

Pablo A. Daneri

AC 800M

# PLC

## Automatización y Control Industrial

*Diseño e implementación de automatismos basados en PLC Compactos S7-200 de Siemens y AC31 de ABB*

*Aplicaciones con sensores y actuadores*

PM861A

*Configuración de paneles de proceso*



**Hasa**  
[www.hasa.com.ar](http://www.hasa.com.ar)

**Pablo A. Daneri**

# **PLC**

## **Automatización y Control Industrial**



**Hasa**  
[www.hasa.com.ar](http://www.hasa.com.ar)

Daneri, Pablo A.

PLC. Automatización y control industrial. - 1a ed. - Buenos Aires : HASA, 2008.  
184 p. ; 24x17 cm.

ISBN 978-950-528-296-8

1. Automatización Industrial. I. Título

CDD 629.892

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Copyright © 2008 by Editorial Hispano Americana S.A. - H.A.S.A.

Rincón 686/8 - C1227ACD - Buenos Aires - Argentina

Teléfono/Fax: (54-11) 4943-7111

E-mail: [info@hasa.com.ar](mailto:info@hasa.com.ar)

Web Site: <http://www.hasa.com.ar>

IMPRESO EN LA ARGENTINA

PRINTED IN ARGENTINA

*Diseño de Tapa:* Diego F. García y Emmanuel W. Estevez

*Corrección Técnica:* Héctor A. Algarra

*Armado Interior e Ilustraciones:* Pablo A. Daneri y Jorge C. Algarra

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, almacenada en un sistema recuperable, o transmitida por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopiado, grabado u otros, sin el permiso escrito del editor. Ninguna responsabilidad de patente se asume respecto a la información aquí contenida. Aunque se han tomado todas las precauciones en la preparación de este libro, el editor y el autor no asumen responsabilidades por errores u omisiones. Ni se asumen obligaciones por daños resultantes del uso de la información aquí contenida.

**Marcas Comerciales:** Los términos que se suponen sean marcas comerciales han sido destacados con mayúsculas. El editor y el autor no pueden dar fe de la exactitud de la información. El uso de un término en este libro no debe considerarse como que afecta la validez de cualquier marca.

Este libro se terminó de imprimir en el mes de Junio de 2008, en Gráfica Guadalupe, Jorge esq. Corrientes, Rafael Calzada, Prov. de Bs. As., República Argentina.

## Prólogo

Para alcanzar elevados niveles de productividad en la industria, resulta indispensable aplicar tecnología de automatización y control. Esto permite incrementar el rendimiento de las tareas repetitivas, brindar mayor seguridad a los operadores de la planta y garantizar un determinado nivel de calidad en la producción.

Sin embargo, la utilización de tecnología en los procesos productivos exige la formación de personal idóneo para diseñar, mantener, operar y optimizar sistemas cada vez más elaborados. Por ello, los especialistas en automatización deben estar preparados para adaptarse a una tecnología en constante desarrollo.

El objetivo del presente libro es impartir los conocimientos necesarios para diseñar e implementar automatismos basados en PLC. No obstante, se describirán las principales características de los sensores y actuadores de uso frecuente, para la resolución de aplicaciones integrales de control.

Además, se explica el funcionamiento y la configuración de los paneles de proceso, y se brinda una introducción a las redes de comunicación industriales.

Para aprovechar al máximo el material incluido en esta obra se recomienda poseer conocimientos básicos de electricidad.

*Pablo A. Daneri*

## **Acerca del Autor**

Pablo Adrián Daneri nació en Buenos Aires, Argentina, en 1978. Es Ingeniero en Electrónica egresado de la U.T.N. (Universidad Tecnológica Nacional), y se encuentra certificado como Ingeniero de Seguridad Funcional (Functional Safety Engineer) por TÜV Rheinland. En la actualidad realiza proyectos de automatización y control industrial y se desempeña como profesor en el Instituto Argentino de Electrónica Médica ([www.iaem.com.ar](http://www.iaem.com.ar)).

Toda consulta o comentario acerca de la obra podrá ser realizada a su casilla de correo [pablo.daneri@iaem.com](mailto:pablo.daneri@iaem.com) o a [info@hasa.com.ar](mailto:info@hasa.com.ar).

## **Dedicatoria**

*A los colegas y amigos, quienes me han brindado su experiencia y conocimiento, les dedico esta obra que es, en definitiva, un poco de cada uno de nosotros.*

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las siguientes empresas e instituciones que brindaron información y colaboraron de alguna manera en la realización de esta obra:

- ABB
- Festo
- Instituto IAEM
- Phoenix Contact
- Schneider Electric
- Siemens

La ilustración utilizada como fondo de la tapa, pertenece a un controlador modelo PM861A de la línea AC800M de ABB. La fotografía superior corresponde a un módulo de entradas digitales de 24 VCC, modelo DI810 de la línea S800 de ABB, y la fotografía inferior a un panel de proceso modelo PP845 de la línea Panel 800 de ABB.

# Contenido

## Capítulo 1

### **El PLC en los Sistemas de Control ..... 9**

Introducción .....	9
Sistemas de Control a Lazo Abierto y Cerrado.....	9
Automatismos Cableados vs Programables .....	13
Evolución de los PLC .....	24
Componentes de un Automatismo .....	28
Diseño de un Automatismo.....	29
<i>Diagrama Espacio-Fase</i> .....	29
Graficet.....	32
<i>Listado de Asignación de Entradas y Salidas</i> .....	34
<i>Desarrollo de la Lógica en Ladder</i> .....	36
<i>Descarga del Programa</i> .....	38
<i>Conexionado de los Sensores y Actuadores</i> .....	40
<i>Verificación del Funcionamiento</i> .....	42
<i>Selección del PLC</i> .....	44

## Capítulo 2

### **Sensores y Actuadores ..... 47**

Introducción .....	47
Sensores .....	48
<i>Generalidades</i> .....	48
<i>Transductores Pasivos y Activos</i> .....	49
<i>Transductores Analógicos, Digitales y Todo-Nada</i> .....	49
Transductores Analógicos.....	49
Transductores Digitales .....	49
Transductores Todo-Nada.....	50
<i>Esquema en Bloques</i> .....	50
<i>Clasificación</i> .....	51
<i>Características Generales</i> .....	53

<i>Transductores de Posición</i> .....	55
Detectores de Proximidad.....	56
<i>Detectores Inductivos</i> .....	58
<i>Detectores Capacitivos</i> .....	61
<i>Detectores Ópticos</i> .....	63
<i>Detectores Ultrasónicos</i> .....	68
<i>Criterios de Selección</i> .....	69
<i>Codificadores Ópticos (Encoders)</i> .....	71
Codificadores Ópticos Incrementales o Relativos.....	72
Codificadores Ópticos Absolutos.....	73
<i>Sensores de Temperatura</i> .....	74
Actuadores.....	77
<i>Actuadores Neumáticos</i> .....	77
Cilindros de Simple y Doble Efecto.....	77
Cilindros de Carrera Corta.....	79
Pinzas Neumáticas.....	80
Válvulas Neumáticas.....	81
<i>Actuadores Eléctricos</i> .....	84
Contactores para el Mando de Motores.....	84
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Funcionamiento de los PLC</b> .....	<b>89</b>
Introducción.....	89
Estructura Interna del PLC.....	89
Clasificación.....	91
Entradas y Salidas.....	92
<i>Entradas Digitales</i> .....	94
<i>Salidas Digitales</i> .....	97
<i>Señales Analógicas</i> .....	100
<i>Entradas Analógicas</i> .....	101
<i>Salidas Analógicas</i> .....	103
<i>Entradas y Salidas Especiales</i> .....	104
Barrido de Programa. <i>Scan</i> del PLC.....	105
<i>Modos de Operación de la CPU</i> .....	109

Memoria .....	111
Programación .....	112
<i>Estructura de un Programa</i> .....	114
Direccionamiento .....	116
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Programación de los PLC .....</b>	<b>119</b>
Introducción .....	119
<b>Ejemplo 1: Sistema de Llenado de Dos Posiciones</b> .....	119
1.1. Diagrama de Situación .....	119
1.2. Descripción del Automatismo .....	120
1.3. Circuito Electroneumático .....	121
1.4. Diagrama Espacio-Fase .....	121
1.5. Grafcet .....	122
1.6. Asignación de Entradas y Salidas .....	122
1.7. Conexión del PLC .....	124
1.8. Fundamentos Teóricos a Aplicar .....	124
1.9. Programa del PLC .....	126
<b>Ejemplo 2: Sistema de Estampado</b> .....	130
2.1. Diagrama de Situación .....	130
2.2. Descripción del Automatismo .....	130
2.3. Circuito Electroneumático .....	131
2.4. Diagrama Espacio-Fase .....	133
2.5. Grafcet .....	133
2.6. Asignación de Entradas y Salidas .....	134
2.7. Conexión del PLC .....	136
2.8. Fundamentos Teóricos a Aplicar .....	136
2.9. Programa del PLC .....	139
<b>Ejemplo 3: Mezcladora</b> .....	142
3.1. Diagrama de Situación .....	142
3.2. Descripción del Automatismo .....	143
3.3. Circuito Eléctrico .....	143
3.4. Diagrama Espacio-Tiempo .....	144

3.5. Grafcet.....	145
3.6. Asignación de Entradas y Salidas.....	145
3.7. Conexión del PLC.....	146
3.8. Fundamentos Teóricos a Aplicar.....	146
3.9. Programa del PLC.....	148
<b>Ejemplo 4: Automatización de una Playa de Estacionamiento.....</b>	<b>152</b>
4.1. Diagrama de Situación.....	152
4.2. Descripción del Automatismo.....	152
4.3. Circuito Electroneumático.....	153
4.4. Asignación de Entradas y Salidas.....	153
4.5. Conexión del PLC.....	154
4.6. Fundamentos Teóricos a Aplicar.....	155
4.7. Programa del PLC.....	156
<b>Ejemplo 5: Control ON/OFF de Temperatura.....</b>	<b>159</b>
5.1. Diagrama de Situación.....	159
5.2. Descripción del Automatismo.....	159
5.3. Asignación de Entradas y Salidas.....	160
5.4. Conexión del PLC.....	160
5.5. Fundamentos Teóricos a Aplicar.....	162
5.6. Programa del PLC.....	163
<b>Capítulo 5</b>	
<b>Paneles de Proceso, Redes de PLC y</b>	
<b>Unidades Remotas.....</b>	<b>167</b>
Paneles de Proceso.....	167
Características de los Paneles de Proceso.....	167
Interacción con los PLC.....	169
Programación del Panel.....	170
Redes de PLC.....	179
Redes Industriales.....	179
Red Profibus.....	181
Unidades Remotas.....	182

## Capítulo 1

# El PLC en los Sistemas de Control



## Introducción

En un principio, los obreros eran responsables de planear y ejecutar la producción que les era encomendada, realizando las tareas según la forma que ellos creían más correcta. Las propuestas de Frederick W. Taylor, a fines del siglo XIX, optimizaron y dieron uniformidad a los procesos productivos, instaurando el concepto de la especialización de tareas. De esta manera, se dividió un proceso en pequeñas celdas de trabajo, logrando que los operarios adquirieran más destreza y ganen más tiempo realizando una función limitada e iterativa todos los días.

La producción a gran escala involucra tareas repetitivas, donde se debe mantener, además, un conjunto de magnitudes (por ejemplo la presión, la temperatura, etc.) dentro de márgenes preestablecidos. La aplicación de los dispositivos electromecánicos y electrónicos en el área industrial permitió automatizar las tareas repetitivas, aumentando así los niveles de producción, y controlar las magnitudes físicas en forma más precisa. Automatizar y controlar, las principales funciones que desempeñan los sistemas de control.

## Sistemas de Control a Lazo Abierto y Cerrado

Un sistema de control es un arreglo de componentes cuyo objetivo es comandar o regular la respuesta de una parte del proceso, conocida como planta, sin que el

operador intervenga en forma directa sobre sus elementos de salida. El operador manipula únicamente magnitudes de baja potencia denominadas de consigna, mientras que el sistema de control, a través de los accionamientos conectados en sus salidas, se encarga de producir los cambios energéticos en la planta.

La Fig. 1.1 muestra un sistema de control cuyo objetivo es controlar la temperatura dentro del recipiente. El operador ajusta el valor de temperatura deseado mediante el potenciómetro (magnitud de consigna o *setpoint*) y, de acuerdo a la posición del mismo, el sistema de control se encargará de aumentar la corriente sobre el resistor calefactor mediante su etapa de potencia. Esto se traduce en un mayor calentamiento y, en consecuencia, en un aumento de la temperatura dentro del recipiente.

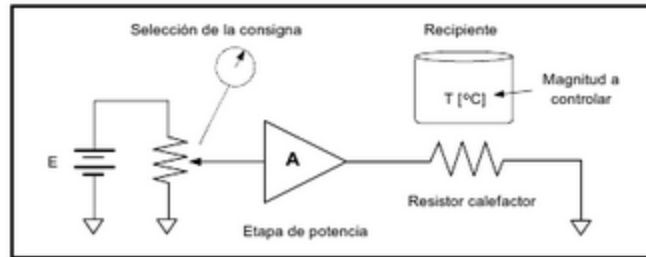


Fig. 1.1. Sistema de control de temperatura a lazo abierto.

Este sistema de control requiere de una calibración inicial. Para lograrla, se debe medir el valor de temperatura dentro del recipiente para diferentes posiciones del mando del potenciómetro e ir rotulando el mismo en términos de temperatura. De esta forma, el operador puede luego seleccionar, a través del cursor, la temperatura deseada dentro del recipiente (magnitud de consigna) y el sistema de control suministrará la potencia necesaria para conseguirla.

El tipo de sistema de control mencionado se denomina a **lazo abierto**, por el hecho que no recibe ningún tipo de información del comportamiento de la planta. Se puede definir un sistema a lazo abierto como aquél en el cual la acción de control es independiente de la/las señales de salida. Por ejemplo, el sistema de control no realizará acción alguna para compensar variaciones en la temperatura del recipiente en caso de perturbaciones externas, tales como, variación de la temperatura ambiente, cambios en la densidad del líquido, etc. El diagrama en bloques presentado en la Fig. 1.2 corresponde al de un sistema de control a lazo abierto.

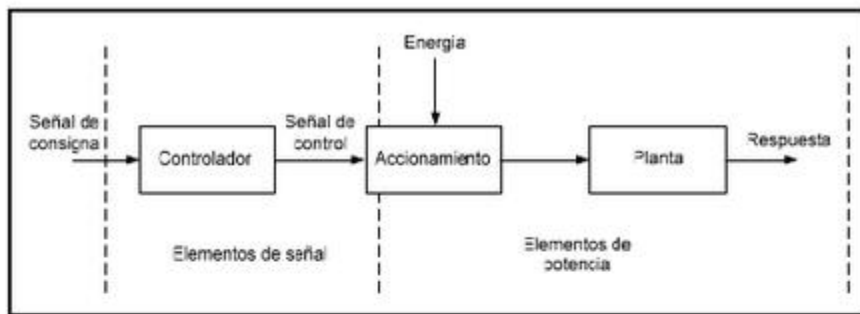


Fig. 1.2. Diagrama en bloques de un sistema de control a lazo abierto.

Lo habitual, sin embargo, es que el sistema de control se encargue de la toma de ciertas decisiones ante determinados comportamientos de la planta, hablándose entonces de sistemas de control automáticos.

Para ello se requiere la existencia de sensores que detecten el comportamiento de dicha planta y brinden, mediante interfaces de adaptación, estas señales a las entradas del sistema de control quien se encargará de ejecutar las acciones correctivas.

Este tipo de sistemas se denomina a **lazo cerrado** ya que su estructura denota claramente una cadena directa y un retorno o realimentación, formando lo que se denomina lazo de control. Podemos considerar entonces un sistema de control a lazo cerrado como aquel en el cual la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la/las señales de salida.

A modo de ejemplo, en la Fig. 1.3 se puede apreciar un control de temperatura a lazo cerrado que incorpora una termocupla como dispositivo sensor. Esta termocupla brinda una diferencia de potencial proporcional a la temperatura medida, que se reinyecta a la entrada como resta de la magnitud de consigna.

Por lo tanto, una vez ajustado el valor de referencia, si la temperatura en el recipiente tiende a subir debido a una perturbación externa, también lo hará la tensión de la termocupla, haciendo que el valor a restar sea mayor y, en consecuencia, disminuya la corriente sobre el resistor calefactor.

Esto hará que la temperatura disminuya compensando así el alza que produjo a partir de la perturbación. En consecuencia, el sistema de control reaccionó de forma automática para mantener la variable de salida constante.

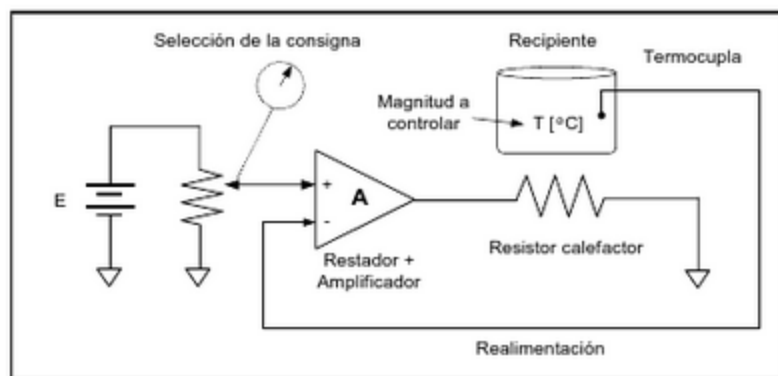


Fig. 1.3. Sistema de control de temperatura a lazo cerrado.

El diagrama en bloques de la Fig. 1.4 permite observar las distintas etapas que componen un sistema de control a lazo cerrado.

El bloque controlador compara el valor efectivo de la salida de la planta con el valor deseado o de referencia, generando así la señal de error y la señal de control. La forma o tipo de respuesta con que el sistema de control produce la señal de control recibe el nombre de acción de control. Las acciones de control más comunes son las siguientes:

- Control de dos posiciones: ON – OFF.
- Control Proporcional + Integral: PI.
- Control Proporcional + Derivativo: PD.
- Control Proporcional + Integral + Derivativo: PID.

Las diferentes acciones de control se desarrollarán más adelante.

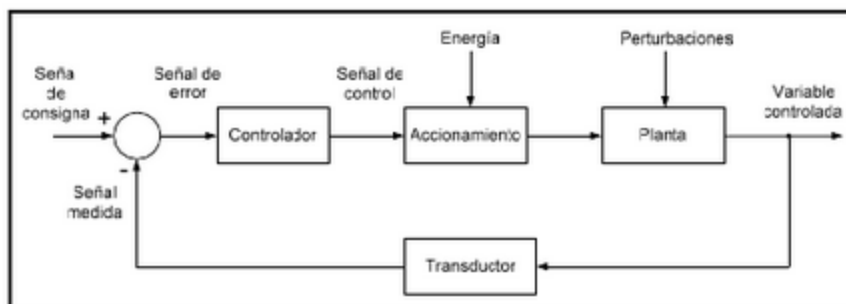


Fig. 1.4. Diagrama en bloques de un sistema de control a lazo cerrado.

Tanto el ejemplo citado como el esquema en bloques, muestran una realimentación negativa. Dependiendo de la magnitud a controlar y las características del proceso, puede ocurrir que la realimentación sea positiva.

## Automatismos Cableados vs Programables

Un automatismo es un sistema que realiza una labor de manera automática de acuerdo a los parámetros con los cuales ha sido diseñado. Los objetivos de un automatismo son mejorar la eficiencia del proceso incrementando la velocidad de ejecución de las tareas, la calidad y la precisión, disminuyendo además los riesgos que se podrían tener si las mismas fuesen manuales.

En la Fig. 1.5 se puede observar un sistema compuesto de un tanque que suministra agua al resto de un proceso productivo. La finalidad del automatismo a implementar es mantener el nivel del líquido dentro del tanque entre los niveles L y H.

Para ello se utilizarán dos detectores de nivel y una bomba que impulsa líquido al interior del tanque. Cada detector de nivel dispone de un contacto eléctrico que está normalmente cerrado y se abre en caso de sensar líquido.

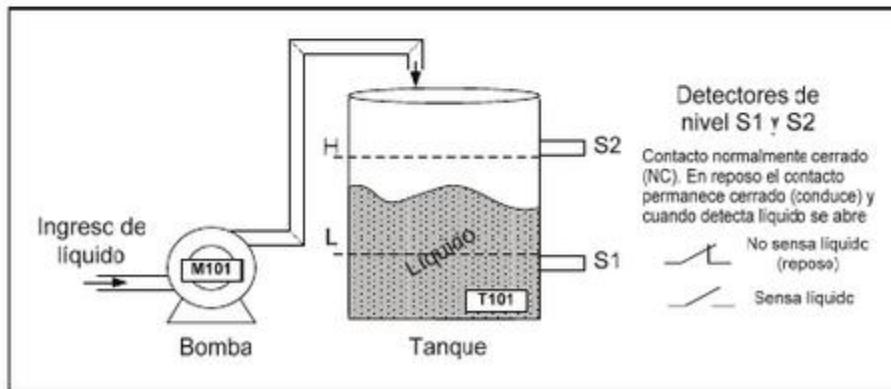


Fig. 1.5. Sistema de control de nivel de agua.

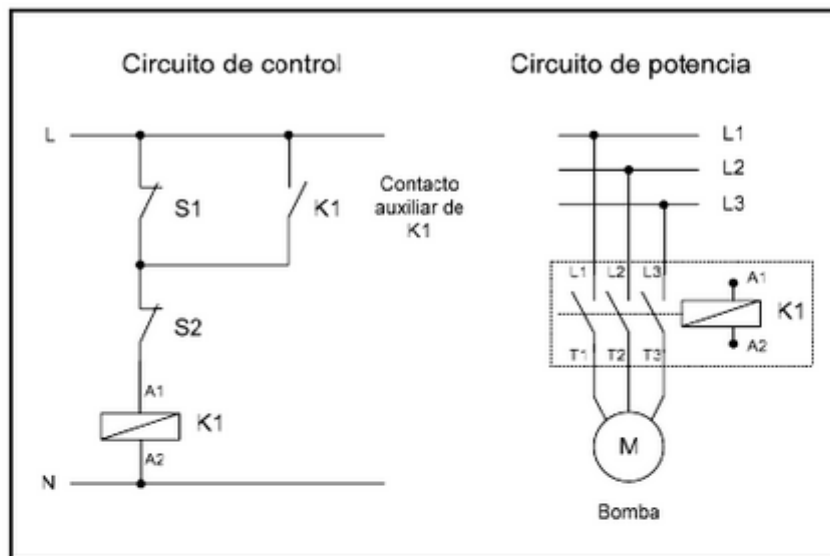


Fig. 1.6. Implementación del sistema de control de nivel mediante relés.

Existen diferentes alternativas para obtener un sistema automático que cumpla con lo requerido. Una posibilidad es mediante el uso de relés tal como se muestra en la Fig. 1.6.

Si el nivel de líquido se encuentra entre L y H, el interruptor S1 estará abierto y S2 cerrado. Cuando el nivel esté por debajo de L, se cerrará S1 y se activará el contactor K1, accionando la bomba mediante sus contactos de potencia. Esto provocará que ingrese líquido al tanque aumentando el nivel.

Una vez que el nivel supera L, el interruptor S1 se abrirá pero la bomba se mantendrá en funcionamiento debido a que el contacto auxiliar de retención de K1 mantendrá la bobina energizada. Cuando el nivel esté por encima de H se abrirá el contacto S2 desconectando el contactor K1.

También, es factible implementar este sistema de control utilizando técnicas digitales. En la Fig. 1.7 se muestra un circuito basado en un *flip-flop SR* (*Set-Reset*).

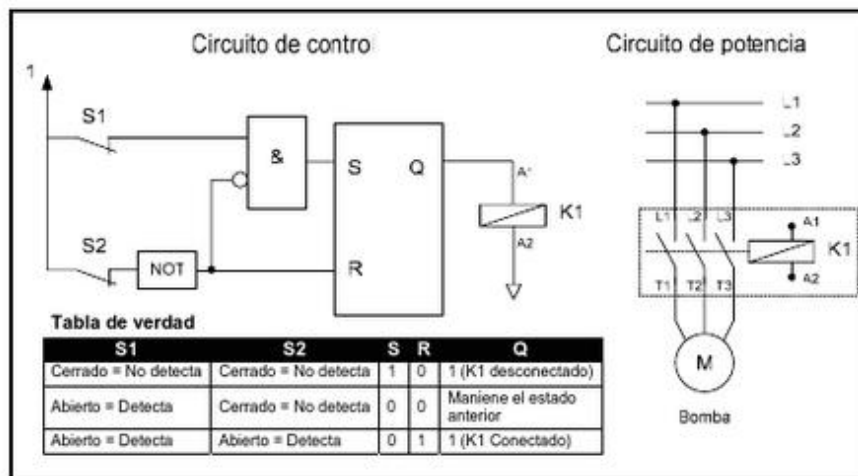


Fig. 1.7. Implementación del sistema de control de nivel mediante técnicas digitales.

El detector S1 se conecta a una compuerta AND cuya finalidad es evitar el estado prohibido  $S = 1; R = 1$ , haciendo que tenga prioridad la entrada R por sobre la S del *flip-flop* (S-R dominante).

Por otra parte, el detector S2 se vincula a la R a través de un negador, que invierte el nivel lógico de la señal. La salida Q comanda un contactor K1 que activa la bomba mediante sus contactos de potencia. Cuando el nivel de líquido se encuentre por debajo de S1, ambos interruptores S1 y S2 estarán cerrados, y debido al negador de S2 quedará  $S = 1$  y  $R = 0$ . Esto hará  $Q = 1$  y la bomba se encenderá. El nivel comenzará a subir, pero mientras se encuentre por encima de L y por debajo de H, S1 estará abierto y S2 cerrado, haciendo que las entradas S y R estén en cero manteniendo así el estado anterior de Q (salida activada). Cuando se supere el nivel H, el interruptor S2 se abrirá y se obtendrá  $S = 0$  y  $R = 1$ , provocando  $Q = 0$  y deteniendo la bomba.

Otra alternativa, es resolver este simple automatismo aplicando un PLC. Podemos definir a un PLC (*Programmable Logic Controller* - Controlador Lógico Programable) como un equipo electrónico, programable por el usuario en lenguaje no informático, y que está destinado a gobernar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos y/o secuenciales.

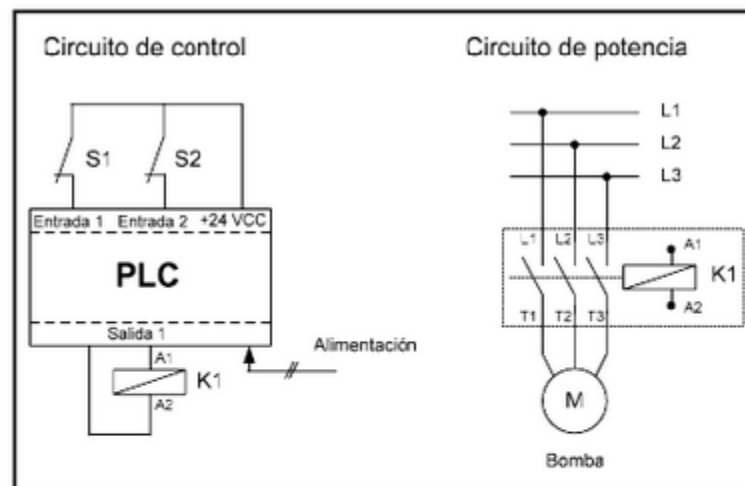
Un PLC consta de un hardware estándar, con capacidad de conexión directa a las señales de campo (niveles de tensión y corriente compatibles con los sensores y

actuadores industriales) y programable por el usuario para que desempeñe una determinada función.

Una vez programado, el PLC trabaja de forma cíclica. Durante su funcionamiento, primero se leen los estados de las entradas memorizándose en un área de memoria denominada imagen de proceso de las entradas (PAE).

Con esta información se ejecuta luego el programa de control y, de acuerdo a su lógica, se va modificando otra área de memoria conocida como imagen de proceso de las salidas (PAA). En la última etapa del ciclo, los estados memorizados en la PAA se transfieren a las salidas físicas. Seguidamente comienza de nuevo el ciclo.

Para utilizar un PLC como controlador del nivel del tanque será necesario entonces conectar cada detector a una entrada y el contactor K1 que comanda la bomba a una salida (ver la Fig. 1.8). Luego se necesita realizar el programa en una PC para después ser descargado al PLC mediante un cable de comunicación.



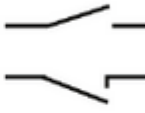

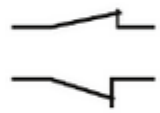


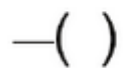
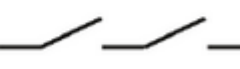



**Fig. 1.8.** Implementación del sistema de control de nivel mediante un PLC.

Este programa consiste en una secuencia en instrucciones que el PLC ejecutará en forma repetitiva dándole una funcionalidad específica. Una vez programado, el PLC almacena este programa y no se requiere la conexión de la PC para su funcionamiento.

La programación de los PLC puede ser realizada en diferentes lenguajes, tales como *ladder* o KOP, bloques de función o FUP, listado de instrucciones o AWL, texto estructurado, etc.

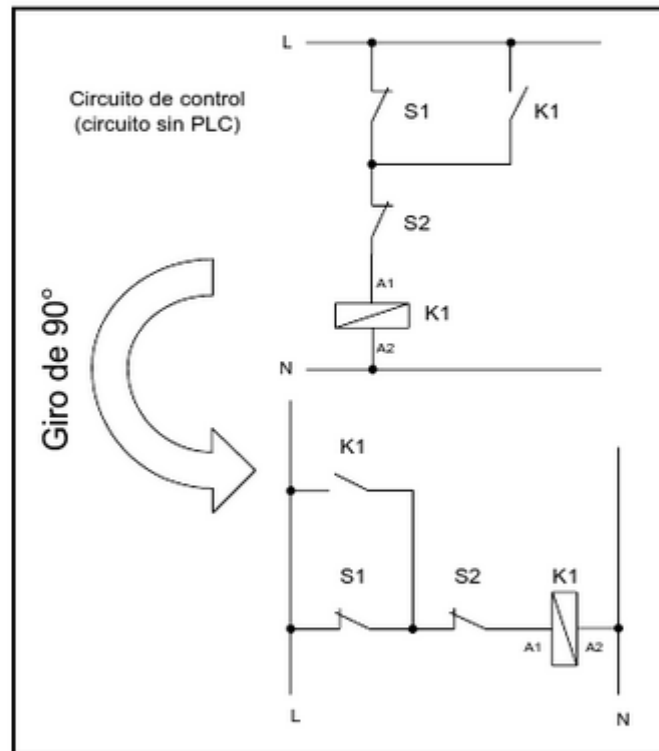
En la Tabla 1.1 se pueden observar las equivalencias entre algunos de los símbolos eléctricos y su instrucción en el PLC.

**Tabla. 1.1.** Equivalencias entre algunos símbolos eléctricos y su instrucción en el PLC.

	Símbolo en esquema eléctrico	Instrucción de lenguaje <i>ladder</i> en el PLC	Descripción de la función
<b>Contacto normalmente abierto (NA)</b>			Si circula corriente por el contacto, el resultado de la instrucción es verdadero <b>I</b>
<b>Contacto normalmente cerrado (NC)</b>			Si <b>no</b> circula corriente por el contacto, el resultado de la instrucción es verdadero <b>I</b>
<b>Bobina</b>			La bobina se activa si se la alimenta con un valor verdadero
<b>Contactos en serie (condición Y)</b>			Combinación <b>Y</b> . Para que circule corriente deberán estar cerrados el primer Y el segundo interruptor
<b>Contactos en paralelo (condición O)</b>			Combinación <b>O</b> . Para que circule corriente deberán estar cerrados el primer O el segundo interruptor

Al programar en *ladder* o KOP, se emplea un formato de programación gráfico, compuesto por varios segmentos. En dichos segmentos se pueden encontrar contactos en estado normal abierto y/o cerrado, bobinas y cuadros de funciones especiales.

Este lenguaje está basado en un esquema de contactos eléctricos similar al mostrado en la Fig. 1.6, lo cual resulta de simple interpretación para quienes están habituados a la lectura de circuitos electromecánicos.



**Fig. 1.9.** Método para la conversión de un esquema eléctrico a un programa en *ladder*.

Para pasar de un esquema eléctrico a un programa en lenguaje *ladder* o KOP, en primer lugar se debe girar el esquema eléctrico  $90^\circ$  hacia la izquierda. De esta manera, la línea de fase L se ubica a la izquierda y el neutro N a la derecha, quedando en el centro los contactos del circuito (ver la Fig. 1.9). De acuerdo a lo mencionado, la parte del esquema que representa la lógica control (lógica de maniobra) será sustituida por el PLC, pero no es posible reemplazar a los sensores

(por ejemplo, interruptores, selectores, sensores, etc.) de entrada, ni a los actuadores (por ejemplo, contactores de motor, válvulas, etc.) de salida.

En la Fig. 1.10 se puede observar el programa correspondiente al control de nivel en lenguaje *ladder* o KOP. En la entrada I0.0 del PLC se conectó el sensor S1, en la entrada I0.1 se conectó el sensor S2 y en la salida Q0.0 se conectó la bobina del contactor K1 (ver la Tabla 1.2).

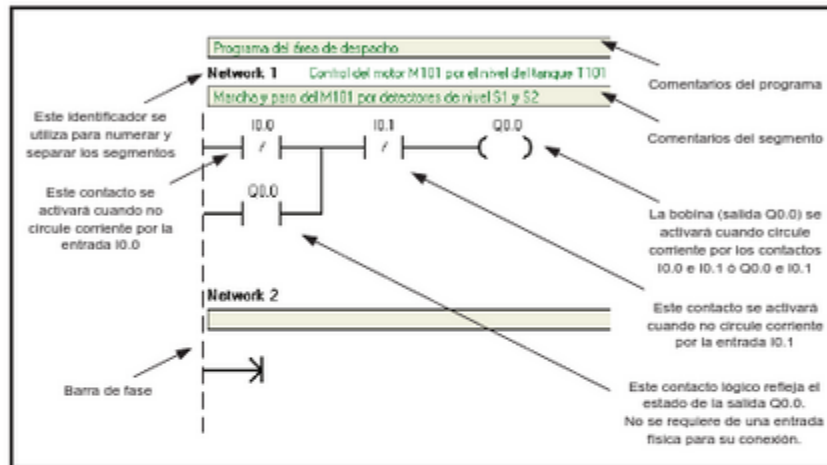


Fig. 1.10. Programa para el control de nivel en lenguaje de contactos o *ladder*.

Tabla. 1.2. Listado de asignación de entradas y salidas para el programa de la Fig. 1.10.

Entradas	
Identificación	Dirección
S1	I0.0
S2	I0.1
Salidas	
Identificación	Dirección
K1	Q0.0

Si el nivel en el tanque es inferior a L, no circula corriente por S1 ni S2 y, por lo tanto, se activa la salida Q0.0. Durante el ciclo de ejecución siguiente (tras pocos milisegundos) aparecerá cerrado el contacto Q0.0 conectado en paralelo a I0.0. Esto hace que actúe la auto-retención. El contacto normalmente cerrado I0.1 permite, que si se actúa sobre el detector S2 (al detectar nivel superior a H), se

anule la auto-retención. El contacto Q0.0 es un contacto lógico interno (no físico) que se cierra cuando se activa la salida Q0.0.

Existe otra variante para la programación de una auto-retención. En lugar de realimentar la salida, como vimos en el ejemplo de la Fig. 1.10, se puede recurrir a las funciones **Poner a 1** (S) y **Poner a 0** (R), tal como se muestra en el esquema de contactos de la Fig. 1.11.

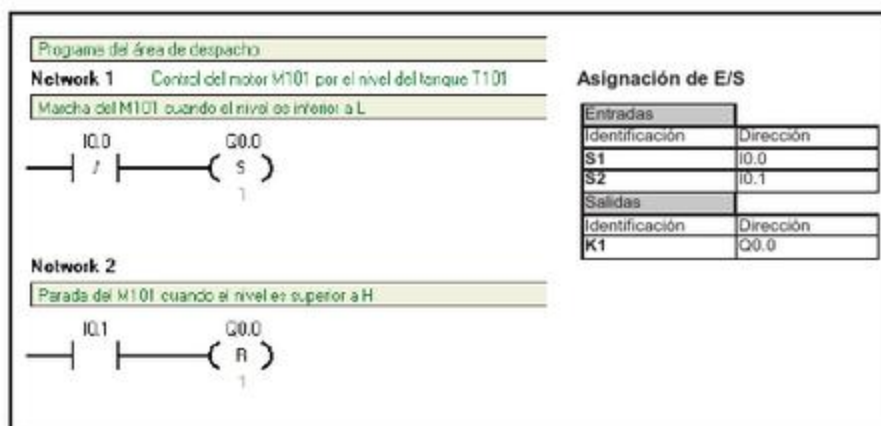


Fig. 1.11. Variante de auto-retención mediante las funciones **Poner a 1** (S) y **Poner a 0** (R).

Estas funciones actúan como un *flip-flop SR (Set-Reset)*. Por lo tanto, un impulso en I0.0 permite, gracias a la operación **Poner a 1** (S), que se conecte permanentemente Q0.0. En cambio, un impulso en I0.1 hace, a través de la operación **Poner a 0** (R), que Q0.0 se vuelva a desconectar.

Si en cambio, utilizamos un lenguaje del tipo de bloques de función o FUP, notaremos que su disposición se asemeja a un esquema de técnicas digitales, como el presentado en la Fig. 1.7. Esto resulta amigable para aquellos que desarrollaban lógicas usando compuertas y otros componentes lógicos. En la Fig. 1.12 se puede apreciar el programa del control de nivel en lenguaje de bloques de función o FUP.

En el lenguaje de programación AWL, cada línea de programa contiene una operación que utiliza una abreviatura nemotécnica para representar una función determinada. En la Fig. 1.13 se puede ver el mismo programa en formato AWL. Este tipo de lenguaje, similar al *assembler* utilizado en la programación de microcontroladores, es altamente potente, pero requiere conocer el juego de

instrucciones que soporta el modelo de PLC a programar, aumentando así la complejidad.

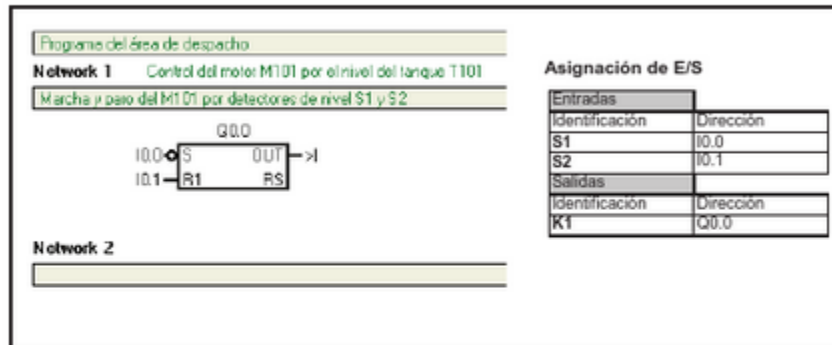


Fig. 1.12. Programa para el control de nivel en lenguaje de bloques o FUP.

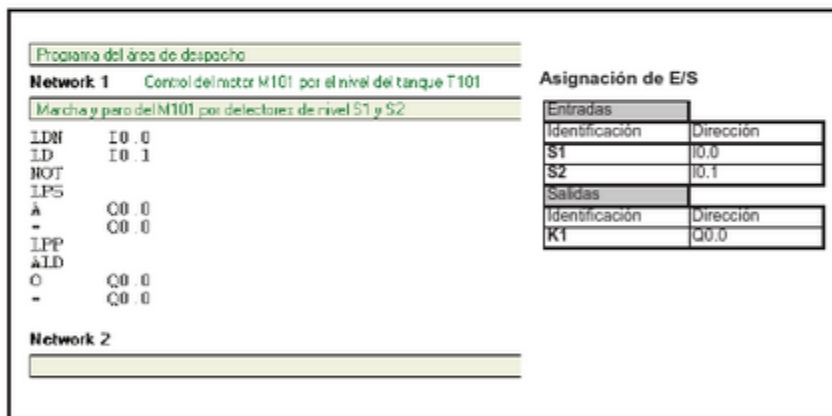


Fig. 1.13. Programa para el control de nivel en lenguaje AWL.

Una variante de la auto-retención presentada en la Fig. 1.10 se utiliza frecuentemente para el comando de motores. En la Fig. 1.14 se puede observar la lógica de control donde se empleó un pulsador NA para dar la marcha al motor y otro NC para detenerlo.

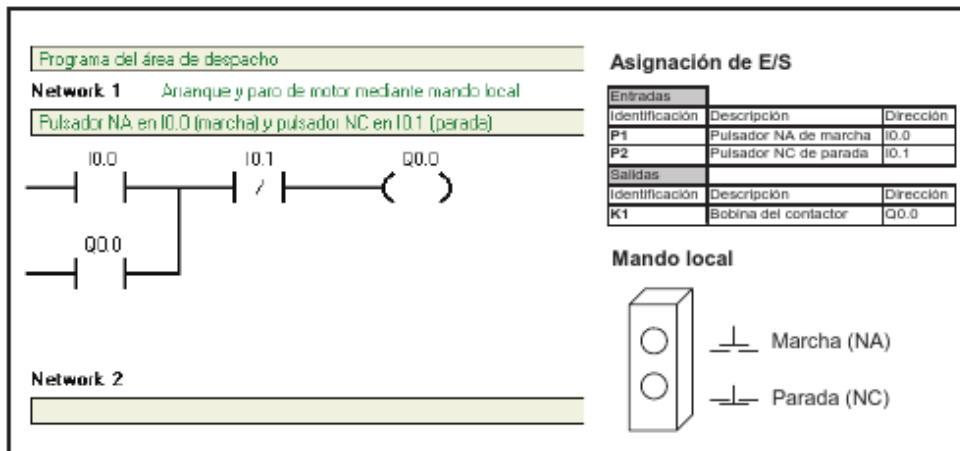


Fig. 1.14. Lógica para arranque y parada de motores.

El P2 es un pulsador con un contacto normalmente cerrado que entrega un 0 cuando se presiona. En el programa, esta señal se invierte mediante un contacto normalmente cerrado en I0.1. Es decir, Q0.0 se pone a 0 cuando se presiona el P2. Por lo tanto, en caso de rotura de un cable, el automatismo presenta un mecanismo de seguridad implícito que garantiza la desconexión de la bomba.

A partir de los ejemplos antes mencionados, es posible clasificar a los sistemas de control de acuerdo al tipo de tecnología que utilizan para resolver el automatismo. Tendremos entonces en los sistemas de control dos grandes grupos:

- Sistemas cableados.
- Sistemas programables.

Los primeros realizan una función de control fija, que depende de los componentes que lo constituyen y de la forma como se han interconectado. Por lo tanto, la única forma de alterar la función de control es modificando sus componentes o la forma de interconectarlos.

En los sistemas programables, en cambio, se pueden realizar distintas funciones de control sin alterar su configuración física, sólo cambiando el programa de control.

En los PLC, el programa puede ser realizado y modificado por el usuario (no siendo una lógica fija a medida), con lo cual se obtienen los beneficios de un equipo multifunción con un hardware estándar.

En la Tabla 1.3 vemos las ventajas que presentan los sistemas programables basados en PLC, frente a los realizados a medida (como por ejemplo con microcontroladores) y los sistemas cableados, particularmente de relés.

**Tabla. 1.3.** Ventajas de los sistemas programables frente a los sistemas cableados.

Características	Sistemas cableados	Sistemas programables		
	De relés	Lógica a medida	PLC	
Tamaño	Alto	Bajo	Bajo	
Consumo	Alto	Bajo	Bajo	
Velocidad de respuesta	Baja	Baja	Baja	
Interconexión con otros procesos	Difícil	Difícil	Fácil	
Desgaste	Alto	Bajo	Bajo	
Robustez	Alta	Baja	Media	
Ampliación (escalabilidad)	Difícil	Muy Difícil	Fácil	
Flexibilidad	Baja	Nula	Alta	
Costo por variable interna	Alto	Media	Bajo	
Costo para E/S > 15				
Pequeñas series	Alto	Medio	Bajo	
Grandes series	Alto	Bajo	Medio	
Especialización del personal de mantenimiento	Baja	Alta	Media	
Herramientas de diagnóstico de fallas	Nula	Baja	Alta	
Modificaciones sin parar el proceso (en línea)	Nula	Nula	Alta	
Cantidad de mano de obra para la implementación del un proyecto	Alta	Media	Baja	
Hardware estándar para diferentes aplicaciones	Nula	Nula	Alta	
Repuestos en el mercado	Altos	Nulos	Medios	
Funciones	Lógica combinacional	Sí	Sí	Sí
	Lógica secuencial	Limitada	Sí	Sí
	Instrucciones aritméticas	No	Sí	Sí
	Lazos de control PID	No	Sí	Sí
	Textos y gráficos	No	Sí	Sí
	Protocolos de comunicación estándar	No	Sí	Sí
	Toma de decisiones	Bajo nivel	Sí	Sí
	Lenguajes de programación estándar	No	No	Si

## **Evolución de los PLC**

En sus comienzos, los controladores se limitaban a realizar procesos secuenciales repetitivos y se programaban exclusivamente con listas de instrucciones usando equipos de programación pesados y voluminosos.

A partir de la aparición del microprocesador, los equipos eran capaces de manejar mayor cantidad de datos y realizar operaciones aritméticas sencillas. A medida que estas operaciones fueron más complejas, los controladores pudieron tomar los datos del campo en forma numérica, resolver ecuaciones y generar señales correctivas al proceso (lazos cerrados).

Por otra parte, la comunicación cada vez más sencilla con computadoras permitió utilizarlas para la programación y almacenar los proyectos en archivos para facilitar la reprogramación.

El desarrollo de memorias con cada vez más capacidad de almacenamiento en menor espacio hizo que los controladores disminuyeran su tamaño (reducción de espacio en tableros) y guardasen programas mucho más grandes y complejos.

Junto con la evolución de las comunicaciones se creó una gran variedad de paneles de operación e indicación. El objetivo de estos equipos es brindarle al usuario de la máquina o del proceso una interfaz de operación gráfica y sencilla.

En la Fig. 1.15 se puede observar un panel de operación PP845 de la línea *Process Panel 800* de ABB, junto con las especificaciones técnicas de la misma. Su configuración y funcionamiento se detallan en el Capítulo 5.

Fue posible además, colocar entradas y salidas remotas en forma distribuida y a veces a grandes distancias del controlador, lo cual significa un ahorro considerable de instalación y cableado y, por consiguiente, una gran sencillez de mantenimiento. Con entradas y salidas remotas, viajan por un solo par de cables un conjunto de señales, que de otra manera, necesitarían miles de cables, cajas de paso con borneras, tableros, etc.

	PP836	PP846
Tamaño del panel	6,5 "	10,4 "
Resolución	640 × 480 pixels	800 × 600 pixels
Tipo de interacción	Teclas de función	Teclas de función
LED	16 (2 colores)	20 (2 colores)
Consumo	0,4 A	0,5 A
Dimensiones	285 × 177 × 6 mm	382 × 252 × 6 mm
Puertos serie	RS422/485/RS232	RS422/485/RS232
Puerto ethernet	RJ45 10/100 Mbit/s	RJ45 10/100 Mbit/s
USB	Sí	Sí



	PP835	PP845	PP865
Tamaño del panel	6,5 "	10,4 "	15 "
Resolución	640 × 480 pixels	800 × 600 pixels	1024 × 768 pixels
Tipo de interacción	Táctil	Táctil	Táctil
LED	-	-	-
Consumo	0,4 A	0,5 A	1,2 A
Dimensiones	219 × 154 × 6 mm	302 × 228 × 6 mm	398 × 304 × 6 mm
Puertos serie	RS422/485/RS232	RS422/485/RS232	RS422/485/RS232
Puerto ethernet	RJ45 10/100 Mbit/s	RJ45 10/100 Mbit/s	RJ45 10/100 Mbit/s
USB	Sí	Sí	Sí

Fig. 1.15. Panel de operación y especificaciones técnicas de la línea *Process Panel 800* de ABB.

La Fig. 1.16 se muestra un controlador de la línea AC800M de ABB con módulos de entradas y salidas remotas de la línea S800 de ABB. Este tema se desarrollará de forma más específica en el Capítulo 6.

La aparición de entradas y salidas de alta velocidad permitió al controlador recibir señales de generadores de pulsos y así incursionar en el control de posición.

