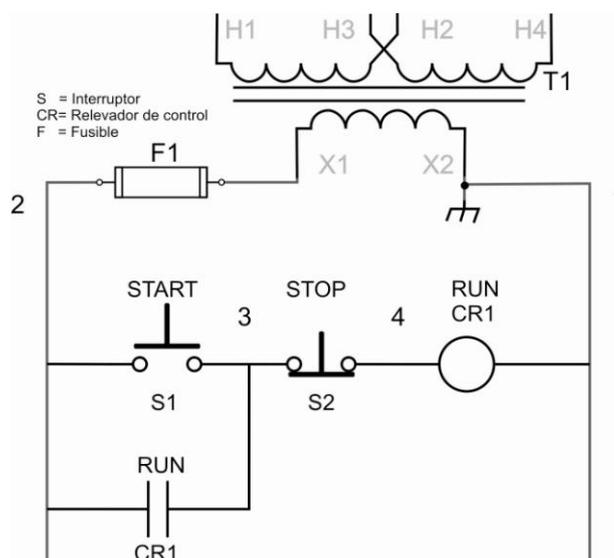
En la figura B1.3 se aprecia que al diagrama de escalera de una máquina se le han agregado escalones, y a cada cable se asignan los números 1, 2, 3 ... 10, y para los componentes se le han asignado las referencias siguientes: para interruptores son PB1...PB4, y para lámparas L1...L4. Se puede ver como se implementan las operaciones AND, OR, AND OR y OR AND en diagramas de escalera de una máquina.

Ahora que se tienen los fundamentos para el diagrama de escalera, es necesario conocer circuitos con norma escalera que comúnmente se utilizan en diagramas eléctricos de las máquinas y que se utilizan en la programación de PLC's.



**Figura B1. 4** Circuito prueba de Tierra.

En la Figura B1.4 se verifica si la Tierra del sistema se encuentra correctamente conectada, debido a que de vez en cuando es necesario probar este circuito por posibles fallas de desconexión, ya que las pérdidas por este tipo de falla no influyen en el rendimiento de la máquina.



**Figura B1. 5** Circuito Latch.

El circuito de la Figura B.5 es un circuito "latch" (cierre), en donde si los dispositivos que activan el relevador que mantiene el funcionamiento de una máquina se apagan, éste se mantiene encendido, aunque se desactiven. En caso de corte de energía, si la máquina se encuentra funcionando está se desenergizará. Cuando se restablezca la energía, la máquina no se reiniciará automáticamente, sino que debe reiniciarse manualmente pulsando el interruptor de RUN. Esta es una característica que requieren los equipos de maquinaria pesada.

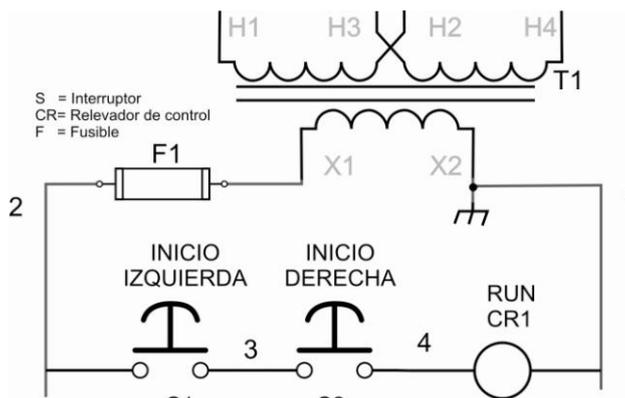


Figura B1. 6 . Circuito "2-Handed Operation"

En la Figura B1.6 se puede apreciar un circuito 2-Handed Operation. La máquina solo puede iniciar el ciclo si el operador presiona dos interruptores a la vez, que se encuentran separados a una cierta distancia, no pueden ser presionados ambos con una sola mano, asegurando que las dos manos del trabajador se encuentran en los interruptores y no en la máquina.

