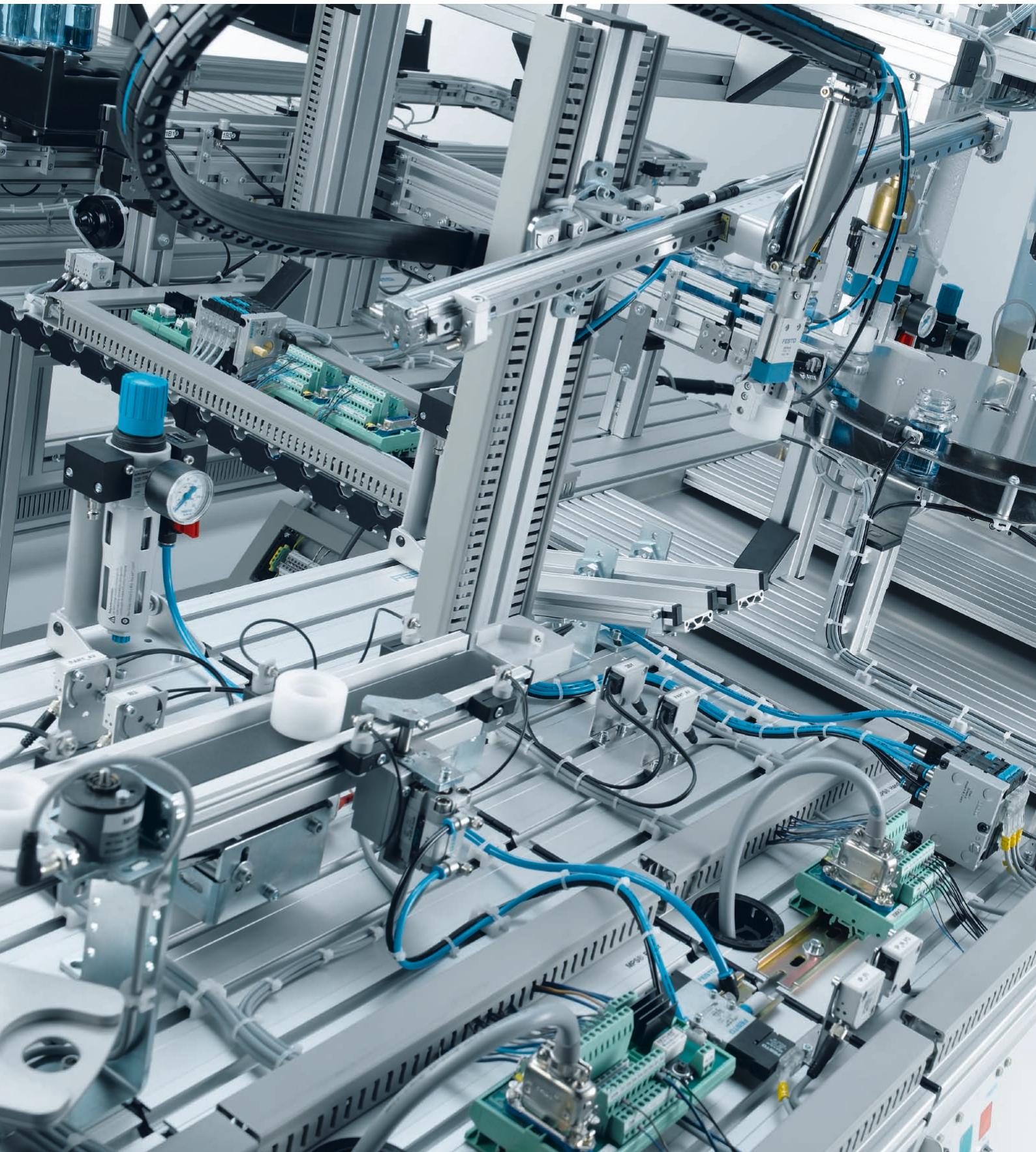


# Fundamentos de la técnica de automatización

## Libro técnico

**FESTO**



Referencia: 563062  
Actualización: enero de 2008  
Autores: F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz  
Redacción: Reinhard Pittschellis  
Gráficos: Doris Schwarzenberger  
Layout: 06/2008, F. Ebel, S. Durz

© Festo Didactic GmbH & Co. KG, 73770 Denkendorf, Alemania, 2007

Internet: [www.festo-didactic.com](http://www.festo-didactic.com)

e-mail: [did@de.festo.com](mailto:did@de.festo.com)

Se permite el multicopiado de partes del presente documento por el usuario autorizado, aunque únicamente con fines didácticos.

**Importante**

Se sobreentiende que el uso de términos en género masculino (por ejemplo, estudiante, instructor, etc.) incluye también los correspondientes términos de género femenino. Se prescinde de la alusión explícita a los dos géneros únicamente con el fin de no complicar la formulación de las frases y facilitar la lectura.

## Contenido

<b>1</b>	<b>¿Cómo trabajan los ingenieros?</b>	7
1.1	Dibujos técnicos y listas de piezas	8
1.2	Esquemas de distribución	11
1.3	Diagramas de flujo y programas	12
1.4	Esquemas técnicos y diagramas esquemáticos	13
1.5	Cálculos y simulación	14
<b>2</b>	<b>La técnica de la automatización como parte de las ciencias de ingeniería</b>	15
2.1	Importantes etapas en la historia del desarrollo de la técnica de la automatización	15
2.2	Consecuencias de la automatización para el ser humano	17
<b>3</b>	<b>Fundamentos de la ingeniería eléctrica</b>	19
3.1	Corriente continua y corriente alterna	19
3.2	Resistencia eléctrica y potencia eléctrica	20
3.2.1	Conductor eléctrico	20
3.2.2	Resistencia eléctrica	20
3.2.3	Ley de Ohm	21
3.2.4	Potencia eléctrica	21
3.3	Funcionamiento de un electroimán	22
3.3.1	Estructura de un electroimán	23
3.3.2	Aplicaciones de electroimanes	23
3.4	Funcionamiento de un condensador eléctrico	24
3.5	Funcionamiento de un diodo	25
3.6	Funcionamiento y estructura de interruptores y conmutadores.	26
3.6.1	Contacto normalmente abierto	26
3.6.2	Contacto normalmente cerrado	27
3.6.3	Comutador	27
3.7	Relés y contactores	28
3.7.1	Aplicaciones de relés	28
3.7.2	Estructura de un relé	29
3.7.3	Relé de temporización	30
3.8	Funcionamiento y construcción de una unidad de alimentación	32
3.9	Mediciones en un circuito eléctrico	33
3.9.1	Forma de proceder al efectuar mediciones en un circuito eléctrico	34

<b>4</b>	<b>Detectores</b>	37
4.1	Detectores de posición	37
4.1.1	Detectores magnéticos	38
4.1.1	Detectores electrónicos	39
4.1.2	Detectores de posición inductivos	40
4.1.3	Detectores de posición capacitivos	41
4.1.4	Detectores de posición ópticos	42
4.2	Sensores de presión	45
4.2.1	Presostato mecánico con señal de salida binaria	45
4.2.2	Presostato electrónico con señal de salida binaria	46
<b>5</b>	<b>Fundamentos de la neumática</b>	47
5.1	Fundamentos físicos	48
5.1.1	Unidades básicas	48
5.1.1	Unidades derivadas	48
5.1.2	Ley de Newton	48
5.1.3	Presión	49
5.2	Propiedades del aire	50
5.2.1	La ley de Boyle-Mariott	50
5.2.2	Ley de Gay-Lussac	51
5.2.3	Ecuación general de gases	52
5.3	Los componentes individuales de un sistema de control neumático y sus funciones	53
5.4	Funciones y características de actuadores: cilindros neumáticos	55
5.4.1	Cilindro de simple efecto	55
5.4.2	Cilindro de doble efecto	55
5.4.3	Regulación de la velocidad en cilindros de simple efecto	56
5.4.4	Regulación de la velocidad en cilindros de doble efecto	58
5.5	Funciones y características de válvulas neumáticas	60
5.5.1	Denominación y símbolos de válvulas neumáticas	61
5.5.2	Tipos de accionamiento de válvulas neumáticas	62
5.5.3	Accionamiento de un cilindro de simple efecto	62
5.5.4	Accionamiento de un cilindro de doble efecto	63
5.6	Funciones y características de actuadores neumáticos	64
5.6.1	Actuadores guiados, actuadores lineales sin vástago y actuadores giratorios	64
5.6.2	Pinzas neumáticas	65
5.7	Inclusión de unidades de control neumáticas en el esquema de distribución	67
5.7.1	Símbolos en esquemas de distribución	68

<b>6</b>	<b>Actuadores eléctricos</b>	71
6.1	Principios físicos y técnicos del motor de corriente continua	71
6.1.1	Accionamiento de motores de corriente continua	74
6.1.2	Electroimanes como actuadores sencillos	76
<b>7</b>	<b>Fundamentos de la técnica de control</b>	77
7.1	Estructura y funcionamiento de un control lógico programable (PLC)	79
7.2	Fundamentos de matemáticas: enlaces lógicos básicos	80
7.2.1	Datos generales	80
7.2.2	Afirmación (función de S)	80
7.2.3	Negación (función de NO)	81
7.2.4	Conjunción (función de Y)	82
7.2.5	Disyunción (función de O)	83
7.2.6	Otros enlaces lógicos	85
7.3	Ejemplos de la configuración de un sistema de control	87
<b>8</b>	<b>Utilización de relés en la electroneumática</b>	89
8.1	Accionamiento directo e indirecto con relés	89
8.1.1	Accionamiento directo de un cilindro de simple efecto	90
8.1.2	Accionamiento indirecto de un cilindro de simple efecto	90
8.1.3	Control de un cilindro de doble efecto	91
8.2	Enlaces lógicos con relés	92
8.2.1	Conexión en paralelo (enlace de O)	92
8.2.2	Conexión en serie (función de Y)	93
8.3	Memorización de señales con relé y electroválvula biestable	94
8.3.1	Memorización de la señal mediante un circuito con relés y función de autorretención	94
8.3.2	Control manual de avance y retroceso con relés y autorretención	95
8.3.3	Memorización de señales mediante una electroválvula biestable	96
8.3.4	Control automático del retroceso mediante una electroválvula biestable	97
8.3.5	Comparación entre la memorización de señales con un relé con función de autorretención y una electroválvula biestable	97
8.4	Comutación retardada con relé	98
8.4.1	Control de un cilindro en función del tiempo	98
<b>9</b>	<b>Controles lógicos programables (PLC)</b>	99
9.1	Datos generales	99
9.2	Símbolos lógicos del software de control FluidSIM®	100
9.3	Programación de un sistema de control lógico con un PLC	101
9.3.1	Ejemplo 1: Autorretención	101
9.3.2	Ejemplo 2: Enlace de Y, temporizador	102
9.4	Programación de un mando secuencia con cadenas de pasos secuenciales	104



## 1 ¿Cómo trabajan los ingenieros?

Las ciencias de ingeniería, al igual que las ciencias humanísticas, sociales y naturales, son una disciplina académica propia y, por lo tanto, tienen sus propios conceptos técnicos, procedimientos y medios. Se sobreentiende que se basan en otras ciencias y las utilizan, especialmente las matemáticas y la física, aunque también las ciencias sociales. Sin embargo, estas otras ciencias también recurren en buena medida a los resultados de la investigación realizada en el ámbito de las ciencias de ingeniería.

A diferencia de las ciencias naturales, las ciencias de ingeniería no se dedican únicamente al descubrimiento de leyes naturales; su objetivo más bien consiste en encontrar soluciones técnicas para satisfacer necesidades del ser humano.

Por lo tanto, el ingeniero siempre se pregunta primero cómo solucionar un problema determinado. Esta actitud redonda en formas de trabajo que son típicas en las ciencias de ingeniería, como la forma de pensar en cajas negras. Ello significa que utilizan sistemas técnicos para sus fines, sin que tengan que saber exactamente cómo funcionan sus partes. Al ingeniero le basta saber que un aparato que recibe un “input” (entrada) determinado ofrece un “output” (salida) determinado.

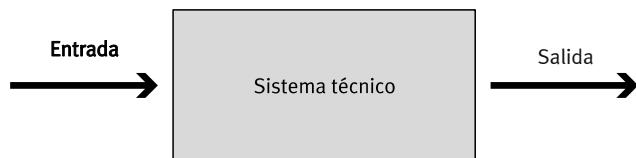


Figura 1.1: La caja negra de un sistema técnico

Un ejemplo: En máquinas automáticas se utilizan motores eléctricos de diversos tamaños y de potencias diferentes. El ingeniero encargado del diseño de una máquina no tiene que saber cómo funciona exactamente el motor eléctrico. Es suficiente que sepa seleccionar el motor apropiado en función de diversos parámetros como dimensiones, momento de giro, revoluciones, consumo de corriente, potencia, etc.

La situación es diferente, claro está, si el ingeniero está a cargo de la construcción de motores eléctricos. En ese caso, debe disponer de conocimientos detallados sobre el funcionamiento y las características físicas del motor eléctrico y de todas sus partes.

Otra característica de las ciencias de ingeniería consiste en la forma de representar las soluciones técnicas. Los ingenieros y técnicos recurren a medios descriptivos estandarizados, que se entienden en todo el mundo y que, por lo general, son medios gráficos. Los más importantes son los siguientes:

- Dibujos técnicos y listas de piezas
- Esquemas de distribución
- Diagramas de flujo y programas
- Esquemas técnicos y diagramas esquemáticos

### 1.1 Dibujos técnicos y listas de piezas

La configuración de los productos se describe mediante dibujos técnicos. En ellos se especifican detalladamente las dimensiones, tolerancias, calidades de la superficie, materiales de las piezas (dibujos acotados) y la forma de efectuar el montaje para obtener grupos funcionales (dibujos de montaje).

La configuración y los lados de una pieza dibujada sobre papel se rigen por la regla de planos abatibles, lo que significa que cada plano de la pieza se muestra girada en 90°. De esta manera es posible representar como máximo seis planos de la pieza. Pero por lo general sólo se muestra la cantidad de planos necesaria para que consten todas las medidas que se necesitan para la fabricación de la pieza. En la figura 1.2 se muestra un ejemplo de un dibujo acotado.

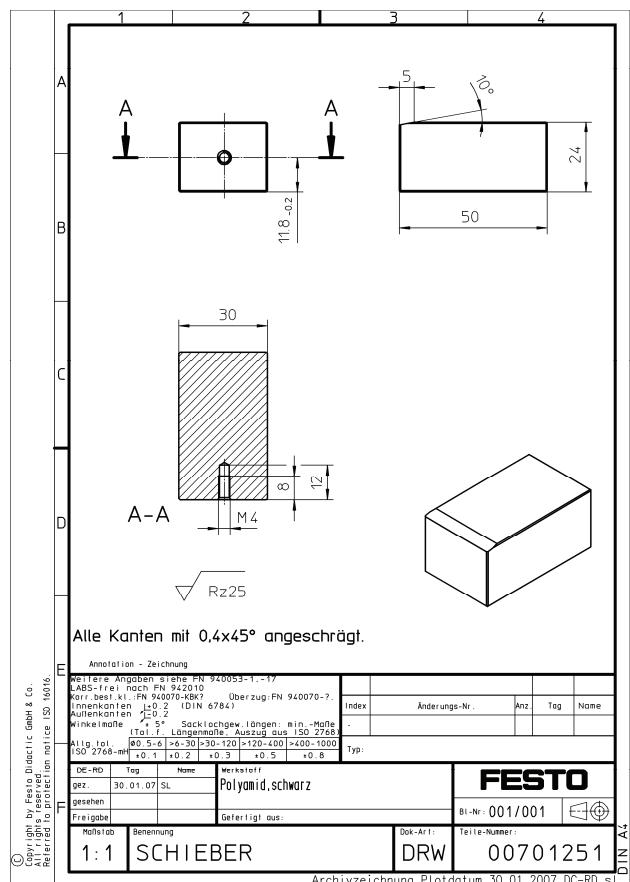


Figura 1.2: Dibujo acotado del cilindro empujador de un cargador (tamaño original A4)

Los dibujos de montaje muestran cómo el producto o el grupo están compuesto de piezas individuales. En estos dibujos se incluyen menos dimensiones y, en cambio, se indican las denominaciones precisas de cada una de las piezas (ver figura 1.3).

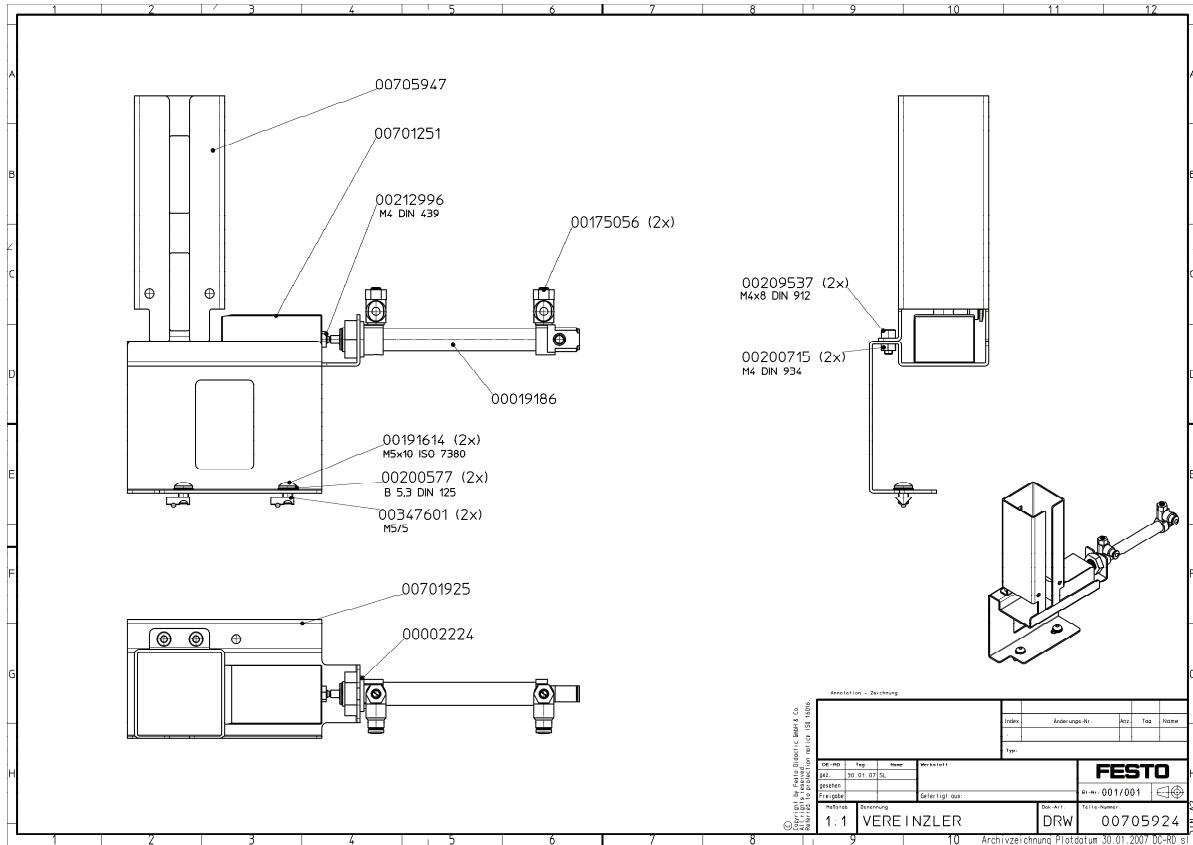


Figura 1.3: Dibujo de montaje del cargador (tamaño original A3)

Las piezas individuales se incluyen en una lista de piezas en la que consta la cantidad que se necesita de cada una de las piezas para efectuar el montaje del producto (ver tabla 1.1).

Cantidad	Número de material	Referencia
1	00705947	Tubo de caída
1	00701251	Corredera
1	00701925	Cuerpo básico
1	00019186	Cilindro neumático DSNU 10-50-PA
2	00175056	Válvula reguladora GRLA-M5-QS-4-LF-C
2	00191614	Tornillo de gota de sebo M5 x10 ISO 7380
2	00200577	Arandela B 5,3 DIN 125
2	00347601	Tuerca con cabeza de martillo M5
2	00209537	Tornillo Allen M4 x 8 DIN 912
2	00200715	Tuerca M4 DIN 934
1	00002224	Anillo de junta

Tabla 1.1: Ejemplo de lista de piezas (relacionada con la figura 1.3)

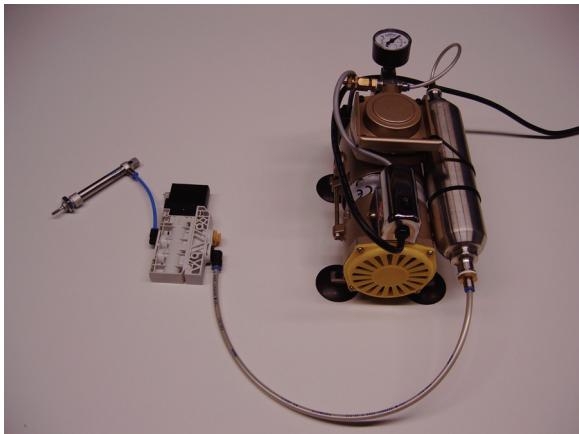
Cada pieza tiene su propio dibujo acotado para su representación exacta. Únicamente las piezas normalizadas o estándar adquiridas de proveedores, como, por ejemplo, tornillos, rodamientos de bolas, no tienen dibujos propios de Festo. Las piezas estándar de terceros que se incluyen en las listas de piezas pueden identificarse de modo sencillo, ya que se hace referencia a la norma correspondiente como, por ejemplo, DIN 125 o ISO 7380.

Los ingenieros utilizan piezas normalizadas siempre que sea posible, ya que diversos fabricantes especializados las ofrecen a precios ventajosos, con la calidad exigida y en las cantidades necesarias. Por lo general, es más económico adquirir estas piezas de terceros que fabricarlas internamente. El uso de estas piezas normalizadas o estándar no solamente simplifica el diseño de los productos, sino también consigue que las reparaciones sean más sencillas en caso de producirse un fallo.

## 1.2 Esquemas de distribución

Mientras que los dibujos técnicos muestran el exterior de los productos, los esquemas de distribución explican cómo están unidos entre sí los componentes eléctricos, neumáticos o hidráulicos de un sistema o equipo técnico. Independientemente de la forma real de los componentes, en estos esquemas siempre se utilizan símbolos estandarizados que se refieren al funcionamiento y no a la forma de dichos componentes. Por ello, los esquemas de distribución son mucho más abstractos que los dibujos técnicos.

En la figura 1.4 se muestra el esquema de distribución de un sistema neumático real.



cilindro de simple

3/2-válvula magnética

compresor

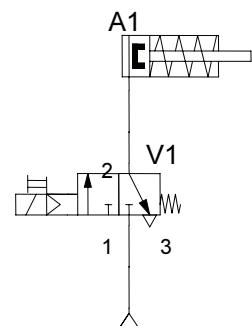


Figura 1.4: Componentes reales representados en el esquema neumático

Para no perder la orientación en un esquema, los componentes, las conexiones, etc., están numerados. Los componentes montados en la máquina se identifican de la misma manera, para que sea posible encontrarlos posteriormente en el esquema de distribución.

### 1.3 Diagramas de flujo y programas

La mayoría de los sistemas de control modernos están constituidos por programas de control. Ello significa que un programa informático se encarga de coordinar y controlar cada una de las operaciones. Para resolver las numerosas tareas técnicas se crearon lenguajes de programación específicos como, por ejemplo, Fortran (Formula Translation) principalmente para tareas matemáticas, Cobol (Common Business Oriented Language) para programas de contabilidad, diagramas escalonados para controles de enlaces lógicos y Basic (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code), un lenguaje fácil de aprender y también apropiado para principiantes.

Ejemplo de la redacción de un programa sencillo:

Antes de empezar con la programación, se desarrolla el algoritmo en forma de un diagrama de flujo. En la figura 1.5 se muestra un diagrama de flujo que representa la siguiente secuencia de mando:

- Se comprueba el estado de conmutación de los pulsadores 1 y 2.
- Si su estado es 1 (activado), el cilindro avanza.
- En todos los demás casos se repite la consulta.

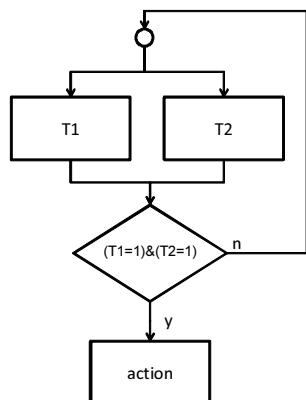


Figura 1.5: Diagrama de flujo

El programa en Basic para la secuencia que se muestra en la figura 1.5 podría ser el siguiente:

```
10    T1 = Pulsador 1
20    T2 = Pulsador 2
30    If (T1 = 1) and (T2 = 1) then cilindro avanza, else goto 10
```

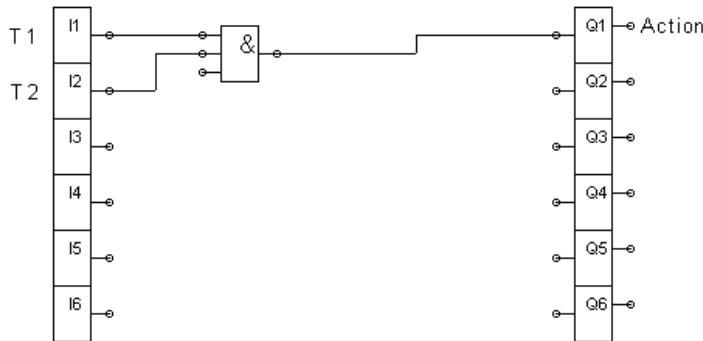


Figura 1.6: Programa lógico

### Esquemas técnicos y diagramas esquemáticos

Un esquema técnico, también llamado diagrama esquemático, se utiliza para explicar gráficamente el funcionamiento de una máquina. El grado de abstracción puede variar según la finalidad, aunque es importante que las relaciones recíprocas entre los componentes y grupos y su distribución queden reflejadas del modo más realista posible. Para explicar las relaciones existentes, es posible atribuir las mismas denominaciones que en el programa o en el esquema de distribución a los detectores y actuadores incluidos en el esquema técnico. En la figura 1.7 se muestra un ejemplo.

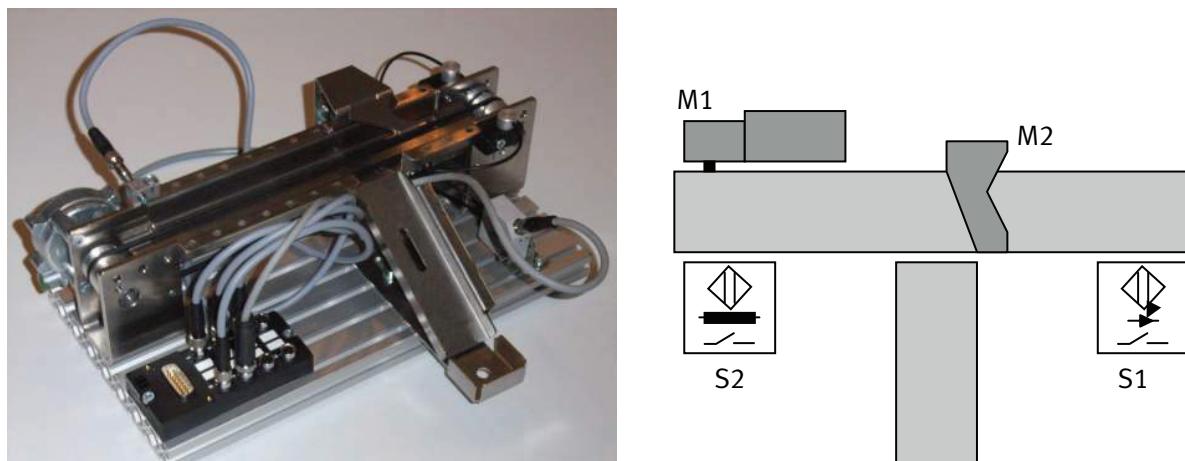


Figura 1.7: Imagen y diagrama esquemático del módulo «cinta transportadora»

#### 1.4 Cálculos y simulación

Uno de los pasos más importantes de todo el proceso de desarrollo consiste en calcular y configurar los componentes. En muchos casos, las leyes incluso exigen datos específicos relacionados con la resistencia de los productos (por ejemplo, en la arquitectura o en la aeronáutica), con el fin de evitar peligros ocasionados por máquinas o sistemas demasiado débiles. Además, con frecuencia deben realizarse cálculos para garantizar el buen funcionamiento de las máquinas en cualquier circunstancia. El cálculo de fuerzas y momentos de giro son ejemplos de cálculos necesarios para configurar actuadores. Lo mismo sucede con el cálculo de intensidades eléctricas para la configuración de redes de cables.