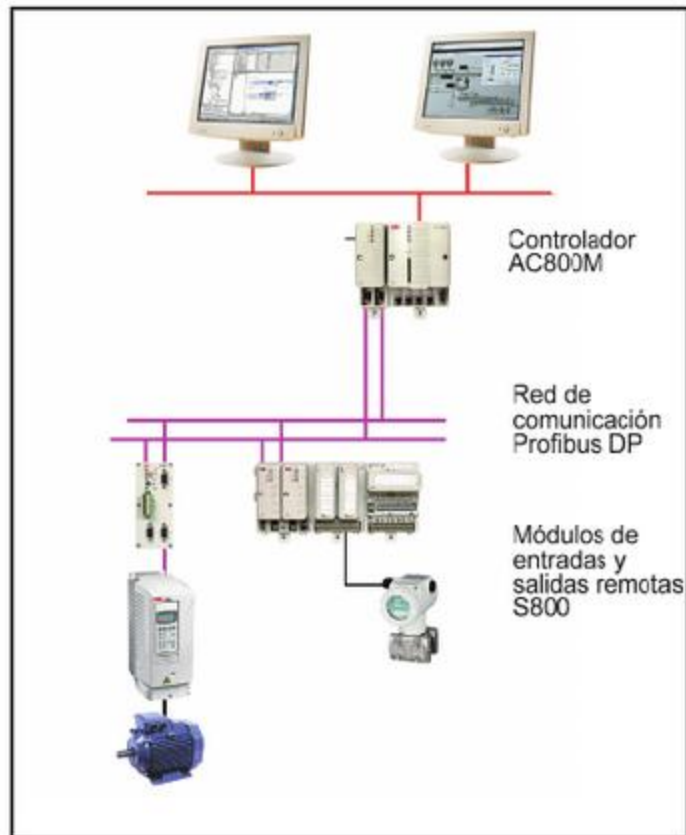
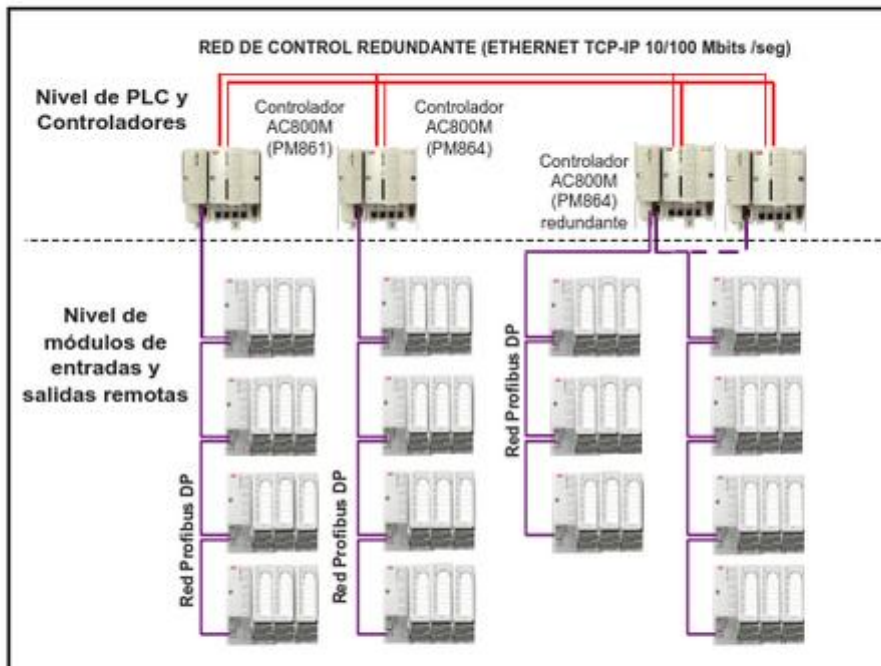


Fig. 1.16. Controlador AC800M de ABB, con entradas y salidas remotas S800.

El vínculo entre los controladores y las computadoras creció rápidamente y se sucedieron gran cantidad de paquetes de software para ejecutar en la PC y convertirlas a éstas desde simples visualizadoras del proceso, hasta conjuntos de supervisión y control sumamente avanzados.

Otro desarrollo muy importante fue la posibilidad de construir redes con muchos controladores, computadoras y sistemas de control distribuidos (ver la Fig. 1.17).



**Fig. 1.17.** Arquitectura de controladores AC800M de ABB, comunicados entre sí a través de una red Ethernet redundante.

En cuanto a la evolución del hardware se ha llegado a equipos muy veloces con gran capacidad de manejo y variedad de entradas y salidas, control del tipo proporcional-integral-derivativo (PID), aplicaciones de inteligencia artificial, sistemas instrumentados de seguridad, etc. (ver la Fig. 1.18).



Fig. 1.18. Controlador AC800M HI de ABB, utilizado en sistemas instrumentados de seguridad.

## Componentes de un Automatismo

Los automatismos están compuestos por tres partes fundamentales, como son la obtención de señales mediante sensores, el procesamiento de dichas señales por lógicas de control y la ejecución de las respuestas mediante los actuadores (ver la Fig. 1.19).

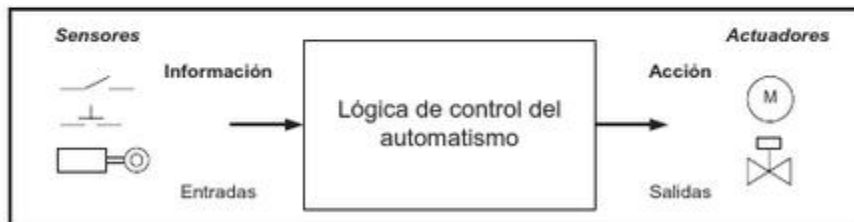


Fig. 1.19. Componentes de un automatismo.

## Diseño de un Automatismo

Como mencionamos anteriormente, numerosos procesos industriales consisten en la realización de una serie de actividades u operaciones, de forma iterativa y siguiendo una secuencia determinada.

### Diagrama Espacio-Fase

El primer paso para el diseño de un automatismo es establecer en forma gráfica el trabajo que se va a realizar y el desarrollo de las secuencias o fases que componen el ciclo. Para ello, es conveniente empezar por representar, de una forma simple y esquemática, los mecanismos y los elementos motrices que se van a emplear. Proyectaremos a continuación el automatismo para la máquina cuyo esquema de situación se ilustra en la Fig. 1.20.

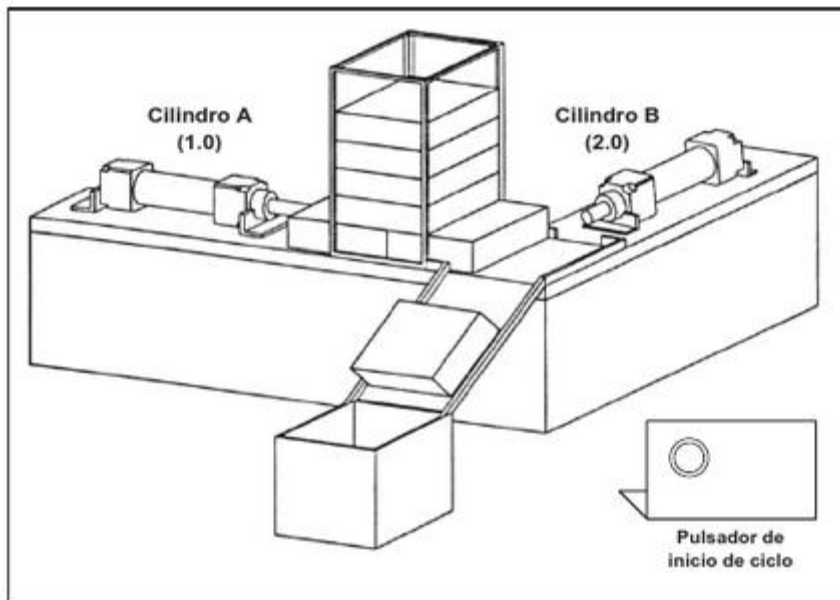


Fig. 1.20. Esquema de situación del automatismo.

Al oprimir el pulsador de inicio, el cilindro A (1.0) extrae una pieza del cargador. A continuación, el otro cilindro B (2.0) desplaza la pieza por el plano inclinado hasta la caja. Concluido lo anterior, primero retrocede el cilindro A y luego hace lo propio el B.

La secuencia de trabajo se puede representar por un tipo de diagrama en donde se expresan los recorridos de los cilindros en función del número de paso, denominando a esta representación diagrama espacio – fase (ver la Fig. 1.21).

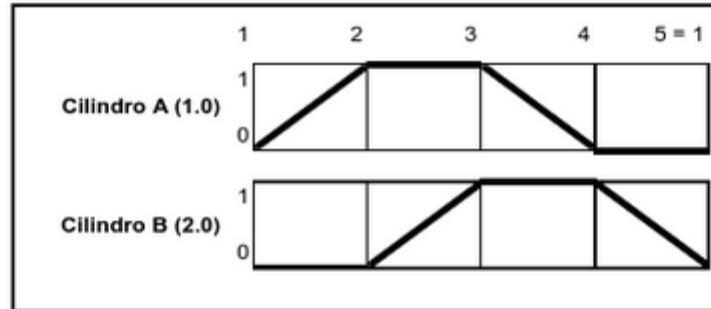


Fig. 1.21. Diagrama espacio-fase automatismo.

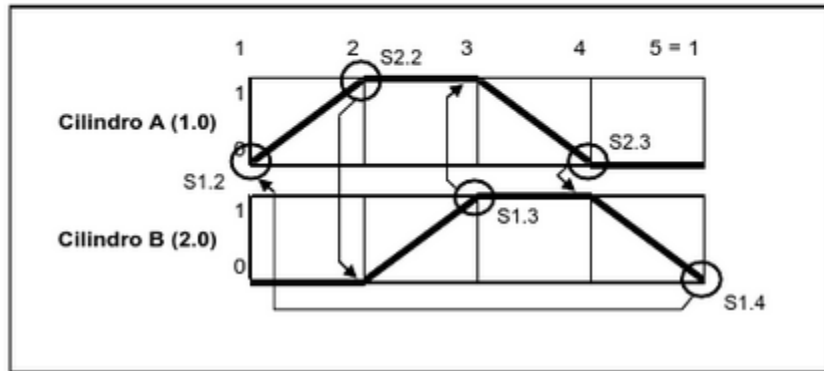
Cada fase de dicho gráfico corresponde a un cambio de estado del sistema. La línea de base identificada con el **0** indica la posición de reposo, mientras que la **1** representa al pistón extendido.

Para detectar que una fase concluye y se pueda dar inicio a la siguiente, es necesario detectar las posiciones de los vástagos mediante la aplicación de sensores magnéticos en los cilindros o a través de finales de carrera.

Por otra parte, se debe representar en el gráfico, cuáles de estos sensores se utilizarán como condición para disparar el inicio de la etapa consecutiva (ver la Fig. 1.22).

Como se expresa en la Fig. 1.22, cuando se extiende el vástago del cilindro A (1.0), se acciona el final de carrera S2.2, el cual produce el avance del cilindro B (2.0).

La disposición física de los finales de carrera se puede observar en la Fig. 1.23. El circuito electroneumático se explicará en la sección *Actuadores* del Capítulo 2.



Sensor	Descripción	Función
S1.2	Pulsador de inicio de ciclo	Hace avanzar al cilindro A (1.0)
S2.2	Final de carrera en A (1.0) extendido	Hace avanzar al cilindro B (2.0)
S1.3	Final de carrera en B (2.0) extendido	Hace retroceder al cilindro A (1.0)
S2.3	Final de carrera en A (1.0) retraído	Hace retroceder al cilindro B (2.0)
S1.4	Final de carrera en B (2.0) retraído	Hace avanzar al cilindro A (1.0)

Fig. 1.22. Diagrama espacio-fase con la inclusión de los sensores.

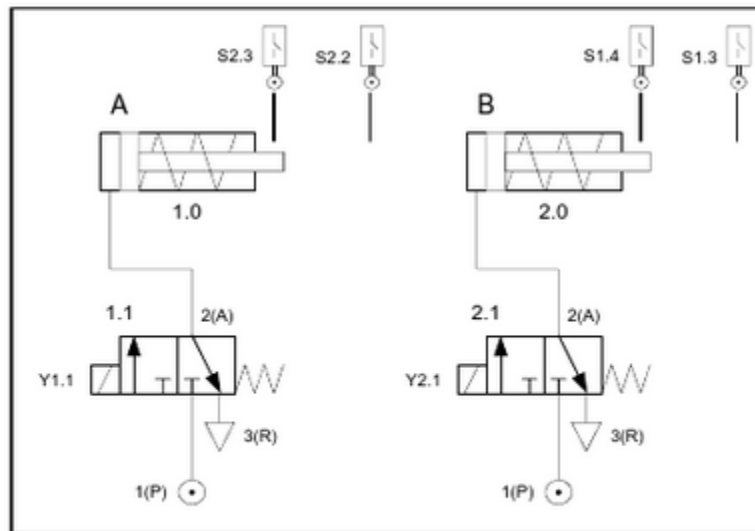
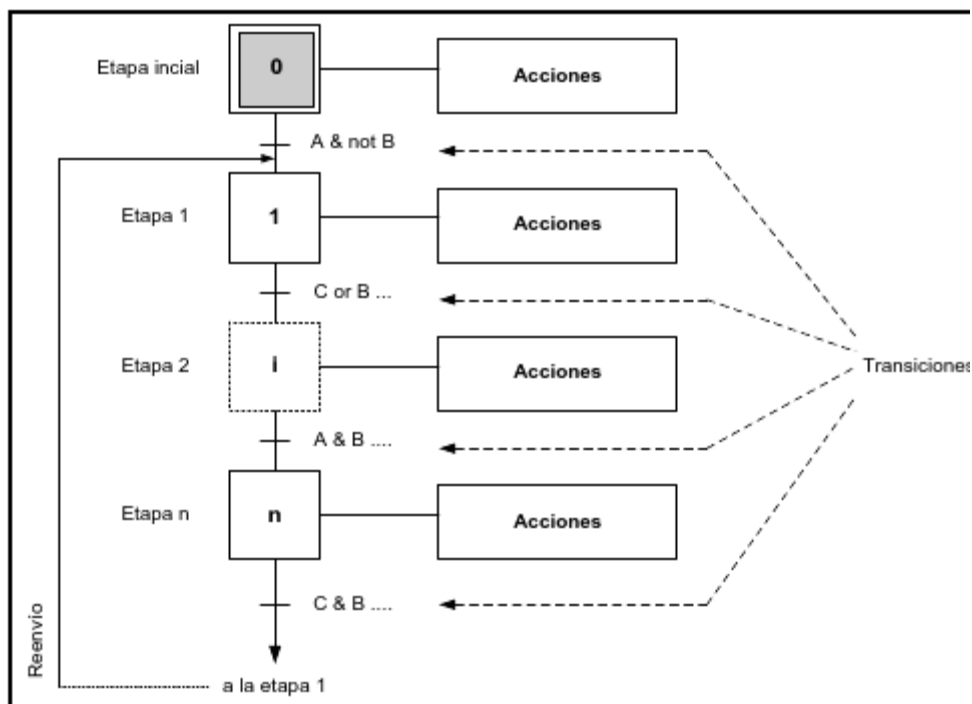


Fig. 1.23. Circuito electropneumático del automatismo.

## Grafcet

Una vez obtenido el diagrama espacio-fase es posible delinear fácilmente la lógica del automatismo. Una manera de hacerlo en forma independiente de la tecnología con la que se desarrollará, es emplear un método denominado *grafcet* (gráfico funcional de control de etapas y transiciones), el cual en particular es apropiado para los sistemas que presentan características secuenciales. Este método se basa en un conjunto de acciones y transiciones, tal como se muestra en la Fig. 1.24.



**Fig. 1.24.** Componentes del *grafcet*.

Cada fase del diagrama espacio-fase se asocia a una etapa del *grafcet*. El símbolo empleado para representar una etapa es un cuadrado con un número en su interior que indica el orden de ejecución. La descripción de las acciones que se llevarán a cabo en cada etapa se coloca a su derecha mediante una etiqueta.

La etapa inicial se identifica por un cuadrado con doble línea y su finalidad es posicionar el sistema cuando la secuencia arranque por primera vez.

Las etapas que representan actividades consecutivas se unen mediante líneas denominadas líneas de evolución, las cuales se entenderán siempre orientadas de arriba hacia abajo, a menos que se represente con una flecha en sentido contrario.

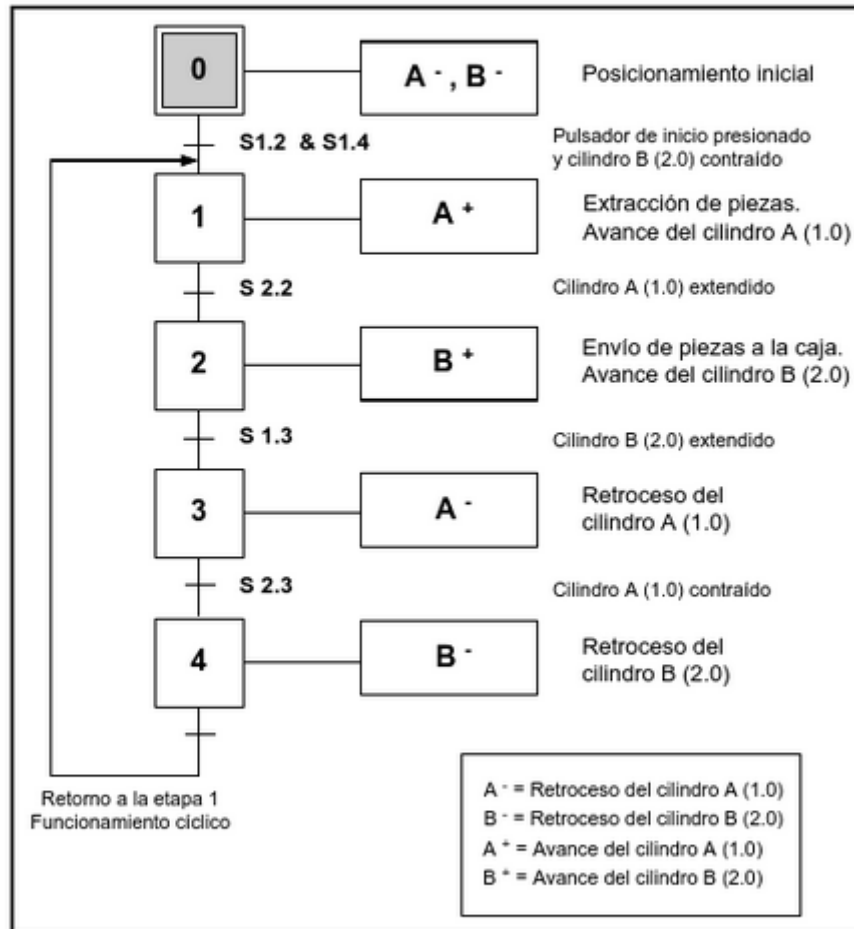


Fig. 1.25. Grafcet para el automatismo de la Fig. 1.20.

Sobre las líneas de evolución se ubican las transiciones, que son las condiciones lógicas necesarias para finalizar la actividad de una etapa y se inicie la de la etapa o etapas inmediatamente consecutivas.

Cuando se recorre el gráfico de evolución, por cualquier camino posible, se deben alternar siempre una etapa y una transición. La regla básica de sintaxis del *grafcet* es que entre dos etapas debe existir una y sólo una condición de transición, quedando bien entendido que ésta puede venir expresada por una función lógica combinacional todo lo compleja que sea necesario, siempre que dé como resultado un bit (1 = condición verdadera, 0 = condición falsa).

En la Fig. 1.25 podemos apreciar el *grafcet* obtenido a partir del diagrama espacio-fase para la máquina de la Fig. 1.20.

## Listado de Asignación de Entradas y Salidas

Los PLC disponen de un conjunto de entradas y salidas. Las entradas reciben las señales provenientes de los dispositivos de campo, tales como sensores e interruptores, mientras que las salidas accionan los motores, válvulas u otros aparatos que generan cambios energéticos en el proceso.

Dependiendo del modelo del PLC, las entradas y salidas (E/S) pueden venir integradas en la CPU o bien como módulos de ampliación. Los PLC compactos incluyen, junto con la CPU, un mínimo de E/S, y luego tienen previstas una serie de unidades de expansión que les permiten ampliar considerablemente su capacidad. Las entradas y salidas vienen rotuladas sobre la bornera de conexión y, por lo general, disponen de un indicador luminoso que indica el estado. Por lo tanto, las señales relacionadas con los dispositivos de campo quedarán identificadas por una nomenclatura alfanumérica que se corresponde con la dirección de E/S. Estas direcciones son utilizadas por la CPU para determinar qué entrada está presente y qué salida necesita ser encendida o apagada. La Tabla 1.4 muestra el direccionamiento para un PLC marca Simatic de la línea S7-200 y CPU 224.

**Tabla. 1.4.** Direccionamiento para un PLC Simatic (Siemens) S7-200, CPU 224.

Entradas				Salidas			
<b>I0.0</b>	1er entrada	<b>I1.0</b>	9na entrada	<b>Q0.0</b>	1er salida	<b>I1.0</b>	9na salida
<b>I0.1</b>	2da entrada	<b>I1.1</b>	10ma entrada	<b>Q0.1</b>	2da salida	<b>I1.1</b>	10ma salida
<b>I0.2</b>	3er entrada	<b>I1.2</b>	11er entrada	<b>Q0.2</b>	3er salida		
<b>I0.3</b>	4ta entrada	<b>I1.3</b>	12da entrada	<b>Q0.3</b>	4ta salida		
<b>I0.4</b>	5ta entrada	<b>I1.4</b>	13er entrada	<b>Q0.4</b>	5ta salida		
<b>I0.5</b>	6ta entrada	<b>I1.5</b>	14ta entrada	<b>Q0.5</b>	6ta salida		
<b>I0.6</b>	7ma entrada			<b>Q0.6</b>	7ma salida		
<b>I0.7</b>	8va entrada			<b>Q0.7</b>	8va salida		

La letra I representa a una entrada digital y la Q a una salida digital. Dentro de la tabla de direccionamiento, el primer dígito identifica el byte y el segundo el bit. El número de bit puede tomar valores de 1 a 8, debido a que está asociado a un determinado byte (ver la Fig. 1.26).

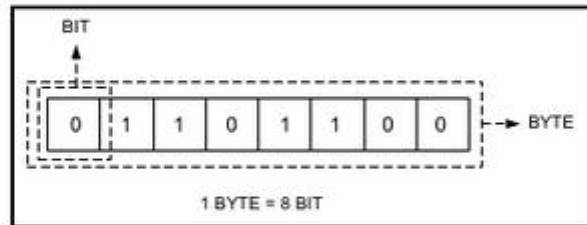


Fig. 1.26. Bit y byte.

El listado de asignación de entradas y salidas tiene como propósito indicar a qué canal se conecta cada uno de los sensores y actuadores del automatismo. Esto es imprescindible para que se establezca una relación unívoca entre las señales conectadas a la bornera del PLC y las direcciones utilizadas dentro del programa. La Tabla 1.5 muestra una posible asignación de entradas y salidas para la máquina de la Fig. 1.20.

Tabla. 1.5. Listado de asignación de entradas y salidas para la máquina de la Fig. 1.20.

Revisión	Identificación (Tag)	Descripción	Tipo	Dirección	PLC Modelo	Borne +	Señal	Borne -	Observaciones
A	S1.2	Pulsador de inicio de ciclo	DI	I0.0	S7-200	L+	I0.0	M	
A	S2.2	Final de carrera en 1.0 extendido	DI	I0.1	S7-200	L+	I0.1	M	
A	S1.3	Final de carrera en 2.0 extendido	DI	I0.2	S7-200	L+	I0.2	M	
A	S2.3	Final de carrera en 1.0 retraído	DI	I0.3	S7-200	L+	I0.3	M	
A	S1.4	Final de carrera en 2.0 retraído	DI	I0.4	S7-200	L+	I0.4	M	
A	Y1.1	Solenoides 1.1 - Electroválvula Cil 1.0	DO	Q0.0	S7-200	L+	Q0.0	M	
A	Y2.1	Solenoides 1.1 - Electroválvula Cil 2.0	DO	Q0.1	S7-200	L+	Q0.1	M	

## Desarrollo de la Lógica en *Ladder*

El *grafcet* nos permite organizar la lógica de control de modo simple y sistemático. Cada condición de transición con su consecuente acción se puede corresponder con una línea de programa en lenguaje *ladder*. En la Fig. 1.27 se puede observar la lógica, para la cual se ha tenido en cuenta en todo momento la asignación de entradas y salidas de la Tabla 1.5.

Como se puede apreciar en la segunda línea de programa, cuando se presiona el pulsador conectado en la entrada I0.0 y el cilindro B (2.0) está retraído, es decir, se activa el final de carrera conectado en I0.4, entonces se enciende la salida Q0.0 con el fin de energizar el solenoide de la válvula Y1.1 y extender así el cilindro A (1.0).

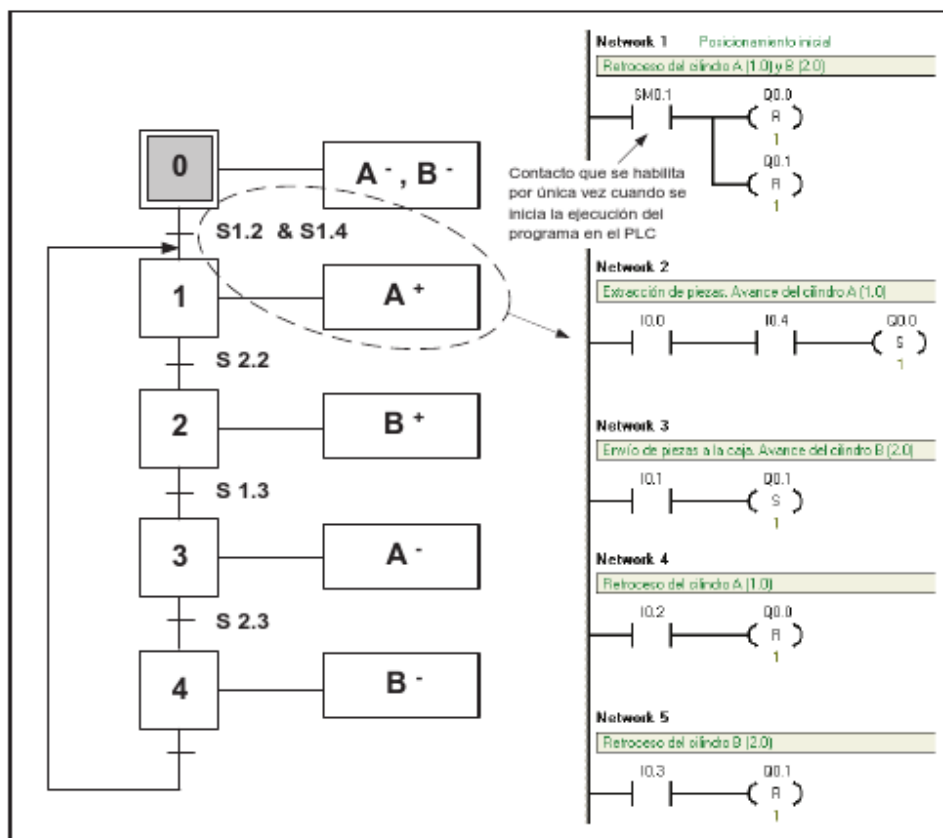


Fig. 1.27. Lógica en lenguaje *ladder* para la máquina de la Fig. 1.20.

La metodología aplicada en el ejemplo de la Fig. 1.27 para convertir del esquema *grafcet* a la lógica en *ladder*, posee limitaciones que no permite ser aplicado en todos los casos. Para poder obtener un procedimiento válido en forma general, se necesita utilizar estados lógicos internos del PLC denominados marcas.

Esta lógica adicional se describirá en detalle en el Capítulo 4. Por otra parte, algunos modelos de controladores incorporan lenguajes de programación tales como el SFC (*Sequential Function Chart* – Diagrama Secuencial de Funciones) que permiten asociar directamente el contenido del *grafcet* (ver la Fig. 1.28).

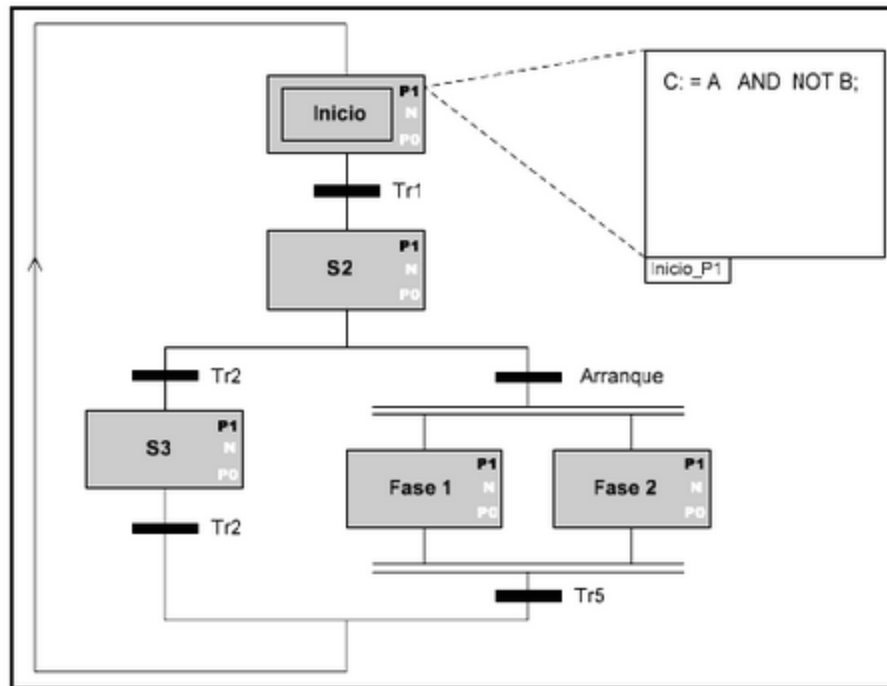


Fig. 1.28. Lenguaje de programación SFC.

Cada etapa del SFC puede contener tres solapas de código escrito en lenguaje de texto estructurado. El código de la solapa N se ejecutará continuamente mientras el paso se encuentre activo. El de la solapa P1 se ejecutará una vez cuando la etapa se vuelve activa, y el de P2 cuando se vuelve inactivo. Los lenguajes de programación SFC y texto estructurado también son parte del estándar IEC 61131-3.

## Descarga del Programa

Utilizaremos para implementar el ejemplo del Fig. 1.27, un PLC de la línea Simatic S7-200, CPU 224 (ver la Fig. 1.29). Por lo tanto, el software utilizado para la edición y descarga del programa será el Step 7 MicroWIN32 V4.0.

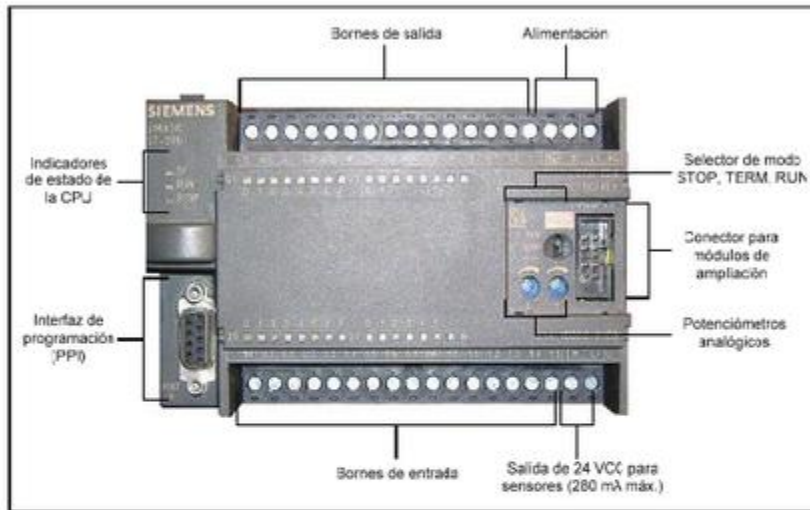


Fig. 1.29. Características de un PLC Simatic S7-200, CPU224.

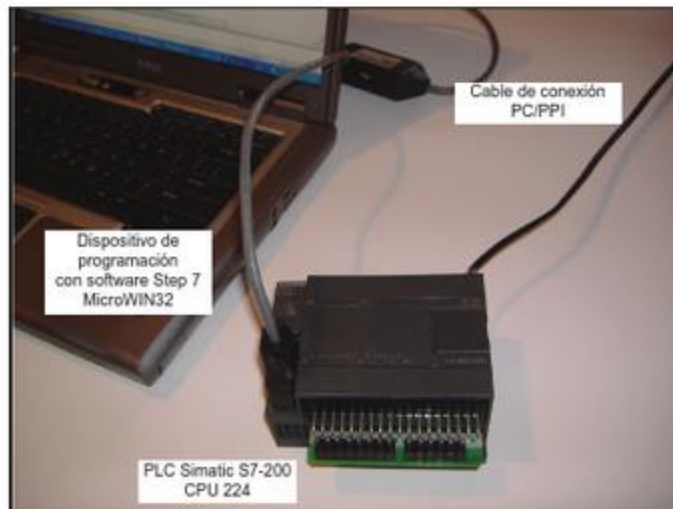


Fig. 1.30. Conexión del cable de programación PC/PPI.

En la Fig. 1.30 se puede observar la conexión requerida para descargar el programa al modelo de PLC mencionado desde una PC. Estos PLC disponen de un único puerto de comunicaciones con protocolo PPI, razón por lo cual se requiere un cable adaptador para poder vincularlo a algún puerto serie de la PC, ya sea RS232 ó USB. Una vez realizada la conexión física, se deben ajustar los parámetros de comunicación accediendo a CPU → Tipo → Comunicación (ver la fig. 1.31). Haciendo doble click en Actualizar el software identificará el modelo de CPU y su dirección asignada.

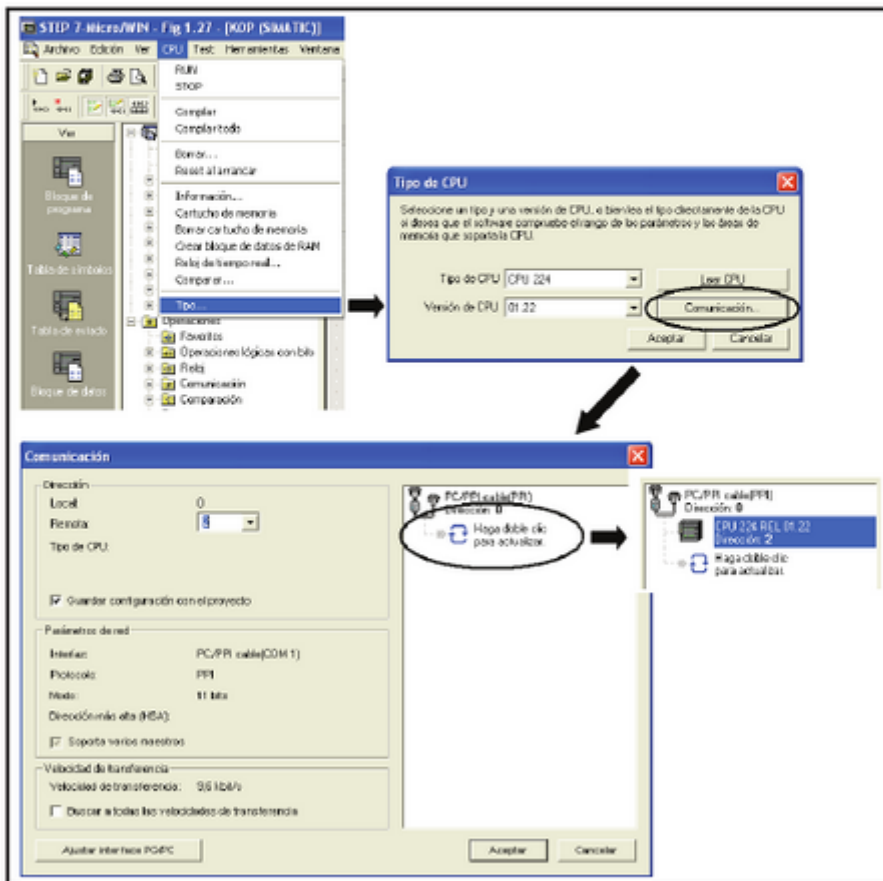


Fig. 1.31. Ajustes de la interfaz de programación en el software Step 7 MicroWIN 32.

Por último, se debe presionar el botón de descarga desde la barra de herramientas tal como se muestra en la Fig. 1.32.

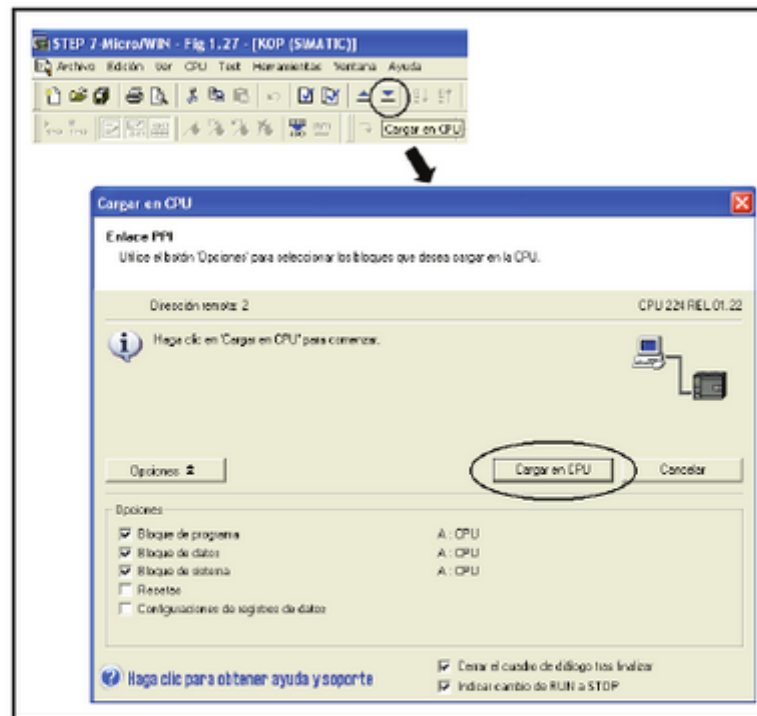


Fig. 1.32. Descarga del programa en el software Step 7 MicroWIN 32.

## Conexión de los Sensores y Actuadores

En la Fig. 1.33 se puede observar el esquema de conexión para un PLC Simatic S7-200, CPU 224 con alimentación CA, salidas a relé y entradas de 24 VCC.

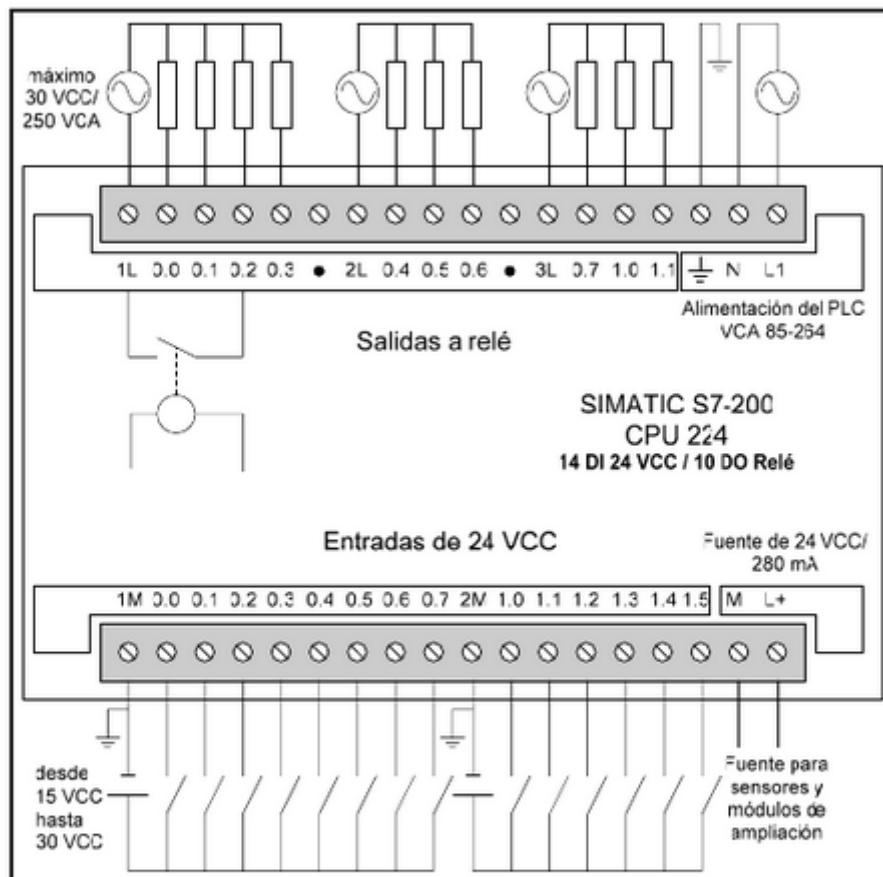


Fig. 1.33. Esquema de conexionado para un PLC Simatic S7-200, CPU224.

Para conectar los sensores y actuadores de acuerdo al listado de asignación de la Tabla 1.5, se debe realizar el circuito mostrado en la Fig. 1.34.

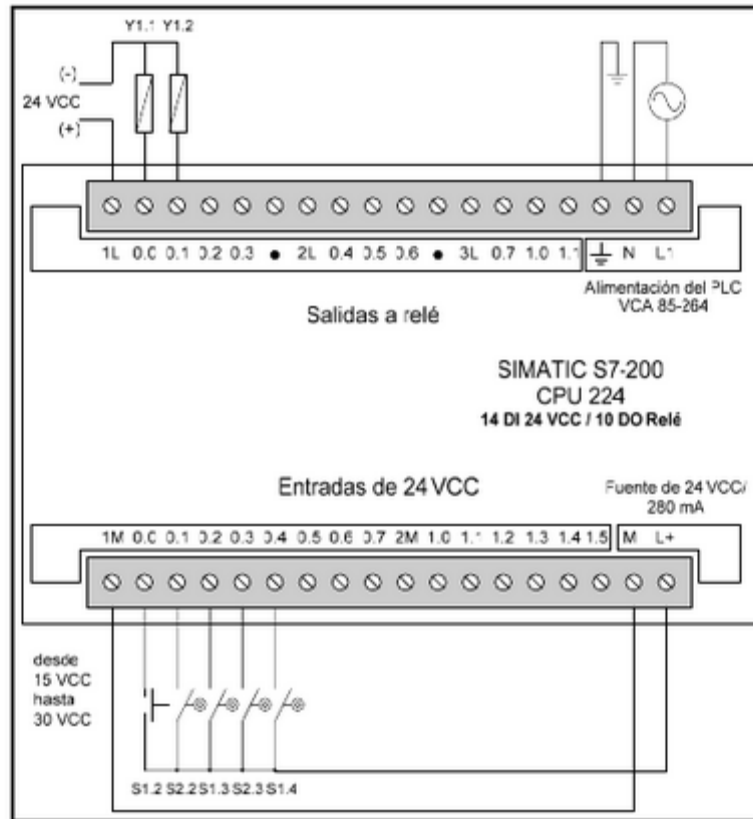


Fig. 1.34. Conexión de los sensores para el listado de asignación de entradas y salidas de la Tabla 1.5.

## Verificación del Funcionamiento

Una vez descargado el programa y conectados los sensores y actuadores, se debe energizar el PLC y cambiar el modo de operación de la CPU a RUN para que se inicie la ejecución de la lógica. Al momento de hacerlo, se encenderá el indicador de estado RUN de color verde (ver la Fig. 1.35).

Es de suma utilidad cuando se intenta detectar una falla, visualizar la lógica en línea mediante la función estado del programa. Esto permite analizar desde la PC, lo que está sucediendo en el PLC, pudiéndose apreciar los estados actuales y sus cambios cíclicos (ver la Fig. 1.36).

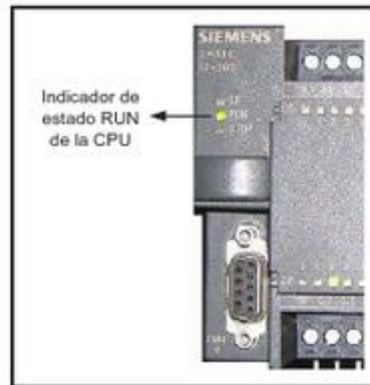


Fig. 1.35. Indicador de estado RUN en un PLC Simatic S7-200.

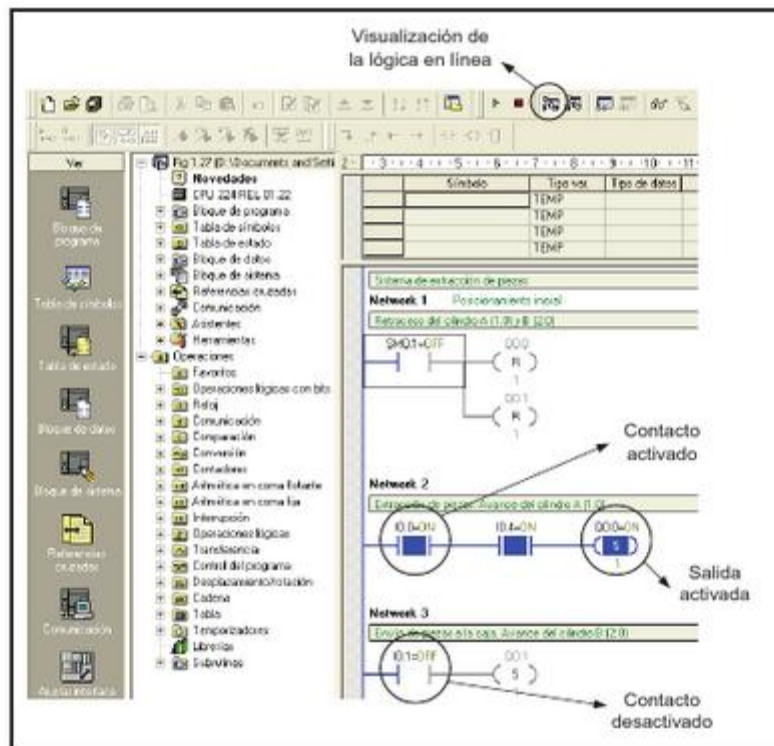


Fig. 1.36. Visualización en línea del estado del programa.

En el ejemplo, el pulsador S1.2 (conectado en I0.0) y el final de carrera S2.3 (conectado en I0.4) se encuentran activados y, por lo tanto, se enciende la salida Q0.0 que corresponde al solenoide Y1.1.

Sin embargo, utilizando esta herramienta no es posible seguir procesos que se desarrollan en forma rápida, ya que tanto el tiempo de transferencia como la visualización en pantalla tienen una cierta inercia.

## Selección del PLC

Para la selección correcta del PLC se deben tener en cuenta, fundamentalmente, el número de señales de entrada y de salida que son capaces de manejar, y la complejidad de operaciones que es capaz de realizar. Se entiende por señales de entrada al conjunto de consignas y de realimentaciones que ingresan al controlador, y por señales de salida, al conjunto de señales de control obtenidas del PLC. Tanto las señales de entrada como las de salida, pueden ser analógicas y/o digitales. Al momento de elegir el equipo, suele ser conveniente destinar un 20% de reserva, tanto de canales de entrada, como de salida para futuras expansiones.

La mayoría de los PLC poseen la característica de ser modulares. Esto significa que el hardware está fragmentado en partes que se pueden interconectar y permiten configurar un sistema a la medida de las necesidades.

Los PLC que adoptan la definición de modulares, suelen tener la CPU, la fuente de la alimentación y los módulos de entrada y salida por separado.

Los equipos compactos suelen incluir una CPU, una fuente interna y un mínimo de entradas y salidas, y luego tienen previstas una serie de unidades de expansión que les permiten ampliar considerablemente el número de entradas y salidas.

En la Fig. 1.37 se pueden apreciar los PLC compactos AC31 y los modulares AC500, de ABB.

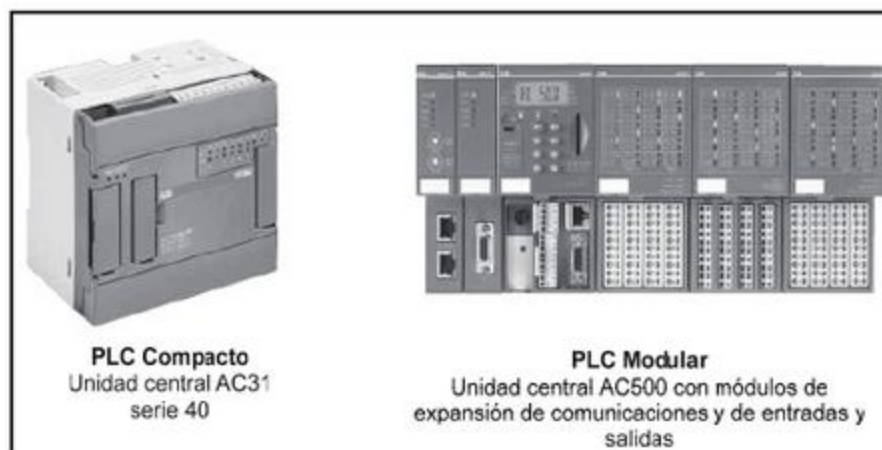


Fig. 1.37. PLC compactos de la línea AC31 y modulares de la línea AC500, de ABB.

## Capítulo 2

# Sensores y Actuadores



## Introducción

Los sensores y los actuadores constituyen el principal medio de enlace entre el PLC y el proceso a controlar o monitorear.

Los sensores o transductores son dispositivos que transforman una cantidad física de entrada en otra de salida equivalente. Nos concentraremos especialmente en los sensores eléctricos, es decir aquéllos cuya salida es una señal eléctrica de tensión o corriente. Esta salida puede ser digital, en los casos donde funcionan como elementos de detección, o analógica, cuando se trata de una medición.

Este capítulo examina los conceptos generales relacionados con los sensores eléctricos, y su vinculación a sistemas de automatización basados en PLC.

Por otra parte, los actuadores o accionamientos son los encargados de realizar un trabajo y producir cambios energéticos en el proceso. En el presente capítulo se desarrollarán algunos de ellos, haciendo especial énfasis en los actuadores neumáticos (cilindros de simple y doble efecto, pinzas, etc.), electroválvulas, dispositivos de maniobra para el control de motores y variadores de velocidad.

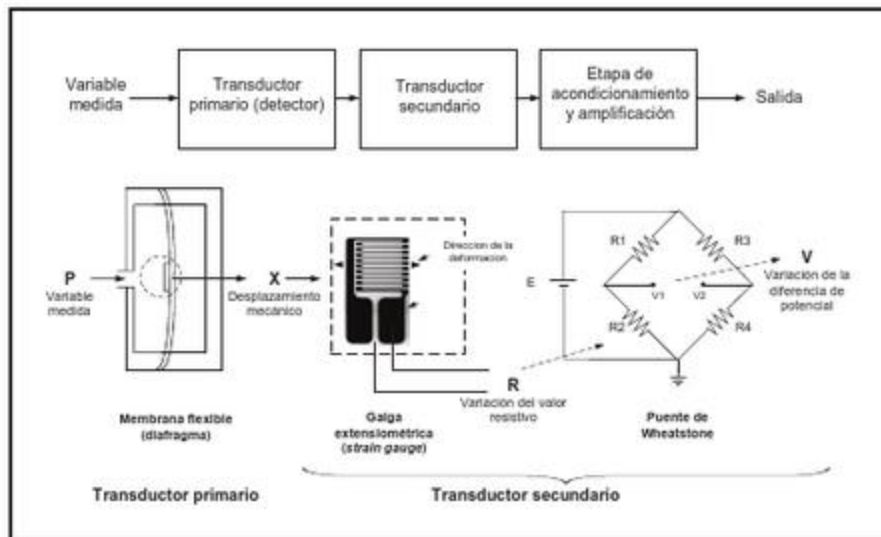
## Sensores

### Generalidades

Se puede definir a un sensor o transductor como un dispositivo o combinaciones de dispositivos que convierten señales o energía de una forma física en otra. Éstos proporcionan una salida útil en respuesta a una condición física medida.