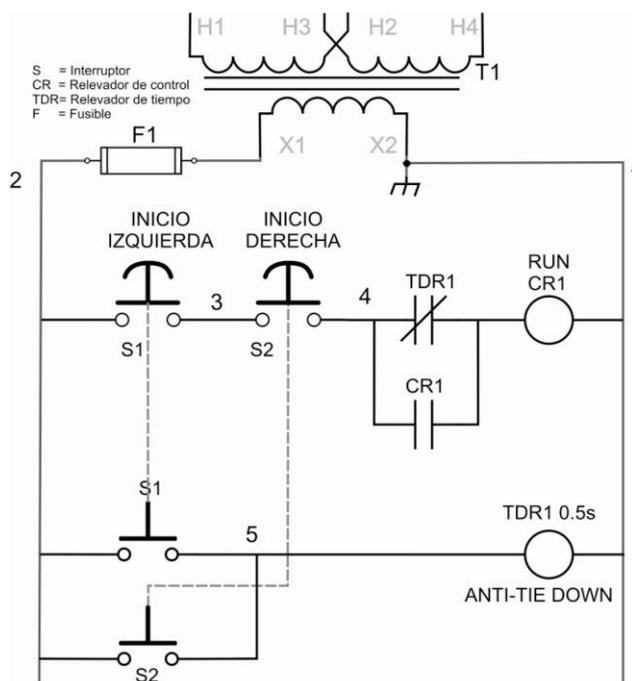
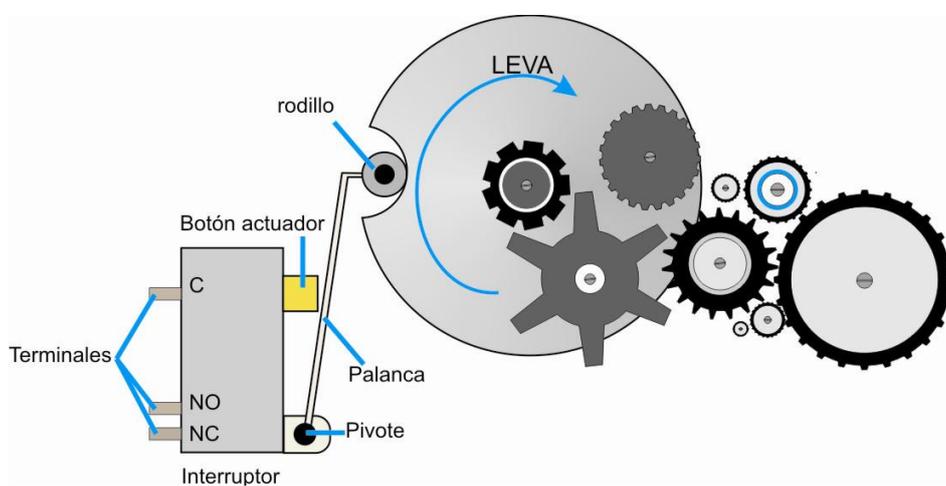


Figura B1. 7 Circuito 2-Handed Operation, anti-repeat y anti-tie down.

La máquina no debe tener la capacidad de empezar el ciclo de operación por el amarrado de uno de los dos interruptores de RUN y usar el segundo para operar la máquina. En algunos casos, los trabajadores tienen una mano para guiar la materia prima dentro de la máquina que está en funcionamiento, esta práctica es extremadamente peligrosa. Con los circuitos *2-Handed Operation* (operación dos manos), *anti-tie down* (antiamarre) y *anti-repeat* (antirebotes) obligan al operador a tener presionado con ambas manos los dos interruptores de RUN. Esto quiere decir que se debe tener presionado al mismo tiempo los interruptores con una pequeña ventana de tiempo, usualmente de  $\frac{1}{2}$  segundo. Si uno de los interruptores es presionado y el otro es presionado después de esta ventana de tiempo, entonces la máquina no inicia el ciclo de funcionamiento. Para lograr que dos interruptores deban ser presionados dentro de una ventana de tiempo, es necesario de un relevador de retardo a la conexión o TON.



**Figura B1. 8 Interruptor límite *cam-operated*.**

Cuando se pone en marcha una máquina, debería únicamente realizar un solo ciclo de operación y entonces detenerse, aún si el operador se encuentra presionando los interruptores de RUN. Esto previene de sorpresas y posibles daños para el operador si la máquina debe de ir inadvertidamente a un segundo ciclo. Por lo tanto, es necesario un circuito para asegurar que una vez que la máquina ha completado un ciclo de operación ésta se detiene y espera a que los interruptores RUN sean liberados y presionados nuevamente.

Con el fin de que el circuito pueda determinar cuándo una máquina se encuentra en un ciclo de operación, un interruptor límite *cam-operated* (leva accionada) debe ser instalado sobre la máquina. Como se ve en la Figura (ver Figura B.8), la leva (pieza que gira alrededor de un punto que no es su centro) es montada sobre el eje de la máquina que rota una revolución por cada ciclo de operación de la máquina.

