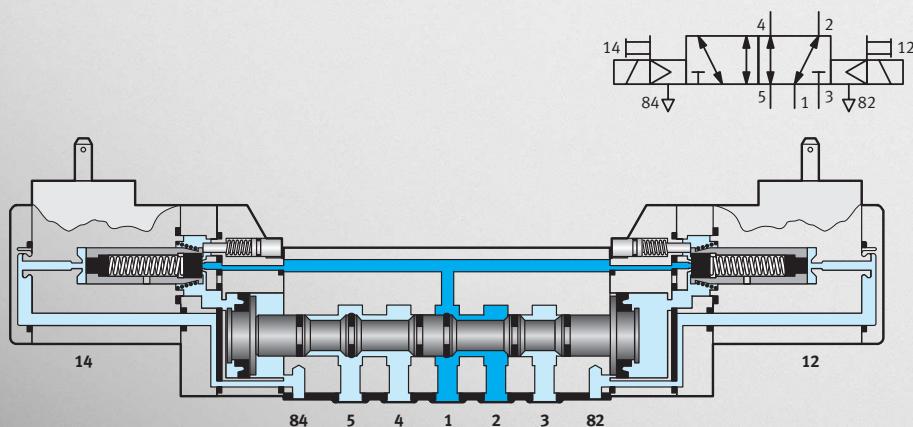


# Neumática Electroneumática

## Fundamentos

**FESTO**

Libro de texto



Nº de artículo: 573031  
Actualización: 12/2009  
Autores: Frank Ebel, Siegfried Idler, Georg Prede, Dieter Scholz  
Gráficos: Doris Schwarzenberger  
Layout: 26.11.2010, Frank Ebel

© Festo Didactic GmbH & Co. KG, 73770 Denkendorf, Alemania, 2010

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

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

Sin nuestra expresa autorización, queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de este documento, así como su uso indebido y/o su exhibición o comunicación a terceros. De los infractores se exigirá el correspondiente resarcimiento de daños y perjuicios. Quedan reservados todos los derechos inherentes, en especial los de patentes, de modelos registrados y estéticos.

# Contenido

|   |    |
|---|----|
| <b>Prólogo</b>  | 11 |
| <b>1 Aplicaciones en la técnica de automatización</b>                                 | 13 |
| 1.1 Sumario   | 13 |
| 1.2 Propiedades de la neumática   | 14 |
| 1.2.1 Criterios relacionados con los equipos de trabajo                               | 15 |
| 1.2.2 Criterios relacionados con los sistemas de control                              | 15 |
| 1.3 Desarrollo de sistemas de control neumáticos                                      | 16 |
| <b>2 Conceptos básicos de la neumática</b>  | 17 |
| 2.1 Fundamentos físicos   | 17 |
| 2.1.1 Ley de Newton   | 17 |
| 2.1.2 Presión   | 18 |
| 2.2 Propiedades del aire  | 19 |
| 2.2.1 La ley de Boyle-Mariotte  | 19 |
| 2.2.2 Ley de Gay-Lussac   | 20 |
| 2.2.3 Ecuación general de los gases   | 21 |
| <b>3 Generación y alimentación de aire comprimido</b>                                 | 22 |
| 3.1 Preparación de aire comprimido  | 22 |
| 3.1.1 Consecuencias de la utilización de aire comprimido preparado de modo deficiente | 22 |
| 3.1.2 Nivel de presión  | 23 |
| 3.2 Compresores   | 23 |
| 3.2.1 Compresor de émbolo alternativo   | 23 |
| 3.2.2 Compresor de membrana   | 24 |
| 3.2.3 Compresor de émbolos rotativos  | 24 |
| 3.2.4 Compresor helicoidal  | 25 |
| 3.2.5 Compresor de flujo  | 25 |
| 3.2.6 Regulación  | 25 |
| 3.2.7 Tiempo de utilización   | 26 |
| 3.3 Acumulador de aire comprimido   | 27 |
| 3.4 Secador de aire   | 29 |
| 3.4.1 Secador por frío  | 30 |
| 3.4.2 Secador por adsorción   | 30 |
| 3.4.3 Secador por absorción   | 31 |
| 3.5 Distribución de aire  | 34 |
| 3.5.1 Dimensionamiento de los tubos   | 34 |
| 3.5.2 Resistencia al flujo  | 34 |
| 3.5.3 Material de los tubos   | 35 |
| 3.5.4 Disposición de los tubos  | 36 |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.6      | Unidad de mantenimiento                       | 37        |
| 3.6.1    | Filtro de aire comprimido                     | 37        |
| 3.6.2    | Válvula reguladora de presión                 | 39        |
| 3.6.3    | Lubricador del aire comprimido                | 41        |
| 3.6.4    | Combinaciones de equipos                      | 43        |
| <b>4</b> | <b>Sistemas de accionamiento y actuadores</b> | <b>45</b> |
| 4.1      | Cilindros de simple efecto                    | 45        |
| 4.1.1    | Función                                       | 46        |
| 4.1.2    | Músculo neumático                             | 46        |
| 4.2      | Cilindros de doble efecto                     | 48        |
| 4.2.1    | Cilindro neumático con amortiguación final    | 48        |
| 4.2.2    | Cilindro tándem                               | 49        |
| 4.2.3    | Cilindro con doble vástago                    | 50        |
| 4.2.4    | Cilindro multiposición                        | 50        |
| 4.2.5    | Cilindro giratorio                            | 51        |
| 4.2.6    | Actuador giratorio o basculante               | 51        |
| 4.3      | Cilindros sin vástago                         | 52        |
| 4.3.1    | Cilindro de cinta                             | 52        |
| 4.3.2    | Cilindro con cinta hermetizante               | 52        |
| 4.3.3    | Cilindro con acoplamiento magnético           | 53        |
| 4.4      | Técnicas de manipulación                      | 53        |
| 4.4.1    | Unidad giratoria y lineal                     | 54        |
| 4.4.2    | Pinzas neumáticas                             | 54        |
| 4.4.3    | Conjuntos de aspiración                       | 56        |
| 4.4.4    | Generadores de vacío                          | 56        |
| 4.5      | Propiedades de los cilindros                  | 58        |
| 4.5.1    | Fuerza del émbolo                             | 58        |
| 4.5.2    | Carrera                                       | 59        |
| 4.5.3    | Velocidad del émbolo                          | 60        |
| 4.5.4    | Consumo de aire                               | 60        |
| 4.6      | Motores                                       | 62        |
| 4.6.1    | Motores de émbolo                             | 63        |
| 4.6.2    | Motores de aletas                             | 63        |
| 4.6.3    | Motores de engranajes                         | 64        |
| 4.6.4    | Motores de turbina (motores de flujo)         | 64        |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| <b>5</b> | <b>Válvulas distribuidoras</b>   | 65 |
| 5.1      | Tareas   | 65 |
| 5.1.1    | Electroválvulas  | 65 |
| 5.1.2    | Accionamiento de un cilindro de simple efecto  | 65 |
| 5.1.3    | Accionamiento de un cilindro de doble efecto   | 66 |
| 5.2      | Construcción   | 67 |
| 5.2.1    | Válvulas de asiento  | 68 |
| 5.2.2    | Válvulas de corredera  | 68 |
| 5.2.3    | Datos neumáticos   | 69 |
| 5.2.4    | Tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras  | 71 |
| 5.3      | Válvulas de 2/2 vías   | 72 |
| 5.4      | Válvulas de 3/2 vías   | 72 |
| 5.4.1    | Válvula de corredera de 3/2 vías, accionamiento manual   | 72 |
| 5.4.2    | Válvula de leva de 3/2 vías  | 73 |
| 5.4.3    | Válvula neumática de 3/2 vías  | 74 |
| 5.4.4    | Electroválvula de 3/2 vías   | 76 |
| 5.5      | Válvulas distribuidoras servopilotadas   | 78 |
| 5.5.1    | Funcionamiento del servopilotaje en válvulas distribuidoras de accionamiento manual y mecánico       | 78 |
| 5.5.2    | Válvula de 3/2 vías con rodillo, servopilotada   | 78 |
| 5.5.3    | Funcionamiento del servopilotaje en válvulas distribuidoras de accionamiento eléctrico               | 80 |
| 5.5.4    | Electroválvula de 3/2 vías, servopilotada  | 81 |
| 5.5.5    | Comparación entre válvulas de accionamiento directo y válvulas servopilotadas                        | 82 |
| 5.6      | Válvulas de 5/2 vías   | 82 |
| 5.6.1    | Válvula neumática de 5/2 vías  | 82 |
| 5.6.2    | Válvula neumática biestable de 5/2 vías  | 83 |
| 5.6.3    | Electroválvula de 5/2 vías, servopilotada  | 85 |
| 5.6.4    | Electroválvula biestable de 5/2 vías, servopilotada  | 86 |
| 5.7      | Válvulas de 5/3 vías   | 87 |
| 5.7.1    | Válvulas neumáticas de 5/3 vías  | 87 |
| 5.7.2    | Electroválvula servopilotada de 5/3 vías, centro a escape  | 88 |
| 5.7.3    | Significado de la posición central   | 90 |
| 5.8      | Valor de caudal de válvulas  | 91 |
| 5.9      | Funcionamiento admisible de válvulas   | 92 |
| 5.9.1    | Montaje de válvulas con rodillo  | 92 |
| 5.9.2    | Montaje de las válvulas  | 92 |
| <b>6</b> | <b>Válvulas de cierre, reguladoras de caudal y reguladoras de presión; combinaciones de válvulas</b> | 93 |
| 6.1      | Válvulas de cierre   | 93 |
| 6.1.1    | Válvulas antirretorno  | 93 |
| 6.1.2    | Elementos de procesamiento   | 93 |
| 6.1.3    | Válvula de simultaneidad: Función lógica de Y  | 94 |
| 6.1.4    | Válvula selectora: Función lógica de O   | 94 |
| 6.1.5    | Válvula de escape rápido   | 95 |
| 6.1.6    | Válvulas de cierre   | 96 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| <b>6.2</b> | Válvulas reguladoras de caudal _____   | 96  |
| 6.2.1      | Válvulas estranguladoras _____   | 96  |
| 6.2.2      | Válvulas de estrangulación y antirretorno _____                                  | 97  |
| 6.2.3      | Estrangulación del aire de alimentación _____                                    | 98  |
| 6.2.4      | Estrangulación del aire de escape _____  | 98  |
| 6.2.5      | Utilización de los tipos de estrangulación _____                                 | 98  |
| <b>6.3</b> | Válvulas reguladoras de presión _____  | 100 |
| 6.3.1      | Válvula reguladora de presión _____  | 100 |
| 6.3.2      | Válvula limitadora de presión _____  | 100 |
| 6.3.3      | Válvula de secuencia _____   | 101 |
| <b>6.4</b> | Combinación de válvulas _____  | 101 |
| 6.4.1      | Válvula temporizadora _____  | 102 |
| <b>7</b>   | <b>Terminales de válvulas</b> _____  | 104 |
| 7.1        | Medidas para la optimización del funcionamiento de válvulas individuales _____   | 104 |
| 7.2        | Ventajas de válvulas individuales optimizadas _____                              | 104 |
| 7.3        | Válvulas optimizadas, montaje en bloque _____                                    | 105 |
| 7.4        | Conexión eléctrica de bloques de válvulas _____                                  | 106 |
| 7.5        | Conceptos de instalación modernos _____  | 107 |
| 7.5.1      | Ventajas de los conceptos de instalación modernos _____                          | 107 |
| 7.5.2      | Componentes de control, para la instalación más sencilla _____                   | 107 |
| 7.5.3      | Terminal de instalación _____  | 108 |
| 7.5.4      | Cableado con conexión multipolo _____  | 108 |
| 7.5.5      | Estructura de un sistema de bus de campo _____                                   | 109 |
| 7.5.6      | Funcionamiento de un sistema de bus de campo _____                               | 110 |
| 7.5.7      | Tipos de buses de campo _____  | 110 |
| <b>8</b>   | <b>Neumática proporcional</b> _____  | 111 |
| 8.1        | Reguladores de presión proporcionales _____                                      | 111 |
| 8.1.1      | Función de una válvula proporcional, reguladora de presión _____                 | 111 |
| 8.1.2      | Utilización de una válvula proporcional, reguladora de presión _____             | 112 |
| 8.1.3      | Control del banco de prueba _____  | 112 |
| 8.1.4      | Esquema de distribución de una válvula proporcional, reguladora de presión _____ | 113 |
| 8.1.5      | Funcionamiento de una válvula proporcional, reguladora de presión _____          | 113 |
| 8.2        | Válvulas distribuidoras proporcionales _____                                     | 114 |
| 8.2.1      | Función de una válvula proporcional _____  | 114 |
| 8.2.2      | Utilización de una válvula proporcional _____                                    | 115 |
| 8.2.3      | Esquema de distribución de una válvula proporcional _____                        | 115 |
| 8.2.4      | Función de indicación de caudal de una válvula proporcional _____                | 116 |
| 8.3        | Actuador neumático de posicionamiento _____                                      | 117 |
| 8.3.1      | Utilización de un actuador neumático de posicionamiento _____                    | 117 |
| 8.3.2      | Construcción de un actuador neumático de posicionamiento _____                   | 117 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| <b>9</b>  | <b>Fundamentos de la electrotecnia</b>                               | 118 |
| 9.1       | Corriente continua y corriente alterna                               | 118 |
| 9.2       | Ley de Ohm   | 119 |
| 9.2.1     | Conductor eléctrico  | 119 |
| 9.2.2     | Resistencia eléctrica  | 120 |
| 9.2.3     | Fuente de tensión  | 120 |
| 9.3       | Potencia eléctrica   | 120 |
| 9.4       | Funcionamiento de un electroimán                                     | 121 |
| 9.4.1     | Estructura de un electroimán   | 122 |
| 9.4.2     | Aplicaciones de electroimanes  | 122 |
| 9.4.3     | Resistencia inductiva con tensión alterna                            | 122 |
| 9.4.4     | Resistencia inductiva con tensión continua                           | 123 |
| 9.5       | Funcionamiento de un condensador eléctrico                           | 123 |
| 9.6       | Funcionamiento de un diodo   | 124 |
| 9.7       | Mediciones en un circuito eléctrico                                  | 125 |
| 9.7.1     | Definición: Medir  | 125 |
| 9.7.2     | Indicaciones de seguridad  | 126 |
| 9.7.3     | Forma de proceder al efectuar mediciones en un circuito eléctrico    | 126 |
| 9.7.4     | Medición de tensión  | 126 |
| 9.7.5     | Medición de intensidad   | 127 |
| 9.7.6     | Medición de resistencia  | 127 |
| 9.7.7     | Fuentes de errores en mediciones realizadas en un circuito eléctrico | 128 |
| <b>10</b> | <b>Componentes y módulos de la parte de mando eléctrico</b>          | 130 |
| 10.1      | Fuente de alimentación   | 130 |
| 10.2      | Pulsador y selector  | 131 |
| 10.2.1    | Contacto normalmente abierto   | 131 |
| 10.2.2    | Contacto normalmente cerrado   | 132 |
| 10.2.3    | Comutador  | 132 |
| 10.3      | Sensores para detección de posiciones y control de la presión        | 133 |
| 10.3.1    | Detectores de finales de carrera                                     | 133 |
| 10.3.2    | Detectores de proximidad   | 134 |
| 10.4      | Relés y contactores  | 140 |
| 10.4.1    | Construcción de un relé  | 140 |
| 10.4.2    | Aplicaciones de relés  | 141 |
| 10.4.3    | Relé de remanencia   | 142 |
| 10.4.4    | Relé de temporización  | 142 |
| 10.5      | Construcción de un contactor   | 143 |
| 10.6      | Unidades de control pequeñas   | 145 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>11 Descripciones de secuencias funcionales</b>                                | 149 |
| 11.1 Diagramas de funciones de máquinas y equipos                                | 149 |
| 11.1.1 Ámbito de aplicación del diagrama de funciones                            | 149 |
| 11.1.2 Diagrama espacio-pasos  | 150 |
| 11.2 Descripción de ciclos con GRAFCET según EN 60848                            | 151 |
| 11.2.1 Principio básico de GRAFCET   | 152 |
| 11.2.2 Pasos   | 152 |
| 11.2.3 Condición transitoria   | 153 |
| 11.2.4 Acciones  | 154 |
| 11.2.5 Selección de secuencias   | 158 |
| 11.2.6 Retornos y saltos   | 159 |
| 11.2.7 Estructuración de esquemas GRAFCET  | 159 |
| 11.2.8 Ejemplo: máquina fresadora de ranuras                                     | 160 |
| <b>12 Estructura de esquemas de distribución</b>                                 | 162 |
| 12.1 Esquema de distribución neumático   | 162 |
| 12.1.1 Distribución de símbolos en un esquema de distribución neumático          | 162 |
| 12.1.2 Posición de cilindros y de válvulas distribuidoras                        | 162 |
| 12.1.3 Código de identificación de componentes                                   | 163 |
| 12.2 Esquema de distribución eléctrico   | 166 |
| 12.2.1 Esquema general   | 166 |
| 12.2.2 Esquema funcional   | 166 |
| 12.2.3 Esquema de circuitos eléctricos   | 166 |
| 12.2.4 Esquema de un sistema de control electroneumático                         | 167 |
| 12.3 Esquema de bornes de conexión   | 172 |
| 12.3.1 Requisitos para el cableado   | 172 |
| 12.3.2 Cableado con regletas de bornes   | 172 |
| 12.3.3 Distribución de conexiones y de regletas de bornes                        | 174 |
| 12.3.4 Ocupación de bornes   | 174 |
| 12.3.5 Estructura de un esquema de bornes de conexión                            | 175 |
| 12.3.6 Confección de un esquema de bornes de conexión                            | 175 |
| <b>13 Medidas de seguridad en sistemas de control electroneumáticos</b>          | 180 |
| 13.1 Peligros y medidas de protección  | 180 |
| 13.2 El efecto de la corriente eléctrica en seres humanos                        | 181 |
| 13.2.1 El efecto de la corriente eléctrica                                       | 181 |
| 13.2.2 La resistencia eléctrica del ser humano                                   | 182 |
| 13.2.3 Factores que inciden en el peligro de accidentes                          | 183 |
| 13.3 Medidas de protección contra accidentes ocasionados por corriente eléctrica | 184 |
| 13.3.1 Protección contra contacto directo  | 184 |
| 13.3.2 Conexión a tierra   | 184 |
| 13.3.3 Baja tensión de protección  | 185 |

|                                    |   |            |
|------------------------------------|---|------------|
| 13.4                               | Panel de mando y sistemas de aviso  | 185        |
| 13.4.1                             | Interruptor de red  | 185        |
| 13.4.2                             | PARADA DE EMERGENCIA  | 186        |
| 13.4.3                             | Elementos de mando en sistemas de control electroneumáticos                             | 186        |
| 13.5                               | Protección de sistemas eléctricos frente a influencias del entorno                      | 189        |
| 13.5.1                             | Identificación de los tipos de protección   | 190        |
| <b>14</b>                          | <b>Símbolos</b>   | <b>192</b> |
| 14.1                               | Símbolos de componentes neumáticos  | 192        |
| 14.1.1                             | Símbolos correspondientes a la parte de alimentación de energía                         | 192        |
| 14.1.2                             | Símbolos de válvulas  | 194        |
| 14.1.3                             | Símbolos de válvulas distribuidoras   | 194        |
| 14.1.4                             | Símbolos de válvulas antirretorno, válvulas estranguladoras y válvulas de escape rápido | 197        |
| 14.1.5                             | Símbolos de válvulas reguladoras de presión   | 198        |
| 14.1.6                             | Símbolos de elementos de trabajo  | 199        |
| 14.1.7                             | Símbolos de otros elementos   | 201        |
| 14.2                               | Símbolos de componentes eléctricos  | 202        |
| 14.2.1                             | Símbolos correspondientes a funciones básicas   | 202        |
| 14.2.2                             | Símbolos de actuadores electromecánicos   | 204        |
| 14.2.3                             | Símbolos de relés y contactores   | 205        |
| 14.2.4                             | Símbolos de sensores  | 206        |
| <b>Las normas</b>                  |   | <b>207</b> |
| <b>Índice de términos técnicos</b> |   | <b>208</b> |



## **Prólogo**

La fuerza del aire se aprovecha desde hace miles de años. Todos sabemos que el viento se aprovecha en veleros y molinos.

La palabra «neumática» proviene del griego «pneumatikós», que significa respiración. En términos generales, se entiende por neumática la parte de la ciencia de la física que trata de las propiedades de los gases y, por lo tanto, también del aire.

En muchos sectores de la técnica de automatización de procesos industriales se utiliza la neumática y electroneumática. En plantas industriales de todo el mundo se usan sistemas de control electroneumáticos para controlar el funcionamiento de equipos de fabricación, líneas de ensamblaje y máquinas de envasado. El progreso logrado en relación con los materiales, el diseño de los equipos y los métodos de fabricación, ha redundado en componentes neumáticos de mayor calidad y variedad, por lo que su utilización está muy difundida en la actualidad.

Además, el progreso tecnológico y las exigencias más estrictas han tenido como consecuencia una evidente modificación de los sistemas de control. En la parte de procesamiento de señales, los relés han sido sustituidos en la mayoría de los casos por sistemas de controles lógicos programables, con el fin de satisfacer esas exigencias y, también, para contar con soluciones más versátiles. También la parte funcional de los controles electroneumáticos modernos ha experimentado modificaciones, con el fin de satisfacer las necesidades concretas que plantea la industria moderna. En ese sentido, basta recordar ejemplos como los terminales de válvulas, la creación de redes de bus y la neumática proporcional.

Invitamos a todos los lectores del presente manual a expresar sugerencias y críticas, con el fin de mejorar o completar su contenido. Por favor, dirija los comentarios correspondientes a did@de.festo o, por correo normal, a Festo Didactic GmbH & Co. KG, Postfach 10 07 10, D-73707 Esslingen.

Los autores



# 1 Aplicaciones en la técnica de automatización

## 1.1 Sumario

La neumática juega un importante papel en el sector de la automatización, y cabe suponer que su importancia seguirá aumentando. Numerosos procesos de fabricación no serían posibles sin la neumática.

La neumática está presente en casi todos los equipos de fabricación utilizados en los siguientes sectores industriales:

- Industria automovilística
- Química
- Petroquímica
- Industria farmacéutica
- Industria papelera e industria gráfica
- Ingeniería mecánica
- Industria alimentaria
- Centrales de tratamiento de agua y desagüe
- Industria del envasado

En estos sectores, la neumática asume las siguientes funciones:

- Detección de estados mediante sensores
- Procesamiento de datos mediante procesadores
- Activación de actuadores mediante elementos de control
- Ejecución del trabajo mediante actuadores

Para controlar máquinas y equipos suele ser necesario disponer de un sofisticado sistema de enlaces lógicos de estados y condiciones de conmutación. En los sistemas neumáticos o parcialmente neumáticos se utilizan sensores, procesadores, elementos de control y actuadores.

El progreso logrado en relación con los materiales, el diseño de los equipos y los métodos de fabricación, ha redundado en componentes neumáticos de mayor calidad y variedad, por lo que su utilización está muy difundida en la actualidad.