Si bien los términos sensor y transductor se suelen aceptar como sinónimos, transductor es quizás más amplio, ya que además de una parte sensible o captador (sensor), incluye algún tipo de circuito de acondicionamiento de la señal detectada.

En los sensores eléctricos la salida es una cantidad eléctrica de tensión o corriente, función de la medición.



**Fig. 2.1.** Etapas que componen un transductor genérico y detalle de la conversión de magnitudes en un transductor de presión.

En algunos transductores, la generación de la salida eléctrica a partir de la cantidad física medida se obtiene en dos etapas. Existe un elemento detector (transductor primario), que responde directamente a la magnitud física a medir, y un elemento de transducción (transductor secundario), en el cual se origina la salida eléctrica equivalente. Por ejemplo, algunos transductores de presión constan de un elemento

detector, que convierte la presión en desplazamiento mecánico, y se acopla con un elemento de transducción, que genera una salida eléctrica como respuesta a dicho desplazamiento (ver la Fig. 2.1).

Una vez obtenida la señal eléctrica, se somete a un proceso de acondicionamiento y amplificación para ajustarla a las necesidades de las entradas del PLC. Esta etapa se puede encapsular íntegramente en el transductor, o bien colocar en un lugar remoto.

## **Transductores Pasivos y Activos**

En un transductor pasivo, la acción de la magnitud física a medir produce un cambio en un elemento pasivo de un circuito eléctrico, como por ejemplo, resistencia, inductancia o capacidad. Por lo tanto, éstos requieren una fuente eléctrica externa para la excitación. Otros transductores, en cambio, son activos y generan una tensión de salida por sí mismos, como por ejemplo los transductores basados en el efecto termoeléctrico (termocuplas). Su salida autogenerada suele ser a bajo nivel y requiere la amplificación.

## **Transductores Analógicos, Digitales y Todo-Nada**

Según la forma como los transductores codifican la magnitud medida podemos establecer la siguiente clasificación.

### **Transductores Analógicos**

Son aquéllos que dan como salida un valor de tensión o corriente que es función continua de la magnitud física medida. Por lo general, este tipo de transductores incluyen una etapa de acondicionamiento para suministrar señales normalizadas de 0 a 10 V ó 4 a 20 mA. La salida analógica de corriente suele ser más frecuente en aplicaciones de control de procesos. Algunos transductores (por ejemplo, transmisores másicos de caudal) proporcionan una salida analógica pulsante, es decir, un tren de pulsos cuya frecuencia es proporcional a la medición.

### **Transductores Digitales**

Son aquéllos que dan como salida una señal codificada en forma de pulsos o de una palabra digital codificada en binario, BCD, GRAY u otro sistema. A modo de

ejemplo podemos citar a los *encoder* proporcionales y absolutos empleados en sistemas de control de movimiento. Adicionalmente, muchos sensores digitales poseen interfaces estándar tales como RS232, RS485, Profibus-DP, HART, etc., lo cual les permite intercambiar información adicional a la medición y comunicarse a través de una red de instrumentos.

### **Transductores Todo-Nada**

Indican mediante un cambio de estado cuando la variable detectada supera un cierto umbral o límite. Entre ellos se encuentran los detectores de proximidad (inductivos, capacitivos, magnéticos y ópticos) presostatos, flujostatos, etc. Se pueden considerar como un caso particular de transductor digital en el que se codifican sólo dos estados. Los transductores inductivos y capacitivos del tipo todo-nada emplean internamente un circuito que genera una señal en frecuencia modulada la cual se convierte en señales digitales por conteo de pulsos almacenando la cuenta.

### **Esquema en Bloques**

Si nos limitamos a los transductores basados en fenómenos eléctricos o magnéticos, éstos suelen tener una estructura general como la que se muestra en la Fig. 2.2.

En el diagrama en bloques se pueden distinguir las siguientes partes:

- **Elemento sensor o captador.** Es el encargado de convertir las variaciones de una magnitud física en señales eléctricas o magnéticas.
- **Bloque de tratamiento de señal.** Se suele utilizar para filtrar, linealizar y amplificar la señal obtenida en el captador a un intervalo estándar, por lo general utilizando circuitos electrónicos.
- **Etapa de salida.** Esta etapa comprende los amplificadores, interruptores, convertidores de código, transmisores y, en general, todas aquellas partes que adaptan la señal a las necesidades de la carga exterior.



**Fig. 2.2.** Estructura general de un transductor basado en un fenómeno eléctrico o magnético.

En los transductores existen además circuitos eléctricos y electrónicos encargados de generar tensiones y frecuencias de excitación o de referencia.

Los componentes electrónicos de las etapas de la Fig. 2.2 pueden estar localizados en el interior de un único encapsulado o divididos en dos o más ubicaciones.

Cuando el sistema transductor consta de varios empaques que conforman un sistema de medición en conjunto, son esenciales la conexión correcta, el blindaje y la puesta a tierra, a fin de lograr el rendimiento especificado.

## Clasificación

Según la naturaleza de la magnitud a detectar, existe una gran variedad de transductores para aplicaciones industriales.

Por lo general, los principios físicos en los que suelen estar basados los elementos sensores son: cambios de resistividad, electromagnetismo (inducción electromagnética), piezoelectricidad, efecto fotovoltaico, y termoelectricidad.

En la Tabla 2.1 se resumen los utilizados más frecuentemente en los automatismos industriales.

**Tabla 2.1.** Estructura general de un transductor basado en un fenómeno eléctrico o magnético.

Magnitud detectada	Transductor	Salida
Presencia o proximidad de objetos	Inductivo	Todo – nada o analógico
	Capacitivo	Todo – nada o analógico
	Óptico	Todo – nada o analógico
	Ultrasónico	Todo – nada o analógico
Pequeños desplazamientos o deformaciones	Transformador diferencial	Analógico
	Galga extensométrica	Analógico
Posición lineal o angular	Codificadores ópticos incrementales o absolutos ( <i>encoders</i> )	Digitales
	Potenciómetro	Analógico
	Sincro o resolver	Analógicos
Velocidad lineal o angular	Tacómetro	Analógico
	Codificadores ópticos incrementales o absolutos ( <i>encoders</i> )	Digital
	Detector inductivo u óptico	Digitales
Temperatura	Bimetálico	Todo – nada
	Termocupla o termopar	Analógico
	Termorresistor (RTD). Ej. Resistor PT100	Analógico
	Termistores NTC o PTC	Analógico
	Sensor piroeléctrico (termómetros de radiación)	Analógico

## Características Generales

La relación entre la salida y la entrada en un sistema a lazo cerrado depende del bucle de realimentación y, consecuentemente, de los transductores e interfaces empleados en él.

Un transductor ideal sería aquél en que la relación entre el valor de salida y la magnitud de entrada fuese puramente proporcional y de respuesta instantánea e idéntica para todos los elementos de un mismo tipo.

Sin embargo, la respuesta real de los transductores nunca es del todo lineal, tiene un campo limitado de validez, suele estar afectada por perturbaciones provenientes del entorno exterior, tiene un cierto retardo a la respuesta, etc.

Todo ello hace que sean necesarias un conjunto de características para poner de manifiesto las desviaciones que tiene su comportamiento real respecto a un modelo ideal o transductor patrón. Dichas características se pueden agrupar en dos grandes bloques:

- **Características estáticas.** Describen la actuación del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable a medir.
- **Características dinámicas.** Describen la actuación del sensor en régimen transitorio. Denotan su respuesta temporal ante estímulos estándar indicando las constantes de tiempo relevantes.

En la Tabla 2.2 se definen las características estáticas y dinámicas más relevantes que suelen aparecer en la mayoría de las especificaciones técnicas de los transductores.

Se debe tener en cuenta que todas las características suelen variar con las condiciones ambientales.

Por ello, uno de los parámetros esenciales a comprobar al elegir un transductor es el campo de validez de los parámetros que se indican como nominales del mismo y las máximas desviaciones provocadas por dichas condiciones ambientales.

Tabla 2.2. Características estáticas y dinámicas de los transductores.

<b>Condiciones Generales</b>		
<b>Estáticas</b>	Campo de medida	Rango entre los valores máximo y el mínimo detectables por un sensor
	Resolución	Capacidad para discernir entre valores próximos de la variable de entrada
	Precisión	Máxima desviación entre la salida real y el valor teórico de dicha salida (según el modelo ideal) en idénticas condiciones del entorno
	Repetitibilidad	Máxima desviación entre valores de salida obtenidos al medir varias veces un mismo valor de entrada, utilizando el mismo sensor y en idénticas condiciones ambientales
	Linealidad	Máxima desviación entre la respuesta real y la respuesta puramente lineal, referida al fondo de escala
	Sensibilidad	Variación de la salida producida por una determinada variación de entrada (Sensibilidad = $\Delta S/\Delta E$ ). En transductores lineales esta relación es constante en todo el campo de medida
	Ruido	Perturbación aleatoria que produce una desviación de la salida con respecto al valor teórico
	Histéresis	Se dice que un transductor presenta histéresis cuando, a igualdad de la magnitud de entrada, la salida depende de si dicha entrada se alcanzó con aumentos en sentido creciente o en sentido decreciente
<b>Dinámicas</b>	Velocidad de respuesta	Capacidad para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada. Se cuantifica mediante las constantes de tiempo Td, Tr, Ts, $\tau$ , etc.

Condiciones Generales		
Dinámicas	Tiempo de retardo (Td)	Lapso desde la aplicación del escalón de entrada hasta que la salida alcanza el 10% de su valor permanente
	Tiempo de subida (Tr)	Lapso desde que la salida alcanza el 10% de su valor permanente hasta que llega por primera vez al 90% de dicho valor
	Tiempo de establecimiento (Ts)	Lapso desde la aplicación de un escalón de entrada hasta que la respuesta alcanza el régimen permanente, con una tolerancia de $\pm 1\%$
	Constante de tiempo ( $\tau$ )	En el caso de una respuesta de primer orden (una sola $\tau$ ) es el tiempo empleado para que la salida alcance el 63% de su valor de régimen permanente, cuando se aplica un escalón en la entrada
	Respuesta en frecuencia	Relación entre la sensibilidad y la frecuencia cuando la excitación de entrada es una señal senoidal
	Estabilidad y derivas	Desviación de salida ante perturbaciones ambientales, de la alimentación, etc.

## Transductores de Posición

Los transductores de posición permiten medir la distancia de un objeto respecto a un punto de referencia o simplemente detectar la presencia de un objeto a una cierta distancia. A partir de su capacidad de medida o sólo de su indicación de presencia, se pueden agrupar de la siguiente forma:

- **Detectores de proximidad.** Se trata de sensores de posición todo o nada que entregan una señal binaria (ON/OFF), que informa la presencia o ausencia de un objeto ante el detector. El más elemental de estos sensores es el de tipo electromecánico conocido como interruptor de límite o de final de carrera. En el presente capítulo desarrollaremos los sensores de proximidad electrónicos, tales como los inductivos, capacitivos, ópticos y ultrasónicos, los cuales no necesitan entrar en contacto físico con los objetos que detectan, pueden operar a altas velocidades, no tienen piezas móviles, no sufren desgastes, pueden trabajar en ambientes hostiles, etc.

- **Medidores de distancia o posición.** Entregan una señal analógica o digital que permite determinar la posición lineal o angular respecto a un punto o eje de referencia. Entre ellos podemos citar el mecanismo de potenciómetro (analógico) y el codificador óptico o *encoder* (digital).
- **Transductores de pequeñas deformaciones.** Se trata de sensores de posición especialmente diseñados para detectar pequeñas deformaciones o movimientos. Muchas veces se emplean adosados a piezas elásticas (diafragmas) como transductores indirectos de presión, fuerza o de par.

## **Detectores de Proximidad**

Los detectores de proximidad pueden estar basados en distintos tipos de captadores, siendo los más frecuentes los siguientes:

- Detectores inductivos
- Detectores capacitivos
- Detectores ópticos
- Detectores ultrasónicos

Según el tipo de salida y de alimentación podemos clasificar a los detectores de proximidad en los siguientes grupos (ver la Fig. 2.3):

- **Detectores todo-nada de CA.** Disponen de una salida binaria (ON/OFF) y conmutan cargas de CA utilizando tiristores (SCR o triacs). Estos detectores no son aptos para el manejo de cargas de CC, ya que una vez disparados queda la carga permanentemente enganchada.
- **Detectores todo-nada de CC.** Se trata de detectores binarios cuya salida suele ser un transistor bipolar PNP o NPN. De acuerdo al tipo de transistor se determina la forma de conexión de la carga.
- **Detectores Namur.** Son un tipo de detector inductivo, diseñados para trabajar en atmósferas explosivas, según recomendaciones NAMUR (DIN 19.234). Son detectores de dos hilos que absorben una intensidad alta o baja, dependiendo de la presencia o no del objeto detectado.
- **Detectores con salida analógica.** Los detectores con salida analógica dan una corriente proporcional a la distancia entre el cabezal detector y el objeto a medir. La conexión suele ser a dos hilos y permite detectar un rango de

distancias en un determinado campo de medida. Los de tipo inductivo y capacitivo tienen una baja resolución y linealidad, lo cual hace que no se puedan emplear como medidores en distancias considerables. Para este tipo de aplicación se utilizan sensores ópticos o ultrasónicos.

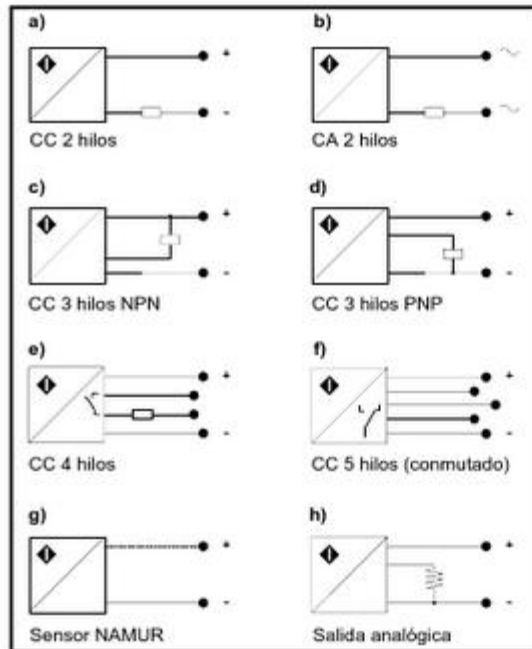


Fig. 2.3. Simbología de los detectores de proximidad de acuerdo al tipo de salida, de alimentación y de conexión de la carga.

De acuerdo al tipo de conexión de la carga, se pueden clasificar en:

- **Conexión a dos hilos.** El sensor se conecta en serie con la carga como si se tratara de un interruptor electromecánico. Esta conexión es habitual para los detectores de CA. Los sensores NAMUR siguen también una conexión de dos hilos, aunque requieren un circuito auxiliar externo.
- **Conexión a tres hilos.** Es la conexión más frecuente para los detectores de CC con salida por transistor. Se tiene un hilo común que se conecta a la alimentación y la carga, otros dos que son diferenciados, uno para la alimentación y el otro para la carga. El hilo común se debe conectar al terminal negativo de la alimentación para las salidas de tipo PNP y al positivo para las de tipo NPN (ver la Fig. 2.4)

- **Conexión a cuatro o cinco hilos.** Se suelen emplear para detectores de CC. Utilizan dos hilos para la alimentación, y otros dos (o tres, en montaje conmutado) independientes, que corresponden al contacto de salida para la conmutación de la carga.

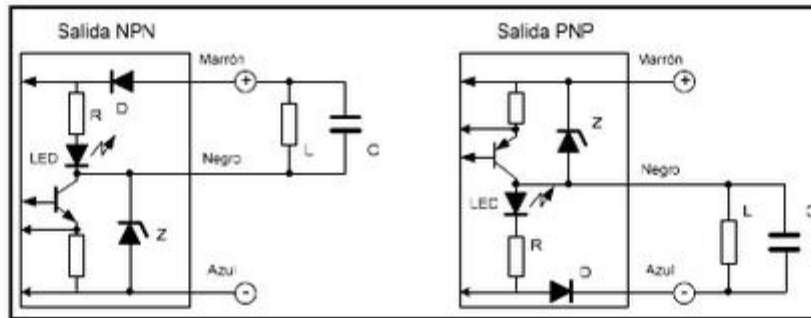


Fig. 2.4. Conexión de la carga y esquema interno para las salidas del tipo NPN y PNP.

Debido a que las salidas de los detectores de proximidad utilizan tiristores o transistores presentan siempre una caída de tensión residual en el estado cerrado y una corriente de fugas en el estado abierto. Esto implica que no pueden trabajar por debajo de una cierta tensión de alimentación y requieren una mínima corriente de carga para asegurar una buena conmutación. Por otra parte, cuando se conectan a un PLC, una excesiva corriente de fugas puede ocasionar problemas de interpretación de nivel alto de entrada cuando en realidad el interruptor está desactivado. Por lo tanto, los sensores con excesiva corriente de fuga no son aptos para ser conectados a entradas digitales de los PLC.

### Detectores Inductivos

Este tipo de sensores sirve para detectar la presencia de objetos metálicos en un rango de distancias que va desde 1 mm a unos 30 mm, aproximadamente, con una resolución del orden de décimas de milímetro. La ejecución mecánica se encuentra normalizada definiéndose los siguientes tipos:

- **Forma A.** Cilíndrica roscada con diámetros normalizados de M8, M12, M18 y M30. En el caso que la rosca llegue hasta el cabezal detector se dice que es **enrrasable**. Si el cabezal detector sobresale de resto del sensor no lo es. Existen, además, variantes sin rosca con tamaños de diámetro de 4 y 5 mm (ver la Fig. 4.5).

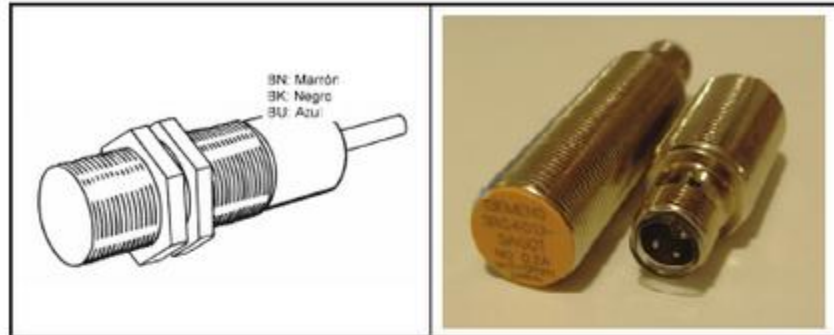


Fig. 2.5. Sensores inductivos de forma A y tipo enrrasables.

- **Forma C.** Tienen forma de paralelepípedo con cabezal orientable y se utilizan, por lo general, para lograr grandes distancias de detección (ver la Fig. 2.6).

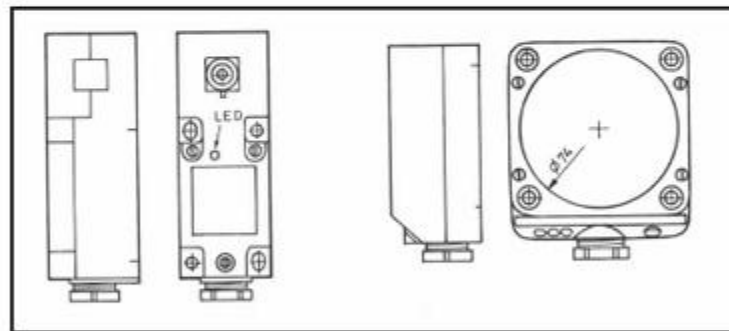


Fig. 2.6. Sensores inductivos de forma C.

En la Fig. 2.7 se puede observar el esquema en bloques de un sensor inductivo. Los mismos están formados por un cabezal de detección, un oscilador LC de alta frecuencia (1 a 100 MHz), un demodulador, un conformador de pulsos del tipo *Schmitt trigger* (disparador de Schmitt) y una etapa de salida.

El cabezal de detección es una bobina sobre un núcleo de ferrita abierto, incorporada al oscilador, que genera un campo magnético variable en sus proximidades. Puede contener un blindaje o no. En el primer caso las líneas de flujo de campo magnético están dirigidas sólo hacia el frente del cabezal, mientras que de no estar blindada, están presentes además sobre los laterales.

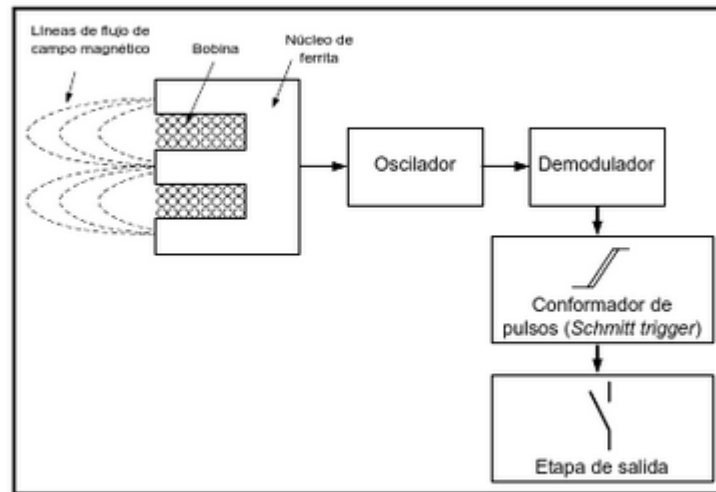


Fig. 2.7. Esquema en bloques de un sensor inductivo.

Cuando se ubica un objeto metálico dentro del campo magnético del captador (zona sensible) se inducen corrientes parásitas de *Foucault* alterando la reluctancia del circuito magnético que atenúa el circuito oscilante, disminuyendo la amplitud de oscilación y el nivel de CC del demodulador. Luego, el conformador de pulsos (*Schmitt trigger*) se dispara y la salida cambia el estado de la salida todo-nada (ver la Fig. 2.8).

La distancia de detección (sensibilidad nominal  $S_n$ ) está definida para una placa cuadrada de acero A37 de 1 mm de espesor y de igual diámetro que el cabezal sensible. Cuando el material no es acero, la distancia de conmutación (alcance útil  $S_u$ ) se ve afectada por un factor de corrección denominado  $C_f$  (0,9 para el níquel cromo, 0,5 para el bronce, 0,4 para el aluminio y el cobre). Nos queda, por lo tanto:

$$S_u = C_f \times S_n$$

Si  $S_n = 10$  mm y el material a detectar es bronce ( $C_f = 0,5$ ), entonces el alcance útil será:

$$S_u = 0,5 \times 10 = 5$$

La variación de amplitud de la oscilación es proporcional a la distancia de la pieza metálica frente al cabezal detector, y por lo tanto se puede utilizar para obtener una señal analógica de posición. Sin embargo, la medición no es muy precisa ya que depende mucho del tipo de metal y de las condiciones ambientales.

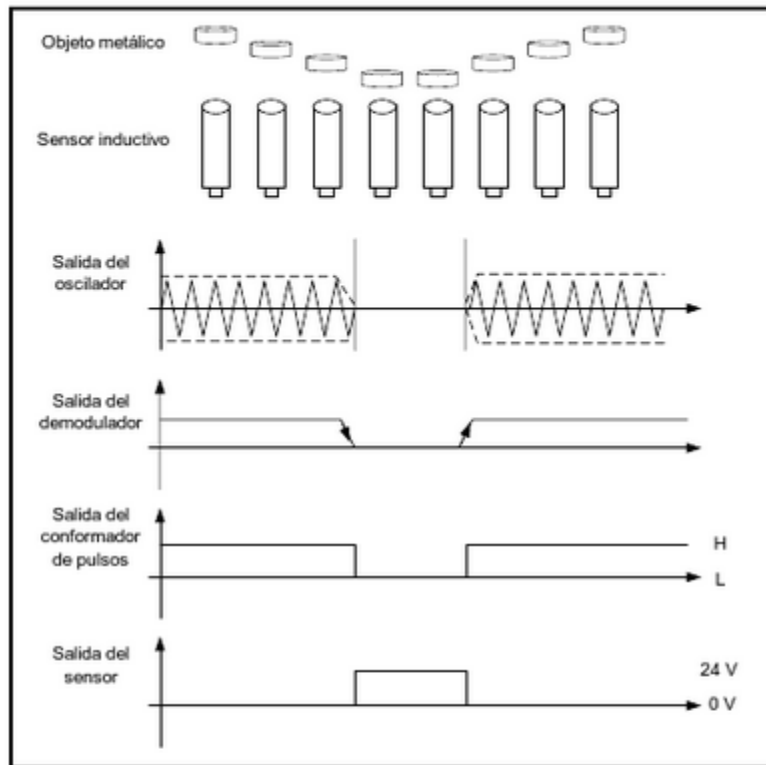
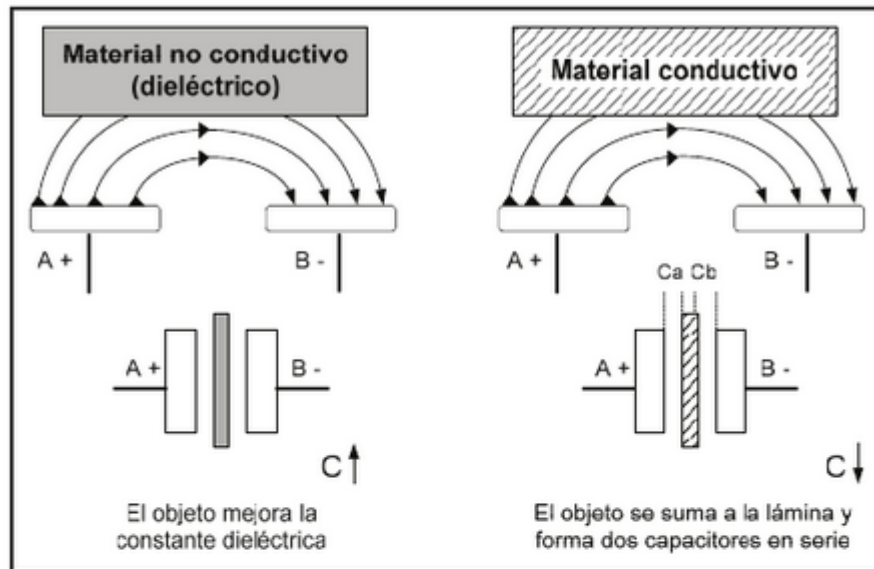


Fig. 2.8. Formas de onda en las diferentes etapas del sensor inductivo.

Una de las aplicaciones más importantes de los detectores inductivos es como interruptores final de carrera, con algunas ventajas respecto de los electromecánicos, tales como menor desgaste (no están en contacto con el objeto a detectar), robustez mecánica, resistencia a ambientes agresivos, altas temperaturas de operación, etc.

### Detectores Capacitivos

El principio de funcionamiento y las características son similares a las que se describieron para los detectores inductivos, pero en este caso, el elemento sensible es el capacitor del circuito oscilante LC, formado por dos aros metálicos concéntricos situados en el cabezal de detección, y cuyo dieléctrico es el material que se interpone en la zona sensible (ver la Fig. 2.9).



**Fig. 2.9.** Comportamiento del campo eléctrico en un sensor capacitivo según el material del objeto a detectar.

Cuando un objeto se ubica en la zona sensible se altera el campo eléctrico entre las placas, variando la capacitancia y, por lo tanto, la frecuencia del oscilador. Un objeto no metálico incrementa el campo eléctrico ya que se intensifica la constante dieléctrica  $C_d$ , como se puede ver en la siguiente ecuación.

$$C = C_d \times \frac{A}{d}$$

Donde:

$C$  = capacidad total

$C_d$  = constante dieléctrica

$A$  = superficie de las placas

$d$  = distancia de separación entre placas

En el caso de interponer un objeto metálico, el campo eléctrico disminuye, ya que actúa como un tercer electrodo y formando dos capacitores en serie.

En este tipo de sensores su sensibilidad se ve muy afectada por el tipo de material y por el grado de humedad ambiental y del cuerpo a detectar. Por este motivo se utilizan exclusivamente como detectores todo-nada, con una repetitibilidad bastante dependiente de las condiciones ambientales.

Para contrarrestar el problema de dependencia de la sensibilidad con el tipo de material, vienen con un ajuste de sensibilidad que permite utilizarlos para la diferenciación de algunos materiales entre otros.

Los sensores capacitivos se suelen utilizar para detectar materiales no metálicos tales como vidrio, cerámica, plástico, madera, aceite, agua, cartón, papel, etc. En la Fig. 2.10 se muestra un sensor capacitivo con salida PNP.



Fig. 2.10. Sensor capacitivo PNP.

### Detectores Ópticos

Los detectores ópticos conmutan su salida por la acción de un haz de luz sobre un elemento fotosensible. Están compuestos por un dispositivo emisor de luz y una fotocélula como elemento de captación.

La detección ocurre cuando el haz de luz es interrumpido o reflejado por el objeto que se pretende sensar. En base a esto, existen fundamentalmente dos tipos, por reflexión o por barrera. Los primeros disponen de un cabezal que incorpora el emisor de luz y la fotocélula de detección, actuando por reflexión del haz de luz sobre el objeto (ver la Fig. 2.11.a). Los segundos trabajan a modo de barrera, en ellos, la fuente luminosa se encuentra independiente del cabezal detector y están previstos para alcanzar a mayores distancias (ver la Fig. 2.11.b).

Los sensores ópticos suelen utilizar como emisor LED con frecuencias luminosas en la gama de los infrarrojos y luz modulada a fin de lograr una gran inmunidad a otras fuentes de luz ambientales.

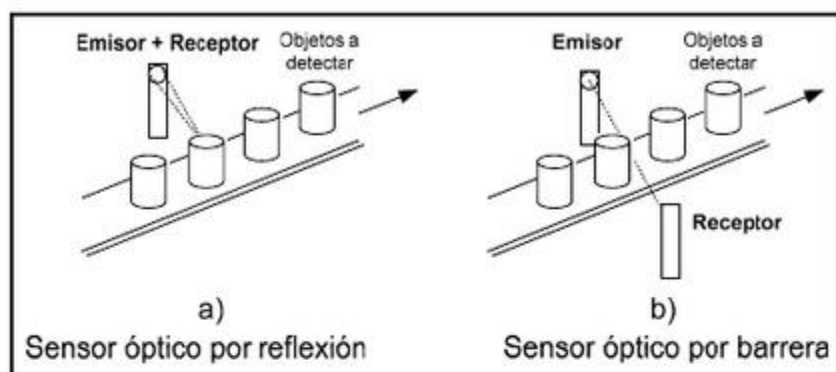


Fig. 2.11. Sensores ópticos por reflexión y por barrera.

Las principales ventajas respecto a otros detectores de proximidad son:

- Detección de objetos a grandes distancias. Se obtienen fácilmente hasta 500 m en modo barrera, y hasta 5 m por reflexión.
- Elevada inmunidad a perturbaciones electromagnéticas externas.
- Alta velocidad de respuesta y frecuencia de conmutación.
- Capaces de identificar colores.
- Permiten de detectar objetos del tamaño de décimas de milímetro.

En la Fig. 2.12 se puede observar el esquema en bloques del emisor y del receptor de un detector óptico.

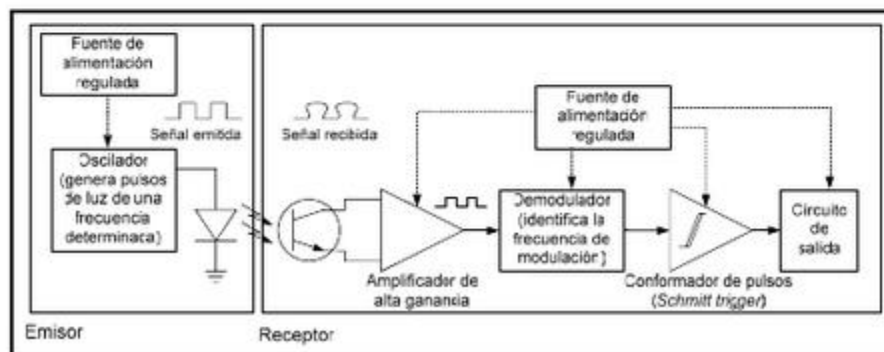


Fig. 2.12. Diagrama en bloques de las etapas emisor y receptor de un detector óptico.

Si se realiza una clasificación más precisa de acuerdo a la posición de la fuente de luz y del receptor, podemos encontrar los siguientes tipos:

**Por barrera.** La luz del emisor incide directamente sobre el receptor, el cual se ubica de forma opuesta y alineada al emisor (ver la Fig. 2.13). La detección se efectúa cuando se interrumpe el haz de luz. Su alto nivel de energía óptica permite un largo alcance y pueden trabajar en ambientes polvorientos, con humo, etc. Requieren una conexión independiente del emisor y el receptor.

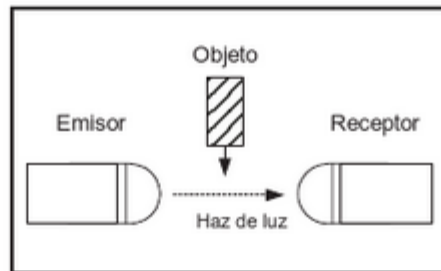


Fig. 2.13. Principio de funcionamiento de un sensor óptico por barrera.

**Retroreflectivos (reflex).** La luz del emisor se transmite por reflexión al receptor gracias a la acción de un elemento reflector externo, formado por un gran número de prismas que reflejan los rayos incidentes en la misma dirección y en forma paralela (ver la Fig. 2.14). En este caso, la detección también se realiza por bloqueo del haz emitido.

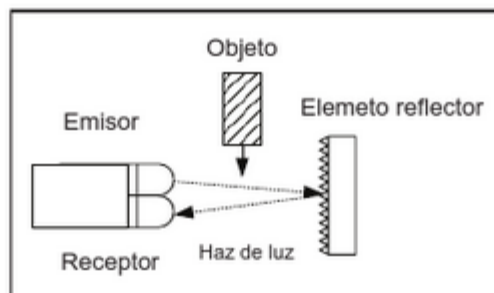
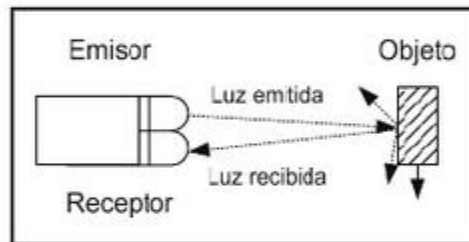


Fig. 2.14. Principio de funcionamiento de un sensor óptico retro-reflectivo.

Para evitar que objetos altamente reflectivos pasen desapercibidos, algunas variantes emiten luz polarizada contra una placa denominada retro-reflectora que hace girar el plano de polarización  $90^\circ$  y la devuelve hacia el detector, previsto para

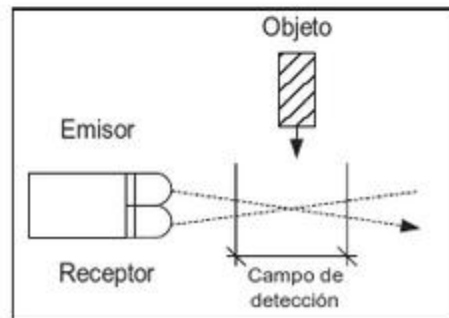
recibirla en el plano vertical. De esta forma, cualquier objeto, incluso reflectante, que se interponga entre el emisor y el reflector será detectado, pues no girará el plano de polarización del haz luminoso.

**Difusos (auto-reflex).** La detección se lleva a cabo cuando una parte de la luz emitida, incide sobre el objeto y retorna al receptor, ubicado en la misma cápsula que el emisor (ver la Fig. 2.15). El objeto debe ser reflectivo y con un gran área de dispersión. El fondo no debe ser reflectivo, o en caso de serlo, estar separado a tres veces la distancia entre el detector y el objeto. Si bien son los más simples de instalar, no tienen un largo alcance y no son recomendados para ambientes contaminados.



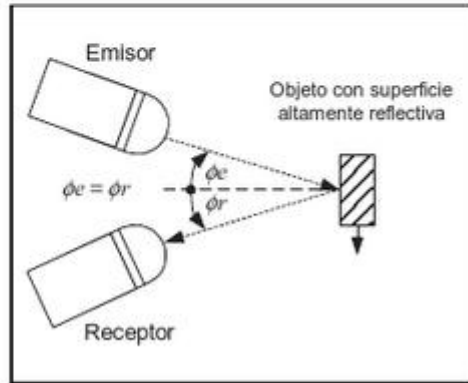
**Fig. 2.15.** Principio de funcionamiento de un sensor óptico difuso.

**Convergentes (auto-reflex).** Al igual que en los sensores difusos, la detección se realiza por dispersión. El transmisor y el detector están ubicados en el mismo encapsulado e igualmente inclinados respecto al eje vertical. Se emplean lentes especiales que enfocan el haz de luz en un área muy estrecha, denominada profundidad de campo (ver la Fig. 2.16). Los objetos fuera de esta zona no son detectados. Esto permite obtener en el receptor una luz más potente, pudiendo detectar objetos más pequeños y menos reflectivos que los captados por los sensores difusos.



**Fig. 2.16.** Principio de funcionamiento de un sensor óptico convergente.

**Especular.** El emisor y el receptor son dispositivos separados, ubicados a ángulos iguales del objeto (ver la Fig. 2.17). La detección se realiza por reflexión total. Por lo tanto, se requiere que la superficie del objeto sea altamente reflectiva y la distancia de separación del mismo sea constante. Se suelen emplear para diferenciar objetos opacos de brillantes.



**Fig. 2.17.** Principio de funcionamiento de un sensor óptico especular.

Otra variante de detectores ópticos son los de fibra óptica, que tienen los puntos de emisión/recepción de luz separados de la unidad generadora, y unidos a ella mediante la fibra (ver la Fig. 2.18). Mediante esto, la detección se puede llevar a puntos inaccesibles aprovechando la flexibilidad de la fibra. Estos detectores se encuentran disponibles en versiones por reflexión y por barrera.



**Fig. 2.18.** Sensor por reflexión con fibra óptica marca Siemens.

Existen, además, detectores ópticos con salida analógica, aunque suelen tener problemas de falta de repetitibilidad frente a los cambios de iluminación ambiental, polvorientos y otras condiciones del entorno.

### Detectores Ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos utilizan un cristal piezoeléctrico montado en la superficie del detector para enviar y recibir señales de sonido de alta frecuencia. Se aplican al cristal piezoeléctrico trenes de pulsos de alta frecuencia haciendo que éste vibre a la misma frecuencia, produciendo ondas mecánicas que se transmiten por el aire. Cuando estas ondas inciden sobre el objeto a detectar, se produce un eco que retorna al transductor (ver la Fig. 2.19). El piezoeléctrico convierte el eco recibido en una señal eléctrica. El período de tiempo entre el pulso aplicado y el eco recibido es evaluado por el transductor, para conmutar una salida digital o indicar la posición mediante una salida analógica.

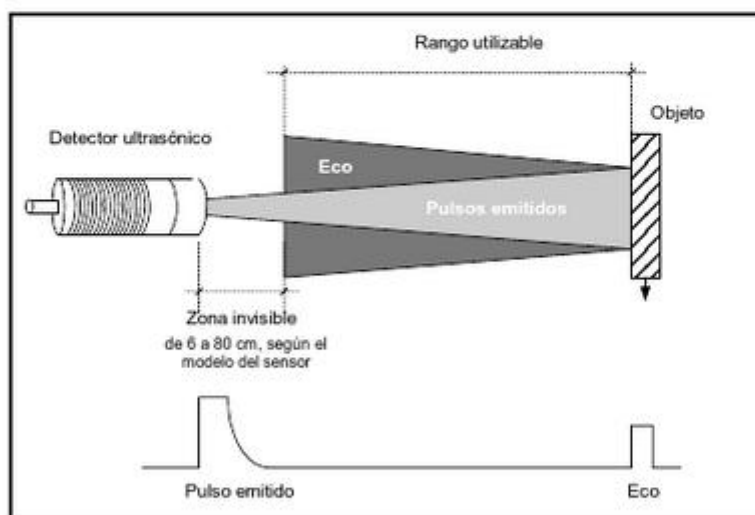


Fig. 2.19. Pulso emitido y eco en un detector ultrasónico.

Existe una zona invisible frente al detector, cuya longitud varía dependiendo del modelo del sensor. Un objeto que se coloque en esa zona produce inestabilidad en la salida. En la Fig. 2.20 se pueden apreciar las señales eléctricas sobre los extremos del cristal piezoeléctrico. Los detectores ultrasónicos suelen aplicar sobre el mismo, trenes de decenas de pulsos de una amplitud aproximada de 200 kV. El eco produce sobre el cristal piezoeléctrico tensiones del orden de los microvolt.

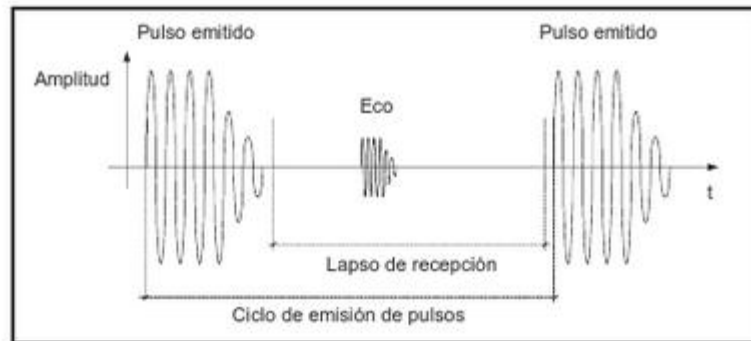


Fig. 2.20. Señales eléctricas en el sensor piezoeléctrico.

Como ventaja frente a las fotoceldas, pueden detectar materiales que ofrecen dificultades para la detección óptica y objetos transparentes, tales como cristal y plásticos. Sin embargo, y dado que estos detectores utilizan ondas ultrasónicas que se mueven por el aire, no podrán ser utilizados en lugares donde éste circule con violencia (bocas de ventilación, cercanías de puertas, etc.), o en entornos con elevada contaminación acústica (prensas, choques entre metales, etc.). En la Fig. 2.21 se muestra un detector ultrasónico de la línea Bero de Siemens.



Fig. 2.21. Detector ultrasónico de la línea Bero de Siemens.

### Criterios de Selección

A partir de las características mencionadas se pueden establecer los criterios indicados en la Tabla 2.3 como guía para la elección correcta del tipo de detector de proximidad.

**Tabla 2.3.** Criterios para la selección de un sensor de proximidad.

MATERIAL		DISTANCIA	TIPO DE DETECTOR
Sólido	Metálico	< 50 mm	Inductivo
		> 50 mm	Ultrasónico u óptico
	No metálico	< 50 mm	Capacitivo
		> 50 mm	Ultrasónico u óptico
Polvo o granulado	Metálico	< 50 mm	Inductivo
		> 50 mm	Ultrasónico
	No metálico	< 50 mm	Capacitivo
		> 50 mm	Ultrasónico
Líquido	Transparente	< 50 mm	Capacitivo
		> 50 mm	Ultrasónico
	Opaco	< 50 mm	Capacitivo
		> 50 mm	Óptico

Por otra parte, la Tabla 2.4 resume algunas ventajas, desventajas y aplicaciones de los diferentes sensores de proximidad.

**Tabla 2.4.** Ventajas, desventajas y aplicaciones de los sensores de proximidad.

DETECTOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
FINAL DE CARRERA	Manejo de alta corriente de salida. Bajo costo. Simple instalación y conexionado.	Requiere contacto físico con el objeto a detectar. Respuesta muy lenta. Rebote de contacto.	Sensado básico de límites.
ÓPTICO	Detecta toda clase de materiales. Larga vida útil. Captación a gran distancia. Respuesta rápida.	Contaminación de las lentes. Rango de detección afectado por el color y la reflectividad del objeto.	Manejo de material. Empaquetado. Detección de partes.
CAPACITIVO	Capacidad para detectar objetos no metálicos.	Sensible a cambios ambientales.	Detección de nivel.

DETECTOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
ULTRASÓNICO	Detección de todo tipo de materiales.	Baja resolución y repetitibilidad. Sensible a cambios de temperatura.	Sistemas anticollisión. Puertas. Control de nivel.

## Codificadores Ópticos (*Encoders*)

Los codificadores ópticos (*encoders*), también conocidos como generadores de pulsos, son dispositivos formados por un rotor, el cual tiene unido un disco opaco con perforaciones, y por una serie de emisores y captadores ópticos fijos (alojados en el estator), que detectan la presencia o no de una perforación frente a ellos y dan una señal pulsátil en consecuencia (ver la Fig. 2.22).

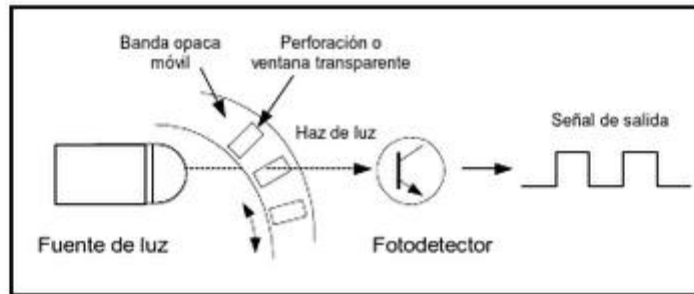


Fig. 2.22. Principio de funcionamiento de un generador de pulsos.

Sus principales aplicaciones son la medición de velocidad y detección de la posición para sistemas de control de movimiento.

Existen básicamente dos tipos de generadores de pulsos: los incrementales y los absolutos. Los primeros disponen de una única banda de perforaciones, dando un determinado número de pulsos por vuelta. Éstos requieren un contador para determinar la posición a partir de un origen de referencia. Los absolutos, en cambio, disponen de varias bandas en el rotor ordenadas según un código binario. Los captadores ópticos entregan en este caso un código digital que es diferente para cada posición del rotor.

En la Fig. 2.23 se puede observar un generador de pulsos marca Omron.



Fig. 2.23. Generador de pulsos marca Omron.

### Codificadores Ópticos Incrementales o Relativos

Como se mencionó anteriormente, los codificadores ópticos incrementales tienen, por lo general, una sola banda opaca de marcas transparentes o perforaciones a lo largo del disco rotórico. Sin embargo, suelen tener dos conjuntos emisor-receptor óptico desfasados en su montaje mecánico un número entero de pasos de distancia  $p$ , más  $\frac{1}{4} p$  (ver la Fig. 2.24).

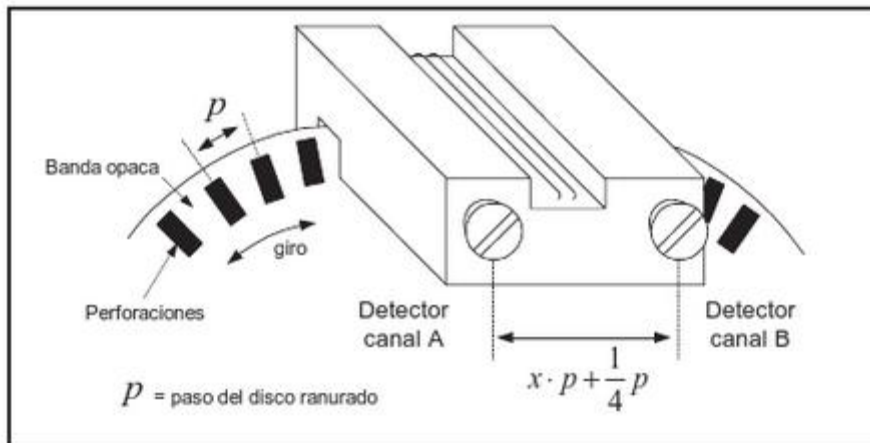


Fig. 2.24. Conjuntos emisor-receptor óptico en codificadores ópticos incrementales.

Uno de los detectores recibe el nombre de canal A y el otro de canal B. Al girar el rotor, cada par óptico genera una señal cuadrada. El decalaje de  $\frac{1}{4}$  de división de los captadores hace que las señales cuadradas de salida tengan entre sí un desfase

eléctrico de 1/4 de período cuando el rotor gira en un sentido, y de 3/4 de período cuando lo hace en sentido contrario. Esto se utiliza para discriminar el sentido de giro (ver la Fig. 2.25).

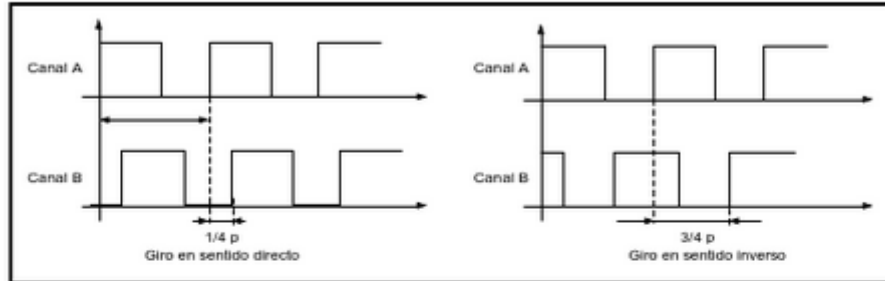


Fig. 2.25. Señales de salida de los canales A y B según el sentido de giro.

La detección en cuadratura (utilizando los canales A y B) permite minimizar los errores causados por vibraciones y duplicar o cuadruplicar la resolución del codificador. Además suelen entregar señales complementarias para detectar la inducción de pulsos de ruido. La resolución de un generador de pulsos suele ser de 2000 ó 4000 ppr (pulsos por revolución). Si se adosa un codificador óptico de 4000 ppr a una máquina de 1680 rpm (revoluciones por minuto) que equivalen a 28 rps (revoluciones por segundo) obtendremos:

$$28 \times 4000 = 112000 \text{ pps} = 112 \text{ kHz} \quad (\text{un pulso cada } 8,92 \mu\text{s})$$

Los PLC disponen de contadores rápidos y canales de entradas especiales que cuentan los pulsos de elevada frecuencia directamente por hardware, con funcionalidades de incremento-decremento y puesta a cero incorporadas.