Las simulaciones están estrechamente relacionadas con los cálculos. Siempre que es posible, los ingenieros efectúan simulaciones para comprobar el funcionamiento de la solución que proponen y para realizar las mejoras necesarias, antes de construir un prototipo que suele ser muy costoso.

Un buen ejemplo es el programa FluidSIM®, con el que los estudiantes pueden hacer pruebas simuladas con sus soluciones neumáticas, lógicas o eléctricas, antes de proceder al montaje de la solución. Si el esquema funciona, el esquema de distribución propuesto puede utilizarse para controlar el modelo real. Además, las simulaciones tienen la ventaja de permitir que varios estudiantes puedan dedicarse a la vez a la solución de una tarea, necesitándose una menor cantidad de componentes didácticos reales.

## **2 La técnica de la automatización como parte de las ciencias de ingeniería**

Ejemplos de especialidades de la ciencia de ingeniería:

- Ingeniería mecánica
- Ingeniería eléctrica
- Ingeniería de las técnicas de fabricación
- Ingeniería de la construcción
- .....

Todas tienen en común la investigación, la obtención de soluciones técnicas y su aplicación. Se distinguen por la materia que tratan y por la orientación de cada especialidad.

La técnica de la automatización es una disciplina que abarca varias especialidades y que, por lo tanto, recurre a conocimientos y métodos de diversas ciencias de ingeniería. La norma DIN 19223 define un autómata como un sistema artificial que se comporta de determinadas maneras relacionando comandos de entrada con estados del sistema, con el fin de obtener las salidas necesarias para solucionar tareas.

Para configurar procesos automáticos modernos se necesitan tres componentes:

- Sensores para captar los estados del sistema
- Actuadores para emitir los comandos de control
- Unidades de control para la ejecución del programa y para tomar decisiones

### **2.1 Etapas importantes en la historia del desarrollo de la técnica de la automatización**

Hoy en día, cuando se usa el concepto «técnica de la automatización», se piensa en robots industriales y en sistemas de control mediante ordenadores. Pero, en principio, la técnica de la automatización empezó mucho antes en los talleres artesanales y en las plantas industriales. Concretamente, desde que se empezó a utilizar la máquina de vapor de James Watt en el año 1769. Fue la primera vez que la fuerza humana o animal fue sustituida por una máquina.

Estas máquinas de vapor se utilizaban para extraer el agua de las galerías en las minas o para el funcionamiento de máquinas herramienta. Una sola máquina de vapor podía poner en funcionamiento varias máquinas a través de una complicada estructura de ejes y correas de cuero (correas de transmisión) instalados en el techo de la nave de la fábrica.

En 1820, el físico danés Oersted descubrió el electromagnetismo, Thomas Davenport desarrolló en 1834 el primer motor de corriente continua con conmutador de polos y un año después patentó su invento. Sin embargo, transcurrieron muchos años hasta que en 1866 se empezó a utilizar el motor eléctrico a gran escala. La utilización se generalizó cuando Werner von Siemens inventó la dinamo, que ofreció la posibilidad de generar corriente eléctrica de modo sencillo en grandes cantidades. A partir de entonces, el motor eléctrico fue sustituyendo a la máquina de vapor como elemento de accionamiento.

En 1913, Henry Ford introdujo el primer sistema de fabricación de productos en grandes series con cintas de transporte. El primer producto fabricado de esta manera fue el famoso automóvil Modelo T de Ford (fig. 2.1). Con este sistema no solamente aumentó considerablemente la productividad sino que el tiempo necesario para fabricar un automóvil se redujo de 750 horas a tan sólo 93 horas. También fue el inicio de la producción de automóviles en grandes series. Gracias al mayor nivel de productividad, la empresa Ford fue capaz de pagar en 1913 a sus trabajadores un sueldo de 5 dólares por una jornada laboral de 8 horas. El precio del Modelo T bajó a más o menos 600 dólares estadounidenses. El automóvil se transformó en un producto de consumo accesible para una gran parte de la población, con lo que perdió su carácter de exclusividad.

El trabajo científico realizado por el estadounidense Frederick Winslow Taylor sobre la fabricación mediante cintas o cadenas de montaje sirvió de base para la configuración de sistemas de producción constituidos por pasos de trabajo muy sencillos, de los que también podían hacerse cargo trabajadores sin instrucción especial alguna.

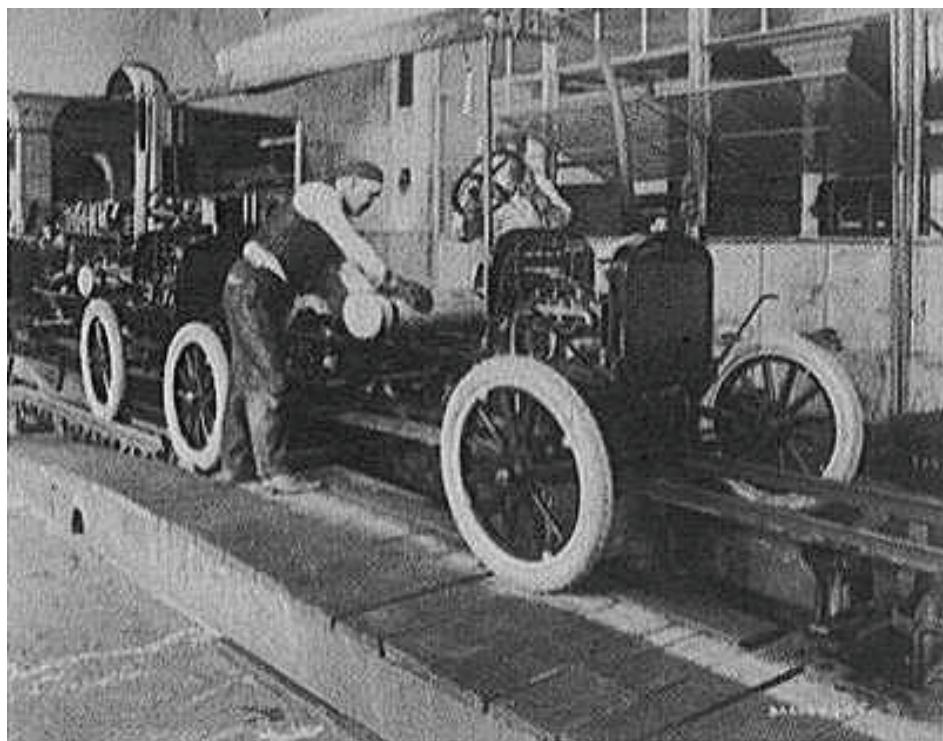


Figura 2.1: Cadena de montaje en Ford, 1921

En 1873 se otorgó una patente a una máquina automática para la fabricación de tornillos, en la que se utilizaban discos de levas para memorizar cada una de las secuencias del programa.

En 1837, Joseph Henry inventó un conmutador electromagnético que tomó el nombre de “relais” o relé, tal como se llamaban en francés las postas, es decir, el conjunto de caballerías que se apostaban a distancia de dos o tres leguas para que, cambiando los caballos, hicieran el viaje con más rapidez los viajeros y en especial el correo.

Primero, los relés fueron utilizados para amplificar las señales en las estaciones telegráficas que transmitían datos en código Morse. Posteriormente fueron incluidos en sistemas de control eléctricos. Estos sistemas de control, en los que se incluían relés fijamente cableados, se llamaron controles lógicos cableados. Este es un término que se sigue utilizando hasta el día de hoy. Cuando aparecieron los relés, fue posible realizar tareas de control más complejas, pero el diseño de los circuitos requería mucho tiempo debido al cableado y, además, la localización de fallos era muy complicada.

Joseph Engelberger presentó en 1959 el prototipo de un robot industrial que empezó a utilizarse a partir del año 1961 en las plantas de General Motors para fabricar automóviles. Aquél robot aún tenía actuadores hidráulicos. Posteriormente, los robots industriales tenían únicamente motores eléctricos.

Un equipo de investigadores estadounidenses de la empresa Allen Bradley, dirigidos por Odo Struger, desarrolló en 1968 el primer control lógico programable (PLC). A partir de entonces fue posible modificar un programa de manera sencilla, sin tener que modificar el cableado de una gran cantidad de relés.

Los robots industriales empezaron a difundirse en la producción industrial a partir del año 1970. Y su éxito perdura hasta la actualidad. Ningún sistema moderno de fabricación puede prescindir de robots industriales. Incluso se puede afirmar que su importancia va en aumento. Tan sólo en Alemania hay más de 100 000 robots, la mayoría de ellos en las fábricas de automóviles y en las plantas de los proveedores de ese mismo sector industrial.

## 2.2 Consecuencias de la automatización para el ser humano

Una de las razones principales para el uso de sistemas automatizados fue y sigue siendo la necesidad de producir a costos cada vez menores para ser competitivos. La técnica de la automatización contribuye a ese fin de varias maneras:

- En las secciones de fabricación automatizada se necesitan menos operarios.
- Se puede fabricar las 24 horas del día, interrumpiendo los procesos únicamente para realizar trabajos de mantenimiento.
- En términos generales, las máquinas cometen menos errores que los humanos, por lo que los productos tienen un alto y constante nivel de calidad.
- Los tiempos de los procesos son menores. Es posible entregar a los clientes más productos en menos tiempo.
- Gracias a la automatización, los operarios no tiene que hacer trabajos monótonos, pesados y peligrosos o nocivos para la salud.

Sin embargo, estas ventajas de la automatización se enfrentan a varias desventajas:

- Eliminación de puestos de trabajo, especialmente aquellos que pueden ocupar trabajadores de bajo nivel de cualificación (en vez de 10 trabajadores no cualificados, se necesita un solo operario cualificado, encargado del servicio técnico).
- La automatización de los procesos de fabricación implica que los operarios tomen decisiones específicas, cuyas consecuencias no puede apreciar en su totalidad debido al carácter complejo de las instalaciones.
- Los costos originados por un sistema automático tienen como consecuencia que los individuos asumen una mayor responsabilidad en relación con el éxito de la empresa.



### 3 Fundamentos de la ingeniería eléctrica

#### 3.1 Corriente continua y corriente alterna

Una de las tecnologías más importantes en automatización es la electrotecnia, porque la mayoría de los sistemas técnicos necesitan energía eléctrica para funcionar y, además, para procesar las señales de entrada. Por ello, a continuación se ofrecen informaciones generales sobre los fundamentos esenciales de la electrotecnia.

Un circuito eléctrico sencillo está compuesto por una fuente de tensión, una unidad consumidora y de los cables para la conducción de la energía eléctrica. En cualquier circuito eléctrico se aplica una regla muy sencilla: «Desde la fuente hacia la unidad consumidora y de regreso». En términos físicos, en un circuito eléctrico los portadores de carga eléctrica negativa, es decir, los electrones, avanzan a través del conductor desde el polo negativo de la fuente de tensión hacia el polo positivo. Este movimiento de los portadores de carga se llama corriente eléctrica. Una corriente eléctrica únicamente puede fluir si el circuito eléctrico está cerrado.

Se puede diferenciar entre corriente continua y corriente alterna:

- Si la tensión en un circuito siempre actúa en un mismo sentido, la corriente siempre fluye en un mismo sentido. En ese caso, se trata de corriente continua, es decir, de un circuito de corriente continua.
- Tratándose de corriente alterna, es decir, de un circuito de corriente alterna, la tensión y la intensidad cambian su sentido y carga en una frecuencia determinada.

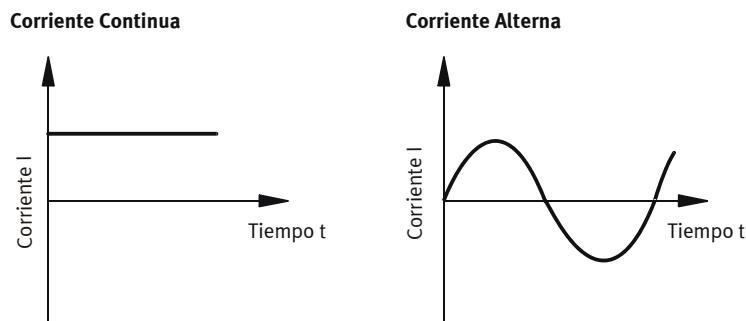


Figura 3.1: Corriente continua y corriente alterna en función del tiempo

En la figura 3.2 se muestra un circuito eléctrico sencillo de corriente continua, compuesto de una fuente de tensión, cables, un interruptor y una unidad consumidora (en el ejemplo, una bombilla).



Figura 3.2: Circuito de corriente continua

### Sentido técnico del flujo de la corriente

Cerrando el interruptor, fluye una corriente  $I$  a través de la unidad consumidora. Los electrones se mueven desde el polo negativo hacia el polo positivo de la fuente de tensión. Antes de conocerse la existencia de los electrones, se determinó que la corriente eléctrica fluía de «positivo» a «negativo». En la práctica, esta definición sigue siendo válida en la actualidad. Se trata de la definición técnica del sentido del flujo de la corriente eléctrica.

## 3.2 Resistencia eléctrica y potencia eléctrica

### 3.2.1 Conductor eléctrico

Bajo corriente eléctrica se entiende el movimiento rectificado de portadores de carga. Una corriente únicamente puede fluir en un material si éste contiene una cantidad suficiente de electrones libres. Los materiales que cumplen esta condición se llaman conductores eléctricos. Los metales cobre, aluminio y plata son conductores especialmente buenos. En la técnica de control se utiliza principalmente el cobre como material conductor.

### 3.2.2 Resistencia eléctrica

Cualquier material, aunque sea buen conductor, ofrece una resistencia a la corriente eléctrica. Esta resistencia se produce porque los electrones libres chocan con los átomos del material conductor, por lo que se inhibe su movimiento. En el caso de los materiales conductores, la resistencia es menor. Los materiales que ofrecen una gran resistencia al flujo de la corriente eléctrica se llaman aislantes eléctricos. Para aislar los cables eléctricos se utilizan materiales que son mezclas de goma o de plástico.

### 3.2.3 Ley de Ohm

La ley de Ohm describe la relación entre la tensión, la intensidad y la resistencia. Según esta ley, en un circuito eléctrico que tiene una resistencia determinada, la intensidad de la corriente cambia según cambia la tensión. Es decir:

- Si aumenta la tensión, también aumenta la intensidad.
- Si baja la tensión, también baja la intensidad.

$$U = R \cdot I$$

$U$  = Tensión Unidad: Voltios (V)

$R$  = Resistencia Unidad: Ohmios ( $\Omega$ )

$I$  = Intensidad Unidad: Amperios (A)

### 3.2.4 Potencia eléctrica

En la mecánica, la potencia se define en función del trabajo. Cuanto más rápidamente se ejecuta el trabajo, tanto mayor debe ser la potencia. Por lo tanto, potencia significa: trabajo por unidad de tiempo.

Tratándose de una unidad consumidora incluida en un circuito eléctrico, la energía eléctrica se transforma en energía cinética (por ejemplo, movimiento giratorio de un motor eléctrico), en radiación de luz (por ejemplo, lámpara eléctrica) o en energía térmica (calefacción eléctrica, lámpara eléctrica). Cuanto más rápidamente se transforma la energía, tanto mayor es la potencia eléctrica. Por lo tanto, en este caso potencia significa lo siguiente: energía transformada por unidad de tiempo. La potencia aumenta en la medida en que aumentan la intensidad y la tensión.

La potencia eléctrica de una unidad consumidora también se llama consumo eléctrico.

$$P = U \cdot I$$

$P$  = Potencia Unidad: Vatios (W)

$U$  = Tensión Unidad: Voltios (V)

$I$  = Intensidad Unidad: Amperios (A)

### Ejemplo de aplicación: Potencia eléctrica de una bobina

La bobina de una válvula (por ejemplo, la electroválvula de 4/2 vías de la estación de manipulación) se alimenta con una tensión continua de 24 V. La resistencia de la bobina es de  $60 \Omega$ .

- Calcule el consumo eléctrico de la bobina.

La intensidad se calcula con la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24 \text{ V}}{60 \Omega} = 0,4 \text{ A}$$

El consumo eléctrico se obtiene multiplicando la intensidad por la tensión:

$$P = U \cdot I = 24 \text{ V} \cdot 0,4 \text{ A} = 9,6 \text{ W}$$

La bobina consume 9,6 W.

### 3.3 Funcionamiento de un electroimán

Alrededor de cualquier conductor por el que fluye corriente eléctrica se crea un campo magnético. Si se aumenta la intensidad, aumenta el campo magnético. Los campos magnéticos tienen un efecto atrayente para piezas de hierro, níquel o cobalto. Esta fuerza de atracción aumenta al aumentar el campo magnético.

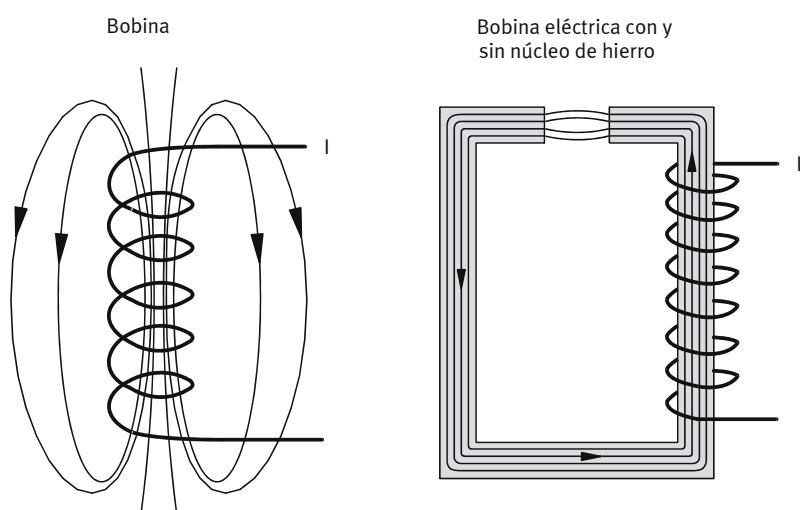


Figura 3.3: Bobina eléctrica con y sin núcleo de hierro y las correspondientes líneas de campo magnético

### 3.3.1 Estructura de un electroimán

Un electroimán tiene la siguiente estructura:

- El conductor, por el que fluye la corriente eléctrica, se arrolla en forma de una bobina (bobina sin núcleo). El campo magnético aumenta debido a la superposición de las líneas de campo de todas las espiras de la bobina (ver fig. 3.3).
- Se introduce un núcleo de hierro en la bobina. Si fluye corriente eléctrica, se magnetiza adicionalmente el hierro. Sin cambiar la intensidad, es posible obtener de esta manera un campo magnético mucho mayor que con una bobina sin núcleo.

Aplicando ambas medidas, un electroimán atrae piezas ferríticas con gran fuerza, aunque la intensidad sea pequeña.

### 3.3.2 Aplicaciones de electroimanes

En sistemas de control electroneumáticos, los electroimanes se utilizan principalmente para la conmutación de válvulas, relés o contactores. Ejemplo de aplicación: válvula de vías de reposición por muelle.

- Si fluye una corriente eléctrica a través de la bobina, se acciona el émbolo de la válvula.
- Si se interrumpe el flujo de corriente, el muelle presiona sobre el émbolo de la válvula para que vuelva a su posición inicial.

a)

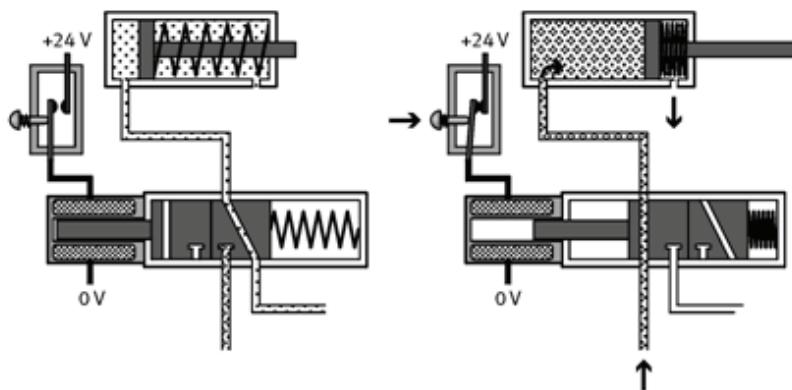


Figura 3.1: Funcionamiento de una electroválvula

### 3.4 Funcionamiento de un condensador eléctrico

Un condensador está compuesto por dos conductores (armaduras) separados por una capa aislante (dieléctrico). Si se conecta un condensador a una fuente de tensión continua (se cierra el pulsador S1 en la fig. 3.5), fluye brevemente una corriente de carga. Por ello, las dos armaduras se cargan eléctricamente.

Si, a continuación, se interrumpe la conexión con la fuente de tensión (se abre el pulsador S1), la carga queda almacenada en el condensador. Cuanto mayor es la capacidad del condensador, tanto mayor es la cantidad de portadores de carga, siendo igual la tensión. La capacidad C es una magnitud importante para describir las características de un condensador. La capacidad expresa la relación entre la cantidad de portadores de carga Q y la tensión U conectada al condensador.

$$C = \frac{Q}{U}$$

La capacidad se expresa en «faradios» (F):

$$1F = 1 \frac{As}{V}$$

Si se conecta una unidad consumidora al condensador cargado eléctricamente (se cierra el pulsador S2 en la fig. 3.5), se produce una compensación de carga. La corriente eléctrica fluye a través de la unidad consumidora hasta que el condensador está completamente descargado.

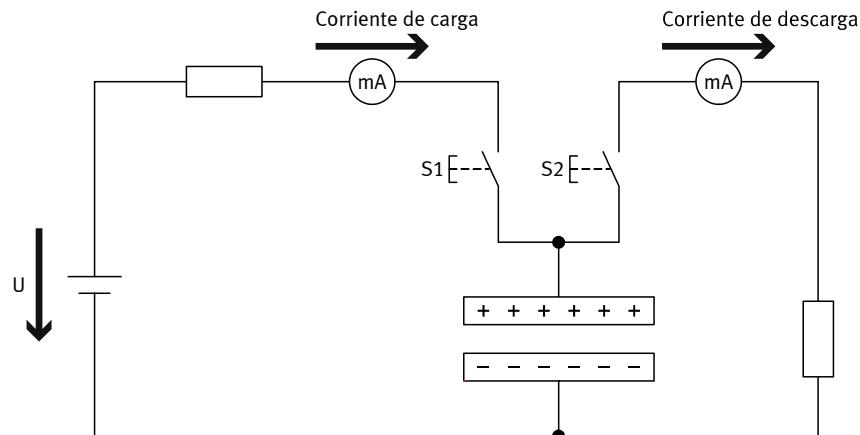


Figura 3.5: Funcionamiento de un condensador

### 3.5 Funcionamiento de un diodo

Los diodos son semiconductores eléctricos cuya resistencia varía dependiendo del sentido de flujo de la corriente eléctrica.

- Si el diodo abre el paso en el sentido de flujo, la resistencia es mínima, de modo que la corriente eléctrica puede fluir casi sin resistencia.
- Si el diodo está cerrado en el sentido de flujo, la resistencia es muy alta, por lo que no fluye corriente eléctrica.

Si se monta un diodo en un circuito eléctrico de corriente alterna, la corriente eléctrica únicamente puede fluir en un sentido. Esto significa que la corriente está rectificada (ver fig. 3.6).

El efecto que un diodo tiene en la corriente eléctrica puede compararse al efecto que tiene una válvula de un neumático en el paso de aire: permite la entrada de aire al neumático, pero no permite que salga el aire.

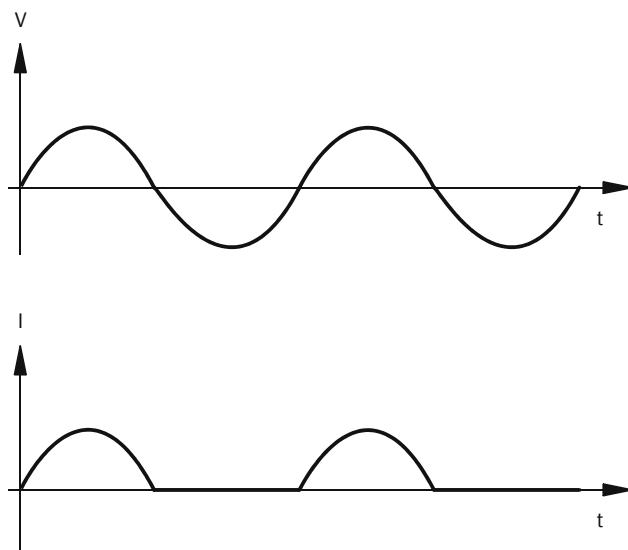
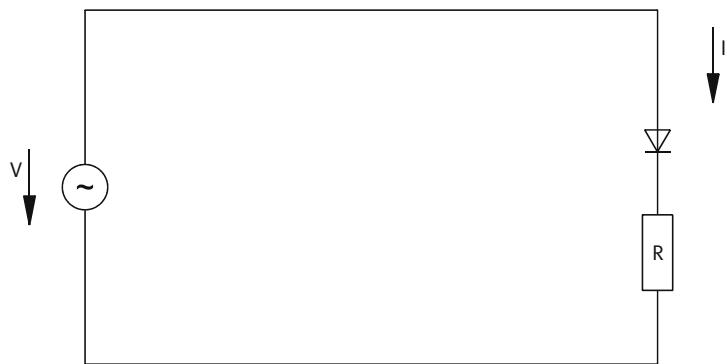


Figura 3.6: Funcionamiento de un diodo

### 3.6 Funcionamiento y estructura de interruptores y conmutadores

Para permitir o interrumpir el flujo de corriente en un circuito eléctrico, se utilizan interruptores o conmutadores. En principio, puede distinguirse entre interruptores tipo pulsador e interruptores con enclavamiento.

- Los pulsadores mantienen la posición de conmutación únicamente mientras se mantienen pulsados. Una aplicación típica de pulsadores es, por ejemplo, el timbre de una casa.
- Los interruptores con enclavamiento, por lo contrario, mantienen su posición de conmutación (ON/OFF). Estos interruptores mantienen su posición hasta que son accionados nuevamente. Una aplicación típica de pulsadores con enclavamiento son, por ejemplo, los interruptores de luz en una casa.

Otro criterio para clasificar y elegir interruptores es su estado de conmutación normal, es decir, cuando no están accionados.

#### 3.6.1 Contacto normalmente abierto

En el caso de un contacto normalmente abierto, el circuito de corriente está interrumpido mientras el interruptor se encuentra en su posición normal. Accionando el interruptor, se cierra el circuito eléctrico y se alimenta corriente eléctrica a la unidad consumidora. Soltándolo, el interruptor tipo pulsador recupera su posición normal por acción de un muelle, por lo que se interrumpe nuevamente el circuito eléctrico.

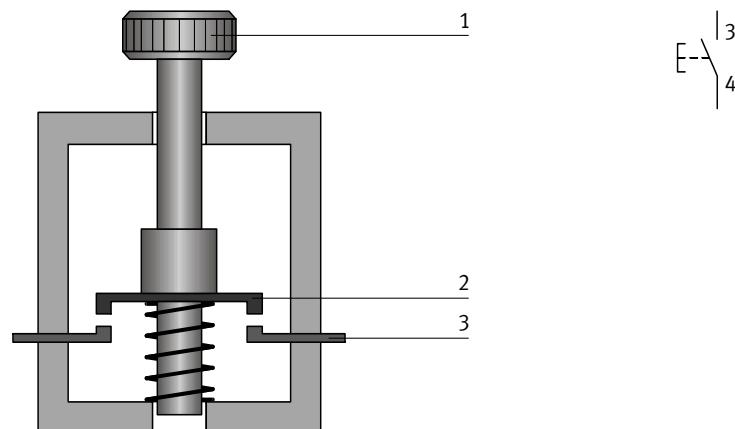


Figura 3.7: Contacto normalmente abierto: vista en corte y símbolo

### 3.6.2 Contacto normalmente cerrado

En el caso de un contacto normalmente cerrado, el circuito de corriente está cerrado por efecto de la fuerza del muelle mientras el interruptor se encuentra en su posición normal. Al accionar el pulsador, se interrumpe el circuito de corriente.