A continuación, algunos ejemplos de aplicaciones en las que se utiliza la neumática:

- Utilización de neumática en general, en la técnica de manipulación:
  - Fijación de piezas
  - Sujeción de piezas
  - Posicionamiento de piezas
  - Orientación de piezas
  - Bifurcación del flujo de material

- Utilización de neumática en diversas aplicaciones específicas
  - Envasado
  - Llenado
  - Dosificación
  - Bloqueo
  - Transporte de material
  - Orientación de piezas
  - Separación de piezas
  - Apilado de piezas
  - Estampado y prensado de piezas

## 1.2 Propiedades de la neumática

| Parámetros                    | Comentario   |
|-------------------------------|--|
| 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, puede tratarse de un depósito transportable.                               |
| 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.            |

Tabla 1.1: Propiedades y ventajas de la neumática

| Parámetros     | Comentario  |
|----------------|---|
| Edición        | Antes de su utilización, debe prepararse el aire comprimido. De lo contrario, los componentes neumáticos se desgastan más a causa de las partículas de suciedad y el condensado.  |
| Compresión     | Con aire comprimido no es posible conseguir que un cilindro ejecute movimientos homogéneos y constantes.  |
| Fuerza         | El aire comprimido únicamente es un medio económico hasta la aplicación de una fuerza determinada. Considerando la presión de funcionamiento de 600 hasta 700 kPa (6 hasta 7 bar), y teniendo en cuenta la relación existente entre la carrera y la velocidad, ese límite se encuentra entre 40 000 y 50 000 N. |
| Aire de escape | El escape del aire es sumamente ruidoso. Sin embargo, este problema se puede resolver satisfactoriamente recurriendo a materiales que absorben el ruido o utilizando silenciadores.   |

Tabla 1.2: Desventajas de la neumática

Antes de optar por el uso de neumática como medio de control y de trabajo, es recomendable efectuar una comparación con otras posibles formas de energía. Esta comparación debe considerar el sistema en su totalidad, empezando por las señales de entrada (sensores), pasando por la parte de control (procesador), y llegando hasta los elementos de control y los actuadores. Adicionalmente deben considerarse los siguientes factores:

- Medios de control preferidos
- Equipos ya existentes
- Conocimientos técnicos
- Sistemas ya existentes

### **1.2.1 Criterios relacionados con los medios de trabajo**

Se consideran medios de trabajo:

- Corriente eléctrica (electricidad)
- Líquidos (hidráulica)
- Aire comprimido (neumática)
- Cualquier combinación de los anteriores

Criterios para la selección y propiedades del sistema a tener en cuenta al utilizar los medios de trabajo:

- Fuerza
- Carrera
- Tipo de movimiento (lineal, basculante, giratorio)
- Velocidad
- Duración
- Seguridad y fiabilidad
- Costos energéticos
- Facilidad de utilización
- Acumulación

### **1.2.2 Criterios relacionados con los sistemas de control**

Medios o sistemas de control:

- Conexiones mecánicas (mecánica)
- Corriente eléctrica (electricidad, electrónica)
- Líquidos (hidráulica)
- Aire comprimido (neumática, neumática de baja presión)

Criterios para la selección y propiedades del sistema a tener en cuenta al utilizar los medios de control:

- Fiabilidad de los componentes
- Sensibilidad frente a las influencias del entorno
- Sencillez del mantenimiento y de las reparaciones
- Tiempos de respuesta de los elementos
- Velocidad de la transmisión de las señales
- Espacio necesario para el montaje
- Duración
- Posibilidad de modificar el sistema posteriormente
- Cursos necesarios para los operarios

### 1.3 Desarrollo de sistemas de control neumáticos

La neumática incluye los siguientes grupos de productos:

- Actuadores
- Sensores y unidades de entrada
- Procesadores
- Accesarios
- Sistemas de control completos

Durante el trabajo de desarrollo de sistemas de control, deberán considerarse los siguientes criterios:

- Fiabilidad
- Sencillez del mantenimiento
- Costo de los repuestos
- Montaje y conexión
- Costos de reparación
- Posibilidad de sustituir o adaptar
- Diseño compacto
- Economía
- Preparar la documentación técnica

## 2 Conceptos básicos de la neumática

### 2.1 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 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.

| 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) |

Tabla 2.1: Unidades básicas

| Tamaño     | Símbolo en la fórmula | Unidades   |
|------------|-----------------------|--|
| Fuerza     | $F$                   | Newton (N)   |
| Superficie | $A$                   | Metro cuadrado ( $m^2$ )   |
| Volumen    | $V$                   | Metro cúbico ( $m^3$ )   |
| Caudal     | $q_v$                 | Metro cúbico por segundo ( $m^3/s$ )                                   |
| Presión    | $p$                   | Pascal (Pa)<br>1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup><br>1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa |

Tabla 2.2: Unidades derivadas

#### 2.1.1 Ley de Newton

La ley de Newton establece una relación entre la fuerza, la masa y la aceleración:

$$\text{Fuerza} = \text{Masa} \cdot \text{Aceleración}$$

$$F = m \cdot a$$

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

## 2.1.2 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 ( $p_{\text{amb}}$ ). 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:

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

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

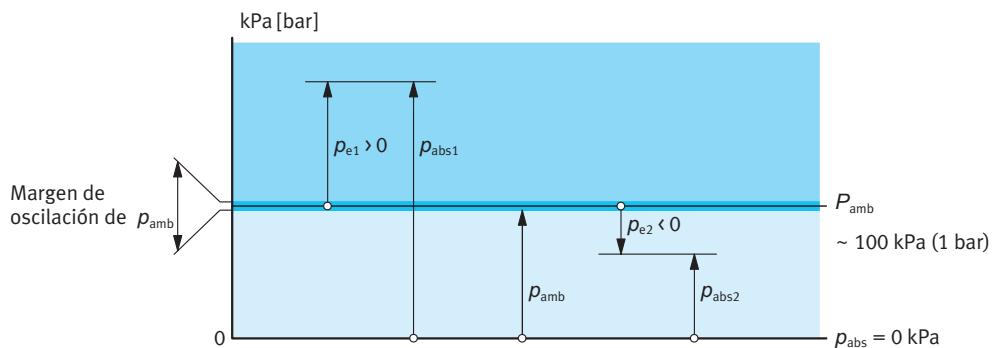


Fig. 2.1: Presión de aire

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  $p_a$ . 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 substancia 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  $p_n = 101325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar}$

## 2.2 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.

### 2.2.1 La ley de Boyle-Mariotte

El aire puede comprimirse y tiene la tendencia de expandir. La ley de Boyle-Mariotte 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: el producto de volumen y presión absoluta es constante suponiendo una cantidad determinada de gas.

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

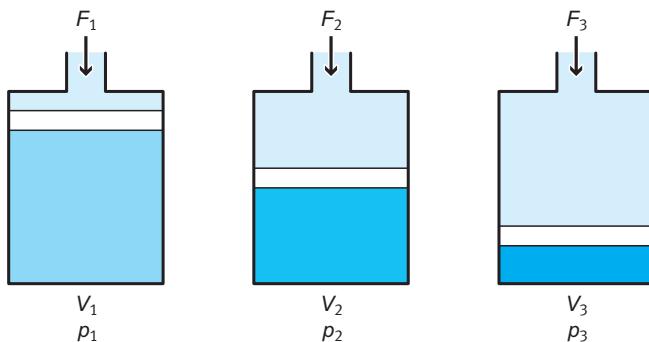


Fig. 2.2: Ley de Boyle-Mariotte

### 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?

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

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2}, \text{ observación: } \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{7}$$

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

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

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

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

### **2.2.2 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.

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

o bien

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

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

$$V_2 : V_2 = V_1 + \Delta V = V_1 + \frac{V_1}{T_1} \cdot (T_2 - T_1)$$



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

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

#### **Ejemplo de cálculo**

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

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

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

El aire se expandió de 0,14 m<sup>3</sup> a 0,94 m<sup>3</sup>.

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

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

### 2.2.3 Ecuación general de los gases

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

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

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

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

## **3 Generación y alimentación de aire comprimido**

### **3.1 Preparación de aire comprimido**

Con el fin de garantizar la fiabilidad de un sistema de control neumático, es necesario alimentar aire de la calidad apropiada al sistema. Por lo tanto, deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- Presión correcta
- Aire seco
- Aire limpio

Si no se cumplen estas condiciones, puede provocarse paralizaciones imprevistas de las máquinas, lo que provoca un aumento de los costos.

La generación de aire comprimido empieza por el proceso de compresión. El aire comprimido fluye a través de una serie de elementos antes de llegar a la unidad consumidora. Del tipo de compresor y del lugar de su montaje depende, en mayor o menor medida, la cantidad de partículas de suciedad, de aceite y de agua que contiene el aire comprimido utilizado en un sistema neumático. Para la preparación de aire comprimido deberán utilizarse los siguientes componentes:

- Filtro de aspiración
- Compresor
- Acumulador de aire comprimido
- Secadores
- Filtro de aire comprimido con condensador de agua
- Reguladores de presión
- Lubricador (si es necesario)
- Salidas para el condensado

#### **3.1.1 Consecuencias de la utilización de aire comprimido preparado de modo deficiente**

El aire comprimido preparado de manera deficiente redundá en una mayor cantidad de fallos y, por lo tanto, reduce la duración de los sistemas neumáticos. El aire comprimido preparado de manera deficiente se pone de manifiesto de las siguientes maneras:

- Mayor desgaste de juntas y piezas móviles de válvulas y cilindros
- Válvulas contaminadas con aceite
- Silenciadores sucios
- Corrosión en tubos, válvulas, cilindros y en otros componentes
- Eliminación por lavado de la lubricación original de piezas móviles

Si se producen fugas, el aire comprimido que sale a través de esas fugas puede contaminar el material que se está elaborando (por ejemplo, alimentos).

### **3.1.2 Nivel de presión**

Por lo general, los componentes neumáticos son concebidos para soportar una presión de funcionamiento desde 800 hasta 1 000 kPa (8 hasta 10 bar). Para que el funcionamiento sea económico, es suficiente una presión de 600 kPa (6 bar). Sin embargo, en sistemas neumáticos se produce una pérdida de presión entre 10 y 50 kPa (0,1 hasta 0,5 bar) debido a las resistencias que debe superar el aire al atravesar los componentes (por ejemplo, estranguladores) y al fluir a través de los tubos. Por ello, es recomendable que el compresor sea capaz de generar una presión desde 650 hasta 700 kPa (6,5 hasta 7 bar), con el fin de disponer siempre de una presión de funcionamiento de 600 kPa (6 bar).

### **3.2 Compresores**

La elección del compresor depende de la presión de trabajo y de la cantidad de aire necesarios. Los compresores se distinguen según su tipo de construcción.

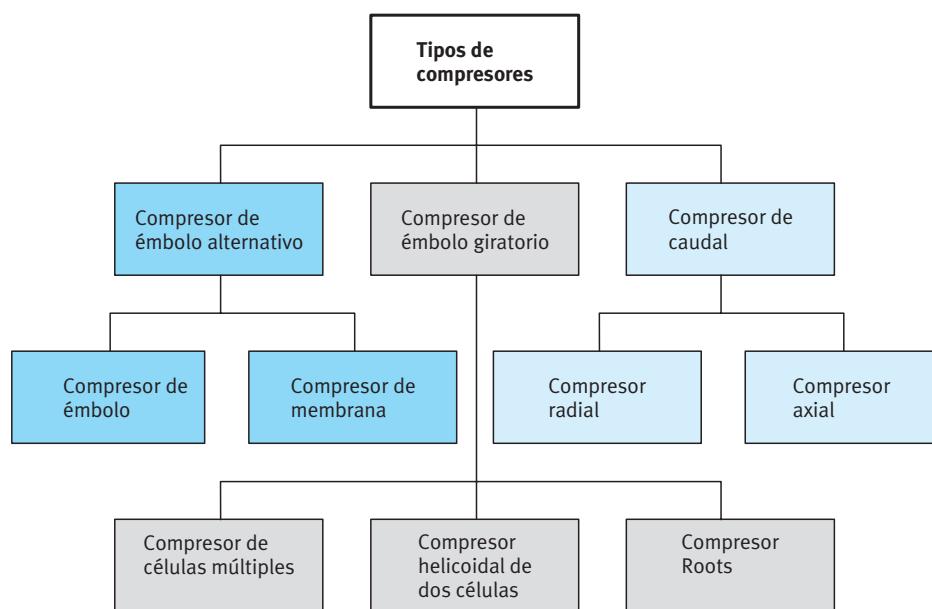


Fig. 3.1: Tipos de compresores

#### **3.2.1 Compresores de émbolo**

En un compresor de émbolo alternativo, se comprime el aire que se aspira a través de una válvula de entrada. El aire se envía al sistema a través de una válvula de salida.

Este tipo de compresor está muy difundido, porque permite obtener un margen muy amplio de presión. Para generar presiones más altas, se utilizan compresores de varias fases. El aire comprimido se enfriá entre cada una de las fases de compresión.

Márgenes de presión óptimos de compresores de émbolo alternativo:

|                 |            |                  |
|-----------------|------------|------------------|
| Hasta 400 kPa   | (4 bar)    | una fase         |
| Hasta 1500 kPa  | (15 bar)   | dos fases        |
| Más de 1500 kPa | (> 15 bar) | tres o más fases |

Márgenes de presión factibles, aunque no económicos:

|                 |            |                  |
|-----------------|------------|------------------|
| Hasta 1200 kPa  | (12 bar)   | una fase         |
| Hasta 3000 kPa  | (30 bar)   | dos fases        |
| Más de 3000 kPa | (> 30 bar) | tres o más fases |

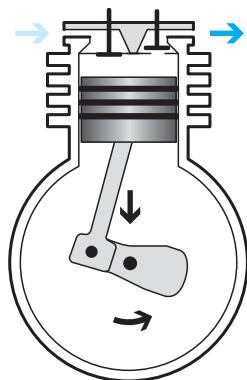


Fig. 3.2: Dibujo en sección de un compresor de émbolo alternativo de una fase

### **3.2.2 Compresor de membrana**

El compresor de membrana pertenece al grupo de los compresores de émbolo. La cámara de compresión está separada del émbolo mediante una membrana. Esta solución ofrece la ventaja de no permitir que el aire se contamine con el aceite contenido en el compresor. Por ello, el compresor de membrana se utiliza con frecuencia en la industria alimentaria, en la industria farmacéutica y en la industria química.

### **3.2.3 Compresor de émbolos rotativos**

En un compresor de émbolos rotativos, el aire se comprime debido a la rotación de los émbolos. Durante la operación de compresión se reduce continuamente el volumen de la cámara de compresión.

### **3.2.4 Compresor helicoidal**

Dos ejes, provistos de perfiles helicoidales, giran en sentidos opuestos. Los perfiles engranan entre sí, comprimiendo el aire.

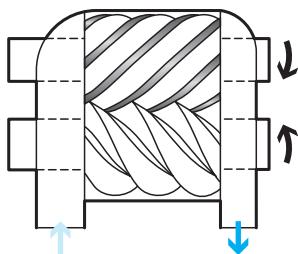


Fig. 3.3: Dibujo en sección de un compresor helicoidal

### **3.2.5 Compresor de flujo**

Estos compresores son especialmente apropiados para la generación de grandes cantidades de aire comprimido. Los compresores de flujo pueden ser de giro axial o radial. El aire fluye a raíz del giro de una o dos turbinas. La energía cinética se transforma en energía de presión. En el caso del compresor de flujo axial, se acelera el flujo del aire cuando atraviesa la turbina en sentido axial.

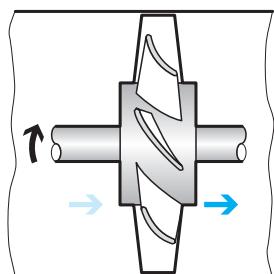


Fig. 3.4: Dibujo en sección de un compresor de flujo axial

### **3.2.6 Regulación**

Para adaptar la cantidad de aire comprimido a la oscilación del consumo, es necesario regular el rendimiento del compresor. La generación de aire comprimido se regula entre dos valores límite ajustables: la presión máxima y la presión mínima. Existen diversos tipos de regulación:

- Regulación del funcionamiento sin carga      Regulación del escape  
Regulación por bloqueo  
Regulación por mordaza
- Regulación de carga parcial      Regulación de revoluciones  
Regulación por estrangulación de la aspiración
- Regulación intermitente

### **Regulación del funcionamiento sin carga**

En el caso de la regulación del aire de escape, el compresor trabaja en contra de la resistencia que ofrece una válvula limitadora de la presión. Una vez que se alcanza la presión previamente ajustada, se abre la válvula limitadora de presión, con lo que el aire se expulsa hacia el exterior. Una válvula antirretorno evita que se vacíe el depósito del compresor. Este tipo de regulación únicamente se utiliza en instalaciones muy pequeñas.

En el caso de la regulación por bloqueo, se regula el lado de aspiración. Bloqueándose la entrada de aire, el compresor no puede aspirar aire del exterior. Este tipo de regulación es usual especialmente en los compresores de émbolos rotativos.

Tratándose de compresores de émbolos rotativos de mayor tamaño, se usa la regulación mediante mordaza. Concretamente, una mordaza mantiene abierta la válvula de aspiración, con lo que el compresor ya no puede comprimir el aire.

### **Regulación de carga parcial**

En el caso de la regulación mediante revoluciones, se regulan las revoluciones del motor del compresor en función de la presión.

Con el sistema de regulación mediante estrangulación de la aspiración de aire, se regula mediante la estrangulación de la boquilla de aspiración del compresor.

### **Regulación intermitente**

En el caso de este tipo de regulación, el compresor asume dos estados: plena carga y reposo. El motor del compresor se desconecta cuando se alcanza  $p_{\text{máx}}$  y vuelve a ponerse en funcionamiento cuando se alcanza  $p_{\text{min}}$ .

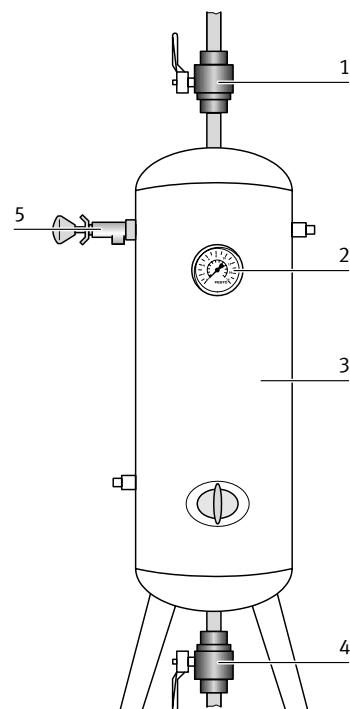
### **3.2.7 Tiempo de utilización**

Es recomendable que un compresor funcione aproximadamente al 75 por ciento de su tiempo nominal de utilización. Para conseguirlo, deberá determinarse primero el consumo promedio y el consumo máximo de aire en el sistema neumático y, a continuación, podrá seleccionarse el compresor apropiado en función del resultado obtenido. Si es previsible que el consumo de aire aumente debido a una posible ampliación posterior de las instalaciones, es recomendable que la parte correspondiente a la generación y distribución de aire sea más grande desde un principio, con el fin de evitar costosas inversiones cuando se amplíe el sistema.

### 3.3 Acumulador

Para estabilizar el nivel de aire comprimido, se monta un acumulador detrás del compresor. El acumulador es capaz de compensar las oscilaciones que experimenta la presión cuando el sistema consume aire comprimido. Si disminuye la presión en el acumulador por debajo de un valor previamente definido, el compresor se encarga de volver a llenarlo, hasta que se alcanza nuevamente el valor superior de la presión. Esta solución tiene la ventaja que el compresión no tiene que estar continuamente en funcionamiento.

El aire comprimido contenido en el acumulador se enfria debido a la superficie relativamente grande del cuerpo del acumulador. Este proceso genera condensado, que debe purgarse regularmente a través de una válvula.



1: Válvula de cierre 2: Manómetro 3: Acumulador 4: Válvula de purga 5: Válvula limitadora de presión

Fig. 3.5: Acumulador

El tamaño del acumulador de aire comprimido depende de los siguientes factores:

- Caudal del compresor
- Consumo de aire en el sistema
- Red del sistema neumático (posible volumen adicional a tener en cuenta)
- Tipo de regulación del compresor
- Oscilaciones admisibles de la presión en la red

**Ejemplo: Volumen de un acumulador de aire comprimido**

Condiciones: Cantidad suministrada de aire  $q_L = 20 \text{ m}^3/\text{min}$   
 Diferencia de presión  $\Delta p = 100 \text{ kPa (1 bar)}$   
 Ciclos/h  $z = 20 \text{ h}^{-1}$

El resultado: Tamaño del acumulador  $V_B = 15 \text{ m}^3$   
 (ver línea punteada en Fig. 3.6)

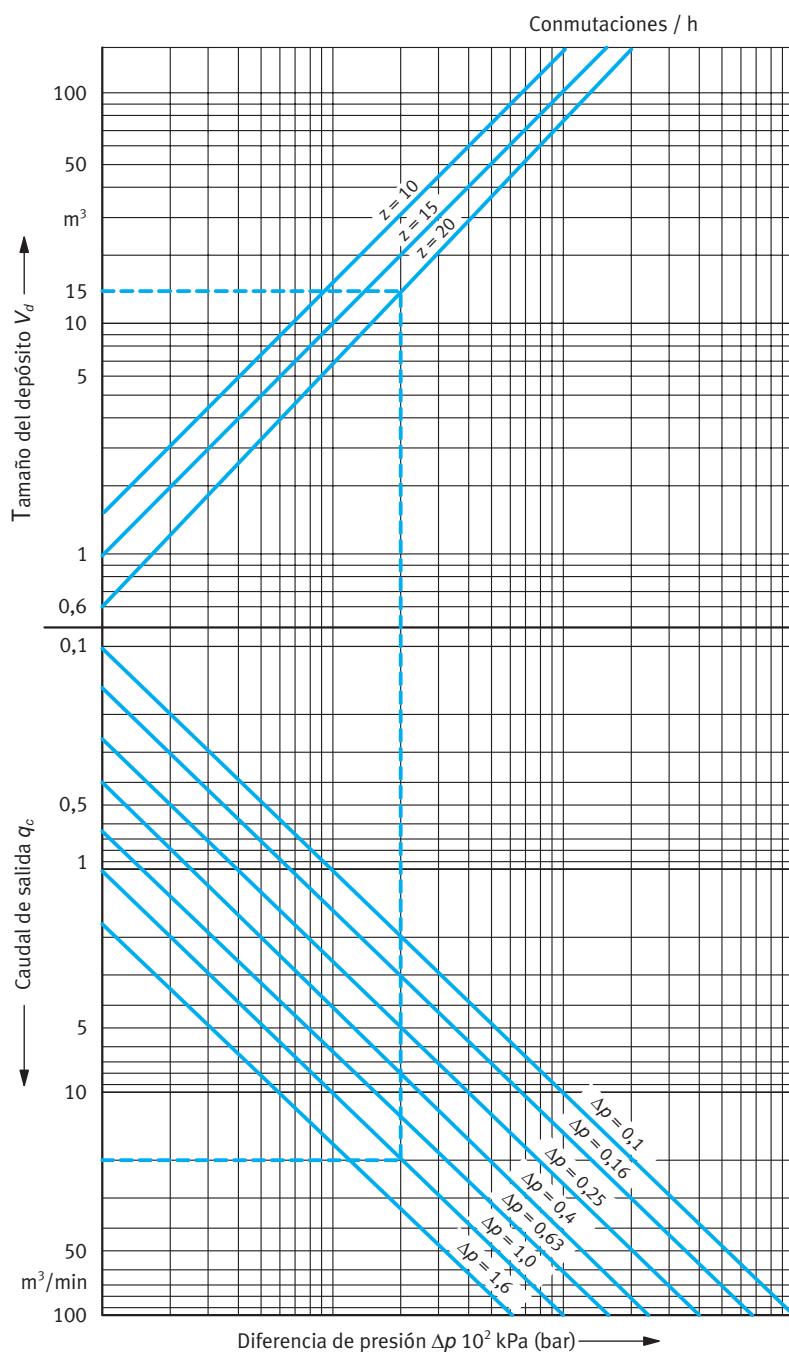


Fig. 3.6: Determinación del volumen de un acumulador

### **3.4 Secador de aire**

La humedad (agua) se introduce en la red de aire a través del aire que aspira el compresor. La humedad depende principalmente de la humedad relativa existente en el ambiente. La humedad relativa depende de la temperatura del aire y de las condiciones meteorológicas.

La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua contenido realmente en un m<sup>3</sup> de aire. La cantidad de saturación es la cantidad de vapor de agua que un m<sup>3</sup> de aire es capaz de contener como máximo, dependiendo de la temperatura.

Si la humedad relativa del aire se expresa en por ciento, es válida la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{Humedad absoluta}}{\text{Cantidad de saturación}} \times 100 \%$$

Considerando que la cantidad de saturación depende de la temperatura, la humedad relativa varía en función de la temperatura, aunque la humedad absoluta se mantenga constante. Una vez que se alcanza el punto de rocío, la humedad relativa sube a 100 %.

#### **Punto de condensación**

Bajo punto de condensación (o, también, punto de rocío) se entiende la temperatura con la que la humedad relativa alcanza 100 %. Si la temperatura disminuye más, el vapor de agua contenido en el aire empieza a condensarse. Cuanto más baja la temperatura, tanto más vapor de agua se condensa.

Si el aire comprimido contiene mucha humedad, disminuye la duración de los sistemas neumáticos. Por ello es necesario incluir un secador de aire en el sistema, con el fin de reducir la humedad contenida en el aire.

#### Métodos para secar el aire:

- Secado por frío
- Secado por adsorción
- Secado por absorción

#### **Punto de condensación bajo presión**

Con el fin de poder comparar diversos sistemas se secado, debe tenerse en cuenta la presión de funcionamiento existente en el sistema. Por ello, el criterio que se aplica es el punto de condensación bajo presión. El punto de condensación bajo presión es la temperatura que tiene el aire contenido en un secador, sometido a la presión de funcionamiento.