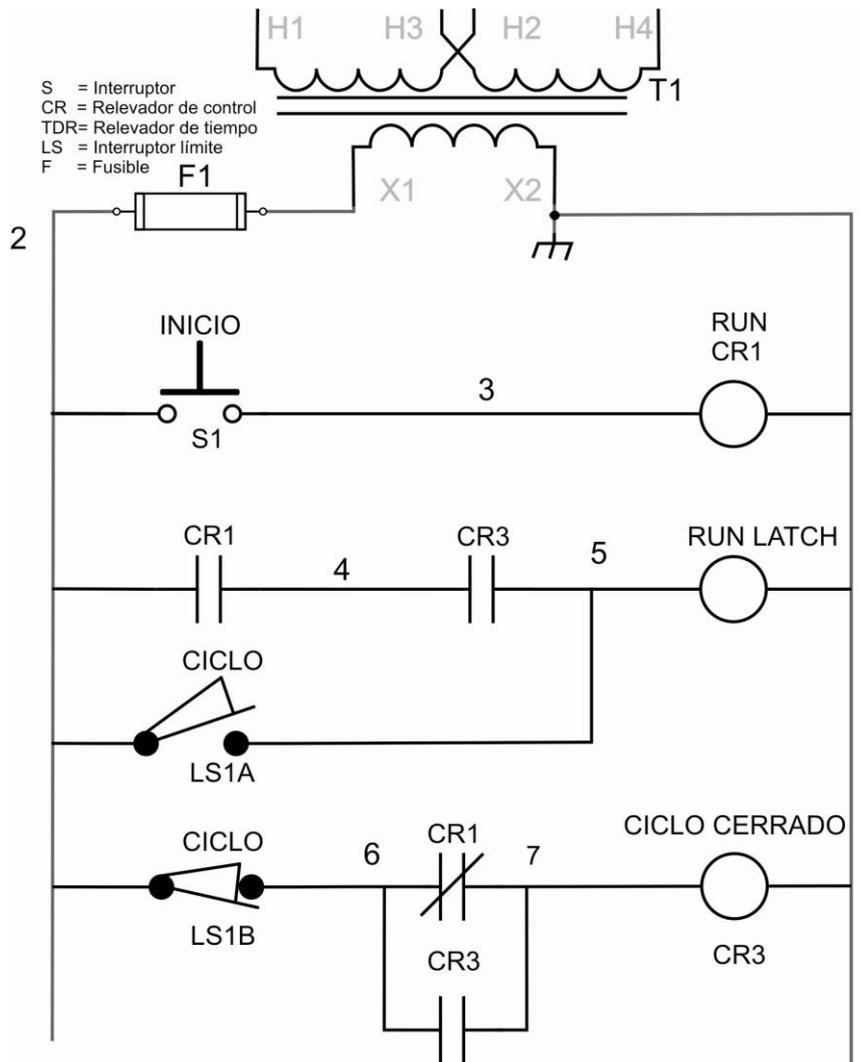


Figura B1. 9 Circuito *single-cycle*.

En la Figura B1.9 se aprecia la implementación de un circuito *single-cycle* (ciclo único). Se observa que se utilizan contactos normalmente abierto y cerrado para el interruptor límite *cam-operated* LS1 y un interruptor S1 para inicio.

El circuito de la Figura B1.10 muestra un circuito *single-cycle*, con interruptores de inicio, y funciones *2-handed*, *antirebote*, *anti-tie down*. Cuando ambos interruptores son presionados dentro de una ventana de tiempo de 0.5 segundos uno del otro, la máquina realiza un ciclo de operación y se para, aún si ambos interruptores de palma se mantengan presionados. Posteriormente, ambos interruptores deben ser liberados y presionados nuevamente con el fin de que la máquina realice un ciclo de operación nuevamente.