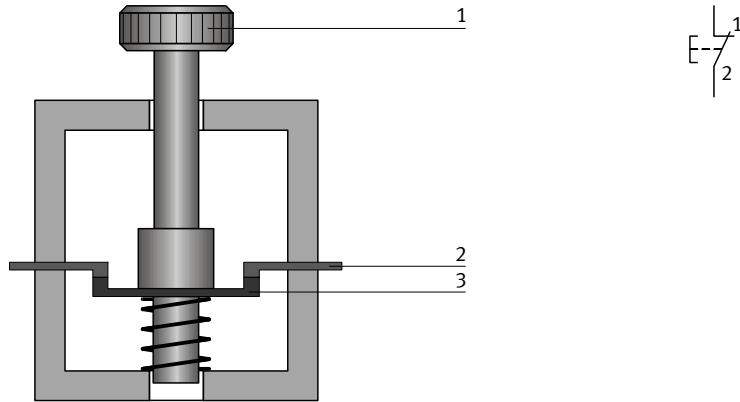


Figura 3.8: Contacto normalmente cerrado: vista en corte y símbolo

### 3.6.3 Comutador

Un comutador combina en una sola unidad las funciones de un contacto normalmente cerrado y de un contacto normalmente abierto. Los comutadores se utilizan para cerrar un circuito y abrir otro con una sola operación. Durante la operación de comutación, los dos circuitos están interrumpidos durante unos breves instantes.

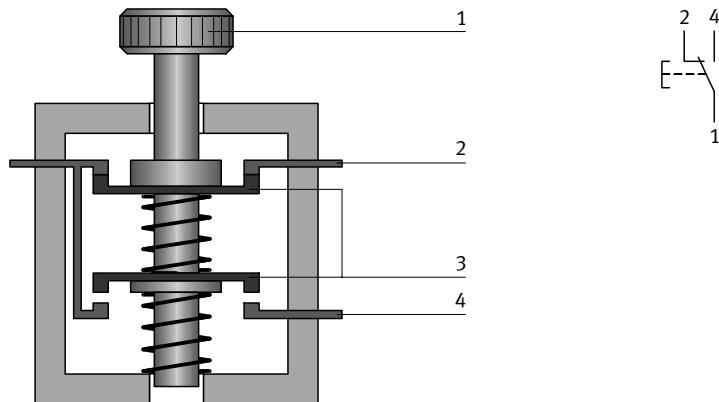


Figura 3.9: Comutador: vista en corte y símbolo

### 3.7 Relés y contactores

#### 3.7.1 Aplicaciones de relés

En sistemas de control electroneumáticos se utilizan relés con los siguientes fines:

- Multiplicar de señales
- Retardar y convertir señales
- Enlazar informaciones
- Separar el circuito de control del circuito principal

Tratándose de sistemas de control puramente eléctricos, se utilizan adicionalmente para separar circuitos de corriente continua de circuitos de corriente alterna.

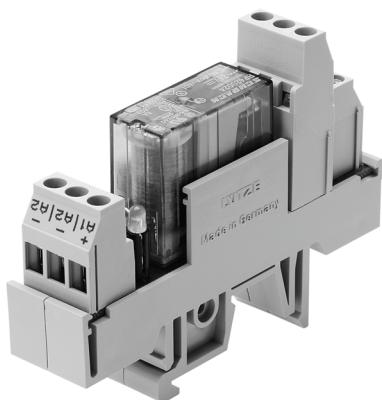


Figura 3.10 Relé

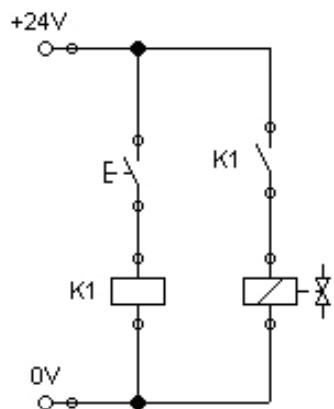


Figura 3.11: Esquema básico del circuito de un relé

### 3.7.2 Estructura de un relé

Un relé es un interruptor accionado electromagnéticamente, en el que el circuito controlado y el circuito controlador están separados entre sí galvánicamente. Esencialmente está compuesto por una bobina con núcleo de hierro (ver (3) (1) en la fig. 3.12), un inducido como elemento de accionamiento mecánico (4), un muelle de recuperación (2) y los contactos de conmutación (6). Al conectar una tensión en la bobina del electroimán se produce un campo electromagnético. De esta manera, el inducido móvil es atraído por el núcleo de la bobina. El inducido actúa sobre los contactos del relé. Dependiendo del tipo de relé, los contactos se abren o cierran. Si se interrumpe el flujo de corriente a través de la bobina, el inducido recupera su posición inicial mediante la fuerza de un muelle.

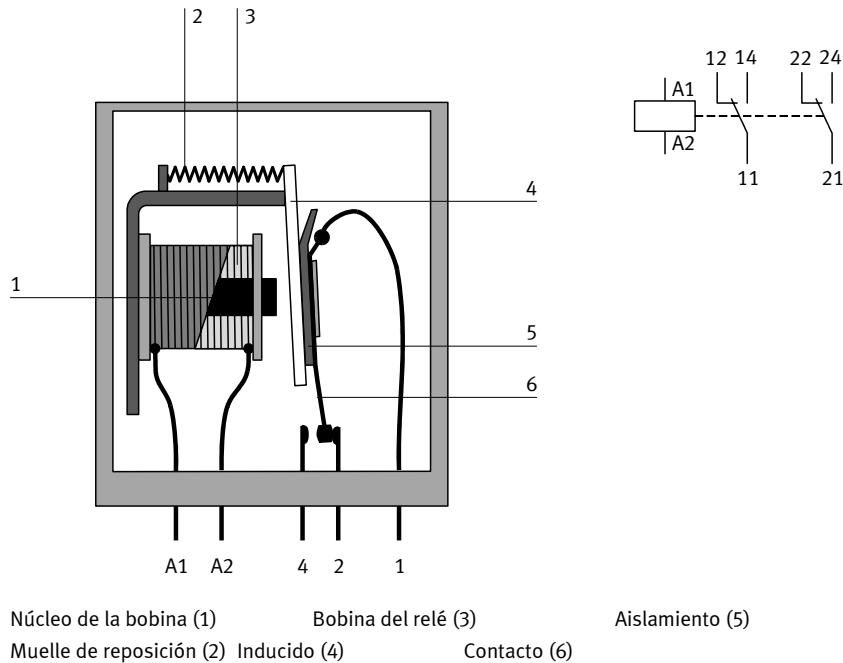


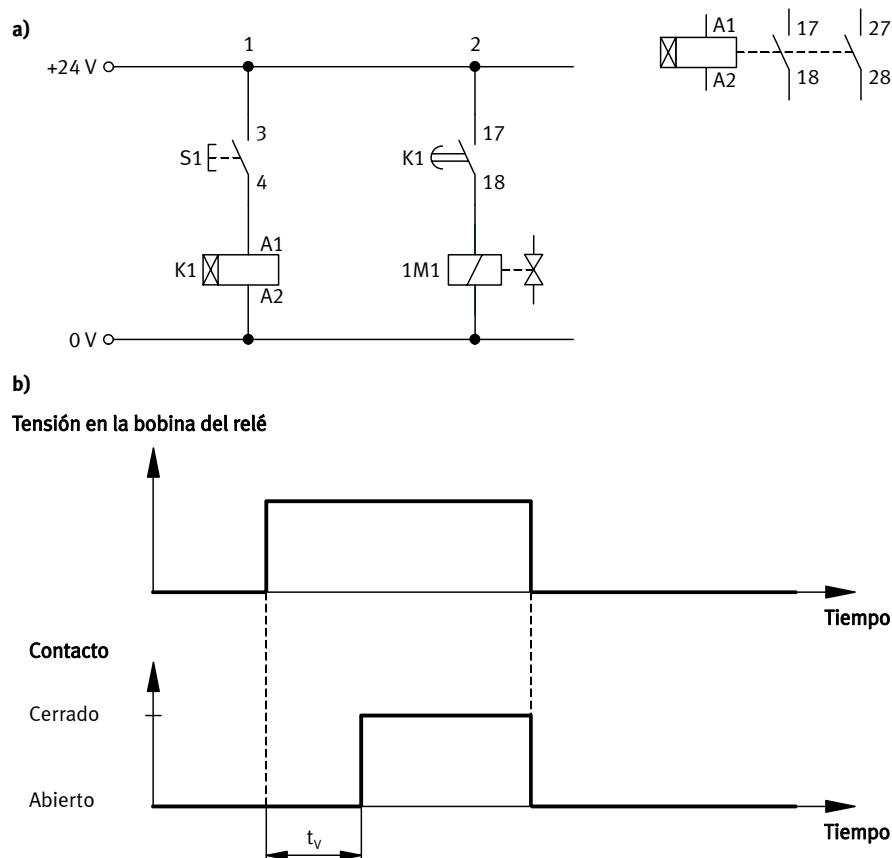
Figura 3.12: Relé: vista en corte y símbolo

Con un relé se pueden activar uno o varios contactos. Además del tipo de relé antes descrito, existen otros tipos de interruptores o conmutadores accionados eléctricamente, como, por ejemplo, el relé de remanencia, el relé de temporización y el contactor.

### 3.7.3 Relé de temporización

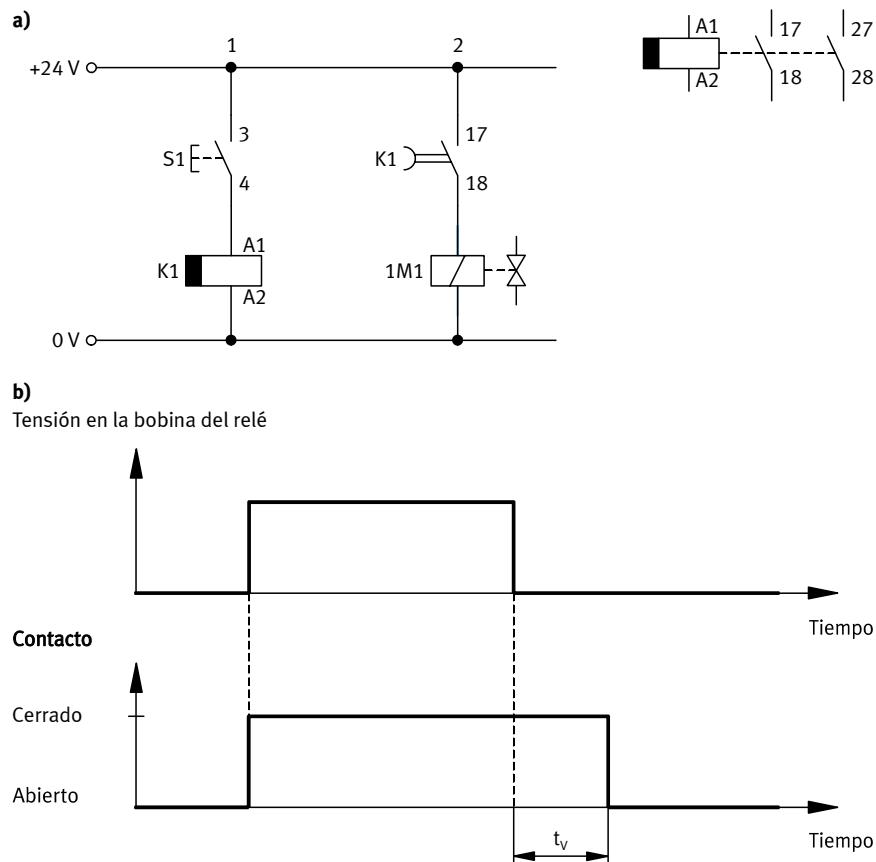
Los relés temporizadores se clasifican en relés con retardo a la conexión y relés con retardo a la desconexión.

En el caso de los relés con retardo a la conexión, el inducido reacciona después de transcurrido un tiempo  $t_v$ , mientras que la desconexión se produce de inmediato. En el caso de los relés con retardo a la desconexión sucede exactamente lo contrario. La comutación de los contactos se produce en concordancia con este comportamiento (ver figs. 3.13 y 3.14). Es posible ajustar el tiempo de retardo  $t_v$ .



a) Forma de representación en el esquema de distribución b) Comportamiento de las señales

Figura 3.13: Relé con retardo a la conexión



a) Forma de representación en el esquema de distribución b) Comportamiento de las señales

Figura 3.14: Relé con retardo a la desconexión

### 3.8 Funcionamiento y construcción de una unidad de alimentación

Las unidades de control reciben energía alimentada a través de la red eléctrica. Por ello, la unidad de control de MecLab® incluye una unidad de alimentación (ver fig. 3.15). Los grupos de la unidad de alimentación tienen las siguientes funciones:

- El transformador reduce la tensión de funcionamiento. La tensión de la red está conectada a la entrada del transformador (por ejemplo, tensión alterna de 230 V); en la salida, la tensión es menor (por ejemplo, tensión alterna de 24 V).
- El rectificador convierte la tensión alterna en tensión continua. El condensador que se encuentra en la salida del rectificador se utiliza para filtrar los picos de tensión.
- La regulación de la tensión en la salida de la unidad de alimentación es necesaria para que la tensión eléctrica sea constante, independientemente del flujo de la corriente.

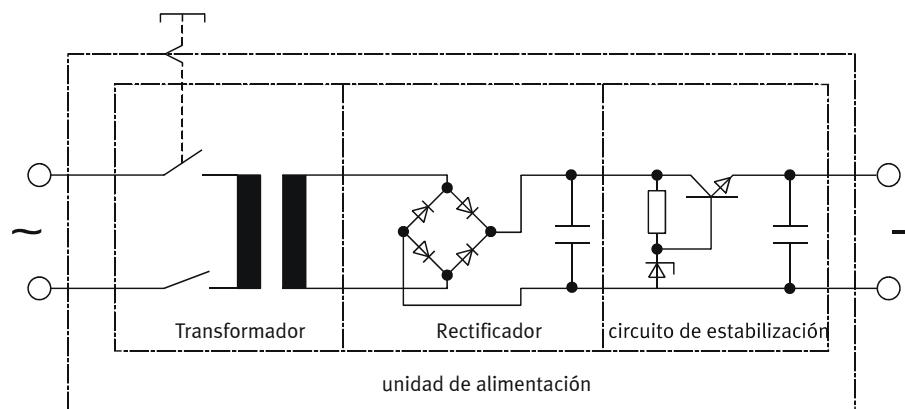


Figura 3.15: Grupos de la unidad de alimentación de un sistema de control electroneumático



#### Advertencias de seguridad

- Considerando la elevada tensión de entrada, las unidades de alimentación son consideradas parte de la instalación de alta intensidad (DIN/VDE 100).
- Deberán respetarse las instrucciones de seguridad aplicables a instalaciones de alta intensidad.

**¡Únicamente personas autorizadas pueden manipular unidades de alimentación!**

### 3.9 Mediciones en un circuito eléctrico

Medir significa comparar una magnitud desconocida (por ejemplo, la posición de un cilindro neumático) con una magnitud conocida (por ejemplo, la escala de una cinta de medición). Un aparato de medición (por ejemplo, una varilla de acero calibrada) permite llevar a cabo esa comparación. El resultado, es decir, el valor medido, se expresa mediante un número y una unidad (por ejemplo, 30,4 cm).

Las corrientes eléctricas, tensiones y resistencias suelen medirse con aparatos de medición múltiples. Estos aparatos pueden activar diversas modalidades de funcionamiento:

- Tensión alterna / corriente alterna y tensión continua / corriente continua.
- Medición de intensidad, medición de tensión y medición de resistencias.

La medición sólo puede ser correcta si se ajusta el modo de funcionamiento correcto y si el aparato de medición se incluye correctamente en el circuito eléctrico.

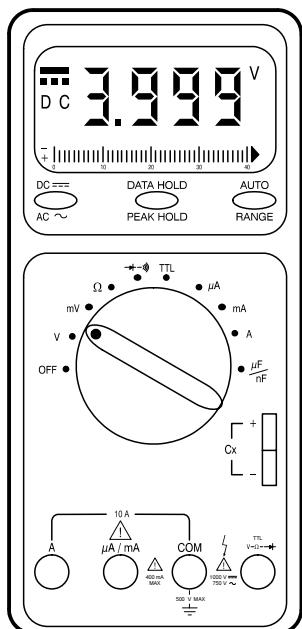


Figura 3.16: Aparato de medición universal



### **Advertencias de seguridad**

- Antes de efectuar la medición, cerciórese de que la tensión no exceda 24 V en la parte del circuito donde quiere realizar la medición.
- Las mediciones en partes del circuito que tienen una tensión mayor (por ejemplo, 230 V) únicamente podrán realizarse por personas que disponen de los conocimientos necesarios o que recibieron las instrucciones pertinentes.
- Si la medición se lleva a cabo de manera indebida, puede peligrar la integridad física de la persona!

### **3.9.1 Forma de proceder al efectuar mediciones en un circuito eléctrico**

Al realizar mediciones en un circuito eléctrico, deberá procederse en el siguiente orden:

- Desconectar la alimentación de tensión en el circuito eléctrico.
- Ajustar la modalidad de funcionamiento en el aparato de medición universal (medición de intensidad o tensión, tensión continua o alterna, medición de resistencias).
- Tratándose de aparatos de medición con escala y manecilla, comprobar el punto cero. En caso necesario, efectuar las correcciones del caso.
- Al medir tensión continua / corriente continua, conectar el aparato de medición sin confundir los polos (borne «+» del aparato de medición al polo positivo de la fuente de tensión).
- Seleccionar el mayor margen de medición posible.
- Conectar la alimentación de tensión.
- Observar la reacción de la manecilla o la indicación en el visualizador y, paso a paso, seleccionar un margen de medición menor.
- Cuando se obtiene el movimiento máximo de la manecilla (con el margen de medición más pequeño posible), leer el resultado.
- Si se trata de un aparato de medición con escala y manecilla, siempre leer perpendicularmente para evitar errores de lectura.

### Medición de tensión

Al medir la tensión, el aparato de medición se conecta en paralelo en relación con la unidad consumidora. La caída de tensión a través de la unidad consumidora corresponde a la caída de tensión a través de la unidad de medición. Cualquier aparato utilizado para medir la tensión (voltímetro) tiene una resistencia interna. Para minimizar el error de medición, el flujo de corriente a través del aparato de medición debe ser mínimo. Es decir: la resistencia interna del voltímetro debe ser lo mayor posible.

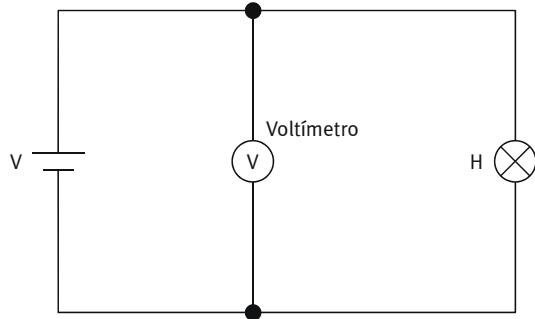


Figura 3.17: Medición de tensión

### Medición de intensidad

Al medir la intensidad, el aparato de medición se conecta en serie en relación con la unidad consumidora. La corriente que fluye a través de la unidad consumidora también fluye a través del aparato de medición.

Cualquier aparato utilizado para medir la intensidad (amperímetro) tiene una resistencia interna. Esta resistencia adicional disminuye el flujo de la corriente. Para minimizar el error de medición, el aparato de medición debe tener una resistencia interna muy pequeña.

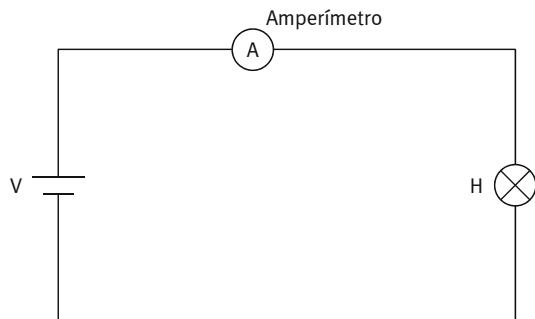


Figura 3.18: Medición de intensidad

### Medición de resistencia

La resistencia de una unidad consumidora incluida en un circuito de corriente continua puede medirse de modo directo o indirecto.

- En el caso de la medición indirecta, se mide la intensidad de la corriente que fluye a través de la unidad consumidora y la caída de tensión que se produce por efecto de dicha unidad consumidora (fig. 3.19a). Ambas mediciones pueden realizar de modo consecutivo o simultáneamente. A continuación se calcula la resistencia aplicando la ley de Ohm.
- En el caso de la medición directa, la unidad consumidora se separa del resto del circuito eléctrico (fig. 3.19b). Se activa la modalidad de funcionamiento «medición de resistencia» en el aparato de medición y, a continuación, se conectan los dos bornes a la unidad consumidora. La resistencia puede leerse directamente en el aparato de medición.

Si la unidad consumidora está dañada (por ejemplo, porque se quemó la bobina de una válvula), se obtiene un valor infinitamente alto o el valor cero (cortocircuito) al medir la resistencia.

#### iAtención!

La resistencia óhmica de una unidad consumidora en un circuito de corriente alterna deberá medirse aplicando el método de medición directa!

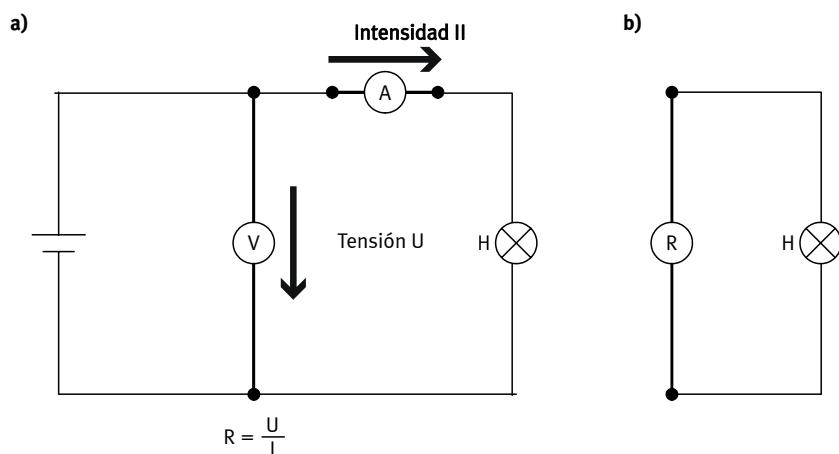


Figura 3.19: Medición de resistencia

## 4 Detectores

Los detectores tienen la función de captar informaciones y de transmitir señales procesables a las unidades de evaluación. En numerosas aplicaciones se utilizan detectores de diversas formas y modos de funcionamiento. Considerando su gran variedad, es importante clasificarlos sistemáticamente. Los detectores pueden clasificarse de acuerdo con los siguientes criterios:

- Modo de funcionamiento (óptico, inductivo, mecánico, por fluidos, etc.)
- Magnitud de medición (recorrido, presión, distancia, temperatura, valor pH, intensidad de luz, presencia de piezas, etc.)
- Señal de salida (analógica, digital, binaria, etc.)

En la técnica de la automatización se utilizan principalmente detectores con salida digital, ya que son mucho menos sensibles a posibles interferencias que los detectores con salida analógica. Además, las unidades de control de tecnología digital pueden procesar directamente las señales digitales, mientras que las señales analógicas primero tienen que transformarse en señales digitales mediante un convertidor correspondiente.

Los detectores más difundidos en la automatización industrial son los así llamados detectores de posición, con los que se comprueba la presencia (o la aproximación) de una pieza.

### 4.1 Detectores de posición

Los detectores de posición comutan sin establecer contacto y, por lo tanto, sin que sea necesaria la presencia de una fuerza mecánica externa. Por ello tienen una larga duración y son muy fiables. Se puede distinguir entre los siguientes tipos:

- Detectores con contacto de conmutación mecánico
  - Contacto Reed
- Detectores con salida electrónica
  - Detectores de posición inductivos
  - Detectores de posición capacitivos
  - Detectores de posición ópticos

#### 4.1.1 Detectores magnéticos

Los contactos Reed son detectores de posición de accionamiento magnético. Estos detectores tienen dos lengüetas de contacto que se encuentran en un tubo de vidrio lleno de gas inerte. Por efecto de un imán se cierra el contacto entre las dos lengüetas, de modo que puede fluir corriente eléctrica (ver fig. 4.1).

Tratándose de contactos Reed normalmente cerrados, las lengüetas están pretensadas mediante un pequeño imán. Esta precarga se supera mediante un imán mucho más potente.

Los contactos Reed tienen una gran duración y su tiempo de respuesta es muy corto (aprox. 0,2 ms). Además, no precisan mantenimiento, aunque no deben utilizarse en zonas expuestas a campos magnéticos fuertes (por ejemplo en las cercanías de máquinas de soldadura por resistencia o equipos de tomografía computerizada).

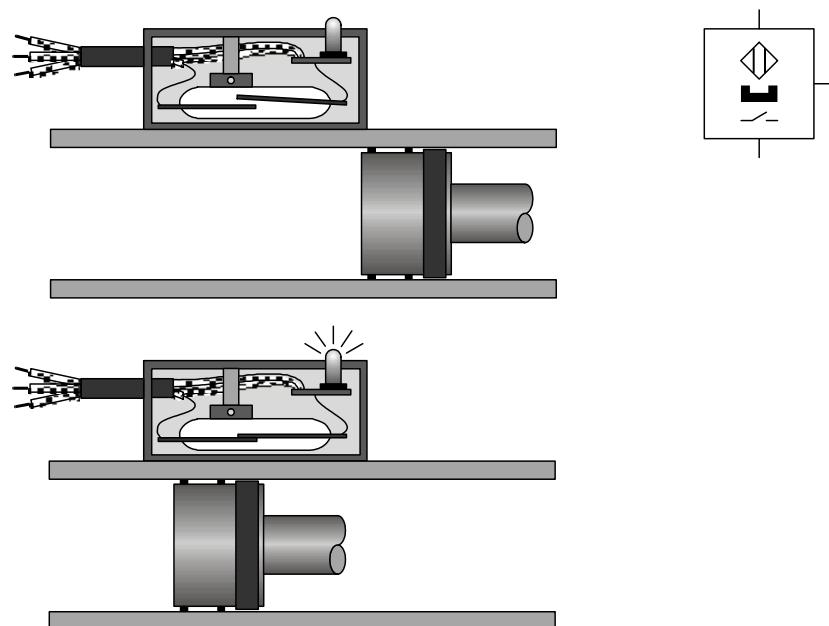


Figura 4.1: Contacto Reed (normalmente abierto): diagrama esquemático y símbolo



Figura 4.2: Contacto Reed: imagen real

#### 4.1.2 Detectores electrónicos

Los detectores electrónicos pueden ser inductivos, ópticos y capacitivos. Normalmente están provistos de tres conexiones eléctricas:

- Conexión para la alimentación de tensión
- Conexión a masa
- Conexión para la señal de salida

En los detectores electrónicos, la conmutación no está a cargo de un contacto móvil. En vez de ello, la salida se conecta eléctricamente a la tensión de alimentación o a masa (= tensión de salida 0 V).

En lo que respecta a la polaridad de la señal de salida, existen dos tipos de detectores electrónicos de posición:

- En el caso de los detectores que conmutan a positivo, la salida tiene la tensión cero (OFF) si en la zona de reacción del detector no se encuentra una pieza. La aproximación de una pieza provoca la conmutación de la salida (ON), de modo que se aplica tensión de alimentación.
- En el caso de detectores que conmutan a negativo, se aplica tensión de alimentación en la salida si en la zona de reacción del detector no se encuentra una pieza. La aproximación de una pieza provoca la conmutación de la salida, con lo que la tensión es de 0 V.

### 4.1.3 Detectores de posición inductivos

Un detector de posición inductivo está compuesto por un circuito oscilante (1), un flip-flop (2) y un amplificador (3) (ver fig. 4.3). Al aplicar una tensión en las conexiones, el circuito oscilante genera un campo magnético alterno (de alta frecuencia) en el frente del detector.

Un conductor eléctrico que se acerca a este campo magnético alterno provoca una «amortiguación» del circuito oscilante. La unidad electrónica conectada detrás, compuesta de flip-flop y amplificador, evalúa el comportamiento del circuito oscilante y activa la salida.

Los detectores de posición inductivos pueden utilizarse para detectar todos los materiales que son buenos conductores, es decir, metales y, también, grafito.