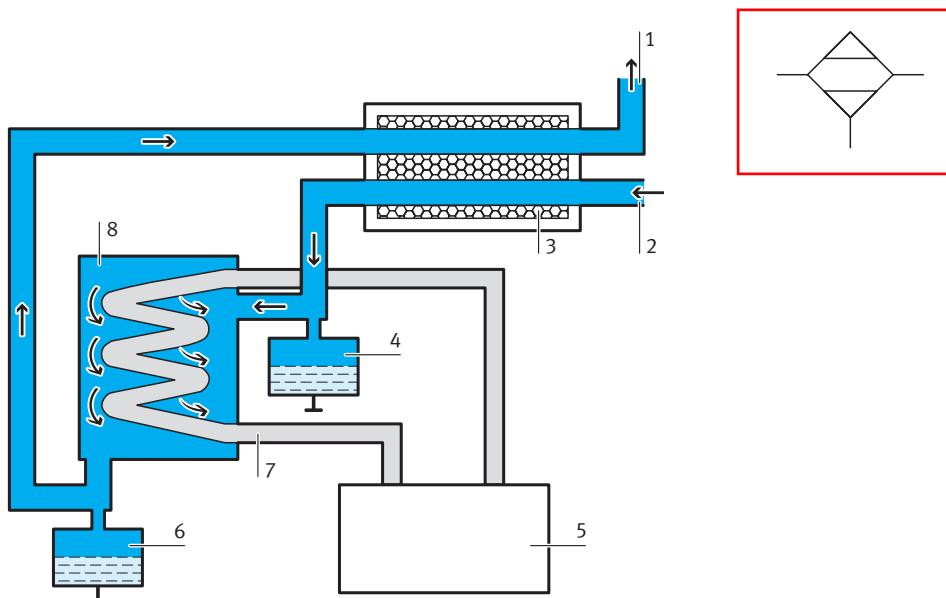
El punto de condensación bajo presión del aire seco debería ser aproximadamente 2 hasta 3 °C inferior a la temperatura ambiente más baja. Los costos adicionales que ocasiona un secador de aire se amortizan rápidamente, considerando que su utilización disminuye los costos de mantenimiento, reduce los tiempos de paralización de las máquinas y aumenta la fiabilidad del sistema neumático.

### 3.4.1 Secador por frío

El secador de aire más difundido es el secador por frío. En este secador se enfriá el flujo de aire mediante un intercambiador térmico. La humedad contenida en el aire se aparta y acumula en un depósito separador.

El aire que entra en el secador por frío se enfriá previamente en un intercambiador térmico mediante el aire frío saliente. A continuación, el aire se enfriá en el equipo hasta que alcanza una temperatura entre +2 y +5 °C. Entonces se filtra el aire comprimido seco. Al salir del secador por frío, el aire que entra en el secador vuelve a calentar el aire comprimido.

El método de secado por frío permite alcanzar puntos de condensación bajo presión entre +2 y +5 °C.



1: Salida de aire 2: Entrada de aire 3: Intercambiador térmico aire/aire 4: Separador 5: Máquina de frío 6: Separador  
7: Refrigerante; 8: Máquina frigorífica

Fig. 3.7: Secador por frío – Dibujo en sección y símbolo

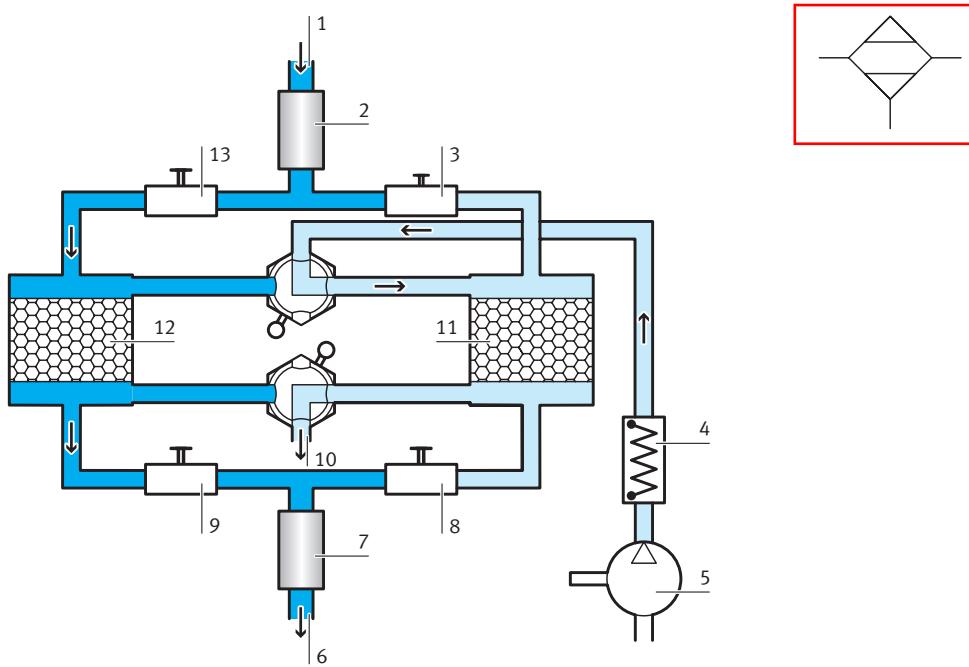
### 3.4.2 Secador por adsorción

Adsorción: Adherencia de substancias que tiene lugar en la superficie de un cuerpo sólido.

El agente de secado (también llamado gel), es un granulado compuesto en su mayor parte de dióxido de silicio.

Siempre se utilizan dos secadores por adsorción. Si el granulado del primer secador por adsorción está saturado, se activa el segundo secador. A continuación, se regenera el granulado del primer secador mediante secado por aire caliente.

Los secadores por adsorción permiten obtener puntos de condensación bajo presión de hasta – 90 °C.



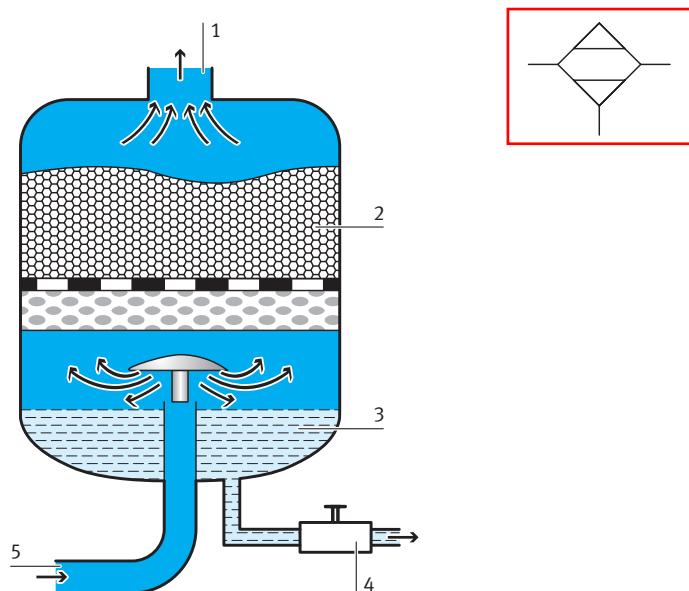
1: Válvula de cierre 2: Primer filtro (filtro de aceite) 3: Válvula de cierre (cerrada) 4: Calefacción 5: Ventilador 6: Aire seco 7: Segundo filtro  
8: Válvula de cierre (cerrada) 9: Válvula de cierre (abierta) 10: Aire caliente 11: Unidad de adsorción 2 12: Unidad de adsorción 1  
13: Válvula de cierre (abierta)

Fig. 3.8: Secador por adsorción – Dibujo en sección y símbolo

### **3.4.3 Secado por absorción**

Absorción: Retención de gases en un cuerpo sólido o líquido.

La operación de secado por absorción es un proceso puramente químico. Considerando su elevado costo, este método de secado casi no se utiliza.



1: Salida de aire seco; 2: Agente de fundición 3: Condensado 4: Descarga del condensado 5: Entrada de aire húmedo

Fig. 3.9: Secador por absorción – Dibujo en sección y símbolo

Las partículas de agua y de aceite de mayor tamaño que contiene el aire comprimido, se eliminan en un primer filtro. Cuando el aire comprimido entra en el secador, el aire ejecuta un movimiento rotativo y fluye a través de la cámara de secado que está llena de un agente de fusión (masa de secado). La humedad se une al agente de fusión y lo disuelve. Esta mezcla líquida fluye hacia el depósito inferior de acumulación.

La mezcla debe purgarse regularmente y, además, es necesario sustituir regularmente el agente de fusión.

Características del método de secado por absorción:

- Instalación sencilla del equipo
- Mínimo desgaste mecánico (carece de piezas móviles)
- No es necesario recurrir a fuentes de energía externas.

Detrás del secador debe montarse un filtro de partículas de polvo, con el fin de retener el polvo del agente de fusión que arrastra el aire.

Con este método pueden obtenerse puntos de condensación bajo presión inferiores a 0 °C.

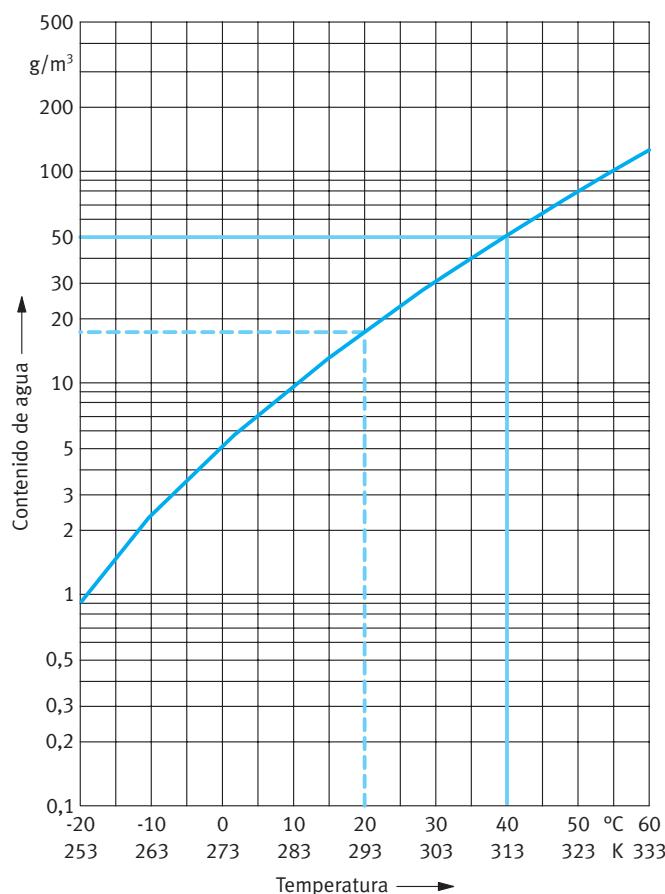


Fig. 3.10: Curva del punto de condensación

**Ejemplo:**

|                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| Capacidad de aspiración        | 1000 m <sup>3</sup> /h |
| Presión absoluta               | 700 kPa (7 bar)        |
| Cantidad comprimida por hora   | 143 m <sup>3</sup>     |
| Temperatura de aspiración      | 293 K (20 °C)          |
| Temperatura tras la compresión | 313 K (40 °C)          |
| Humedad relativa               | 50 %                   |

Cantidad de agua antes de la compresión:

Con 293 K (20 °C) se obtiene el siguiente contenido de agua:

$$100 \% = 17,3 \text{ g/m}^3$$

(ver línea interrumpida en Fig. 3.10: Curva del punto de condensación

Ello significa lo siguiente: 50 % = 8,65 g/m<sup>3</sup>

Así se obtiene:  $8,65 \text{ g/m}^3 \cdot 1000 \text{ m}^3/\text{h} = 8650 \text{ g/h}$

Cantidad de agua después de la compresión:

Con 313 K (40 °C) se obtiene la siguiente cantidad de saturación:

$$51,1 \text{ g/m}^3$$

(ver línea continua en Fig. 3.10: Curva del punto de condensación

Así se obtiene:  $51,1 \text{ g/m}^3 \cdot 143 \text{ m}^3/\text{h} = 7307 \text{ g/h}$  Capaz de admitir

Por lo tanto, la cantidad de agua separada detrás del compresor es:

Gramos de agua que se genera en una hora  
 $8650 \text{ g/h} - 7307 \text{ g/h} = 1343 \text{ g/h.}$  ←

### 3.5 Distribución de aire

Con el fin de obtener una distribución fiable y sin fallos del aire, deberán tenerse en cuenta diversos aspectos. Las dimensiones correctas de los tubos de la red tienen la misma importancia que el material de los tubos, la resistencia al flujo, la configuración de la red de tubos y el sistema de mantenimiento.

#### 3.5.1 Dimensionamiento de los tubos

Si se trata de una primera instalación, siempre debe tenerse en cuenta una posible ampliación posterior de la red de aire comprimido. Por lo tanto, es recomendable que la tubería troncal tenga un diámetro superior al que exige el sistema que se está instalando. Considerando posibles ampliaciones posteriores, también es recomendable instalar tapones y válvulas de cierre adicionales.

En todos los tubos se producen pérdidas de presión debido a las resistencias que se oponen al flujo, especialmente en zonas de estrechamiento, en codos, derivaciones o conexiones de tubos. El compresor debe compensar estas pérdidas. La meta consiste en que la caída de presión en la red sea lo menor posible.

Para calcular la caída de presión, debe conocerse el largo total de la red de tuberías. Para efectuar el cálculo, las uniones, derivaciones y los codos deben sustituirse matemáticamente por longitudes de tubos. Además, la selección del diámetro interior correcto depende de la presión de funcionamiento y de la cantidad de aire proveniente del compresor. Por lo tanto, es recomendable realizar el cálculo recurriendo a un nomograma.

#### 3.5.2 Resistencia al flujo

En una red de tubos, cualquier factor que influye en el flujo o cualquier cambio de sentido del flujo representa una interferencia y provoca un aumento de la resistencia al flujo. De esta manera se produce una permanente reducción de la presión dentro de la red. Considerando que todas las redes de aire comprimido necesariamente incluyen derivaciones, codos y uniones, es imposible evitar que se produzca una caída de presión. Sin embargo, sí es posible reducir considerablemente esa caída seleccionando las uniones más apropiadas, utilizando los materiales más recomendables y efectuando un montaje correcto de todos los componentes.

### 3.5.3 Material del los tubos

Los tubos utilizados en un sistema moderno de aire comprimido, deben cumplir diversas condiciones.

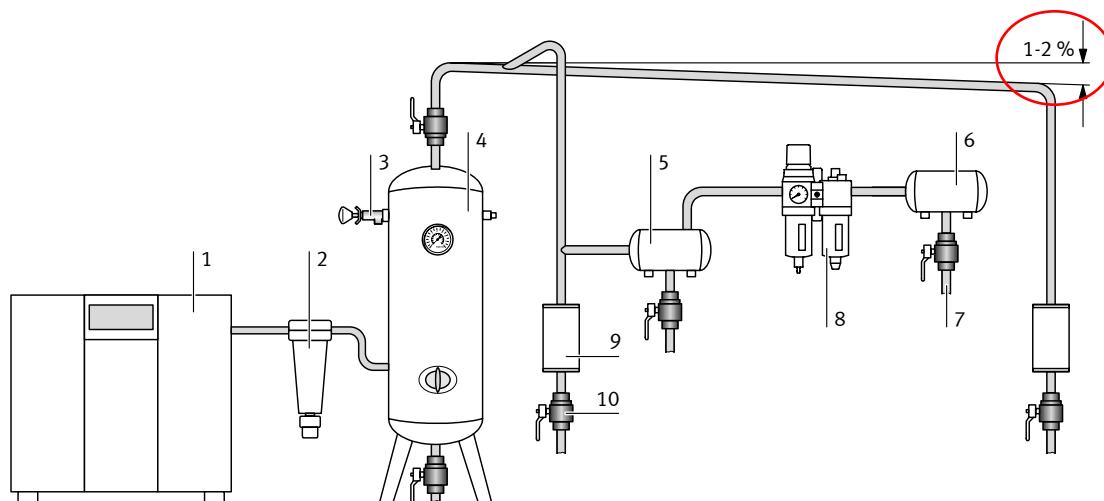
Concretamente,

- deben garantizar mínimas pérdidas de presión,
- deben ser estancos,
- deben ser resistentes a la corrosión y
- deben permitir ampliaciones posteriores de la red.

Al efectuar los cálculos, no debe considerarse únicamente el precio de los materiales y equipos. También deben tenerse en cuenta los costos de la instalación, que son más bajos si los tubos son de material sintético. Los tubos de plástico pueden unirse de manera completamente estanca, utilizando pegamento. Además, las redes de tubos de material sintético pueden ampliarse de modo muy sencillo.

Los tubos de cobre o acero, por lo contrario, son más baratos, pero deben soldarse o unirse mediante elementos roscados. Si esos trabajos no se realizan cuidadosamente, es posible que entren virutas en el sistema, residuos de soldadura, partículas extrañas o agentes hermetizantes. En ese caso, es posible que se produzcan serios fallos en el sistema. Si el sistema puede funcionar correctamente con tubos de pequeño o mediano diámetro, los tubos de material sintético son superiores a los tubos de cualquier otro material, tanto en lo que se refiere a su precio, como en relación a los costos de montaje, mantenimiento y ampliaciones posteriores.

Las oscilaciones de la presión en la red exigen un montaje impecable de los tubos, ya que de lo contrario pueden surgir fugas en las uniones atornilladas o soldadas.



1: Compresor 2: Separador de agua/aceite 3: Válvula limitadora de presión 4: Acumulador 5: Depósito intermedio, para varias unidades consumidoras 6: Acumulador instalado en el sistema neumático 7: Hacia la unidad consumidora 8: Unidad de mantenimiento 9: Depósito de condensado 10: Llave de evacuación

Fig. 3.11: Sistema de alimentación de aire

### **3.5.4 Disposición de los tubos**

El funcionamiento eficiente de un sistema de aire comprimido depende del dimensionamiento correcto de los tubos, de la buena calidad del material de los tubos y, además, de la distribución apropiada de los tubos que forman la red. El compresor alimenta intermitentemente el aire comprimido al sistema. En una red de aire comprimido, es posible que el consumo de aire aumente sólo pasajeramente, durante algunos breves instantes. Esto puede provocar condiciones desfavorables en la red de aire comprimido. Por ello, es recomendable que la red de aire comprimido cuente con un tubo circular principal, ya que allí se puede mantener un nivel de presión relativamente constante.

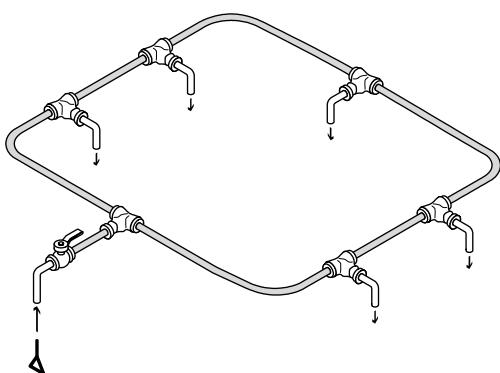


Fig. 3.12: Tubería circular

Además, es recomendable prever diversas secciones en la red, con el fin de poder llevar a cabo trabajos de mantenimiento, reparación o ampliación sin necesidad de interferir en todo el sistema de alimentación de aire.

Para obtener estas secciones, deberán utilizarse derivaciones con conexiones en forma de T, y tubos colectores con acoplamientos enchufables. Los tubos derivados deberían estar provistos de válvulas de cierre o de válvulas de bola estándar.

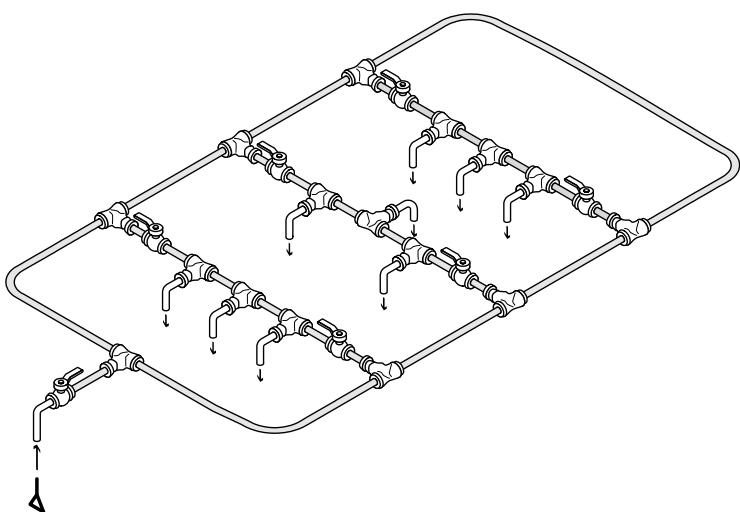


Fig. 3.13: Red con tubo circular e interconexiones

Aunque se disponga de un buen sistema de separación de agua, es posible que la caída de presión y el enfriamiento exterior produzcan restos de condensado en las tuberías. Para poder purgar ese condensado, es recomendable prever derivaciones intermedias en el sentido de flujo y con una inclinación de 1 hasta 2 %. Estas derivaciones también pueden instalarse de manera escalonada. El condensado se acumula en la parte más baja de esas derivaciones intermedias, y se puede retirar a través del separador.

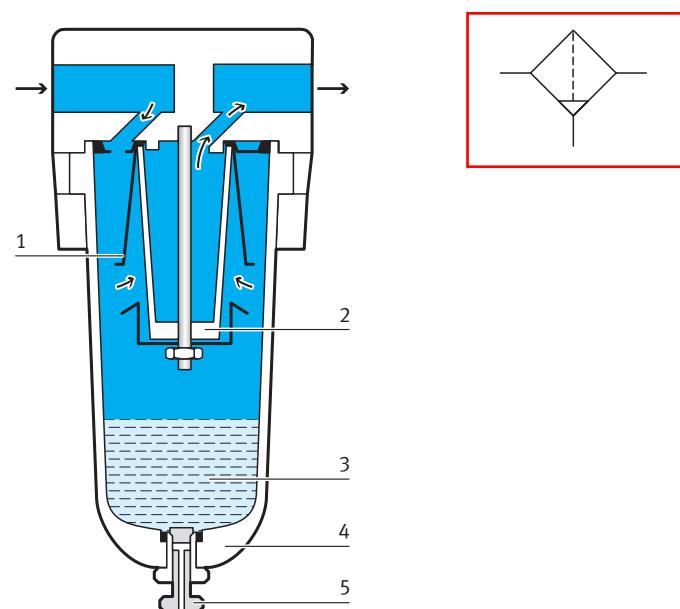
### **3.6 Unidad de mantenimiento**

Las funciones de preparación, filtración, regulación y lubricación del aire comprimido pueden estar a cargo de unidades individuales. Sin embargo, esas funciones se resumen con frecuencia en una sola unidad: la unidad de mantenimiento. Las unidades de mantenimiento se montan al inicio de cualquier sistema neumático.

En las instalaciones modernas, por lo general ya no es necesario instalar un lubricador. Los lubricadores sólo son necesarios en casos específicos, y suelen montarse en la parte funcional de una red. No debe lubricarse nunca el aire comprimido en la parte de control de la red.

#### **3.6.1 Filtro de aire comprimido**

El condensado, las partículas de suciedad y el excedente de aceite pueden provocar un desgaste prematuro de las partes móviles y de las juntas de los componentes neumáticos. De esta manera se pueden producir fugas, que permiten que dichas impurezas salgan al exterior. Si no se montan filtros de aire comprimido, esas fugas pueden contaminar y, por lo tanto, inutilizar los productos producidos en la industria alimentaria, farmacéutica o química.



1: Disco de turbulencia 2: Filtro sinterizado 3: Condensado 4: Depósito del filtro 5: Tornillo de escape

Fig. 3.14: Filtro de aire comprimido – Dibujo en sección y símbolo

La alimentación de aire comprimido de alta calidad al sistema neumático depende en buena medida de la selección acertada del filtro de aire. El criterio para elegir el filtro de aire es el tamaño de sus poros. Este criterio define el tamaño de las partículas más pequeñas contenidas en el aire, que el filtro es capaz de retener.

El condensado acumulado debe purgarse antes que su nivel alcance la marca superior, ya que, de lo contrario, volvería a entrar en el flujo de aire.

Considerando que el condensado se produce permanentemente, es recomendable instalar un sistema de purga automática, en vez de utilizar la válvula de escape de accionamiento manual. Sin embargo, en ese caso también es recomendable analizar la causa de la generación de condensado. Por ejemplo, puede ser posible que la causa del condensado sea que los tubos estén tendidos de manera poco apropiada.

El sistema de purga automática de condensado siempre está compuesto por un flotador que, cuando el condensado alcanza su máximo nivel, actúa sobre una palanca que, a su vez, abre una tobera de aire comprimido. El aire comprimido actúa sobre una membrana que abre la salida de escape. Cuando el flotador llega al nivel mínimo de condensado, se cierra la tobera y se interrumpe la operación de purga. Adicionalmente es posible vaciar el depósito de condensado mediante un sistema de accionamiento manual.

El disco helicoidal del filtro obliga al flujo de aire comprimido a ejecutar un movimiento giratorio. La fuerza centrífuga separa las partículas de agua y las partículas sólidas del aire. Estas partículas son despedidas hacia la pared interior del depósito del filtro. Las partículas se escurren por la pared del depósito y llegan hacia una cámara de acumulación. El aire sometido a esta primera operación de filtrado, continúa fluyendo a través del cartucho del filtro. En el cartucho se retienen las partículas de suciedad que son más grandes que los poros del filtro. Tratándose de filtros normales, los poros tienen entre 5 µm y 40 µm.