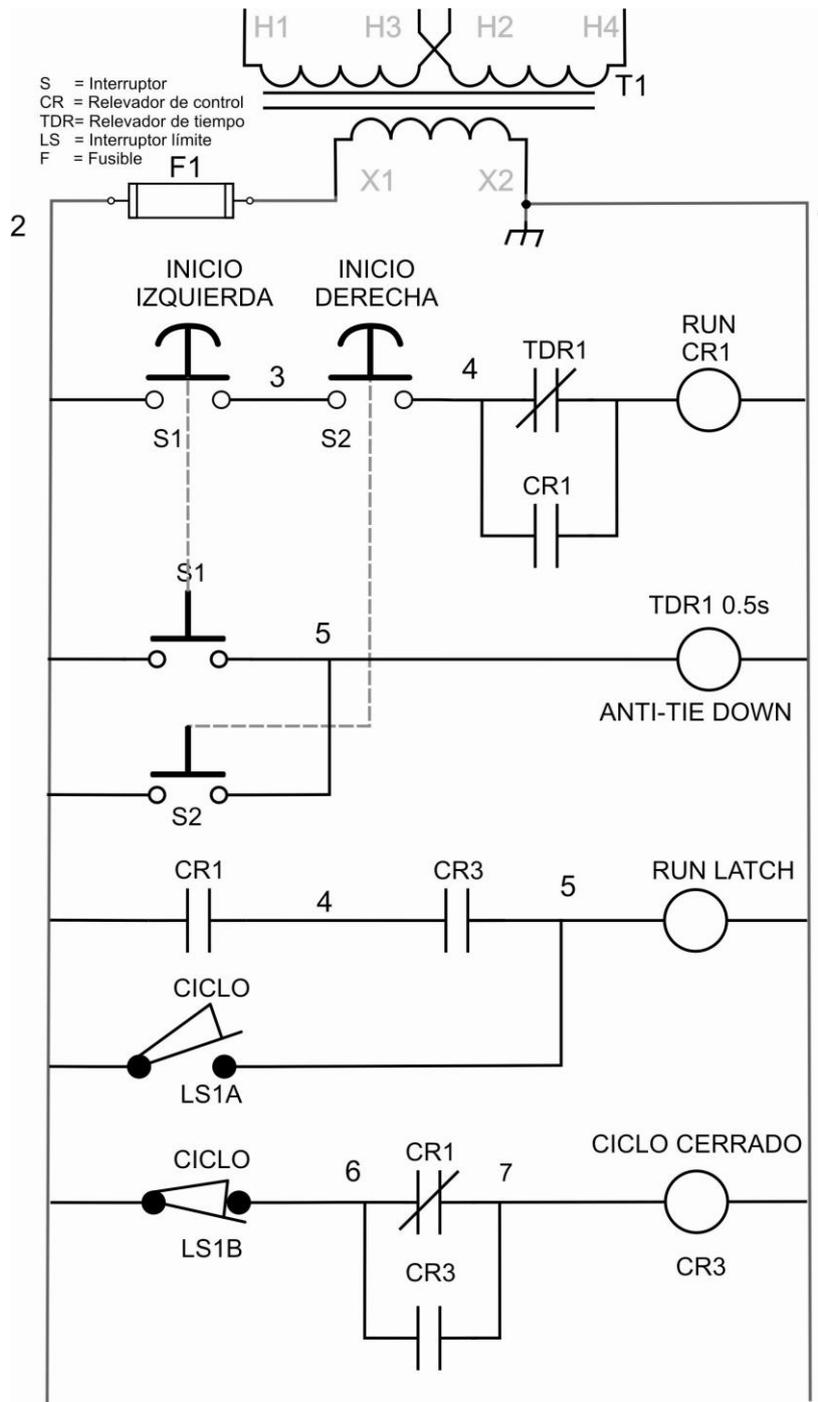


Figura B1. 10 Circuito 2-handed, anti-tie down, anti-repeat, single-cycle.

# Apéndice C | IMÁGENES SAE-PLC



Figura C1. 1 Vista interna SAE-PLC.



Figura C1. 2 Vista frontal SAE-PLC.



Figura C1. 3 Vista lateral izquierda y posterior SAE-PLC.



Figura C1. 4 Vista lateral derecha y posterior SAE-PLC.



Figura C1. 5 Vista superior SAE-PLC.



Figura C1. 6 Vista inferior SAE-PLC.

# Apéndice D | MARCAS ESPECIALES

TablaB -1 Marcas especiales

Marcas especiales			
SM0.0	Siempre ON	SM1.0	Resultado de la operación = 0
SM0.1	Primer ciclo	SM1.1	Desbordamiento o valor no válido
SM0.2	Datos remanentes perdidos	SM1.2	Resultado negativo
SM0.3	Alimentación	SM1.3	División por 0
SM0.4	30 s OFF / 30 s ON	SM1.4	Tabla llena
SM0.5	0,5 s OFF / 0,5 s ON	SM1.5	Tabla vacía
SM0.6	OFF 1 ciclo / ON 1 ciclo	SM1.6	Error de conversión de BCD a binario
SM0.7	Selector en posición RUN	SM1.7	Error de conversión ASCII a hexadecimal

# Apéndice E | ÁREAS DE MEMORIA

Tabla C -1 Áreas de memoria y funciones de las CPUs S7-200

Descripción	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP	CPU 226
Tamaño del programa de usuario con edición en modo RUN sin edición en modo RUN	4096 bytes 4096 bytes	4096 bytes 4096 bytes	8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
Tamaño de los datos de usuario	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Imagen del proceso de las entradas	I0.0 a I15.7				
Imagen del proceso de las salidas	Q0.0 a Q15.7				
Entradas analógicas (sólo lectura)	AIW0 a AIW30	AIW0 a AIW30	AIW0 a AIW62	AIW0 a AIW62	AIW0 a AIW62
Salidas analógicas (sólo escritura)	AQW0 a AQW30	AQW0 a AQW30	AQW0 a AQW62	AQW0 a AQW62	AQW0 a AQW62
Memoria de variables (V)	VB0 a VB2047	VB0 a VB2047	VB0 a VB8191	VB0 a VB10239	VB0 a VB10239
Memoria local (L) <sup>1</sup>	LB0 a LB63				
Área de marcas (M)	M0.0 a M31.7				
Marcas especiales (SM) Sólo lectura	SM0.0 a SM179.7 SM0.0 a SM29.7	SM0.0 a SM299.7 SM0.0 a SM29.7	SM0.0 a SM549.7 SM0.0 a SM29.7	SM0.0 a SM549.7 SM0.0 a SM29.7	SM0.0 a SM549.7 SM0.0 a SM29.7
Temporizadores	256 (T0 a T255)				
Retardo a la conexión con memoria					
1 ms	T0, T64				
10 ms	T1 a T4 y T65 a T68				
100 ms	T5 a T31 y T69 a T95				
Retardo a la conexión/ desconexión					
1 ms	T32, T96				
10 ms	T33 a T36 y T97 a T100				
100 ms	T37 a T63 y T101 a T255				
Contadores	C0 a C255				
Contadores rápidos	HC0 a HC5				
Relés de control secuencial (S)	S0.0 a S31.7				
Acumuladores	AC0 a AC3				
Salto a metas	0 a 255				
Llamadas a subrutinas	0 a 63	0a63	0a63	0a63	0 a 127
Rutinas de interrupción	0 a 127				
Detectar flanco positivo/negativo	256	256	256	256	256
Lazos PID	0 a 7	0a7	0a7	0a7	0a7
Puertos	Puerto 0	Puerto 0	Puerto 0	Puerto 0, puerto 1	Puerto 0, puerto 1

<sup>1</sup> STEP 7-Micro/WIN (versión 3.0 o posterior) reserva LB60 a LB63.