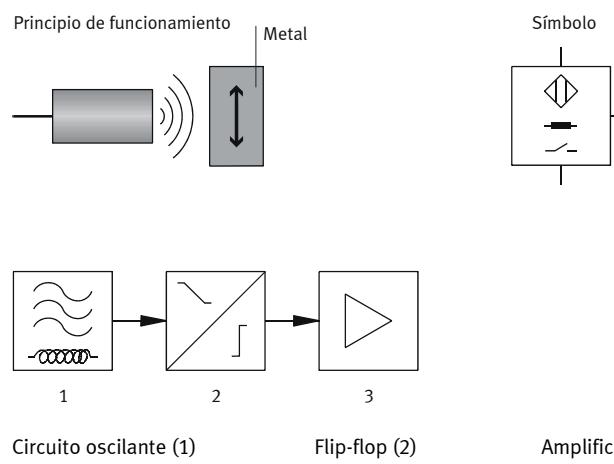


Figura 4.3: Detector inductivo de posición: principio de funcionamiento, esquema eléctrico funcional y símbolo



Figura 4.4: Detector inductivo: imagen

#### 4.1.4 Detectores de posición capacitivos

Un detector de posición capacitivo consta de una resistencia eléctrica (R) y de un condensador (C) que juntos componen un circuito oscilante RC y, además, de una unidad electrónica para evaluar la oscilación.

Entre el electrodo activo y el electrodo conectado a masa del condensador, se crea un campo electrostático. En la parte frontal del detector se forma un campo de dispersión. Si una pieza entra en ese campo de dispersión, cambia la capacidad del condensador (ver fig. 4.5).

El circuito oscilante se atenúa y la unidad electrónica conectada detrás confirma la salida.

Los detectores de posición capacitivos no solamente reaccionan en presencia de materiales muy conductores (por ejemplo, metales), sino, también, en presencia de un aislante con gran constante dieléctrica (por ejemplo, plásticos, vidrio, cerámica, líquidos y madera).

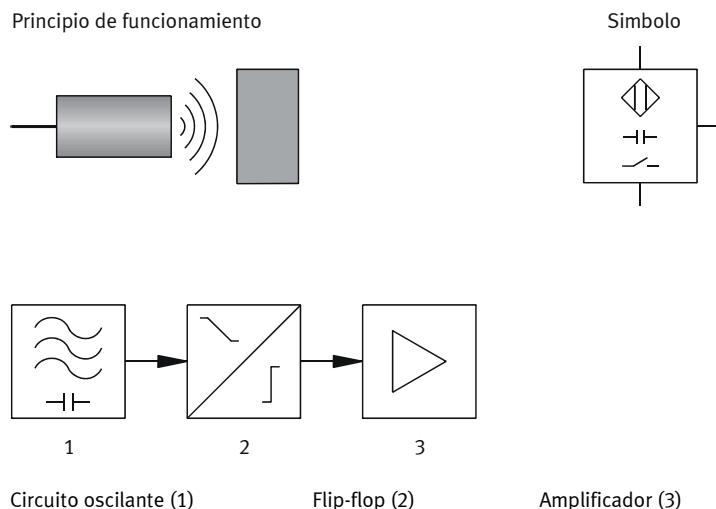


Figura 4.5: Detector capacitivo de posición: principio de funcionamiento, esquema eléctrico funcional y símbolo

#### 4.1.5 Detectores de posición ópticos

Los detectores ópticos tienen un emisor y un receptor. Estos detectores utilizan componentes ópticos (luz roja e infrarroja) y electrónicos y módulos para la detección de piezas que se encuentran entre el emisor y el receptor.

Los diodos luminosos semiconductores (LED) son emisores especialmente fiables de luz roja e infrarroja. Son pequeños, robustos, económicos, fiables y duraderos y, además, pueden montarse de modo muy sencillo en sistemas técnicos. La luz roja tiene la ventaja que es visible sin necesidad de usar medios auxiliares, lo que simplifica la orientación (el ajuste) de los ejes ópticos de los detectores.

Los receptores de los detectores ópticos suelen ser fotodioidos o fototransistores.

Puede diferenciarse entre tres tipos de detectores ópticos:

- Barrera de luz unidireccional
- Barrera de luz de reflexión
- Detector por reflexión

#### Barrera de luz unidireccional

La barrera de luz unidireccional tiene un emisor y un receptor separados en el espacio. Estos componentes están montados de tal manera que el haz de luz emitido por el emisor se proyecta directamente sobre el receptor (por ejemplo, un fototransistor) (ver fig. 4.6). Si un objeto, una pieza o, también, una persona, se interpone entre el emisor y el receptor, se interrumpe el haz de luz y se genera una señal que provoca una operación de conmutación (ON/OFF) en la salida.

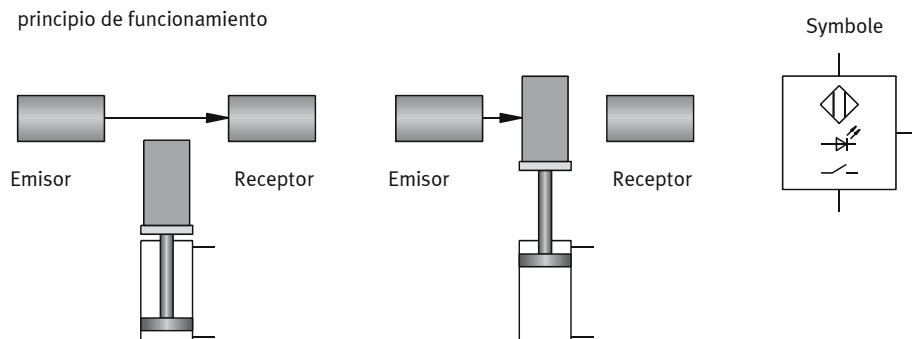


Figura 4.6: Barrera de luz unidireccional: diagrama esquemático y símbolo



Figura 4.7: Barrera fotoeléctrica ahorquillada

### Barrera de luz de reflexión

En las barreras de luz de reflexión, el emisor y el receptor se encuentran uno junto al otro, montados en el mismo cuerpo. El reflector se encarga de reenviar el haz de luz proveniente del emisor hacia el receptor. El montaje se realiza de tal manera que el haz de luz emitido por el emisor se refleja casi totalmente hacia el receptor. Si un objeto, una pieza o, también, una persona, se interpone entre el emisor y el reflector, se interrumpe el haz de luz y se genera una señal que provoca una operación de conmutación (ON/OFF) en la salida.

#### principio de funcionamiento

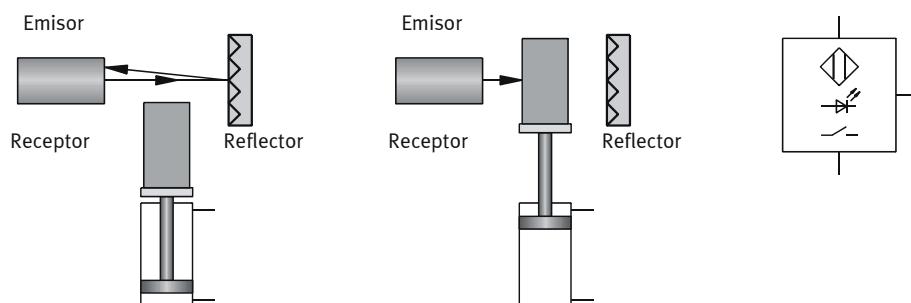


Figura 4.8: Barrera de luz de reflexión: diagrama esquemático y símbolo

### Detectores por reflexión

El emisor y el receptor del detector por reflexión están montados uno junto al otro en un mismo cuerpo. A diferencia de la barrera de luz de reflexión, el detector de reflexión no tiene un reflector propio. Más bien se aprovecha la capacidad de reflexión del objeto o de la pieza que se entra en la zona cubierta por el detector. Si el haz de luz se topa con una pieza de superficie reflectante, la luz es dirigida hacia el receptor y así comuta la salida del detector. Considerando esta forma de funcionamiento, el detector por reflexión únicamente puede utilizarse para detectar piezas que tienen una gran capacidad de reflexión (por ejemplo, superficies metálicas, colores claros).

principio de funcionamiento

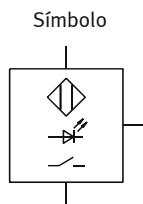
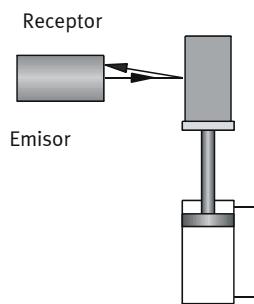
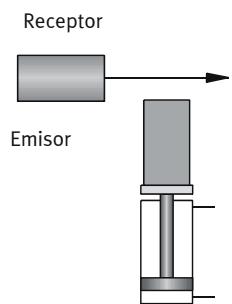


Figura 4.9: Detector por reflexión: diagrama esquemático y símbolo

## 4.2 Sensores de presión

Existen diversos tipos de sensores de presión:

- Presostato mecánico con señal de salida binaria
- Presostato electrónico con señal de salida binaria
- Sensores de presión electrónicos con señal de salida analógica

### 4.2.1 Presostato mecánico con señal de salida binaria

En el caso de un presostato mecánico, la presión actúa sobre la superficie de un émbolo. Si la presión es superior a la fuerza del muelle, el émbolo se desplaza y actúa sobre los contactos de los elementos de conmutación.

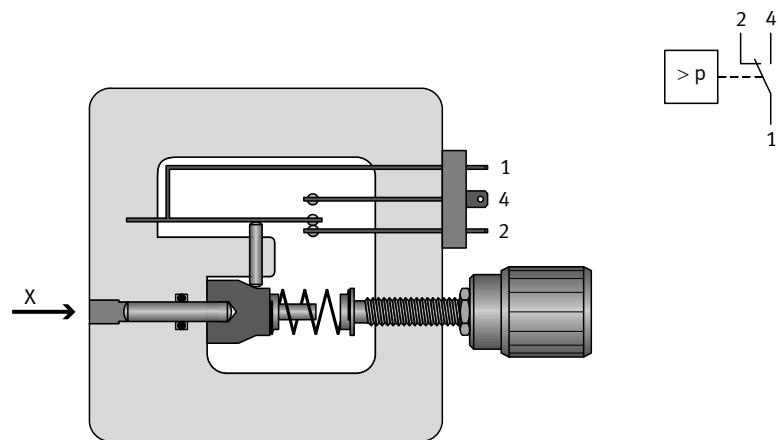


Figura 4.10: Presostato de émbolo: diagrama esquemático y símbolo

#### 4.2.2 Presostato electrónico con señal de salida binaria

La versión más difundida de este tipo de sensor de presión es el presostato de membrana, en el que no se actúa mecánicamente sobre un contacto, ya que la salida comuta de modo electrónico. Sobre una membrana se montan sensores sensibles a la presión o a la fuerza. La señal emitida se evalúa por una unidad electrónica. Cuando la presión supera un valor definido previamente, comuta la salida.



Figura 4.11: Presostato electrónico y símbolo

## 5 Fundamentos de la neumática

La palabra neumática proviene del griego «pneuma» que significa aire o respiración. Bajo neumática se entiende la utilización de aire comprimido o, en general, cualquier sistema técnico que funcione con aire comprimido. Las instalaciones neumáticas modernas, utilizadas para la automatización, incluyen varios subsistemas que tienen las siguientes finalidades:

- Generar y alimentar aire comprimido (compresor, unidad de refrigeración, filtro)
- Distribuir aire comprimido (tubos rígidos y flexibles, acoplamientos)
- Controlar el aire comprimido (válvulas de presión, válvulas de vías, válvulas de bloqueo)
- Ejecutar tareas con aire comprimido (cilindros, actuadores giratorios)

La utilización más frecuente del aire comprimido es para generar fuerzas elevadas y para ejecutar trabajos mecánicos, es decir, para ejecutar movimientos.

Los actuadores neumáticos tienen la finalidad de transformar la energía contenida en el aire comprimido en energía cinética.

Los actuadores neumáticos más comunes son los cilindros. Los cilindros se distinguen por existir una gran variedad de tipos, tener construcción robusta, ser fáciles de instalar y, además, por tener una favorable relación entre el precio y el rendimiento. Gracias a estas ventajas, la neumática se ha impuesto en la tecnología moderna. Otras ventajas:

Características	Ventajas de la neumática
Cantidad	El aire está disponible en casi cualquier parte en cantidades ilimitadas
Transporte	El aire puede transportarse de modo sencillo a largas distancias a través de tubos.
Acumulación	El aire comprimido puede almacenarse en un depósito para utilizarlo posteriormente. Además, pueden utilizarse depósitos transportables.
Temperatura	El aire comprimido es casi insensible a los cambios de temperatura. Por ello, el funcionamiento de los sistemas neumáticos es fiable, también en condiciones extremas.
Seguridad	El aire comprimido no alberga peligro de incendio o explosión.
Pureza	Las fugas de aire comprimido no lubricado no ocasionan contaminación alguna.
Construcción	Los elementos de trabajo tienen una construcción sencilla, por lo que su precio es bajo.
Velocidad	El aire comprimido es un fluido rápido. Con él, los émbolos ejecutan movimientos muy veloces y los tiempos de conmutación son muy cortos.
Seguridad frente a sobrecarga	Las herramientas y los componentes neumáticos pueden soportar esfuerzos hasta que están completamente detenidos, lo que significa que resisten sobrecargas.

## 5.1 Fundamentos físicos

El aire es una mezcla de gases y su composición es la siguiente:

- Aprox. 78 % en volumen de nitrógeno
- Aprox. 21 % en volumen de oxígeno

Además, el aire contiene rastros de vapor, dióxido de carbono, argón, hidrógeno, neón, helio, criptón y xenón.

Para entender mejor las leyes físicas aplicables en el caso del aire, se explican a continuación las unidades correspondientes. Los datos corresponden al «Sistema Internacional de Unidades» que se abrevia con SI.

### 5.1.1 Unidades básicas

Tamaño	Símbolo en la fórmula	Unidades
Largo	l	Metro (m)
Masa	m	Kilogramo (kg)
Tiempo	t	Segundo (s)
Temperatura	T	Kelvin (K, 0 °C = 273,15 K)

### 5.1.2 Unidades derivadas

Tamaño	Símbolo en la fórmula	Unidades
Fuerza	F	Newton (N), 1 N = 1 kg • m/s <sup>2</sup>
Superficie	A	Metros cuadrados (m <sup>2</sup> )
Volumen	V	Metros cúbicos (m <sup>3</sup> )
Caudal	q <sub>v</sub>	(m <sup>3</sup> /s)
Presión	p	Pascal (Pa) 1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> 1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa

### 5.1.3 Ley de Newton

Fuerza = Masa • Aceleración

$$F = m \cdot a$$

En caída libre, «a» se sustituye por la aceleración de la gravedad  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

### 5.1.4 Presión

1 Pa equivale a la presión que aplica la fuerza vertical de 1 N sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup>.

La presión que impera en la superficie de la tierra se llama presión atmosférica ( $p_{amb}$ ). Esta presión también se denomina presión de referencia. La presión superior a esa presión se llama sobrepresión ( $p_e > 0$ ); la presión inferior se llama vacío ( $p_e < 0$ ). La diferencia de la presión atmosférica  $p_e$  se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$p_e = p_{abs} - p_{amb}$$

El significado de esta fórmula se explica en el siguiente diagrama:

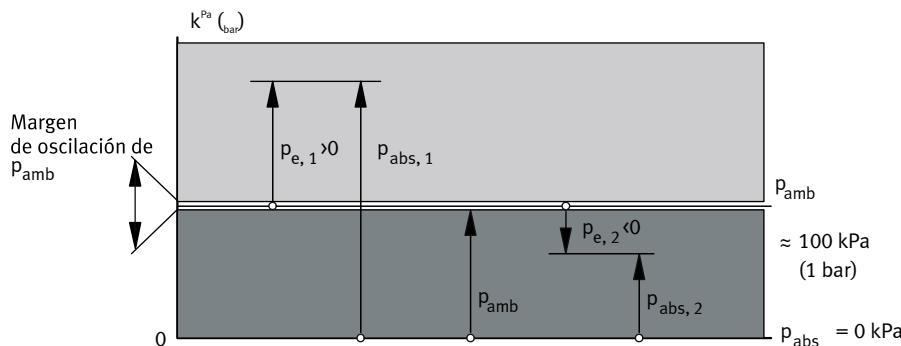


Figura 5.1: Presión de aire

La presión atmosférica no es constante. Su valor cambia según situación geográfica y dependiendo de las condiciones meteorológicas.

La presión absoluta  $p_{abs}$  es el valor de la presión relacionado con la presión cero (vacío). La presión absoluta es la presión atmosférica más la presión manométrica (sobrepresión, depresión). En la práctica suelen utilizarse únicamente manómetros que muestran la sobrepresión  $p_e$ . El valor de la presión absoluta  $p_{abs}$  es aproximadamente 100 kPa (1 bar) superior.

En la neumática, todas las indicaciones sobre la cantidad de aire suelen relacionarse con el así llamado estado normal. El estado normal según DIN 1343 el estado que tiene una sustancia sólida, líquida o gaseosa definido en función de una temperatura y una presión normalizadas.

- Temperatura normalizada       $T_n = 273,15 \text{ K}$ ,  $t_n = 0^\circ\text{C}$
- Presión normalizada             $p_n = 101325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar}$

## 5.2 Propiedades del aire

El aire se caracteriza por su baja cohesión, lo que significa que las fuerzas entre las moléculas del aire son mínimas, al menos considerando las condiciones usuales de funcionamiento de sistemas neumáticos. Al igual que todos los gases, el aire tampoco tiene una forma determinada. Su forma cambia si se aplica la más mínima fuerza y, además, siempre ocupa el máximo espacio disponible.

### 5.2.1 La ley de Boyle-Mariott

El aire puede comprimirse y tiene tendencia a expandirse. La ley de Boyle-Mariott describe estas propiedades del aire: El volumen de una cantidad determinada de gas contenido en un depósito cerrado es inversamente proporcional a la presión absoluta suponiendo una temperatura constante. O, en otras palabras: el producto de volumen y presión absoluta es constante suponiendo una cantidad determinada de gas.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3 = \text{constante}$$

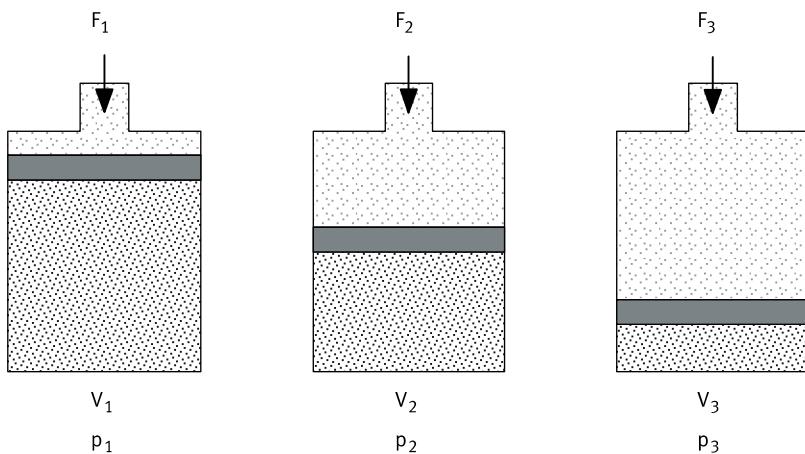


Figura 5.2: La ley de Boyle-Mariott

### Ejemplo de cálculo

En condiciones de presión atmosférica, se procede a comprimir el aire a 1/7 de su volumen original. ¿Qué presión se obtiene si la temperatura se mantiene constante?

Solución

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Observación: } \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{7}$$

$$p_1 = p_{\text{amb}} = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$$

$$p_2 = 1 \cdot 7 = 700 \text{ kPa} = 7 \text{ bar absoluta}$$

Ello significa lo siguiente:  $p_e = p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}} = (700 - 100) \text{ kPa} = 600 \text{ kPa} = 6 \text{ bar}$

Un compresor que genera una presión de 600 kPa (6 bar, tiene una relación de compresión de 7:1.

### 5.2.2 Ley de Gay-Lussac

El aire expande su volumen en 1/273 si la presión es constante y la temperatura aumenta 1 K partiendo de 273 K. La ley de Gay-Lussac dice lo siguiente: Mientras no cambia la presión, el volumen de un gas contenido en un depósito cerrado es proporcional a la temperatura absoluta.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad V_1 = \text{Volumen con } T_1, \quad V_2 = \text{Volumen con } T_2$$

o bien

$$\frac{V}{T} = \text{constante}$$

$$\text{El cambio del volumen } \Delta V \text{ es de: } \Delta V = V_2 - V_1 = V_1 \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_1}$$

$$\text{En el caso de } V_2 \text{ se aplica lo siguiente: } V_2 = V_1 + \Delta V = V_1 + \frac{V_1}{T_1}(T_2 - T_1)$$

Las ecuaciones anteriores únicamente son válidas si se incluyen las temperaturas expresadas en K. Para calcular utilizando °C, deberá recurrirse a la siguiente fórmula:

$$V_2 = V_1 + \frac{V_1}{273 \text{ °C} + T_1}(T_2 - T_1)$$

### Ejemplo de cálculo

El volumen de  $0,8 \text{ m}^3$  de aire que tiene una temperatura de  $T_1 = 293 \text{ K}$  ( $20^\circ\text{C}$ ) se calienta hasta una temperatura de  $T_2 = 344 \text{ K}$  ( $71^\circ\text{C}$ ). ¿Cuánto se expande el aire?

$$V_2 = 0,8 \text{ m}^3 + \frac{0,8 \text{ m}^3}{293 \text{ K}} (344 \text{ K} - 293 \text{ K})$$

$$V_2 = 0,8 \text{ m}^3 + 0,14 \text{ m}^3 = 0,94 \text{ m}^3$$

El aire expandió de  $0,14 \text{ m}^3$  a  $0,94 \text{ m}^3$ .

Si se mantiene constante el volumen durante el calentamiento, el aumento de presión se calcula con la siguiente fórmula:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

o bien

$$\frac{p}{T} = \text{constante}$$

### 5.2.3 Ecuación general de gases

La siguiente ecuación general considera básicamente todas las propiedades de los gases:

En un gas contenido en un recipiente cerrado, es constante el producto de presión y volumen dividido por la temperatura.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{constante}$$

Recurriendo a esta ecuación general se obtienen las leyes mencionadas anteriormente, suponiendo que se mantiene constante uno de los tres factores, es decir, p, V o T.

- Presión p constante → Cambios isobáricos
- Volumen V constante → Cambios isocóricos
- Temperatura T constante → Cambios isotérmicos

## 5.3 Los componentes individuales de un sistema de control neumático y sus funciones

### Compresor

Las fuentes energéticas utilizadas en redes de aire comprimido son compresores helicoidales o compresores de émbolo. Estos compresores entregan una presión de salida desde 700 hasta 800 kPa (7 hasta 8 bar). De esta manera se tiene la seguridad de disponer de una presión de funcionamiento suficiente de mínimo 600 kPa (6 bar) en los actuadores aunque se produzcan fugas (zonas con defectos, en las que se escapa involuntariamente el aire) o disminuya la presión en la red de tubos.

### Filtro de aire comprimido

Los filtros de aire comprimido utilizados en sistemas neumáticos se montan de modo centralizado o descentralizado. Estos filtros se utilizan para retener partículas de suciedad o condensado. La utilización de aire comprimido filtrado contribuye considerablemente al aumento de la duración de los componentes montados detrás del filtro.

### Regulador de presión

Con la válvula reguladora se ajusta la presión necesaria en cada una de las partes del sistema. De esta manera es posible compensar posibles oscilaciones de presión que se producen en la red. La presión regulada de esta manera se mantiene constante si en la entrada de la válvula se aplican por lo menos 50 kPa más que presión nominal deseada.

### Válvulas de cierre

Estas válvulas se utilizan para separar entre sí redes de aire comprimido.

### Válvulas de mando

Estas válvulas bloquean el aire comprimido y lo conducen hacia los elementos de trabajo en el momento apropiado. La seguridad y el buen funcionamiento del sistema dependen del montaje correcto de los componentes.

### Válvulas de trabajo

Se seleccionan en función del diámetro del cilindro y alimentan la cantidad necesaria de aire comprimido a los cilindros.

### Cilindros

Los cilindros neumáticos son componentes robustos, poco propensos a sufrir fallos y de gran duración. Si tienen las dimensiones apropiadas, pueden ejecutar movimientos a gran velocidad. La configuración apropiada y el montaje correcto son indispensables para el buen funcionamiento del sistema.

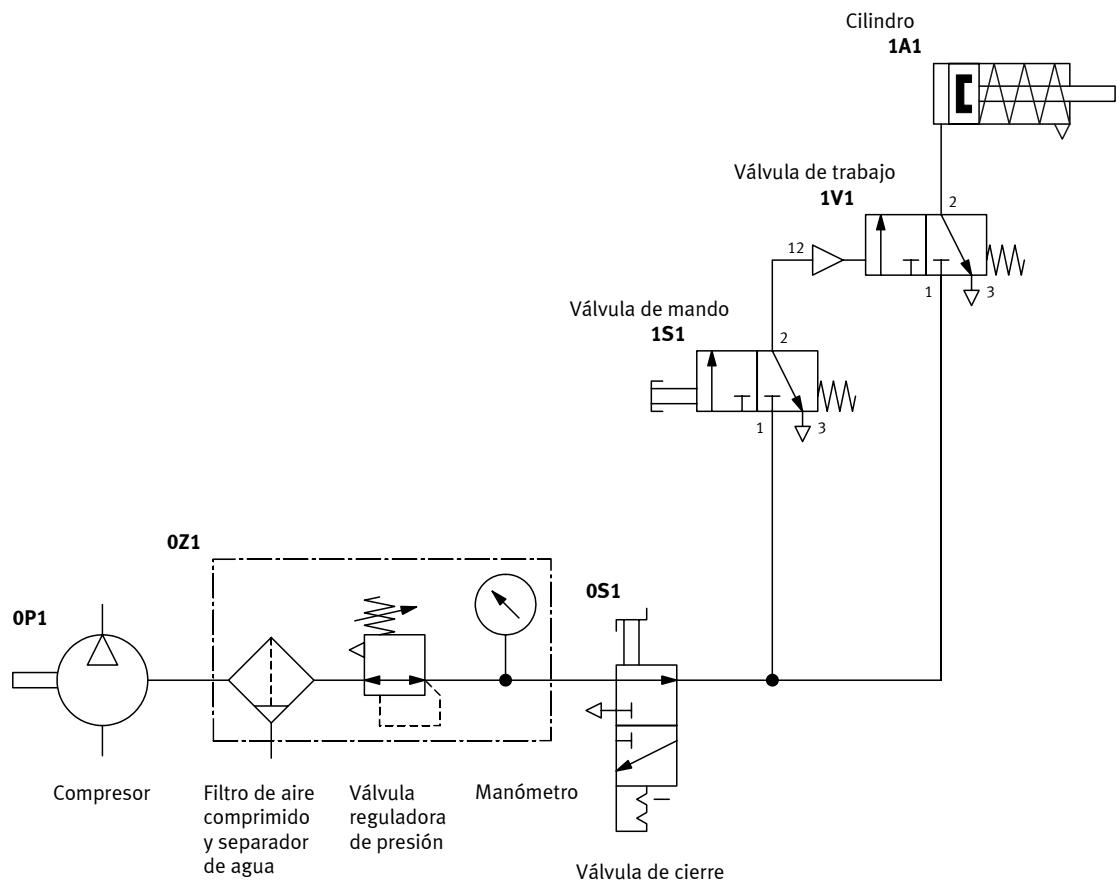


Figura 5.3: Componentes y grupos esenciales de un sistema de control neumático

## 5.4 Funciones y características de actuadores: cilindros neumáticos

### 5.4.1 Cilindro de simple efecto

En los cilindros de simple efecto, el aire se alimenta en un solo lado. Por ello, estos cilindros solamente pueden ejecutar un trabajo en un solo sentido. Para que el cilindro retroceda, debe descargarse primero el aire contenido en la cámara para que se mueva el vástagos por la fuerza que ejerce el muelle incorporado (ver fig. 5.4). El aire se descarga a través de un taladro que se encuentran en la culata del cilindro.