Se entiende bajo grado de filtración el porcentaje de partículas de un determinado tamaño, que el filtro es capaz de retener. Por ejemplo, un filtro puede tener un grado de filtración de 99,99% en relación con partículas de 5 µm. Un filtro fino es capaz de filtrar el 99,999 por ciento de las partículas que tienen un tamaño superior a 0,01 µm.

Después de un uso prolongado, deberá sustituirse el cartucho del filtro, ya que puede quedar obstruido por las partículas de suciedad retenidas. En la medida en que aumenta la suciedad retenida por el filtro, aumenta la resistencia que el filtro opone al flujo de aire. Por ello, aumenta la caída de presión en el filtro.

Para determinar el momento oportuno para cambiar de filtro, debe realizarse un control visual o llevarse a cabo una medición de presión diferencial.

## Mantenimiento

El intervalo entre los cambios del cartucho del filtro depende de la calidad del aire comprimido, del consumo de aire de los componentes neumáticos conectados y, además, del tamaño del filtro. El mantenimiento del filtro incluye lo siguiente:

- Sustitución o limpieza del cartucho
- Purga del condensado

Si se limpia el filtro, deberán tenerse en cuenta las indicaciones que el fabricante hace en relación con el detergente apropiado.

### **3.6.2 Válvula reguladora de presión**

El aire comprimido generado por el compresor está sujeto a oscilaciones. Las oscilaciones de la presión en las tuberías pueden incidir negativamente en el funcionamiento de las válvulas, en la duración de los movimientos ejecutados por los cilindros y en la función reguladora de válvulas de estrangulación y válvulas de impulsos.

Para que un sistema neumático funcione sin problemas, es necesario disponer de una presión de trabajo constante. Para contar con una presión constante, se conectan reguladores de presión a la red. Estos reguladores, montados de modo centralizado, consiguen que la alimentación de aire comprimido (presión secundaria) sea constante, independientemente de las oscilaciones que la presión sufra en el circuito de control principal (presión primaria). El reductor de presión o regulador de presión que se monta detrás del filtro de aire comprimido, se encarga de mantener la presión de trabajo a un nivel constante. El nivel de presión siempre debería corresponder a la demanda de aire comprimido existente en el correspondiente sector de la instalación.

En la práctica se suele prever lo siguiente:

- 600 kPa (6 bar) en la parte funcional y
- Desde 300 hasta 400 kPa (3 hasta 4 bar) en la parte de control.

Estos niveles han demostrado ser la solución más apropiada en términos económicos y técnicos, considerando la capacidad de generación de aire comprimido y el nivel de rendimiento de los componentes neumáticos.

Una presión de funcionamiento más alta redundaría en un aprovechamiento poco eficiente de la energía y en un mayor nivel de desgaste. Una presión inferior tendría un grado de eficiencia menor, especialmente en la parte funcional del sistema.

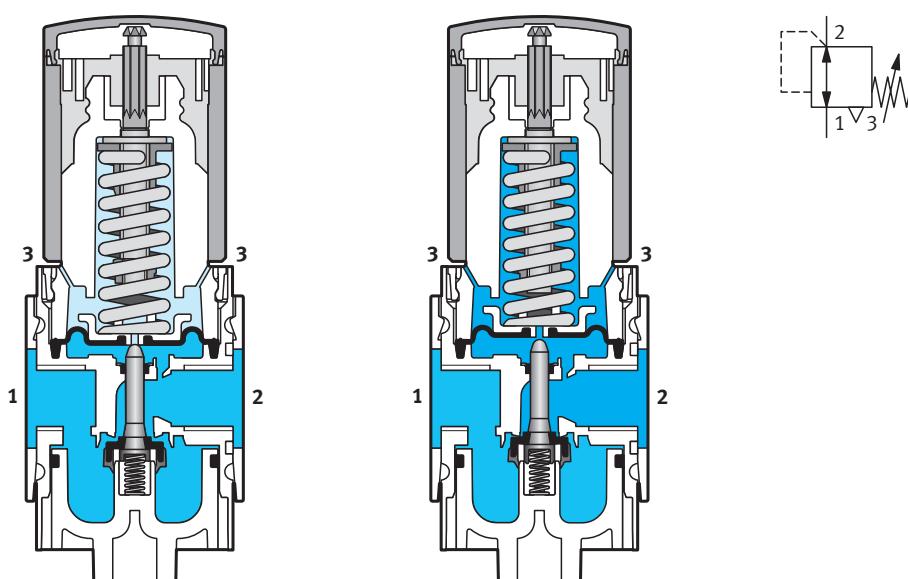


Fig. 3.15: Válvula reguladora de presión, con salida de descarga – Dibujos en sección y símbolo

#### **Válvula reguladora de presión con salida de descarga: Funcionamiento**

La presión de entrada (presión primaria) aplicada en la válvula reguladora, siempre tiene que ser superior a la presión de salida (presión secundaria). La regulación de la presión está a cargo de una membrana. La presión de salida actúa sobre un lado de la membrana, mientras que sobre el otro lado actúa la fuerza de un muelle. La fuerza del muelle puede ajustarse mediante un tornillo.

Si aumenta la presión en el lado secundario (por ejemplo, al producirse un cambio de carga en el cilindro), se presiona la membrana en contra de la fuerza del muelle. Así disminuye o se cierra la superficie de la sección de salida en el asiento de la válvula. El asiento de la válvula de membrana se abre, el aire comprimido puede descargarse a través de los taladros que tiene el cuerpo.

Si disminuye la presión en el lado secundario, la válvula se abre debido a la fuerza que aplica el muelle. Esto significa que la regulación de la presión del aire para alcanzar una presión previamente ajustada, provoca que el asiento de la válvula se abra y cierre constantemente, debido al flujo del aire. La presión de funcionamiento se muestra en un aparato de medición.

#### **Válvula reguladora de presión sin salida de descarga: Funcionamiento**

Si la presión de salida (presión secundaria) es demasiado elevada, aumenta la presión en el asiento de la válvula, por lo que la membrana actúa en contra de la fuerza del muelle. Al mismo tiempo disminuye la sección de salida en el asiento de la válvula o se cierra completamente la salida, por lo que disminuye o se interrumpe el flujo de aire. El aire comprimido sólo puede volver a entrar cuando la presión de funcionamiento (presión secundaria) es menor que la presión del lado primario.

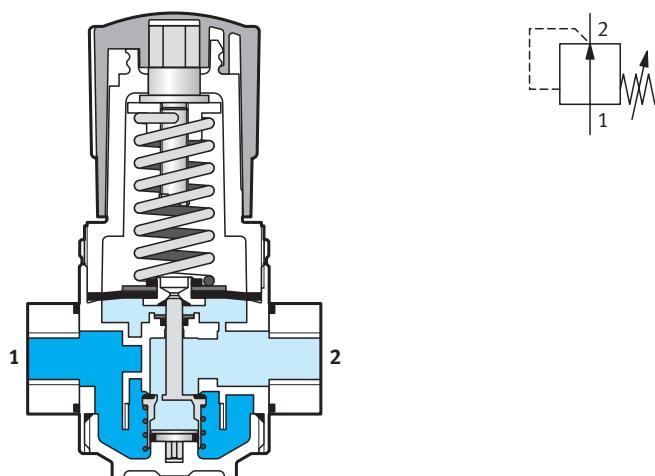


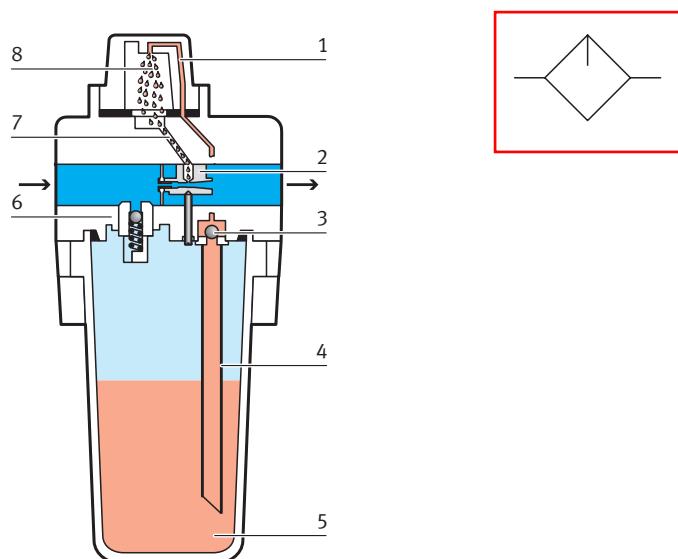
Fig. 3.16: Válvula reguladora de presión, sin salida de descarga – Dibujo en sección y símbolo

### **3.6.3 Lubricador de aire comprimido**

En términos generales, no es recomendable lubricar el aire comprimido. Si las partes móviles de válvulas y cilindros necesitan una lubricación externa, deberá lubricarse el aire comprimido de modo suficiente y, además, permanente. Es recomendable que únicamente se lubrique el aire comprimido en las secciones del sistema en que sea necesario. El aceite que contiene el aire comprimido proveniente del compresor, no es apropiado para la lubricación de componentes neumáticos.

Los cilindros con juntas termorresistentes no deberían funcionar con aire comprimido lubricado, ya que el aceite podría enjuagar la grasa especial que tienen esos actuadores.

Si los sistemas que funcionaron con lubricación se modifican para que funcionen con aire comprimido sin lubricación, es necesario renovar la lubricación original de las válvulas y los cilindros, ya que es muy posible que el aceite contenido en el aire comprimido produjera un lavado del lubricante original de los componentes.



1: Columna ascendente 2: Zona de estrangulación 3: Asiento de bola 4: Tubo ascendente 5: Aceite 6: Válvula antirretorno  
7: Canal 8: Cámara de goteo

Fig. 3.17: Lubricador de aire comprimido – Dibujo en sección y símbolo

El aire comprimido únicamente deberá lubricarse en las siguientes circunstancias:

- Cuando es necesario que los movimientos se ejecuten de manera extremadamente veloz.
- Cuando se utilizan cilindros con secciones de gran diámetro (en este caso, es apropiado que el lubricador esté montado justo delante del cilindro).

Si la lubricación es excesiva, pueden surgir los siguientes problemas:

- Fallos del funcionamiento de los componentes
- Mayor contaminación del medio ambiente
- Agarrotamiento de los componentes tras largos períodos sin utilización

### **Funcionamiento**

El aire comprimido fluye a través de lubricador y genera un vacío al pasar por la zona de sección reducida. Este vacío aspira aceite, que sale a través de un tubo ascendente que proviene del depósito de aceite. El aceite pasa a la cámara de goteo, donde se nebuliza por el flujo de aire. El aire sigue transportando el aceite nebulizado.

### **Ajuste del lubricador**

Para comprobar si la dosificación de aceite es correcta, proceder de la siguiente manera: Sujetar un cartón blanco a unos 10 centímetros de la salida de escape de la válvula que controla el cilindro que se encuentra más lejos del lubricador. Estando en funcionamiento el sistema durante algún tiempo, el cartón sólo deberá adquirir un color amarillo muy tenue. Si gotea aceite del cartón, es evidente que se trata de un excedente de lubricación.

### **Mantenimiento del lubricador**

El aceite separado del compresor no puede utilizarse como lubricante para los actuadores del sistema. Ello no es posible, porque ese aceite está desgastado y calcinado debido al calor existente en el compresor. Ese aceite tendría un efecto abrasivo en los cilindros y las válvulas, lo que provocaría una reducción considerablemente su rendimiento.

Otro problema relacionado con el mantenimiento de sistemas que funcionan con aire comprimido lubricado consiste en la condensación de aceite en las paredes interiores de los tubos de alimentación. El flujo de aire puede absorber de modo incontrolado ese aceite condensado, aumentando así el ensuciamiento de los tubos de la red de aire comprimido. El trabajo de mantenimiento de equipos contaminados de este modo es sumamente complicado, ya que para limpiar un tubo contaminado con condensación de aceite, hay que desmontarlo.

Además, la condensación de aceite también puede tener como consecuencia que los elementos queden pegados entre sí, especialmente si no se utilizaron durante un tiempo prolongado. Es posible que después de un fin de semana o de un día festivo ya no funcionen correctamente los componentes lubricados.

Por estas razones, es recomendable limitar la lubricación únicamente a las partes del sistema que la exigen. Adicionalmente es recomendable montar los lubricadores justo delante de los elementos que consumen el aire comprimido lubricado. En la parte de control de los sistemas neumáticos deberían utilizarse componentes autolubricados.

Por ello, debería respetarse la siguiente regla básica:

Siempre preparar el aire comprimido sin lubricación.

En resumen, deberían respetarse los siguientes criterios:

- Evitar que el aceite del compresor entre en la red de aire comprimido (instalar un separador de aceite).
- Únicamente instalar componentes que puedan funcionar con aire comprimido sin lubricar.
- Un sistema que una vez funcionó con aire lubricado, debe seguir funcionando con lubricación. Ello es necesario, porque los componentes que funcionaron con aire comprimido lubricado, pierden su lubricación original en el transcurso del tiempo.

#### 3.6.4 Combinación de equipos

Al combinar diversos aparatos para obtener una unidad de mantenimiento, deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- El tamaño de los aparatos que forman la combinación, depende del caudal necesario ( $m^3/h$ ). Un caudal muy elevado tiene como consecuencia una mayor caída de presión. Por ello, es recomendable respetar estrictamente las indicaciones del fabricante.
- La presión de funcionamiento no deberá superar el valor máximo indicado en la unidad de mantenimiento. La temperatura ambiente no debería ser superior a 50 °C (valor máximo admisible para depósitos de material sintético).



Fig. 3.18: Unidad de mantenimiento – válvula de cierre manual, unidad de filtro y regulador, lubricador

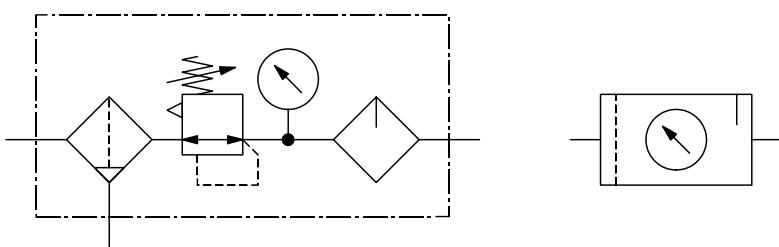


Fig. 3.19: Unidad de mantenimiento con lubricador – Símbolos. Izquierda: representación completa. Derecha: representación simplificada

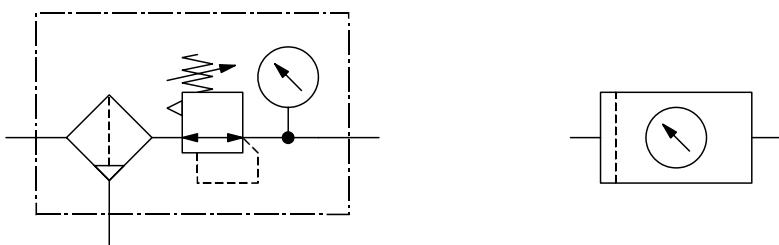


Fig. 3.20: Unidad de mantenimiento sin lubricador – Símbolos. Izquierda: representación completa. Derecha: representación simplificada

### Mantenimiento de las unidades de mantenimiento

Los siguientes trabajos de mantenimiento deben llevarse a cabo regularmente:

- Filtro de aire comprimido:

Revisión regular del nivel del condensado. No deberá superarse el nivel indicado en la mirilla. Si se supera el nivel, es posible que el condensado acumulado se introduzca en los tubos de la red de aire comprimido. El excedente de condensado puede purgarse a través de la válvula que se encuentra junto a la mirilla. También debe revisarse el grado de ensuciamiento del cartucho del filtro. En caso necesario, limpiarlo o sustituirlo.

- Válvula reguladora de presión

Esta válvula no requiere de mantenimiento alguno, suponiendo que delante de ella se haya montado un filtro de aire comprimido.

- Lubricador de aire comprimido:

También en este caso es necesario revisar el nivel en la mirilla y, si es necesario, llenar aceite.

Únicamente deberán utilizarse aceites minerales. El filtro de material sintético y el depósito de aceite no deben limpiarse con tricloroetileno.

## **4 Sistemas de accionamiento y actuadores**

Un sistema de accionamiento o actuador convierte energía en trabajo. El movimiento se controla mediante una unidad de control. El actuador reacciona a las señales de control que recibe el sistema de accionamiento. Además de los actuadores, existen otros elementos que se encargan de indicar el estado del sistema de control o de los actuadores. Por ejemplo, indicadores ópticos de accionamiento neumático.

Los actuadores neumáticos pueden clasificarse según dos grupos: actuadores que ejecutan movimientos lineales y actuadores que ejecutan movimientos giratorios.

- Movimiento recto (movimiento lineal)
  - Cilindro de simple efecto
  - Cilindro de doble efecto
- Movimiento giratorio (movimiento rotativo)
  - Motor neumático
  - Cilindro giratorio
  - Actuador giratorio o basculante

### **4.1 Cilindro de simple efecto**

Los cilindros de simple efecto reciben aire comprimido en un solo lado. Por ello, estos cilindros sólo pueden ejecutar un trabajo en un sentido. El vástago retrocede debido a la fuerza que aplica un muelle incorporado o a raíz de la aplicación de una fuerza externa. La fuerza del muelle incorporado se define de tal modo que el émbolo vuelve a su posición inicial sin carga, aunque con una velocidad apropiada.

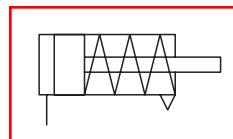
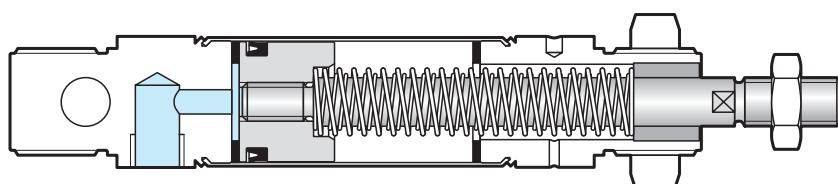


Fig. 4.1: Cilindro de simple efecto – Dibujo en sección y símbolo

Tratándose de un cilindro de simple efecto con muelle incorporado, la carrera está limitada por la longitud del cilindro. Por ello, los cilindros de simple efecto tienen una carrera de hasta aproximadamente 80 mm.

Debido a su construcción, el cilindro de simple efecto puede ejecutar diversas tareas, tales como:

- Entregar piezas
- Derivar piezas
- Junta piezas
- Distribuir piezas
- Sujetar piezas
- Entregar piezas

#### 4.1.1 Función

El émbolo de un cilindro de simple efecto está provisto de junta simple, montada en el lado de aplicación de la presión. La estanquidad se consigue mediante un material flexible (perbunán), que está alojado en un émbolo de metal o de material sintético. Al moverse el émbolo, los cantos de la junta se deslizan sobre la camisa del cilindro. Los cilindros de simple efecto también pueden ser:

- cilindros de membrana
- cilindros de fuelle

En el caso de un cilindro de membrana, una membrana de goma, material sintético o de metal asume la función del émbolo. El vástago está sujeto al centro de la membrana. En este tipo de cilindro no es necesaria una junta deslizante. Además, únicamente se produce fricción debido a la dilatación del material.

Los cilindros de fuelle hacen las veces de elemento de accionamiento mediante la alimentación y el escape de aire. Aplicando una presión permanente, los cilindros de fuelle pueden utilizarse como elemento de amortiguación. Están constituidos por dos placas de metal y un fuelle de goma. No tienen elementos hermetizantes ni partes mecánicas móviles. Los cilindros de fuelle son actuadores de simple efecto, en los que el movimiento de retroceso está a cargo de una fuerza externa.

Este tipo de cilindros se utiliza en aplicaciones de carrera corta, para ejecutar tareas de sujetar, prensar y elevar piezas.

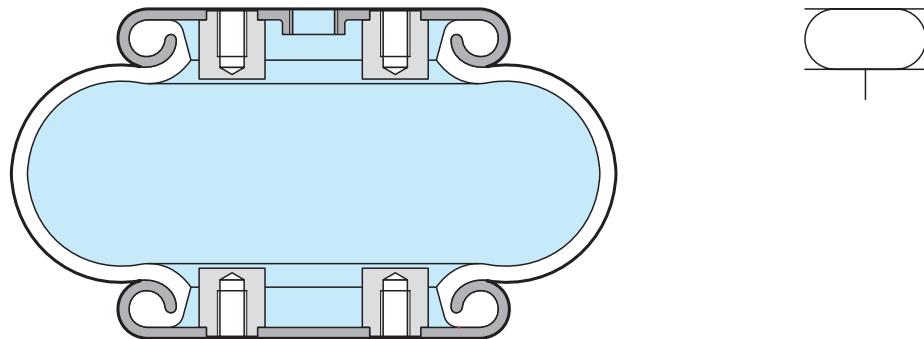


Fig. 4.2: Cilindro de membrana – Dibujo en sección y símbolo

#### 4.1.2 Músculo neumático

El músculo neumático es un actuador provisto de una membrana de contracción. El tubo flexible de este actuador es hermético y está rodeado de fibras altamente resistentes, dispuestas en forma de rombos. De esta manera se obtiene una estructura reticulada tridimensional. Al introducir el aire, se deforma la estructura reticulada. Así se produce una fuerza de tracción en sentido axial, lo que provoca el acortamiento del tamaño del músculo en la medida en que aumenta la presión en su interior.

El músculo neumático genera una fuerza hasta diez veces superior a un cilindro neumático convencional del mismo diámetro. A la vez, suponiendo una fuerza igual, consume tan sólo el 40 % de la energía que consume un cilindro convencional. Para aplicar la misma fuerza, es suficiente disponer de un tercio del diámetro. Si la longitud de ambos cilindros es la misma, la carrera del músculo neumático es más corta.



Fig. 4.3: Formas del músculo neumático

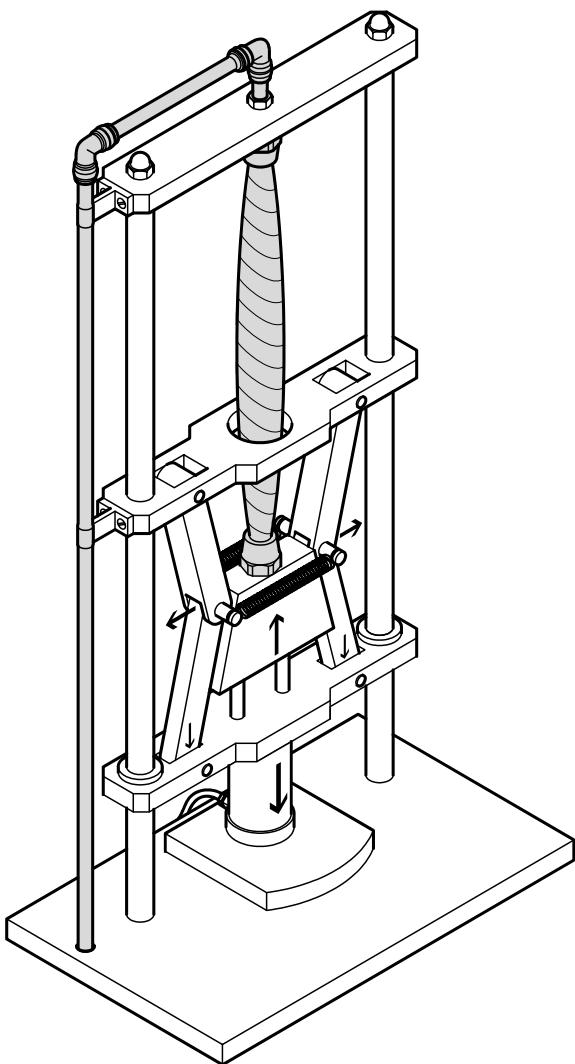


Fig. 4.4: Ejemplo de aplicación del músculo neumático – Prensa con sistema de doble palanca articulado

## 4.2 Cilindro de doble efecto

La construcción de un cilindro de doble efecto es similar a la de un cilindro de simple efecto. Sin embargo, el cilindro de doble efecto no tiene un muelle de reposición, ya que ambas conexiones se utilizan para la alimentación y el escape de aire. El cilindro de doble efecto tiene la ventaja de poder ejecutar trabajo en ambos sentidos. Por ello, es un cilindro apropiado para numerosas aplicaciones. La fuerza que se aplica en el vástago es algo superior en avance que en retroceso, ya que la superficie es mayor en el lado del émbolo que en el lado del vástago.