# Apéndice F| PRIORIDADES DE LOS EVENTOS

Tabla D -2 Prioridades de los eventos de interrupción

Nº de evento	Descripción de la interrupción	Prioridad	Grupo de prioridad
8	Puerto 0: Recibir carácter	Comunicación (más alta)	0
9	Puerto 0: Transmisión finalizada		0
23	Puerto 0: Recepción de mensajes finalizada		0
24	Puerto 1: Recepción de mensajes finalizada		1
25	Puerto 1: Recibir carácter		1
26	Puerto 1: Transmisión finalizada		1
19	PTO 0 interrupción completa	Digital (media)	0
20	PTO 1 interrupción completa		1
0	I0.0, flanco positivo		2
2	I0.1, flanco positivo		3
4	I0.2, flanco positivo		4
6	I0.3, flanco positivo		5
1	I0.0, flanco negativo		6
3	I0.1, flanco negativo		7
5	I0.2, flanco negativo		8
7	I0.3, flanco negativo		9
12	HSC0 CV=PV (valor actual = valor predeterminado)		10
27	HSC0 cambio de sentido		11
28	HSC0, puesto a 0 externamente		12
13	HSC1 CV=PV (valor actual = valor predeterminado)		13
14	HSC1, cambio de sentido		14
15	HSC1 puesto a 0 externamente		15
16	HSC2 CV=PV		16
17	HSC2 cambio de sentido		17
18	HSC2 puesto a 0 externamente		18
32	HSC3 CV=PV (valor actual = valor predeterminado)		19
29	HSC4 CV=PV (valor actual = valor predeterminado)		20
30	HSC4 cambio de sentido		21
31	HSC4, puesto a 0 externamente		22
33	HSC5 CV=PV (valor actual = valor predeterminado)	23	
10	Interrupción temporizada 0	Temporización (más baja)	0
11	Interrupción temporizada 1		1
21	Interrupción temporizador T32 CT=PT		2
22	Interrupción temporizador T96 CT=PT		3

# Apéndice G | DATOS TÉCNICOS CPU

## 224

Tabla E-1 Datos técnicos de la CPU 224 DC/DC/DC y de la CPU 224 AC/DC/relé

Descripción No de referencia	CPU 224 DC/DC/DC 6ES7 214-1AD20-0XB0	CPU 224 AC/DC/relé 6ES7 214-1BD20-0XB0
<b>Tamaño físico</b>		
Dimensiones (l x a x p)	120.5 mm x 80 mm x 62 mm	120.5 mm x 80 mm x 62 mm
Peso	360 g	410 g
Pérdida de corriente (disipación)	8 W	9 W
<b>Características de la CPU</b>		
Entradas digitales integradas	14 entradas	14 entradas
Salidas digitales integradas	10 salidas	10 salidas
Contadores rápidos (valor de 32 bits)		
Total	6 contadores rápidos	6 contadores rápidos
Contadores de fase simple	6, con una frecuencia de reloj de 20 kHz c/u	6, con una frecuencia de reloj de 20 kHz c/u
Contadores de dos fases		
Salidas de impulsos	4, con una frecuencia de reloj de 20 kHz c/u	4, con una frecuencia de reloj de 20 kHz c/u
Potenciómetros analógicos		
Interrupciones temporizadas	2 a una frecuencia de impulsos de 20 kHz	2 a una frecuencia de impulsos de 20 kHz
Interrupciones de flanco	2 con resolución de 8 bits	2 con resolución de 8 bits
	2 con resolución de 1 ms	2 con resolución de 1 ms
Tiempos de filtración de entradas		
Captura de impulsos	4 flancos positivos y/o 4 flancos negativos	4 flancos positivos y/o 4 flancos negativos
Reloj de tiempo real (precisión del reloj)	7 márgenes de 0,2 ms a 12,8 ms	7 márgenes de 0,2 ms a 12,8 ms
	14 entradas de captura de impulsos	14 entradas de captura de impulsos
	2 minutos por mes a 255 C	2 minutes per month at 255 C
	7 minutos por mes 05 C a 555 C	7 minutes per month at 05 C a 555 C
Tamaño del programa (almacenado permanentemente)	4096 palabras	4096 palabras
Tamaño del bloque de datos (almacenado permanentemente):	2560 palabras	2560 palabras
Almacenamiento permanente	2560 palabras	2560 palabras
Respaldo por condensador de alto rendimiento o pila	7 módulos	7 módulos
No. de módulos de ampliación	256 E/S	256 E/S
E/S de ampliación digitales (máx.)	16 entradas y 16 salidas	16 entradas y 16 salidas
E/S analógicas (máx.)		
Marcas internas	256 bits	256 bits
Almacenamiento permanente al apagar	112 bits	112 bits
Respaldo por condensador de alto rendimiento o pila	256 bits	256 bits
Temporizadores (total)	256 temporizadores	256 temporizadores
Respaldo por condensador de alto rendimiento o pila	64 temporizadores	64 temporizadores
	4 temporizadores	4 temporizadores
1 ms	16 temporizadores	16 temporizadores
10 ms	236 temporizadores	236 temporizadores
100 ms		