Algunos generadores de pulsos incrementales disponen de un canal adicional, que proporciona un impulso por revolución conocido como canal Z. La lógica de control puede utilizar esta señal para implementar un contador de vueltas o un reset de posición inicial.

### Codificadores Ópticos Absolutos

Los codificadores absolutos disponen de varias bandas opacas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, con ventanas transparentes o perforaciones dispuestas de tal forma que el rotor queda dividido en una serie de sectores radiales que siguen un código Gray o binario reflejado. Cada banda tiene un conjunto emisor-receptor. Las informaciones binarias obtenidas de los captadores es único

para cada posición del rotor, brindando, de esta forma, su posición absoluta. El tipo de código Gray tiene la ventaja que en cada cambio de sector sólo modifica el estado de una de las bandas, evitando así que se puedan producir errores por falta de alineación de los captadores y minimizando la frecuencia de conmutación. En la Tabla 2.5 se indica la generación del código Gray de tres bits.

NÚMERO	CÓDIGO GRAY
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

**Tabla 2.5.**  
Código Gray  
de 3 bits.

Los codificadores absolutos suelen entregar de 12 a 16 bits con lo cual se consiguen resoluciones entre  $1/4096$  y  $1/65.536$  de revolución, es decir,  $0,0879^\circ$  y  $0,00054^\circ$ .

## Sensores de Temperatura

Un Pt100 es un caso especial de un dispositivo termorresistivo o RTD y está constituido por un alambre de platino, el cual presenta una resistencia de 100 ohm cuando se encuentra sometido a una temperatura de  $0^\circ\text{C}$ . Al aumentar la temperatura su resistencia se incrementa tal como lo muestra la curva de la Fig. 2.26.

Este incremento no es totalmente lineal, razón por la cual se debe recurrir a tablas, de la misma manera que para una termocupla. La norma DIN IEC 751 define las resistencias eléctricas y las desviaciones admisibles en función de la temperatura (ver la Tabla 2.5).

Un Pt100 es un dispositivo pasivo, que no genera por sí solo una diferencia de potencial en su salida, y requiere ser conectado a un módulo intermedio con capacidad de sensar las variaciones de resistencia para luego trasladarlas, con parámetros adecuados, al sistema de control, linealizando además la respuesta del RTD.

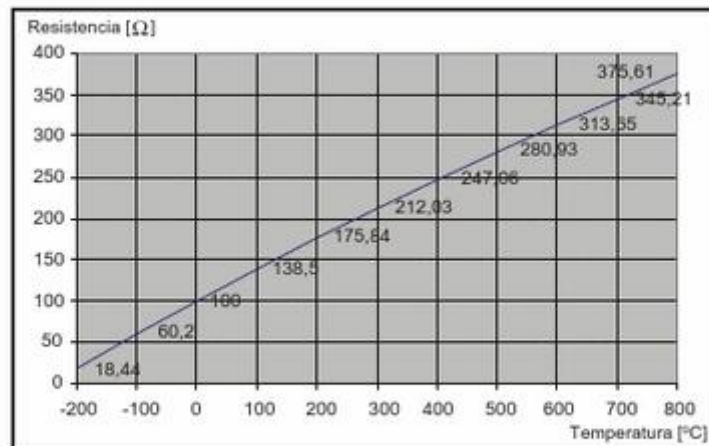


Fig. 2.26. Curva característica de un sensor de temperatura Pt100.

Tabla 2.5. Desviaciones admisibles del valor básico para un Pt100 de acuerdo a la norma DIN IEC 751.

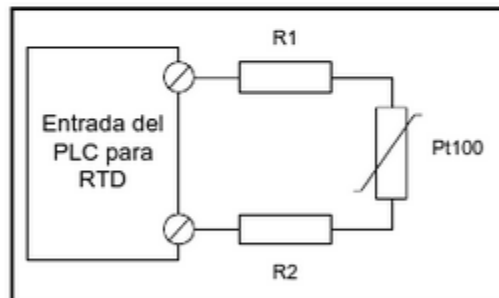
VALOR BÁSICO		CLASE A		CLASE B		1/3 DIN	
°C	Ohm	°C	Ohm	°C	Ohm	°C	Ohm
-200	18,44	±0,55	±0,24	±1,3	±0,56	±0,4	±0,19
-100	60,2	±0,35	±0,14	±0,8	±0,32	±0,3	±0,11
0	100	±0,15	±0,06	±0,3	±0,12	±0,1	±0,04
100	138,5	±0,35	±0,13	±0,8	±0,3	±0,3	±0,10
200	175,84	±0,55	±0,20	±1,3	±0,48	±0,4	±0,16
300	212,03	±0,75	±0,27	±1,8	±0,64	±0,6	±0,21
400	247,06	±0,95	±0,33	±2,3	±0,79	±0,8	±0,26
500	280,93	±1,15	±0,38	±2,8	±0,93	±0,9	±0,31
600	313,65	±1,35	±0,43	±3,3	±1,06	±1,1	±0,35
650	329,41	±1,45	±0,46	±3,6	±1,13	±1,2	±0,38
700	345,21	-	-	±3,8	±1,17	±1,3	±0,39
800	375,61	-	-	±4,3	±1,28	±1,4	±0,43
850	390,38	-	-	±4,6	±1,34	±1,5	±0,45

Una termocupla, por el contrario, es un sensor de temperatura activo, ya que por sus propios medios brinda una tensión del orden de los milivolt entre sus extremos proporcional a la temperatura a la cual se la somete.

Los Pt100 son elementos un poco más costosos que las termocuplas, pero superan a estas últimas en usos para bajas temperaturas. Un Pt100 puede ser colocado a una distancia considerable del dispositivo de medición (hasta unos 30 metros), utilizando cable de cobre común para hacer la extensión, sin tener problemas de temperaturas parásitas en esas juntas.

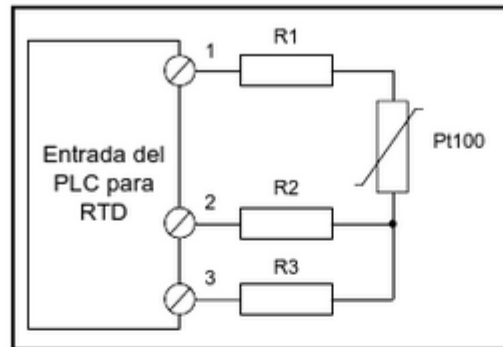
Existen tres formas básicas de conexión de un sensor Pt100, mediante dos, tres o cuatro cables.

**Conexión con dos hilos.** La resistencia interna de los cables representadas como R1 y R2 se suman generando un error en el dispositivo de medición, el cual en lugar de medir únicamente el resistor Pt100, medirá la suma de la resistencia de él más la R1 y R2 (ver la Fig. 2.27). Este método es poco recomendable por su exactitud, y la estrategia recomendada para mejorar la medición es utilizar un cable lo más grueso y corto posible para disminuir las resistencias R1 y R2.



**Fig. 2.27.** Conexión de un Pt100 con dos hilos.

**Conexión con tres hilos.** Este tipo de conexionado resuelve el inconveniente del error generado por la resistencia interna de los cables y es el más común que se puede encontrar en las instalaciones. La única condición es que la resistencia interna de los tres cables debe ser la misma debido a que el sistema de medición o el módulo de entrada del PLC por lo general utilizan un puente de Wheatstone, mediante el cual se obtiene una tensión diferencial que puede ser acondicionada para llevar a cabo la medición. El tipo de conexión es con 3 hilos anula la influencia de la longitud del cable (resistencia óhmica) en el resultado de medición, pues mide la resistencia entre los bornes 2 y 3, para luego restar este valor a la medición de interés dada entre los bornes 1 y 2.



**Fig. 2.28.** Conexión de un Pt100 con tres hilos.

**Conexión con cuatro hilos.** Consiste en un método que puede proporcionar una mayor precisión a consecuencia de requerir un dispositivo de medición más complejo y costoso, pero posibilitando que los cuatro cables sean de distinta resistencia y esto no altere la medición.

La corriente que atraviesa el Pt100 es suministrada por el dispositivo de medición o el módulo de entrada del PLC, se denomina **corriente de excitación**, y ronda en el rango de 0,1 mA a 2 mA. Si el instrumento o el módulo de medición generan una corriente demasiado alta, puede calentar demasiado al Pt100 originando un error de medición, sobre todo si el sensor con que se está trabajando es pequeño. No es recomendable instalar un Pt100 en lugares sometidos a muchas vibraciones, pues es probable que se fracture.

Los sensores Pt100 se utilizan normalmente en la industria de alimentos, en la química, y en infinidad de sistemas que manejen un rango de temperatura de  $-100$  a  $200$  °C.

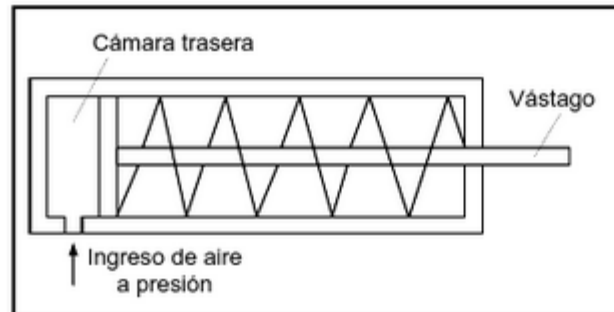
## Actuadores

### Actuadores Neumáticos

#### **Cilindros de Simple y Doble Efecto**

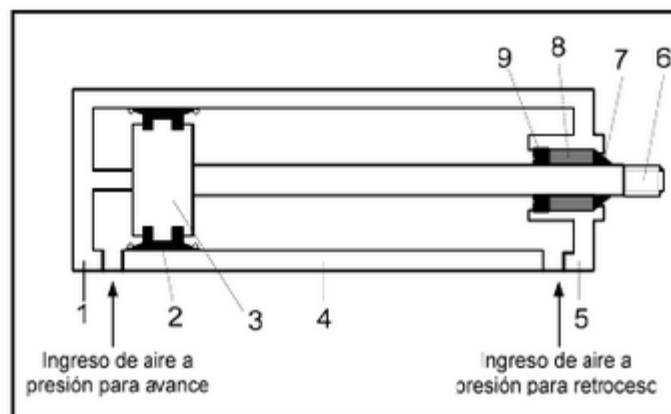
Los cilindros son los componentes neumáticos más difundidos, quienes mediante el uso del aire comprimido, generan un movimiento rectilíneo de avance y de retroceso de un vástago. Se dividen en dos grandes grupos, los cilindros de simple efecto y los de doble efecto.

En los de simple efecto el aire a presión ingresa por la cámara trasera y desplaza al vástago. El retroceso se produce mecánicamente por la acción de un resorte (ver la Fig. 2.29).



**Fig. 2.29.**  
Cilindro de simple efecto.

En los cilindros de doble efecto el avance se realiza de la misma forma que en los de simple efecto, pero para el retroceso se debe hacer que el aire a presión penetre por el orificio de la cámara delantera (ver la Fig. 2.30). Cuando el vástago retrocede, el aire de la cámara trasera se libera al exterior a través del conducto correspondiente. Lo mismo sucede con el aire contenido en la cámara delantera cuando el cilindro avanza.



**Fig. 2.30.** Cilindro de doble efecto. 1. Tapa trasera. 2. Juntas estáticas y dinámicas del pistón. 3. Pistón. 4. Tubo o camisa. 5. Tapa delantera. 6. Vástago. 7. Anillo rascador. 8. Juntas estáticas de las tapas. 9. Junta dinámica del vástago.

Las partes fundamentales de un cilindro son la tapa trasera 1, el tubo o la camisa 4, el pistón 3, el vástago 6 y la tapa delantera 5. Para lograr la estanqueidad se

necesita que tanto las tapas, como el pistón y el vástago, posean las correspondientes juntas de cierre. Por lo tanto, en las tapas se montan juntas estáticas 8, en el pistón juntas estáticas y dinámicas 2, y en el vástago la dinámica 9. El objetivo del anillo rascador 7 es limpiar el vástago de impurezas producto del polvo y la suciedad que se pueden adherir sobre su superficie, cada vez que éste avanza y se pone en contacto con el aire ambiente.

Algunos cilindros especiales disponen, además, de dos cámaras de frenado que amortiguan la velocidad final de la carrera cuando la inercia es elevada. En la Fig. 2.31 se puede observar un cilindro de doble efecto marca Festo.



Fig. 2.31. Cilindro de doble efecto marca Festo.

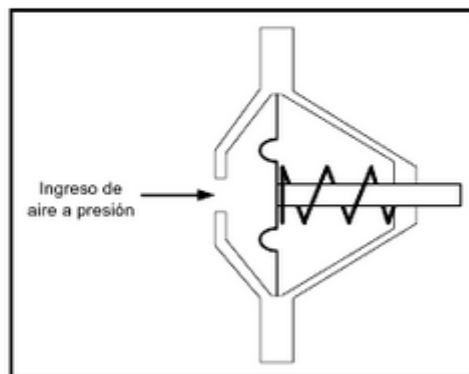
### **Cilindros de Carrera Corta**

Los cilindros de carrera corta tienen pequeño recorrido, gran fuerza de empuje, y al no existir amortiguación al final de la carrera, son muy rápidos en sus cortos desplazamientos.

Entre los cilindros de carrera corta se encuentran los de membrana. En ellos no existe un émbolo que se desplaza por el interior de la camisa, sino que una membrana elástica cumple la doble función de hacer de émbolo y de cierre hermético de las cámaras (ver la Fig. 2.32).

Los desplazamientos son pequeños y limitados por la deformación que permite la membrana. Suelen desarrollar gran potencia ya que se construyen en elevados diámetros. Existen de simple y doble efecto.

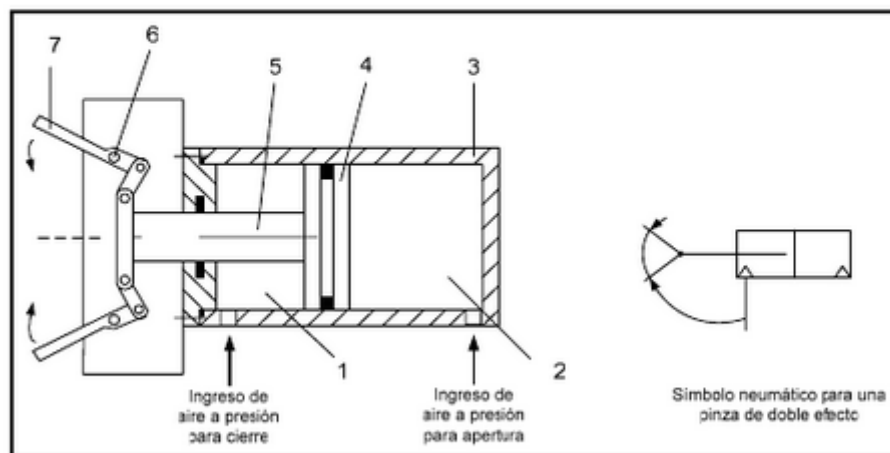
Otros cilindros de carrera corta son los de fuelle, constituidos por un fuelle elástico que se deforma axialmente bajo la acción de la presión del aire. No tienen vástago y su aplicación suele ser la de cilindro o bien como amortiguador de vibraciones.



**Fig. 2.32.**  
Cilindro de  
carrera corta  
de membrana.

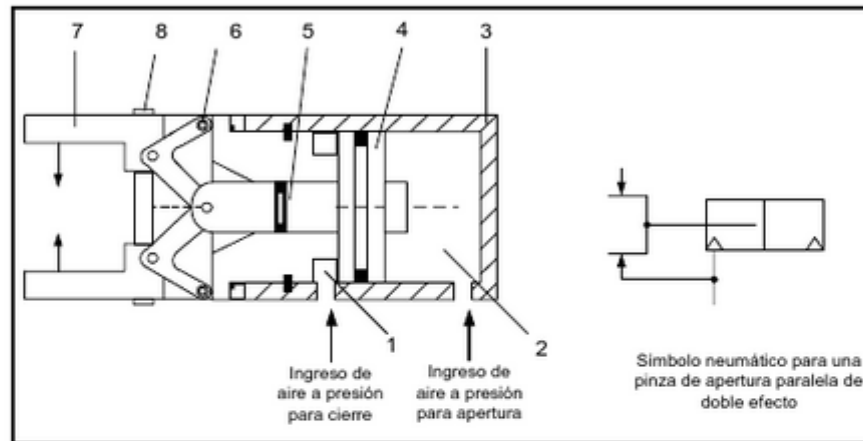
### **Pinzas Neumáticas**

La función principal de las pinzas neumáticas es la sujeción de piezas. Dentro de los diversos tipos y formas existentes, se pueden clasificar dos grupos: pinzas de apertura angular y pinzas de apertura paralela. En las pinzas de apertura angular, el avance y retroceso del pistón hace girar las garras alrededor de un eje fijo, con ángulos de movimiento aproximados de  $-10^\circ$  a  $+30^\circ$  respecto a la horizontal (ver la Fig. 2.33).



**Fig. 2.33.** Pinza de apertura angular de doble efecto. 1. Cámara de retroceso. 2. Cámara de avance. 3. Cilindro. 4. Émbolo. 5. Vástago. 6. Eje fijo. 7. Garras.

En las pinzas de apertura paralela, en cambio, las garras se desplazan axialmente por una guía, mediante la acción de palancas solidarias a la parte delantera del cilindro (ver la Fig. 2.34). Tanto las pinzas de apertura angular como las de apertura paralela, existen en las variantes de doble y simple efecto. En estas últimas, el retorno del cilindro, que equivale a la apertura de la pinza, se lleva a cabo mediante la acción de un resorte.



**Fig. 2.34.** Pinza de apertura paralela de doble efecto. 1. Cámara de retroceso. 2. Cámara de avance. 3. Cilindro. 4. Émbolo. 5. Vástago. 6. Eje fijo. 7. Garras. 8. Guía.

## Válvulas Neumáticas

Las válvulas son dispositivos que permiten controlar el arranque, la parada, la dirección y el sentido del flujo de aire en un circuito neumático. Su funcionamiento se basa principalmente en las siguientes características:

- Cantidad de posiciones.
- Cantidad de vías.
- Forma de accionamiento.

Las posiciones son los diferentes estados de conmutación de la válvula. Cada posición se representa mediante un cuadrado. Por lo tanto, dos cuadrados pegados uno al lado del otro representan una válvula de dos posiciones, y tres cuadrados consecutivos representan una válvula de tres. Las válvulas pueden ser únicamente de dos o tres posiciones, siendo la de dos la más frecuente.

Por otra parte, las vías de una válvula son los orificios que se comunican con el exterior, excluyendo los utilizados para mover la propia válvula (en el caso de ser accionada mediante presión de aire). Las vías pueden ser dos o más y se representan por las entradas (en la parte inferior) o salidas (en la parte superior), que están unidas a uno de los cuadrados. El cuadrado al cual se unen las vías simboliza la posición de reposo de la válvula.

En la Fig. 2.35 se representan los distintos tipos de válvulas según la simbología normalizada. Se expresa la cantidad de vías en el numerador y la cantidad de posiciones en el denominador. De esta forma, una válvula de 4/3 vías, tiene 4 vías y 3 posiciones.

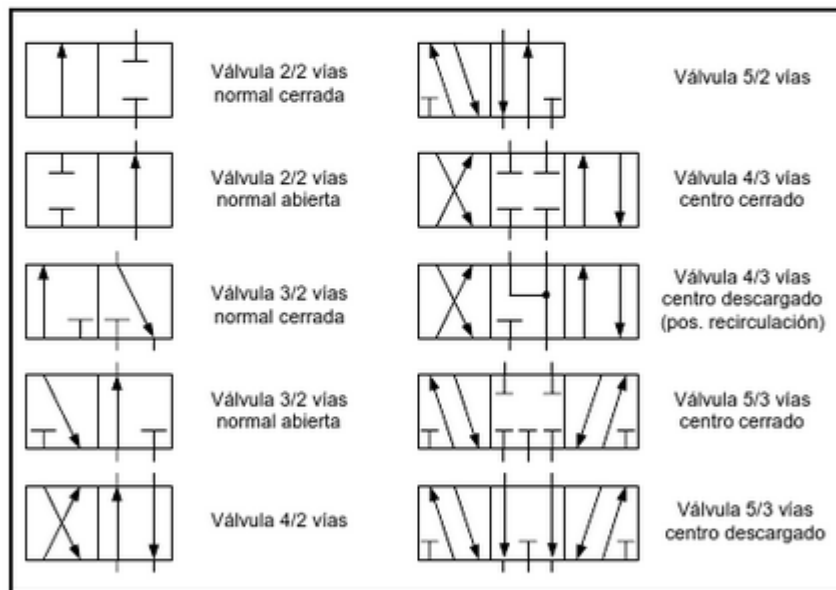


Fig. 2.35. Simbología normalizada de las válvulas.

Cada posición de la válvula produce una determinada función. Si bien los circuitos neumáticos se dibujan en posición de reposo, se supone que bajo una acción externa que puede ser fuerza manual, neumática, electromagnética, etc., las casillas se desplazan ocupando una u otra posición y quedando las conexiones exteriores fijas. En la Tabla 2.5 se ilustran las identificaciones normalizadas de cada orificio de las válvulas.

Tabla 2.5. Identificaciones de las vías de una válvula.

FUNCIÓN	NÚMEROS	LETRAS
Alimentación de presión	1	P
Orificios de trabajo	2 – 4	A – B
Orificios de escape	3 – 5 – 7	R – S – T
Orificios de mando o pilotaje, donde la presión de aire 1 se comunica con 2	12	X – Y
Orificios de mando o pilotaje, donde la presión de aire 1 se comunica con 4	14	X – Y

En la Fig. 2.36 se presenta un ejemplo que utiliza las nomenclaturas mencionadas. Se puede observar que la presión de aire se representa a través de un círculo con un punto en su interior y los escapes de aire, con un triángulo hacia abajo.

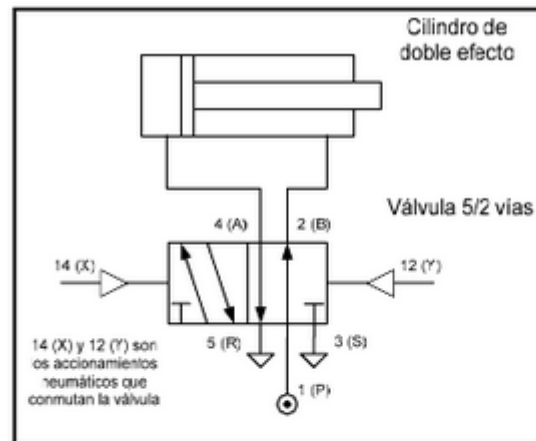
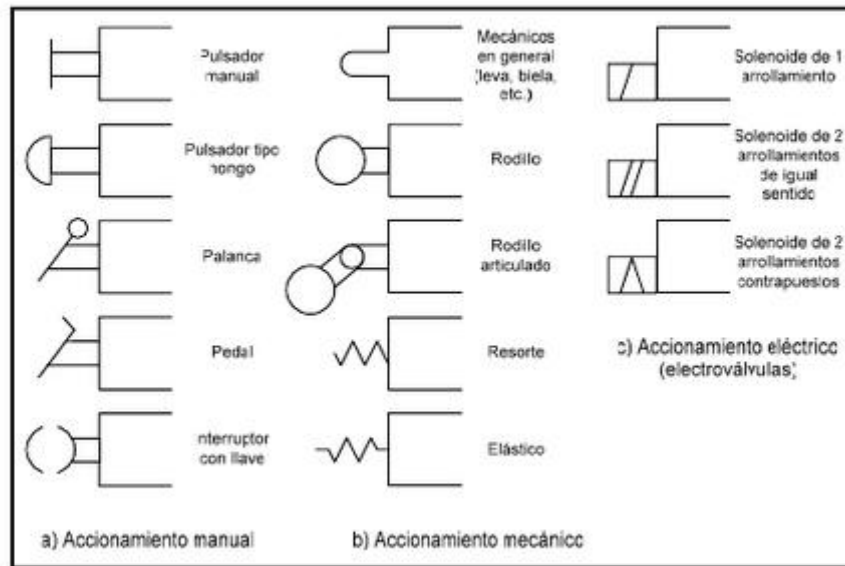


Fig. 2.36. Ejemplo que utiliza una válvula de 5/2 vías para comandar un cilindro neumático de doble efecto.

La forma de accionamiento puede ser manual, mecánica o eléctrica. Las válvulas de accionamiento manual son aquellas que para su conmutación requieren la acción voluntaria del operador (ver la Fig. 2.37.a). Las de accionamiento mecánico son activadas por un mecanismo en movimiento o por el vástago del propio cilindro y se suelen emplear para detectar una posición (ver la Fig. 2.37.b). Las electroválvulas permiten el accionamiento por la aplicación de una diferencia de potencial sobre un solenoide (ver la Fig. 2.37.c). Este tipo de mando de válvulas es el que se emplea para el control mediante PLC.



**Fig. 2.37.** Simbología para los accionamientos manual **a)**, mecánico **b)** y eléctrico **c)**.

Existen válvulas monoestables (con un solenoide) o biestables (con dos solenoides). Las monoestables retornan por acción de un resorte a la posición de reposo cuando se desenergiza el solenoide. La biestables, en cambio, conmutan aplicando un pulso a uno de los solenoides y su reposición se realiza mediante un pulso en el otro solenoide.

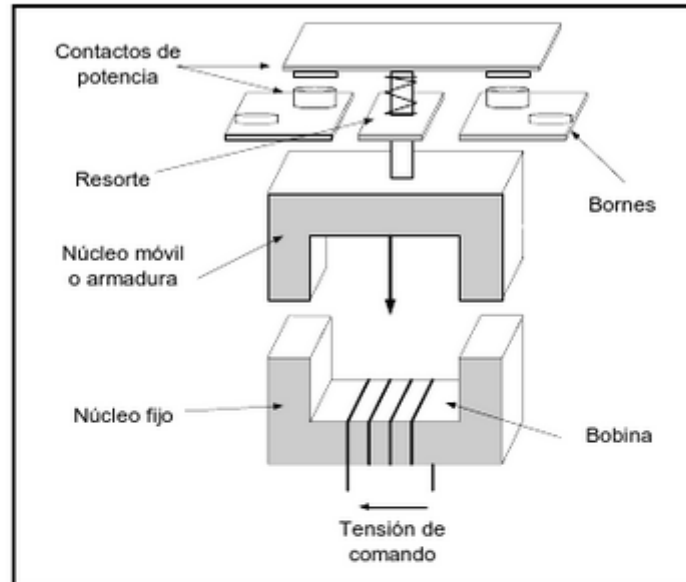
## Actuadores Eléctricos

### Contadores para el Mando de Motores

El comportamiento de un contactor se asimila al de un interruptor que cierra cuando se energiza la bobina de un electroimán. De esta forma, se pueden accionar circuitos sometidos a corrientes muy altas, mediante la aplicación de corrientes muy bajas sobre la bobina. Si bien su concepción y funcionamiento es similar a la de los relés, la principal diferencia radica en que puede manejar cargas de mayor potencia.

Están formados por una bobina, un núcleo fijo, un núcleo móvil o armadura y un juego de contactos de potencia. La bobina está arrollada sobre el núcleo fijo,

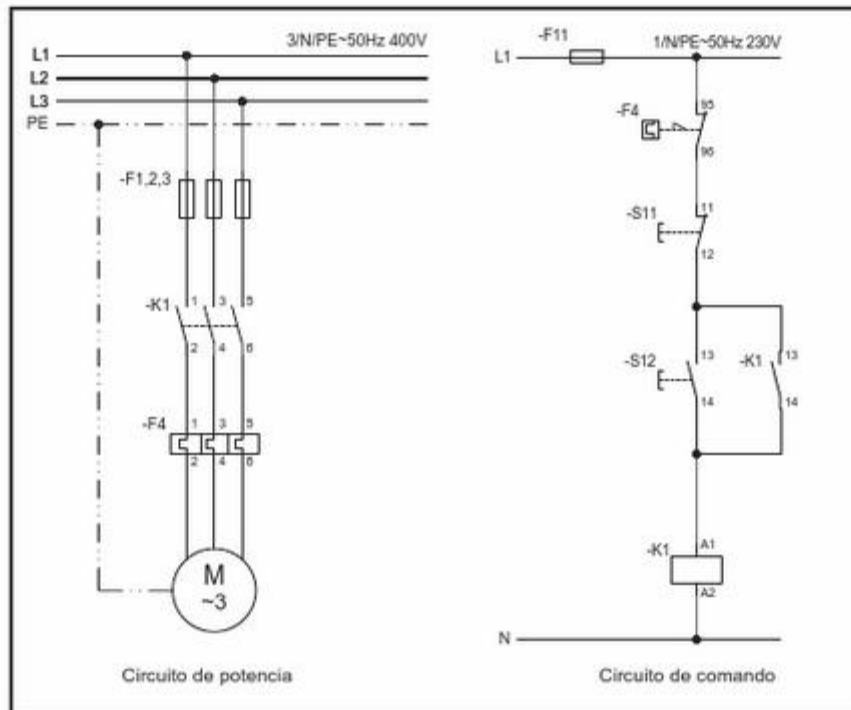
mientras que la armadura soporta la pieza móvil de cada contacto de potencia (ver la Fig. 2.38).



**Fig. 2.38.** Principio de funcionamiento y partes fundamentales que conforman un contactor.

Disponen de una gran variedad de accesorios, incluyendo bloques de de contactos auxiliares normalmente abiertos (NA) o cerrados (NC), enclavamientos mecánicos, módulos de cableado, limitadores de sobretensiones, etc. Se montan sobre un riel DIN de 35 mm, aunque es posible fijarlo con tornillos.

En la Fig. 2.39 se muestra el circuito eléctrico del arranque directo de un motor que utiliza dos pulsadores para el arranque y la parada. Cuando se cierra el contacto S12 (pulsador de marcha) se energiza la bobina del contactor K1 y se cierran los contactos de potencia arrancando el motor. El contactor K1 queda retenido por uno de sus contactos auxiliares K1 (en bornes 13 y 14). Mediante el S12 (pulsador de parada) se corta la retención y se detiene el motor. Por lo tanto, los pulsadores S11 y S12 permiten conectar o desconectar a distancia el motor de la red de baja tensión. Los fusibles F1,2,3 protegen a la instalación ante un cortocircuito en el motor abriendo el circuito de potencia y el relé de sobreintensidad F4 protege al motor ante una sobrecarga abriendo el circuito de comando. Estas dos protecciones pueden ser reemplazadas por un guardamotor.



**Fig. 2.39.** Circuito de potencia y de comando para arranque y paro de un motor mediante dos pulsadores (S11 y S12).

Los contactores permiten automatizar fácilmente el arranque y el paro de motores cuando se conecta su bobina a una salida digital de un PLC.

Un parámetro importante al momento de seleccionar un contactor es la tensión de comando. Las tensiones más comunes de las bobinas son: 220 VCA, 110 VCA, 24 VCC, 24 VCA.

Por otra parte, los valores de corriente y de potencia nominales deben ser los adecuados para el tipo de carga a accionar. Esto define diversas clases de servicio o categorías de empleo, las cuales se pueden observar en la Tabla 2.6.

En la Fig. 2.40.a y b se pueden observar dos modelos de contactores marca Siemens, mientras que en la 2.40.c se muestran dos relés marca Phoenix Contact y Omron.

Tabla 2.6. Clases de servicio para corriente alterna de un contactor.

Clase	Tipo de carga	Corriente de conexión aproximada	Corriente de desconexión aproximada
AC-1	Cargas no inductivas con $\cos \varphi > 0,80$	$I_c = 1,5 \times I_n$	$I_d = 1,5 \times I_n$
AC-2	Arranque de motor con rotor bobinado con $\cos \varphi > 0,65$	$I_c = 4,0 \times I_n$	$I_d = 4,0 \times I_n$
AC-3	Arranque de motor con rotor de jaula con $\cos \varphi > 0,45/0,35$	$I_c = 10 \times I_n$	$I_d = 8 \times I_n$
AC-4	Ídem AC-3, con pulsación frenado por contra-corriente	$I_c = 12 \times I_n$	$I_d = 10 \times I_n$
AC-5 <sup>a</sup>	Lámparas de descarga gaseosas		
AC-5b	Lámparas incandescentes		
AC-6 <sup>a</sup>	Transformadores		
AC-6b	Baterías de capacitores		

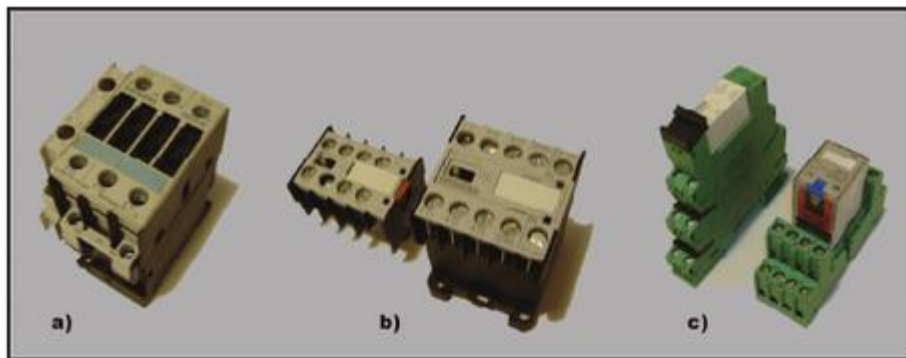


Fig. 2.40. a) Contactor Siemens tamaño S0. b) Bloque de contactos auxiliares y contactor Siemens tamaño S00. c) Relés marcha Phoenix Contact y Omron.

Además de los contactores de tipo electromecánicos, también existen contactores de estado sólido basados en tiristores o triacs (ver la Fig. 2.41). Éstos son de utilidad cuando se necesitan frecuencias elevadas de conmutación, ya que los contactores convencionales, además de ser dispositivos más lentos que los de estado sólido, tienen una cantidad de maniobras limitada.

88 *PLC – Automatización y Control Industrial*



Fig. 2.41. Contactor de estado sólido marca Siemens.

## Capítulo 3

# Funcionamiento de los PLC

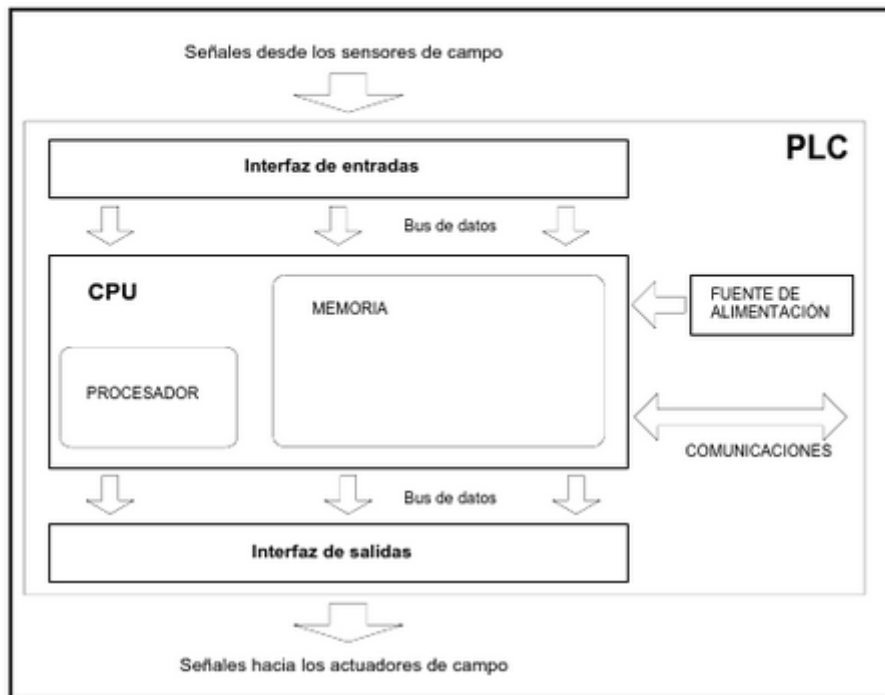


## Introducción

Un PLC permite controlar un proceso o realizar una secuencia de acciones de manera automática a partir de un programa definido por el usuario. Esto lo realiza ejecutando en forma cíclica una secuencia de instrucciones que, a partir de la información que llega a sus entradas desde los sensores, deciden cuándo conmutar sus salidas, donde se encuentran conectados los actuadores. En este capítulo se describirán las partes que componen un PLC y sus principales características. Por otra parte, se analizará la forma cómo un PLC ejecuta la lógica escrita por el usuario y las rutinas de verificación internas.

## Estructura Interna del PLC

El diagrama en bloques de la Fig. 3.1 muestra la estructura interna de un controlador lógico programable (PLC).



**Fig. 3.1.** Bloques internos que componen un PLC.

Sus partes fundamentales son la unidad central de proceso o CPU, y las interfaces de entrada y salida. La CPU es el cerebro del PLC y está formada por el procesador y la memoria. El procesador se encarga de ejecutar el programa escrito por el usuario que se encuentra almacenado en la memoria. Además, el procesador se comunica con el exterior mediante sus puertos de comunicación y realiza funciones de autodiagnóstico.

La interfaz de entrada se ocupa de adaptar las señales provenientes de los elementos captadores, tales como botoneras, llaves, límites de carrera, sensores de proximidad, presostatos, sensores fotoeléctricos, etc., a niveles que la CPU pueda interpretar como información. Por otra parte, cuando la CPU resuelve, a través de su programa interno, activar algún elemento de campo, la interfaz de salida es la encargada de administrar la potencia necesaria para comandar el actuador.

Los controladores programables más comunes poseen un solo procesador, pero a medida que su capacidad de control aumenta pueden tener varios procesadores

dedicados a tareas específicas como resolución de lazos, comunicaciones, diagnóstico, etc.

Para poder gobernar todo el sistema, el procesador necesita de un programa escrito por el fabricante denominado *firmware*. Este programa no es accesible al usuario y se encuentra almacenado en una memoria no volátil, de tipo *flash*, que forma parte del bloque de memoria de la CPU.

## Clasificación

Para poder establecer una clasificación entre los diferentes PLC se deben considerar distintos aspectos:

**Construcción.** Se puede clasificar a los controladores en compactos o modulares.

- Los compactos alojan todas sus partes, tales como interfaces de entradas, de salidas, CPU y fuente de alimentación, en un mismo gabinete. Esta construcción compacta se da solamente en controladores de baja cantidad de entradas y salidas, comúnmente llamados micro PLC. Las unidades de expansión son simplemente entradas y salidas que se vinculan al equipo compacto mediante una conexión al bus de datos. La mayor ventaja que ofrecen es su bajo costo, y las desventajas residen en las limitaciones a la hora de expandir el equipo.
- En los modulares, su fuente de alimentación, CPU e interfaces de entradas y salidas, son partes componibles que se arman sobre un bastidor, base de montaje o *rack*, permitiendo conformar un PLC según la necesidad de la aplicación. Su capacidad de ampliación es muy superior a la de los compactos y disponen de mayor flexibilidad a la hora del montaje. Como desventaja, su construcción completamente modular posee un mayor costo cuando se emplean poca cantidad de canales de entradas y salidas.

**Capacidad y cantidad de entradas y salidas (E/S).** Si bien no se puede establecer una clasificación exacta de acuerdo a la capacidad, los fabricantes ofrecen diversas características, tales como el tamaño de su memoria, la cantidad de puertos de comunicación, el conjunto de protocolos de comunicación que soporta, su repertorio de instrucciones, etc., que diferencian tecnológicamente unos modelos de otros. Algunas marcas además definen como parámetros de selección la cantidad máxima de entradas y salidas que el controlador puede manejar. Este indicador permite clasificar a los PLC de la siguiente forma:

- Micro PLC: hasta 64 E/S.
- PLC pequeño: 65 a 255 E/S.
- PLC mediano: 256 a 1023 E/S.
- PLC grande: más de 1024 E/S.

## Entradas y Salidas

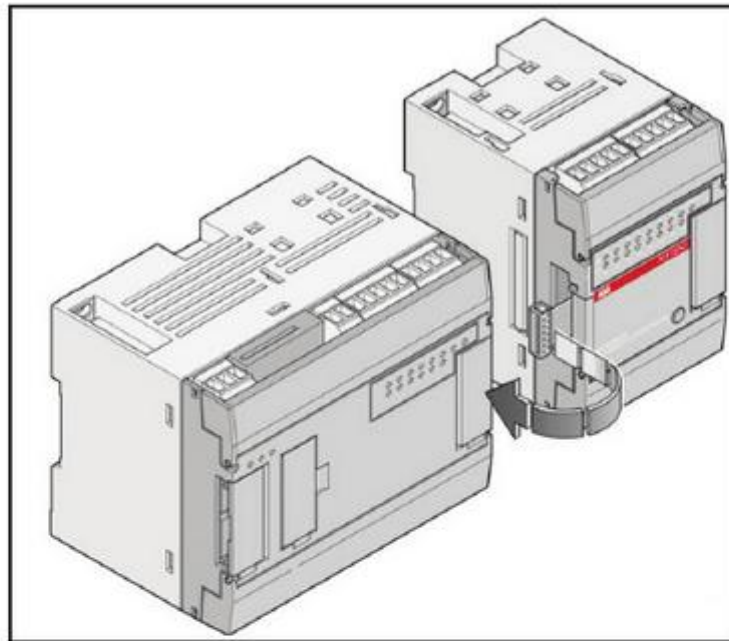
Las entradas y salidas (*input/output*) son las partes del controlador programable que lo vinculan con el campo. Como se mencionó, su función es adaptar las señales de los captadores para que puedan ser reconocidas por la CPU en el caso de las entradas, o activar un elemento de potencia ante una orden de la CPU en el caso de las salidas.

El PLC realiza las acciones de control mediante sus entradas y salidas. Las entradas vigilan las señales de los dispositivos de campo, por ejemplo sensores e interruptores, mientras que las salidas comandan las bombas, motores u otros actuadores del proceso.

Debido a que no todas las señales de campo son iguales, existen interfaces de E/S para los tipos de señales eléctricas más comunes. Los canales de entrada o salida se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Digitales.** También llamadas *on/off* o discretas, pueden tomar sólo dos estados, 0 y 1.
- **Analógicos.** Pueden tomar una cantidad de estados dentro de un cierto rango de tensión o corriente, por ejemplo, 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 0 a 10 V y -10 a 10 V).
- **Especiales.** Son variantes de los anteriores que se emplean en aplicaciones específicas, como por ejemplo el conteo de alta velocidad, etc.

En los PLC compactos, las entradas y salidas integradas de la CPU tienen direcciones fijas. Para añadir a la CPU entradas y salidas adicionales, se pueden conectar módulos de ampliación a la derecha de la CPU (ver la Fig 3.2), siempre y cuando no se exceda su capacidad máxima.



**Fig. 3.2.** Instalación de un módulo de ampliación en un PLC compacto de la línea AC31 de ABB.

En los PLC de la línea Siemens S7-200, las direcciones de las E/S de cada módulo vienen determinadas por el tipo de E/S y la posición del módulo en la cadena, con respecto al anterior módulo de entradas o de salidas del mismo tipo. Por ejemplo, un módulo de salidas no afecta las direcciones de un módulo de entradas y viceversa. Igualmente, los módulos analógicos no influyen en el direccionamiento de los módulos digitales y viceversa.

Los módulos de ampliación digitales reservan siempre un espacio de la memoria en incrementos de ocho bits (un byte), dependiendo de la cantidad de canales de E/S que contenga. Los módulos de ampliación analógicos se prevén siempre en incrementos de 4 bytes. Si un módulo no ofrece E/S físicas para cada uno de dichos puntos, se pierden los mismos y no se pueden asignar a los módulos siguientes en la cadena de E/S.

En la Fig. 3.3 se pueden observar ejemplos de numeración de E/S para el PLC Siemens de la línea S7-200, CPU 224 para una disposición arbitraria de módulos de ampliación.

Disposición física de la CPU y los módulos de ampliación

	Módulo 0	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4
CPU 224	4 DI / 4 DO	8 D	3 AI / 1 AO	3 DO	3 AI / 1 AO

Direcciones que se utilizan desde el programa para acceder a los canales de entrada y salida

DI	DO	DI	DO	DI	AI	AO	DO	AI	AO
I0.0	Q0.0	I2.0	Q2.0	I3.0	AIW0	AQW0	Q3.0	AIW8	AQW4
I0.1	Q0.1	I2.1	Q2.1	I3.1	AIW2		Q3.1	AIW10	
I0.2	Q0.2	I2.2	Q2.2	I3.2	AIW4		Q3.2	AIW12	
I0.3	Q0.3	I2.3	Q2.3	I3.3			Q3.3		
I0.4	Q0.4			I3.4			Q3.4		
I0.5	Q0.5			I3.5			Q3.5		
I0.6	Q0.6			I3.6			Q3.6		
I0.7	Q0.7			I3.7			Q3.7		
I1.0	Q1.0								
I1.1	Q1.1								
I1.2									
I1.3									
I1.4									
I1.5									

DI (Digital Input): Entrada digital  
 DO (Digital Output): Salida digital  
 AI (Analog Input): Entrada analógica  
 AO (Analog Output): Salida analógica

Fig. 3.3. Direcciones que toman las entradas y salidas de los módulos de ampliación en un PLC Siemens de la línea S7-200, CPU224.

### Entradas Digitales

Los fabricantes ofrecen diversas alternativas para este tipo de entradas. Se disponen alternativas con distinta cantidad de entradas por módulo, parámetro conocido como densidad de canales, y para distintos niveles de tensiones, siendo las más comunes de 24 VCC, 24 VCA, 110 VCA y 220 VCA.

La estructura típica de una interfaz de entrada digital se puede separar en una cadena de bloques por donde pasará la señal desde los bornes de campo hasta la CPU, donde se interpretará como un 0 ó un 1 (ver la Fig. 3.4).

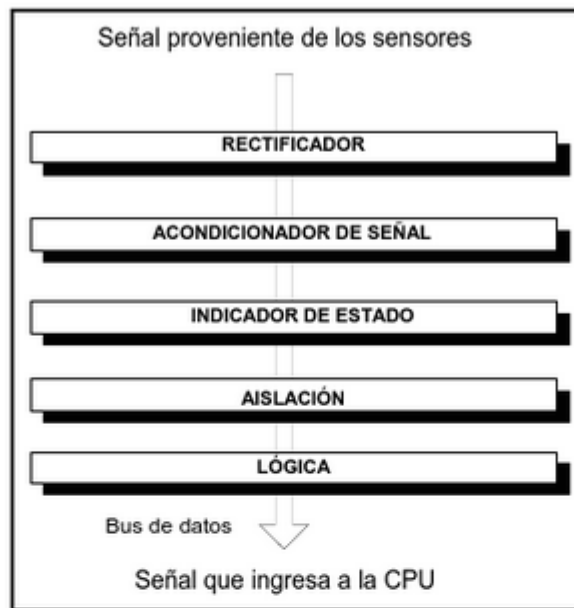


Fig. 3.4. Etapas que conforman una interfaz de entrada digital.

La función de los bloques mencionados es la siguiente:

- **Rectificador.** Cuando se trata de entradas de CA, esta etapa convierte la señal en continua. En el caso de entradas de CC impide daños por inversión de polaridad.
- **Acondicionador de señal.** Disminuye la tensión a un nivel lógico para que se pueda procesar en el resto de los circuitos, elimina ruidos, y detecta el umbral de activación y desactivación.
- **Indicador de estado.** Contiene un LED que se enciende cuando hay tensión en la entrada.
- **Aislamiento:** consiste en un aislamiento galvánico del tipo óptico para que si aparecen sobretensiones externas, el daño causado afecte sólo a la entrada y no perjudique al resto del equipo.
- **Lógica.** Es la encargada de informarle a la CPU el estado de la entrada, 0 ó 1, cuando ésta la interroga.

El paso de la señal por todos estos bloques insume un tiempo que se conoce como tiempo de respuesta de la entrada. Éste, sumado al que le toma al PLC realizar el barrido del programa, debe ser inferior al tiempo de permanencia de la señal digital para que la misma sea correctamente detectada.

En la Fig. 3.5 se pueden observar algunas características técnicas y el esquema de conexonado de un módulo de 8 entradas digitales de 24 VCC, modelo EM 221 para un PLC Siemens de la línea S7-200.

Código de producto	6ES7 221-1BF22-0XA0
Número de entradas	8 ( <i>sink/source</i> )
Valores mínimos para la detección de un 1 lógico	15 VCC a 5 mA
Valores máximos para la detección de un 0 lógico	5 VCC a 1 mA
Corriente máxima para la entrada apagada.	1 mA
Tiempo de respuesta de la entrada	4,5 ms
Consumo de la fuente interna	30 mA
Aislación	500 VCA durante 1 m

**Fig. 3.5.**  
Especificaciones técnicas y conexonado de un módulo de 8 entradas digitales de 24 VCC, modelo EM 221 para un PLC Siemens de la línea S7-200.

## Saldas Digitales

Las salidas digitales pueden ser por relé, triac o transistor. Las salidas por relé se pueden utilizar para cargas en CC o CA, ya que utilizan un contacto libre de potencial; las de transistor sólo para CC y las de triac sólo para CA. En todos los casos se debe verificar que la tensión y la corriente a manejar sean compatibles con las salidas seleccionadas.

Las salidas por triacs y transistores se prefieren en los casos que requieren mayor velocidad de operación, ya que las de relés son más lentas, insumiendo cerca del doble de tiempo para su conmutación. Además, la vida útil de las salidas a relé es dependiente de la cantidad de maniobras.

Una cuestión muy importante en la instalación es utilizar protectores cuando se conectan a cargas inductivas, para limitar los picos producidos por éstas.

En la Fig. 3.6 se puede observar un esquema en bloques de una salida digital.