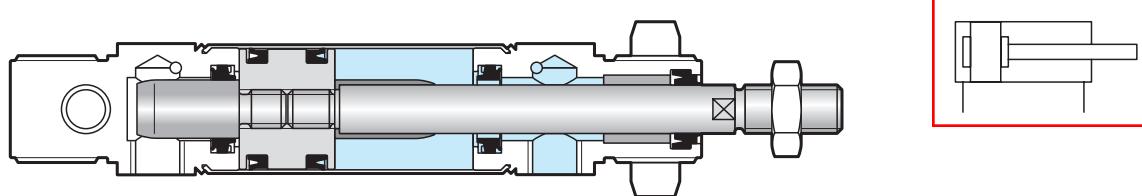


Fig. 4.5: Cilindro de doble efecto – Dibujo en sección y símbolo

### Perspectivas

El trabajo de desarrollo de cilindros neumáticos manifiesta las siguientes tendencias:

- Detección sin contacto – utilización de imanes montados en el vástago para detectores magnéticos Reed
- Capacidad de frenar cargas pesadas
- Cilindros sin vástago, para el montaje en espacios muy reducidos
- Utilización de otros materiales; por ejemplo, materiales sintéticos
- Aplicación de capas/recubrimientos protectores, para evitar daños ocasionados por el ambiente (por ejemplo, resistencia a ácidos)
- Mayor resistencia a esfuerzos
- Actuadores apropiados para aplicaciones en robots, con propiedades específicas (por ejemplo, vástagos antígiro, vástagos huecos para el montaje de ventosas)

### 4.2.1 Cilindro neumático con amortiguación final

Si un cilindro se utiliza para mover grandes masas, es necesario que tenga un sistema de amortiguación en el final de carrera, para evitar que se produzca un impacto fuerte que podría provocar un daño. Antes de llegar a la posición final, un émbolo de amortiguación interrumpe la salida directa del aire de escape. Sólo se mantiene abierta una sección de escape muy pequeña que, además, suele ser regulable. En el último tramo de la carrera se reduce progresivamente la velocidad. Deberá ponerse cuidado en que los tornillos de regulación no estén completamente cerrados, ya que en ese caso el vástago no puede llegar hasta la correspondiente posición final.

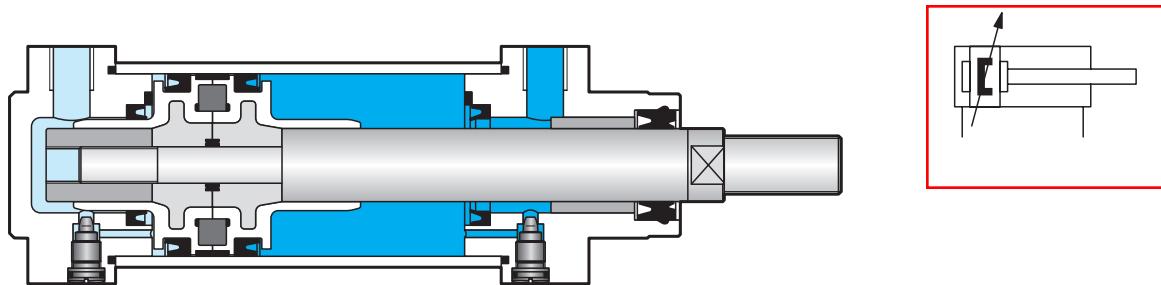


Fig. 4.6: Cilindro de doble efecto con amortiguación en las posiciones finales – Dibujo en sección y símbolo

Si las fuerzas son muy grandes y la aceleración muy fuerte, es necesario adoptar diversas medidas preventivas adicionales. En esos casos, se montan amortiguadores externos con el fin de aumentar el efecto amortiguador.

Para obtener un efecto de amortiguación apropiado, deberá procederse de la siguiente manera:

- Ajustar completamente el tornillo regulador.
- Abrir paso a paso el tornillo regulador, hasta que se obtiene el valor deseado.

#### 4.2.2 Cilindro tandem

El cilindro tandem está constituido por dos cilindros de doble efecto que forman una unidad. Gracias a esta configuración, casi se logra duplicar la fuerza del vástagos si se aplica presión simultáneamente en los dos émbolos. Este tipo de cilindro se utiliza siempre que es necesario aplicar una gran fuerza pero las circunstancias no permiten ampliar el diámetro del cilindro.

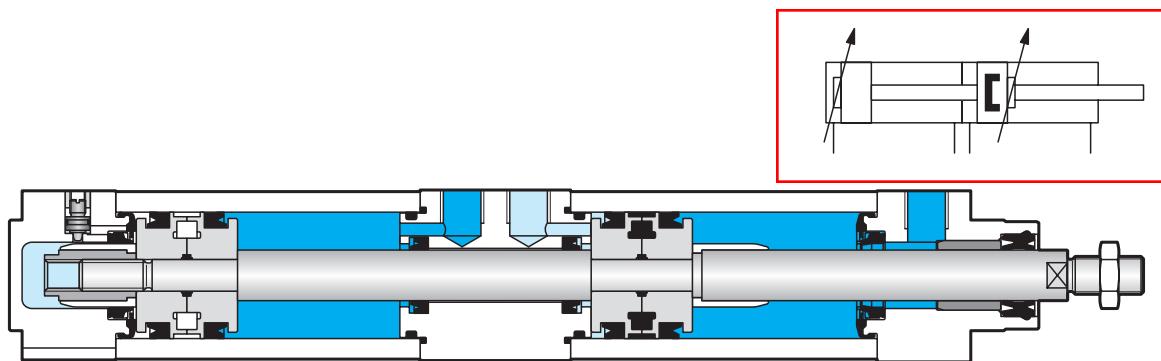


Fig. 4.7: Cilindro tandem – Dibujo en sección y símbolo

#### 4.2.3 Cilindro con doble vástago

Este tipo de cilindro tiene vástagos en ambos lados. Por ello se dice que se trata de un cilindro de doble vástago. El guiado del vástago es mejor, ya que cuenta con dos puntos de apoyo. La fuerza que aplica este cilindro es igual en ambos sentidos.

El doble vástago puede ser hueco. Ello significa que a través del vástago se puede transportar fluidos diversos (por ejemplo, aire comprimido). También es posible conectar vacío.

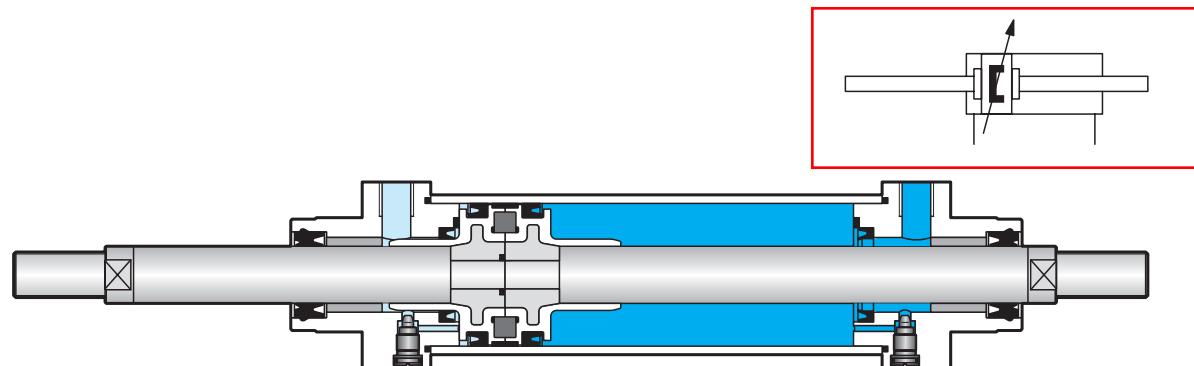


Fig. 4.8: Cilindro con doble vástago – Dibujo en sección y símbolo

#### 4.2.4 Cilindro multiposición

Un cilindro multiposición está compuesto por dos o más cilindros de doble efecto. Estos cilindros individuales están unidos entre sí. Los cilindros avanzan según se aplique presión. Disponiendo de dos cilindros de diferentes carreras, es posible avanzar hacia cuatro posiciones.

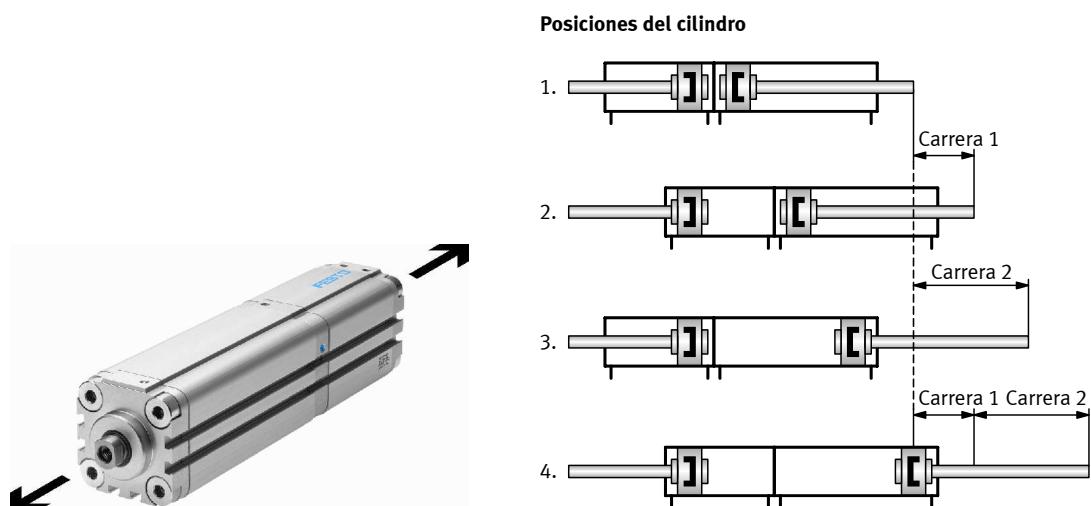


Fig. 4.9: Cilindro multiposición

#### 4.2.5 Cilindro giratorio

En esta versión de cilindro de doble efecto, el vástago está provisto de un perfil dentado. El vástago actúa sobre una rueda dentada, por lo que el movimiento lineal se transforma en un movimiento giratorio. Este tipo de cilindros puede ejecutar giros de 45°, 90°, 180°, 270° y hasta de 360°. El momento de giro depende de la presión, de la superficie del émbolo y de la relación. Es posible obtener valores de hasta aproximadamente 150 Nm.

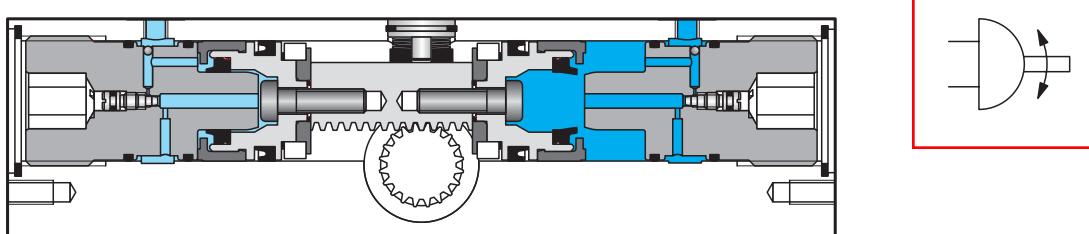


Fig. 4.10: Cilindro giratorio – Dibujo en sección y símbolo

#### 4.2.6 Actuador giratorio

En los actuadores giratorios, la fuerza de transmite al eje de salida directamente mediante una aleta giratoria. El ángulo de giro puede ajustarse de modo continuo entre 0° y aprox. 180°. El momento de giro no debería superar 10 Nm.

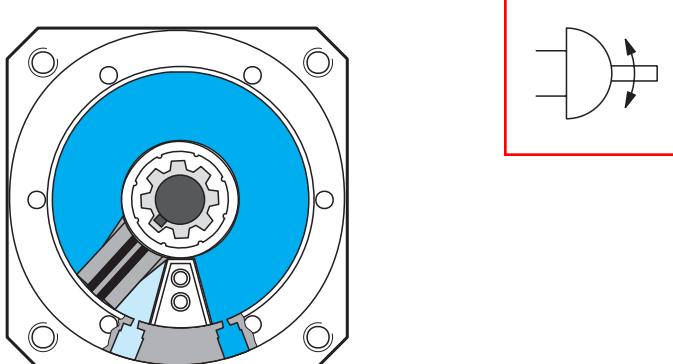


Fig. 4.11: Actuador giratorio – Dibujo en sección y símbolo

Propiedades de actuadores giratorios:

- Construcción pequeña y robusta
- Disponibles con sensores para la detección sin contacto
- Ángulo de giro ajustable
- Instalación sencilla

### 4.3 Cilindro sin vástago

Según su construcción, los cilindros sin vástago pueden tener tres principios de funcionamiento:

- Cilindro con cinta actuadora o cable actuador
- Cilindro con cinta hermetizante y camisa ranurada
- Cilindro con acoplamiento magnético del carro

Los cilindros sin vástago tienen la ventaja de ser más cortos que los cilindros convencionales de doble efecto. Además, al no tener vástago, éste no puede sufrir pandeo o flexión, por lo que el movimiento puede ejecutarse aprovechando toda la carrera. Este tipo de cilindro puede tener carreras extremadamente largas, de hasta 10 metros. Las cargas de todo tipo pueden fijarse directamente a la superficie de atornillamiento correspondiente del carro o de la unidad lineal. La fuerza que aplica este cilindro es igual en ambos sentidos.

#### 4.3.1 Cilindro de cinta

En el caso de los cilindros con cinta actuadora, la fuerza del émbolo se transmite a un carro a través de un cinta sinfín. Al salir de la cámara del émbolo, la cinta pasa a través de una junta hermetizante. La cinta se desvía mediante los rodillos de guía que se encuentran en las culatas. Los rascadores evitan que la cinta transporte impurezas hacia los rodillos de guía.

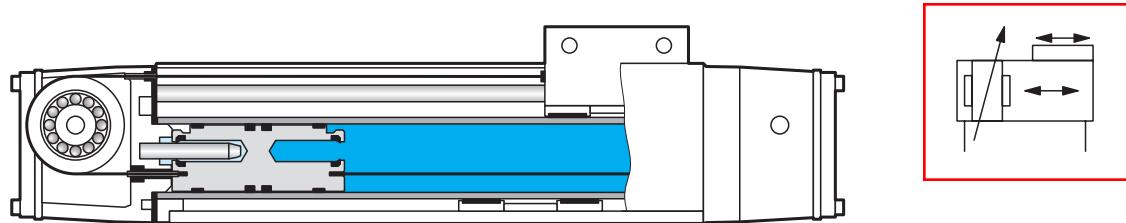


Fig. 4.12: Cilindro de cinta – Dibujo en sección y símbolo

#### 4.3.2 Cilindro de cinta hermetizante

La camisa de este cilindro tiene una ranura de extremo a extremo. El carro está fijamente unido al émbolo, lo que significa que el carro transmite la fuerza del cilindro. La unión entre el émbolo y el carro atraviesa la camisa del cilindro a través de la ranura. La ranura se hermetiza mediante una cinta de acero que cubre la parte interior de la ranura. La cinta se desvía entre las juntas del émbolo, y se guía por debajo del carro. Una segunda cinta cubre la ranura desde el lado exterior, con el fin de evitar que penetren partículas de suciedad.

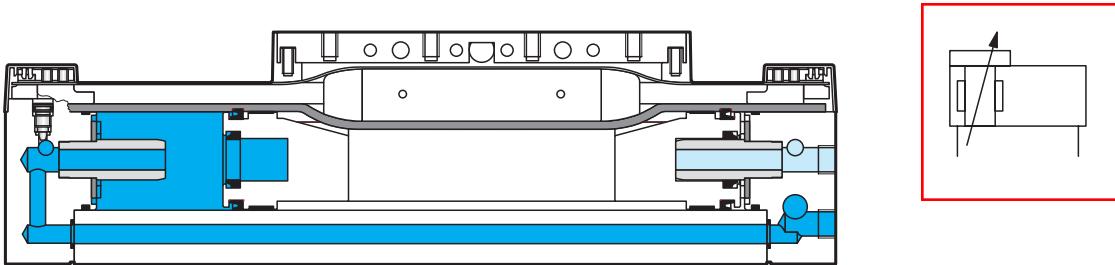


Fig. 4.13: Cilindro con cinta hermetizante – Dibujo en sección y símbolo

#### 4.3.3 Cilindro con acoplamiento magnético

Este actuador lineal neumático de doble efecto está compuesto de una camisa de cilindro, un émbolo y un carro móvil montado en el exterior de la camisa. El émbolo y el carro exterior tienen imanes permanentes. El movimiento se transmite al carro exterior de modo directo a través del acoplamiento magnético. Una vez que se aplica aire comprimido en el émbolo, el carro ejecuta un movimiento sincronizado con el movimiento del émbolo. La cámara del cilindro es hermética ya que no existe una conexión mecánica con el carro. En este tipo de cilindro no se producen fugas.

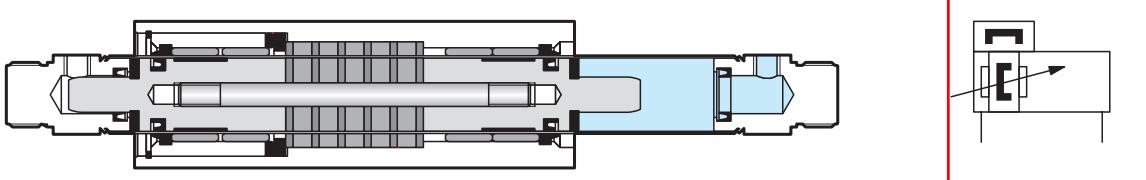


Fig. 4.14: Cilindro con acoplamiento magnético – Dibujo en sección y símbolo

#### 4.4 Técnicas de manipulación

Para ejecutar tareas de manipulación y montaje, por lo general se utilizan componentes que son capaces de realizar movimientos en dos o tres sentidos diferentes. Antes solían utilizarse construcciones especiales. En la actualidad se utilizan preferiblemente módulos de manipulación fabricados en serie, que pueden combinarse entre sí según lo requiera cada aplicación. El sistema por módulos ofrece varias ventajas:

- Montaje sencillo
- Combinaciones de actuadores y guías de funcionamiento comprobado
- Alimentación integrada de energía, por ejemplo para las pinzas o las ventosas

#### 4.4.1 Unidad giratoria y lineal

Una unidad lineal y giratoria puede utilizarse, por ejemplo, para retirar una pieza y colocarla en otro lugar. El apoyo del vástago fue concebido para soportar grandes fuerzas transversales. La unidad puede montarse de diversas formas. Por ejemplo, con una brida en la parte frontal o con tuercas deslizantes que se introducen en el perfil lineal. Si es necesario, es posible alimentar la energía que necesita la pinza o la ventosa a través del vástago hueco.

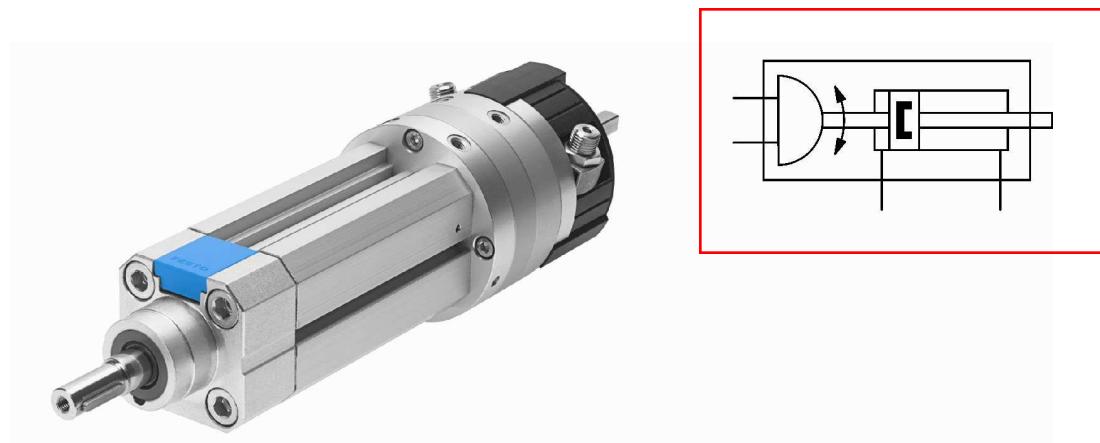


Fig. 4.15: Unidad lineal y giratoria (Festo)

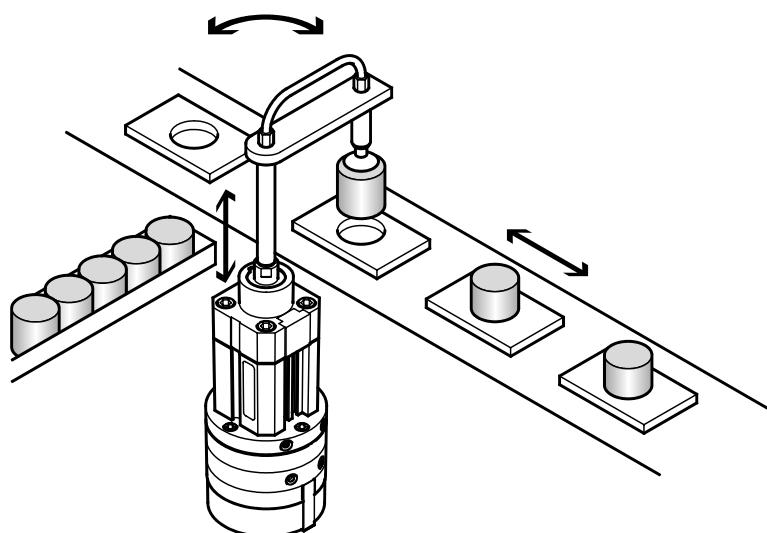


Fig. 4.16: Ejemplo de aplicación: Retirar y colocar piezas

#### 4.4.2 Pinzas neumáticas

Las unidades de manipulación deben estar provistas de pinzas para sujetar, mover y volver a soltar las piezas. Las pinzas establecen una unión directa (mecánica) o indirecta (magnética) con la pieza.

En la Fig. 4.17 se muestran varios tipos de pinzas. Todos los tipos de pinzas tienen un actuador de émbolo de doble efecto y, además, tienen un sistema de centrado automático. Es posible utilizar detectores para la detección sin contacto de la posición de las piezas. Las pinzas pueden estar provistas de varios tipos de dedos, por lo que se trata de actuadores muy versátiles.

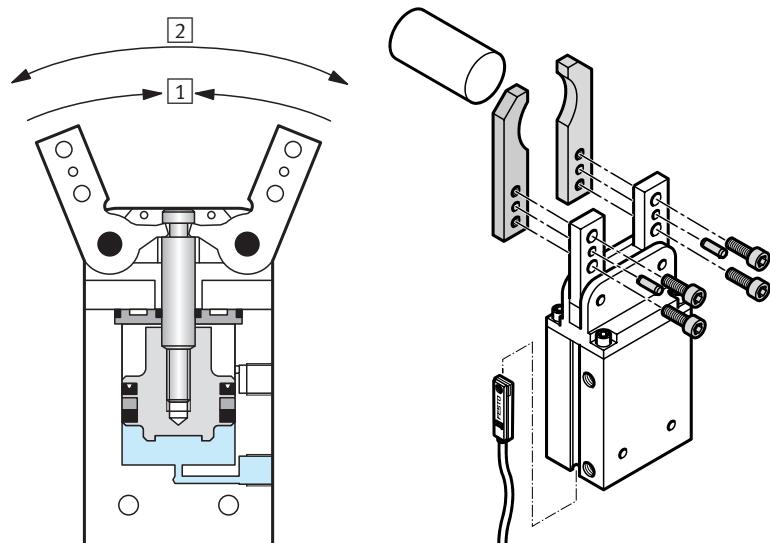


Pinzas paralelas, pinzas angulares, pinzas radiales, pinzas de 3 dedos

Fig. 4.17: Pinzas neumáticas – Símbolos y fotografías

La Fig. 4.18 muestra dibujos 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.



1: Abrir 2: Cerrar

Fig. 4.18: Pinza angular – Dibujo en sección, mordazas, dedos y detector

#### 4.4.3 Ventosas de aspiración

La manipulación de piezas mediante ventosas suele ser una solución sencilla, económica y segura.

Los conjuntos de aspiración con ventosas permiten manipular diversos tipos de piezas, que pueden pesar desde algunos pocos gramos hasta varios cientos de kilogramos. Las pinzas pueden ser de formas muy diversas. Por ejemplo: universales, planas o de fuelle.

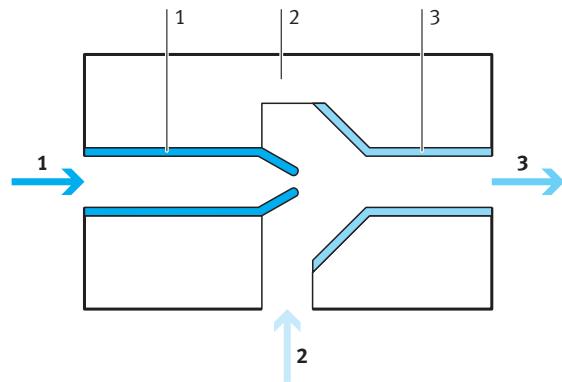


Ventosas planas, ventosas de fuelle

Fig. 4.19: Ventosas de aspiración

#### 4.4.4 Generadores de vacío

La Fig. 4.20 muestra el principio de generación de vacío mediante un eyector. El aire comprimido atraviesa una tobera convergente (tobera Venturi), donde el flujo experimenta una fuerte aceleración. Detrás de la tobera convergente se produce una presión que es inferior a la presión del entorno. Por ello, se aspira aire a través de la conexión U, de modo que aquí también se produce una baja presión. La ventosa se conecta a la conexión U.