Tabla E-1 Datos técnicos de la CPU 224 DC/DC/DC y de la CPU 224 AC/DC/relé

Descripción N° de referencia	CPU 224 DC/DC/DC 6ES7 214-1AD20-0XB0	CPU 224 AC/DC/relé 6ES7 214-1BD20-0XB0
Contadores (total)	256 contadores	256 contadores
Respaldo por condensador de alto rendimiento o pila	256 contadores 0,37 µs por operación	256 contadores 0,37 µs por operación
Velocidad de ejecución booleana	34 µs por operación	34 µs por operación
Velocidad de ejecución de Transferir palabra	50 µs a 64 µs por operación	50 µs a 64 µs por operación
Velocidad de ejecución de temporizadores/contadores	46 µs por operación	46 µs por operación
Velocidad de ejecución de aritmética de precisión simple	100 µs a 400 µs por operación	100 µs a 400 µs por operación
Velocidad de ejecución de aritmética en coma flotante	típ. 190 h, mín. 120 h a 405 °C	típ. 190 h, mín. 120 h a 405 °C
Tiempo de respaldo por el condensador de alto rendimiento		
<b>Comunicación integrada</b>		
No de puertos	1 puerto	1 puerto
Interface eléctrico	RS-485	RS-485
Aislamiento (señal externa a circuito lógico)	Sin aislamiento	Sin aislamiento
Velocidades de transferencia PPI/MPI	9,6, 19,2 y 187,5 kbit/s	9,6, 19,2 y 187,5 kbit/s
Velocidades de transferencia Freeport	0,3, 0,6, 1,2, 2,4, 4,8, 9,6, 19,2 y 38,4 kbit/s	0,3, 0,6, 1,2, 2,4, 4,8, 9,6, 19,2 y 38,4 kbit/s
Longitud máx. del cable por segmento hasta 38,4 kbit/s	1200 m	1200 m
187,5 kbit/s	1000 m	1000 m
No máximo de estaciones		
Por segmento	32 estaciones	32 estaciones
Por red	126 estaciones	126 estaciones
No. máximo de maestros	32 maestros	32 maestros
Modo maestro PPI (NETR/NETW)	Si	Si
Enlaces MPI	4 en total; 2 reservados: 1 para PG y 1 OP	1 OP
<b>Cartuchos opcionales</b>		
Cartucho de memoria (almacenamiento permanente)	Programa, datos y configuración típ. 200 días	Programa, datos y configuración típ. 200 días
Cartucho de pila (tiempo de respaldo de datos)		
<b>Alimentación</b>		
Tensión de línea (margen admisible)	DC 20,4 a 28,8 V	AC 85 a 264 V 47 a 63 Hz
Corriente de entrada (sólo CPU) / carga máx.	120/900 mA a DC 24 V	35/100 mA a AC 240 V 35/220 mA a AC 120 V
Extra-corriente de serie (máx.)	10 A a DC 28,8 V	20 A a AC 264 V
Aislamiento (corriente de entrada a lógica)	Sin aislamiento	AC 1500 V
Tiempo de retardo (desde la pérdida de corriente de entrada)	mín. 10 ms de DC 24 V	80 ms de AC 240 V, 20 ms de 120 VAC
Fusible interno (no reemplazable por el usuario)	2 A, 250 V, de acción lenta	2 A, 250 V, de acción lenta
<b>+5 alimentación para módulos de ampliación (máx.)</b>	660 mA	660 mA
<b>Alimentación para sensores DC 24 V</b>		
Margen de tensión	DC 15,4 a 28,8 V	DC 20,4 a 28,8 V
Corriente máxima	280mA	280mA
Rizado corriente parásita	Igual que línea de entrada	Menos de 1 V pico a pico (máx.)
Corriente límite	600 mA	600 mA
Aislamiento (alimentación de sensores a circuito lógico)	Sin aislamiento	Sin aislamiento