**Fig. 3.6.** Etapas que conforman una interfaz de salida digital.

A continuación se describen las partes del diagrama en bloques:

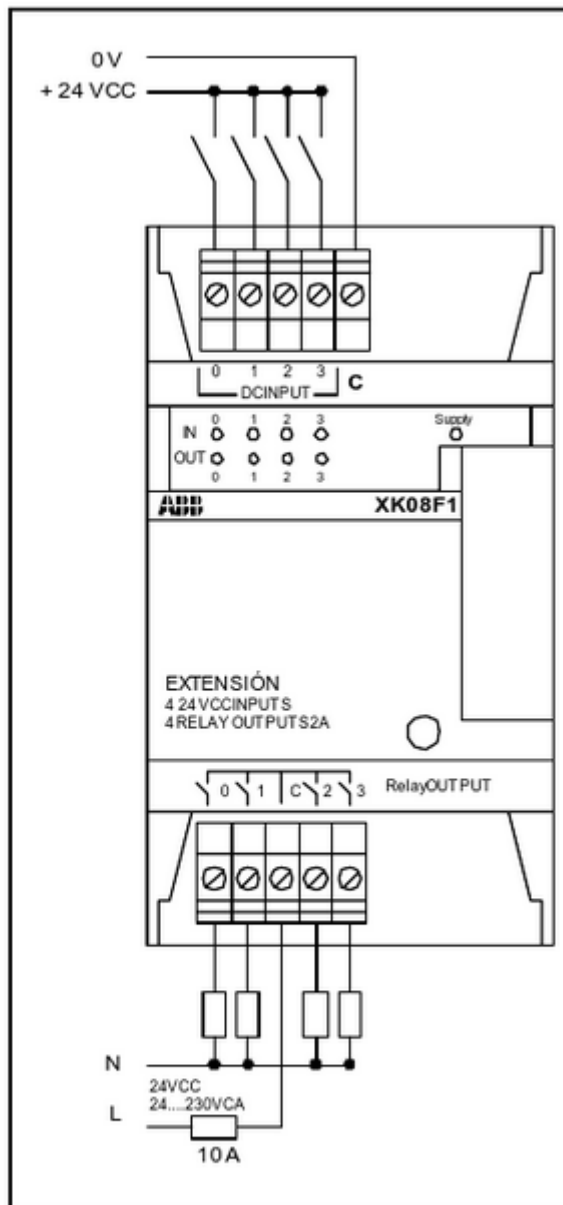
- **Aislación.** Entre la lógica de la CPU y la salida se utilizan optoaisladores para que un cortocircuito o mala conexión al campo no dañe más que el elemento final. No se usan optoaisladores cuando se trata de salidas por relé ya que la bobina de éste es comandada por la CPU y sólo sus contactos se conectan al campo. De esta forma, una falla externa sólo dañaría a los contactos o a un fusible de protección.

- **Indicador de estado.** Generalmente se coloca antes de la optoaislación un LED indicador de estado.
- **Circuito de conexión.** Es el elemento final de la salida, el que maneja la carga conectada por el usuario. Existen tres tipos de elementos finales de conexión: transistores, triacs y relés.
- **Protección.** Puede consistir en un fusible en serie con los contactos de salida para protegerlos de cortocircuitos en el campo o también puede incluir un varistor o un circuito RC para eliminar picos generados por la naturaleza de la carga.

En la Fig. 3.7 se pueden observar algunas características técnicas y el esquema de conexionado de un módulo de 8 salidas digitales de 24 VCC, modelo EM 222 para un PLC Siemens de la línea S7-200.

Código de producto	6ES7 222-1BF22-0XA0	
Número de salidas	8	
Corriente de salida por canal	0,75 A	
Tipo de salida	De estado sólido - MOSFET	
Valores mínimos para la entrega de un 1 lógico	20 VCC	
Valores máximos para la entrega de un 0 lógico	0,1 VCC	
Corriente máxima para la entrada apagada.	1 mA	
Tiempo de respuesta máximo de conmutación de OFF a ON / ON a OFF	50 $\mu$ s / 200 $\mu$ s	
Consumo de la fuente interna	50 mA	
Aislación	500 VCS durante 1 minuto	

**Fig. 3.7.** Especificaciones técnicas y conexionado de un módulo de 8 entradas digitales de 24 VCC, modelo EM 222 para un PLC Siemens de la línea S7-200.



**Fig. 3.8.** Conexión de un módulo combinado de 4 entradas digitales de 24 VCC y 4 salidas digitales a relé de 2 A, modelo XK08F1 para los PLC de la línea AC31 de ABB.

Para algunos modelos de PLC o controladores de mayor envergadura, existen módulos de entradas y salidas redundantes. Estos módulos tienen todos sus canales

duplicados, y en caso de detectar una falla en un elemento de entrada o de salida conmutan y utilizan automáticamente el de reserva. Se aplican en sistemas de control que requieren una alta disponibilidad de funcionamiento.

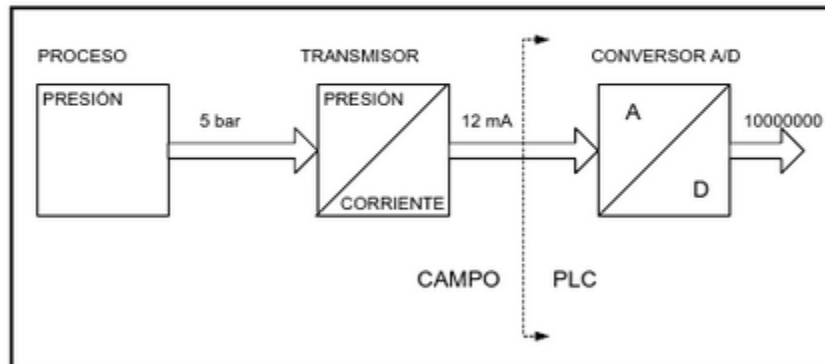
A modo de ejemplo, en la Fig 3.8 se incluye el conexionado de un módulo de ampliación combinado, con 4 entradas digitales de 24 VCC y 4 salidas digitales a relé de 2 A, modelo XK08F1 para los PLC de la línea AC31 de ABB.

## Señales Analógicas

Los PLC pueden procesar señales analógicas sólo de índole eléctrica. Si la variable de proceso que se desea tomar es una presión, ésta se deberá convertir a una señal eléctrica mediante un dispositivo llamado transductor o transmisor, para luego poder ser conectada a un PLC.

Suponiendo que la variable de proceso varía entre 0 y 10 bar, se puede utilizar un transmisor P/I con salida 4 a 20 mA, que cuando reciba 0 bar entregue 4 mA y cuando reciba 10 bar entregue 20 mA. Si su respuesta es lineal, sus valores intermedios serán proporcionales, obteniéndose, por ejemplo, 12 mA cuando se detecte 5 bar de presión. El hecho de obtener una corriente mínima mayor que cero cuando la presión es cero, permite detectar un corte de cableado, falla en la fuente del instrumento, etc.

Las formas de adaptación de las señales analógicas desde y hacia un PLC mediante el uso de transmisores, son extensivas para temperaturas, velocidades, caudales, y otras magnitudes físicas (ver la Fig. 3.9).



**Fig. 3.9.** Conversión de una variable analógica de proceso a una señal analógica eléctrica para ser conectada a un canal estándar del PLC.

Si bien los canales de entrada y salida analógicos suelen ser de tensión o corriente, en el rango de 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 0 a 10 V o -10 a 10 V, existen módulos de entradas analógicas que tienen transductores incorporados para la conexión directa de termocuplas, RTD, celdas de carga, etc.

## Entradas Analógicas

Internamente el PLC maneja únicamente dos estados lógicos 0 y 1, (0-1 / on-off / sí-no), por lo tanto la única manera que el PLC posee para trabajar con valores analógicos es que éstos se representen por números en formato binario, es decir, por combinaciones de ceros y unos. Por lo mencionado, la función principal de una entrada analógica es convertir la señal eléctrica aplicada a un número binario, utilizando para ello un conversor analógico digital (A/D).

En cualquier sistema de numeración (decimal, hexadecimal, binario) la cantidad de valores distintos que se pueden lograr depende de la cantidad de símbolos que se emplean para representar los valores (B) y la cantidad de cifras utilizadas (n). La relación para calcular la cantidad de valores es  $B^n$ . Por ejemplo, si se utilizan dos dígitos o cifras, con un sistema de numeración decimal, que tiene 10 símbolos diferentes (del 0 al 9), se pueden representar 100 valores distintos, de 00 a 99. Esto se puede obtener haciendo  $10^2 = 100$ .

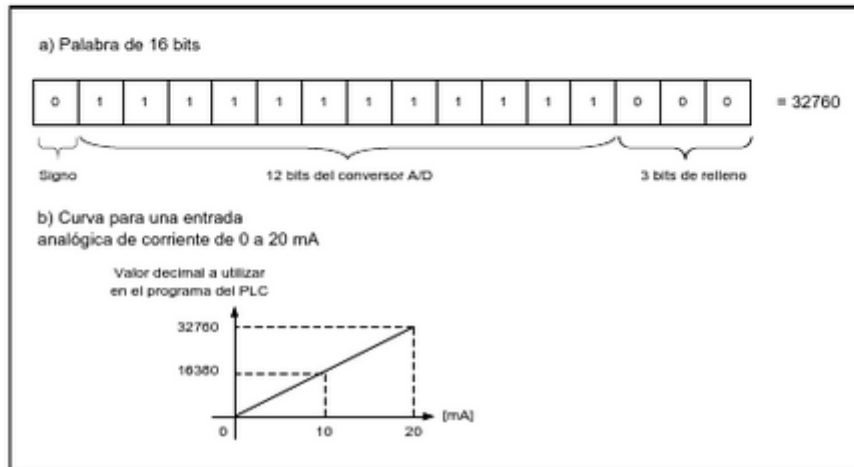
Si ahora consideramos que un PLC trabaja con 8 bits (de 00000000 a 11111111), cabe aclarar que 1 bit equivale a un dígito binario, entonces **entenderá**  $B^n = 2^8 = 256$  valores (entre 000 y 255).

Como mencionamos, la función principal de las entradas analógicas es convertir una señal analógica en un número binario. Si se utilizan 12 bits, se pueden lograr  $B^n = 2^{12} = 4096$  valores diferentes. Una entrada analógica de 12 bits podrá dividir entonces el rango 4 a 20 mA en 4096 partes, por lo que su resolución será  $(20 \text{ mA} - 4 \text{ mA})/4096 = 3,9 \mu\text{A}$ , o bien, siguiendo el ejemplo anterior de una presión de 0 a 10 bar  $(10 \text{ bar}/4096) = 2,44 \text{ mbar}$ .

Los conversores A/D que utilizan los PLC son, por lo general, de 12 bits, aunque se pueden obtener con mayor resolución.

El valor de la conversión A/D se almacena en la memoria como una palabra binaria de 16 bits, en la cual el bit más significativo o de mayor peso se usa para determinar si el valor es positivo o negativo. Si este bit, conocido como MSB, es igual a 0, el valor es positivo, sino es negativo.

En la Fig. 3.10.a) se observa la estructura de la palabra de 16 bits cuando el convertor A/D tiene una resolución de 12 bits. Como se puede apreciar, los bits de menor peso se rellenan con ceros para completar el tamaño de la palabra. Esto determina los valores decimales mostrados en la curva de la Fig. 3.10.b), que serán los que en definitiva se utilicen en el programa del PLC.



**Fig. 3.10.** Estructura de la palabra binaria y curva con los valores decimales para una entrada de 0 a 20 mA con un convertor de 12 bits.

En la Fig. 3.11 se puede observar la estructura interna de una entrada analógica donde se distinguen las siguientes partes básicas:

- **Protección.** Impide daños al canal en caso de una conexión con polaridad inversa o si la señal de entrada está fuera del rango permitido.
- **Acondicionador de señal.** Elimina los posibles ruidos que ingresen a través de la instalación y ajusta los niveles de la señal para que sea compatible con las etapas de multiplexado y el convertor A/D.
- **Multiplexado.** Consiste en un circuito selector (multiplexador analógico) que envía de a un canal de entrada por vez al convertor A/D.
- **Convertor analógico/digital (A/D).** Convierte la señal analógica en un número binario que la CPU pueda interpretar.

- **Aislación.** Algunos modelos incorporan, luego del convertor, una aislación galvánica (optoaislación) para separar el PLC del campo.
- **Buffer.** Memoria donde se almacenan los valores convertidos mientras el convertor A/D opera sobre los demás canales.

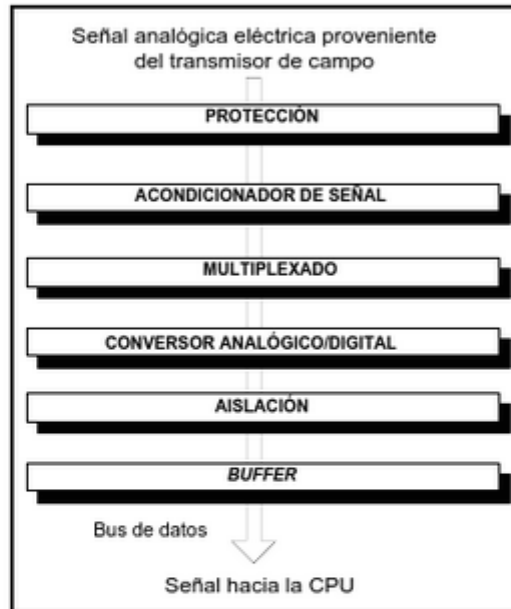


Fig. 3.11. Etapas que conforman una interfaz de entrada analógica.

Los fabricantes suelen ofrecer módulos desde 2 hasta 16 canales de entrada analógica en los rangos de 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 0 a 10 V y -10 a 10 V.

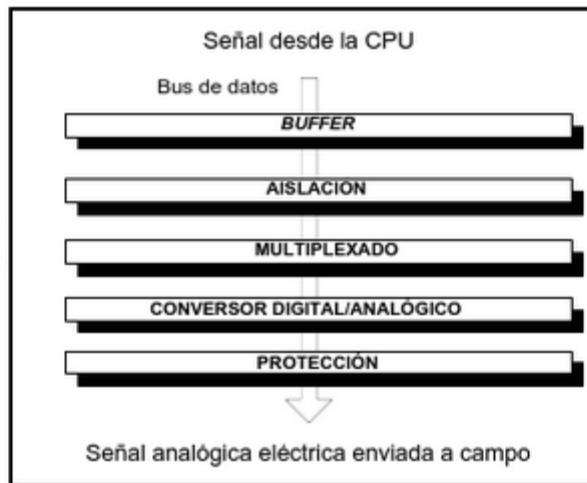
## Salidas Analógicas

El concepto básico de funcionamiento es el inverso al de una entrada analógica. En este caso, la CPU emite un número binario que se convierte en una señal analógica de corriente o tensión, mediante el uso de un convertor digital analógico (D/A). A continuación se describen las etapas que componen una salida analógica (ver la Fig. 3.12):

- **Buffer.** Memoria en el módulo donde la CPU escribe los valores binarios a convertir.

- **Aislación.** Aislación galvánica (optoaislación) para proteger al PLC del campo.
- **Multiplexado.** Circuito que selecciona de a uno por vez los valores almacenados en el *buffer* y los manda al convertor. A su vez, selecciona el canal a donde se envía el valor convertido.
- **Convertor digital/analógico (D/A).** Convierte un valor numérico emitido desde la CPU en una señal analógica.
- **Acondicionador de señal.** Adapta la señal de salida del convertor D/A al rango de tensión o corriente estándar.
- **Protección.** Protege al PLC ante una inversión de la polaridad o una sobretensión proveniente del campo, en caso de utilizar una fuente externa.

Fig. 3.12. Etapas que conforman una interfaz de salida analógica.



Los módulos de salidas analógicas suelen contener de 2 a 16 canales, que se pueden utilizar por tensión o corriente, con rangos de 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 0 a 10 V y -10 a 10 V.

## Entradas y Salidas Especiales

Además de los módulos de ampliación de entradas y salidas convencionales, existen otros para aplicaciones específicas, que permiten el conteo de pulsos de alta velocidad, la conexión directa de celdas de carga, la conexión de termocuplas, etc.

Los módulos contadores de alta velocidad poseen una CPU dedicada y le permiten al PLC contar pulsos de hasta 100 kHz, generándole interrupciones cuando se alcanza el valor prefijado.

Esto no sería posible hacerlo con la CPU del PLC debido a los recursos que le insume la ejecución del programa de usuario. Estos módulos se utilizan para conectar *encoders*, caudalímetros a turbina, etc.

Por lo general, disponen además de entradas que le permiten discriminar el sentido de giro de los *encoders* y efectuar así conteos ascendentes y descendentes.

Los módulos de entradas para termocuplas incorporan una etapa de acondicionamiento de la señal y funciones de linealización y compensación de juntura fría.

## **Barrido de Programa. Scan del PLC**

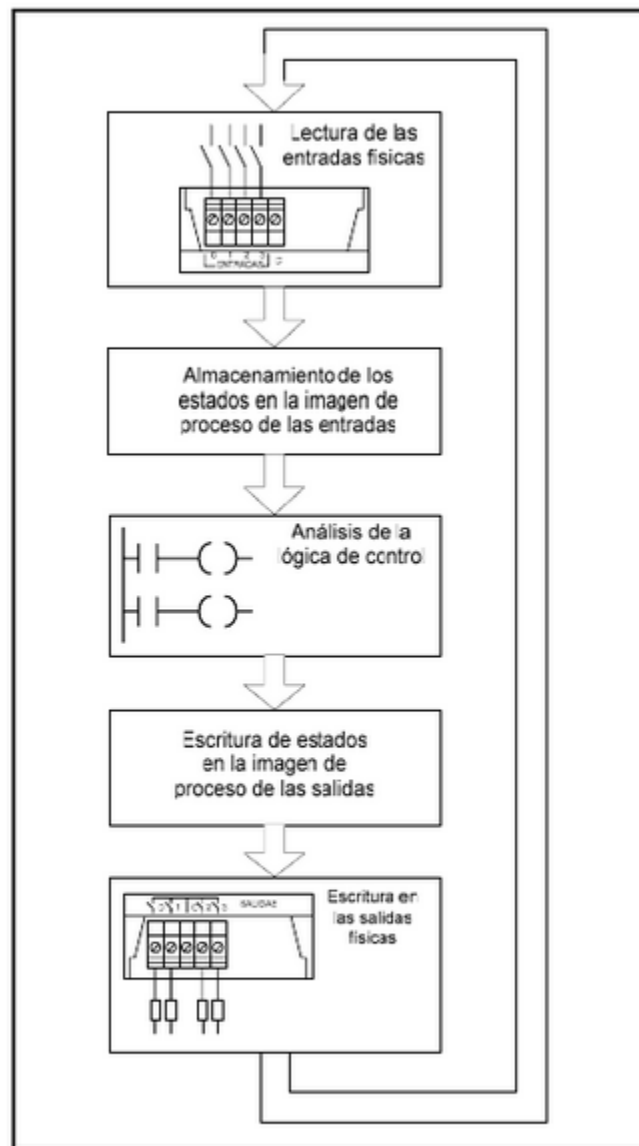
Todos los PLC trabajan en forma cíclica. Durante su funcionamiento, es decir, cuando la CPU se encuentra en modo RUN, primero se leen los estados de las entradas, almacenándose los mismos en un área de memoria denominada imagen de proceso de las entradas.

Con esta información trabaja luego el programa de control cuando se ejecuta. De acuerdo a la lógica definida en el programa, se modifica el estado de las salidas depositadas en la imagen de proceso de las salidas.

En la última etapa del ciclo, los estados memorizados en la imagen de proceso de las salidas se transfieren a las salidas físicas.

Una vez finalizado esto, comienza de nuevo el ciclo (ver la Fig. 3.13).

Además de las fases mencionadas, los PLC realizan otras funciones dentro de la secuencia de barrido, como el intercambio de información a través de sus puertos de comunicación, atender la comunicación con módulos inteligentes y ejecutar un autodiagnóstico.



**Fig. 3.13.** Funcionamiento cíclico de un PLC.

En la Fig. 3.14 se pueden observar todas las fases del ciclo denominado barrido o *scan* del PLC:

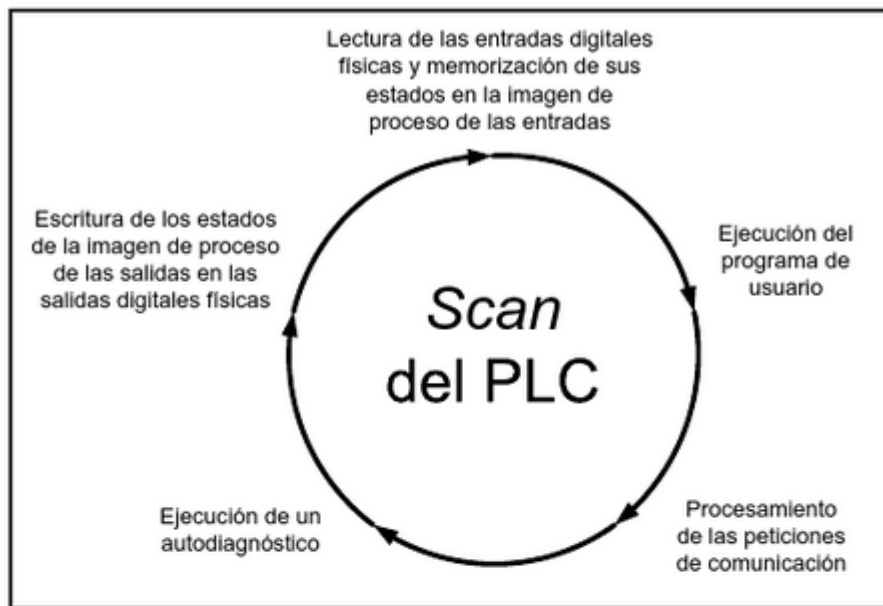


Fig. 3.14. Secuencia de barrido o scan del PLC.

- Lectura de las entradas digitales físicas y memorización de sus estados en la imagen de proceso de las entradas.** Al principio de cada ciclo se leen los valores actuales de las entradas digitales y sus estados se escriben en un área de memoria denominada imagen de proceso de las entradas. La CPU reserva, para los canales de entradas integradas o para los módulos de ampliación, un espacio de esta imagen de proceso en incrementos de ocho bit (1 byte). Si la CPU o el módulo de ampliación no proporcionan una entrada física para cada bit del byte reservado, no será posible asignar dichos bits a los módulos siguientes en la cadena de E/S o utilizarlos en el programa de usuario. Los bits de entradas de ampliación no utilizados se pueden usar como marcas internas adicionales.

La CPU no actualiza automáticamente las entradas analógicas como parte del ciclo y no ofrece una imagen de proceso para las mismas. A las entradas analógicas se debe acceder directamente desde el programa de usuario utilizando instrucciones de transferencia de datos.
- Ejecución del programa de usuario.** Durante esta fase del ciclo, la CPU ejecuta el programa desde la primera operación hasta la última. Existen instrucciones de control directo de las entradas y salidas que permiten

acceder inmediatamente a las mismas mientras se ejecuta el programa o una rutina de interrupción.

- **Procesamiento de las peticiones de comunicación.** En este paso, la CPU procesa los mensajes que haya recibido por la interfaz de comunicación.
- **Ejecución de un autodiagnóstico.** Durante el mismo, se verifica la integridad del *firmware* de la CPU y de la memoria del programa. Por otra parte, se comprueba el estado de los módulos de ampliación.
- **Escritura de los estado de la imagen de proceso de las salidas en las salidas digitales físicas.** Al final de cada ciclo, la CPU escribe los valores de la imagen de proceso de las salidas en las salidas digitales físicas. Del mismo modo que para las entradas, la CPU reserva, tanto para los canales de salida digitales integrados como para los módulos de ampliación, un espacio de esta imagen en incrementos de ocho bits (un byte). Si la CPU o el módulo de ampliación no proveen una salida física para cada bit del byte reservado, no será posible asignar dichos bits a los módulos siguientes en la cadena de E/S. No obstante, los bits no utilizados de la imagen de proceso de las salidas se pueden usar como marcas internas adicionales.  
La CPU no actualiza automáticamente las salidas analógicas como parte del ciclo y no ofrece una imagen de proceso para las mismas. A las salidas analógicas se debe acceder directamente desde el programa de usuario mediante instrucciones de transferencia de datos.

Existen diversas razones por lo cual es recomendable utilizar la imagen de proceso, en vez de acceder directamente a las entradas o salidas durante la ejecución del programa. Éstas son las siguientes:

1. El sistema verifica todas las entradas al comenzar el ciclo. De este modo se sincronizan y **congelan** los valores de estas entradas durante la ejecución del programa. La imagen de proceso actualiza las salidas cuando se termina de ejecutar el programa. Ello tiene un efecto estabilizador en el sistema.
2. El programa de usuario puede acceder a la imagen de proceso mucho más rápido de lo que podría acceder directamente a las entradas y salidas físicas, con lo cual se acelera el tiempo de ejecución.
3. Las entradas y salidas son unidades de bit a las que se debe acceder en formato de bit. No obstante, la imagen de proceso permite acceder a ellas en formato de bits, bytes, palabras y palabras dobles, lo cual ofrece flexibilidad adicional.

Debido a que para las entradas y salidas analógicas no se dispone de una imagen de proceso, no hay ninguna manera de aprovechar el área de memoria de los canales no utilizados. La lectura y escritura de los canales analógicos se establece en el instante en que se ejecuta la operación de transferencia.

Un ciclo demora normalmente entre 3 y 10 ms. La duración depende de las características de la CPU y del número y tipo de instrucciones utilizadas.

## Modos de Operación de la CPU

Las CPU poseen dos modos de operación, conocidos como STOP y RUN:

- **STOP.** La CPU no ejecuta el programa. Algunos modelos de PLC necesitan ser colocados en este modo para cargar o modificar programas, o bien para configurar la CPU.
- **RUN.** En este modo la CPU ejecuta el programa de usuario.

Por lo general, los PLC disponen de un LED en la parte frontal de la CPU que indica el modo de operación en que se encuentra (ver la Fig. 3.15).

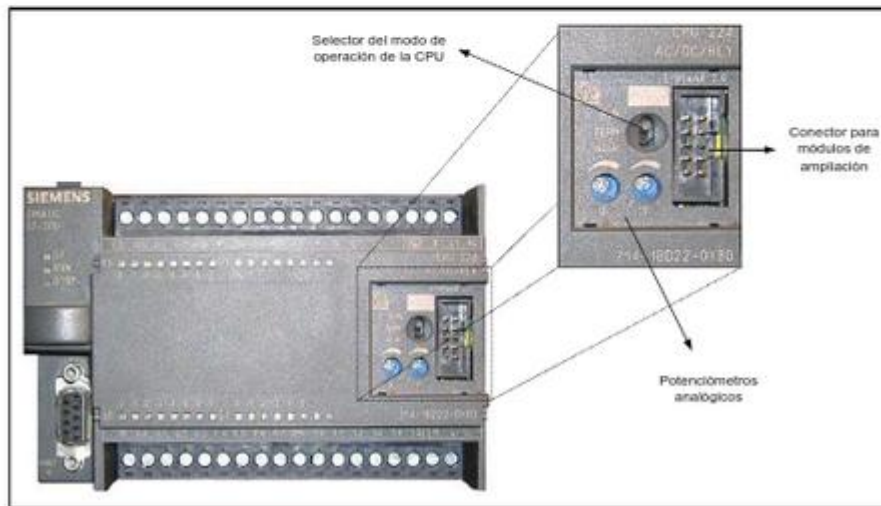


Fig. 3.15. Ubicación del selector del modo de operación en un PLC Siemens de la línea S7-200.

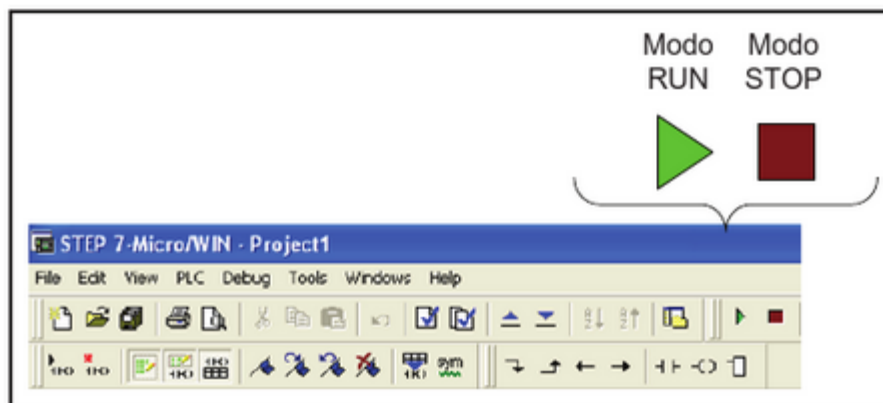
En los PLC Siemens de la línea S7-200, el modo de operación se puede cambiar en forma manual a través de una llave selectora, o por medio del software de programación STEP 7 MicroWIN32.

Si se utiliza el selector, ubicado debajo de la tapa de acceso a la CPU, ocurrirá lo siguiente:

- Si se posiciona en STOP, se detendrá la ejecución del programa.
- Si se ubica en RUN, se iniciará la ejecución del programa.
- Si se coloca en TERM (que proviene de terminal), no cambiará el modo de operación de la CPU. No obstante, será posible cambiarlo desde el software de programación (ver la Fig. 3.16).

Si se desea cambiar el modo de operación de la CPU a través del STEP 7 MicroWIN32, el selector de la CPU deberá estar en posición TERM o RUN. Por otra parte, se dispone de una instrucción que permite pasar la CPU a STOP desde el programa de control, en función de la lógica determinada.

Cuando se interrumpe la alimentación del PLC estando el selector en posición STOP o TERM, y luego se vuelve a aplicar, la CPU conmutará a modo STOP. Si en cambio, la interrupción se produce estando el selector en posición RUN, al retornar la alimentación la CPU pasará a modo RUN.



**Fig. 3.16.** Selectores del modo de operación desde el software de programación Step 7 MicroWIN32.

Cuando el modo de operación de la CPU se cambia de RUN a STOP, las salidas digitales adoptan los valores definidos en la tabla de configuración de las salidas o conservan su estado actual. Las salidas analógicas conservan su último valor.

## Memoria

Toda la información que el controlador maneja, su *firmware*, el programa de usuario, la imagen de proceso de las entradas y salidas, etc., se almacenan en la memoria. Si bien el procesador reconoce para realizar el intercambio de datos a una única memoria, la misma puede estar compuesta por distintas memorias físicas de diversas tecnologías.

Según el tipo y capacidad del controlador programable, éste podrá manejar mayor o menor cantidad de datos, y a su vez los mismos podrán tener un formato más o menos extenso.

Como mencionamos, la memoria total de un controlador incluye distintas zonas en donde se almacena la información en forma de bytes (8 bits) o *words* (16 bits). Algunas de estas zonas son:

- Área de programa de aplicación.
- Registro de entradas/salidas discretas.
- Registro de entradas/salidas analógicas.
- Registro de marcas internas (estados discretos).
- Registro de temporizadores y contadores.
- Registro de variables de usuario.
- Área auxiliar (*scratch-pad*).
- *Firmware* o programa ejecutivo (sistema operativo del controlador).

Los fabricantes, en general, especifican la cantidad de memoria disponible para cada una de las áreas descritas, siendo de mayor utilidad para el usuario la relacionada con el programa de aplicación.

El *firmware* es el sistema operativo que le permite realizar al PLC las funciones básicas. Este programa viene provisto de fábrica y en algunos modelos puede ser

actualizado con versiones posteriores. Debe permanecer inalterable a través del tiempo y también ante la ausencia de alimentación eléctrica al equipo.

Además, debe ser inmune a cambios accidentales que pueda originar el programador. Esto conlleva la necesidad de una memoria con capacidad de almacenamiento permanente,

Por lo general, la memoria utilizada para esta área es del tipo de tecnología *flash*. En estas memorias, su borrado y reescritura se puede hacer mediante señales eléctricas en determinados pines del chip.

En cambio, este tipo de memoria no es la más apta para el programa de aplicación pues, si bien tiene que permanecer estable durante el funcionamiento del equipo, debe permitir ser modificada para la eliminación de errores de un programa o para reprogramar el controlador para una nueva aplicación.

Las memorias *flash* tienen una cantidad limitada de escrituras y su velocidad de acceso no es óptima para ser utilizada como memoria para el programa de aplicación. En este caso, se emplean memorias RAM, que si bien son no volátiles, disponen de una alta velocidad de intercambio de información. Para evitar el borrado al desconectar la alimentación del PLC, se la usa con baterías tampón o con capacitores que mantienen energizada la memoria durante un tiempo prolongado.

En algunos modelos de PLC también se la utilizan memorias de programa del tipo EPROM, EEPROM o *flash* para almacenar en forma permanente la aplicación. Las mismas suelen copiar su contenido a otra memoria RAM al momento de energizar el PLC. Para grabar estas últimas, en la mayoría de los casos, hay que utilizar un accesorio especial que se conecta a un puerto de comunicación de la CPU.

Para las áreas de datos se requiere otra condición, las memorias deben permitir una lectura y escritura ultra rápida. La velocidad de estas operaciones de ingreso y consulta de datos juegan un rol fundamental en la velocidad de operaciones del PLC. La memoria empleada para este caso es también de tecnología RAM.

## **Programación**

Una de las mayores virtudes de los PLC es que se pueden adaptar a gran cantidad de aplicaciones y es posible efectuar modificaciones en su programa una vez ya instalado, para agregar nuevos elementos en la máquina o el proceso automatizado.

Los lenguajes de programación, en general, son lo suficientemente sencillos como para que cualquier técnico pueda desarrollar programas sin más requisitos que conocimientos elementales de electricidad y del equipo a programar.

Sin embargo, a medida que se adquiere más experiencia en el tema y una comprensión específica de los PLC, se aprovecha mejor la capacidad del controlador, utilizando menor cantidad de memoria y optimizando la ejecución de la lógica de control. Además, se logra realizar el mismo en menos tiempo que un programador novato.

Los pasos elementales a seguir para el desarrollo de una lógica de control son los siguientes:

- 1. Comprensión del proceso o máquina a controlar.** Resulta fundamental como primer paso, el trabajo conjunto del programador con un conocedor del proceso o de la máquina a automatizar. De acuerdo al tipo de aplicación es conveniente elaborar en esta etapa un diagrama de flujo, un diagrama espacio-fase o una memoria descriptiva del funcionamiento.
- 2. Selección del PLC adecuado.** Una vez interpretada la secuencia, se deben determinar la cantidad y tipo de entradas y salidas necesarias en función de los dispositivos de campo a emplear. Se tiene que revisar si el repertorio de instrucciones y las características de la CPU incluyen los elementos necesarios para el desarrollo de la aplicación. Para la determinación de la cantidad de memoria requerida, suele ser conveniente realizar una consulta con el proveedor del equipo o un programador experto. Es importante evaluar la capacidad que el PLC dispone para ampliaciones futuras y las interfaces estándar de comunicación con que cuenta. Se deben considerar al momento de seleccionar el PLC, el software de programación y los cables requeridos para descargar la aplicación.
- 3. Asignación de entradas y salidas.** Una vez seleccionado el modelo de PLC se pueden llevar a cabo dos tareas en paralelo, la instalación eléctrica y la programación. Mientras se realiza la ingeniería y montaje del PLC, el programador va elaborando el programa en su PC. Para ello es imprescindible que el cableado de los sensores y los actuadores coincida con los canales utilizados en el programa. La asignación de entradas y salidas consiste en definir en qué borne de cada módulo irá conectado cada elemento de campo.
- 4. Elaboración del programa.** En esta etapa se debe desarrollar tanto el automatismo secuencial como los algoritmos de control. El programa se

elaborará sobre una PC en modo *offline* para luego ser descargado al PLC durante las pruebas previas a la puesta en marcha. Se debe contar para ello con un paquete de software adecuado para el equipo a utilizar. Es importante que el mismo disponga de modos de simulación que permitan realizar pruebas de la lógica sin tener comunicación con el PLC. Durante la programación es muy importante comentar todos los pasos del programa para su interpretación ulterior.

5. **Documentación conforme a la elaboración.** Se debe confeccionar un documento que explique cómo se estructuró el programa que, junto con los planos eléctricos de montaje y listados de asignación de entradas y salidas, ayudarán en las tareas de puesta en marcha.
6. **Puesta en marcha.** Se carga el programa en la memoria del PLC para efectuar un **ensayo general** del programa en el sitio final de instalación. Se pueden realizar pruebas de funcionamiento desconectando la energía de los actuadores de campo y forzando las salidas, para luego realizar la puesta en servicio real. Durante esta etapa se depura el programa para lograr el óptimo funcionamiento del proceso.
7. **Documentación conforme a obra.** Como última fase, se deben actualizar la descripción funcional, los planos eléctricos, los listados de entradas y salidas, y la documentación del programa, de acuerdo a las modificaciones realizadas durante la puesta en marcha.

## Estructura de un Programa

Para la explicación de la estructura de un programa consideraremos el caso de los PLC Siemens de la línea S7-200. Su estructura comprende tres partes básicas: el programa principal, las subrutinas y las rutinas de interrupción.

El programa principal se ejecuta de forma secuencial en cada ciclo de la CPU. Existe un único programa principal y puede contener operaciones que llamen a otros bloques de la aplicación.

Una subrutina es un segmento de código opcional que se ejecuta únicamente si es llamado desde el programa principal o desde otra subrutina que se esté ejecutando en ese momento.

El software para la programación de los PLC Siemens de la línea S7-200 soportan como máximo 64 subrutinas. La operación para realizar llamados a subrutinas es CALL. La utilización de subrutinas permite una interpretación más simple del

programa y ahorrar líneas de código en el caso de tener una función que se ejecuta repetidas veces en un proceso.

Las rutinas de interrupción son bloques de programa opcionales que se ejecutan cada vez que se presente el correspondiente evento de interrupción. Éstas no se ejecutan como parte del ciclo, sino sólo en el preciso momento en que ocurre el evento. La CPU procesa las interrupciones según su prioridad y luego según en el orden que aparecen.

A diferencia de las subrutinas, para que el código correspondiente a una interrupción se active, no se debe efectuar ningún llamado desde el programa principal ni desde alguna subrutina, sólo alcanza con que ocurra en el PLC el evento que se le asignó a dicha interrupción.

Esto se podría asimilar con la situación de una persona que está pintando una pared y alguien le ha encomendado que atienda el teléfono en caso que suene. En cierto momento suena el teléfono, esta persona deja por un momento de pintar, lo atiende, y una vez que finaliza, retorna a la tarea que había postergado.

En relación a este suceso, cuando se menciona el **evento** se está haciendo mención a que **suene el teléfono**, o sea, al hecho que desencadena que la persona postergue su tarea habitual de pintar y atienda el teléfono. La tarea de pintar estaría contenida en el **programa principal** y la de atender el teléfono en la de **interrupción**.

La ejecución de una interrupción siempre está ligada a que ocurra el evento para el cual fue asignada. Pero en el momento de programar el PLC le hay que indicar qué código de la interrupción se debe ejecutar ante ese evento, es el caso de decirle al pintor **Que atienda el Teléfono** (Nº de Interrupción) cuando **Suena el Mismo** (Evento).

En el PLC Siemens de la línea S7-200, la forma de indicárselo es mediante la instrucción ATCH. Esta instrucción vincula un evento con el código de la interrupción.

La instrucción DTCH anula un ATCH previo. Para que se habiliten las interrupciones se debe colocar la instrucción ENI y para que dejen de ocurrir, la instrucción DISI.

El entorno de programación para este PLC permite insertar hasta 128 códigos de interrupción distintos. En la Fig. 3.17 se puede observar la estructura de un programa para un PLC Siemens de la línea S7-200.

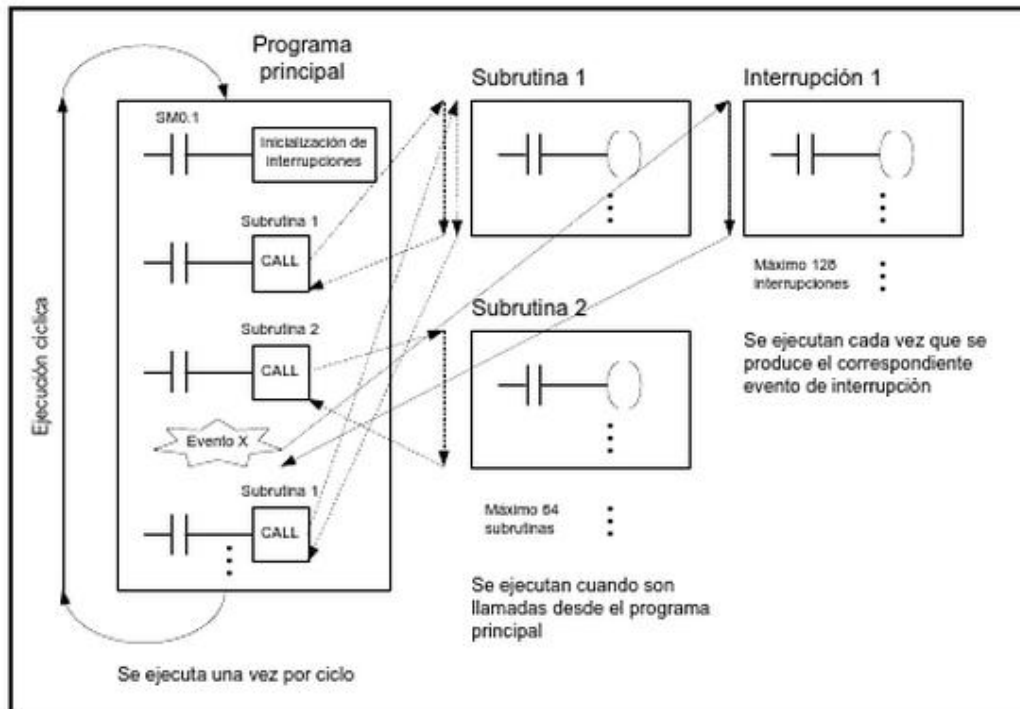


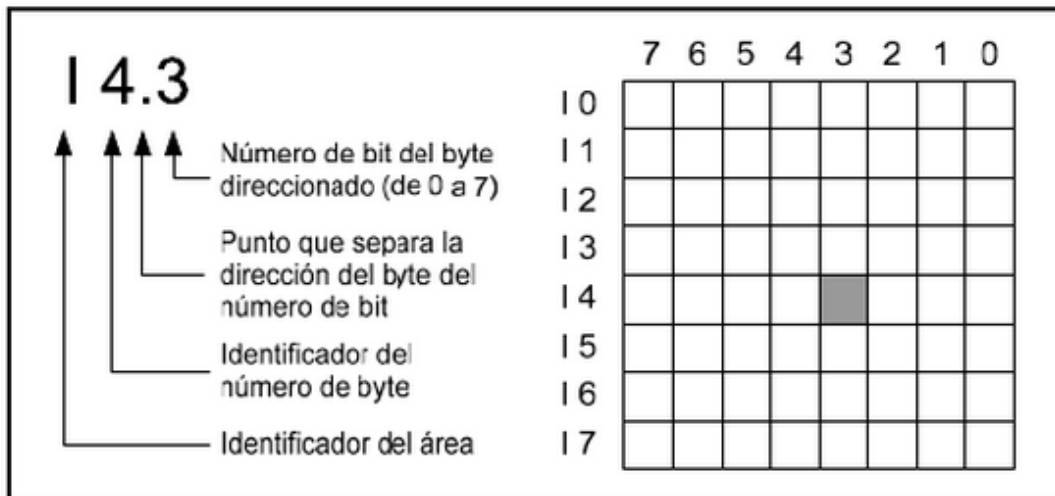
Fig. 3.17. Estructura del programa de usuario para un PLC Siemens de la línea S7-200.

## Direccionamiento

En el caso de las CPU de la línea S7-200, la información se almacena en diferentes áreas de la memoria que tienen direcciones unívocas. Para acceder a un bit en un área de memoria es preciso indicar la dirección del mismo, la cual está formada por un identificador de área, la dirección del byte y el número del bit.

La Fig. 3.18 muestra un ejemplo de direccionamiento de un bit de la imagen de proceso de las entradas.

El área de memoria I correspondiente a la imagen de proceso de las entradas y la dirección del byte 4, van seguidas de un punto que separa la dirección del bit 3.



**Fig. 3.18.** Ejemplo de direccionamiento byte-bit para la imagen de proceso de las entradas.

Utilizando la forma de direccionamiento mencionada se puede acceder a los datos de diversas áreas de memoria, tales como variables de usuario (V), imagen de proceso de las entradas (I) o de las salidas (Q), área de marcas (M) y de marcas especiales (SM).

Para acceder en formato de byte, palabra o palabra doble, éste debe estar compuesto por un identificador de área, el tamaño de los datos y la dirección inicial del valor del byte.

Para lograr el acceso a los datos comprendidos en otras áreas de la memoria, por ejemplo temporizadores (T), contadores (C), etc., es preciso utilizar una dirección compuesta por un identificador de área y un número de elemento (ver la Fig. 3.19).

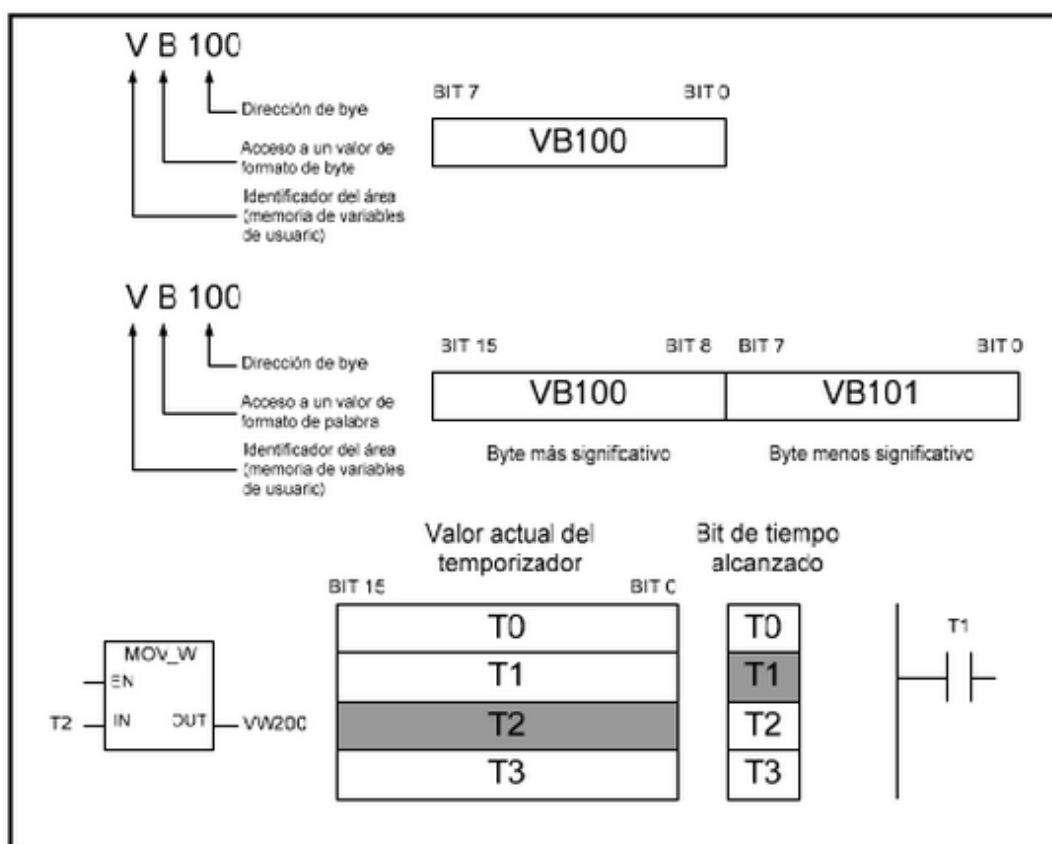


Fig. 3.19. Ejemplo de direccionamiento de un byte, una palabra (word) y un temporizador.

## Capítulo 4

# Programación de los PLC



## Introducción

Durante el transcurso de este capítulo se desarrollarán un conjunto de ejemplos que permitirán conocer algunas de las funcionalidades y aplicaciones que se pueden lograr mediante un PLC. Los ejemplos se basan en un PLC Siemens de la línea Simatic S7-200 y la herramienta de programación utilizada es el Step 7 MicroWin32. No obstante, el mecanismo de diseño, los aspectos teóricos y la lógica de control, pueden ser aplicados con facilidad a otro tipo de autómatas.

### ***Ejemplo 1:***

## **Sistema de Llenado de Dos Posiciones**

### **1.1. Diagrama de Situación**

En la Fig. 4.1 se presenta el diagrama de situación de un sistema de llenado de dos posiciones.

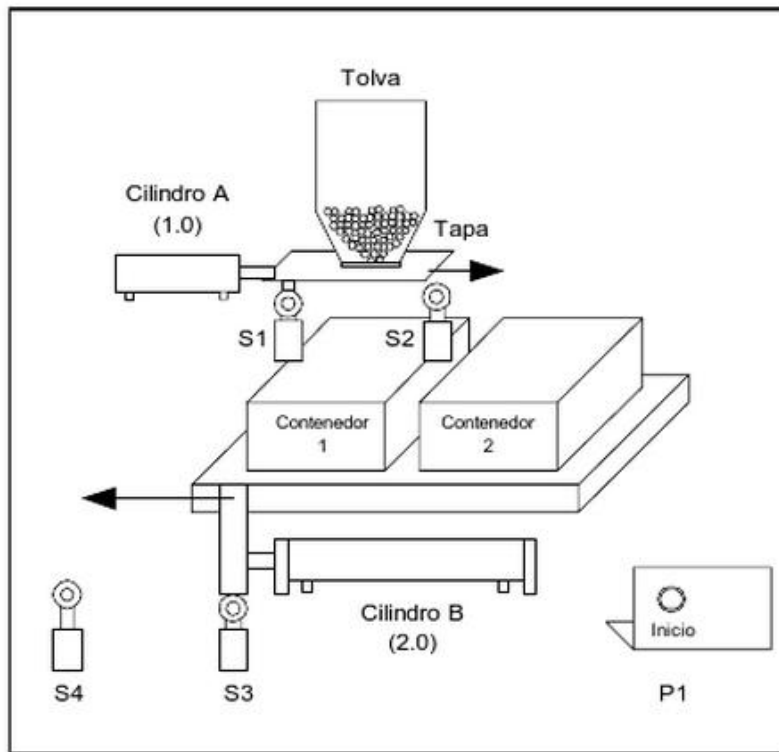


Fig. 4.1. Diagrama de situación de un sistema de llenado de dos posiciones.