1: Tubería convergente 2: Cuerpo 3: Tubería interior divergente

Fig. 4.20: Funcionamiento de un generador de vacío electroneumático – Principio de eyector

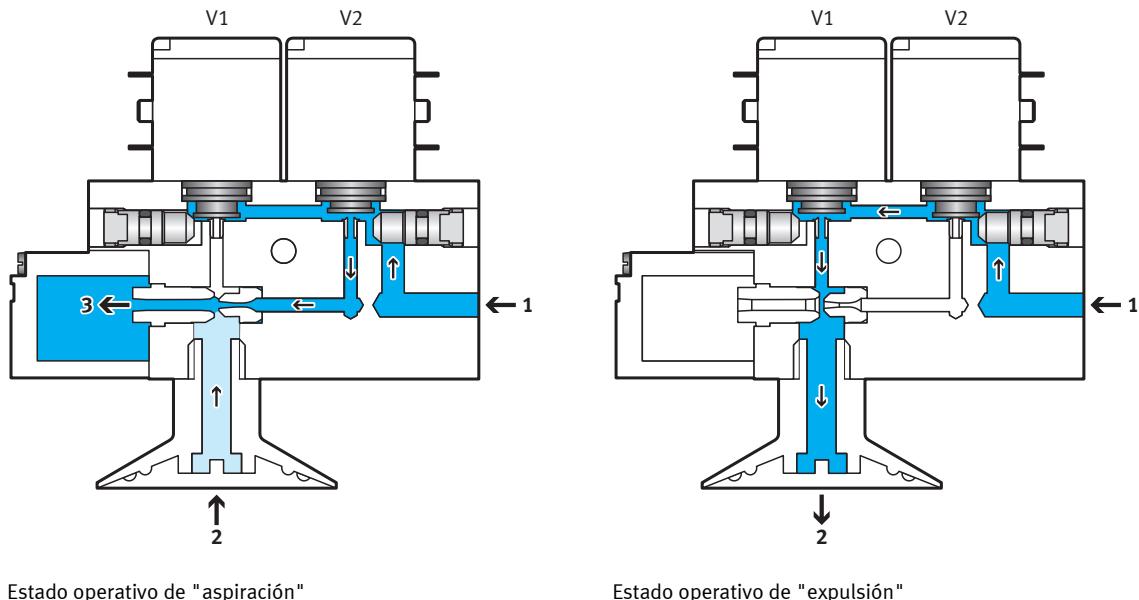


Fig. 4.21: Funcionamiento de un generador de vacío electroneumático

En la figura 4.21 se muestra el funcionamiento de un generador de vacío según el principio de eyector. En la imagen del lado izquierdo se aprecia el estado operativo de «aspirar». La electroválvula de 2/2 vías 1 está abierta. El aire comprimido fluye de la conexión 1 hacia el silenciador 3, pasando por la tobera convergente. De este modo se genera un vacío en la ventosa 2, por lo que se atrae y sujeta la pieza.

En la imagen del lado izquierdo se aprecia el estado operativo de «expulsar». La válvula de vías 2 está abierta, y el aire comprimido se aplica directamente en la ventosa. Las piezas se expulsan rápidamente debido al golpe de aire aplicado desde la conexión 1 a través de la válvula 2.

## 4.5 Propiedades de los cilindros

El rendimiento de los cilindros puede calcularse o consultarse recurriendo a los datos ofrecidos por el fabricante. Aunque ambos métodos son posibles, los datos ofrecidos por el fabricante en relación con una determinada ejecución de sus productos, previstos para ciertas aplicaciones, suelen ser más informativos.

### 4.5.1 Fuerza del émbolo

La fuerza aplicada por el émbolo depende de la presión de aire, del diámetro del cilindro y de la resistencia que ofrecen los elementos hermetizantes debido a la fricción. La fuerza teórica del émbolo se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$F_{th} = A \cdot p$$

$F_{th}$  Fuerza teórica del émbolo (N)  
 $A$  superficie útil del émbolo ( $m^2$ )  
 $p$  Presión de trabajo (Pa)

$$S = \pi \cdot r^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \pi \cdot (D/2)^2$$

$$L = 2\pi r$$

En la práctica, la fuerza importante es la fuerza efectiva del émbolo. Al efectuar el cálculo, debe tenerse en cuenta la resistencia ocasionada por la fricción. Suponiendo condiciones de funcionamiento normales (presión entre 400 y 800 kPa [entre 4 y 8 bar]), se considera que la fuerza de fricción corresponde aproximadamente al 10 por ciento de la fuerza nominal del émbolo.

### Cilindro de simple efecto



$$F_{eff} = (A \cdot p) - (F_R + F_F)$$

### Cilindros de doble efecto

Carrera de avance:  $F_{eff} = A \cdot p - F_R$

Carrera de retroceso:  $F_{eff} = A' \cdot p - F_R$

$F_{ef}$  fuerza efectiva del émbolo (N)

$A$  Superficie del émbolo ( $m^2$ ) =  $\frac{D^2 \cdot \pi}{4}$

$A'$  Superficie útil del émbolo ( $m^2$ ) =  $(D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4}$

$p$  Presión de trabajo (Pa)

$F_R$  Fuerza de fricción (aprox. 10 % de  $F_{th}$ ) (N)

$F_F$  Fuerza del muelle de reposición (N)

$D$  Diámetro del cilindro (m)

$d$  Diámetro del vástago (m)

No es lo mismo la superficie en el avance que en el retroceso

No es lo mismo la fuerza en el avance que en el retroceso

$F$  en avance =  $P \cdot S_{av} - F_R$

$F$  en retroceso =  $P \cdot S_{ret} - F_R$

$S_{ret} =$

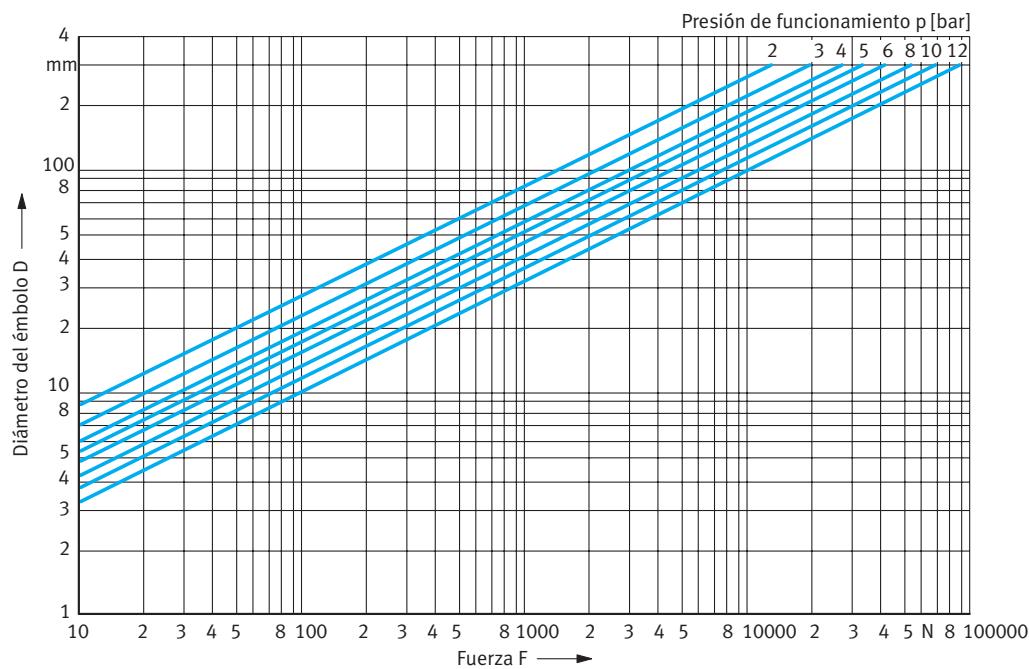


Fig. 4.22: Diagrama presión-fuerza

#### 4.5.2 Carrera

La carrera de cilindros neumáticos no debería ser superior a 2 m. Tratándose de cilindros sin vástagos, la carrera no debería superar los 10 m. Si la carrera es más larga, el vástagos y el apoyo de la guía deben soportar esfuerzos mecánicos demasiado grandes. Para evitar el pandeo del vástagos si deben utilizarse carreras largas, es recomendable consultar el diagrama de pandeo.

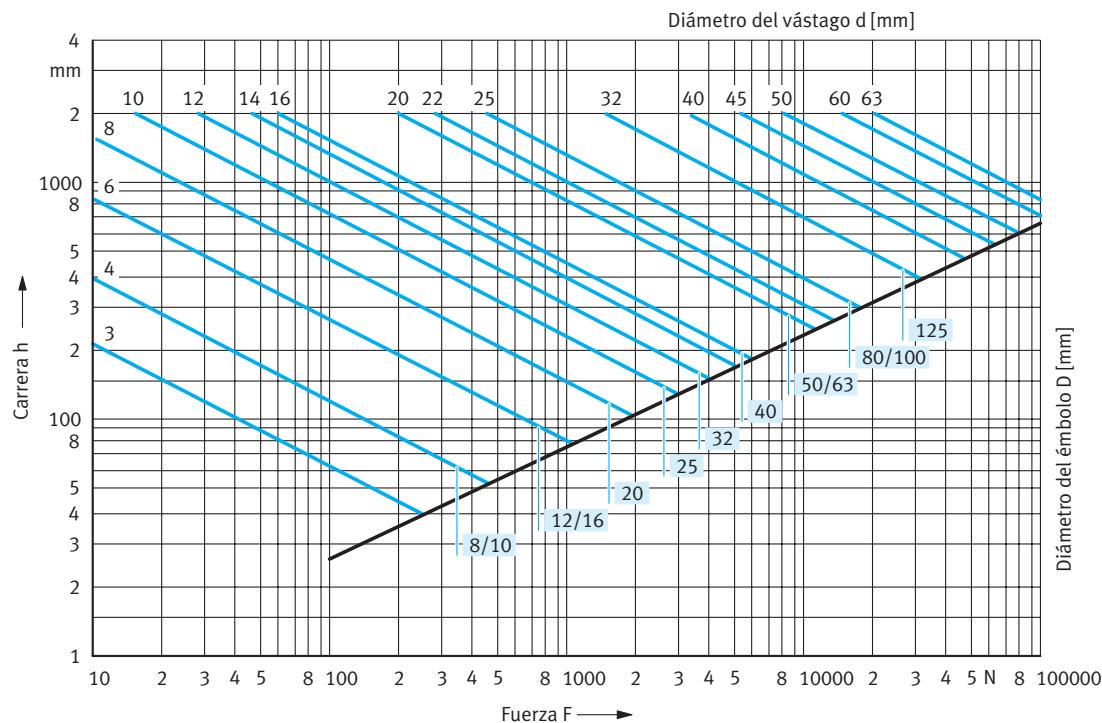


Fig. 4.23: Diagrama de pandeo

### 4.5.3 Velocidad del émbolo

La velocidad del émbolo de un cilindro neumático depende de la fuerza que se aplica en sentido contrario, de la presión de aire, de la longitud y de la sección del tubo entre el elemento de control y elemento actuador, así como del caudal a través del elemento de control. Además, la velocidad también depende de la amortiguación en el final de carrera.

La velocidad promedio del émbolo de cilindros estándar es de aproximadamente 0,1 hasta 1,5 m/s. Con cilindros especiales (cilindros de impacto), es posible alcanzar velocidades de hasta 10 m/s. La velocidad del émbolo puede reducirse mediante válvulas de estrangulación y antirretorno. Con válvulas de escape rápido es posible aumentar la velocidad del émbolo.

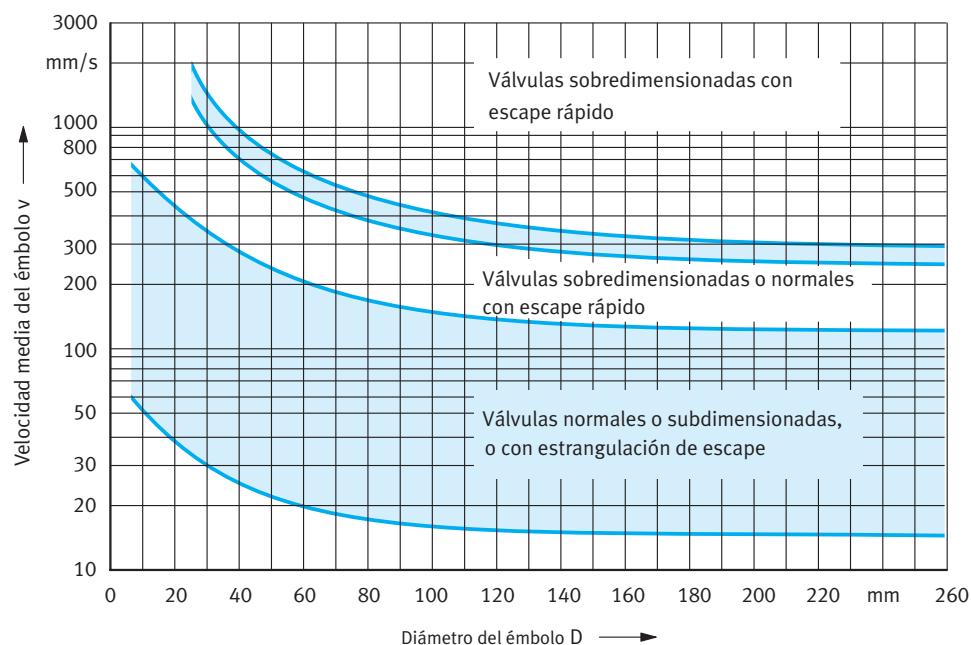


Fig. 4.24: Velocidad promedio de émbolos no sometidos a cargas

### 4.5.4 Consumo de aire

Para saber cuánto aire necesita una instalación y cuáles son los costos energéticos correspondientes, es importante conocer el consumo de aire en la red neumática. El consumo de aire se expresa en litros de aire aspirado por minuto. Considerando la presión de trabajo, el diámetro del émbolo, la carrera y los ciclos por minuto, el consumo de aire se calcula aplicando la siguiente fórmula:

Consumo de aire = relación de compresión · superficie del émbolo · carrera · cantidad de carreras por minuto

$$\text{Relación de compresión} = \frac{101,3 + \text{Presión de trabajo (en kPa)}}{101,3}$$

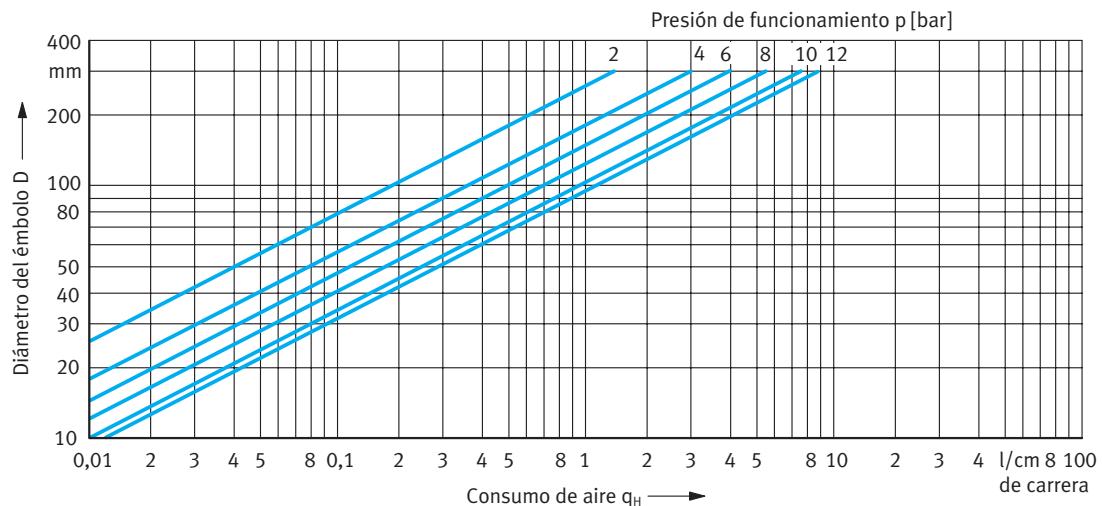


Fig. 4.25: Diagrama de consumo de aire

Para calcular el consumo de aire según el diagrama de consumo de aire, se aplican las siguientes fórmulas:

#### Con cilindros de simple efecto

$$q_B = s \cdot n \cdot q_H$$

#### Con cilindros de doble efecto

$$q_B = 2 \cdot s \cdot n \cdot q_H$$

$q_B$  Consumo de aire (l/min)

$s$  Carrera (cm)

$n$  Carreras por minuto (1/min)

$q_H$  Consumo de aire por cm de carrera (l/cm)

Estas fórmulas no consideran la diferencia del consumo de aire de cilindros de doble efecto en movimientos de avance y en movimientos de retroceso. Pero considerando las tolerancias que se aplican en las tuberías y en las válvulas, puede ignorarse esta diferencia.

Al calcular el consumo total de aire de un cilindro, también debe considerarse el llenado de los espacios muertos. El aire necesario para llenar esos espacios puede alcanzar hasta el 20 por ciento del consumo de aire de trabajo. Se consideran espacios muertos de un cilindro los conductos de alimentación existentes en el cilindro y, además, los espacios en las posiciones finales del vástago, que no pueden aprovecharse para la carrera útil.

| Diámetro del émbolo en mm | Lado de la culata anterior en cm <sup>3</sup> | Lado de la culata posterior en cm <sup>3</sup> | Diámetro del émbolo en mm | Lado de la culata anterior en cm <sup>3</sup> | Lado de la culata posterior en cm <sup>3</sup> |
|---------------------------|---|--|---------------------------|---|--|
| 12                        | 1   | 0,5  | 70                        | 27  | 31   |
| 16                        | 1   | 1,2  | 100                       | 80  | 88   |
| 25                        | 5   | 6  | 140                       | 128   | 150  |
| 35                        | 10  | 13   | 200                       | 425   | 448  |
| 50                        | 16  | 19   | 250                       | 2005  | 2337   |

Tabla 4.1: Espacios muertos de cilindros (1 000 cm<sup>3</sup> = 1 l)

#### 4.6 Motores

Los aparatos que transforman energía neumática en energía mecánica giratoria y que, además, también pueden funcionar permanentemente, se llaman motores neumáticos o motores de aire comprimido. El motor neumático se usa con frecuencia en las secciones de montaje. Los motores neumáticos se clasifican según su construcción:

- Motores de émbolo
- Motores de aletas
- Motores de engranajes
- Motores de turbina (motores de flujo)

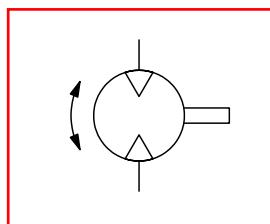
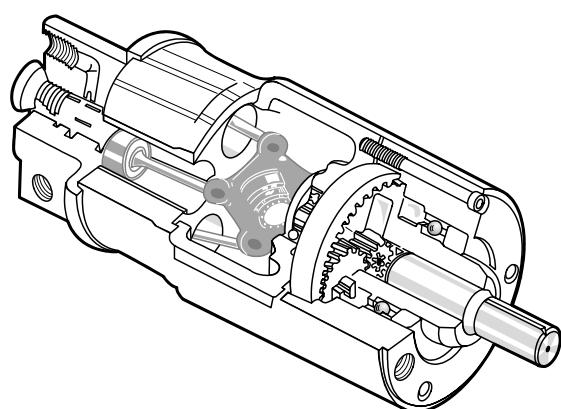


Fig. 4.26: Motor neumático

Propiedades de los motores neumáticos:

- Regulación continua de las revoluciones y del momento de giro
- Amplio margen de revoluciones
- Dimensiones compactas (bajo peso)
- Resistentes a sobrecargas
- Insensibilidad frente al polvo, agua, calor y frío
- Seguros contra explosiones
- Escaso mantenimiento
- Posibilidad de invertir sencillamente el sentido de giro

#### **4.6.1 Motores de émbolos**

Este tipo de motor se clasifica adicionalmente en motores radiales y motores axiales. El aire comprimido desplazado por el movimiento de ida y vuelta de los émbolos actúa sobre el cigüeñal del motor a través de una leva. Para que el funcionamiento sea suave, es necesario disponer de varios cilindros. El rendimiento de los motores depende de la presión de entrada, de la cantidad de émbolos, de la superficie de los émbolos y de la velocidad de los émbolos.

Los motores de émbolos axiales funcionan de modo similar a los motores de émbolos radiales. En el motor compuesto por cinco cilindros dispuestos axialmente, la fuerza se transforma en un movimiento giratorio a través de un disco oscilante. En este caso, se aplica aire comprimido simultáneamente en dos émbolos, por lo que el par de giro es equilibrado y el motor funciona con suavidad.

En el mercado se ofrecen motores neumáticos que giran hacia la derecha o hacia la izquierda. Las revoluciones máximas son de aproximadamente 5.000 rpm. Con presión normal, la potencia es desde 1,5 hasta 19 kW (desde 2 hasta 25 CV).

#### **4.6.2 Motores de aletas**

La mayoría de los motores neumáticos son motores giratorios de aletas, porque estos motores tienen una construcción sencilla y pesan poco.

El rotor que se encuentra en una cámara cilíndrica, tiene un apoyo excéntrico. El rotor está provisto de ranuras. Las aletas se desplazan a lo largo de las ranuras del rotor. La fuerza centrífuga las desplaza hacia el exterior, hacia la pared interior del cilindro. En otras versiones, las aletas se desplazan por efecto de muelles. De esto modo se garantiza la separación hermética de cada cámara.

El margen de medición es desde 3 000 hasta 8 500 rpm. Se ofrecen también motores con giro horario y antihorario y, además, con potencias entre 0,1 hasta 17 kW (0,14 hasta 24 CV).

#### **4.6.3 Motores de engranajes**

El momento de giro que se obtiene con este tipo de motor se debe a la presión que aplica el aire contra los flancos de dos dientes engranados entre sí. Una de las ruedas dentadas está fijamente unida a eje del motor. Los motores de engranajes pueden tener ruedas dentadas con dientes rectos o inclinados. Los motores de engranajes son motores de gran potencia (hasta 44 kW / 60 CV). También estos motores pueden girar en uno u otro sentido.

#### **4.6.4 Motores de turbina (motores de flujo)**

Los motores de turbina sólo son apropiados para aplicaciones que exigen motores de poca potencia. Sin embargo, estos motores tienen un amplio margen de revoluciones (taladros de dentista, con 500 000 rpm). El funcionamiento corresponde al funcionamiento invertido de un compresor de flujo.

## **5 Válvulas distribuidoras**

### **5.1 Tareas**

Las válvulas distribuidoras o válvulas de vías se utilizan para desviar el caudal del aire comprimido.

El sentido del flujo está marcado con una flecha. El accionamiento puede ser manual, mecánico, neumático o eléctrico. Las tareas más importantes de las válvulas distribuidoras son las siguientes:

- Abrir o bloquear al alimentación de aire comprimido
- Permitir que los actuadores neumáticos avancen y retrocedan

#### **5.1.1 Electroválvulas**

Un sistema de control electroneumático funciona con dos agentes energéticos:

- Energía eléctrica en la parte de control y procesamiento de señales
- Energía neumática en la parte funcional

Las válvulas distribuidoras de accionamiento eléctrico o electroválvulas, forman el eslabón que une ambas partes de un sistema de control electroneumático. 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.

#### **5.1.2 Accionamiento de un cilindro de simple efecto**

La Fig. 5.1 muestra una válvula distribuidora que controla los movimientos de un cilindro de simple efecto.

La válvula tiene tres conexiones y dos posiciones.

- Si la válvula distribuidora se encuentra en su posición normal, se descarga la cámara del cilindro a través de la válvula. El vástagos retrocede.
- Si se activa la válvula distribuidora, se alimenta aire a la cámara del cilindro. El vástagos avanza.
- Si la válvula vuelve a conmutar, sale el aire de la cámara del cilindro y el vástagos retrocede.

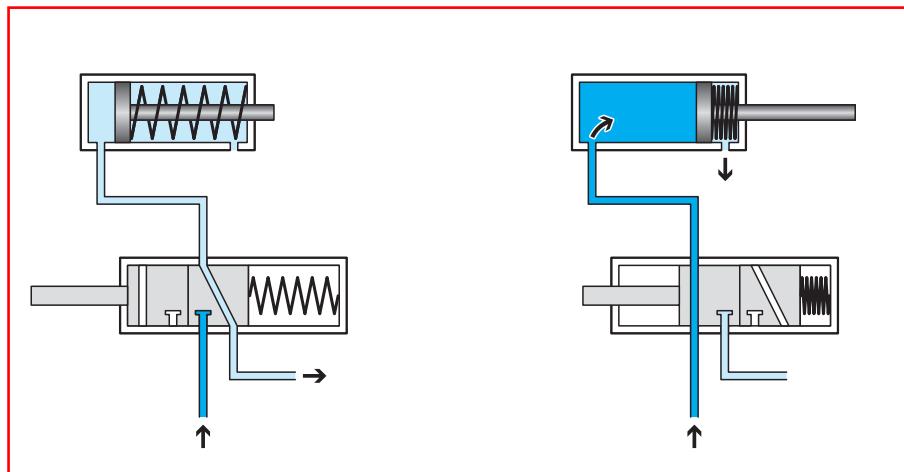


Fig. 5.1: Accionamiento de un cilindro de simple efecto

### 5.1.3 Accionamiento de un cilindro de doble efecto

El cilindro de doble efecto es controlado por una válvula de vías que tiene cinco conexiones y dos posiciones.