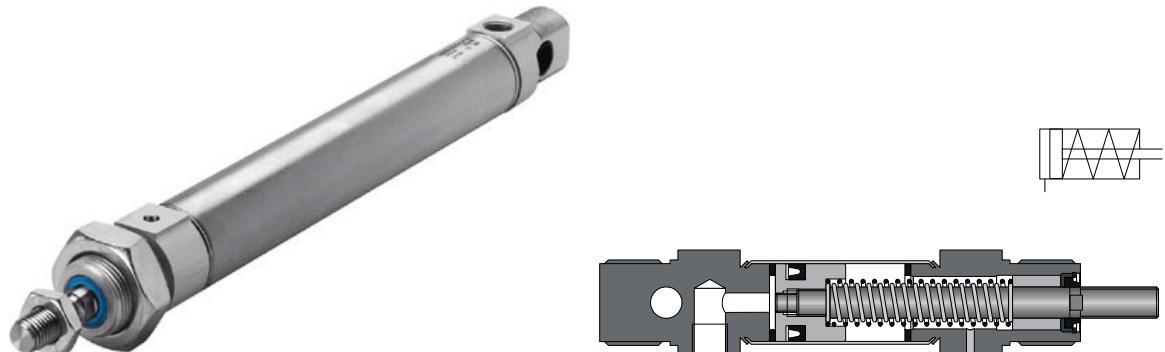


Figura 5.4: Imagen real, dibujo en sección y símbolo de un cilindro de simple efecto

### 5.4.2 Cilindro de doble efecto

Los cilindros de doble efecto reciben aire comprimido en ambos lados. Por ello, estos cilindros pueden ejecutar un trabajo en ambos sentidos. La fuerza que se aplica en el vástagos es algo superior en avance que en retroceso, ya que la superficie es mayor en el lado del émbolo que en el lado del vástagos (ver fig. 5.5).

Los cilindros de doble efecto tienen una conexión en cada lado, es decir, en cada cámara de presión. Antes de ejecutarse el movimiento en el sentido contrario, es necesario descargar primero el aire contenido en la cámara del lado opuesto (lado del vástagos o lado del émbolo).



Figura 5.5: Imagen real, dibujo en sección y símbolo de un cilindro de doble efecto

### 5.4.3 Regulación de la velocidad en cilindros de simple efecto

#### Válvula estranguladora

En una válvula estranguladora se modifica de modo continuo la sección de paso. El efecto de la reducción del caudal es el mismo en ambos sentidos.



#### Válvula reguladora de caudal

El estrangulador surte efecto sólo en un sentido. En el sentido contrario, el estrangulador no surte efecto. El caudal fluye a través de la válvula reguladora. El sentido de estrangulación se indica con una flecha grabada en el componente.

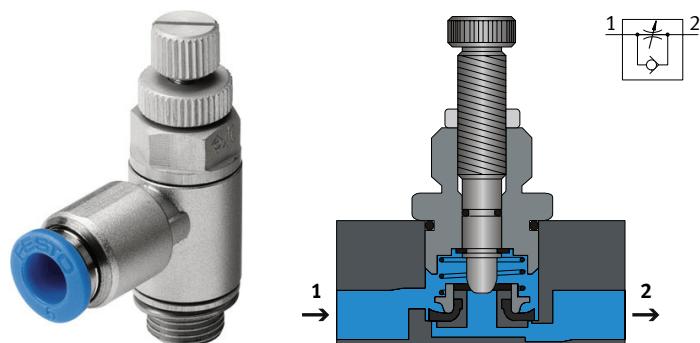
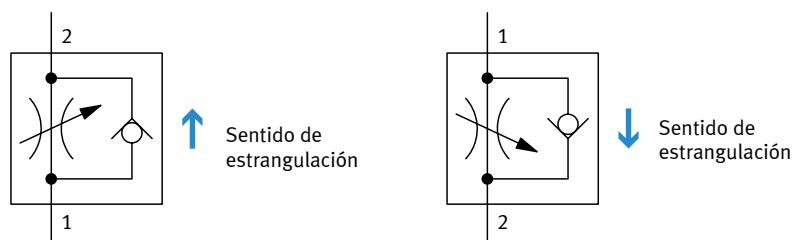
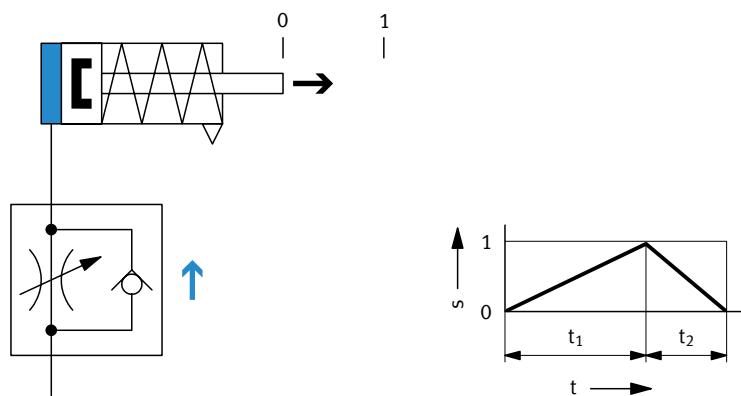


Figura 5.6: Imagen real de la válvula reguladora, dibujo en sección y símbolo

### En avance

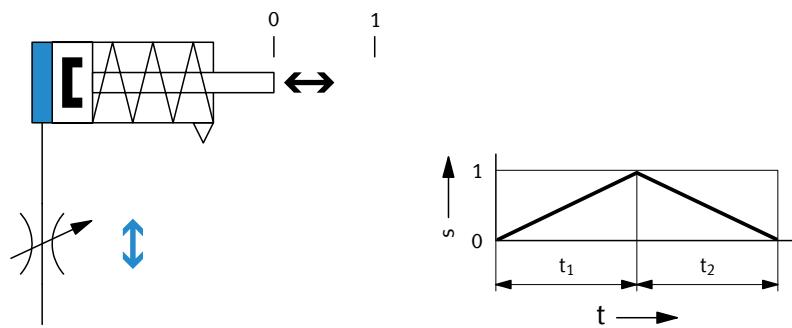
La cantidad del aire alimentado se reduce mediante la válvula reguladora. La regulación de la velocidad únicamente surte efecto en avance. En retroceso, el caudal fluye a través de la válvula reguladora.



$t_1 = \text{ajustable}$ ,  $t_2 = \text{constante} (\text{no ajustable})$

### En avance y retroceso

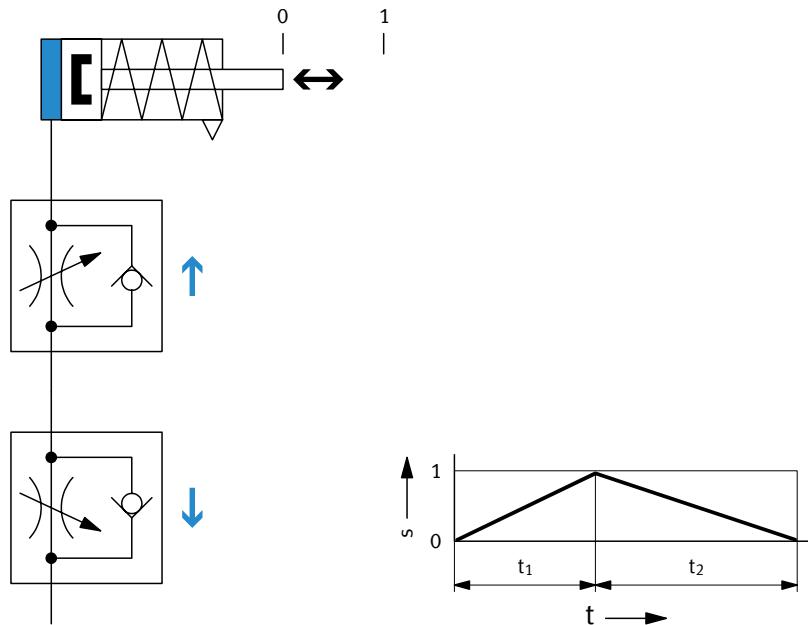
El estrangulador se encuentra en las conexiones de alimentación y de escape. La regulación de la velocidad surte efecto en avance y en retroceso.



$t_1 = t_2 = \text{ajustable}$

### Con dos válvulas reguladoras de caudal

La velocidad puede ajustarse de modo diferente en ambos sentidos.

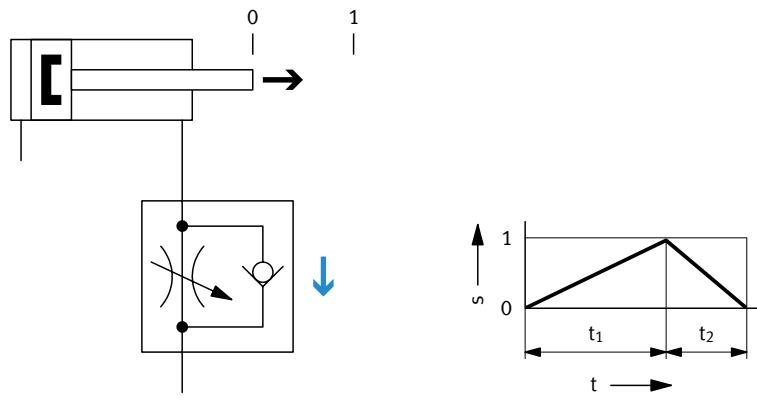


$t_1$  = ajustable,  $t_2$  = ajustable

### 5.4.4 Regulación de la velocidad en cilindros de doble efecto

#### En avance (estrangulación de escape)

La válvula reguladora está montada en el la conexión de escape (estrangulación de escape). El aire de escape pasa a través del estrangulador. La estrangulación del aire de escape es el método más usado en el caso de cilindros de doble efecto. La regulación de la velocidad depende de la carga.

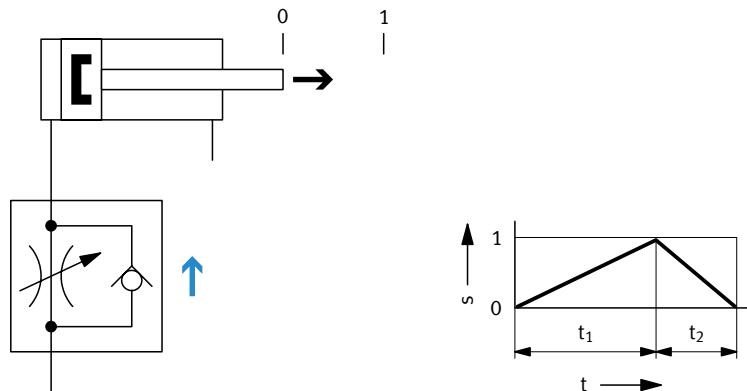


$t_1$  = ajustable,  $t_2$  = constante (no ajustable)

### En avance (estrangulación del aire de alimentación)

(no apropiado si el cilindro está montado en posición vertical)

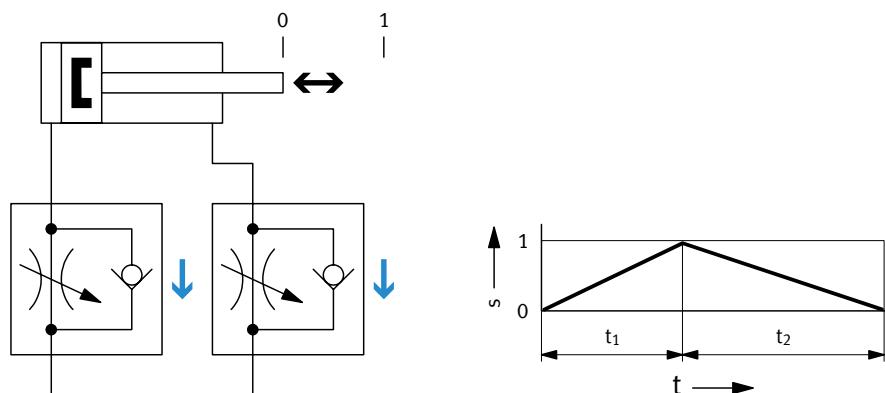
La válvula reguladora está montada en el la conexión de alimentación (estrangulación del aire de alimentación). La regulación de la velocidad únicamente surte efecto en avance. Cualquier oscilación de la carga, por mínima que sea, redunda en una velocidad de avance muy irregular. Cualquier carga que actúa en el sentido del movimiento del cilindro tiene como consecuencia que el cilindro acelere hasta alcanzar una velocidad superior a la que se ajustó previamente.



$t_1$  = ajustable,  $t_2$  = constante (no ajustable)

### En avance y retroceso

Estrangulación con dos válvulas reguladoras de caudal. La velocidad puede ajustarse de modo diferente en ambos sentidos.



$t_1$  = ajustable,  $t_2$  = ajustable

## 5.5 Funciones y características de las válvulas neumáticas

Las válvulas neumáticas se utilizan para controlar el caudal del aire comprimido. El sentido del flujo está marcado con una flecha. El accionamiento puede ser manual, mecánico, neumático o eléctrico. En instalaciones automáticas, por lo general se utilizan electroválvulas que establecen la unión entre los sistemas de control neumáticos y los sistemas de control eléctricos. Estas válvulas comutan reaccionando ante las señales de salida de la unidad de control y bloquean o abren el paso en la parte funcional neumática. Las tareas más importantes de las electroválvulas son las siguientes:

- Abrir o bloquear al alimentación de aire comprimido
- Permitir que los cilindros avance y retrocedan

En las figuras 5.7 y 5.8 se aprecian dos válvulas reales.



Figura 5.7: Válvula de 3/2 vías de accionamiento manual con enclavamiento



Figura 5.8: Imagen real de una electroválvula de 4/2 vías monoestable con accionamiento manual auxiliar

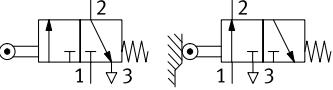
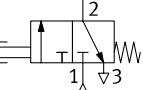
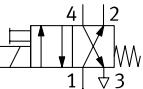
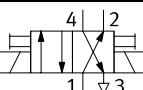
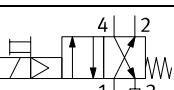
### 5.5.1 Denominación y símbolos de válvulas neumáticas

En la siguiente tabla se muestran los tipos más importantes de válvulas de vías.

Símbolo	Referencia	Funcionamiento
	Válvula de 2/2 vías – Normalmente cerrada – Normalmente abierta	Válvula con dos posiciones de conmutación y dos conexiones.
	Válvula de 3/2 vías – Normalmente cerrada – Normalmente abierta	Válvula con dos posiciones de conmutación y tres conexiones.
	Válvula de 4/2 vías	Válvula con dos posiciones de conmutación y cuatro conexiones.
	Válvula de 5/2 vías	Válvula con dos posiciones de conmutación y cinco conexiones.
	Válvula de 5/3 vías, centro a escape	El símbolo del cilindro no aplica fuerza sobre el vástago. El vástago puede moverse libremente.
	Válvula de 5/3 vías, centro cerrado	El vástago no se mueve. El vástago está inmovilizado aunque no se encuentre en la posición final.
	Válvula de 5/3 vías, centro a presión	En cilindros de doble efecto, el vástago avanza con menos fuerza.

### 5.5.2 Tipos de accionamiento de válvulas neumáticas

En la siguiente tabla se ofrece una información general sobre los tipos de accionamiento más importantes de las válvulas de vías.

Símbolo	Referencia	Funcionamiento
	Válvula con rodillo, recuperación por muelle, monoestable	El accionamiento de esta válvula está a cargo de levas o dispositivos similares. Se utiliza especialmente para consultar posiciones finales.
	Accionamiento manual, recuperación por muelle, monoestable	Esta válvula se acciona manualmente. Al soltar, la recuperación es por muelle.
	Electroválvula con accionamiento manual auxiliar, monoestable	Esta válvula se acciona mediante una bobina y la reposición es por muelle cuando se desconecta la corriente piloto.
	Electroválvula con accionamiento manual auxiliar, biestable	Esta válvula se acciona mediante bobinas y mantiene su posición hasta que se activa la otra bobina respectivamente.
	Electroválvula con servopilotaje neumático	Esta válvula se acciona mediante una bobina. La bobina controla el circuito neumático auxiliar que acciona la corredera.

### 5.5.3 Accionamiento de un cilindro de simple efecto

En la figura 5.9a se muestra una electroválvula que controla los movimientos de un cilindro de simple efecto. La válvula tiene tres conexiones y dos posiciones.

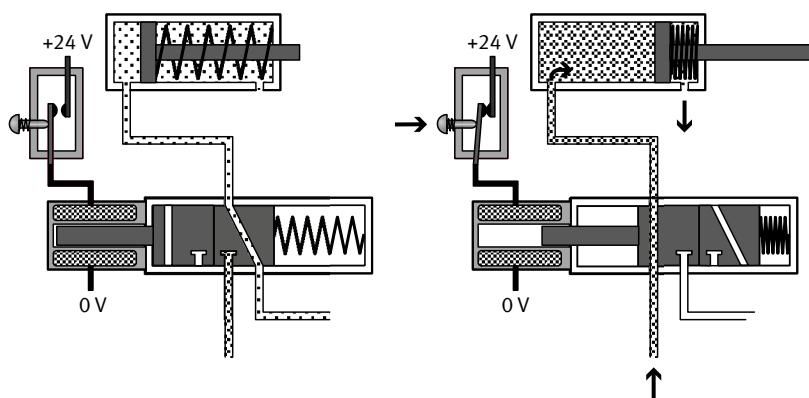
- Si no se aplica corriente en la bobina de la válvula de vías, se descarga a través de la válvula el aire contenido en la cámara del cilindro. El vástagos retrocede.
- Si fluye corriente a través de la bobina, la válvula de vías conmuta y se aplica presión en la cámara del cilindro. El vástagos avanza.
- Si no se aplica corriente en la bobina, la válvula vuelve a conmutar. Se descarga el aire de la cámara del cilindro y el vástagos retrocede.

### 5.5.4 Accionamiento de un cilindro de doble efecto

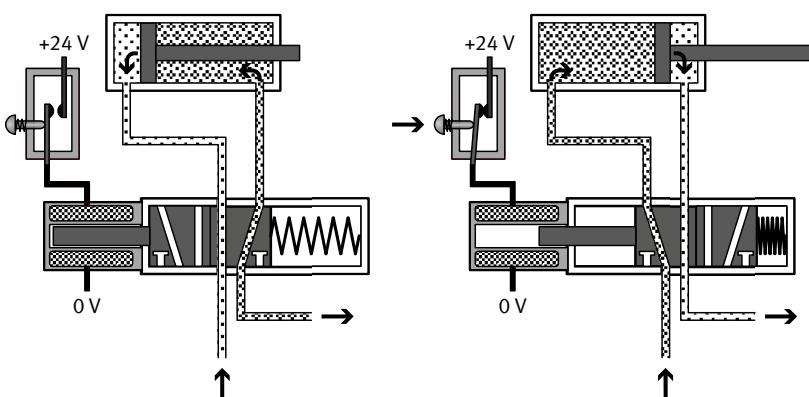
El cilindro de doble efecto que se muestra en la figura 5.9b es controlado por una válvula de vías que tiene cinco conexiones y dos posiciones.

- Si no se aplica corriente en la bobina, se descarga el aire de la cámara izquierda del cilindro y se aplica presión en la cámara del lado derecho. El vástagos retrocede.
- Si fluye corriente eléctrica a través de la bobina, la válvula comuta. Se aplica presión en la cámara del lado izquierdo y se descarga la cámara del lado derecho. El vástagos avanza.
- Si no se aplica corriente en la bobina, la válvula vuelve a conmutar y el vástagos retrocede.

a)



b)



a) De simple efecto

b) De doble efecto

Figura 5.9: Accionamiento de cilindros con electroválvulas

## 5.6 Funciones y características de los actuadores neumáticos

### 5.6.1 Actuadores guiados, actuadores lineales sin vástagos y actuadores giratorios

En aplicaciones especiales, especialmente en el ámbito de la técnica de manipulación, se usan con frecuencia actuadores neumáticos guiados (ver fig. 5.11). A diferencia de lo que sucede en el caso de los cilindros comunes, en estos actuadores no puede girar el vástagos, dado que se halla guiado mecánicamente. Dependiendo de la ejecución, puede tratarse de actuadores con guía deslizante para aplicaciones sencillas, de precisión limitada y con poco esfuerzo ocasionado por fuerzas externas, o de actuadores con guías de rodamiento de bolas muy precisas, capaces de soportar grandes fuerzas y momentos y que, por lo tanto, tienen un coste mayor.

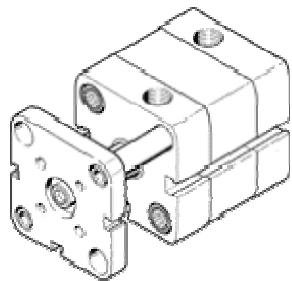


Figura 5.11: Actuador neumático guiado

Los cilindros sin vástagos constituyen otra clase de actuadores (ver fig. 5.12). Estos actuadores no tienen vástagos y, por lo tanto, son especialmente apropiados para carreras largas.

Los cilindros sin vástagos son sólo ligeramente más largos que su carrera, mientras que los cilindros con vástagos duplican como mínimo su propia longitud cuando el vástagos está extendido. Además, los cilindros sin vástagos suelen estar combinados con guías de gran calidad.



Figura 5.12 Actuador neumático sin vástagos

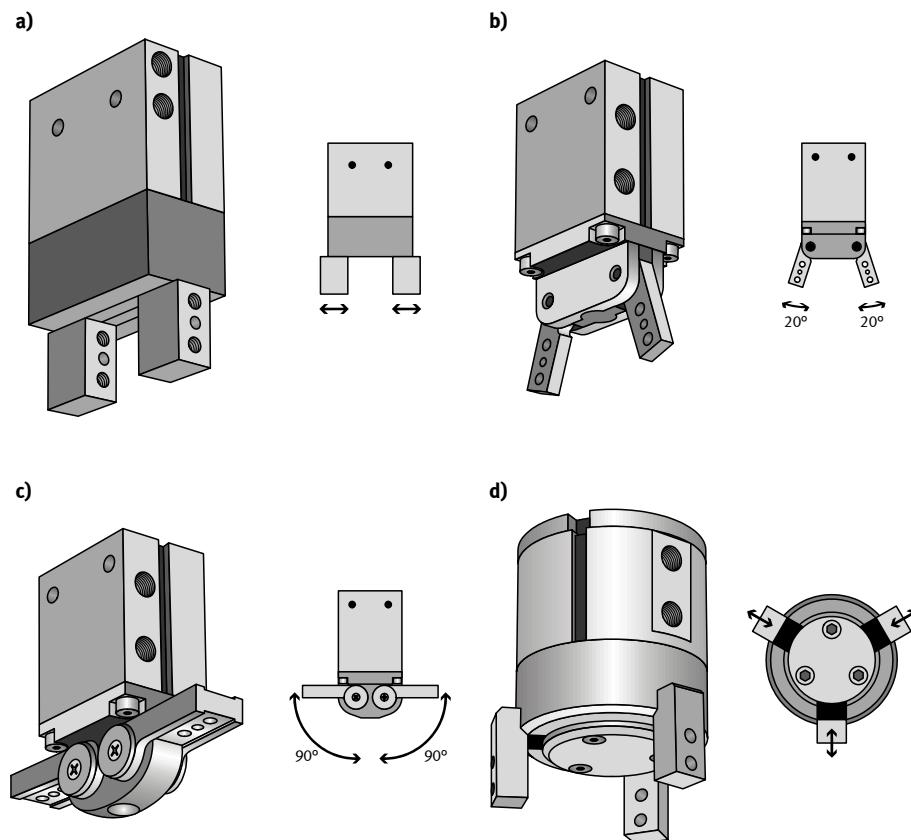
Los actuadores neumáticos giratorios se utilizan en aplicaciones que exigen la ejecución de movimientos giratorios o basculantes.



Figura 5.13 Actuador neumático giratorio

### 5.6.2 Pinzas neumáticas

Las pinzas de accionamiento neumático se utilizan para manipular piezas. A continuación se muestran varios tipos de pinzas.



- a) Pinza paralela
- b) Pinza angular
- c) Pinza radial
- d) Pinza de tres dedos

Figura 5.14: Pinzas neumáticas

En la siguiente figura 5.15 se muestra un corte en sección de una pinza angular. El accionamiento de esta pinza está a cargo de un cilindro de doble efecto. En la representación gráfica se explica cómo se montan los dedos (en este caso, apropiados para piezas cilíndricas) y el detector.

El tipo y tamaño de la pinza y el tipo de dedos se seleccionan según la forma y el peso de las piezas a manipular.

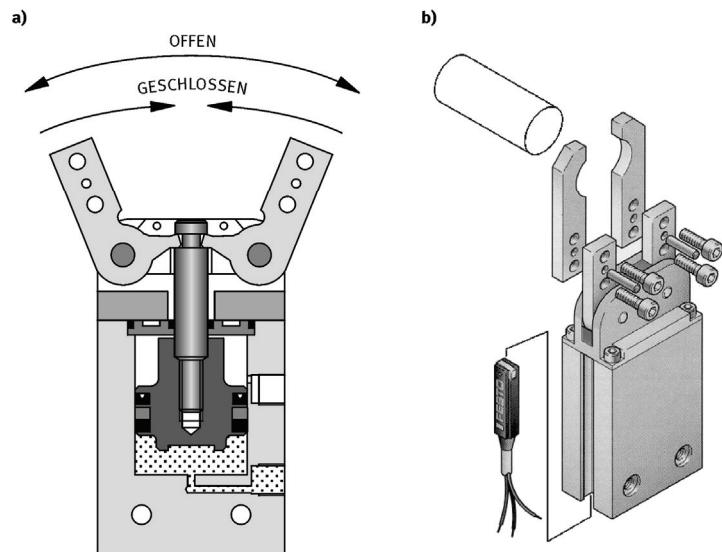
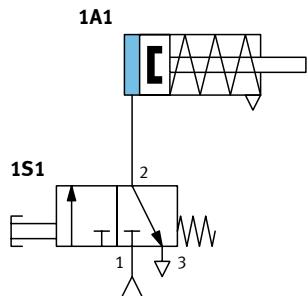


Figura 5.15: Pinzas angulares: principio de funcionamiento, dedos y detector

## 5.7 Inclusión de unidades de control neumáticas en el esquema de distribución

El accionamiento directo es la forma más sencilla de controlar los movimientos de cilindros de simple y de doble efecto. En este caso, el cilindro es accionado directamente por una válvula de accionamiento manual o mecánico, sin intercalar otras válvulas de vías.

Posición inicial



Posición activada

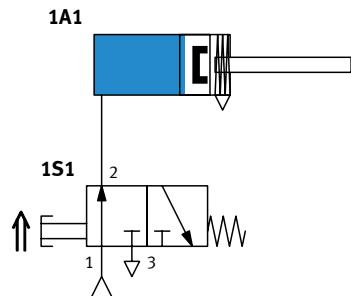


Figura 5.16: Esquema de distribución de un sistema de accionamiento directo mediante una válvula manual de 3/2 vías

En los esquemas de distribución, los símbolos de cada uno de los elementos deben mostrarse en su respectiva posición normal. Sin embargo, esta forma de representación puede confundir a las personas que no son expertas en la materia. Por ello, en los primeros ejemplos los elementos se muestran adicionalmente en estado activado, únicamente para facilitar la comprensión y contrariamente a lo que exigen los estándares usuales. La flecha que se encuentra delante del elemento de accionamiento de la válvula de 3/2 vías con pulsador indica que esta válvula se encuentra en estado activado (fig. 5.16, lado derecho).

### 5.7.1 Símbolos en esquemas de distribución

La estructura de los esquemas de distribución neumáticos, la posición de los símbolos, la identificación de los componentes y la numeración están definidos en la norma DIN/ISO 1219-2. El estado de las válvulas corresponden a su posición normal (posición inicial). La parte funcional (cilindro con válvula de trabajo) se encuentra en la parte superior. La parte de control con sus elementos de entrada de señales se encuentra debajo.

Los elementos se denominan desde abajo hacia arriba y desde la izquierda hacia la derecha (ver fig. 5.17).