## 1.2. Descripción del Automatismo

Cuando se presiona el pulsador de inicio P1, se desplaza la tapa inferior mediante el cilindro A (1.0) y el material de la tolva cae sobre el contenedor 1. Cuando el cilindro A (1.0) llega a su posición final de apertura, retorna inmediatamente para evitar que el contenedor 1 rebalse.

Una vez llenado el contenedor 1, el cilindro B (2.0) provoca la traslación del zócalo para posicionar el contenedor 2 bajo la tolva. Luego, el proceso de apertura y cierre de la tapa se reitera para llenar el contenedor 2. Por último, el cilindro B retorna a su posición de reposo para que se retiren manualmente los dos contenedores.

### 1.3. Circuito Electroneumático

Ambos cilindros neumáticos se actúan mediante electroválvulas monoestables normalmente cerradas de 3/2 vías con retorno a resorte (ver la Fig. 4.2).

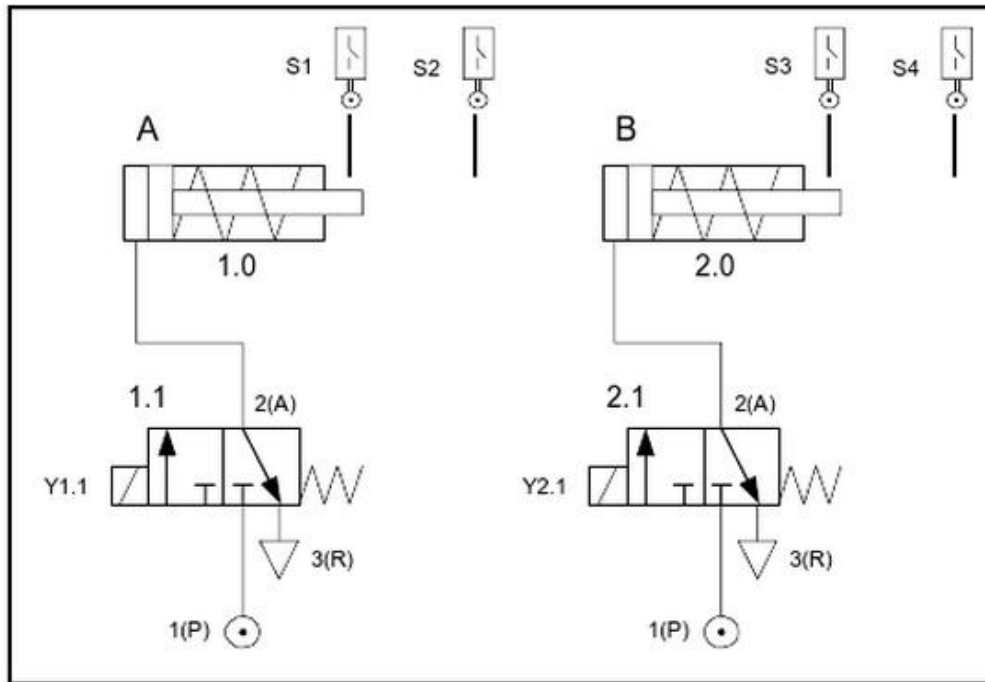


Fig. 4.2. Circuito electroneumático del sistema de llenado de dos posiciones.

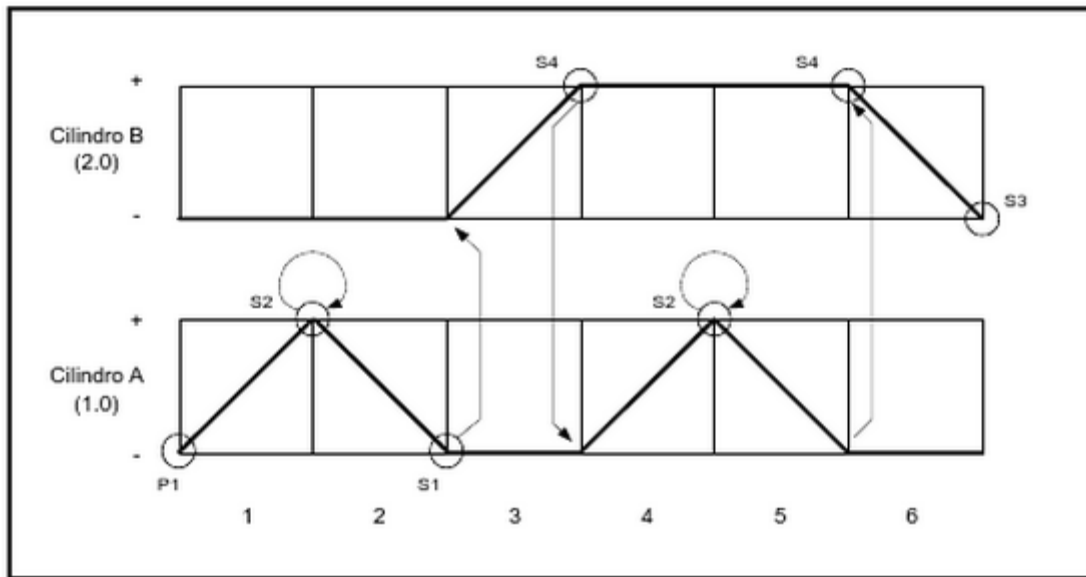


Fig. 4.3. Diagrama espacio-fase del sistema de llenado de dos posiciones.

## 1.5. Grafcet

A partir del diagrama espacio-fase de la Fig. 4.3, se puede confeccionar el *grafcet* de la Fig. 4.4.

## 1.6. Asignación de Entradas y Salidas

Los pulsadores y los sensores de final de carrera se conectan a las entradas del PLC pues son dispositivos que le brindan información al mismo. En cambio, los solenoides de las válvulas se conectan a las salidas, dado que reciben órdenes de 24 VCC desde el PLC para actuar los cilindros.

Por lo tanto, para el sistema de llenado en cuestión se requieren 5 entradas y 2 salidas, todas de tipo digital (de dos estados). En la Tabla 4.1 se muestra la asignación de entradas y salidas.

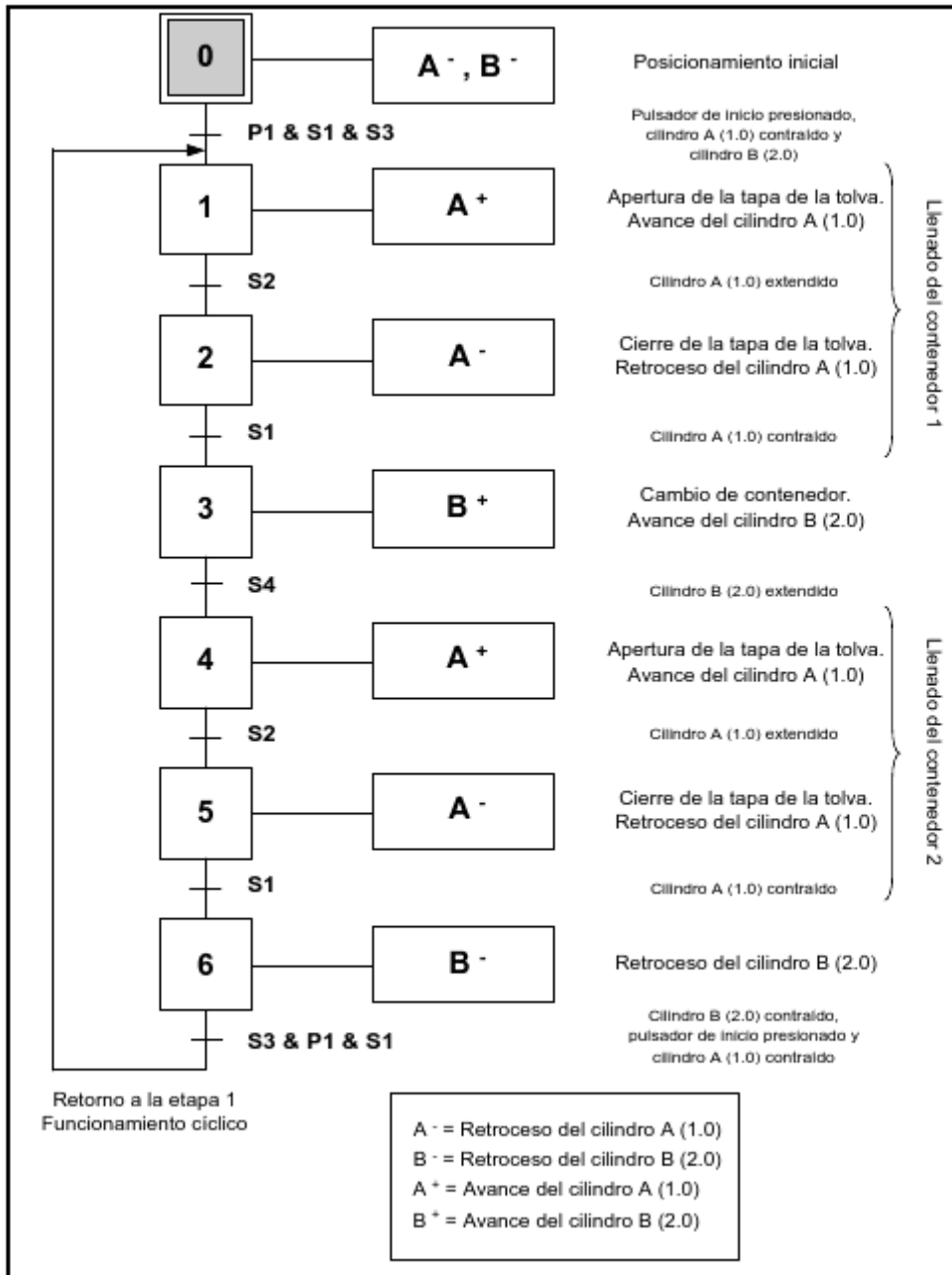


Fig. 4.4. Grafcet para el sistema de llenado de dos posiciones.

Tabla 4.1. Asignación de entradas y salidas para el sistema de llenado de dos posiciones.

Revisión	Identificación (Tag)	Descripción	Tipo	Dirección	PLC Modelo	Borne +	Señal	Borne -	Observaciones
A	P1	Pulsador de inicio de ciclo	DI	I0.0	S7-200	L+	I0.0	M	
A	S1	Final de carrera en 1.0 contraído	DI	I0.1	S7-200	L+	I0.1	M	
A	S2	Final de carrera en 1.0 extendido	DI	I0.2	S7-200	L+	I0.2	M	
A	S3	Final de carrera en 2.0 contraído	DI	I0.3	S7-200	L+	I0.3	M	
A	S4	Final de carrera en 2.0 extendido	DI	I0.4	S7-200	L+	I0.4	M	
A	Y1.1	Solenoides 1.1 - Electroválvula Cil. 1.0	DO	Q0.0	S7-200	L+	Q0.0	M	
A	Y2.1	Solenoides 2.1 - Electroválvula Cil. 2.0	DO	Q0.1	S7-200	L+	Q0.1	M	

## 1.7. Conexión del PLC

En la Fig. 4.5 se presenta el esquema de conexión para un PLC marca Siemens, modelo S7-200 CPU224, según la asignación de entradas y salidas de la Tabla 4.1.

## 1.8. Fundamentos Teóricos a Aplicar

**Operación con Marcas.** Como se mencionó, los PLC ejecutan todas sus líneas de código de programa una vez por cada ciclo de *scan*. Por tal motivo, para realizar una lógica de control secuencial, que vaya teniendo en cuenta de a una las fases de un *grafet*, se debe estructurar el programa utilizando condiciones internas, a través de bits de su memoria denominados marcas.

Las marcas se utilizan como salidas, para guardar resultados intermedios, con la misma finalidad que lo hacen los contactores auxiliares empleados en una técnica de control discreta. Por otra parte, se usan como entradas mediante contactos normalmente abiertos o cerrados, a fin de evaluar si una determinada marca fue activada o no.

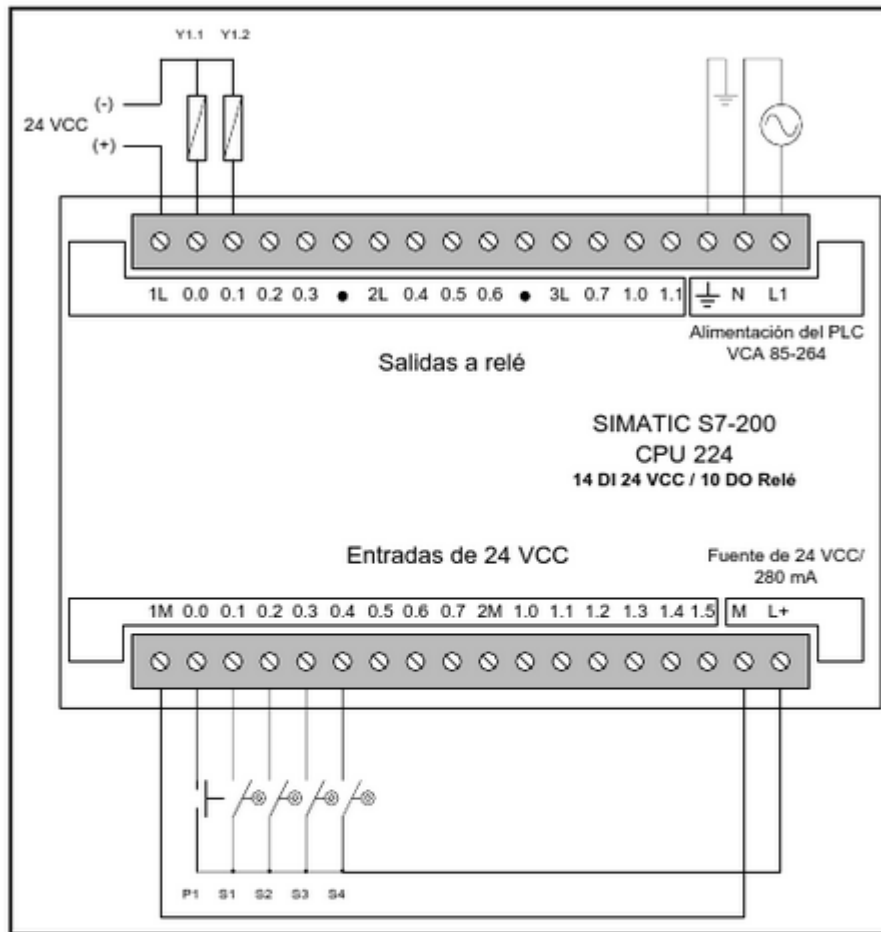


Fig. 4.5. Conexión de los sensores y actuadores para el sistema de llenado de dos posiciones.

Una marca se puede utilizar todas las veces que se desee en modo lectura o escritura y su contenido está inmediatamente disponible (en el mismo ciclo) para los segmentos siguientes. Si se corta la alimentación se puede perder el estado de la marca si es que el PLC no dispone de una función de **remanencia**.

Además de las convencionales, existen marcas especiales que permiten intercambiar datos entre la CPU y el programa. Dichas marcas se pueden utilizar para seleccionar y controlar algunas funciones especiales de la CPU del PLC, como por ejemplo:

- Un bit que se activa sólo en el primer ciclo para ser utilizado en funciones de inicialización.
- Bits que se activan y se desactivan cíclicamente con diferentes intervalos de tiempo.
- Bits que muestran el estado de operaciones matemáticas y de otras operaciones.

Si bien es más frecuente el uso de bits de marcas, al área de marcas se puede acceder también en formato de byte, palabra o palabra doble.

## 1.9. Programa del PLC

Con el fin de simplificar la edición e interpretación de la lógica, se utilizará la tabla de símbolos, la cual se accede mediante la opción: Ver > Componente > Tabla de símbolos. Dicha tabla permite asociar las identificaciones de los dispositivos de campo (TAG) con sus correspondientes direcciones de entrada y salida (ver la Fig. 4.6).

	Símbolo	Dirección	Comentario
	F1	I0.0	Pulsador de inicio de ciclo
	S1	I0.1	Final de carrera en cilindro A contraído
	S2	I0.2	Final de carrera en cilindro A extendido
	S3	I0.3	Final de carrera en cilindro B contraído
	S4	I0.4	Final de carrera en cilindro B extendido
	Cilindro_A	Q0.0	Solenode 1.1 - Electroválvula cilindro A
	Cilindro_B	Q0.1	Solenode 2.1 - Electroválvula cilindro B

Fig. 4.6. Tabla de símbolos para el sistema de llenado de dos posiciones.

En las Figs. 4.7 a 4.10 se presenta el programa del PLC para el sistema de llenado de dos posiciones.

La Fig. 4.7 comprende las fases 0 y 1 del *grafcet*. La fase 0, en la *network 1*, utiliza una marca especial SM0.1, que es un contacto que se cierra durante un solo ciclo de *SCAN* cuando comienza la ejecución del programa.

Esta condición se utiliza para realizar las tareas de inicialización, que en este caso, es apagar las salidas del cilindro A (Q0.0) y del cilindro B (Q0.1) para que ambos retrocedan.

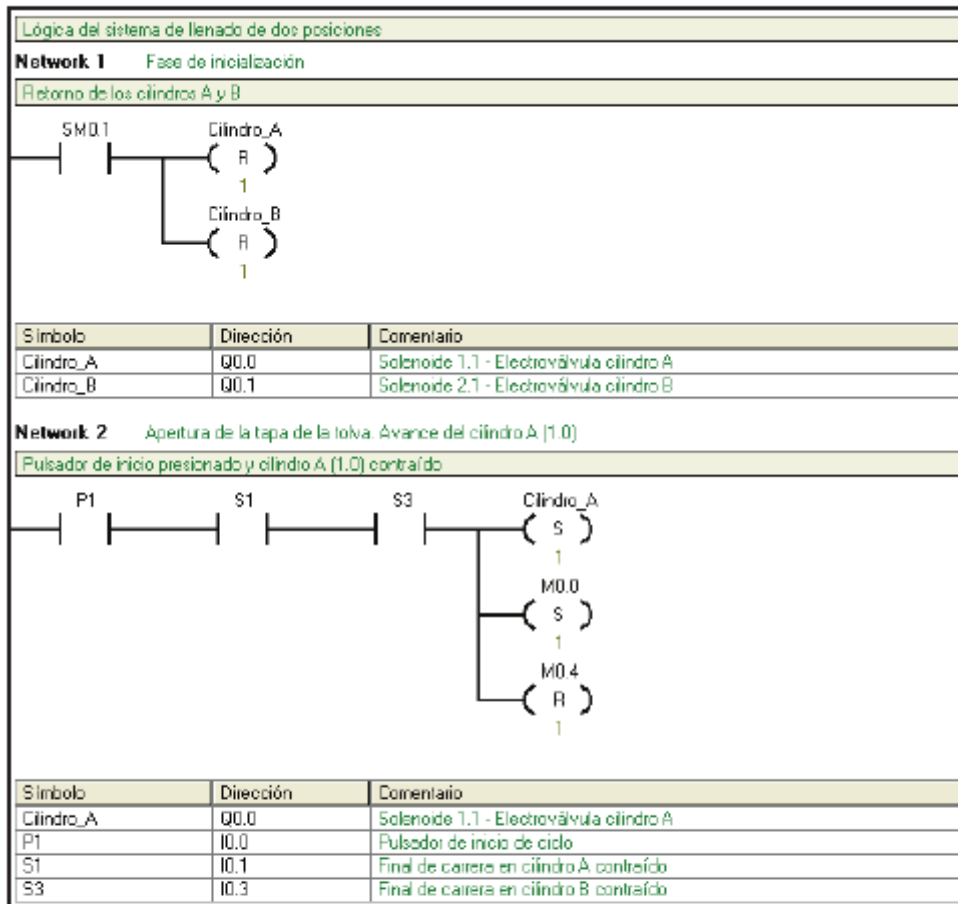
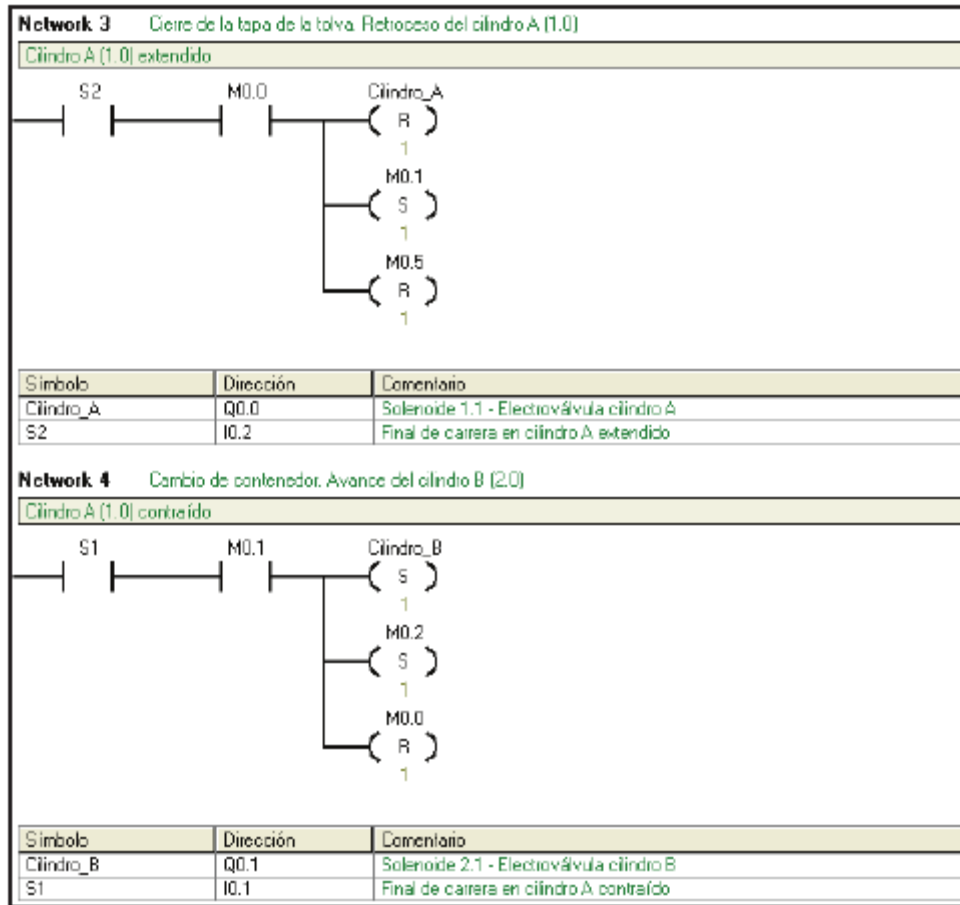


Fig. 4.7. Lógica del sistema de llenado de dos posiciones, fases 0 y 1 del *grafcet*.

En la fase 1 (*network 2*), cuando se presiona el pulsador P1 y ambos cilindros están contraídos, se activa la salida del cilindro A (Q0.0) para que el mismo avance.

Cuando esta salida se activa, también lo hará la marca M0.0, conectada en paralelo a la anterior. Una vez activada la marca M0.0, se cierra el contacto con el mismo nombre de la *network 3* (ver la Fig. 4.8).

De esta forma, la fase 2 (*network 3*), quedará habilitada para que cuando se cierre el contacto S2 se energicen sus correspondientes salidas.



**Fig. 4.8.** Lógica del sistema de llenado de dos posiciones, fases 2 y 3 del *grafcet*.

El método de programación por marcas garantiza que sólo se activará una fase de programa a la vez. Por ejemplo, en la *network 4* se puede apreciar que cuando su salida de nombre Cilindro\_B (Q0.1) se activa, también lo hace M0.2, permitiendo que se siga con la fase siguiente (*network 5*) y se desactiva M0.0, deshabilitando así la fase anterior (*network 3*).

En la Fig. 4.9 se pueden observar las fases 4 (*network 5*) y 5 (*network 6*) del sistema de llenado de dos posiciones.

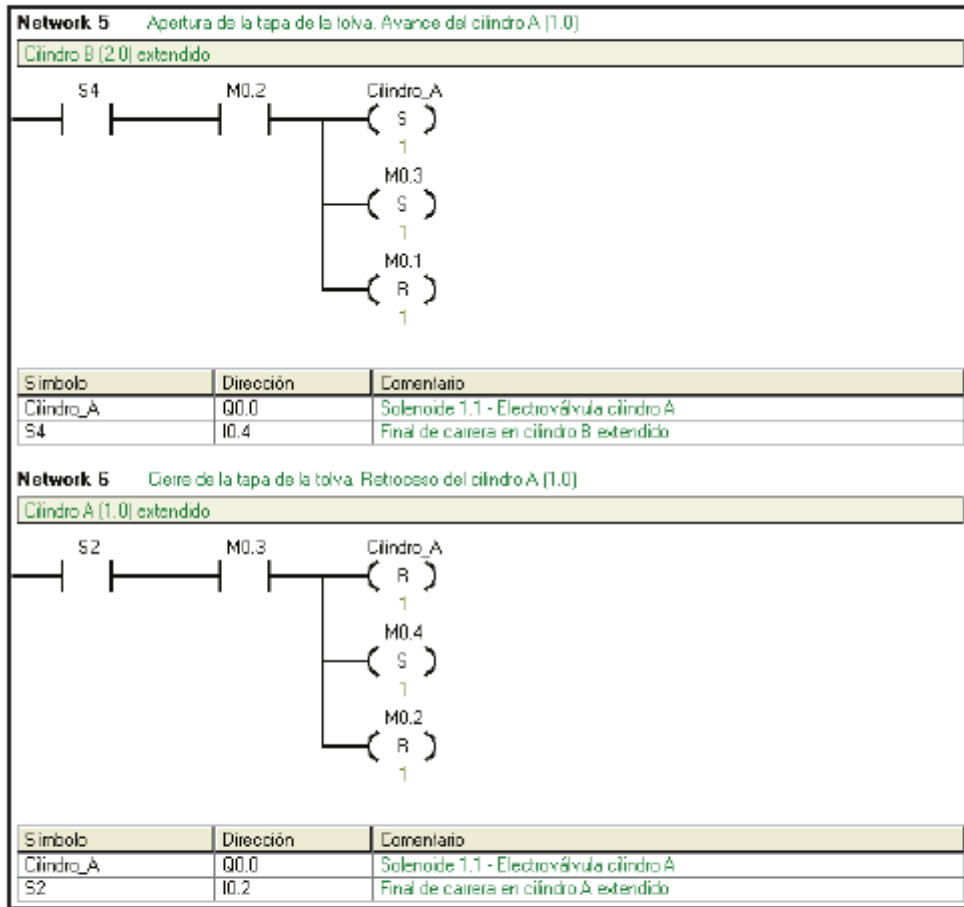
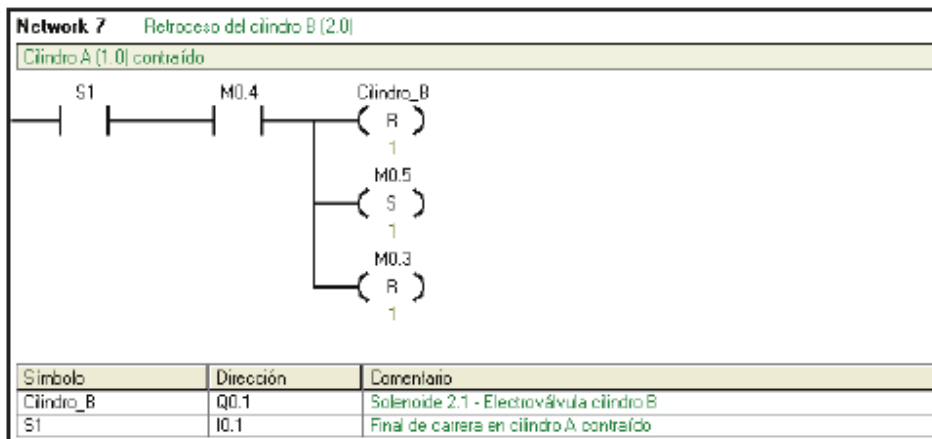


Fig. 4.9. Lógica del sistema de llenado de dos posiciones, fases 4 y 5 del *grafcet*.

En la última fase del *grafcet* (*network* 7), cuando se apaga la salida de nombre Cilindro\_B (Q0.1) para que el mismo retroceda, también se enciende M0.5 y se apaga M0.3 para desactivar la fase anterior (ver la Fig. 4.10).

La marca M0.5 no se utiliza como condición, pero se podría colocar en paralelo al contacto P1 (de la *network* 1), para lograr un funcionamiento cíclico sin necesidad de tener que presionar el pulsador para disparar la secuencia.



**Fig. 4.10.** Lógica del sistema de llenado de dos posiciones, fase 6 del *grafcet*.

A los fines de simplificar la lógica de control, no se han colocado pulsadores de parada de emergencia, ni otros dispositivos imprescindibles para que el automatismo sea seguro para las personas que lo operen y/o realicen mantenimiento sobre él.

## Ejemplo 2: Sistema de Estampado

### 2.1. Diagrama de Situación

En la Fig. 4.11 se presenta el diagrama de situación un sistema de estampado.

### 2.2. Descripción del Automatismo

Cuando se acciona el pulsador de inicio P1, el cilindro se extiende y prensa durante un lapso de 10 segundos la pieza que se encuentra sobre la base. Finalizado ese tiempo, el cilindro retrocede hasta su posición de reposo.

Si se presiona el pulsador de parada de emergencia en cualquier momento del ciclo, el cilindro retorna inmediatamente a su posición de contraído. El pulsador P2 se utiliza como un mecanismo de seguridad y por ello su contacto es normalmente cerrado. Esto permite que si se desconecta un cable, el sistema interprete que se

accionó la seguridad y evite que el cilindro se mueva. Si fuera normalmente abierto, la desconexión del contacto y el no funcionamiento de la parada de emergencia se detectaría al momento de necesitar accionarla.

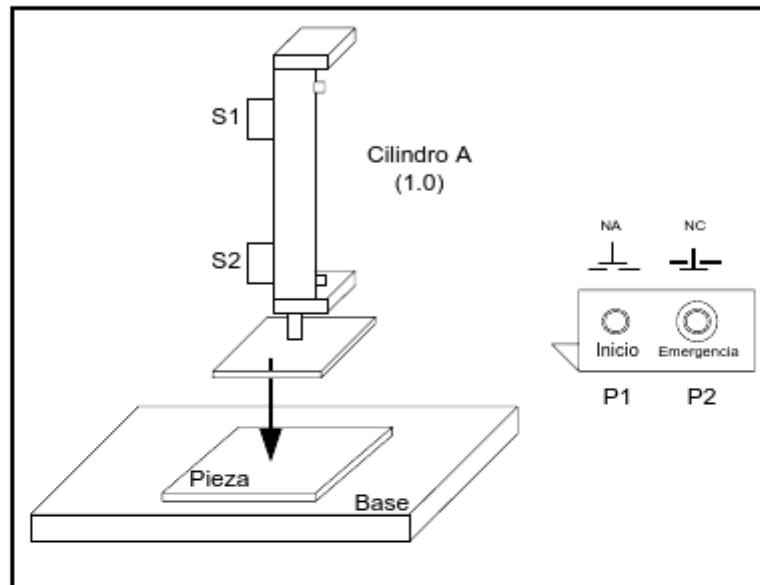


Fig. 4.11. Diagrama de situación de un sistema de estampado.

## 2.3. Circuito Electroneumático

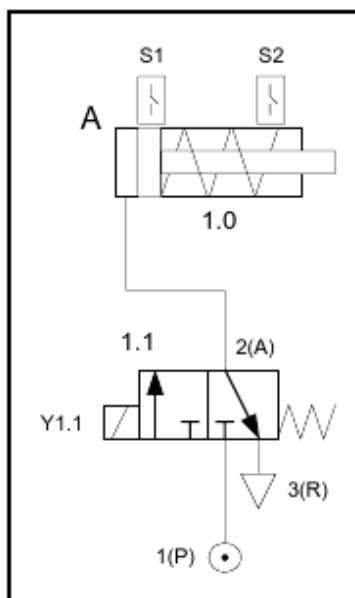
El cilindro neumático A (1.0) se acciona mediante unas electroválvulas monoestables normalmente cerradas de 3/2 vías (ver la Fig. 4.12).

El cilindro de simple efecto y la válvula monoestable de 3/2 vías con retorno a resorte permiten que si se desenergiza el sistema, automáticamente la prensa retorne a su posición de reposo contraída.

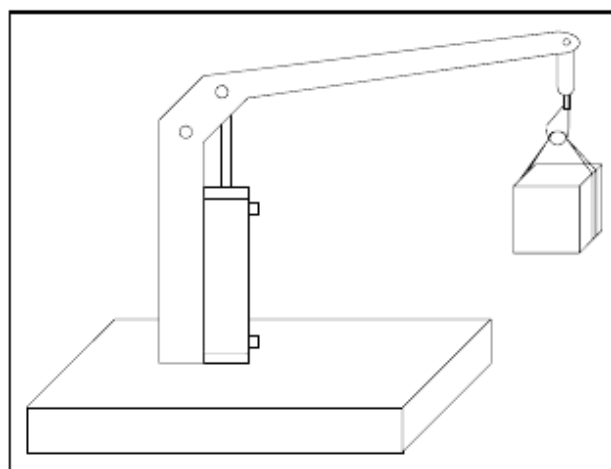
Esto es de suma importancia desde el punto de vista de la seguridad pues suele ocurrir que en situaciones de emergencia se actúe algún interruptor de alimentación general.

En cambio, si el cilindro fuera de doble efecto y su válvula biestable, mantendría su posición habiendo quitado la energía al sistema. Esta última alternativa debería ser empleada, por ejemplo, en un sistema donde se emplee un cilindro como grúa,

donde la desconexión de la alimentación no provoque que su carga caiga (ver la Fig. 4.13).



**Fig. 4.12.** Circuito electroneumático del sistema de estampado.



**Fig. 4.13.** La elevación de la pluma debe ser accionada por un cilindro de doble efecto y una válvula biestable.

Los sensores S1 y S2 son del tipo magnéticos y se encuentran ubicados sobre el cilindro y detectan las posiciones de contraído y extendido respectivamente, debido a que el émbolo del cilindro está imantado.

## 2.4. Diagrama Espacio-Fase

De acuerdo a la descripción del automatismo del punto 2.2, se obtiene el diagrama espacio-fase de la Fig. 4.14.

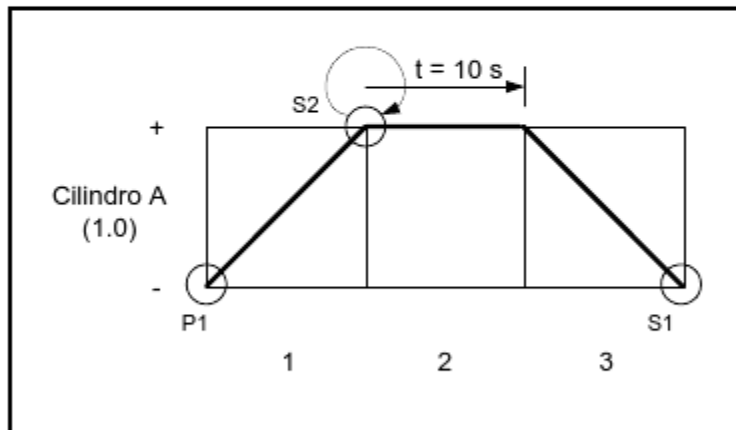


Fig. 4.14. Diagrama espacio-fase del sistema de estampado.

## 2.5. Grafcet

A partir del diagrama espacio-fase de la Fig. 4.14, se puede confeccionar el *grafcet* de la Fig. 4.15.

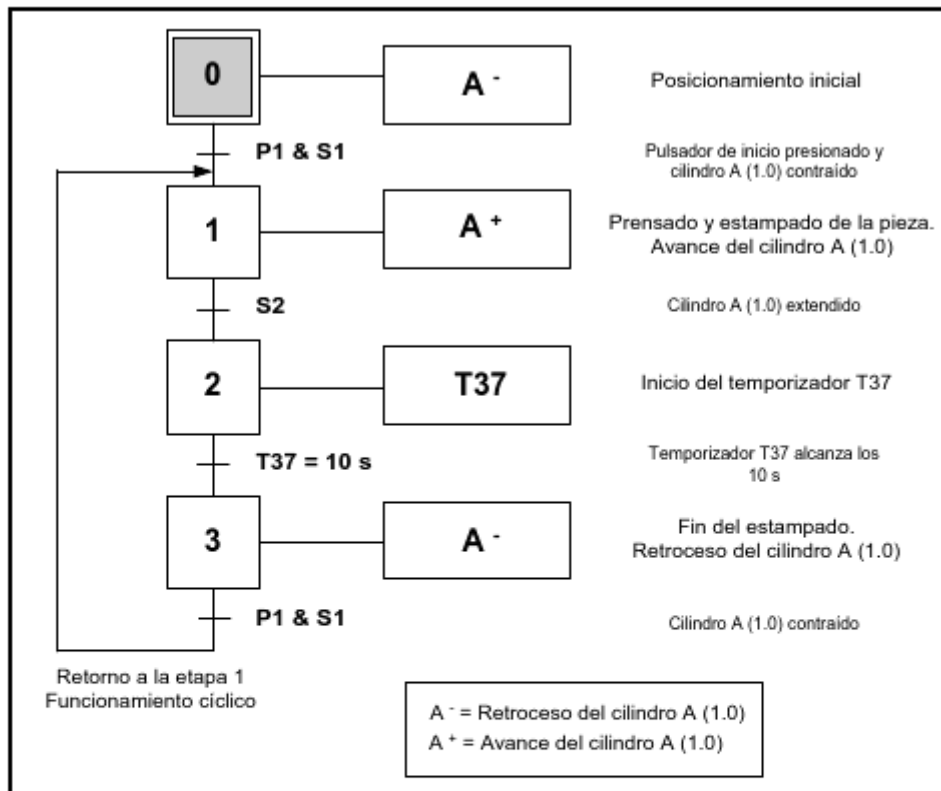


Fig. 4.15. Grafset para el sistema de estampado.

## 2.6. Asignación de Entradas y Salidas

El PLC del sistema de estampado debe tener como mínimo 4 entradas, para los pulsadores P1 y P2, y los sensores S1 y S2, y 1 salida, para el solenoide Y1.1.

No obstante, al momento de seleccionar el PLC, es conveniente contar con canales de reserva para futuras ampliaciones del automatismo.

En la Tabla 4.2 se puede observar la asignación de entradas y salidas.

Tabla 4.2. Asignación de entradas y salidas para el sistema de estampado.

Revisión	Identificación (Tag)	Descripción	Tipo	Dirección	PLC Modelo	Borne +	Señal	Borne -	Observaciones
A	P1	Pulsador de inicio de ciclo	DI	I0.0	S7-200	L+	I0.0	M	
A	P2	Pulsador de parada de emergencia	DI	I0.1	S7-200	L+	I0.1	M	
A	S1	Final de carrera en 1.0 contraído	DI	I0.2	S7-200	L+	I0.1	M	
A	S2	Final de carrera en 1.0 extendido	DI	I0.3	S7-200	L+	I0.2	M	
A	Y1.1	Solenoides 1.1 - Electroválvula Cil. 1.0	DO	Q0.0	S7-200	L+	Q0.0	M	

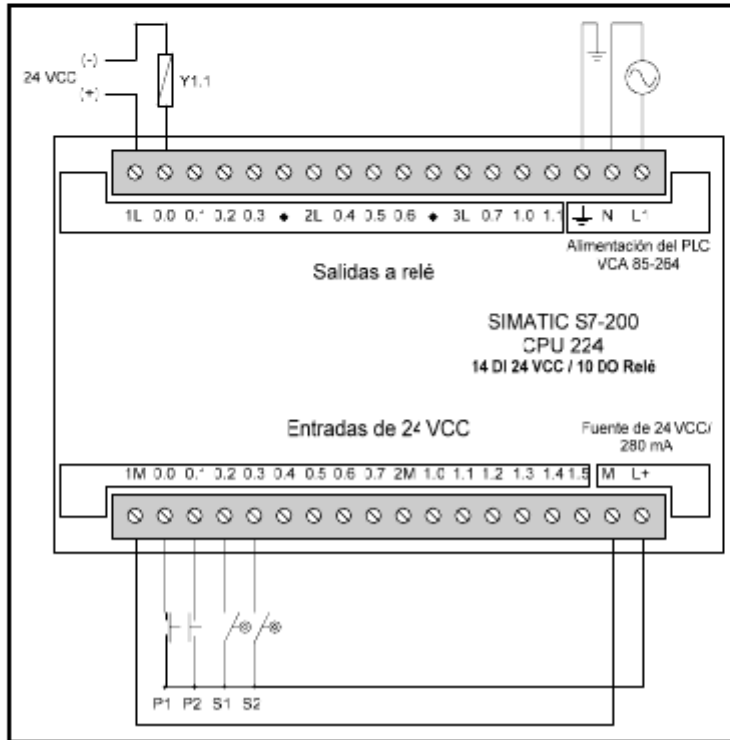


Fig. 4.16. Conexión de las entradas y salida para el sistema de estampado.

## 2.7. Conexión del PLC

En la Fig. 4.16 se presenta el esquema de conexión para un PLC marca Siemens, modelo S7-200, CPU224, según la asignación de entradas y salidas de la Tabla 4.2.

## 2.8. Fundamentos Teóricos a Aplicar

**Detección de Flancos.** La transición de una señal de nivel bajo a nivel alto o de un contacto de abierto a cerrado, se designa como flanco ascendente. La transición de una señal de nivel alto a bajo y de un contacto de abierto a cerrado, se conoce como flanco descendente.

Para poder detectar los cambios de estado existen funciones de detección de flancos ascendentes [P] y descendentes [N], tal como se muestra en la Fig. 4.17.

El contacto [P] que detecta flancos positivos se cierra durante un ciclo de ejecución cuando el contacto asociado pasa de falso a verdadero. Por otra parte, el contacto [N] para detectar flancos negativos se mantiene cerrado durante un ciclo en las transiciones de verdadero a falso.

En el ejemplo del sistema de estampado utilizaremos la función [P] para evitar que la señal de inicio de ciclo quede permanentemente activada en caso que el pulsador P1 se mantenga presionado.

**Temporizadores.** En los PLC de la línea S7-200, los temporizadores son bloques de programación que cuentan intervalos de tiempo, los cuales tienen resoluciones (intervalos) de 1 ms, 10 ms y 100 ms.

Cada temporizador tiene dos variables asociadas:

- **Valor actual.** Es una variable entera de 16 bits con signo que almacena el valor de tiempo contado por el temporizador.
- **Bit del temporizador.** Es un bit que se activa, es decir, se pone en 1, cuando el valor actual del temporizador es igual o mayor al valor predeterminado.

A las dos variables mencionadas se accede utilizando la dirección del temporizador, que se conforma de la T seguida del número de temporizador.

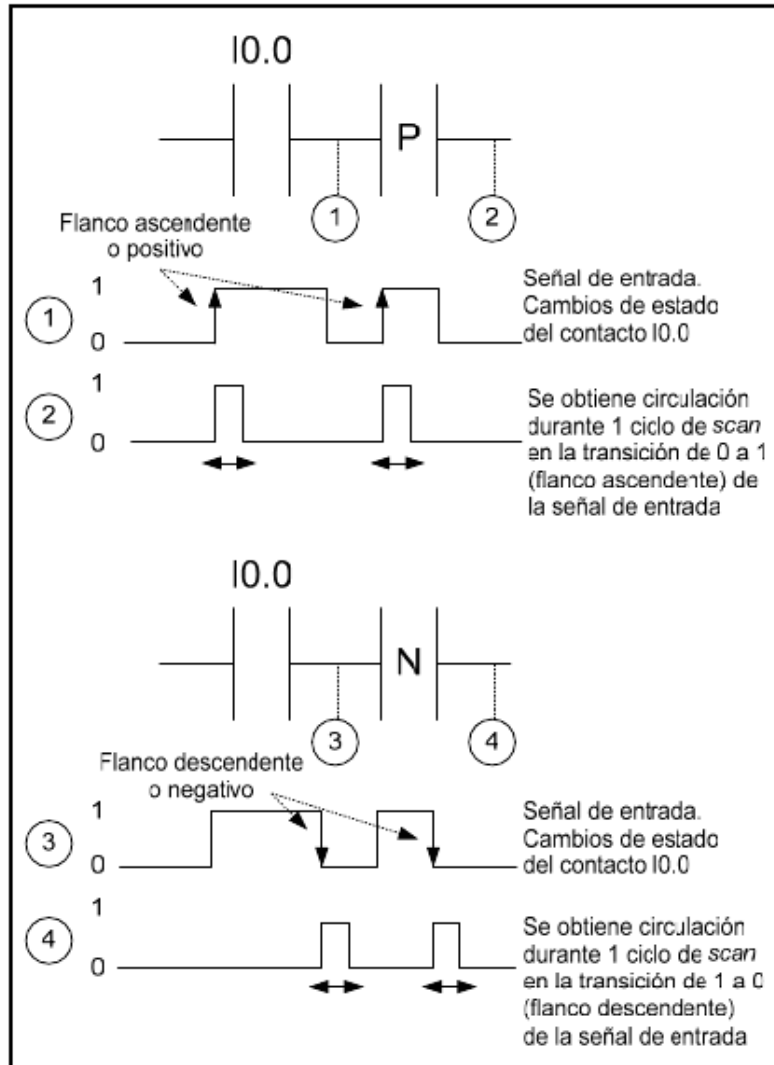


Fig. 4.17. Operaciones para la detección de flancos ascendentes y descendentes.

Dependiendo de la operación utilizada, se accede al bit del temporizador o al valor actual.

Las operaciones con operandos en formato de bit acceden al bit del temporizador (por ejemplo, contacto), en tanto que las operaciones con operandos en formato de palabra acceden al valor actual (por ejemplo, comparador entero).

Entre los diversos tipos de temporizadores se encuentran:

- Activado a la conexión (TON). Cuando su entrada se activa, espera el tiempo prefijado y luego activa su salida. Una vez activada su salida, permanece así hasta que la entrada se desactiva.
- Activado a la desconexión (TOF). Cuando su entrada se activa, su salida se activa inmediatamente. Una vez que la entrada se desactiva, espera el tiempo prefijado y luego desactiva la salida.
- Activado a la conexión con memoria (TONR). Cuando su entrada se activa va incrementando el valor actual del temporizador. Si alcanza el prefijado se activa su salida. La diferencia respecto de los TON, es que al desactivar su entrada la cuenta no se reinicia, permitiendo así ir incrementando períodos de tiempo. Para borrar el valor actual se debe utilizar la operación poner a cero (R).

En la Fig. 4.18 se muestra un ejemplo de uso de un temporizador TON con sus curvas asociadas.

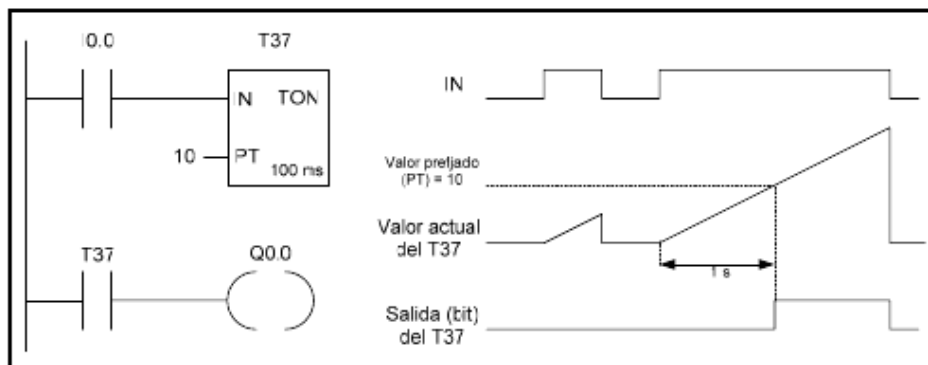


Fig. 4.18. Programación de un temporizador TON en ladder con sus curvas asociadas.

**Tabla. 4.3.** Resoluciones de los temporizadores de acuerdo a su tipo para un PLC de la línea S7-200 de Siemens.

Tipo	Resolución	Valor máximo	Número
TONR	1 ms	32,767 s	T0, T64
	10 ms	327,67 s	T1 a T4, T65 a T68
	100 ms	3276,7 s	T5 a T31, T69 a T95
TON, TOF	1 ms	32,767 s	T32, T96
	10 ms	327,67 s	T33 a T36, T97 a T100
	100 ms	3276,7 s	T37 a T63, T101 a T255

El número de temporizador determina la resolución del mismo (ver la Tabla 4.3). El valor de temporización deseado se debe ingresar sobre la entrada PT, en cantidades de la resolución. Por ejemplo, si se desea temporizar 20 s con el temporizador T34 que es del tipo TON, se debe colocar 2000 en PT.

## 2.9. Programa del PLC

En la Fig. 4.19 se muestra la tabla de símbolos que se utilizará en el desarrollo de la lógica de control.

Símbolo	Dirección	Comentario
P1	I0.0	Pulsador de inicio de ciclo
P2	I0.1	Pulsador de parada de emergencia
S1	I0.2	Final de carrera en cilindro A contraído
S2	I0.3	Final de carrera en cilindro A extendido
Cilindro_A	Q0.0	Solenoide 1.1 - Electroválvula cilindro A

**Fig. 4.19.** Tabla de símbolos para el sistema de estampado.

En las Figs. 4.20 a 4.22 se presenta el programa del PLC para el sistema de estampado. La *network 1* se encarga de la inicialización (ver la Fig. 4.20), desactivando la salida del cilindro A y borrando las marcas M0.0 y M0.1 durante el primer ciclo de *scan*.

El borrado de las marcas se realiza mediante la función poner a cero (R) con un número 2 en la parte inferior, el cual indica que se deben desactivar dos marcas a partir de la dirección M0.0, resultando M0.0 y M0.1.

La función de detección de flanco ascendente [P] en serie al pulsador de inicio P1 de la *network 2* evita que el ciclo se reinicie automáticamente en caso que el

operador mantenga presionado el pulsador P1 durante más de una secuencia completa.