Tabla E-1 Datos técnicos de la CPU 224 DC/DC/DC y de la CPU 224 AC/DC/relé

<b>Descripción No. de referencia</b>	<b>CPU 224 DC/DC/DC 6ES7 214-1AD20-0XB0</b>	<b>CPU 224 AC/DC/relé 6ES7 214-1BD20-0XB0</b>
<b>Características de las entradas</b>		
N° de entradas integradas	14 entradas	14 entradas
Tipo de entrada	Sumidero de corriente/fuente (tipo 1 IEC)	Sumidero de corriente/fuente (tipo 1 IEC)
<b>Tensión de entrada</b>		
Tensión máx. continua admisible	DC 30 V	DC 30 V
Sobretensión transitoria	DC 35 V, 0,5 s	DC 35 V, 0,5 s
Valor nominal	DC 24 V a 4 mA, nominal	DC 24 V a 4 mA, nominal
Señal 1 lógica (mín.)	mín. DC 15 V a 2.5 mA	mín. DC 15 V a 2.5 mA
Señal 0 lógica (máx.)	máx. DC 5 V a 1 mA	máx. DC 5 V a 1 mA
<b>Aislamiento (campo a circuito lógico)</b>		
Separación galvánica	AC 500 V, 1 minuto	AC 500 V, 1 minuto
Grupos de aislamiento de	8 y 6 entradas	8 y 6 entradas
<b>Tiempos de retardo de las entradas</b>		
Entradas filtradas y entradas de interrupción	0,2 a 12,8 ms, seleccionable por el usuario	0,2 a 12,8 ms, seleccionable por el usuario
Entradas de reloj de los contadores rápidos		
Fase simple		
DC 30 V Nivel 1 lógico = DC 15 V a	20 kHz	20 kHz
DC 26 V Nivel 1 lógico = DC 15 V a	30 kHz	30 kHz
Contadores A/B Nivel 1 lógico = DC 15 V a	10 kHz	10 kHz
DC 30 V Nivel 1 lógico = DC 15 V a	20 kHz	20 kHz
DC 26 V Nivel 1 lógico = DC 15 V a		
<b>Conexión de sensor de proximidad de 2 hilos (Bero)</b>		
Corriente de fuga admisible	máx. 1 mA	máx. 1 mA
<b>Longitud del cable</b>		
No apantallado (no HSC)	300 m	300 m
Apantallado	500 m	50 m
Entradas HSC, apantalladas	50 m	50 m
<b>N° de entradas ON simultáneamente</b>		
40 $\leq$ C	14	14
55 $\leq$ C	14	14
<b>Características de las salidas</b>		
N° de salidas integradas	10 salidas	10 salidas
Tipo de salida	Estado sólido-MOSFET	Relé, contacto de baja potencia
<b>Tensión de salida</b>		
Margen admisible	DC 20,4 a 28,8 V	DC 5 a 30 V ó AC 5 a 250 V
Valor nominal	DC 24 V	—
Señal 1 lógica a corriente máxima	mín. DC 20 V	—
Señal 0 lógica a 10 K $\Omega$ de carga	máx. DC 0,1 V	—

Tabla E-1 Datos técnicos de la CPU 224 DC/DC/DC y de la CPU 224 AC/DC/relé

<b>Descripción No. de referencia</b>	<b>CPU 224 DC/DC/DC 6ES7 214-1AD20-0XB0</b>	<b>CPU 224 AC/DC/relé 6ES7 214-1BD20-0XB0</b>
<b>Corriente de salida</b>		
Señal 1 lógica	0,75 A	2.00 A
No. de grupos de salidas	2	3
No. de salidas ON (máx.)	10	10
Por grupo – montaje horizontal (máx.)	5	4/3/3
Por grupo – montaje vertical (máx.)	5	4/3/3
Corriente máx. por com–n/grupo	3,75 A	8 A
Carga LEDs	5 W	30 W DC/200 W AC
Resistencia estado ON (resistencia contactos)	0,3Ω	0,002 Ω, máx. si son nuevas
Corriente de derivación por salida	máx. 10 μA	–
Sobrecorriente momentánea	máx. 8 A, 100 ms	7A al estar cerrados los contactos
Protección contra sobrecargas	no	no
<b>Aislamiento (campo a circuito lógico)</b>		
Separación galvánica	AC 500 V, 1 minuto	–
Resistencia de aislamiento	–	100 MΩ, mín. si son nuevas
Aislamiento bobina a contacto	–	AC 500 V, 1 minuto
Aislamiento entre contactos abiertos	–	AC 750 V, 1 minuto
En grupos de	5 salidas	4 salidas/3 salidas/3 salidas
<b>Carga inductiva, apriete</b>		
Repetición	1 W, en todos los canales	–
disipación de energía	L+ menos 48V	–
< 0.5 LI <sup>2</sup> x frecuencia de conmutación		
Límites tensión de bloqueo		
<b>Retardo de las salidas</b>		
OFF a ON (Q0.0 y Q0.1)	máx. 2 μs	–
ON a OFF (Q0.0 y Q0.1)	máx. 10 μs	–
OFF a ON (Q0.2 hasta Q1.1)	máx. 15 μs	–
ON a OFF (Q0.2 hasta Q1.1)	máx. 100 μs	–
<b>Frecuencia de conmutación (salida de impulsos)</b>		
Q0.0 y I0.1	máx. 20 kHz	máx. 1 Hz
<b>Relé</b>		
Retardo de conmutación	–	máx. 10 ms
Vida –til mecánica (sin carga)	–	10.000.000 ciclos abiertos/cerrados
Vida –til contactos a carga nominal	–	100.000 ciclos abiertos/cerrados
<b>Longitud del cable</b>		
No apantallado	150 m	150 m
Apantallado	500 m	500 m

# Apéndice H | DATOS TÉCNICOS EM 235

## Datos técnicos de los módulos de ampliación EM 231, EM 232 y EM 235 de entradas y/o salidas analógicas

Tabla F-1 Datos técnicos de los módulos de ampliación EM 231, EM 232 y EM 235 de entradas y/o salidas analógicas