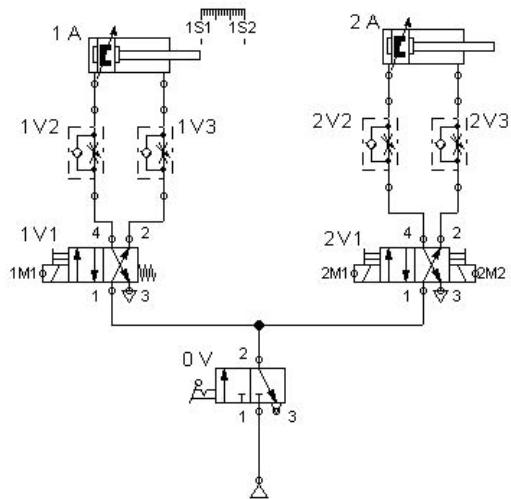


Figura 5.17: Denominaciones en un esquema de distribución neumático

### Ejemplo de representación de un esquema de distribución electroneumático y de sus funciones

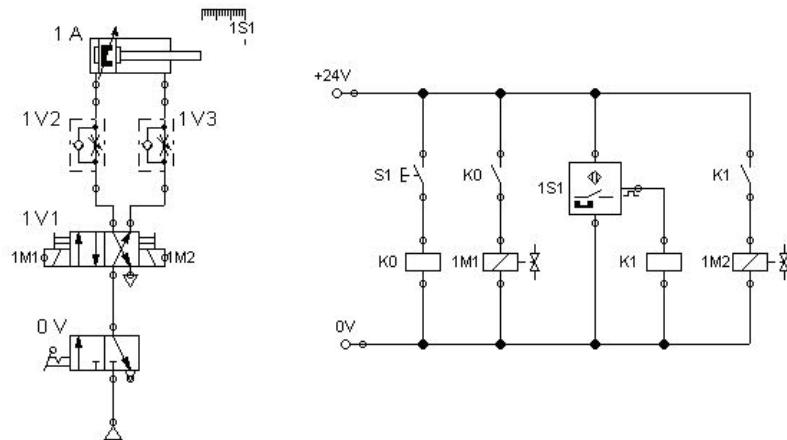


Figura 5.18: Representación de un esquema de distribución electroneumático

Funcionamiento del esquema de distribución electroneumático anterior:

- Accionando el pulsador S1 se activa la electroválvula 1M1 a través del contacto normalmente abierto del relé K0 y el cilindro 1A avanza.
- Cuando el cilindro alcanza su posición final delantera, el detector magnético de posición final 1S1 excita el relé K1, activándose así la electroválvula 1M2. Por lo tanto, el cilindro vuelve a retroceder hasta su posición final trasera.



## 6 Actuadores eléctricos

En el mundo moderno, los electromotores son componentes muy comunes. A diferencia de la neumática, que se utiliza en plantas industriales porque es una fuente de energía sencilla y fiable, los motores eléctricos también se utilizan en un sinúmero de aplicaciones no industriales. Basta mencionar sólo algunos ejemplos para confirmar esa afirmación: lavadoras, secadores, unidades CD, muchísimos juguetes, aparatos de cocina, ventiladores y un largo etcétera. También el funcionamiento de numerosas funciones de confort de los automóviles está a cargo de motores eléctricos, como, por ejemplo, elevalunas eléctricos, sistemas de regulación múltiple de la posición de los asientos, etc.

Existen diversos tipos de motores eléctricos, concebidos para aplicaciones específicas:

- Motores sencillos y económicos de corriente continua, de potencia relativamente baja para aparatos móviles que funcionan con baterías
- Robustos motores trifásicos de potencia relativamente grande para uso estacionario en aplicaciones industriales
- Servomotores muy dinámicos para máquinas herramienta o robots, para la ejecución de movimientos muy rápidos y precisos
- Motores paso a paso para la ejecución de movimientos sencillos (por ejemplo, alimentación de piezas a una máquina herramienta)

Los motores eléctricos pueden ejecutar movimientos giratorios (de rotación) o lineales (de traslación). Dependiendo de las exigencias que plantea cada aplicación, existen motores eléctricos que tienen una potencia de apenas algunos milivatios y otros que tienen varios megavatios de potencia; otros pesan unos pocos gramos, mientras que hay motores que pesan varias toneladas. Los motores eléctricos son actualmente los elementos de accionamiento más difundidos.

Casi todos los actuadores eléctricos se basan en el principio de la fuerza electromagnética o fuerza de Lorentz. A continuación se explica el principio de funcionamiento de un motor de corriente continua permanentemente excitado. Las explicaciones se concentran en este tipo de motor porque su funcionamiento se entiende fácilmente y, además, porque se trata de un motor que está ampliamente difundido.

### 6.1 Principios físicos y técnicos del motor de corriente continua

Si un cable conductor por el que fluye la corriente  $I$  se encuentra en un campo magnético  $B$ , entonces actúa sobre ese cable la fuerza  $F$ . El sentido de esta fuerza puede determinarse aplicando la «regla de los tres dedos». En este caso se supone que las líneas del campo magnético están dirigidas del polo norte al polo sur del imán y que la corriente fluye a través del cable desde el polo positivo hacia el polo negativo de la fuente de intensidad. El pulgar, el índice y el dedo medio deben extenderse y encontrarse en ángulos rectos entre sí, de modo que formen un sistema de coordenadas cartesianas.

Si el pulgar está dirigido en el sentido del flujo de la corriente (es decir, desde polo positivo hacia el polo negativo), y si el índice está dirigido en el sentido del campo magnético (norte – sur), entonces el dedo medio muestra el sentido en el que actúa la fuerza. Ello significa que en la figura 6.1 el cable se movería hacia delante.

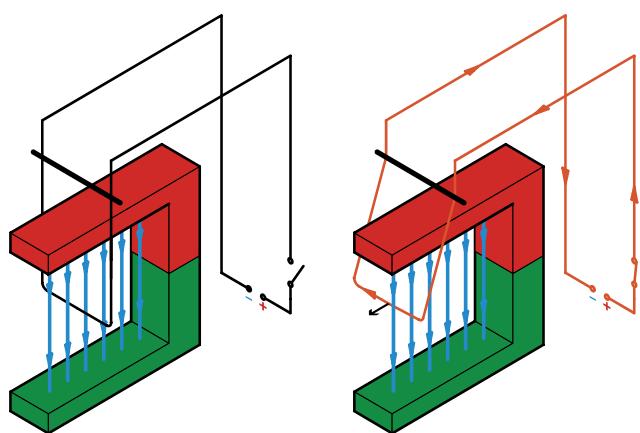


Figura 6.1: Fuerza de Lorentz

La magnitud de la fuerza depende de la intensidad del campo magnético, de la intensidad de la corriente eléctrica y de la longitud del cable que se encuentra en el campo magnético. El motor de corriente continua aprovecha ese efecto de la fuerza para generar un movimiento giratorio. Para conseguirlo, se coloca un bucle conductor giratorio entre los dos polos del imán (norte/sur) (fig. 6.2).

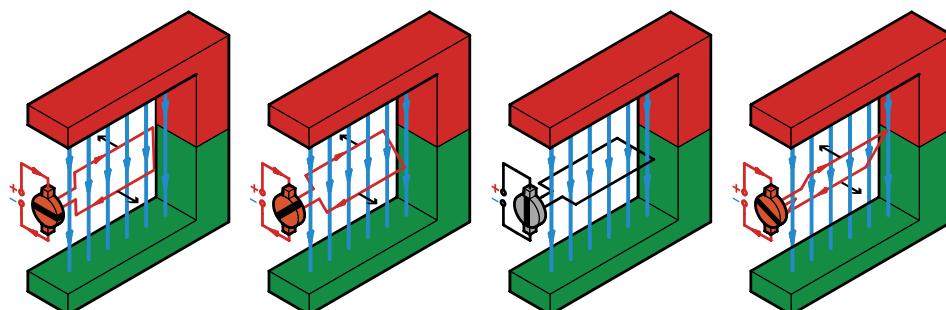


Figura 6.2: Funcionamiento de un motor de corriente continua

La corriente fluye a través de las dos mitades del bucle conductor en sentido contrario. Por ello, las fuerzas que actúan sobre las mitades del bucle conductor también tienen sentidos opuestos. También en este caso se obtiene un polo norte y un polo sur que son atraídos (norte/sur o sur/norte) o repelidos (sur/sur o norte/norte) por los polos del imán permanente. Ambas fuerzas generan un momento de giro que provoca el giro continuado del bucle conductor. A más tardar, tras medio giro del bucle conductor cambian los polos por acción del conmutador mecánico (inversor de corriente) y la operación se repite.

El inversor de corriente es el componente más importante, ya que consigue que la operación única obtenida por la fuerza que actúa sobre un conductor por el que fluye corriente eléctrica se transforme en un movimiento giratorio continuo. Este inversor está compuesto por dos semiesferas metálicas aisladas entre sí, a las que se aplica la corriente mediante escobillas.

Considerando que los motores de corriente continua normalmente generan pequeños momentos de giro ( $M_d$ ) de altas revoluciones ( $n$ ), suelen utilizarse engranajes reductores para reducir las revoluciones de salida ( $n_2$ ) en la relación  $i$  y para aumentar el momento de impulsión ( $M_{d2}$ ) por el mismo factor. Es válido lo siguiente:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_{d2}}{M_d}$$

Los engranajes pueden ser de ejecuciones muy diversas. En la fig. 6.3 se muestra un motor de corriente continua con engranaje helicoidal (engranaje sin fin), en el que el eje de salida está dispuesto a  $90^\circ$  en relación con el eje del motor.

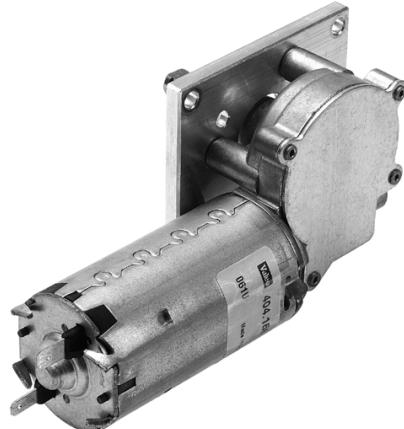


Figura 6.3: Motor de corriente continua con engranaje

### 6.1.1 Accionamiento de motores de corriente continua

El motor de corriente continua empieza a funcionar cuando se conecta a una fuente de corriente eléctrica. El sentido de giro depende de la polaridad. En la fig. 6.4 se muestra la forma de accionamiento más sencilla, una vez con el interruptor abierto (motor desconectado) y una vez con el circuito cerrado (motor conectado).

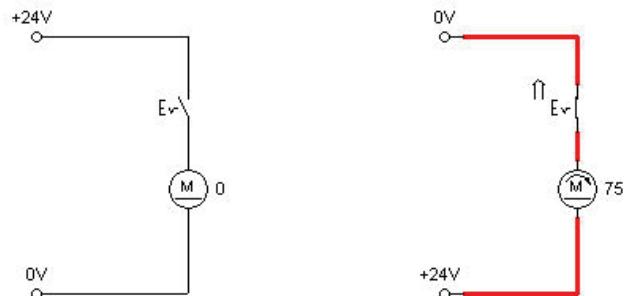


Figura 6.4: Accionamiento de un motor de corriente continua

Considerando que el consumo de los motores eléctricos es relativamente alto, su accionamiento se realiza a través de relés para evitar sobrecargas en los interruptores. En la figura 6.5 se muestra el correspondiente esquema de distribución.

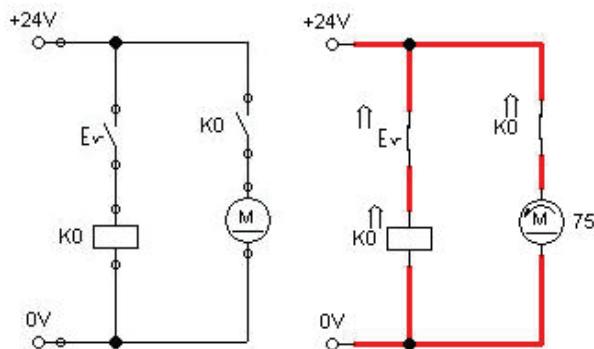


Figura 6.5: Accionamiento de un motor de corriente continua con un relé

Para invertir el sentido de giro del motor, es necesario invertir el sentido del flujo de la corriente a través del motor (fig. 6.6).

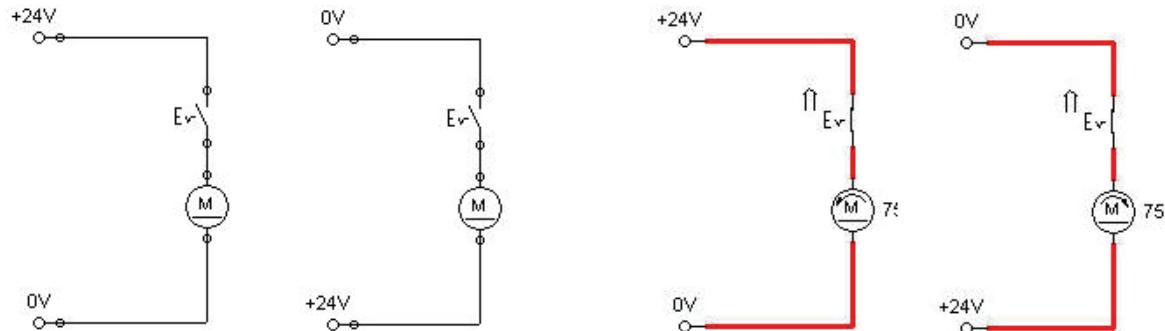


Figura 6.6: Inversión del sentido de giro de un motor de corriente continua

Dado que sería muy poco práctico cambiar constantemente el cableado del motor, se utiliza un así llamado circuito de inversión de polos para cambiar el sentido de giro de los motores de corriente continua (fig. 6.7).

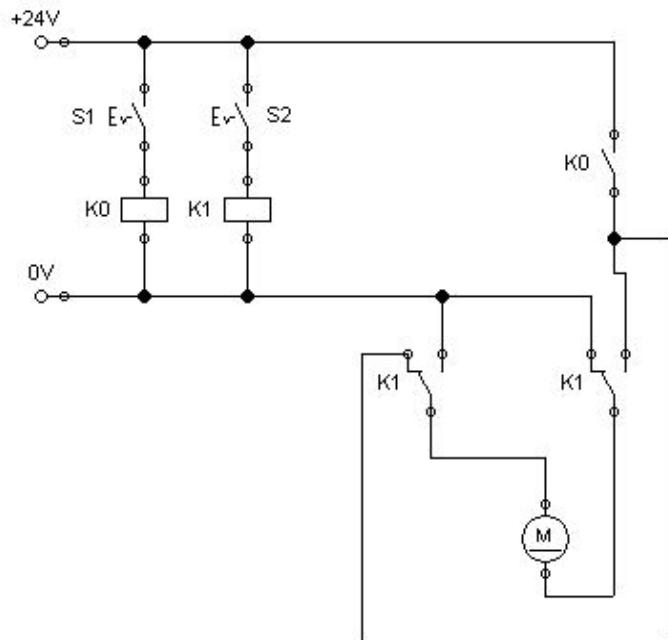


Figura 6.7: Circuito de inversión de polos

En ese caso, el motor es accionado mediante dos relés. El relé K0 conecta o desconecta la corriente del motor. El relé conmutador K1 cambia la polaridad de la corriente del motor, de modo que el motor pueda girar en ambos sentidos.

### 6.1.2 Electroimanes como actuadores sencillos

El electroimán elevador es un actuador eléctrico que puede utilizarse para ejecutar tareas de posicionamiento sencillas. Estos electroimanes se utilizan, por ejemplo, para el accionamiento de las correderas de las electroválvulas. En principio, pueden utilizarse siempre que sea suficiente con ejecutar movimientos lineales pequeños.

En la figura 6.8 se muestra el principio de funcionamiento de estos actuadores. El electroimán está compuesto esencialmente de una bobina y un núcleo de hierro. Cuando una corriente eléctrica atraviesa la bobina, genera un campo magnético que aplica una fuerza de atracción sobre el núcleo. El núcleo se acerca a la bobina. Si se desconecta la corriente eléctrica, el núcleo vuelve a salir de la bobina por acción de un muelle. Aunque el cambio del sentido de flujo de la corriente provoca un cambio del sentido del campo magnético, el núcleo de hierro siempre es atraído por el campo magnético.

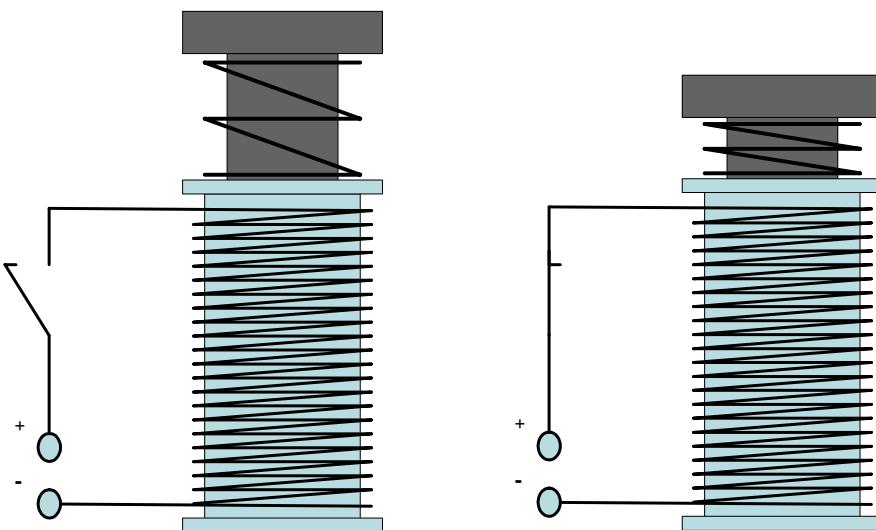


Fig. 6.8: Funcionamiento de un electroimán

## 7 Fundamentos de la técnica de control

Las unidades de control son, además de los actuadores y los detectores, los componentes más importantes en la técnica de la automatización. El término de control tiene un significado general que suele utilizarse para referirse a equipos que tienen las siguientes funciones:

- Controlar
- Regular
- Vigilar
- Captar datos (de un proceso)
- Comunicar
- Diagnosticar

En un sentido más estricto se entiende bajo controlar la influencia que se ejerce en el flujo de energía o materiales mediante una o varias señales en una cadena de control abierta (DIN 19226). Los sistemas de control con frecuencia se usan para controlar procesos que se ejecutan paso a paso. Ejemplos:

- Abrir una puerta cuando alguien se encuentra delante de ella
- Conmutar un semáforo a luz roja después de transcurrido un tiempo determinado
- Conectar la luz en un pasillo cuando se pulsa el interruptor y desconectarla transcurrido un tiempo determinado.

Estos tipos de control se caracterizan por su ejecución abierta, lo que significa que la señal controlada de salida ( $y$ ) no influye en la señal de entrada ( $x$ ). El sistema de control no puede reaccionar ante posibles interferencias. En el ejemplo de la luz del pasillo, ello significa que la unidad de control abierto apaga la luz transcurrido un determinado tiempo, sin importar si la persona que pulsó el interruptor para prender la luz ya llegó a la puerta de su apartamento. En la figura 7.1 se muestra la forma de representar una cadena de mando abierta.

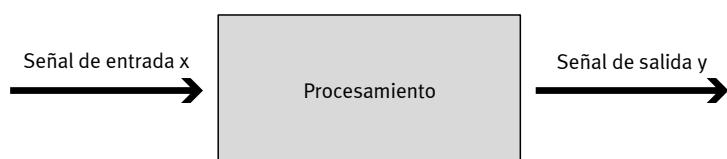


Figura 7.1: Cadena de mando abierta

Un sistema de regulación, por lo contrario, detecta siempre las señales de salida ( $y$ ) del proceso, las compara con las señales de entrada ( $x$ ) y, a continuación, regula el proceso con el fin de equiparar automáticamente las señales de salida a las señales de entrada. Ello significa que un sistema de regulación es un circuito cerrado que sí puede reaccionar frente a interferencias. Los procesos de regulación suelen ser procesos continuos, en los que la finalidad consiste en que la señal de salida mantenga un determinado valor. Ejemplos:

- Regulación del agua en una pecera
- Regulador automático de la velocidad en automóviles
- Regulación de las revoluciones de un motor eléctrico

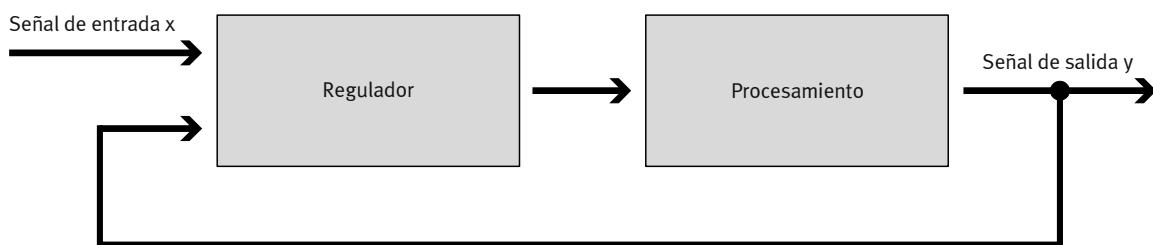


Figura 7.2: Circuito cerrado de regulación

En la técnica de la automatización se emplean numerosas denominaciones para calificar diversos tipos de control que asumen funciones específicas. Ejemplos:

- Controles programables con relés  
Se trata de controles en los que la lógica o el «programa» se ejecuta mediante las conexiones establecidas con relés. Un buen ejemplo de este tipo de sistemas de control son los controles por contactos. Estos controles suelen funcionar con relés y se utilizan para solucionar tareas de control sencillas. Una aplicación típica consiste en el accionamiento de motores eléctricos.
- PLC: controles lógicos programables (ver fig. 7.3)  
Los PLC fueron desarrollados en sustitución de los controles por contactos mediante relés, ya que éstos son poco versátiles. Están compuestos de un ordenador que tiene módulos de entradas y salidas especiales. El programa no se define mediante la conexión entre varios relés, sino que se encuentra en la unidad de memoria de la unidad de control y, por lo tanto, puede modificarse dentro de determinados límites. Los PLC principalmente procesan señales binarias.  
En el sistema de estudio y ejercicios prácticos MecLab®, el PLC real se simula mediante un PLC incluido en el software FluidSIM®. En FluidSIM® pueden simularse controles lógicos programables y, también, controles por contactos.
- CNC: Computerized Numerical Control  
Estos sistemas se utilizan para controlar máquinas herramienta, es decir, por ejemplo, fresadoras, taladradoras, tornos, etc. Las primeras máquinas herramienta automáticas utilizaban modelos de madera como referencia para, a continuación, mecanizar las piezas reales. El modelo de madera se utilizaba para memorizar las coordenadas mediante códigos de números duales (de ahí el nombre de control numérico). La función principal de los CNC consiste en ejecutar un movimiento definido mediante un software que registra las coordenadas obtenidas mediante un modelo de referencia.
- RC: Robot Control  
Los RC fueron desarrollados especialmente para controlar los movimientos de robots industriales. En principio, son similares a los CNC.

## 7.1 Estructura y funcionamiento de un control lógico programable (PLC)

Los PLC son los sistemas de control más difundidos y, a la vez, son los más sencillos, por lo que a continuación se ofrecen informaciones más detalladas sobre este tipo de sistemas de control.



Figura 7.3: Control Lógico Programable (PLC) de Festo

El componente principal de un PLC es el sistema de microprocesadores. Mediante la programación del microprocesador se define lo siguiente:

- Determinación de las entradas (E1, E2, etc.) que se registrarán y en qué orden
- La forma de relacionar entre sí esas señales de entrada
- En qué salidas (A1, A2, etc.) se pondrán las señales correspondientes a los resultados del procesamiento de las señales de entrada

Ello significa que en un PLC, el comportamiento del sistema de control no se define mediante la conexión de módulos eléctricos (hardware), sino mediante un programa (software).

En la figura 7.4 se muestra la estructura básica de un PLC.

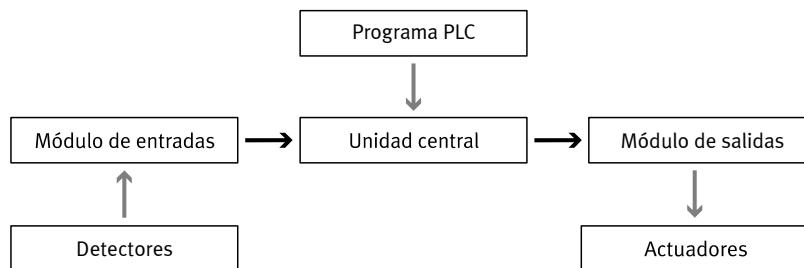


Figura 7.4: Componentes de un PLC

## 7.2 Fundamentos de matemáticas: enlaces lógicos básicos

### 7.2.1 Datos generales

Las funciones lógicas elementales son básicas en la mayoría de los sistemas de control. Por ello, a continuación se ofrecen informaciones generales sobre las funciones lógicas básicas. Las funciones lógicas pueden expresarse en tablas, ecuaciones, en esquemas de distribución con relés (enlaces) o mediante símbolos lógicos (ver capítulo 7.2.6). En un PLC, los símbolos lógicos se utilizan para confeccionar el programa.

### 7.2.2 Afirmación (función de SI)

El pulsador que se muestra a continuación es un contacto normalmente abierto. Si no se activa, la lámpara P1 está apagada. Si se activa, la lámpara P1 está encendida.

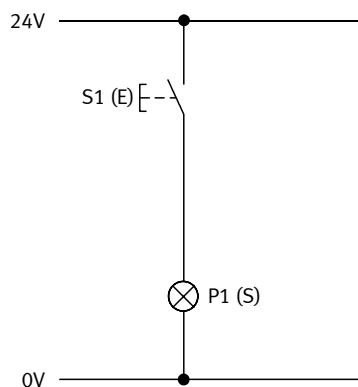


Figura 7.5: Esquema (afirmación)

El pulsador S1 hace las veces de señal de entrada, la lámpara corresponde a la señal de salida. Este sistema también puede representarse mediante una tabla de funciones o de valores:

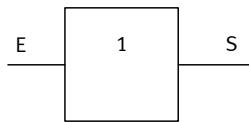
E	S
0	0
1	1

Tabla de funciones (afirmación)

En consecuencia, la ecuación booleana es la siguiente:

$$E = S$$

El símbolo lógico de la afirmación es el siguiente:



### 7.2.3 Negación (función de NO)

El pulsador que se muestra a continuación es un contacto normalmente cerrado. Si no se activa, la lámpara P1 está encendida; si se activa, la lámpara P1 se apaga.

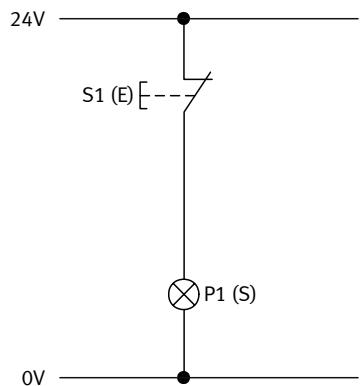


Figura 7.6: Esquema (negación)

El pulsador S1 es la señal de entrada, la lámpara es la señal de salida. Este sistema también puede representarse mediante una tabla de funciones o de valores:

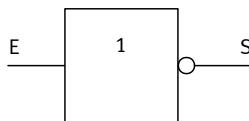
E	S
0	1
1	0

Tabla de funciones (negación)

En consecuencia, la ecuación booleana es la siguiente:

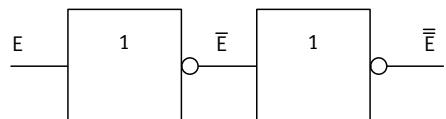
$$\bar{E} = S \text{ (léase: No E igual a S)}$$

El símbolo lógico es el siguiente:



Si dos negaciones se suceden (negación de la negación), éstas se anulan.

$$\overline{\overline{E}} = E$$



Dos funciones de NO relacionadas entre sí

#### 7.2.4 Conjunction (función Y)

Si se montan en serie dos contactos normalmente abiertos, la lámpara únicamente se enciende si se activan los dos pulsadores.

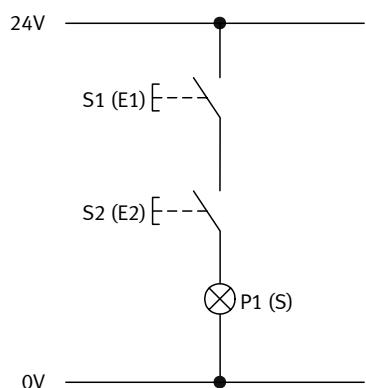


Figura 7.7: Esquema (conjunction)

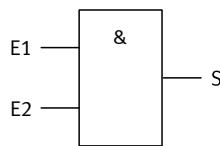
E1	E2	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla de funciones (conjunction)

La tabla de funciones confirma las relaciones existentes. La salida únicamente es igual a 1 si tanto la entrada 1 como la entrada 2 tienen una señal «1». En ese caso se habla de un enlace lógico en Y. La ecuación correspondiente es la siguiente:

$$E1 \wedge E2 = S$$

El símbolo lógico es el siguiente:



Además, en una conjunción son válidas las siguientes ecuaciones:

$$a \wedge 0 = 0$$

$$a \wedge 1 = a$$

$$a \wedge \bar{a} = 0$$

$$a \wedge a = a$$

### 7.2.5 Disyunción (función O)

Otra función lógica elemental es la función O. Si se montan en paralelo dos contactos normalmente abiertos, la lámpara se enciende siempre que, como mínimo, uno de los dos contactos está cerrado.