El pulsador de parada de emergencia P2 se debe intercalar mediante un contacto normalmente abierto en las líneas de programa que no se deben actuar en el caso que el mismo esté apretado.

Así, en condiciones normales, donde el P2 no esté presionado, los contactos de programa normalmente abiertos de las *network* 2 y 3 van a conducir, ya que el contacto físico del pulsador normalmente cerrado suministrará un nivel alto en la entrada digital.

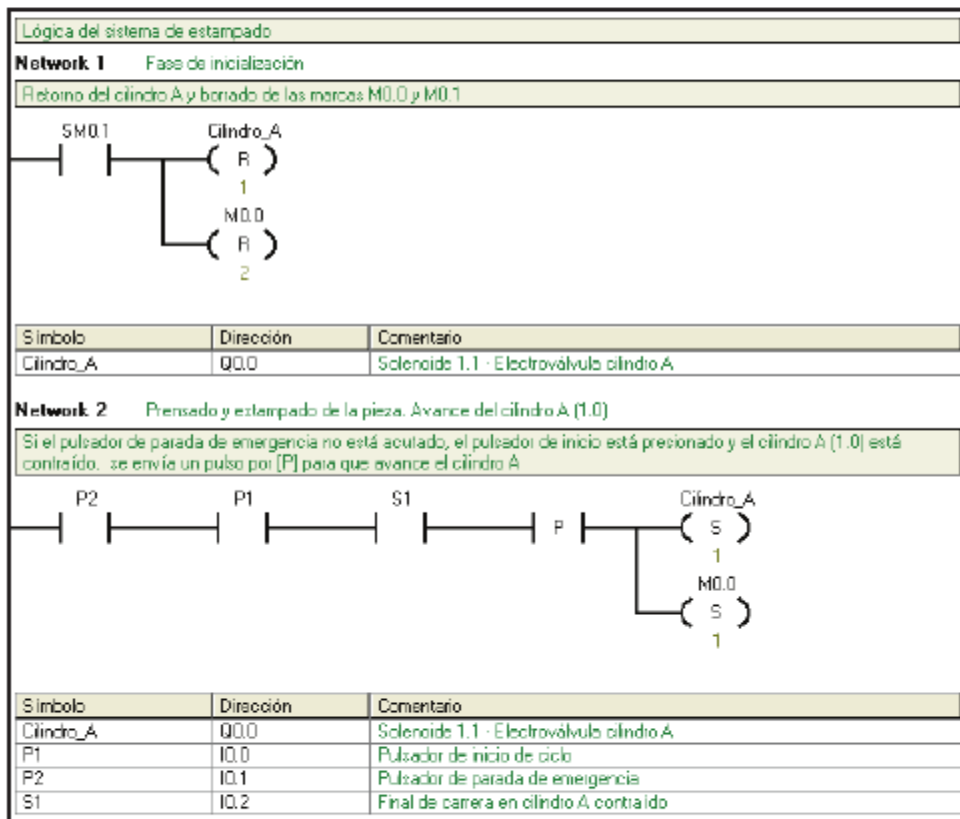


Fig. 4.20. Lógica del sistema de estampado, fases 0 y 1 del *grafcet*.

En la *network* 3 y 4 (ver la Fig. 4.21) se define el temporizador T37, cuya resolución es de 100 ms. El valor prefijado es 100, lo cual determina un periodo de tiempo de 10 s hasta desactivar el cilindro A mediante el contacto del T37.

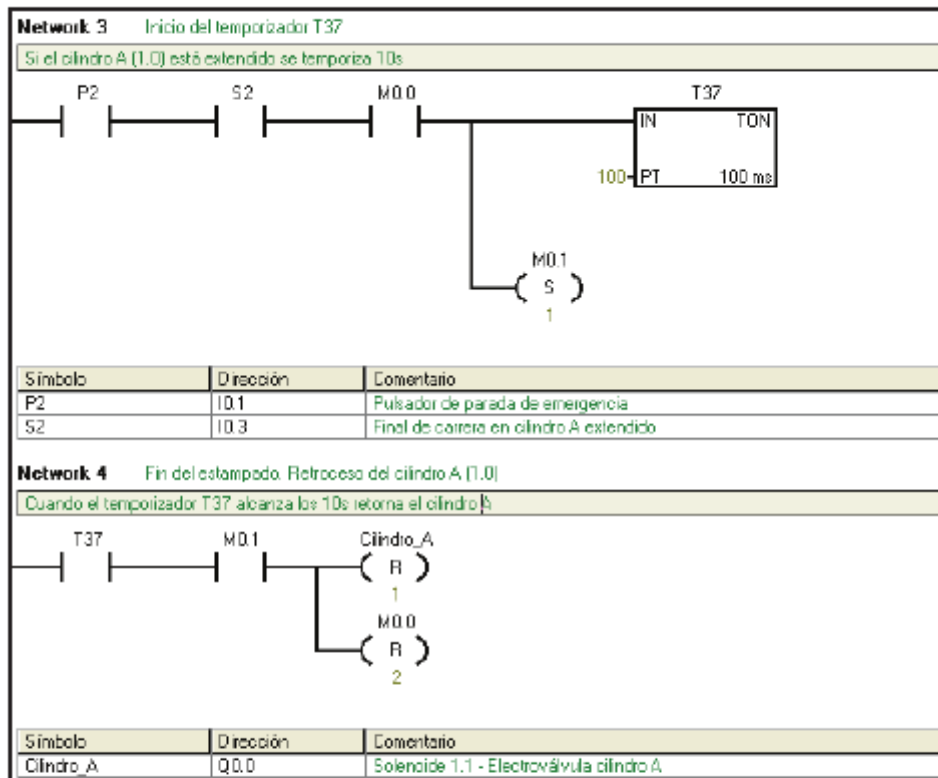


Fig. 4.21. Lógica del sistema de estampado, fases 2 y 3 del grafcet.

Las acciones que se tengan que llevar a cabo cuando el pulsador de parada de emergencia se presiona se deben colocar luego de un contacto de programa normalmente cerrado con P2.

De esta forma, cuando el pulsador se presiona, se desactivarán los 24 V en la entrada del PLC, y por lo tanto conducirá el contacto de programa normalmente cerrado ya que lo hace con un nivel bajo.

En nuestro caso, la parada de emergencia produce el retroceso del cilindro A y borra las marcas M0.0 y M0.1 (ver la Fig. 4.22).

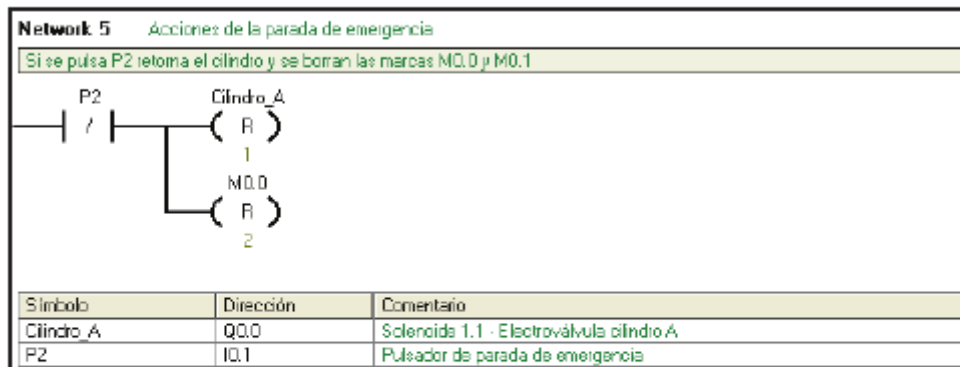


Fig. 4.22. Lógica del sistema de estampado, parada de emergencia.

## Ejemplo 3: Mezcladora

### 3.1. Diagrama de Situación

En la Fig. 4.23 se presenta el diagrama de situación de una mezcladora.

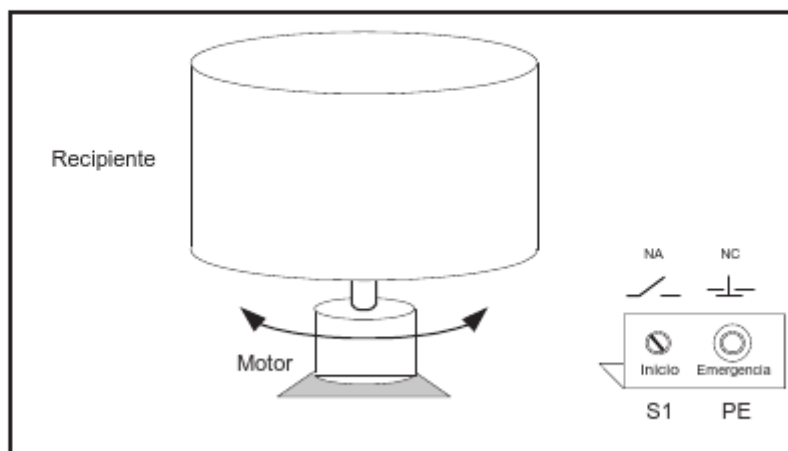


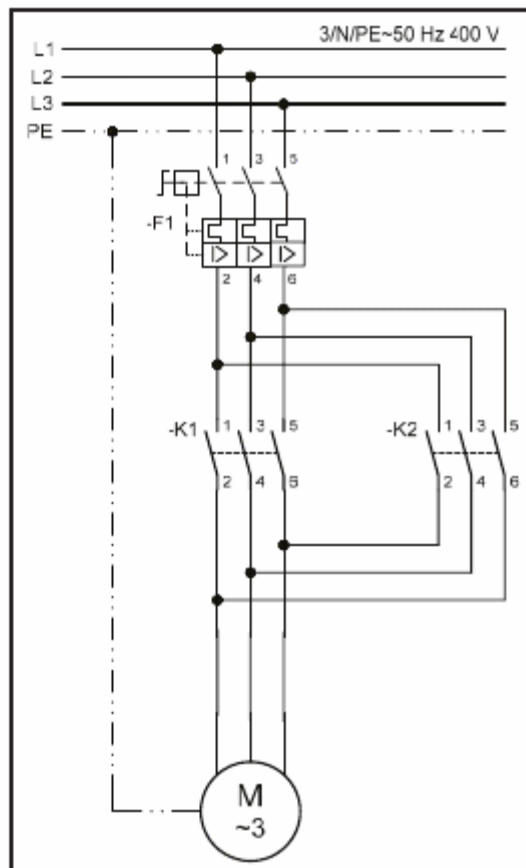
Fig. 4.23. Diagrama de situación de una mezcladora.

### 3.2. Descripción del Automatismo

Cuando se acciona la llave de inicio S1, el motor comienza a girar en un sentido durante 30 s y luego invierte su marcha girando en sentido opuesto durante 60 s. Esta secuencia de movimientos se repite indefinidamente hasta que la llave S1 se abre. En cualquier momento del ciclo, si se presiona el pulsador de parada de emergencia PE, el motor se detiene.

### 3.3. Circuito Eléctrico

En la Fig. 4.24 se presenta el circuito de potencia para el arranque de un motor trifásico con inversión de giro. Si se acciona el contactor K1, el motor girará en un sentido, y si lo hace K2, lo hará en sentido opuesto.



**Fig. 4.24.**  
Circuito eléctrico de potencia para el arranque de un motor trifásico con inversión de giro.

La inversión de giro en un motor trifásico se logra invirtiendo dos de las tres fases que lo alimentan. Los contactores no deben ser accionados simultáneamente ya que se produciría un cortocircuito por la unión de dos fases diferentes.

Para evitar esto, los fabricantes proveen enclavamientos mecánicos de seguridad que se colocan entre los contactores para impedir el cierre simultáneo.

El elemento F1 representa un guardamotor, el cual brinda protección por sobreintensidad y cortocircuito.

### 3.4. Diagrama Espacio-Tiempo

De acuerdo a la descripción del automatismo del punto 3.2, se obtiene el diagrama espacio-fase de la Fig. 4.25.

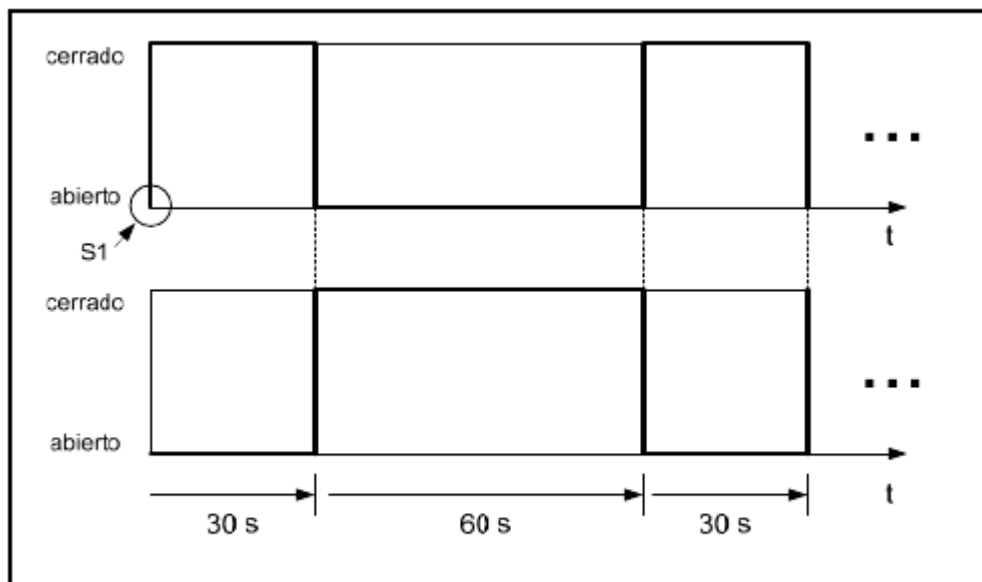


Fig. 4.25. Diagrama espacio-tiempo para la mezcladora.

### 3.5. Grafcet

A partir del diagrama espacio-fase de la Fig. 4.25, se puede confeccionar el *grafcet* de la Fig. 4.26.

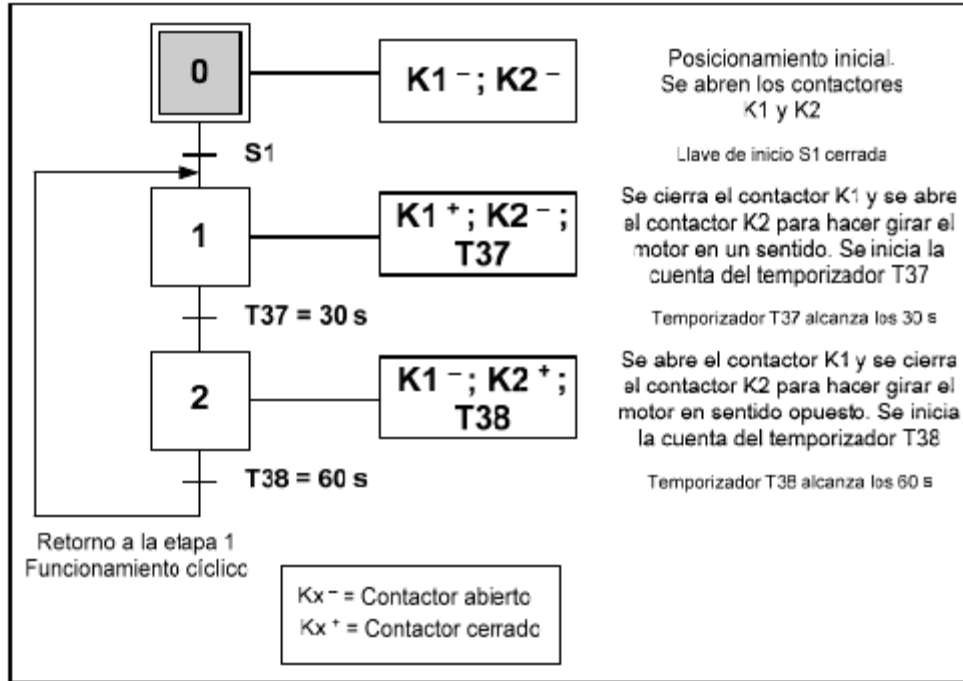


Fig. 4.26. Grafcet de la mezcladora.

### 3.6. Asignación de Entradas y Salidas

El PLC para la mezcladora debe tener como mínimo 2 entradas, para la llave S1 y el pulsador de parada de emergencia PE, y 2 salidas, para conectar las bobinas de los contactores K1 y K2.

En la Tabla 4.4 se puede observar la asignación de entradas y salidas.

Tabla 4.4. Asignación de entradas y salidas para la mezcladora.

Revisión	Identificación (Tag)	Descripción	Tipo	Dirección	PLC Modelo	Borne +	Señal	Borne -	Observaciones
A	P1	Llave de inicio de ciclo	DI	I0.0	S7-200	L+	I0.0	M	
A	PE	Pulsador de parada de emergencia	DI	I0.1	S7-200	L+	I0.1	M	
A	K1	Bobina del contactor K1	DO	Q0.0	S7-200	L+	Q0.0	M	
A	K2	Bobina del contactor K2	DO	Q0.1	S7-200	L+	Q0.1	M	

### 3.7. Conexión del PLC

En la Fig. 4.27 se presenta el esquema de conexión para un PLC marca Siemens, modelo S7-200, CPU224, según la asignación de entradas y salidas de la Tabla 4.4.

### 3.8. Fundamentos Teóricos a Aplicar

Consulta del Estado de una Salida. Los estados de las salidas se pueden utilizar como condiciones en múltiples pasos de la secuencia, empleando contactos normales abiertos o cerrados. Esta funcionalidad permite realizar enclavamientos y auto-retenciones sin la necesidad de retornos conectados en entradas digitales, ni marcas internas.

En la Fig. 4.28 se puede observar un circuito de marcha y parada con auto-retención en los mandos. El pulsador de marcha NA se conecta a la entrada I0.0, y el de parada NC a la I0.1. La salida Q0.0, conectada a la bobina del contactor, se activará cuando se presione el pulsador de marcha, debido a que el de parada (NA) permite la circulación estando en reposo.

Ni bien la salida se active, el contacto Q0.0 conectado en paralelo a I0.0 la mantendrá energizada hasta que se anule la auto-retención, presionando el pulsador de parada en I0.1.

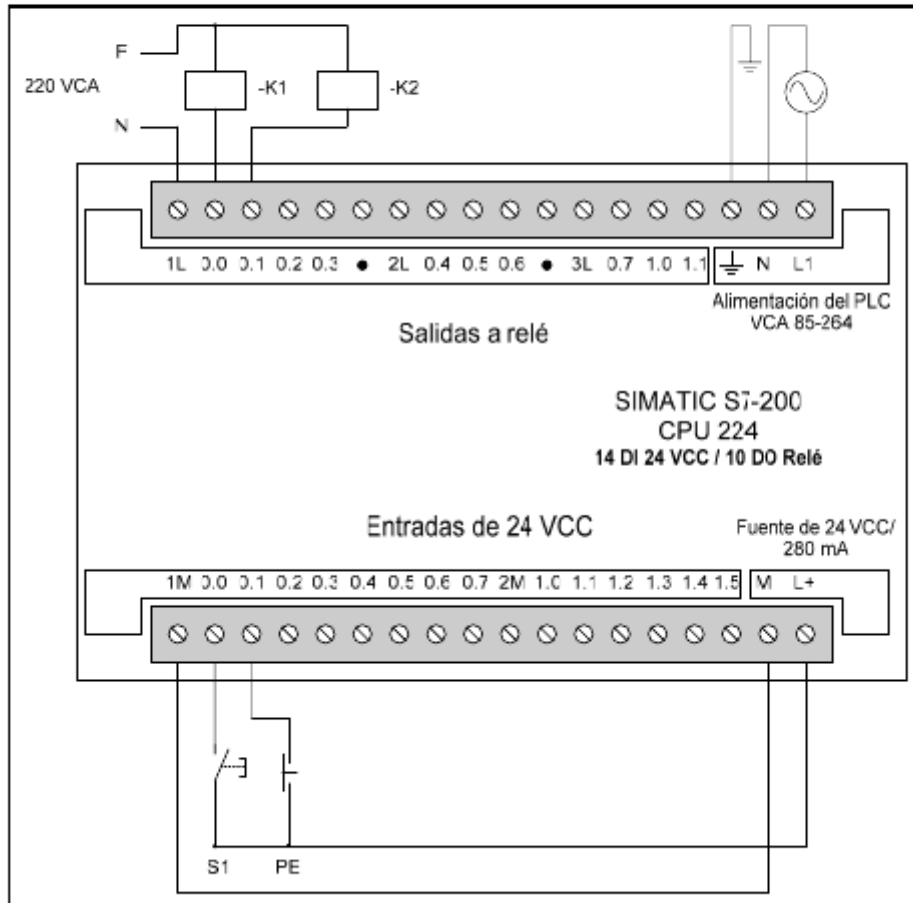


Fig. 4.27. Conexión de las entradas y salidas para la mezcladora.

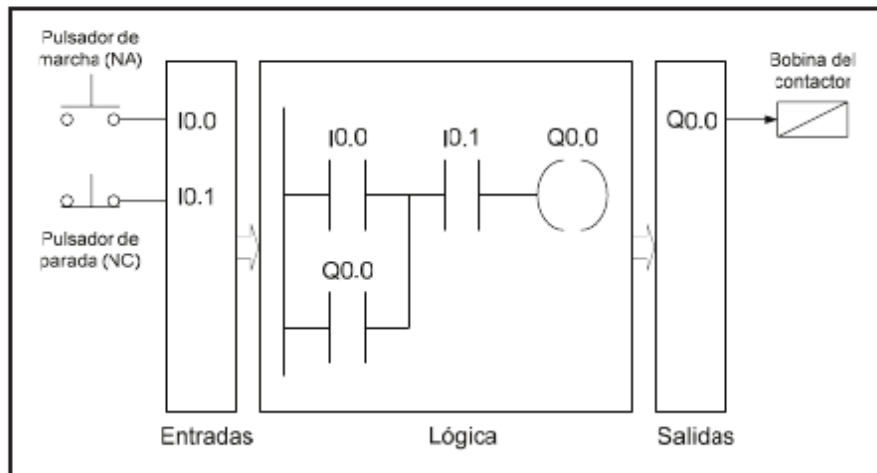


Fig. 4.28. Circuito de arranque y parada para un motor. La salida Q0.0 se utiliza como contacto NA para realizar la auto-retención de los mandos.

### 3.9. Programa del PLC

En la Fig. 4.29 se muestra la tabla de símbolos que se utilizará en el desarrollo de la lógica de control.

Símbolo	Dirección	Comentario
S1	I0.0	Llave de inicio de ciclo
PE	I0.1	Pulsador de parada de emergencia
K1	Q0.0	Bobina del contactor K1
K2	Q0.1	Bobina del contactor K2

Fig. 4.29. Tabla de símbolos para la mezcladora.

En las Figs. 4.30 a 4.33 se presenta el programa del PLC para la mezcladora. La *network* 1 realiza la inicialización del sistema (ver la Fig. 4.30), desactivando los contactores K1 y K2 durante el primer ciclo de *scan* de la CPU.

Cuando se cierra la llave S1, el detector de flanco positivo [P] aplica un pulso para activar el contactor K1 y desactivar el K2, que en condiciones normales se encontraría ya desactivado (ver *network* 2 de la Fig. 4.30). Esto hace girar el motor en uno de los sentidos que denominaremos como X.

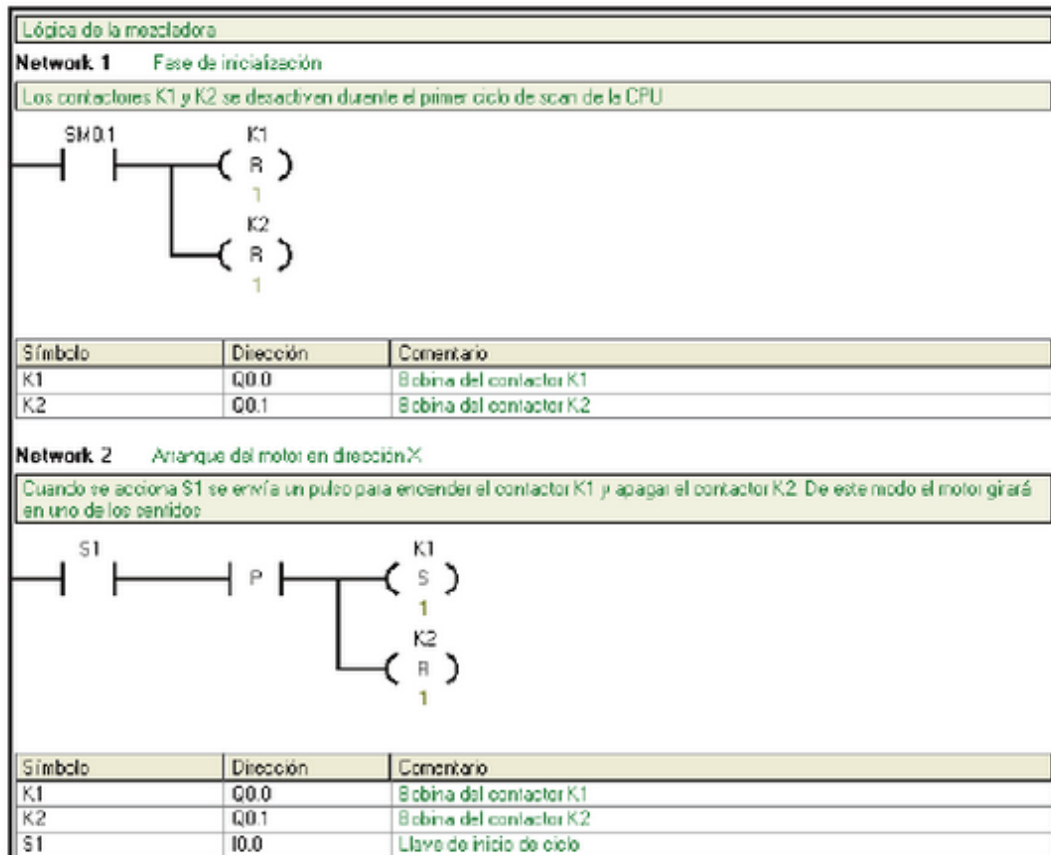


Fig. 4.30. Fase de inicialización y encendido del ciclo de la mezcladora.

Al ser activado el contactor K1, el contacto con su mismo nombre se cierra iniciando la temporización en T37.

Cuando el valor ajustado de 30 s se cumple, se cierra el contacto T37, haciendo que se abra el contactor K1 y se cierre el K2, invirtiendo así el sentido de giro hacia Y (ver la Fig. 4.31).

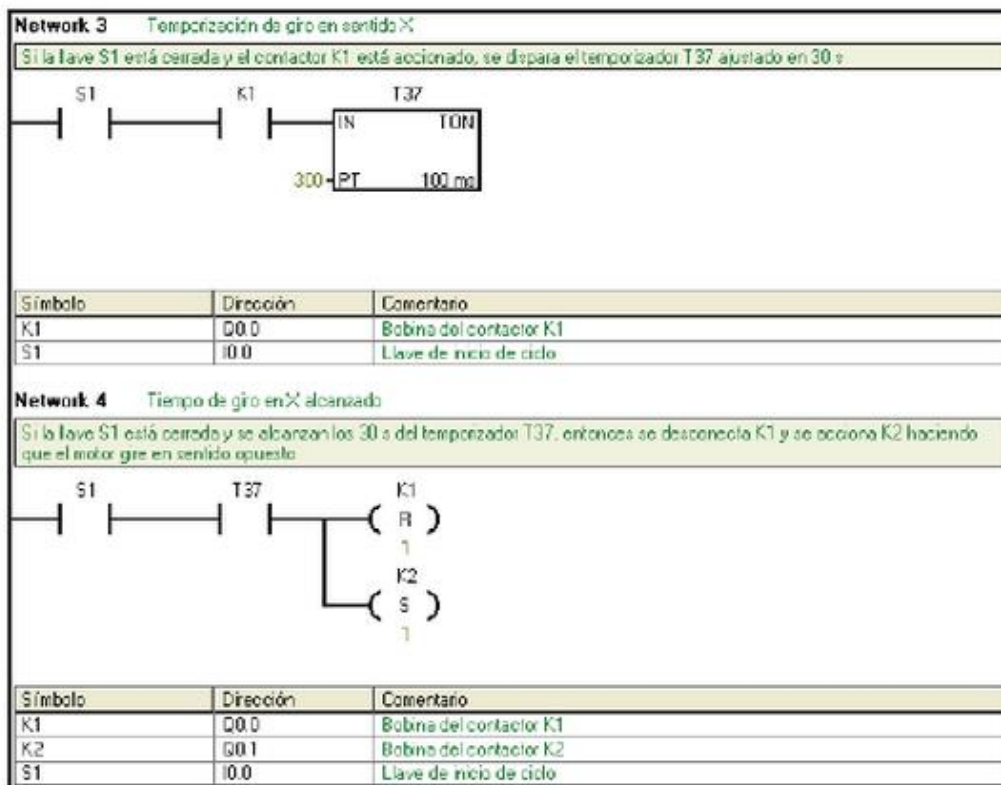


Fig. 4.31. Temporización de 30 s e inversión del giro de la mezcladora.

Una vez invertido el sentido de giro hacia Y, el contacto K2 se cierra iniciando la temporización del T38 ajustado en 60 s (ver la *Network 5* de la Fig. 4.32). Cuando este tiempo se cumple, se conmutan los contactores haciendo que el motor gire en sentido X (ver la *Network 6* de la Fig. 4.32).

Al invertir la marcha, se cumple la condición de K1 activado, y se dispara nuevamente el temporizador T37, haciendo que el automatismo se repita de forma cíclica.

La *network 7* desactiva ambos contactores en el caso que se presione el pulsador de parada de emergencia PE (ver la Fig. 4.33).

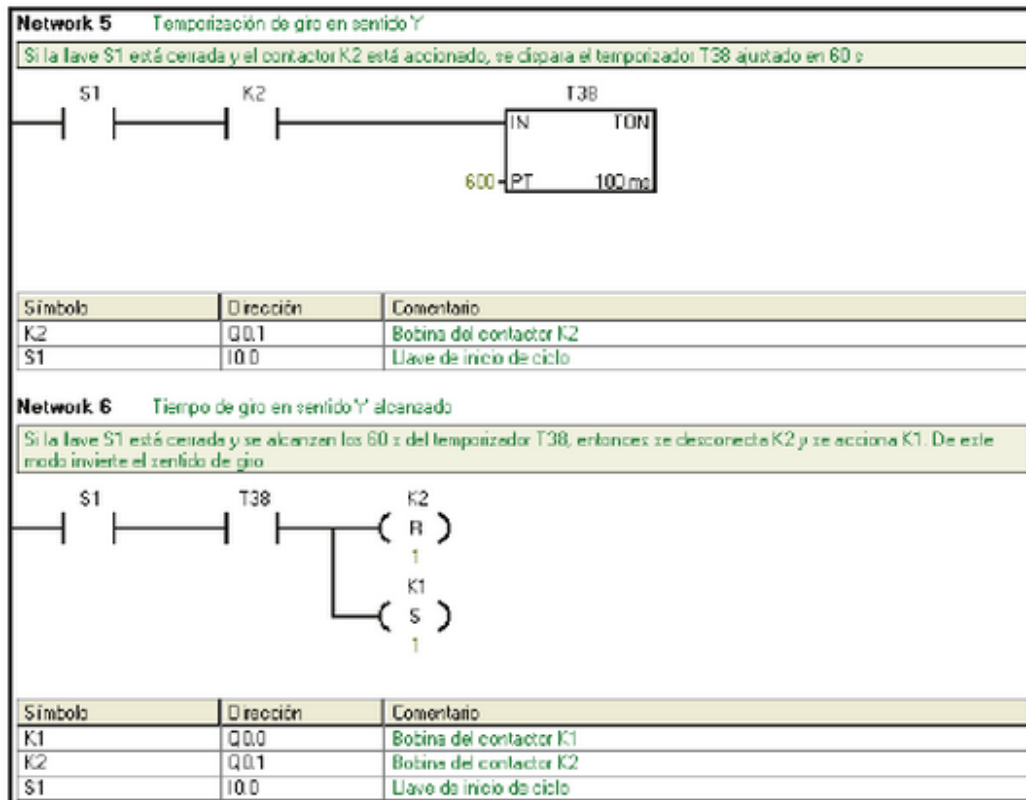
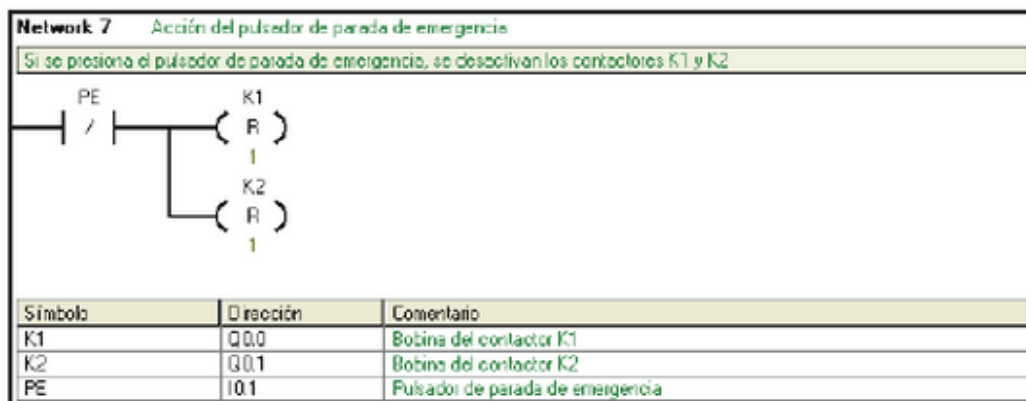


Fig. 4.32. Temporización de 60 s e inversión del giro de la mezcladora.



## Ejemplo 4: Automatización de una Playa de Estacionamiento

### 4.1. Diagrama de Situación

En la Fig. 4.34 se presenta el diagrama de situación del automatismo de una playa de estacionamiento.

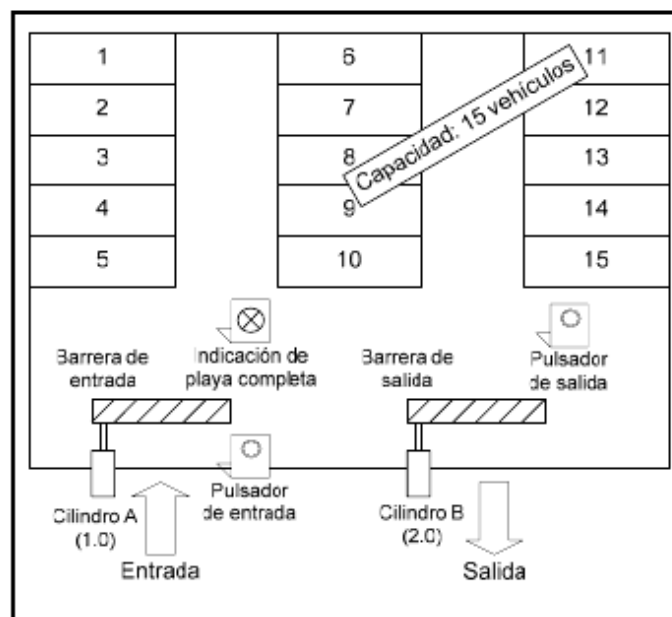


Fig. 4.34. Diagrama de situación de una playa de estacionamiento.

### 4.2. Descripción del Automatismo

Para ingresar a la playa de estacionamiento, los conductores se ubican frente a la barrera y presionan el pulsador de entrada. Si la cantidad de autos dentro de la playa es inferior a 15, la barrera se abrirá durante 10 s. Cuando un conductor presiona el pulsador de salida, la correspondiente barrera se abre durante 10 s.

El automatismo lleva la cuenta de la cantidad de vehículos en el interior de la playa, incrementando o decrementando una cuenta con cada auto que ingresa o sale de la misma.

Si se alcanza una cantidad de 15 autos dentro de la playa, se enciende la indicación lumínica de playa completa y no es posible abrir la barrera de ingreso presionando su pulsador.

### 4.3. Circuito Electroneumático

En la Fig. 4.35 se puede observar el circuito neumático de los cilindros que accionan las barreras de la playa de estacionamiento.

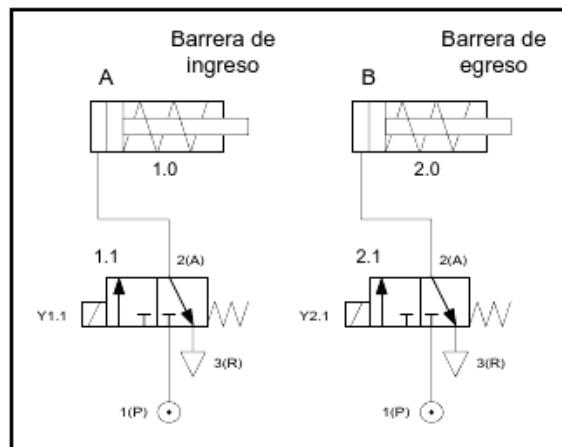


Fig. 4.35. Circuito electroneumático de los actuadores de las barreras de la playa de estacionamiento.

### 4.4. Asignación de Entradas y Salidas

El PLC para la automatización de la playa de estacionamiento debe tener como mínimo 2 entradas, para los pulsadores de ingreso y egreso, y 3 salidas, para los solenoides de las dos electroválvulas y el indicador luminoso que avisa cuando la capacidad está completa.

En la Tabla 4.5 se puede observar la asignación de entradas y salidas.

**Tabla 4.5.** Asignación de entradas y salidas para el automatismo de la playa de estacionamiento.

Revisión	Identificación (Tag)	Descripción	Tipo	Dirección	PLC Modelo	Borne +	Señal	Borne -	Observaciones
A	<b>P_Entrada</b>	Pulsador de ingreso	DI	<b>I0.0</b>	S7-200	L+	I0.0	M	
A	<b>P_Salida</b>	Pulsador de egreso	DI	<b>I0.1</b>	S7-200	L+	I0.1	M	
A	<b>B_Entrada</b>	Solenoides Y1.1 – barrera de entrada	DO	<b>Q0.0</b>	S7-200	L+	Q0.0	M	
A	<b>B_Salida</b>	Solenoides Y2.1 – barrera de salida	DO	<b>Q0.1</b>	S7-200	L+	Q0.1	M	
A	<b>Playa_Comp</b>	Indicación lumínica de playa completa	DO	<b>Q0.2</b>	S7-200	L+	Q0.2	M	

## 4.5. Conexión del PLC

En la Fig. 4.36 se presenta el esquema de conexión para un PLC marca Siemens, modelo S7-200, CPU224, según la asignación de entradas y salidas de la Tabla 4.5.

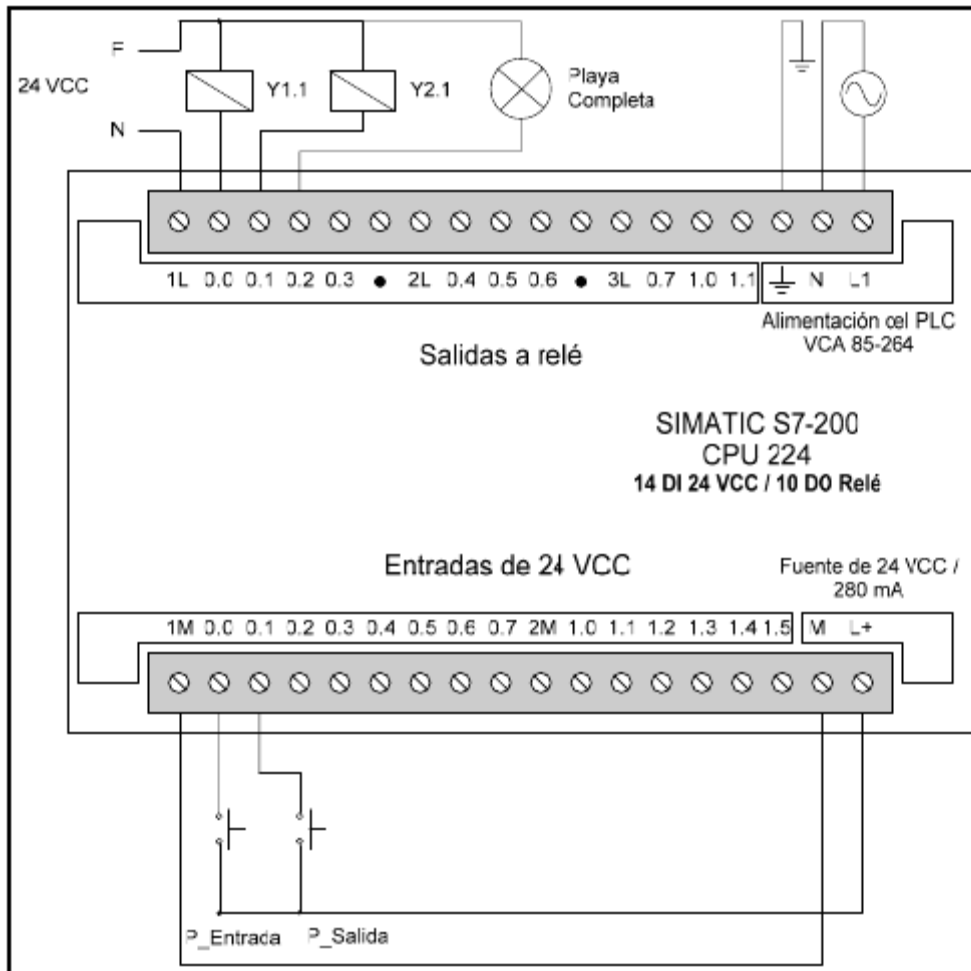


Fig. 4.36. Conexión de las entradas y salidas para el automatismo de la playa de estacionamiento.

## 4.6. Fundamentos Teóricos a Aplicar

**Contadores.** Los contadores son bloques que incrementan o decrementan un valor de cuenta ante cambios de estado de un contacto conectado en su entrada. Existen tres tipos de contadores: uno que cuenta en forma ascendente (CTU), uno que cuenta en forma descendente (CTD) y otro que es una combinación de los dos anteriores (CTUD). Los contadores tienen dos variables asociadas:

B

- **Valor actual.** En este número entero de 16 bits con signo se deposita el valor de conteo acumulado.
- **Bit del contador (bit C).** Este bit se activa (se pone a 1) cuando el valor actual del contador es mayor o igual al valor predeterminado.

A estas dos variables se accede utilizando la dirección del contador, que se conforma de una C seguida del número del contador (desde 0 a 255). Dependiendo de la operación utilizada, se accede al bit del contador o al valor actual.

Las operaciones con operandos en formato de bit leen el bit del contador, en tanto que las operaciones con operandos en formato de palabra lo hacen al valor actual.

Como se muestra en la Fig. 4.37, un contacto lógico leen el bit del contador, en tanto que la operación de transferencia de palabra (MOV\_W) accede al valor actual del contador.

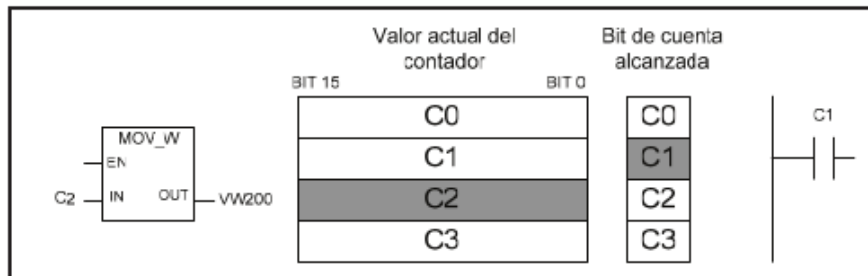


Fig. 4.37. Direccionamiento del valor actual y del bit de cuenta alcanzada de un contador.

## 4.7. Programa del PLC

En la Fig. 4.38 se muestra la tabla de símbolos que se utilizará en el desarrollo de la lógica de control.

Símbolo	Dirección	Comentario
Pulsador_Entrada	I0.0	Pulsador para ingreso a la playa
Pulsador_Salida	I0.1	Pulsador para egreso de la playa
Barrera_Entrada	Q0.0	Cilindro que abre la barrera de ingreso a la playa
Barrera_Salida	Q0.1	Cilindro que abre la barrera de egreso de la playa
Playa_Completa	Q0.2	Indicación luminosa de playa completa

Fig. 4.38. Tabla de símbolos para el automatismo de la playa de estacionamiento.

En las Figs. 4.39 a 4.41 se presenta el programa del PLC para automatismo de la playa de estacionamiento. El contador ascendente/descendente C1, ubicado en la *network* 1, incrementa en una unidad el valor de la cuenta cada vez que se presiona el pulsador de entrada conectado en CU.

En cambio, cada vez que se presiona el pulsador de salida, conectado en CD, el valor de la cuenta se decrementa en una unidad. El contacto SM0.1 conectado en la entrada R del contador, pone en cero el valor actual del mismo durante el primer ciclo de *scan* de la CPU. Cuando el contador alcanza las 15 unidades, se enciende el indicador luminoso de playa completa (ver la *network* 2 de la Fig 4.39).

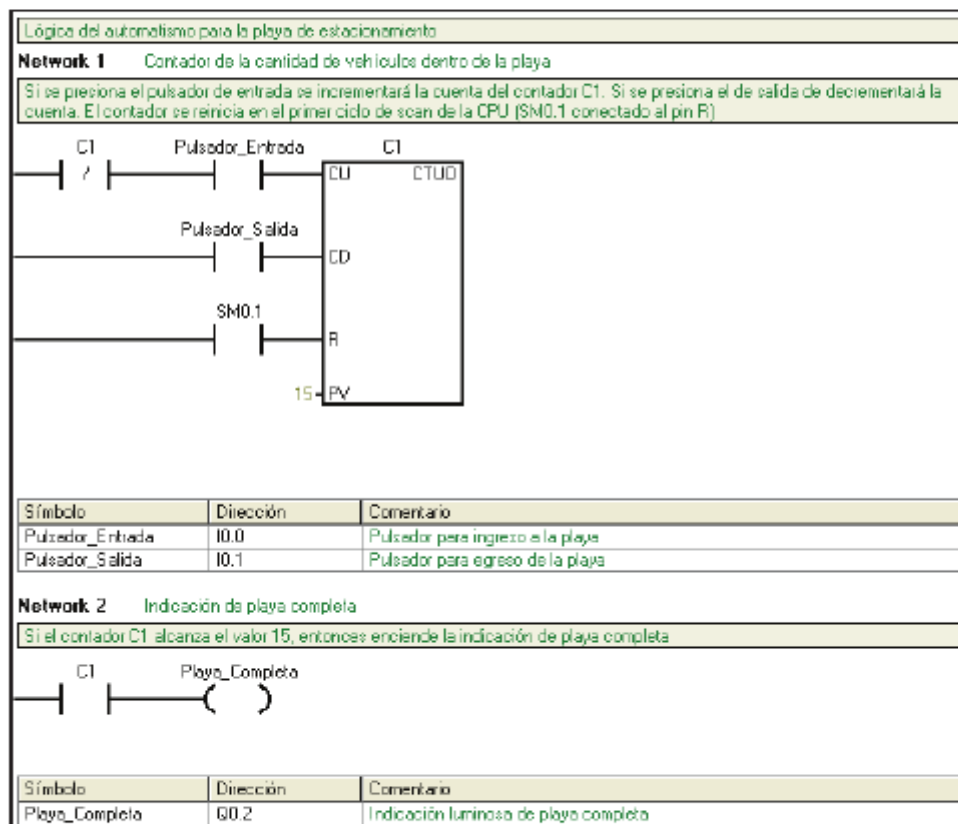


Fig. 4.39. Tabla de símbolos para el automatismo de la playa de estacionamiento.

En la *network* 3 de la Fig. 4.40, se utilizó un temporizador del tipo TOF para lograr la apertura de la barrera durante 10 s, cuando se presiona el pulsador de entrada. Si se alcanzó la cuenta de 15, el contacto normalmente cerrado C1 estará abierto y no se abrirá la barrera de ingreso.

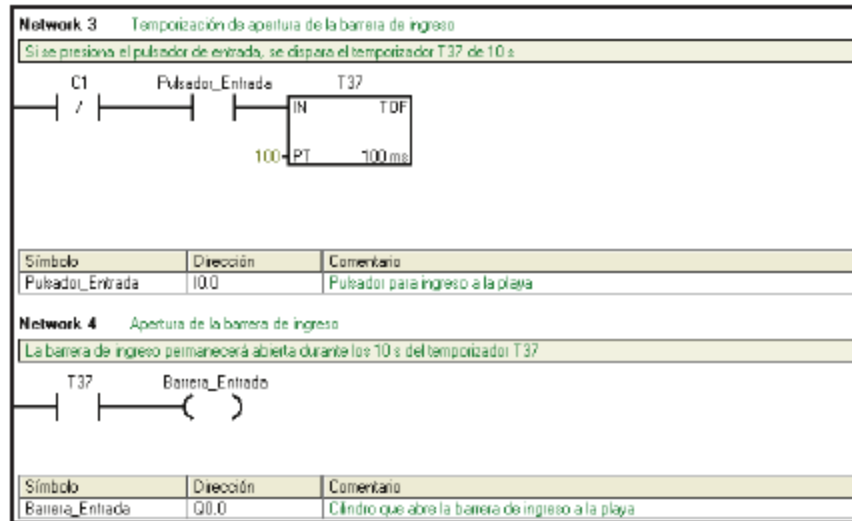


Fig. 4.40. Tabla de símbolos para el automatismo de la playa de estacionamiento.

La Fig. 4.41 posee una lógica similar a la de la Fig. 4.40, para la apertura de la barrera de salida durante 10 s.