Descripción No. de referencia	EM 231, 4 entradas analógicas x 12 bits 6ES7 231-0HC20-0XA0	EM 232, 2 salidas analógicas x 12 bits 6ES7 232-0HB20-0XA0	EM 235, 4 entradas analógicas/4 salidas analógicas x 12 bits 6ES7 235-0KD20-0XA0	
	Datos de las entradas	Datos de las salidas	Datos de las entradas	Datos de las salidas
<b>Datos generales</b>				
Dimensiones (l x a x p)	71,2 mm x 80 mm x 62 mm	46 mm x 80 mm x 62 mm	71,2 mm x 80 mm x 62 mm	
Peso	183 g	148 g	186 g	
Pérdida de corriente (disipación)	2 W	2 W	2 W	
Cantidad de E/S físicas	4 entradas analógicas	2 salidas analógicas	4 entradas analógicas, 1 salida analógica	
Consumo de corriente				
De +DC 5 V (del bus de ampliación)	20 mA	20 mA	30 mA	
De L+	60 mA	70 mA (ambas salidas a 20 mA)	60 mA (salida a 20 mA)	
Margen de tensión L+, clase 2 o alimentación de sensores DC	20,4 a 28,8	20,4 a 28,8	20,4 a 28,8	
Indicador LED	Alimentación DC 24 V, ON = correcta, OFF = sin corriente DC 24 V	Alimentación DC 24 V, ON = correcta, OFF = sin corriente DC 24 V	Alimentación DC 24 V, ON = correcta, OFF = sin corriente DC 24 V	
<b>Datos de las entradas analógicas</b>				
Formato palabra de datos	(v. figura A-21)		(v. figura A-21).	
Bipolar, margen máx.	-32000 a +32000		-32000 a +32000	
Unipolar, margen máx.	0 a 32000		0 a 32000	
Impedancia de entrada	>=10MΩ		>=10 MΩ	
Atenuación filtro de entrada	-3 db @ 3,1 kHz		-3 db @ 3,1 kHz	
Tensión de entrada máxima	DC 30 V		DC 30 V	
Corriente de entrada máxima	32 mA		32 mA	
Resolución	Convertidor A/D de 12 bits		Convertidor A/D de 12 bits	
No. de entradas analógicas	4		4	
Aislamiento (campo a circuito lógico)	Ninguno		Ninguno	
Tipo de entrada	Diferencial		Diferencial	
Márgenes de las entradas				
Tensión (unipolar)	0 a 10 V, 0 a 5 V		0 a 10 V, 0 a 5 V, 0 a 1 V, 0 a 500 mV, 0 a 100 mV, 0 a 50 mV	
Tensión (bipolar)	+5 V, + 2,5 V		+ 10 V, + 5 V, + 2,5 V, + 1 V, + 500 mV, + 250 mV, + 100 mV, + 50 mV, + 25 mV	
Corriente	0 a 20 mA		0 a 20 mA	
Resolución de las entradas	(v. tabla A-5)		(v. tabla A-13)	
Tensión (unipolar)				
Tensión (bipolar)				
Corriente				
Tiempo de conversión analógica/digital	< 250 μs		< 250 μs	
Respuesta de salto de la entrada analógica	1,5 ms a 95%		1,5 ms a 95%	
Rechazo en modo común	40 dB, DC a 60 Hz		40 dB, DC a 60 Hz	
Tensión en modo común	Tensión de señal más tensión en modo común (debe ser <= 12 V)		Tensión de señal más tensión en modo común (debe ser <= 12 V)	

Descripción No. de referencia	EM 231, 4 entradas analógicas x 12 bits 6ES7 231-0HC20-0XA0	EM 232, 2 salidas analógicas x 12 bits 6ES7 232-0HB20-0XA0	EM 235, 4 entradas analógicas/4 salidas analógicas x 12 bits 6ES7 235-0KD20-0XA0	
	Datos de las entradas	Datos de las salidas	Datos de las entradas	Datos de las salidas
<b>Datos de las salidas analógicas</b>				
No. de salidas analógicas		2		1
Aislamiento (campo a circuito lógico)		Ninguno		Ninguno
Margen de señales Salida de tensión Salida de corriente		+ 10 V 0 a 20 mA		+ 10 V 0 a 20 mA
Resolución, margen mÉx. Tensión Corriente		12 bits 11 bits		12 bits 11 bits
Formato palabra de datos Tensión Corriente		-32000 a +32000 0 a +32000		-32000 a +32000 0 a +32000
Precisión Caso más desfavorable, 0° a 55 °C Salida de tensión Salida de corriente Típico, 25°C Salida de tensión Salida de corriente		+ 2% de margen máx. + 2% de margen máx.  + 0,5 % de margen máx. + 0,5 % de margen máx.		+ 2% de margen máx. + 2% de margen máx.  + 0,5 % de margen máx. + 0,5 % de margen máx.
Tiempo de estabilización Salida de tensión Salida de corriente		100 µS 2 mS		100 µS 2 mS
Accionamiento máx. Salida de tensión Salida de corriente		mín. 5000 Ω máx. 500 Ω		mín. 5000 Ω máx. 500 Ω