- Si la válvula distribuidora está en posición normal, se evaca el aire de la cámara izquierda del cilindro y se aplica presión en la cámara del lado derecho. El vástagos retrocede.
- Si se acciona la válvula distribuidora, se aplica presión en la cámara izquierda del cilindro y se evaca la cámara del lado derecho. El vástagos avanza.
- La válvula distribuidora comuta nuevamente y el vástagos retrocede.

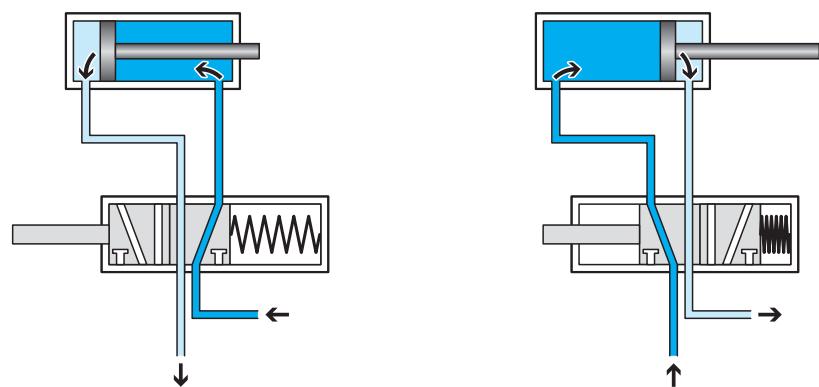


Fig. 5.2: Accionamiento de un cilindro de doble efecto

## 5.2 Construcción

Las válvulas distribuidoras pueden clasificarse en dos grupos:

- Las válvulas con reposición por muelle mantienen el estado de conmutación solamente mientras se mantiene la activación.
- Las válvulas de impulsos mantienen el estado de conmutación aunque ya no estén activadas.

Otros criterios de diferenciación son la cantidad de conexiones y la cantidad de posiciones de conmutación.

La denominación de la válvula depende de la cantidad de conexiones y de la cantidad de posiciones. Por ejemplo:

- Válvula neumática de 3/2 vías, con reposición por muelle
- Electroválvula biestable de 5/2 vías

El principio de construcción de una válvula distribuidora también es un factor importante, que determina su duración, sus tiempos de respuesta, el tipo de accionamiento, además de los tipos y los tamaños de las conexiones. Pueden diferenciarse las siguientes variantes de construcción de válvulas distribuidoras:

- Válvulas de asiento
  - Válvulas de asiento de bola
  - Válvulas de asiento de plato
- Válvulas de corredera
  - Válvulas de corredera longitudinal (válvula de émbolo)
  - Válvulas de corredera longitudinal plana
  - Válvulas de plato giratorio

### 5.2.1 Válvulas de asiento

En las válvulas de asiento, las vías se abren o cierran mediante bolas, platos, placas o conos. Las válvulas de asiento suelen tener juntas de goma. Las válvulas de asiento apenas tienen piezas sujetas a desgaste, por lo que estas válvulas son de larga duración. Además, son insensibles a la suciedad y son muy resistentes. Sin embargo, la fuerza de accionamiento debe ser relativamente grande, ya que deben superarse la fuerza del muelle de reposición incorporado y del aire comprimido.

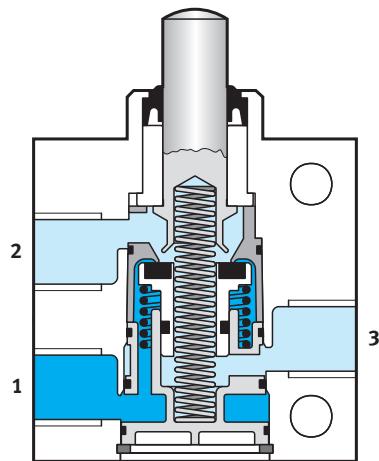


Fig. 5.3: Válvula de 3/2 vías de accionamiento mecánico (leva), asiento de plato

### 5.2.2 Válvulas de corredera

En las válvulas de corredera, todas las conexiones se unen o cierran mediante correderas longitudinales, correderas longitudinales planas o platos giratorios.

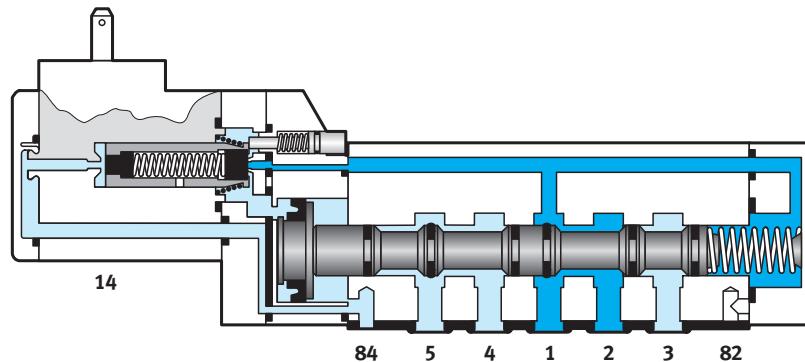


Fig. 5.4: Electroválvula de 5/2 vías, de accionamiento eléctrico (bobina), corredera longitudinal (émbolo)

### 5.2.3 Datos neumáticos

Existen numerosas variantes de válvulas distribuidoras que, además, pueden ser de tamaños muy diversos. Esta variedad es necesaria para cumplir los requisitos que se exigen en la realidad industrial.

Al seleccionar la válvula apropiada, es recomendable proceder paso a paso.

1. En primer término, debe determinarse el tipo de válvula (por ejemplo, válvula de 5/2 vías, con reposición por muelle). Esta decisión se toma conociendo la tarea que debe cumplir la válvula y su comportamiento en caso de un corte de energía.
2. En segundo lugar, se determina la válvula capaz de cumplir la tarea generando la menor cantidad de costos posible. Para tomar esa decisión, se tienen en cuenta los datos técnicos de la válvula, tal como aparecen en el catálogo del fabricante. No solamente deberá considerarse el precio de la válvula; también debe tenerse en cuenta el costo que significa su instalación, el mantenimiento, el stock de repuestos en almacén, además de otros costos.

En las tablas 5.1 y 5.2 se incluyen los tipos de válvulas utilizados con mayor frecuencia. Además, también se incluyen sus correspondientes símbolos y un breve resumen de sus posibles aplicaciones.

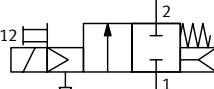
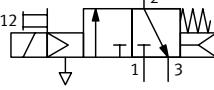
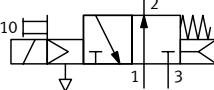
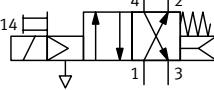
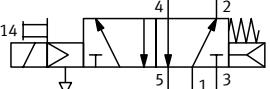
| Tipo de válvula  | Símbolo  | Aplicaciones  |
|--|--|---|
| Válvula de 2/2 vías servopilotada, reposición por muelle   |    | Función de cierre   |
| Válvula servopilotada de 3/2 vías, reposición por muelle (normalmente cerrada)<br>válvula servopilotada de 3/2 vías, reposición por muelle (normalmente abierta) | <br> | Cilindro de simple efecto<br>Conexión y desconexión de la alimentación de aire comprimido |
| Válvula servopilotada de 4/2 vías, reposición por muelle<br>Válvula servopilotada de 5/2 vías, reposición por muelle   | <br> | Cilindro lineal o giratorio de doble efecto   |

Tabla 5.1: Aplicaciones y símbolos: válvulas de accionamiento eléctrico, con reposición por muelle

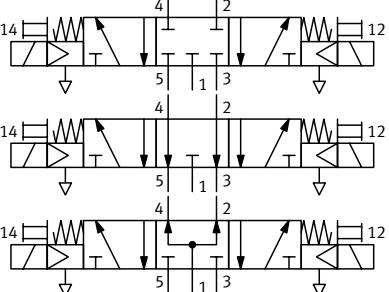
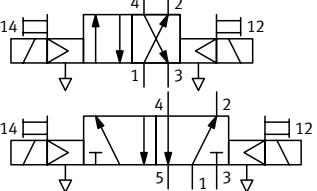
| Tipo de válvula  | Símbolo   | Aplicaciones   |
|--|---|--|
| Electroválvula servopilotada de 5/3 vías, con reposición por muelle (centro cerrado, a escape o a presión) |  | Cilindro lineal o giratorio de doble efecto, con posición intermedia y con características especiales en caso de un corte de energía |
| Electroválvula biestable servopilotada de 4/2 vías<br>Electroválvula biestable servopilotada de 5/2 vías   |  | Cilindros lineales o giratorios de doble efecto  |

Tabla 5.2: Aplicaciones y símbolos: válvulas de accionamiento eléctrico con reposición por muelle y electroválvulas biestables

En la Tabla 5.3 se ofrece un resumen de los datos neumáticos y de las condiciones de funcionamiento de tres válvulas de 5/2 vías.

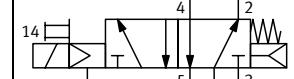
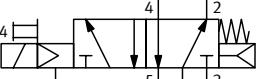
| <b>Tipo de válvula</b>                | Válvula de 5/2 vías servopilotada, reposición por muelle                            | Válvula de 5/2 vías servopilotada, reposición por muelle, con aire de pilotaje auxiliar |
|---------------------------------------|---|---|
| <b>Distribución de las conexiones</b> | Válvula para placa base   | Válvula para placa base, con aire de pilotaje auxiliar                                  |
| <b>Símbolo</b>                        |  |    |
| <b>Diámetro nominal</b>               | 4,0 mm  | 4,0 mm  |
| <b>Caudal nominal</b>                 | 500 l/min   | 500 l/min   |
| <b>Presión de funcionamiento</b>      | 250 – 800 kPa<br>(pilotaje auxiliar: 250 – 800 kPa)                                 | 90 – 800 kPa<br>(pilotaje auxiliar: 250 – 800 kPa)                                      |
| <b>Tiempo de conexión/desconexión</b> | 20/30 ms  | 20/30 ms  |

Tabla 5.3: Datos neumáticos de electroválvulas distribuidoras (Festo)

#### 5.2.4 Tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras

El tipo de accionamiento depende de las exigencias que plantea la aplicación. Tipos de accionamiento:

- Accionamiento manual
- Accionamiento mecánico
- Accionamiento por aire comprimido
- Accionamiento eléctrico
- Combinación de diversos tipos de accionamiento

Para la representación completa de una válvula distribuidora en un esquema de distribución neumático, el símbolo debe ofrecer las siguientes informaciones:

- El tipo básico de accionamiento de la válvula
- La forma de reposición
- El servopilotaje (si procede)
- Accionamientos adicionales (p. ej. accionamiento manual auxiliar, si procede)

Los símbolos correspondientes al tipo de accionamiento se incluyen junto a la posición de conmutación según el sentido de su efecto.

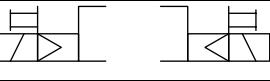
| Función   | Símbolo  |
|---|--|
| <b>Accionamiento manual</b>   |  |
| Presionando   |     |
| Mediante palanca  |    |
| <b>Accionamiento mecánico</b>   |  |
| Mediante leva   |   |
| Mediante rodillo  |   |
| <b>Accionamiento neumático</b>  |  |
| Mediante aire comprimido  |   |
| Reposición mediante muelle neumático  |   |
| <b>Accionamiento eléctrico</b>  |  |
| Mediante bobina   |   |
| <b>Accionamiento combinado</b>  |  |
| Válvula servopilotada, accionamiento electromagnético en ambos lados, con accionamiento manual auxiliar |  |
| <b>Partes mecánicas</b>   |  |
| Reposición mediante muelle  |   |

Tabla 5.4: Tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras

### 5.3 Válvulas de 2/2 vías

Una válvula de 2/2 vías tiene 2 conexiones y 2 posiciones (abierta, cerrada). Estando cerrada, esta válvula no tiene escape (a diferencia de una válvula de 3/2 vías). La construcción más frecuente de este tipo de válvula es la válvula con asiento de bola.

El accionamiento de la válvula de 2/2 vías puede ser manual, mecánico o neumático.

### 5.4 Válvulas de 3/2 vías

Con una válvula de 3/2 vías, es posible activar y desactivar señales. Una válvula de 3/2 vías tiene 3 conexiones y 2 posiciones.

El accionamiento de una válvula de 3/2 vías puede ser manual, mecánico, eléctrico o neumático. La selección del tipo de accionamiento depende del sistema de control.

#### 5.4.1 Válvula de corredera de 3/2 vías, accionamiento manual

La construcción de esta válvula de accionamiento manual es muy sencilla. El accionamiento se consigue desplazando longitudinalmente el casquillo (1). Esta válvula se utiliza como válvula de cierre, especialmente para la alimentación y el escape de aire en sistemas de control o en partes de equipos.

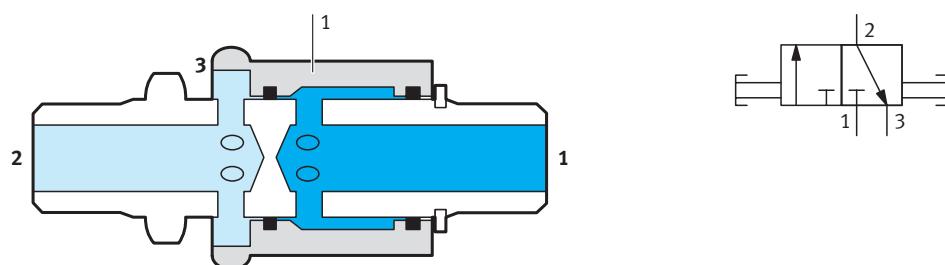


Fig. 5.5: Válvula neumática de 3/2 vías – Dibujo en sección y símbolo

### 5.4.2 Válvula de leva de 3/2 vías

Esta válvula de accionamiento mecánico es una válvula de asiento de plato. La junta es muy sencilla y, a la vez, muy eficiente. El tiempo de respuesta es muy corto. Mediante un movimiento de corto recorrido, se abre una sección de gran tamaño para que fluya el aire. Al igual que las válvulas de asiento de bola, también estas válvulas son insensibles a la suciedad, por lo que su duración es muy larga. Las válvulas de 3/2 vías se utilizan para controlar cilindros de simple efecto o para activar elementos de maniobra.

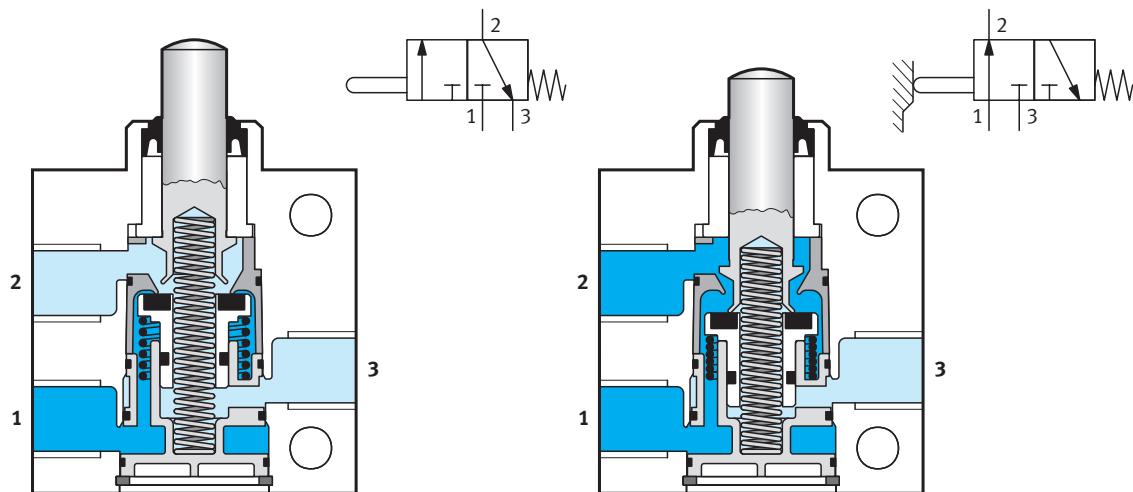


Fig. 5.6: Válvula de leva 3/2 vías, normalmente cerrada, con asiento de plato. Izquierda: sin activar. Derecha: activada

En una válvula con posición normal abierta, está abierto el paso desde la conexión 1 hacia la conexión 2. El asiento de plato cierra la conexión 3. Al activar la leva de la válvula, la leva bloquea la conexión 1 de aire comprimido, y el plato se levanta de su asiento. Así, el aire de escape puede fluir desde 2 hacia 3. Si se deja de activar la leva, el muelle de reposición vuelve a colocar la leva y el plato en sus posiciones iniciales. Así, el aire comprimido vuelve a fluir desde 1 hacia 2.

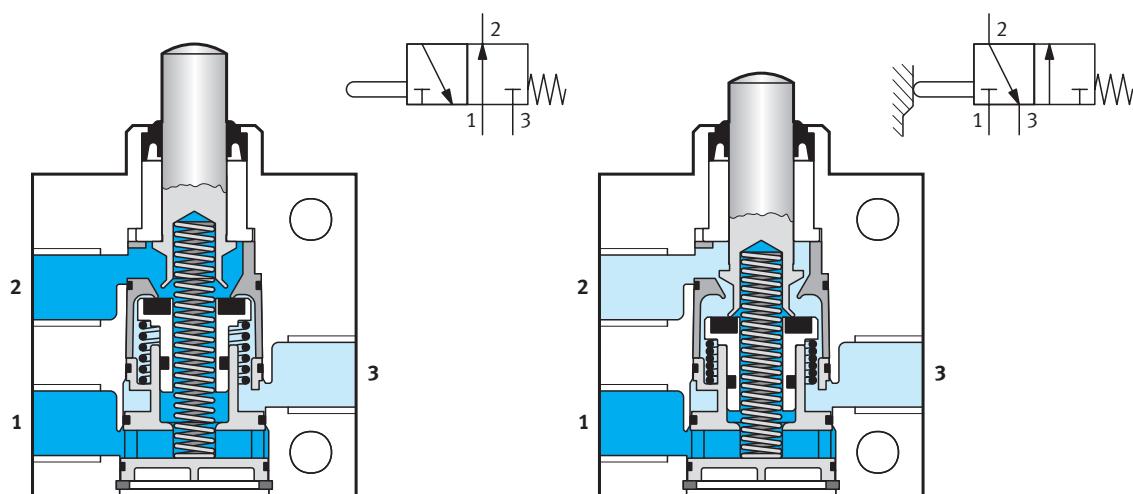


Fig. 5.7: Válvula 3/2 vías, normalmente abierta, con asiento de plato. Izquierda: sin activar. Derecha: activada

### 5.4.3 Válvula neumática de 3/2 vías

La válvula neumática de 3/2 vías, accionada por aire comprimido, se activa mediante una señal neumática aplicada en la entrada 12. La Fig. 5.8 muestra una válvula con accionamiento neumático y reposición por muelle, en posición normal cerrada.

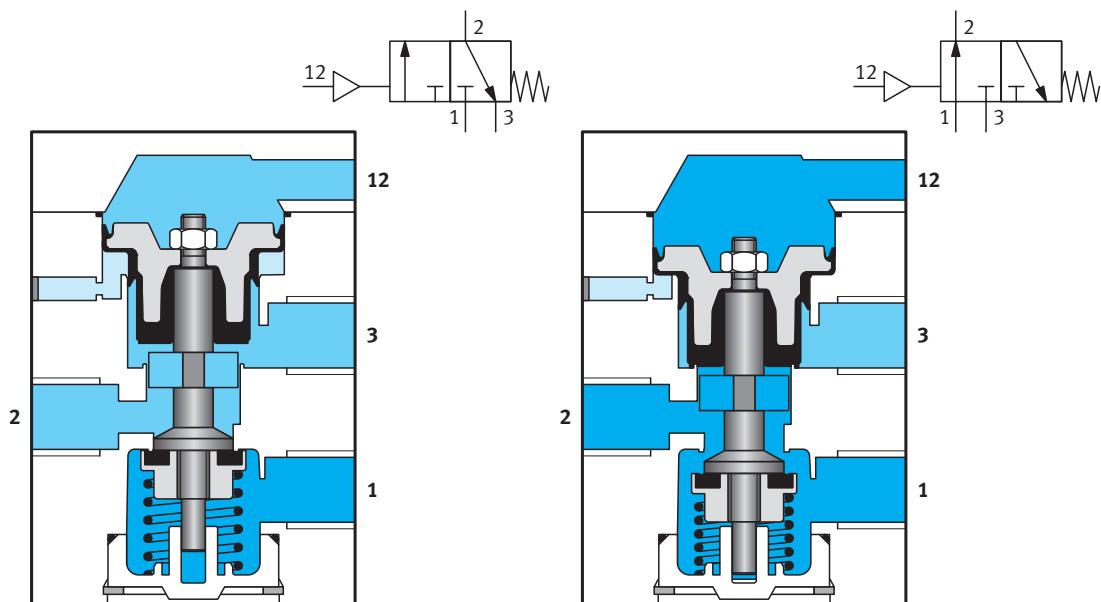


Fig. 5.8: Válvula neumática de 3/2 vías, normalmente cerrada, accionada por aire comprimido, con muelle de reposición. Izquierdo: sin activar. Derecho: activada

Aplicando aire comprimido en el émbolo a través de la conexión 12, la leva actúa en contra de la fuerza del muelle de reposición. Así se establece una unión entre las conexiones 1 y 2. Tras descargar el aire a través de la conexión 12, el émbolo vuelve a su posición inicial por acción del muelle incorporado. El plato cierra el paso de 1 hacia 2. El aire de la utilización 2 puede escapar a través de 3. La válvula neumática de 3/2 vías con muelle de reposición puede utilizarse como válvula normalmente cerrada o como válvula normalmente abierta.

Una válvula accionada por aire comprimido puede utilizarse como elemento de maniobra para el accionamiento indirecto de otro elemento. La señal para el avance del cilindro 1A1 se genera indirectamente con la válvula manual de 3/2 vías 1S1; la señal de mando se transmite al elemento de maniobra 1V1.

Para obtener una válvula con posición normal cerrada, sólo es necesario conectar de modo invertido las conexiones 1 y 3. El cabezal de la válvula, que incluye la toma de pilotaje 12, puede girar en 180°. Al efectuar el giro, la toma de pilotaje viene a ser la conexión 10.