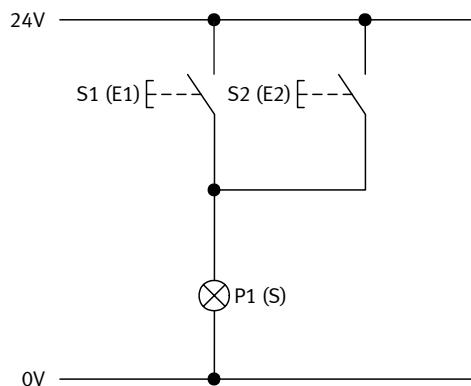


Figura 7.8: Esquema (disyunción)

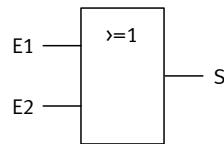
E1	E2	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabla de funciones (disyunción)

La ecuación correspondiente a la función O es la siguiente:

$$E1 \vee E2 = S$$

El símbolo lógico es el siguiente:



Además, en una disyunción son válidas las siguientes ecuaciones:

$$a \vee 0 = a$$

$$a \vee 1 = 1$$

$$a \vee a = a$$

$$a \vee \bar{a} = 1$$

### Otros enlaces lógicos

Antes se explicaron las funciones de NO / Y / O y los respectivos esquemas. Se sobreentiende que todas estas funciones también puede solucionarse por medios neumáticos o electrónicos. Además, en el álgebra booleana también se conocen otras funciones lógicas. En la siguiente tabla se ofrece una información general al respecto.

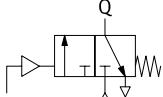
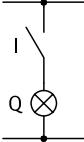
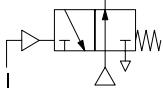
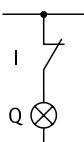
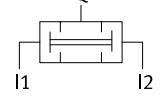
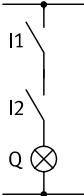
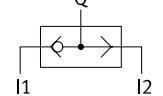
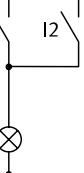
Denominación	Tabla de funciones	Ecuación	Símbolo según EN 60617-12	Representación según ISO 1219-1 (neumática)	Representación según EN 60617-7 (eléctrica)
Afirmación (SÍ)	$\begin{array}{c cc} I & Q \\ \hline 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{array}$	$Q=I$	$I \rightarrow \boxed{1} \rightarrow Q$		
Negación (NO)	$\begin{array}{c cc} I & Q \\ \hline 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{array}$	$Q=\bar{I}$	$I \rightarrow \boxed{1} \circ \rightarrow Q$		
Conjunción (Y)	$\begin{array}{c ccc} I_1 & I_2 & Q \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{array}$	$Q = I_1 \wedge I_2$	$I_1 \rightarrow \boxed{\&} \rightarrow I_2 \rightarrow Q$		
Disyunción (O)	$\begin{array}{c ccc} I_1 & I_2 & Q \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{array}$	$Q = I_1 \vee I_2$	$I_1 \rightarrow \boxed{\geq 1} \rightarrow I_2 \rightarrow Q$		

Tabla 7.1: Enlaces lógicos

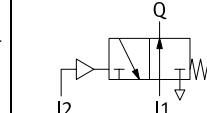
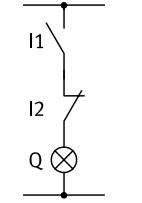
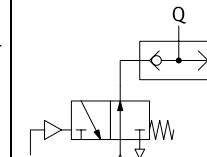
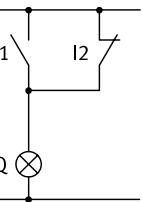
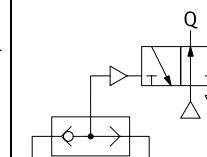
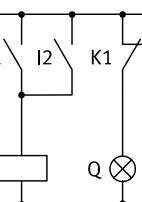
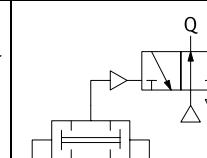
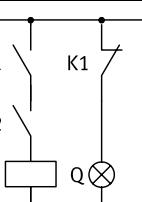
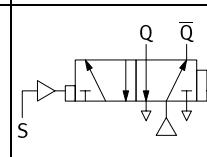
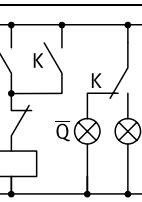
Denominación	Tabla de funciones	Ecuación	Símbolo según EN 60617-12	Representación según ISO 1219-1 (neumática)	Representación según EN 60617-7 (eléctrica)																				
Inhibición	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><th>I<sub>1</sub></th><th>I<sub>2</sub></th><th>Q</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	$Q = I_1 \wedge \bar{I}_2$	$I_1 \quad \& \quad I_2 \rightarrow Q$							
I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	Q																							
0	0	0																							
0	1	0																							
1	0	1																							
1	1	0																							
Implícacion	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><th>I<sub>1</sub></th><th>I<sub>2</sub></th><th>Q</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	$Q = I_1 \vee \bar{I}_2$	$I_1 \quad \geq 1 \quad I_2 \rightarrow Q$							
I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	Q																							
0	0	1																							
0	1	0																							
1	0	1																							
1	1	1																							
NOR	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><th>I<sub>1</sub></th><th>I<sub>2</sub></th><th>Q</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$Q = \bar{I}_1 \vee \bar{I}_2$	$I_1 \quad \geq 1 \quad I_2 \rightarrow \bar{Q}$							
I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	Q																							
0	0	1																							
0	1	0																							
1	0	0																							
1	1	0																							
NAND	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><th>I<sub>1</sub></th><th>I<sub>2</sub></th><th>Q</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	Q	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$Q = \bar{I}_1 \wedge \bar{I}_2$	$I_1 \quad \& \quad I_2 \rightarrow \bar{Q}$							
I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	Q																							
0	0	1																							
0	1	1																							
1	0	1																							
1	1	0																							
Memoria	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><th>S</th><th>R</th><th>Q</th><th><math>\bar{Q}</math></th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td><math>q^{n-1}</math></td><td><math>\bar{q}^{n-1}</math></td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	S	R	Q	$\bar{Q}$	0	0	$q^{n-1}$	$\bar{q}^{n-1}$	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1		$R \quad S \rightarrow Q \quad \bar{Q}$		
S	R	Q	$\bar{Q}$																						
0	0	$q^{n-1}$	$\bar{q}^{n-1}$																						
0	1	0	1																						
1	0	1	0																						
1	1	0	1																						

Tabla 7.1: Enlaces lógicos (continuación)

### 7.3 Ejemplos de la configuración de un sistema de control

La parte de un sistema de control electroneumático que procesa las señales incluye tres bloques funcionales. En la figura 7.9 se muestra una configuración posible a modo de ejemplo.

- La entrada de señales se obtiene mediante detectores o con interruptores y conmutadores. En la figura 7.9 se utilizan dos detectores de posición (1B1/1B2) para la entrada de señales.
- El procesamiento de las señales suele estar a cargo de sistema de relés o de un control lógico programable. Las demás soluciones posibles para el procesamiento de señales tienen una importancia menor en el ámbito de la automatización industrial. En la figura 7.9, el sistema de control mediante relés (K1/K2) se hace cargo del procesamiento de las señales.
- La salida de señales se realiza mediante válvulas de vías de accionamiento electromagnético (1M1/1M2).

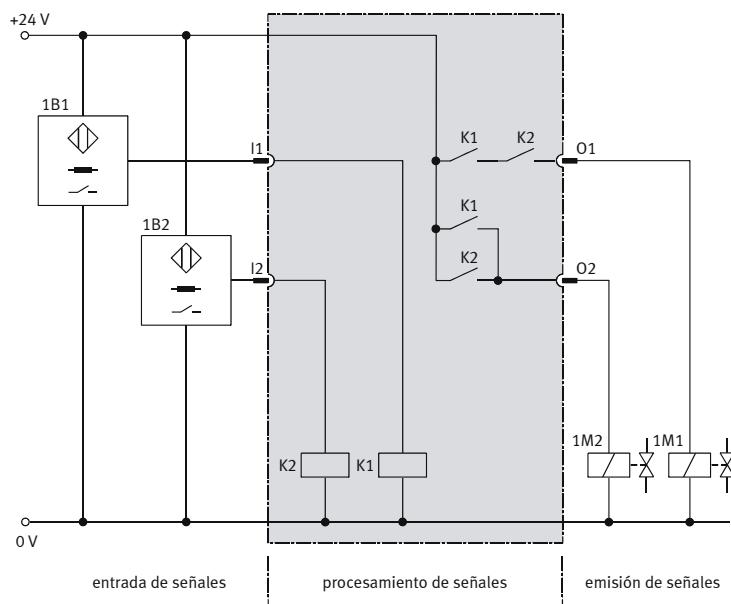


Figura 7.9: Parte del procesamiento de señales con sistema de relés (representación esquemática, no en concordancia con la norma)

Descripción del funcionamiento del sistema de control mediante relés, mostrado en la figura 7.9:

- Los módulos para la entrada de las señales (detectores inductivos 1B1 y 1B2) están conectados a las bobinas de los relés (K1, K2, etc.) a través de las entradas (E1, E2, etc.).
- El procesamiento de las señales está a cargo de la conexión de varias bobinas y relés. En este caso, los relés están conectados a la salida A1 como función en Y, mientras que la conexión con la salida A2 constituye una función en O.
- Los módulos utilizados para la emisión de señales (bobinas de las válvulas 1M1 y 1M2) están conectados a las salidas A1, A2, etc.. Estos módulos se activan mediante los contactos de los relés K1 y K2.

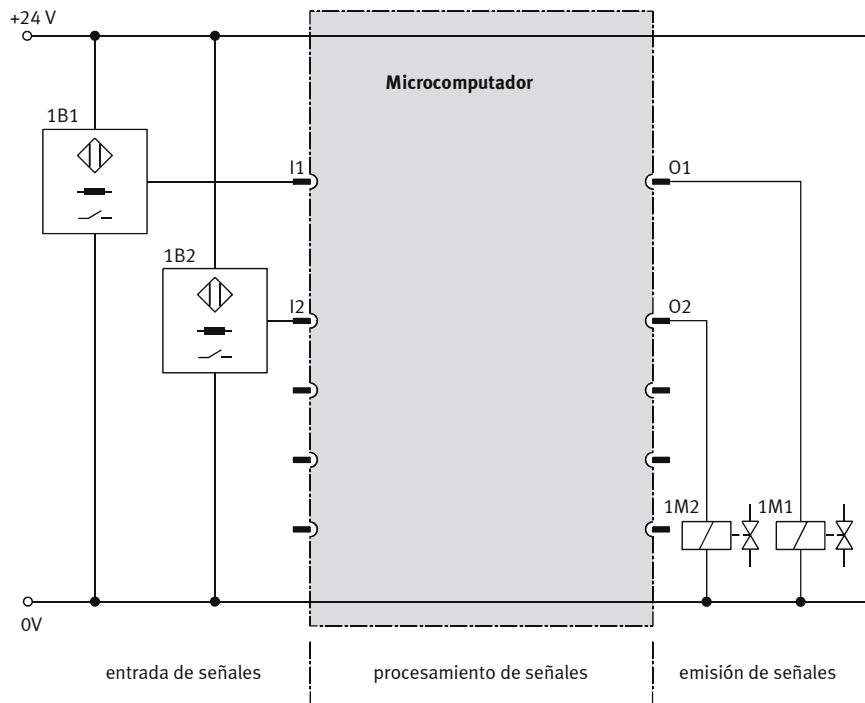


Figura 7.10: Parte de procesamiento de señales con un control lógico programable (PLC)

En la figura 7.10 se muestra la parte de procesamiento de señales de un sistema electroneumático, en el que se usa un control lógico programable para dicho procesamiento.

- Los módulos de entrada de señales (en la fig. 7.10: detectores inductivos 1B1 y 1B2) están conectados a las entradas del PLC (E1, E2)
- El sistema programable con microprocesador del PLC se hace cargo de todas las tareas de procesamiento de señales
- Los módulos de salida de señales (en la fig. 7.10: bobinas 1M1 y 1M2) están conectados con las salidas del PLC (A1, A2). La confirmación se realiza mediante el circuito electrónico que es parte del sistema microprocesador

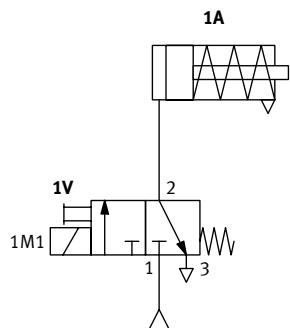
## 8 Utilización de relés en la electroneumática

Con relés es posible procesar todas las señales en un sistema de control electroneumático. Antes existían grandes cantidades de sistemas de control por relés. Sus ventajas principales son su configuración sencilla y su funcionamiento fácil de entender. Dado que funcionan de modo bastante fiable, los sistemas de control por relés siguen utilizándose actualmente en aplicaciones industriales, por ejemplo, en sistemas de PARADA DE EMERGENCIA. Pero también se utilizan cada vez más para el procesamiento de señales en sistemas con controles lógicos programables.

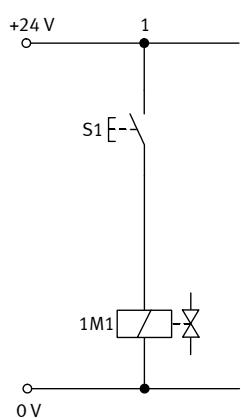
### 8.1 Accionamiento directo e indirecto con relés

El vástagos de un cilindro de simple efecto deberá avanzar cuando se pulsa S1 y cuando se vuelve a soltar el pulsador, el vástagos deberá retroceder. En la fig. 8.1 se muestra el correspondiente esquema de distribución neumático.

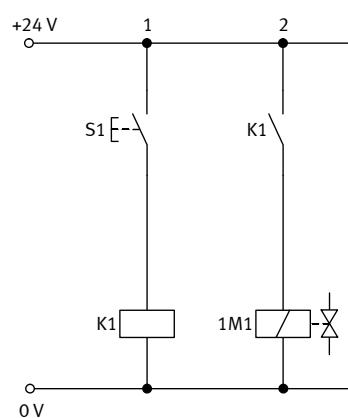
a)



b)



c)



a) Esquema neumático

b) Esquema eléctrico para el accionamiento directo

c) Esquema eléctrico para el accionamiento indirecto

Figura 8.1: Los esquemas de distribución de un sistema de control de un cilindro de simple efecto

### **8.1.1 Accionamiento directo de un cilindro de simple efecto**

En la figura 8.1b se muestra el esquema eléctrico del sistema de control directo de un cilindro de simple efecto. Presionando el pulsador fluye corriente a través de la bobina 1M1 de la válvula de 3/2 vías. El electroimán hace conmutar la válvula y el vástagos avanza. Soltando el pulsador se interrumpe el circuito de corriente. El electroimán se desconecta, la válvula vuelve a su posición normal y el vástagos retrocede.

### **8.1.2 Accionamiento indirecto de un cilindro de simple efecto**

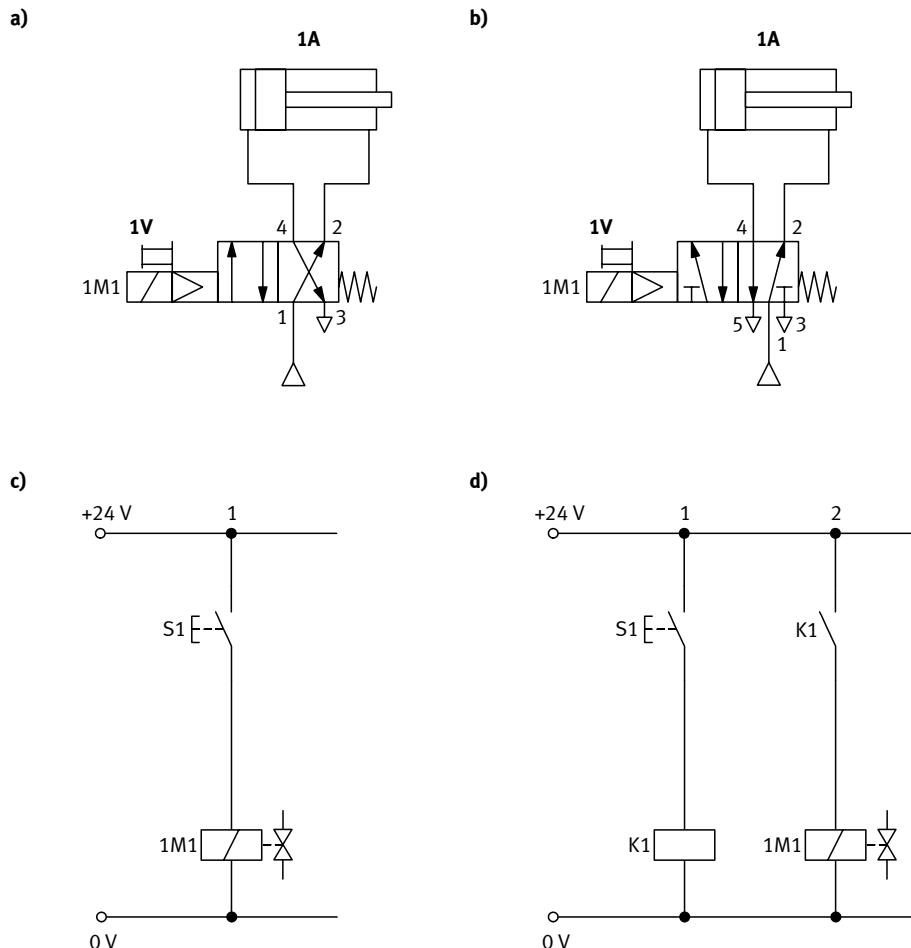
En el caso de un sistema de accionamiento indirecto (fig. 8.1c), presionando el pulsador fluye corriente a través de la bobina del relé. Se cierra el contacto K1 del relé y la válvula de vías comuta. El vástagos avanza.

Soltando el pulsador se interrumpe el flujo a través de la bobina del relé. El relé se desconecta y la válvula de vías comuta a posición normal. El vástagos retrocede. El resultado es básicamente idéntico al del sistema de accionamiento directo. El accionamiento indirecto, más complicado, se utiliza en las siguientes circunstancias:

- Si el circuito de control y el circuito principal de corriente tienen tensiones diferentes (por ejemplo, 24 V y 230 V)
- Si la intensidad en la bobina de la válvula de vías supera la intensidad admisible en el pulsador (por ejemplo, intensidad en la bobina de 0,5 A; intensidad admisible en el pulsador de 0,1 A)
- Si con un mismo pulsador o un conmutador se controlan varias válvulas
- Si es necesario considerar las relaciones entre varias señales provenientes de pulsadores diferentes

### 8.1.3 Control de un cilindro de doble efecto

El vástagos de un cilindro de doble efecto deberá avanzar cuando se pulsa S1 y cuando se vuelve a soltar el pulsador, el vástagos deberá retroceder.



- a) Esquema neumático con válvula de 4/2 vías
- b) Esquema neumático con válvula de 5/2 vías
- c) Esquema eléctrico con accionamiento directo
- d) Esquema eléctrico con accionamiento indirecto

Figura 8.2: Los esquemas de distribución de un sistema de control de un cilindro de doble efecto

La parte de control eléctrico es la misma que en el caso del control del cilindro de simple efecto. Dado que hay que aplicar presión y descargar las dos cámaras del cilindro, se utiliza una válvula de 4/2 vías o una de 5/2 vías (figuras 8.2a y 8.2b).

La denominación de válvulas de 4/2 y 5/2 vías se refiere a la cantidad de conexiones (4 ó 5) y a las posiciones de conmutación de las válvulas (2 posiciones).

## 8.2 Enlaces lógicos con relés

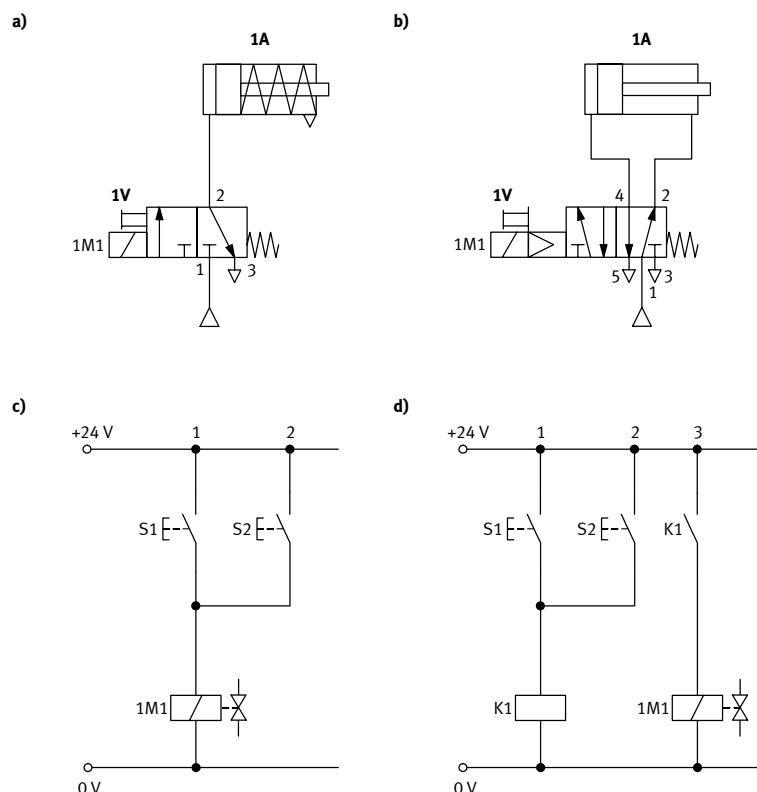
Con el fin de conseguir que los cilindros neumáticos ejecuten los movimientos deseados, con frecuencia es necesario combinar entre sí las señales provenientes de diversos elementos de mando.

### 8.2.1 Conexión en paralelo (enlace en O)

Utilizando por separado dos elementos de mando (pulsadores S1 y S2) deberá conseguirse que avance el vástagos de un cilindro.

Con ese fin, los contactos de los dos pulsadores están dispuestos en paralelo, tal como consta en el esquema de distribución (figuras 8.3c y 8.3d).

- Mientras que no se presione ningún pulsador ( $S1 \wedge S2 = 0$ ), la válvula mantiene su posición normal. El vástagos se halla retraído.
- Si se presiona uno de los dos pulsadores ( $S1 \vee S2 = 1$ ), la válvula de vías comuta a posición de activación. El vástagos avanza.
- Si se sueltan ambos pulsadores ( $S1 \wedge S2 = 0$ ), la válvula comuta a posición normal. El vástagos retrocede.



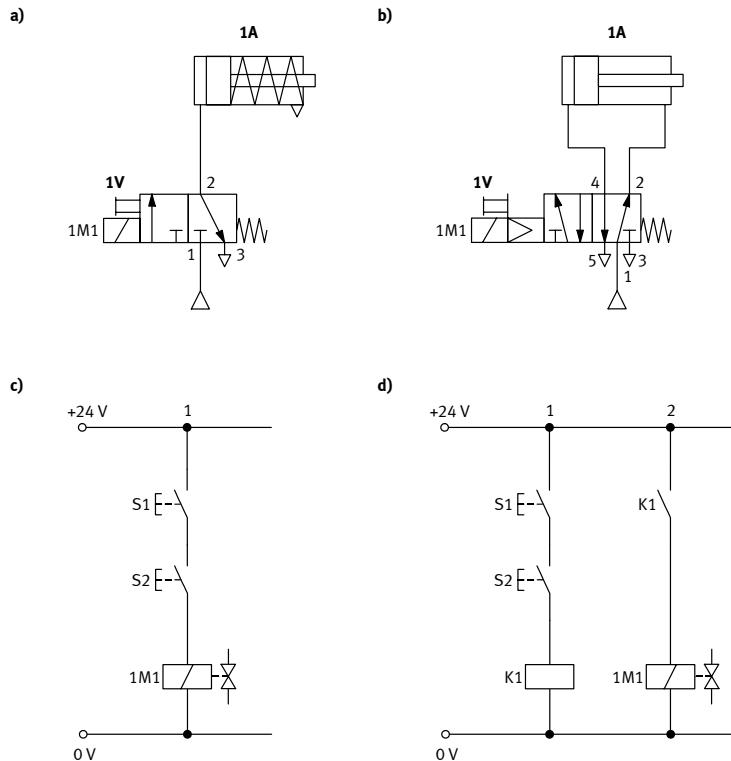
- a) Esquema neumático con cilindro de simple efecto
- b) Esquema neumático con cilindro de doble efecto
- c) Esquema eléctrico con accionamiento directo
- d) Esquema eléctrico con accionamiento indirecto

Figura 8.3: Conexión en paralelo de dos contactos (función en O)

### 8.2.2 Conexión en serie (enlace en Y)

El vástagos de un cilindro únicamente deberá avanzar si se presionan los dos pulsadores S1 y S2 al mismo tiempo. Para ello, los contactos de los dos pulsadores están conectados en serie, tal como consta en el esquema de distribución (figuras 8.4c y 8.4d).

- Mientras que sólo se presione un pulsador o ninguno de ellos ( $S1 \vee S2 = 0$ ), la válvula mantiene su posición normal. El vástagos retrocede.
- Si se presionan los dos pulsadores al mismo tiempo ( $S1 \wedge S2 = 1$ ), la válvula comuta. El vástagos avanza.
- Si se suelta uno de los dos pulsadores ( $S1 \vee S2 = 0$ ), la válvula de vías comuta a posición normal. El vástagos retrocede.



- Esquema neumático con cilindro de simple efecto
- Esquema neumático con cilindro de doble efecto
- Esquema eléctrico con accionamiento directo
- Esquema eléctrico con accionamiento indirecto

Figura 8.4: Conexión en serie de dos contactos (función de Y)

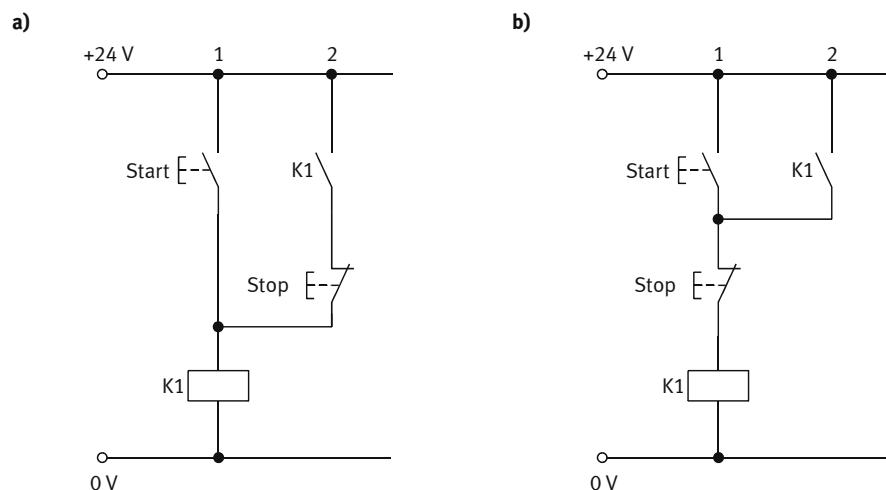
### 8.3 Memorización de señales con relé y electroválvula biestable

En todos los sistemas explicados hasta ahora, el vástagos únicamente avanza si se presiona el pulsador de la señal de entrada. Si se suelta el pulsador durante el movimiento de avance, el vástagos retrocede sin haber alcanzado la posición final delantera.

#### 8.3.1 Memorización de la señal mediante un circuito con relés y función de autorretención

Sin embargo, en la práctica suele ser necesario que el vástagos siga avanzando aunque el usuario sólo presione muy brevemente el pulsador. Ello significa que la válvula debe mantener su posición aunque se suelte el pulsador. Es decir, que es necesario memorizar la activación del pulsador.

Si se presiona el pulsador «MARCHA» del esquema que consta en la figura 8.5a, se excita el relé. El relé cierra el contacto K1. Al soltar el pulsador «MARCHA», sigue fluyendo corriente a través de la bobina proveniente del contacto K1 y el relé mantiene su estado activado. La señal de «MARCHA» está memorizada. Se trata de un sistema de conmutación por relé con función de autorretención.