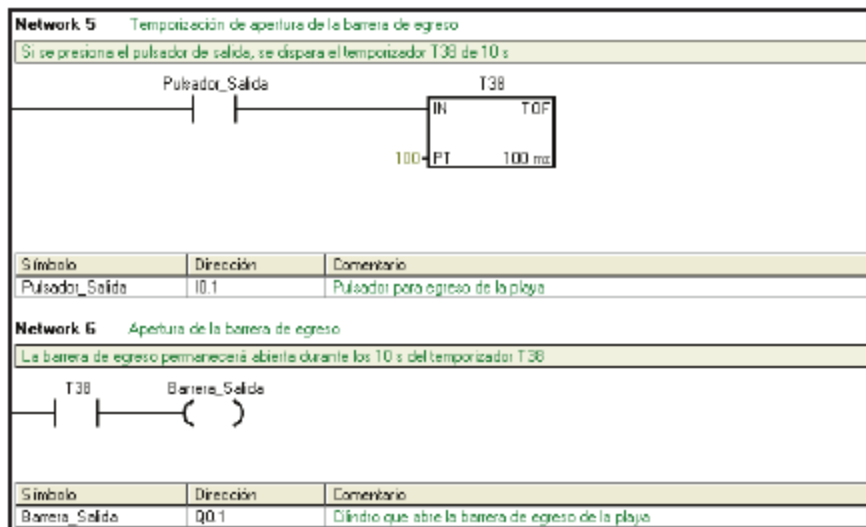


Fig. 4.41. Tabla de símbolos para el automatismo de la playa de estacionamiento.

## Ejemplo 5: Control ON/OFF de Temperatura

### 5.1. Diagrama de Situación

En la Fig. 4.42 se presenta el diagrama de situación de un control ON/OFF de temperatura.

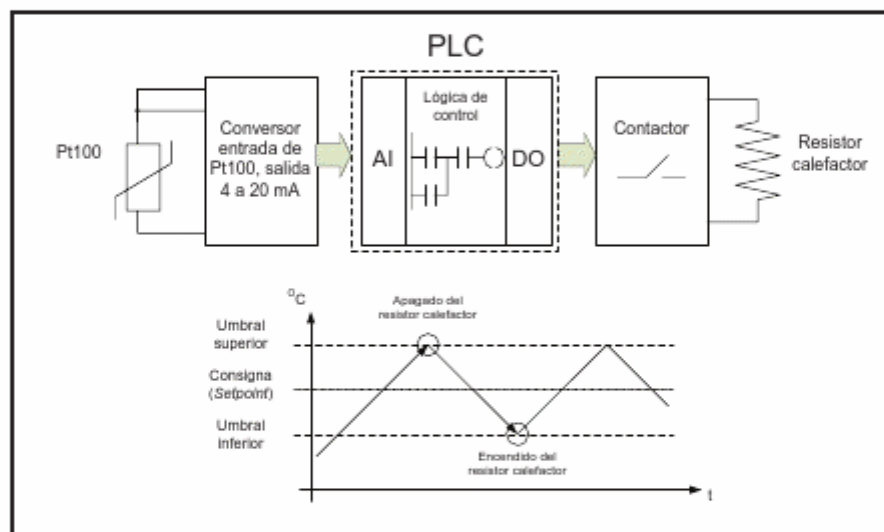


Fig. 4.42. Diagrama de situación de un control ON/OFF de temperatura.

### 5.2. Descripción del Automatismo

La técnica de control ON/OFF es simple y eficaz, y se utiliza con gran frecuencia en el control de procesos industriales que involucren variables físicas de variación lenta.

El estado actual de temperatura se ingresa al PLC por medio de un sensor Pt100 y la lógica administra el encendido y apagado del resistor calefactor para poder mantener la temperatura alrededor de un valor elegido de consigna, comúnmente denominado *setpoint*.

El sistema está compuesto por un sensor de temperatura Pt100 conectado a un convertidor de salida 4 a 20 mA, que se inyectará a una entrada analógica del PLC.

El programa se encarga de encender y apagar un contactor que energiza un resistor calefactor a fin de mantener la temperatura ambiente dentro de los márgenes preestablecidos.

### 5.3. Asignación de Entradas y Salidas

El PLC requerido para esta aplicación debe tener como mínimo 1 entrada analógica del tipo 4 a 20 mA, para conectar la salida del convertor de la RTD, y 1 salida digital, para comandar el solenoide del contactor. En la Tabla 4.6 se puede observar la asignación de entradas y salidas.

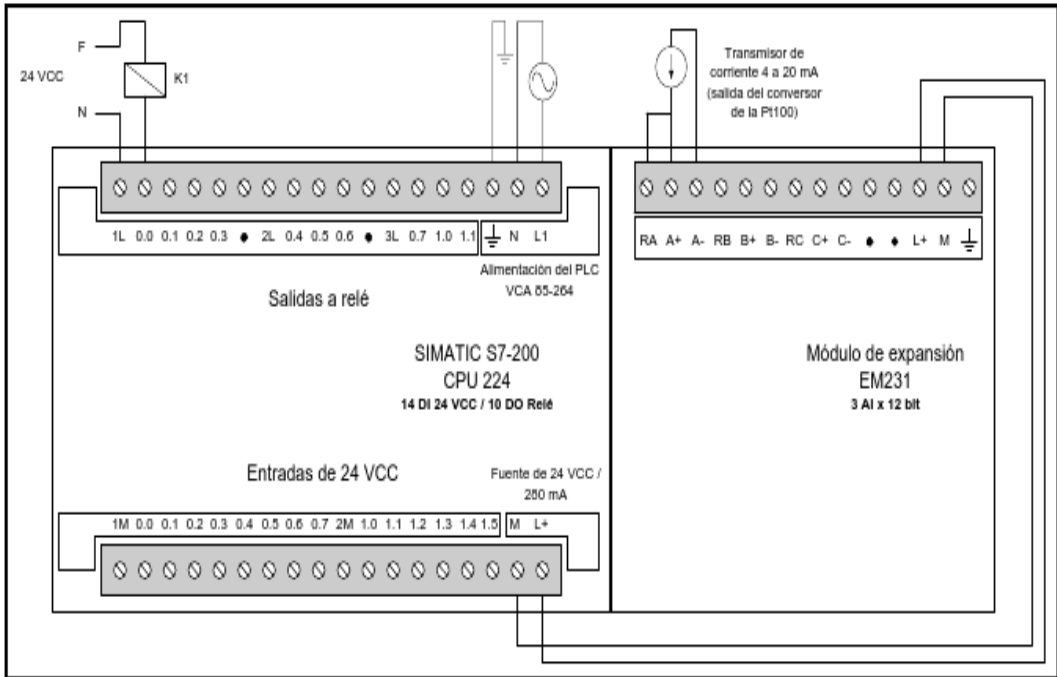
**Tabla 4.6.** Asignación de entradas y salidas para el control de temperatura.

Revisión	Identificación (Tag)	Descripción	Tipo	Dirección	PLC Modelo	Borne +	Señal	Borne -	Observaciones
A	Temp_1	Medición de temperatura analógica	AI	AIW0	S7-200	RC	C+	C-	
A	K1	Contacto del resistor calefactor	DO	Q0.0	S7-200	L+	Q0.0	M	

### 5.4. Conexión del PLC

En la Fig. 4.43 se presenta el esquema de conexión para un PLC marca Siemens, modelo S7-200, CPU224, con un módulo de expansión de 3 entradas analógicas de 12 bit, modelo EM231.

El cableado se encuentra de acuerdo a la asignación de entradas y salidas de la Tabla 4.6.



**Fig. 4.43.**  
 Conexión de la CPU 224 y el módulo de ampliación EM231 de la línea S7-200 para el control ON/OFF de temperatura.

## 5.5. Fundamentos Teóricos a Aplicar

**Interrupciones.** Las interrupciones permiten que un cierto tramo de programa se ejecute cuando un evento para el cual fue asignada ocurre en el PLC. La forma de asociar el evento al código de la interrupción se realiza mediante la instrucción ATCH. Una vez realizada esta configuración previa se deben habilitar las interrupciones del PLC a través de la instrucción ENI.

Los eventos se declaran mediante un número que se extrae de una tabla del manual del equipo. En la Tabla 4.7 se muestra una parte de los eventos relacionados con las CPU de la línea S7-200.

**Tabla 4.7.** Tabla que relaciona el número de evento con su descripción, para las CPU de la línea S7-200.

Nº evento	Descripción
0	Flanco positivo en I0.0
1	Flanco negativo en I0.0
2	Flanco positivo en I0.1
3	Flanco negativo en I0.1
4	Flanco positivo en I0.2
5	Flanco negativo en I0.2
6	Flanco positivo en I0.3
7	Flanco negativo en I0.3
8	Interfaz 0. Recepción de caracter
9	Interfaz 0. Transmisión finalizada
10	Interrupción temporizada 0. Valor en SMB34
11	Interrupción temporizada 1. Valor en SMB35

Si el PLC se encuentra ejecutando una interrupción y ocurre en ese momento otra, el PLC esperará finalizar la que tiene en curso, dejando en una especie de cola de atención a la última.

Si ocurren demasiadas interrupciones y se llena dicha cola de interrupción (se acaba el lugar de memoria destinado a ese fin) el PLC lo indicará mediante la marca especial SM4. Esto es de importancia pues el PLC empezará a perder las interrupciones que ocurran una vez que esté llena.

Si dos o más interrupciones ocurren en forma simultánea se atenderá a una de ellas según la prioridad del evento que tengan asociadas. Esta prioridad se encuentra definida por una tabla en el manual de la CPU. Por lo general suelen seguir el siguiente orden:

- Interrupciones de comunicación (prioridad más alta).
- Interrupciones de entrada y salida.
- Interrupciones temporizadas (prioridad más baja).

**Escalado de Señales Analógicas.** Internamente, el PLC convierte el rango de 4 a 20 mA de la entrada analógica de 12 bit, en un número binario que va de 0 a 32760. Si la calibración del sensor de temperatura conectado al convertor de 4 a 20 mA es de 0 a 100°C, entonces una temperatura de 50°C se leerá en el PLC como:

$$50^{\circ}\text{C} \quad \Rightarrow \quad 12 \text{ mA} \quad \Rightarrow \quad 16380$$

El valor interno del PLC se suele conocer como cuenta o unidad de ingeniería, y es el número que se utiliza en la lógica de control para realizar la comparación.

## 5.6. Programa del PLC

En la Fig. 4.44 se muestra la tabla de símbolos que se utilizará en el desarrollo de la lógica de control.

Símbolo	Dirección	Comentario
Temp_1	AIW0	Medición de temperatura analógica
K1	Q0.0	Contacto del resistor calefactor

Fig. 4.44. Tabla de símbolos para el control ON/OFF de temperatura.

En las Figs. 4.45 a 4.47 se presenta el programa del PLC para el control ON/OFF de temperatura. El programa principal es el mostrado en la Fig. 4.45. La *network* 1, realiza un llamado a la subrutina 0 (SBR\_0) una única vez durante el primer ciclo de *scan* del PLC.

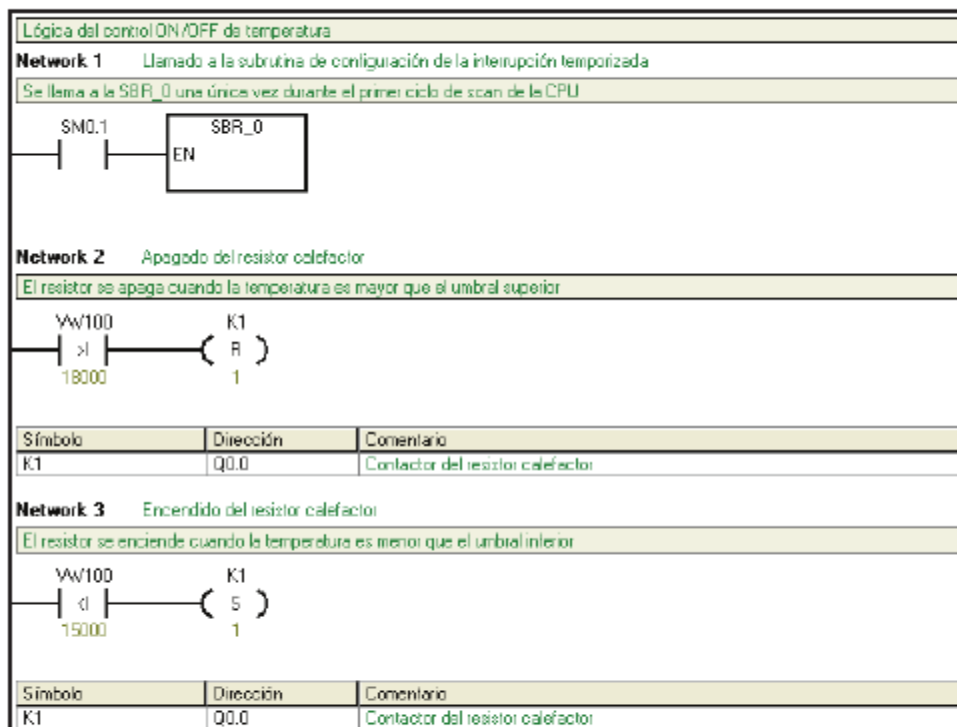


Fig. 4.45. Rutina principal del control ON/OFF de temperatura.

La SBR\_0 realiza la inicialización de la interrupción temporizada (ver la Fig. 4.46). Esta interrupción detendrá la ejecución del programa principal cada 100 ms, y ejecutará el código escrito en la interrupción 0 (INT\_0).

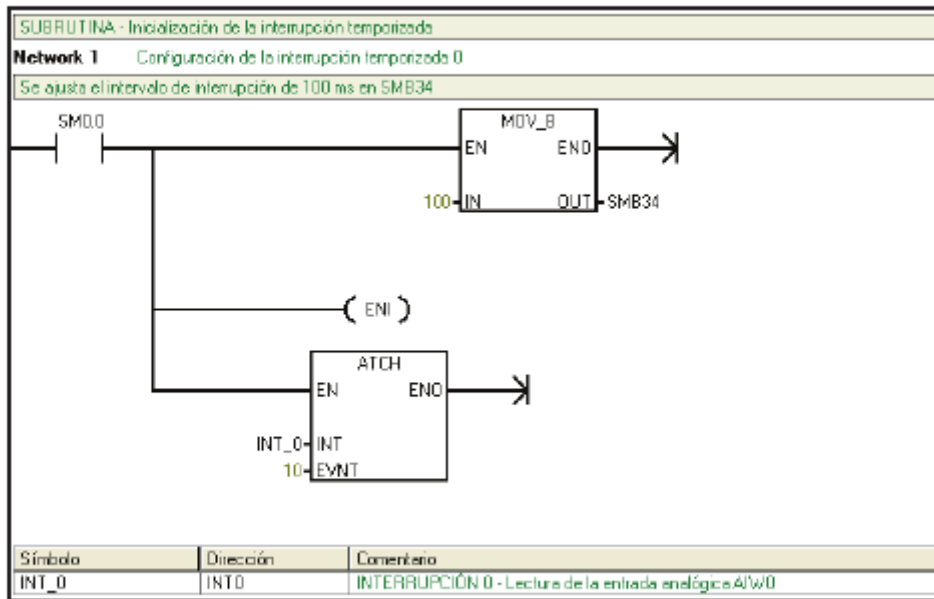


Fig. 4.46. Subrutina 0 (SBR\_0) del control ON/OFF de temperatura.

Cada vez que se llame a la interrupción 0, se leerá la primera entrada analógica (AIW0) y su valor se almacenará en la variable de usuario VW100 (ver la Fig. 4.47). Luego, en el programa principal mostrado en la Fig. 4.45, se realizará la comparación con los umbrales inferior y superior para encender o apagar el resistor calefactor según corresponda.

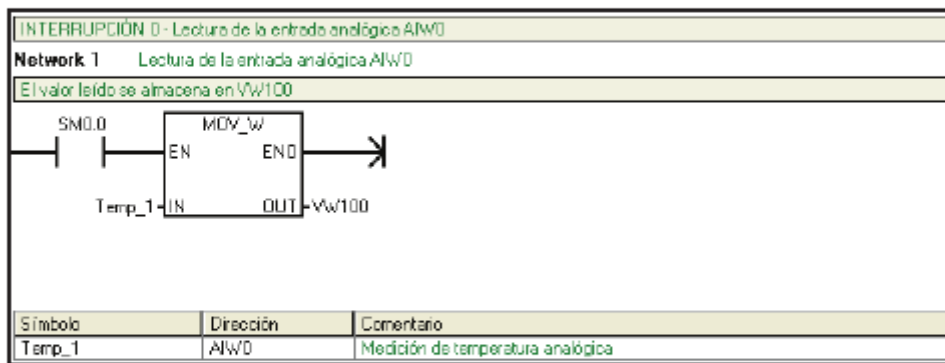


Fig. 4.47. Interrupción 0 (INT\_0) del control ON/OFF de temperatura.

Si se hubiera utilizado la segunda entrada analógica, la dirección sería AIW2. En caso de usar la tercera, sería AIW4.

# Paneles de Proceso, Redes de PLC y Unidades Remotas



## Paneles de Proceso

Los paneles de proceso son equipos electrónicos cuya función es servir de interfaz entre el hombre y la máquina, razón por la cual se suelen denominar con las siglas HMI (*Human Machine Interface*). Mediante estos dispositivos se pueden visualizar datos y resultados del PLC, para que los operarios de una planta observen el comportamiento de un proceso determinado. Además, es posible enviar información que el PLC puede utilizar para tomar ciertas decisiones sobre el proceso que está controlando. El intercambio de información consiste en que el operador pueda ingresar datos de ajuste, visualizar mensajes del PLC, monitorear mediciones o cálculos internos, etc. En este capítulo describiremos las características de los paneles de proceso y la forma cómo éstos interactúan con los PLC.

## Características de los Paneles de Proceso

Los paneles de proceso son dispositivos que permiten interactuar con uno o más PLC, brindando una interfaz gráfica que le servirá al operador para visualizar o alterar algunos parámetros del automatismo mientras éste se encuentre activo, sin necesidad de modificar el programa que se esté ejecutando. En la Fig. 5.1 se puede

observar un panel de proceso modelo PP846 de la línea Panel 800 de ABB. Este equipo tiene un tamaño de pantalla de 10,4", una resolución de 800 × 600 píxeles y una CPU interna Intel Xscale RISC de 416 MHz.



**Fig. 5.1.** Panel de proceso ABB, modelo PP846.

Algunos paneles disponen de una pantalla, una cantidad de teclas numéricas y de función. Otros en cambio, poseen pantallas *touch screen* (de toque) que permiten introducir la información sobre la misma pantalla. Por otra parte, los paneles vienen dotados de un conjunto de puertos de comunicación, a través de los cuales se programan, se comunican con el PLC, se vinculan a impresoras, etc. (ver la Fig. 5.2).

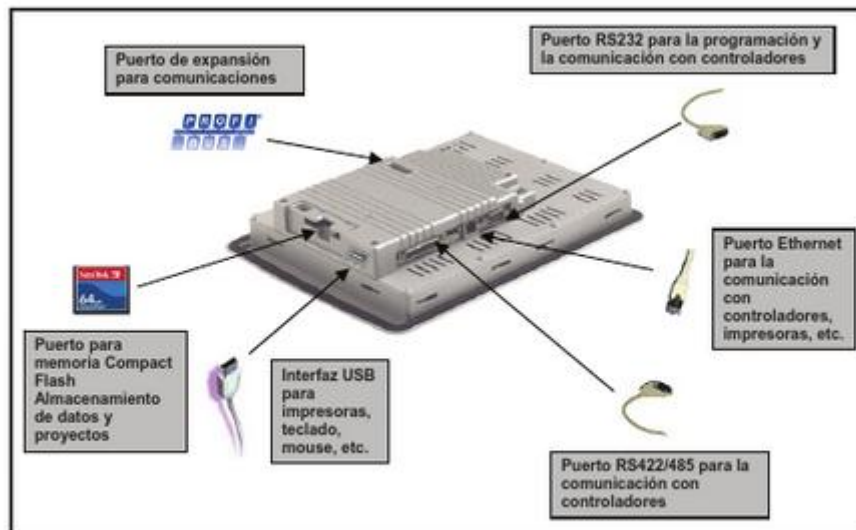


Fig. 5.2. Interfaces de comunicación del panel de proceso PP846 de ABB.

La cantidad y tipo de puertos difieren según el modelo del panel. Todos los paneles de la línea Panel 800, disponen de un grado de protección IP66 sobre el panel frontal.

Además de las funciones de monitoreo y supervisión, los paneles de proceso deben tener la capacidad de manejar alarmas e históricos. Las alarmas son eventos excepcionales del proceso basados en límites de control preestablecidos, que de ocurrir, advierten al operador sobre dicha condición. Mediante los históricos, los paneles muestran y almacenan en archivos, datos de los dispositivos de campo a una determinada frecuencia, siendo una poderosa herramienta para la optimización del proceso.

## Interacción con los PLC

El panel operador lee y escribe posiciones de la memoria del PLC, no modifica segmentos de la lógica, ya que no se trata de un dispositivo de programación.

Por lo tanto, para permitir que el panel interactúe con el automatismo, se debe realizar el programa del PLC utilizando variables en los puntos de vinculación con el panel. Por ejemplo, existen dos alternativas para asignarle el valor de tiempo prefijado (PV) a un temporizador. Una opción es colocarle un valor fijo mediante

el programa (directo) y la otra es indicarle una posición de memoria de donde debe extraer dicho valor (indirecto), como podría ser VW102 para el caso de una CPU de la línea S7-200. Si se elige la segunda alternativa se le debe indicar el valor con que se inicializará dicha posición de memoria mediante la marca especial SM0.1 y la instrucción MOVW.

Una vez confeccionado el programa y en ejecución, el panel operador es capaz de acceder a la posición VW102, leer el dato que contenga y modificarlo. Esto permitirá cambiar el valor del temporizador en tiempo de ejecución, dado que su tiempo prefijado estaba establecido por la posición VW102. La región de memoria de variables de usuario indicada no es la única a la cual se puede acceder, es también posible interactuar con la región de contadores, temporizadores, marcas, etc., permitiendo visualizar valores actuales de cuenta, así como indicadores claves del proceso.

Para lograr esto, es necesario indicarle al panel qué posición de memoria debe leer o modificar, y qué mensaje adicional indicará en la pantalla al momento de acceder o ingresar el dato, haciendo que la intervención en el automatismo sea más simple y amigable al usuario. Es por eso que el panel se programa, utilizando un software específico según la marca y modelo del equipo. Los paneles vienen provistos de interfaces de comunicación para su programación, que pueden ser RS232, USB o ethernet.

A modo de resumen, para realizar un automatismo que emplee un panel de proceso se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Programar el PLC donde los valores a leer o modificar estarán en la memoria y no como valores fijos en el código del programa.
- Programar el panel con una PC, utilizando su software de programación y el cable de configuración.
- Interconectar el PLC y el panel utilizando el cable adecuado. Ambos dispositivos deberán en este caso soportar el mismo protocolo de comunicación.

## **Programación del Panel**

Realizaremos un ejemplo utilizando un panel de proceso gráfico modelo PP846 de la línea Panel 800 de ABB. Dicho panel dispone de un puerto ethernet integrado que permite comunicarlo directamente a un controlador AC800M (ver la Fig. 5.3).

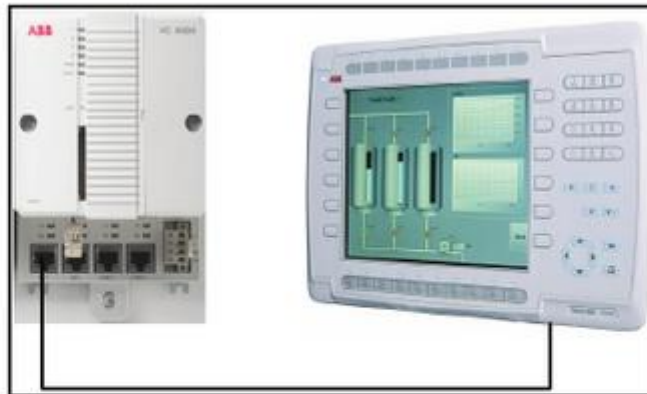


Fig. 5.3. Conexión ethernet entre un panel PP846 y un controlador AC800M.

La configuración del panel se hará mediante el software Panel Builder 800 Versión 5. El primer paso al iniciar un nuevo proyecto, es seleccionar el modelo de panel con el cual se trabajará (ver la Fig. 5.4).



Fig. 5.4. Selección del modelo de panel a configurar.

Luego, se debe elegir el tipo de comunicación a emplear. En nuestro caso se escogerá ABB/Control Network, por ser una red ethernet con protocolo MMS (ver la Fig. 5.5).

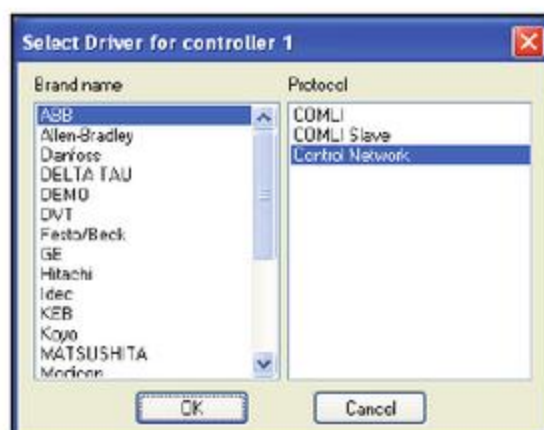


Fig. 5.5. Selección del tipo de comunicación.

Otros protocolos soportados por la línea de paneles Panel 800 son:

- ABB COMLI Protocol (Master/Slave)
- Allen-Bradley ControlLogix (Master)
- Allen-Bradley SLC Ethernet (Master)
- Allen-Bradley DF1 (Point to Point)
- Allen-Bradley DH485 (Token slave)
- DEMO Driver
- Delta Tau PMAC/UMAC (Master)
- DVT ASCII DATA TCP/IP  
Smartimage Sensor (Master)
- Festo/BECK FST CI
- Festo/BECK FST Ethernet
- GE Fanuc SNPX (Master)
- Generic Profibus DP (Slave)
- Hitachi H-series HCOM (Point to Point)
- Idec FA 1:1 (Point to Point)
- Idec FA 1:1 -expanded (Point to Point)
- Idec MICRO series (Point to Point)
- KEB Serial (Master)
- Koyo DirectNET (Master)
- Koyo K-Sequence
- Matsushita FP-series Mewtocol (Master)
- MODBUS ASCII/RTU/TCP (Master)
- MODBUS RTU/TCP (Slave)
- Moeller PS4 series (Point to Point)
- Omron Host Link (Master)
- Omron FINS (Master)
- Saia Serial (Master)
- Saia Ethernet (Master)
- SEW Eurodrive Movilink (Master)
- SIMATIC S5 3964R (Point to Point)
- SIMATIC S5 PG (Point to Point)
- SIMATIC S7 3964R (Point to Point)
- SIMATIC S7 ISO over TCP/IP (Master)
- SIMATIC S7 MPI Port (Token Slave)
- SIMATIC S7 MPI Direct (Token)
- SIMATIC S7 PPI (Master)
- Toshiba Computer Link (Master)
- TSX UNI-TELWAY (Token slave)
- VLT FC Drive (Master)

Tal como lo muestra la Fig. 5.6, es necesario indicarle al panel la dirección IP del controlador al cual se vinculará. Esta dirección, compuesta por 4 números entre 0 y 255 separados por puntos, identifica a los diferentes dispositivos dentro de una red ethernet. En el presente ejemplo, la dirección del AC800M es 172.16.4.152.

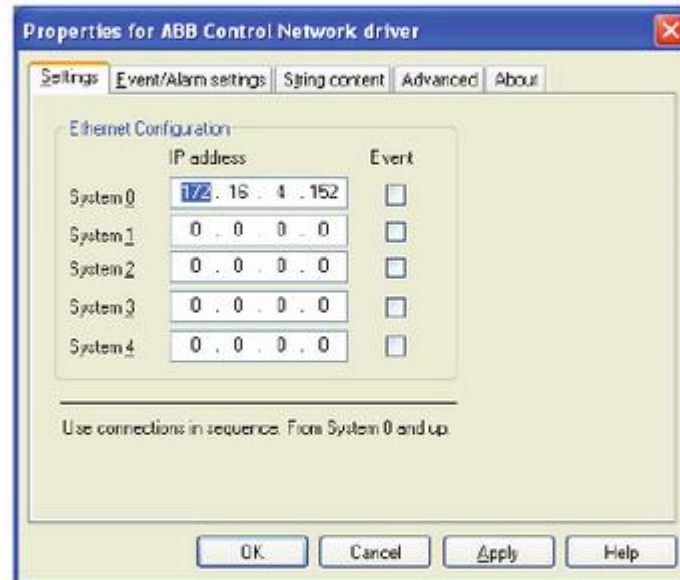


Fig. 5.6. Ingreso de la dirección IP del PLC.

Una vez finalizados los ajustes de comunicación, se deben crear las variables que se encargarán de intercambiar información con el PLC.

Seleccionando en el menú principal *View – Name List* (ver la Fig. 5.7), se accede al cuadro de diálogo donde es posible agregar de a una a la vez dichas variables (*Add*), o bien, incorporar un listado completo (*Import*) a partir de la configuración que presente el PLC en su tabla de comunicación (*Access Variables*).

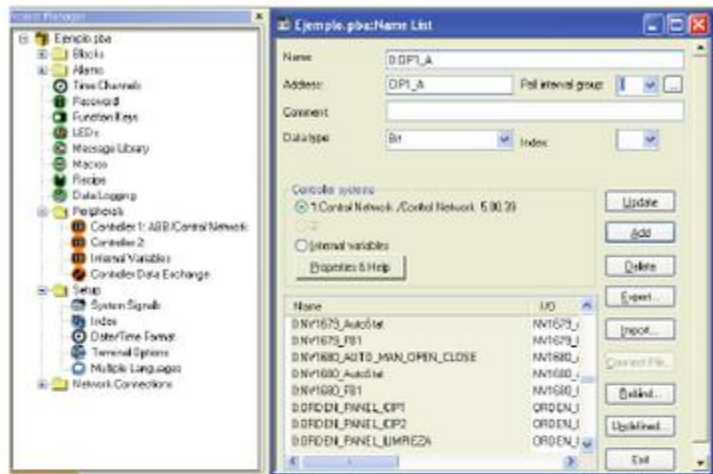
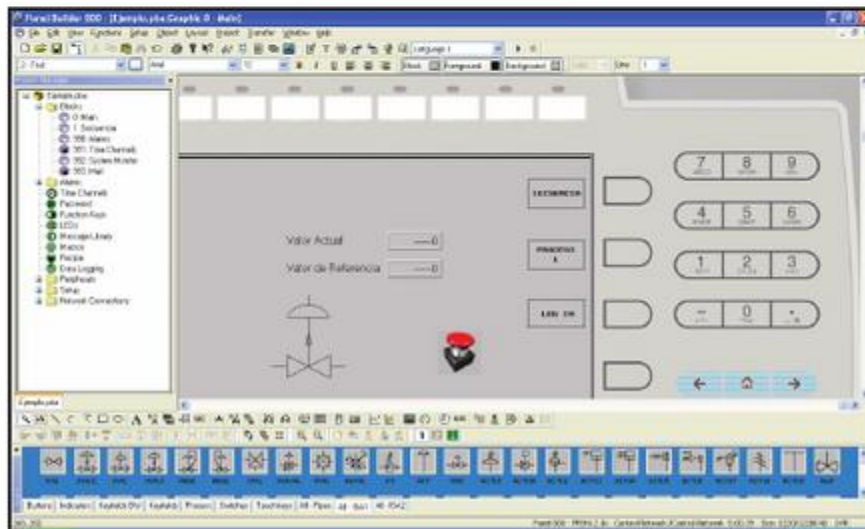


Fig. 5.7. Ventana de configuración de las variables del proyecto.

El próximo paso es editar la pantalla de visualización principal (*0:Main*) ubicada dentro de la carpeta de nombre *Block*. Como se puede apreciar en la Fig. 5.8, insertaremos dos indicadores analógicos (*Analog Numeric - 0.3*) y dos textos estáticos (*Static Text - A*).



Haciendo un click derecho sobre los indicadores y seleccionando la opción *Properties*, se podrá vincular a éstos con las variables definidas en el proyecto, que a la vez se encuentran asociadas a variables de comunicación del PLC. Como se puede observar en la Fig. 5.9, esto se realiza mediante el botón denominado I/O.

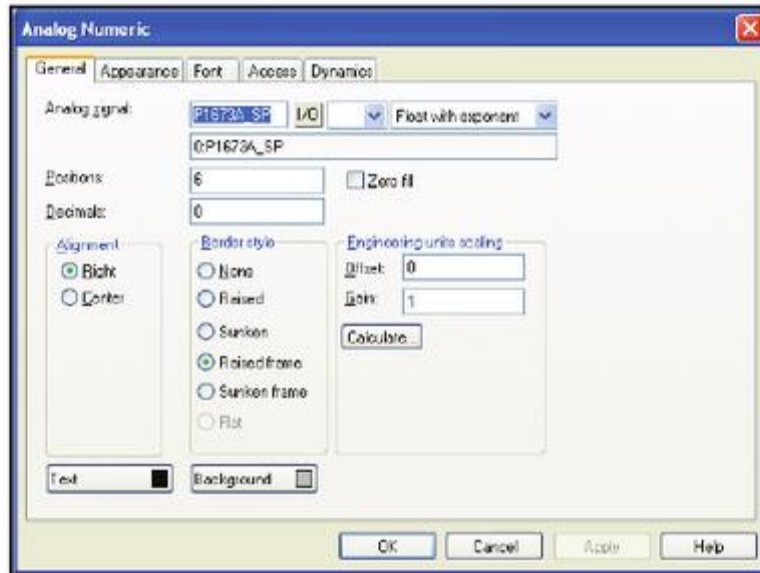


Fig. 5.9. Asociación del Indicador analógico a una variable del proyecto.

Los campos *offset* y *gain* se utilizan para el manejo de valores decimales, ya que la comunicación con el PLC se realiza con formato de enteros.

Una vez finalizado el proyecto, se debe descargar al panel mediante la opción *Transfer – Project*. La transferencia se puede llevar a cabo utilizando un cable serie RS232 o a través del puerto ethernet. El proyecto quedará almacenado en una memoria no volátil pudiendo ser editado con posterioridad.

A continuación, se describirán los lineamientos generales para la vinculación de un panel operador Siemens modelo OP3 (ver la Fig. 5.10) con un PLC de la línea S7-200. El intercambio de información entre el PLC y el panel se realiza mediante el puerto integrado en la CPU. El objetivo del ejemplo es acceder desde el panel al valor prefijado de un temporizador ubicado en la lógica del PLC.



Fig. 5.10. Panel operador Siemens modelo OP3.

Para ello, el primer paso es realizar el programa en el PLC utilizando una variable de usuario, por ejemplo la VW102, en lugar de un valor fijo (ver la Fig. 5.11).

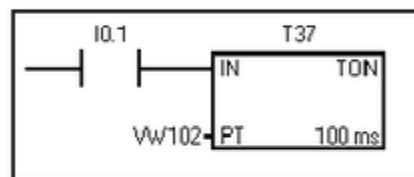
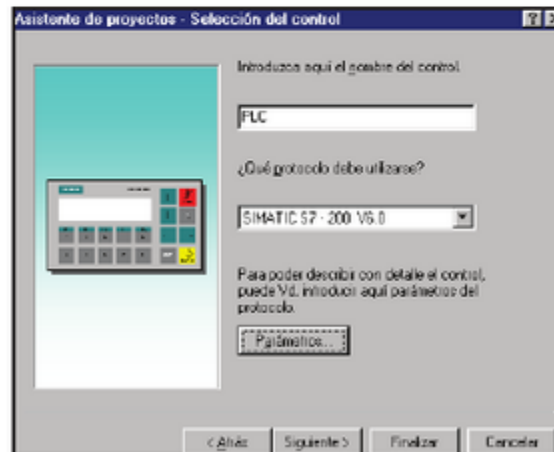


Fig. 5.11. Programación de un temporizador utilizando una variable de usuario como tiempo prefijado.

El software de programación utilizado es el ProTool, que permite la programación de los paneles OP3. En él se debe especificar el equipo a programar y la interfaz de comunicación (ver la Fig. 5.12).

Fig. 5.12. Selección del modelo de panel y la interfaz de comunicación.



Es de suma importancia corroborar que la velocidad de comunicación, el protocolo y la dirección del dispositivo al que se va a acceder son correctas.

En el software se deben crear las variables, que son el vínculo a las posiciones de memoria del PLC dónde se desea acceder. En su configuración se le indicará un nombre con el cual se reconocerá en el programa del OP, la dirección y la región de la memoria del PLC en la que se encuentra el dato. En la Fig. 5.13 se muestran las opciones elegidas para el caso de la variable VW102.

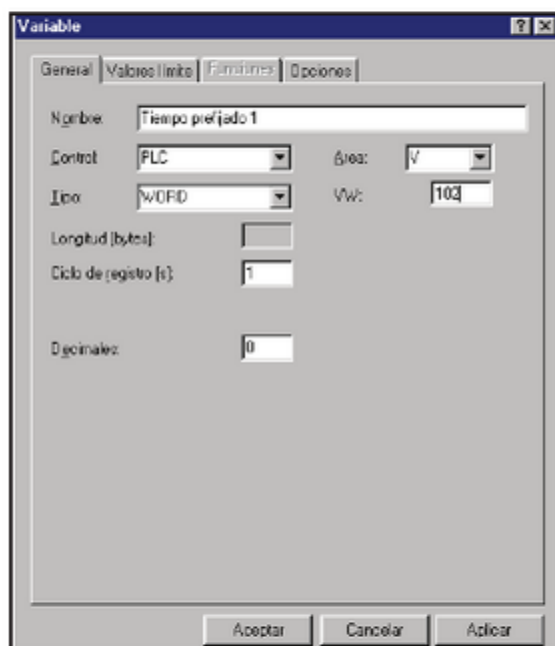


Fig. 5.13. Ventana de configuración de las variables del panel.

Luego se deberá configurar una imagen específica. Como el panel utilizado es de textos únicamente, aparecerá una grilla como la mostrada en la Fig. 5.14. Cada renglón de la misma, numerado con 01, 02, etc., corresponde a una pantalla del panel, que podrán alternarse con el uso de las teclas de cursor en el momento en que esté corriendo el programa.

Para la confección, se escribirá directamente el mensaje a mostrar y se insertará un campo de entrada/salida, que es, en definitiva, alguna de las variables que se crearon con anterioridad.

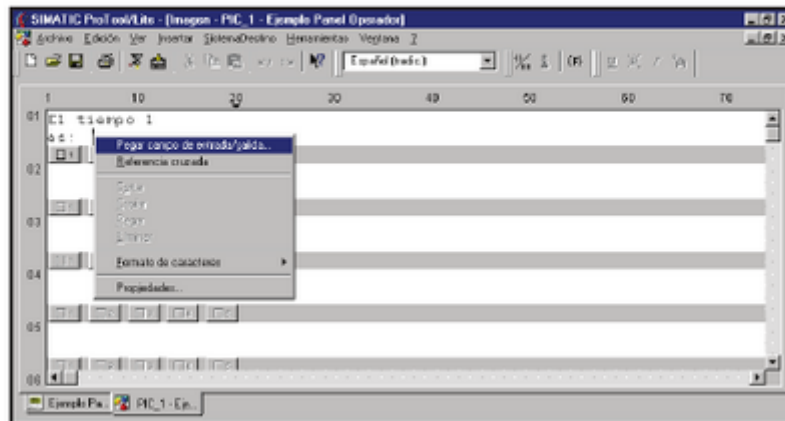


Fig. 5.14. Configuración de la imagen del panel.

Una vez finaliza la confección del programa, sólo resta descargarlo al panel presionando el botón transferir (ver la Fig. 5.15). Previo a la transferencia, debemos asegurarnos que las propiedades de la interfaz se encuentren bien configuradas.

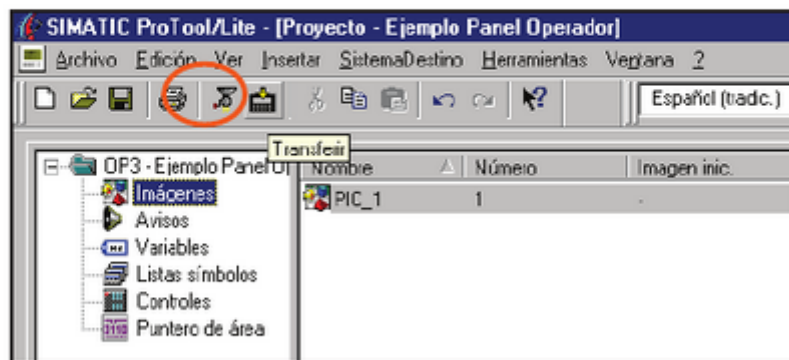


Fig. 5.15. Descarga del programa al panel de proceso.

## Redes de PLC

Las redes de comunicación relacionadas con los PLC cubren una amplia gama de aplicaciones, permitiendo vincular a los mismos con computadoras, con fines de programación, operación, supervisión, adquisición de datos, tele-supervisión, etc., con otros PLC, con fines de intercambio limitado de datos para sincronizar o enclavar distintas máquinas o procesos, o bien con sensores o actuadores de campo a través de módulos de entradas y salidas a distancia comprendidos en unidades remotas (UR).

Existen diferentes clases de redes industriales, por ejemplo Profibus, Fieldbus Foundation, Hart, etc. Cada una de ellas soporta diferentes medios físicos y utiliza un protocolo específico, el cual constituye el conjunto de reglas y convenciones que establecerán el idioma de comunicación entre los interlocutores. Por otra parte, cada tipo de red se encuentra optimizada para una determinada comunicación.

La conexión de cada sensor o actuador al PLC se puede realizar a través de cables individuales, o bien mediante una comunicación digital. En este caso, los dispositivos comparten una única línea bidireccional para comunicarse con el PLC, brindando prestaciones de gran trascendencia a los sistemas de automatización, como ser: economía de cableado, programación a distancia de los dispositivos de campo, recepción de información para diagnóstico, distribución de las funciones de control entre los dispositivos de campo (control distribuido real), facilidades de sustitución y modularidad, etc.

En esta sección se mencionan las características de los diferentes tipos de redes industriales y la forma cómo éstas sirven para la comunicación entre el PLC con dispositivos de campo remotos.

## Redes Industriales

Las redes se suelen dividir en niveles jerárquicos en función de su utilización y los requerimientos necesarios de velocidad y volumen de información a transportar. Por lo general esta división se realiza en cuatro niveles, como lo muestra la Fig. 5.16:

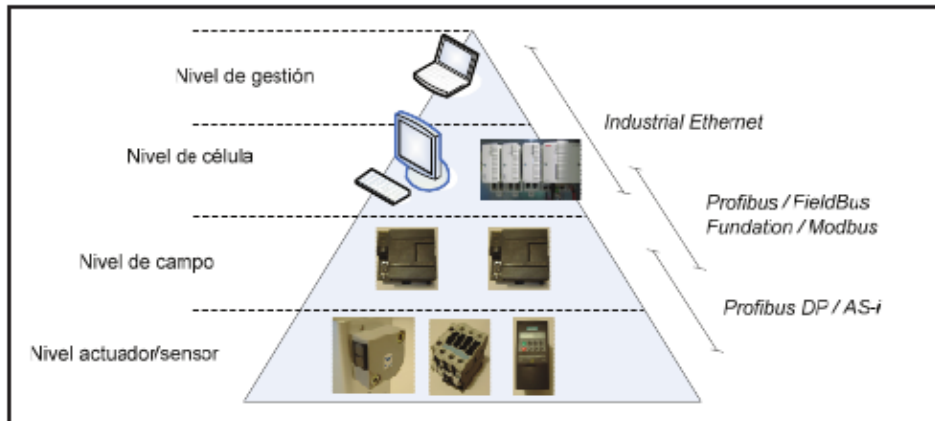


Fig. 5.16. Niveles jerárquicos de las redes industriales.

- Nivel de gestión.** Se manejan tareas generales que conciernen al proceso en su forma global. Algunas de esas funciones son el análisis y el almacenamiento de los valores del proceso, otras son para optimizar y presentar reportes de producción. Los datos necesarios se recolectan y procesan para ser compartidos por toda la empresa, con independencia de su ubicación. Desde este nivel es factible acceder a otros niveles inferiores. La cantidad de estaciones soportadas puede ser superior a 1000 y el tiempo máximo de refresco de la información llega hasta 1 s.
- Nivel de célula.** Se administran autónomamente todas las tareas de automatización y optimización del proceso. En este nivel están interconectados los autómatas, las PC y los equipos para el funcionamiento y la operación del sistema. Suele ser en este nivel donde se intercambia información entre los sistemas de automatización con tareas bien definidas.
- Nivel de campo.** Sirve de nexo entre las instalaciones y los autómatas programables. Los dispositivos de campo miden, señalizan y retransmiten a las instalaciones las órdenes recibidas del nivel de célula. En general, se transmiten pequeñas cantidades de datos, pero con requerimientos de velocidad superior al de nivel de célula. En este caso, la velocidad máxima de refresco de la información no debe superar los 100 ms y es típica una comunicación jerarquizada, es decir varios dispositivos de campo se comunican con un maestro (*master*).

- **Nivel de actuador/sensor.** Un maestro se comunica con los actuadores y los sensores conectados a su subred. Son característicos aquí tiempos de respuesta rápidos (menores a 10 ms) y un número reducido de bits de datos.

## Red Profibus

Profibus es un tipo de red empleada por excelencia para los niveles de célula, de campo y de actuador/sensor. Se utiliza para transmitir cantidades pequeñas o medianas de datos. La velocidad está comprendida entre 9,6 Kb/s y 12 Mb/s, y se pueden conectar un máximo de 127 estaciones.

La capa física de una red Profibus puede ser:

- Cable a dos hilos apantallado.
- Red de fibra óptica.
- Red de transmisión inalámbrica.

La red Profibus-DP es una clase de red Profibus que cumple los elevados requisitos de tiempo que se imponen para el intercambio de datos con los sensores y los actuadores, con un tiempo de refresco de la información de 10 ms, aproximadamente.

La configuración DP típica tiene una estructura con un único maestro. La comunicación entre el maestro y los esclavos DP se efectúa según el principio maestro-esclavo (*master-slave*). El maestro dirige todo el tráfico de datos en el bus, esto significa que los esclavos DP sólo pueden actuar en el bus después de solicitarlo el maestro. A tal efecto, los esclavos DP son activados sucesivamente por el maestro conforme a una lista de llamadas, donde cada esclavo dispone de una dirección única en la red.

Entre el maestro y el esclavo DP se intercambian los datos útiles de forma cíclica, sin tener en consideración su contenido. Una vez configurada, es posible acceder a la información de la periferia, conectada a la red Profibus como esclavo DP, igual que a cualquier otra unidad periférica situada en el módulo central o de ampliación.

El medio físico más frecuente para una red Profibus-DP es la interfaz de tensión balanceada RS-485 sobre un cable trenzado y apantallado. Las velocidades típicas van desde 9,6 Kb/s a 1,5 Mb/s. Se pueden conectar hasta 32 dispositivos sin repetidores, y hasta 127 con repetidores. La máxima longitud del cable depende de la velocidad de transmisión que se emplee (ver la Tabla 5.1).

**Tabla. 5.1.** Relación entre la distancia y la velocidad en una red Profibus-DP.

Bit Rate (Kb/s)	9,6	19,2	93,75	187,5	500	1500	12000
Longitud (m)	1200	1200	1200	100	400	200	100

Para longitudes más extensas es posible utilizar fibra óptica, lo cual además permite una elevada velocidad de transmisión (12 Mb/s) y gran inmunidad al ruido electrostático. En la Fig. 5.17 se puede observar un conversor Profibus de medio físico eléctrico a óptico, marca Phoenix Contact.

**Fig. 5.17.** Conversor Profibus de medio físico eléctrico a óptico, Phoenix Contact.

## Unidades Remotas

Cuando una sola base de montaje o bastidor no alcanza para alojar a los módulos de entradas y salidas necesarios en una configuración, muchos controladores permiten el agregado de más bases de montaje, que son comandadas desde la CPU instalada en la base inicial. Los bastidores de expansión requieren un módulo de comunicación para la interconexión con el bastidor central que contiene a la CPU. Este tipo de conexión se denomina expansión local (E/S locales) y la distancia depende de la interfaz de comunicación utilizada (eléctrica u óptica).

Otro tipo de expansión permite alejar a los bastidores adicionales, constituyendo lo que se denomina sistema de entradas y salidas remotas o distribuidas. La conexión entre bastidores se realiza, generalmente, por un cable del tipo par retorcido o una fibra óptica. Con este concepto de E/S remotas se logran increíbles ahorros de cableado e instalación.

Si tomamos como ejemplo una planta con una sala de control, donde se aloja el bastidor con la CPU, y un centro de control de motores (CCM) con 200 puntos de entradas y salidas distante a 100 metros, veremos que si usamos un controlador con todas sus entradas y salidas en la sala de control, el tendido de cables será de 200 cables bipolares de 100 metros cada uno, lo que serían 20 km de cable bipolar. Si en cambio colocamos un bastidor remoto en el centro de control de motores, sólo utilizaremos 50 metros de un único cable de par retorcido o fibra óptica.

Las configuraciones con E/S remotas requieren un módulo especial, que se ubica en el bastidor de la CPU, y desde allí parte el cable hacia los bastidores remotos; en éstos se deben instalar módulos controladores de bases remotas. En el caso de utilizarse una comunicación Profibus-DP, se instalará en la CPU el maestro y cada unidad remota tendrá un esclavo Profibus (ver la Fig. 5.18).

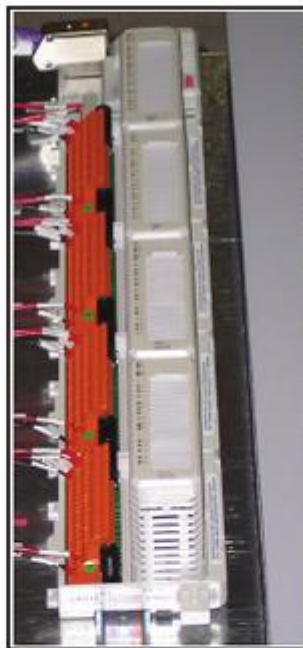


Fig. 5.18. Unidad remota con comunicación Profibus-DP.

El protocolo de comunicación contempla controles sobre la información transmitida para dar seguridad al sistema ante interferencias en el cable. Para la CPU, el sistema es totalmente transparente y ella sólo accede a las entradas y salidas sin importar dónde están ubicadas, los módulos de E/S remotas se encargan de intercambiar las órdenes.