- a) Con marcha prioritaria (activación)
- b) Con paro prioritario (desactivación)

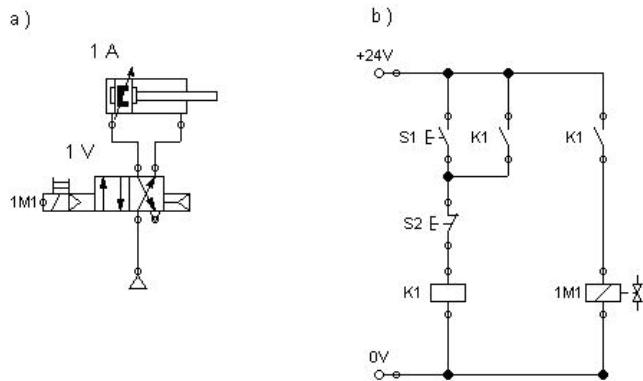
Figura 8.5: Circuito de autorretención con relés

Sólo cuando se presiona el pulsador «PARO» se interrumpe la corriente y se desactiva el relé. Si se presionan simultáneamente los pulsadores «MARCHA» y «PARO», se excita el relé. Esta configuración se llama de marcha prioritaria con autorretención.

La solución que se muestra en la figura 8.5b tiene el mismo comportamiento que la solución que aparece en la figura 8.5a, siempre y cuando únicamente se presione el pulsador «MARCHA» o sólo el pulsador «PARO». Si se presionan los dos pulsadores, el comportamiento es diferente. El relé no se excita. Este configuración se llama de paro prioritario con autorretención.

### 8.3.2 Control manual de avance y retroceso con relés y autorretención

El vástagos de un cilindro deberá avanzar cuando se pulsa S1 y cuando se presiona el pulsador S2, el vástagos deberá retroceder. Para memorizar la señal se utiliza un relé con autorretención.



- a) Esquema neumático con cilindro de doble efecto  
 b) Esquema eléctrico

Figura 8.6: Control manual del avance y del retroceso con memorización de señales mediante un relé con autorretención

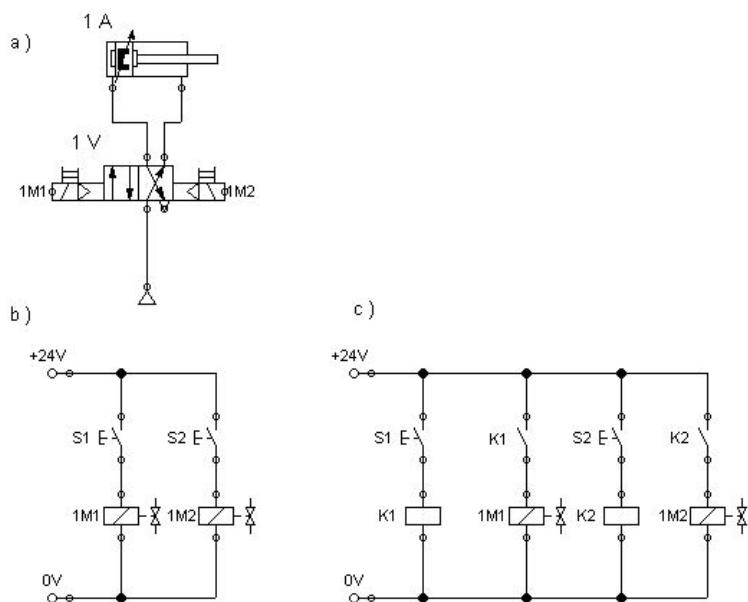
Presionando el pulsador S1, el relé pasa a modalidad de autorretención (fig. 8.6b). Mediante otro contacto de relé se activa la válvula de vías. El vástagos avanza. Si presionando el pulsador S2 se interrumpe la autorretención, el vástagos retrocede.

Dado que se trata de un contacto de desconexión prioritaria, al presionar los dos pulsadores el vástagos retrocede o mantiene su posición final posterior.

### 8.3.3 Memorización de señales mediante una electroválvula biestable

Una electroválvula biestable mantiene su posición de conmutación aunque la bobina correspondiente ya no está excitada. Por ello, puede asumir la función de memoria.

El vástago de un cilindro deberá controlarse presionando brevemente dos pulsadores S1: avanzar, S2: retroceder)



- a) Esquema neumático con cilindro de doble efecto
- b) Esquema eléctrico con control directo
- c) Esquema eléctrico con control indirecto

Figura 8.7: Control manual de avance y retroceso con memorización de señales mediante una electroválvula biestable

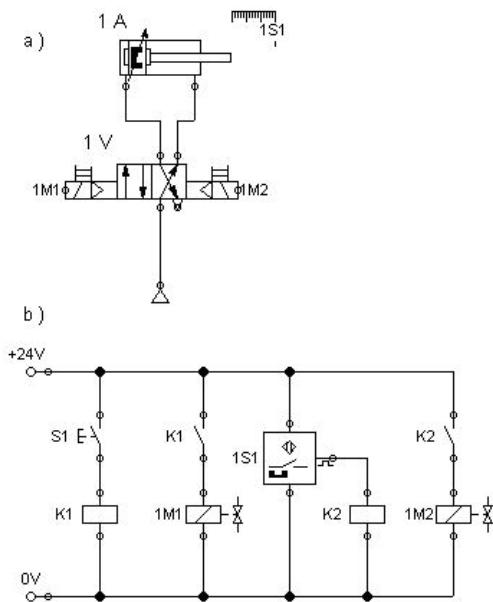
Los dos pulsadores actúan de modo directo e indirecto sobre las bobinas de una electroválvula biestable (figuras 8.7b y 8.7c)

Al presionar el pulsador S1, se excita la bobina 1M1. La electroválvula biestable conmuta y el vástago avanza. Aunque se suelte el pulsador mientras avanza el vástago, el vástago sigue avanzando hasta la posición final delantera, ya que la válvula mantiene su estado de conmutación.

Si se presiona el pulsador S2, se excita la bobina 1M2. La electroválvula biestable conmuta y el vástago retrocede. Aunque se suelte el pulsador S2, el movimiento se ejecutan sin cambio alguno.

### 8.3.4 Control automático del retroceso mediante una electroválvula biestable

Al presionar el pulsador S1 deberá avanzar el vástagos de un cilindro de doble efecto. Una vez que alcanzó la posición final delantera, el vástagos debe retroceder automáticamente. Para ello se monta un detector de posición magnético S1 en la posición final delantera que provoca la conmutación de la electroválvula a través del relé K2. En la figura 8.6b se muestra el esquema de distribución para el retroceso automático del vástagos. Presionando el pulsador S1, el vástagos avanza. Una vez que el vástagos alcanza la posición final delantera, la bobina 1M2 puede recibir corriente a través del detector de posición 1S2 para que el vástagos vuelva a retroceder.



- a) Esquema neumático  
b) Esquema eléctrico con control indirecto

Figura 8.8: Control de retroceso automático con memorización de señales mediante una electroválvula biestable

### 8.3.5 Comparación entre la memorización de señales con un relé con función de autorretención y una electroválvula biestable

La memorización de la señal en la parte de potencia del sistema de control puede estar a cargo de una electroválvula biestable o, también, de un relé con función de autorretención. Los esquemas muestran un comportamiento diferente en presencia simultánea de la señal de activación y desactivación, así como en caso de un fallo de la alimentación de la corriente eléctrica o de un defecto como, por ejemplo, ruptura del cable (tabla 8.1).

Situación	Memorización de la señal con electroválvula biestable	Memorización de la señal con autorretención eléctrica combinada con una válvula de reposición por muelle	
		Activación prioritaria	Desactivación prioritaria
Señales de activación y desactivación simultáneas	No cambia el estado de conmutación de la válvula	Activación de la válvula	La válvula comuta a posición normal
Fallo de alimentación eléctrica	No cambia el estado de conmutación de la válvula	La válvula comuta a posición normal	La válvula comuta a posición normal

Tabla 8.1: Comparación entre memorización de señales con autorretención y con electroválvula biestable

#### 8.4 Conmutación retardada con relé

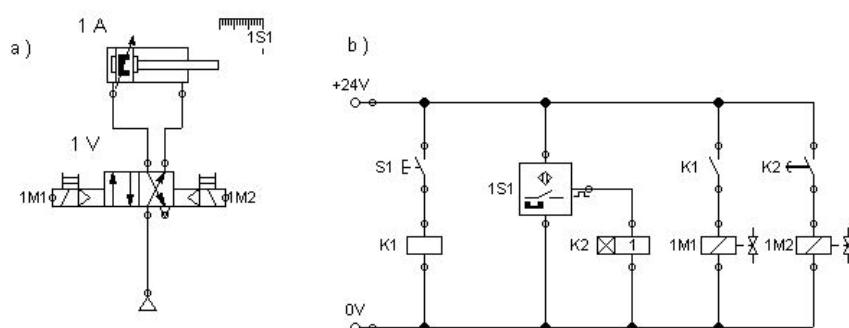
En muchas aplicaciones de automatización es necesario que el vástagos de un cilindro neumático mantenga su posición durante un tiempo determinado. Ese es el caso, por ejemplo, en el sistema de accionamiento de una prensa, que debe aplicar presión uniendo dos piezas hasta que el pegamento surta efecto y queden unidas las piezas definitivamente.

Para esta tarea se utilizan relés con retardo a la conexión o a la desconexión, también denominados temporizadores. Se trata de relés que provocan o interrumpen una operación de conmutación con un retardo definido.

##### 8.4.1 Control de un cilindro en función del tiempo

El vástagos de un cilindro deberá avanzar si se presiona brevemente el pulsador S1. Cuando llegue a la posición final delantera, deberá permanecer allí durante diez segundos y, a continuación, deberá retroceder automáticamente.

La figura 8.9 muestra el esquema eléctrico para el retroceso tras un tiempo de espera. Presionando el pulsador S1, el vástagos avanza. Al llegar a la posición final delantera, se cierra el contacto del detector 1S1. La corriente fluye a través de la bobina del relé K2. El contacto K2 se mantiene abierto hasta que transcurrió el tiempo previsto (en este caso, 1 segundo). A continuación, se cierra el contacto y el vástagos retrocede.



- a) Esquema neumático
- b) Esquema eléctrico

Figura 8.9: Retroceso retardado (relé de activación retardada, memorización de la señal mediante electroválvula biestable)

## 9 Controles lógicos programables (PLC)

### 9.1 Datos generales

Para solucionar tareas de control complejas, en la actualidad suelen utilizarse controles lógicos programables (PLC). Con estos controles, el programa no está determinado por la conexión entre varios relés individuales, sino por el contenido del software. Los PLC principalmente procesan señales binarias.

Los PLC ofrecen las siguientes ventajas:

- Menor cantidad de bloques lógicos en el software, en sustitución de numerosos relés
- Cableado sencillo
- Posibilidad de modificar los programas de modo rápido y eficiente
- Localización sencilla de fallos
- Solución más económica que otras alternativas

En el sistema para la enseñanza MecLab® se utiliza una simulación de PLC incluida en el software FluidSIM®. Sin embargo, la programación es esencialmente igual a la programación de un PLC estándar sencillo como, por ejemplo, el control LOGO! de Siemens, que se muestra en la figura 9.1.

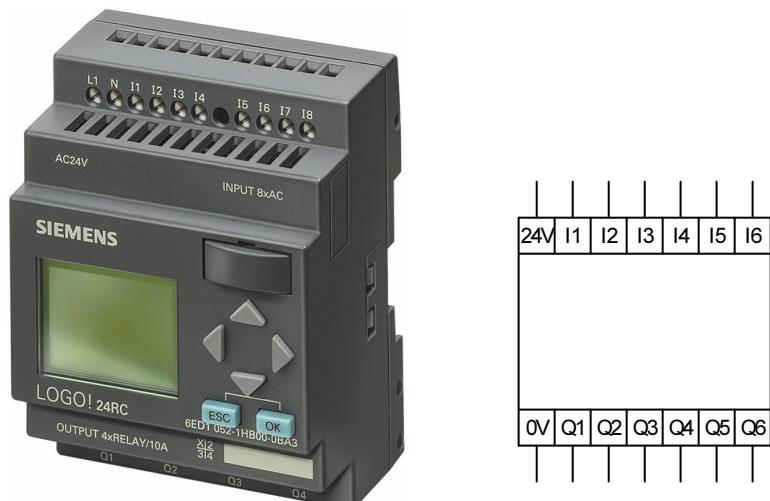


Figura 9.1: PLC LOGO! de Siemens y el símbolo correspondiente en el software FluidSIM®.

## 9.2 Símbolos lógicos del software de control FluidSIM®

Los sistemas de control únicamente pueden ser eficientes si los pasos incluidos en los procesos se ejecutan en el momento preciso, en la posición exacta y en el orden correcto. Para cumplir estas condiciones es necesario disponer de un hardware fiable y, además, de un software que permita la planificación de procesos técnicos complejos y que sea capaz de controlarlos. Además, la interfaz de usuario debe corresponder a los estándares internacionales. El software FluidSIM® cumple estas condiciones.

FluidSIM® ofrece tres posibilidades para desarrollar un sistema de control:

- Esquemas de circuitos neumáticos
- Esquemas de circuitos eléctricos
- Esquemas de circuitos lógicos

Todos estos tipos de esquemas pueden combinarse entre sí. La modalidad de simulación permite comprobar las funciones de control antes de aplicarlas en el modelo real. De esta manera es posible verificar el buen funcionamiento de la solución en el ordenador, antes de hacerlo con los componentes reales y correr el riesgo de dañarlos.

En la siguiente tabla se ofrece una información general sobre los símbolos lógicos más importantes, disponibles en FluidSIM®.

Símbolo	Referencia	Funcionamiento
	AND	Conmuta la salida a 1 cuando todas las entradas están en 1. Las entradas no ocupadas siempre están en 0.
	OR	Conmuta la salida a 1 cuando, como mínimo, una entrada está en 1. Las entradas no ocupadas siempre están en 0.
	NO	Invierte el valor de la entrada.
	NO Y (NAND)	Conmuta la entrada a 0 cuando todas las entradas están en 1. Las entradas no ocupadas siempre están en 1.
	Elemento de autorretención	Conmuta la entrada a 1 cuando la entrada superior conmuta a 1. La salida sólo conmuta a 0 cuando la entrada inferior conmuta a 1.
	Retardo de conexión/desconexión	Si la entrada está en 1, la salida conmuta a 1 después de transcurrido el tiempo previsto. La entrada vuelve a conmutar a 0 después de transcurrido el segundo tiempo ajustado previamente.

Tabla 9.1: Símbolos lógicos en FluidSIM®

Símbolo	Referencia	Funcionamiento
	Reloj	La salida conmuta a 1 después del tiempo previsto para la conexión. La salida vuelve a conmutar a 0 después de transcurrido el tiempo previsto para la desconexión. Este proceso puede repetirse.
	Flags (marcas)	La salida asume el valor de la entrada. Es necesario porque algunos bloques lógicos no pueden estar conectados a la salida de otro bloque lógico.
	Contador	Cuenta las veces que en la entrada central se tuvo el valor 1. Después de alcanzar la cantidad de impulsos de conteo ajustada previamente, la salida conmuta a 1. En la entrada inferior se puede decidir si el conteo es ascendente o descendente. En la entrada superior puede reponerse a cero el contador.

Tabla 9.1: Símbolos lógicos en FluidSIM® (continuación)

## 9.3 Programación de un sistema de control lógico con un PLC

### 9.3.1 Ejemplo 1: Autorretención

En la figura 9.2 se puede apreciar un esquema con un cilindro de doble efecto y una válvula monoestable de 4/2 vías. La tarea consiste en crear un programa de PLC para que el vástagos avance cuando se presiona el pulsador T1. El vástagos deberá volver a retroceder cuando el detector de posición 1S1 constata que llegó a la posición final delantera.

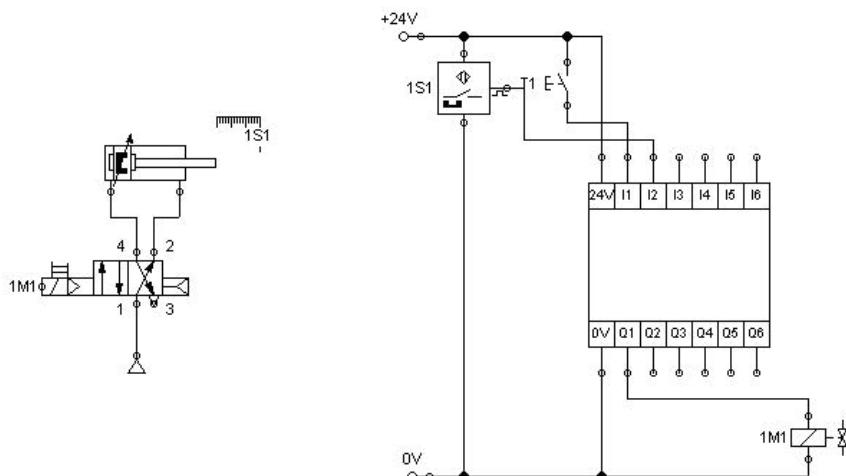


Figura 9.2: Esquema neumático con electroválvula y detector de posición

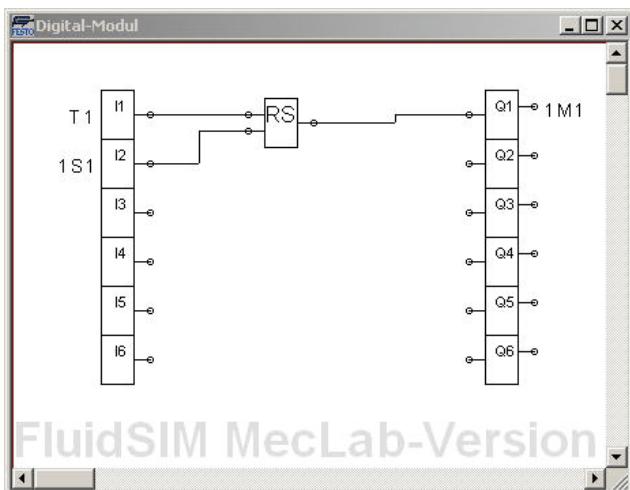


Figura 9.3: Programa PLC correspondiente al esquema de la figura 9.2

En la figura 9.3 se muestra el correspondiente programa PLC. El pulsador T1 está conectado a la entrada I1 del PLC. Este pulsador activa un elemento de autorretención que activa la bobina 1M1 que está conectada a la salida Q1 del PLC.

Cuando el émbolo del cilindro 1A (ver fig. 9.2) se encuentra en la posición final posterior, se activa el detector 1S1 que está conectado a la entrada I2 del PLC. El elemento de autorretención de desactiva y, por lo tanto, también la salida Q1. La válvula comuta a posición inicial y el vástagos del cilindro retrocede.

### 9.3.2 Ejemplo 2: Enlace de Y, temporizador

En la figura 9.4 se muestra un esquema neumático modificado. El cilindro está equipado con dos detectores de posición, uno en la posición final delantera y otro en la posición final posterior. La tarea consiste en desarrollar un programa para que el cilindro avance cuando se encuentra en la posición final posterior y si se presiona el pulsador. El vástagos deberá avanzar completamente y quedarse en esa posición durante 3 segundos. A continuación, deberá volver a retroceder.

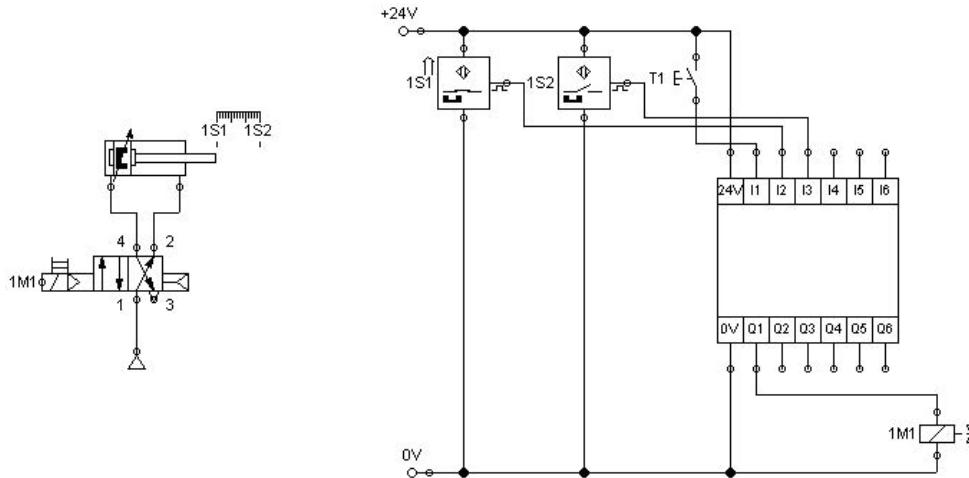


Figura 9.4: Cilindro con dos detectores de final de carrera

En la figura 9.5 se muestra el correspondiente programa PLC. Las entradas I1 y I2, a las que están conectados el pulsador de START y el detector de posición 1S1, están relacionados entre sí mediante un enlace de Y (el elemento High también pone en 1 la tercera entrada que, en realidad, no se utiliza). Si el cilindro se encuentra en la posición final posterior y si se presiona el pulsador, todas las entradas del enlace en Y están en 1. De esta manera, se pone en 1 la salida del enlace de Y y la entrada del elemento de autorretención. En estas condiciones, el cilindro avanza.

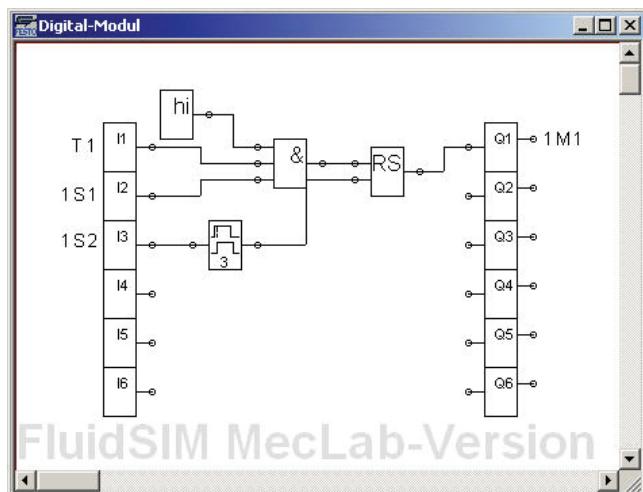


Figura 9.5: Programa PLC correspondiente al esquema de la figura 9.4

Una vez que el cilindro alcanza la posición final delantera, se activa el detector de posición 1S2 que pone en 1 la entrada del temporizador. Al término del tiempo previsto, se pone en 1 la salida del temporizador y se desactiva el elemento de autorretención. La bobina 1M1 no recibe corriente y el cilindro vuelve a retroceder.

#### 9.4 Programación de un mando secuencial con cadenas de pasos secuenciales

Los sistemas de control lógico, descritos en la sección anterior, son suficientes para solucionar tareas sencillas de control. Sin embargo, si es necesario controlar procesos en los que se produce una sucesión de pasos complejos, por lo general no es suficiente este tipo de programación sencilla. Para solucionar tareas más complejas, se utilizan las cadenas secuenciales. En una cadena secuencial, la ejecución de un paso es condición para la ejecución del siguiente paso. Los elementos de autorretención memorizan pasajeramente la información obtenida en cada paso.

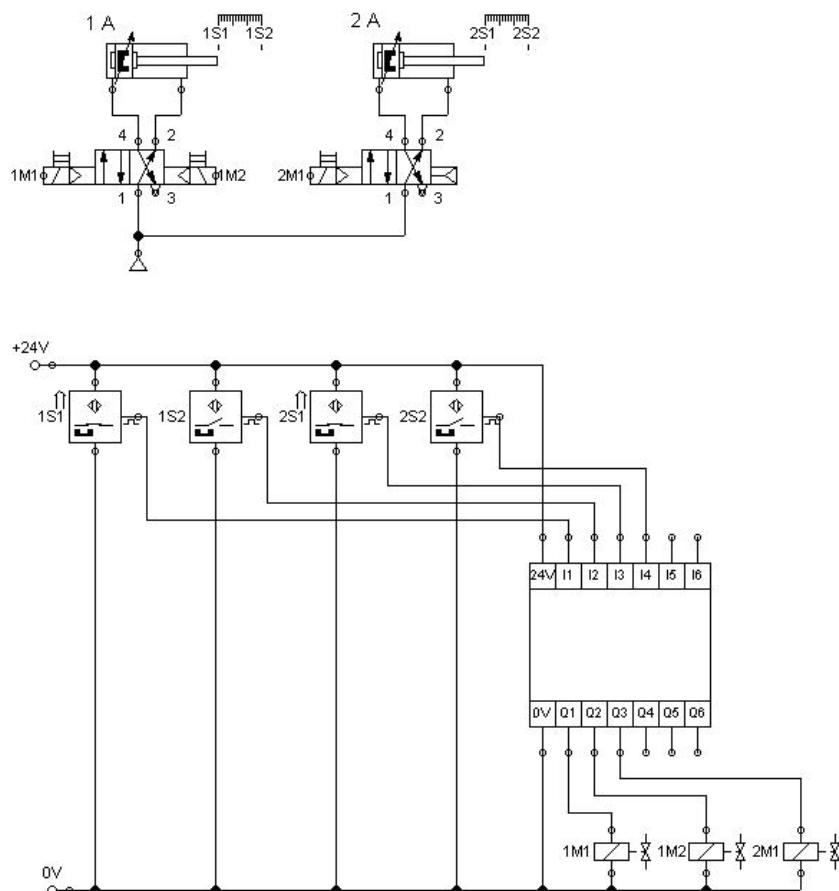


Figura 9.6: Esquema con dos cilindros de doble efecto

En la figura 9.6 se muestra un esquema con dos cilindros, cada uno de ellos con dos detectores de posición para controlar las respectivas posiciones finales.

En la figura 9.7 se muestra el correspondiente programa PLC. Descripción de las secuencias:

- Si están activos los detectores 1S1 y 2S1 (ambos cilindros se encuentran en su respectiva posición inicial), se activa el elemento de autorretención a través del enlace en Y. El elemento de autorretención activa la bobina 1M1 y el cilindro 1A avanza (paso 1).
- Cuando el cilindro 1A alcanza su posición final delantera, el segundo enlace en Y activa el segundo elemento de autorretención. De esta manera se activa la bobina 2M1 y el cilindro 2A avanza (paso 2). Sin embargo, el paso 2 únicamente puede activarse si se ejecutó antes el paso 1, ya que la salida del primer elemento de autorretención está conectada a la entrada del enlace en Y del segundo circuito. Al ejecutarse el paso 2, se repone el paso 1 a través del flag, desactivando el elemento de autorretención.
- Una vez que se ejecutó el paso 2 y cuando los dos cilindros alcanzaron su posición final delantera, se activa el paso 3. De esta manera se repone el paso 2, se activa la bobina 1M2 y se desconecta la bobina 2M1. Ambos cilindros retroceden a sus posiciones iniciales y el ciclo vuelve a ejecutarse desde el principio.

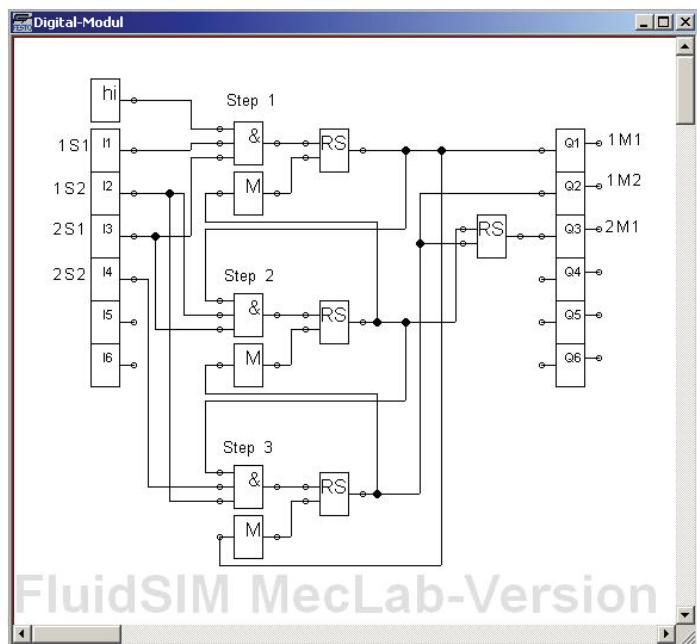


Figura 9.7: Programa PLC con cadena de pasos secuenciales

Deberá tenerse en cuenta que la ejecución de cada paso constituye la condición que debe cumplirse para la ejecución del paso siguiente y que la ejecución de ese siguiente paso provoca la reposición del paso anterior. Aplicando este método, las cadenas de pasos secuenciales pueden tener, en principio, una longitud ilimitada, lo que significa que las operaciones pueden ser sumamente complejas.