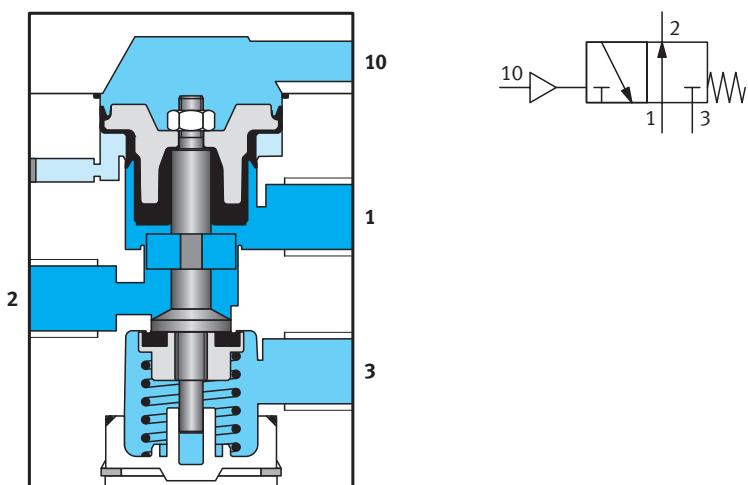


Fig. 5.9: Válvula neumática de 3/2 vías, normalmente abierta, accionada por aire comprimido, con muelle de reposición, desactivada

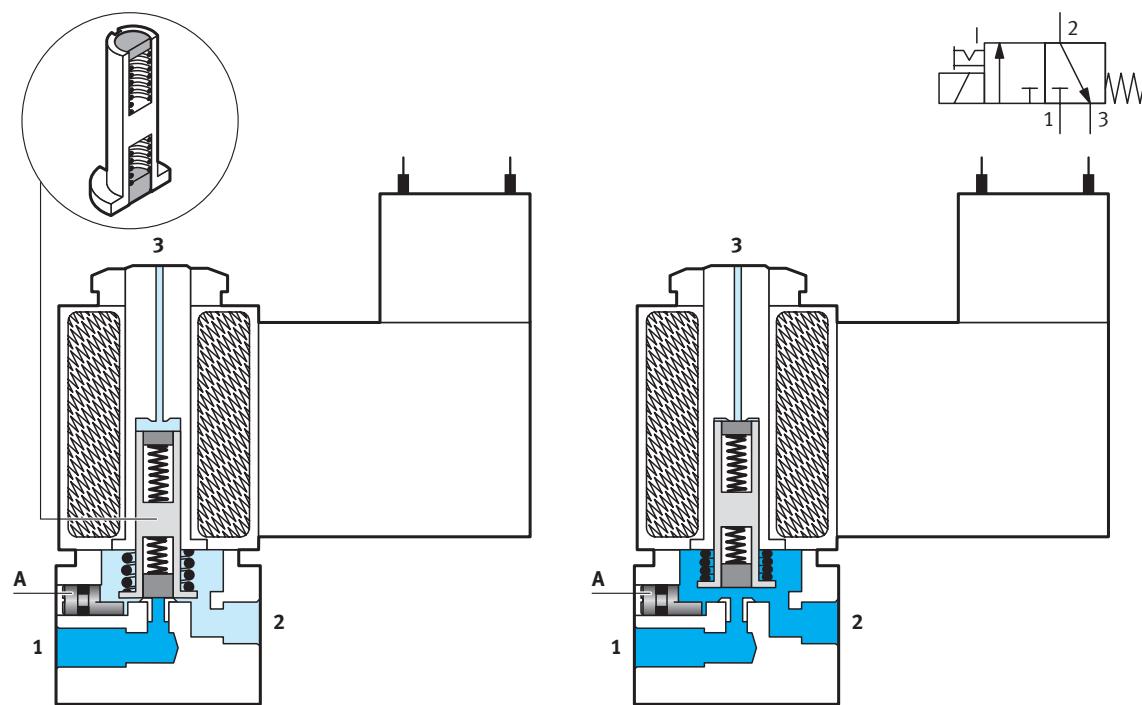
#### 5.4.4 Electroválvula de 3/2 vías

La Fig. 5.10 muestra el dibujo en sección de una electroválvula de 3/2 vías de accionamiento eléctrico.

- En la posición normal, la conexión 2 de la unidad consumidora está unida a la conexión de escape 3 a través de la ranura del rotor (consultar representación detallada).
- Si fluye corriente eléctrica a través de la bobina, el campo magnético aplica una fuerza ascendente en sobre el rotor. El rotor se eleva, actuando en contra de la fuerza del muelle. Así se abre el asiento inferior, con lo que se abre el paso desde la conexión de presión 1 hacia la conexión 2 de la unidad consumidora. El asiento superior se cierra, bloqueando el paso entre la conexión 1 y la conexión 3.
- Si no fluye corriente a través de la bobina, el rotor vuelve a su posición inicial debido a la fuerza que aplica el muelle. Se abre el paso entre las conexiones 2 y 3, y se bloquea el paso entre las conexiones 1 y 2. El aire comprimido escapa a través del núcleo de la bobina y de la conexión 3.

#### Con accionamiento manual auxiliar

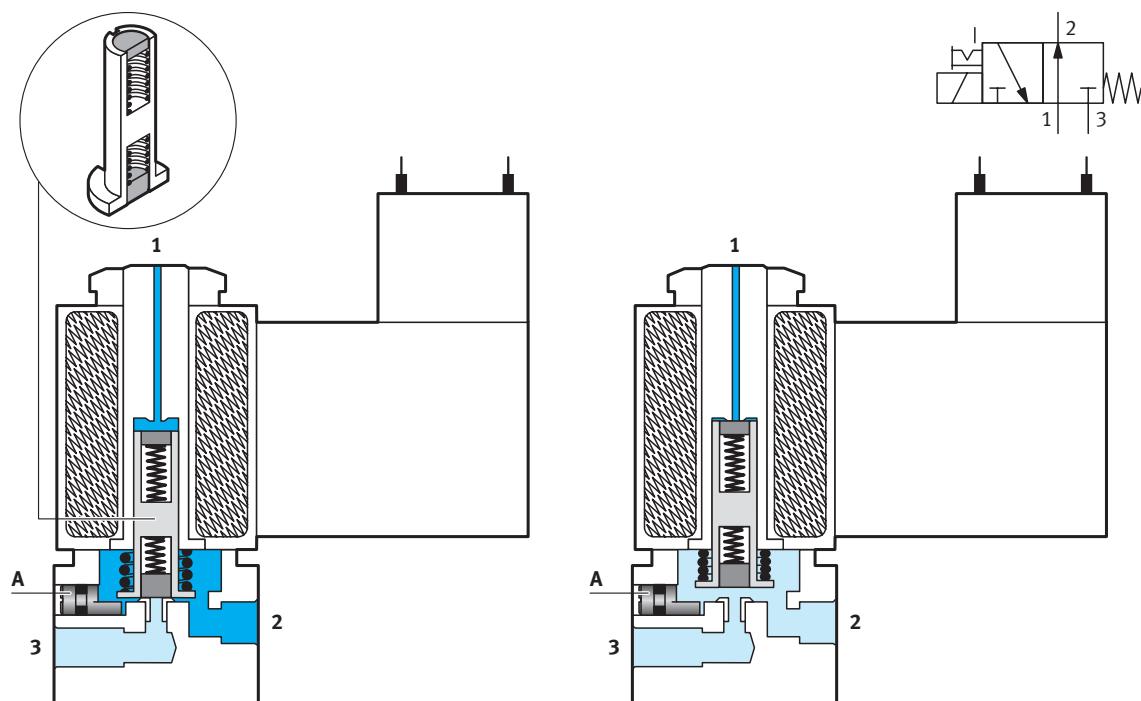
Con el accionamiento manual auxiliar A se puede abrir el paso entre las conexiones 1 y 2, aunque no fluya corriente eléctrica a través de la bobina del electroimán. El tornillo gira, y el excéntrico actúa sobre el rotor. Volviendo a girar el tornillo, la válvula recupera su posición normal.



A: Accionamiento manual auxiliar

Fig. 5.10: Electroválvula de 3/2 vías con accionamiento manual auxiliar, normalmente cerrada

La Fig. 5.11 muestra una válvula de 3/2 vías de accionamiento eléctrico, con posición normal abierta. En el lado izquierdo se muestra la válvula en posición normal, en el lado derecho se muestra en estado activado.



A: Accionamiento manual auxiliar

Fig. 5.11: Electroválvula de 3/2 vías con accionamiento manual auxiliar, normalmente abierta

## 5.5 Válvulas distribuidoras servopilotadas

### 5.5.1 Funcionamiento del servopilotaje en válvulas distribuidoras de accionamiento manual y mecánico

En las válvulas distribuidoras servopilotadas, el émbolo se activa de manera indirecta. Las válvulas servopilotadas necesitan mínimas fuerzas para su activación. La conexión de aire comprimido 1 está unida a la válvula de servopilotaje mediante un canal de diámetro muy pequeño. Al abrir la válvula de servopilotaje, fluye aire comprimido hacia la membrana, provocando el descenso del plato de la válvula principal. Al bloquearse la válvula de servopilotaje, el escape se produce a lo largo del casquillo de guía de la leva. Tratándose de válvulas con reposición por muelle, el plato de la válvula principal recupera su posición inicial por la fuerza que aplica el muelle de reposición.

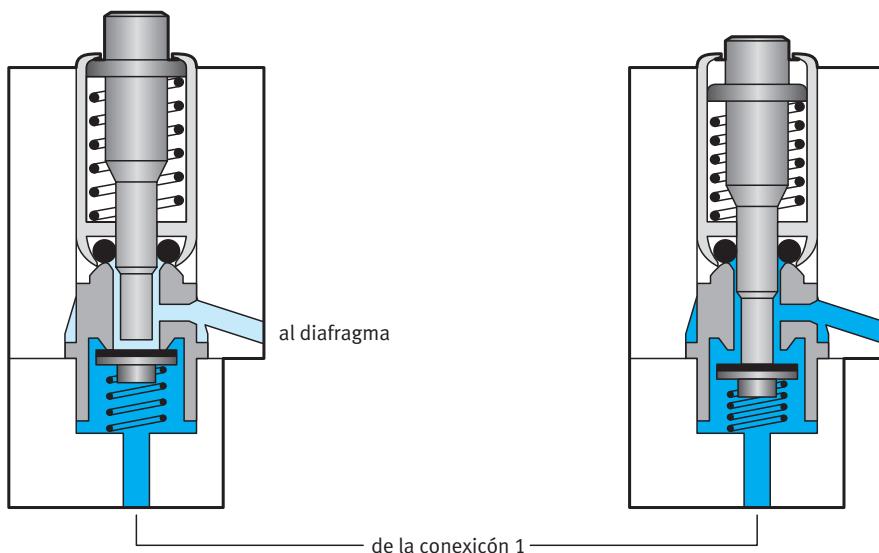


Fig. 5.12: Unidad de servopilotaje: izquierda sin activar, derecha activada

### 5.5.2 Válvula de 3/2 vías con rodillo, servopilotada

Activando la palanca con rodillo, se abre la válvula de servopilotaje. La operación de conmutación de la válvula se realiza en dos fases: En primer lugar se bloquea el paso entre las conexiones 2 y 3; a continuación, se abre el paso desde la conexión 1 hacia la conexión 2. La reposición se produce al soltar la palanca con rodillo.

Este tipo de válvula puede ser de posición normal cerrada o de posición normal abierta. Para cambiar la posición normal, no hay más que cambiar las conexiones 1 y 3 y girar el cabezal de accionamiento en 180°.

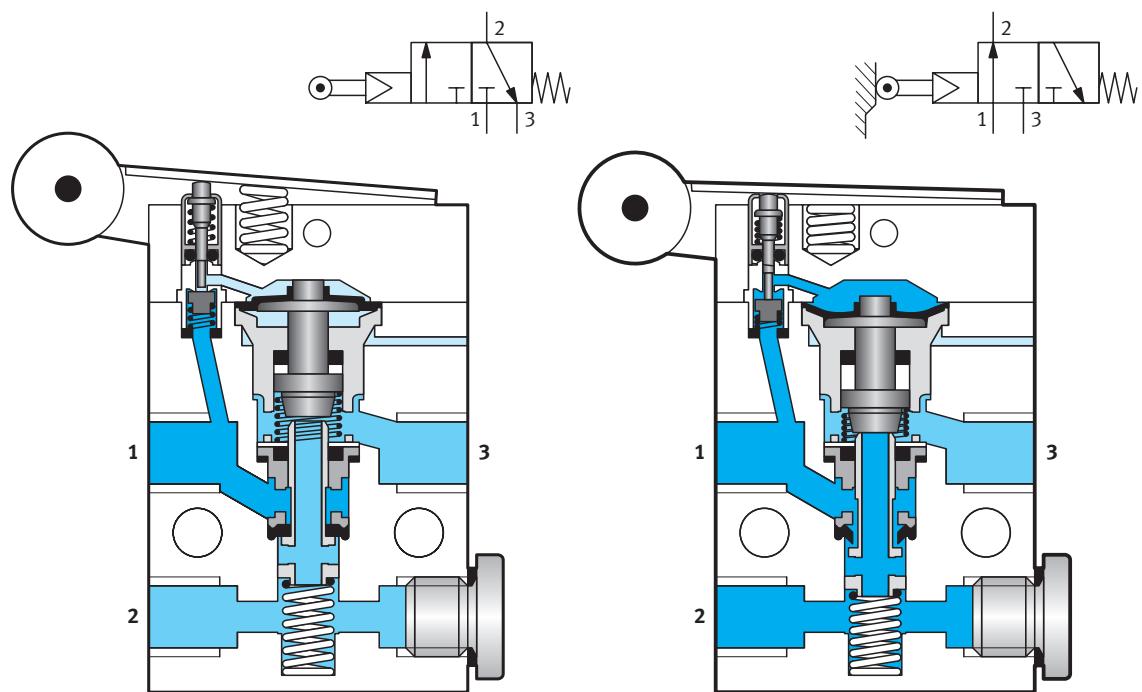


Fig. 5.13: Válvula de 3/2 vías con rodillo, servopilotada, normalmente cerrada – Izquierda: sin activar. Derecha: activada

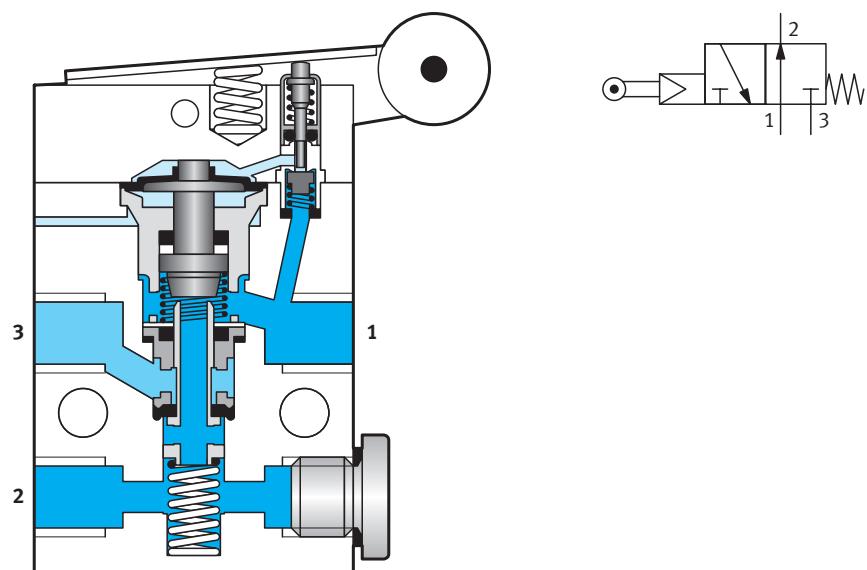
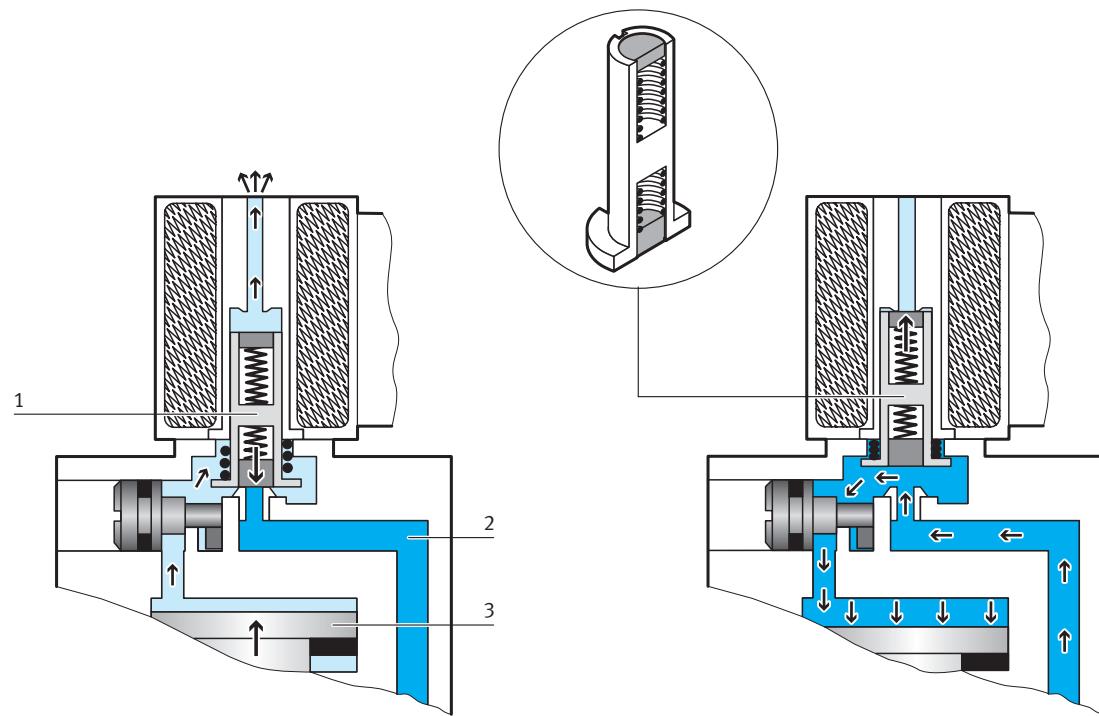


Fig. 5.14: Válvula de 3/2 vías con rodillo, servopilotada, normalmente abierta, sin activar

### 5.5.3 Funcionamiento del servopilotaje en válvulas distribuidoras de accionamiento eléctrico

Si no fluye corriente a través de la bobina, el muelle presiona la armadura sobre la junta del asiento inferior. De esta manera, se vacía la cámara que se encuentra en la parte superior del émbolo.

Si fluye corriente a través de la bobina, la fuerza que aplica el electroimán consigue que la armadura se eleve. De esta manera, se aplica presión en la cámara que se encuentra en la parte superior del émbolo.



1: Armadura 2: Canal de aire 3: Émbolo de la válvula

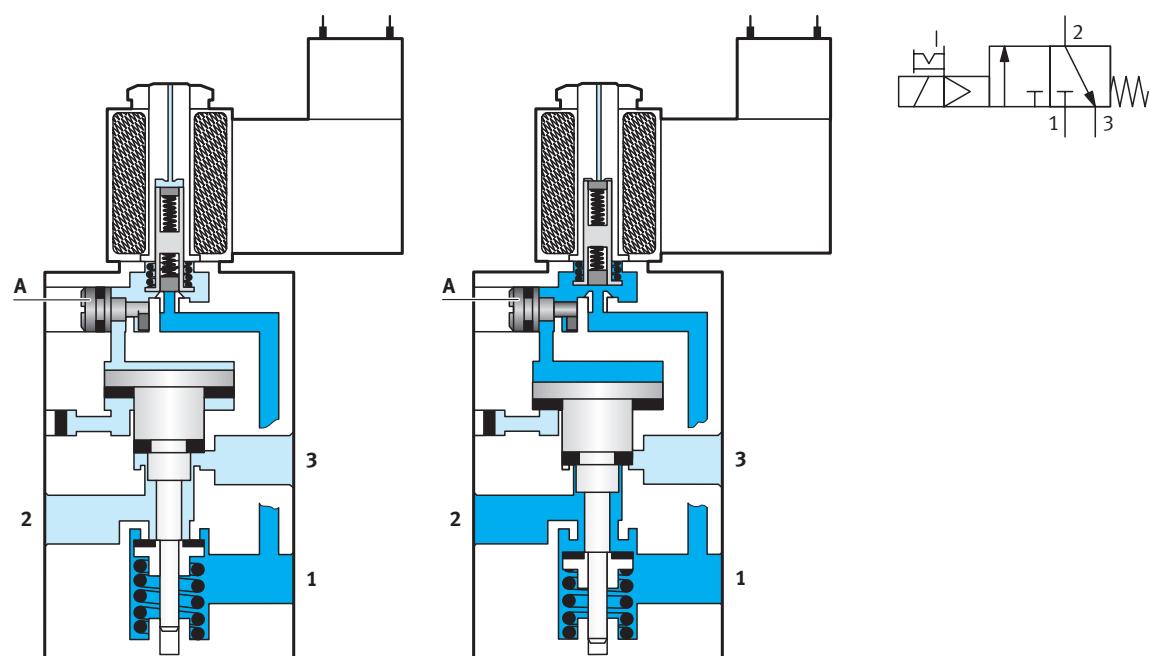
Fig. 5.15: Servopilotaje de una válvula distribuidora accionada eléctricamente

#### 5.5.4 Electroválvula de 3/2 vías, servopilotada

La Fig. 5.16 muestra dos dibujos en sección de una electroválvula servopilotada de 3/2 vías.

- En posición normal, solamente actúa la presión atmosférica sobre la superficie del émbolo, de modo que el muelle presiona el émbolo hacia arriba (Fig 5.16, izquierda). Las conexiones 2 y 3 están unidas.
- Si fluye corriente a través de la bobina, la cámara superior del émbolo de la válvula se une a la conexión de alimentación de presión 1 (Fig. 5.16, derecha). Así aumenta la fuerza que se aplica en la parte superior del émbolo de la válvula, por lo que el émbolo desciende. Se bloquea el paso entre las conexiones 2 y 3, y se abre el paso entre las conexiones 1 y 2. La posición se mantiene únicamente mientras fluye corriente eléctrica a través de la bobina.
- Si no se aplica corriente en la bobina, la válvula vuelve a asumir su posición normal.

Para que el émbolo de una válvula servopilotada se desplace en contra de la fuerza que aplica el muelle, es necesario disponer de una presión previa mínima (presión mínima de pilotaje) determinada. Esta presión se indica en la documentación técnica y puede variar entre 200 y 300 kPa (2 y 3 bar), según el tipo de válvula.



A: Accionamiento manual auxiliar

Fig. 5.16: Electroválvula servopilotada de 3/2 vías, normalmente cerrada, con accionamiento manual auxiliar, con muelle de reposición; Izquierda: sin activar. Derecha: activada

### 5.5.5 Comparación entre válvulas de accionamiento directo y válvulas servopilotadas

Cuanto más grandes son las secciones de flujo de una válvula distribuidora, tanto mayor es el caudal de aire.

En una válvula de accionamiento directo, el inducido de la electroválvula abre el paso para permitir el flujo hacia la unidad consumidora (Fig. 5.10). Para que la sección sea suficientemente grande, es decir, para disponer de suficiente caudal, es necesario utilizar inducidos relativamente grandes. Por lo tanto, también el muelle de reposición debe ser grande. Además, el electroimán debe aplicar una fuerza relativamente grande. Por ello debe disponerse de un espacio relativamente grande para montar este tipo de válvulas. Además, el consumo de corriente eléctrica es alto.

En una válvula servopilotada, el nivel principal abre el paso para permitir el flujo hacia la unidad consumidora. El émbolo de la válvula se mueve aplicando presión a través del canal de aire. Para ello, es suficiente un pequeño caudal, de manera que el inducido puede ser relativamente pequeño y aplicar poca fuerza. En comparación con las válvulas de accionamiento directo, la bobina de una válvula servopilotada puede ser más pequeña. Las válvulas servopilotadas consumen menos corriente eléctrica y, además, irradian menos calor.

Las ventajas que las válvulas servopilotadas ofrecen en relación con el consumo eléctrico, el tamaño del electroimán y la radiación de calor, han tenido como consecuencia que en los sistemas de control electroneumático actuales casi únicamente se utilice este tipo de válvulas.

## 5.6 Válvulas de 5/2 vías

Una válvula de 5/2 vías tiene 5 conexiones y 2 posiciones. Estas válvulas se utilizan principalmente como elemento de maniobra para el accionamiento de cilindros de doble efecto.

### 5.6.1 Válvula neumática de 5/2 vías

La válvula de corredera longitudinal es un buen ejemplo de una válvula de 5/2 vías. El elemento de mando es un émbolo de control, con el que realizando movimientos longitudinales establece una unión entre las correspondientes conexiones o se bloquea la conexión entre ellas. En este tipo de válvulas se aplica muy poca fuerza de accionamiento, a diferencia de lo que sucede en el caso de las válvulas de asiento de bola o de plato, porque no es necesario superar la fuerza que ejerce el aire comprimido o un muelle.

El accionamiento de una válvula de corredera longitudinal puede ser manual, mecánico, eléctrico o neumático. Todos estos tipos de accionamiento también pueden aprovecharse para que la válvula recupere su posición normal.

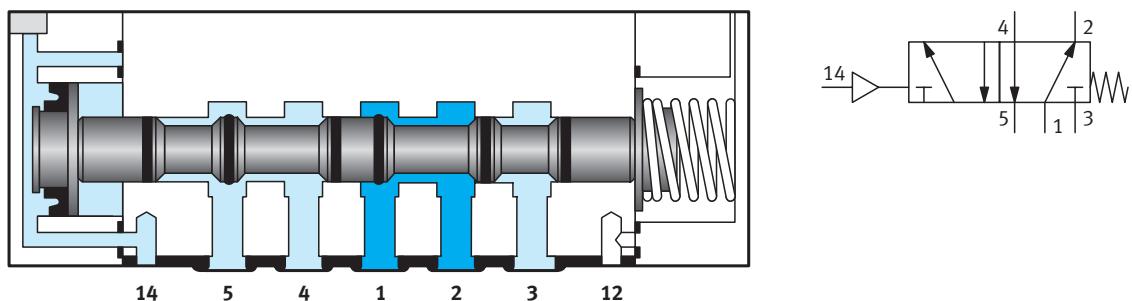


Fig. 5.17: Válvula neumática de corredera de 5/2 vías – Dibujo en sección y símbolo

### 5.6.2 Válvula neumática biestable de 5/2 vías

La válvula neumática biestable de 5/2 vías, accionada por aire comprimido en ambos lados, memoriza su estado de conmutación. La válvula comuta a conexión 14 ó 12 al recibir señales neumáticas alternas. Al retirar la señal, el estado de conmutación se mantiene hasta que la válvula vuelve a recibir una señal.

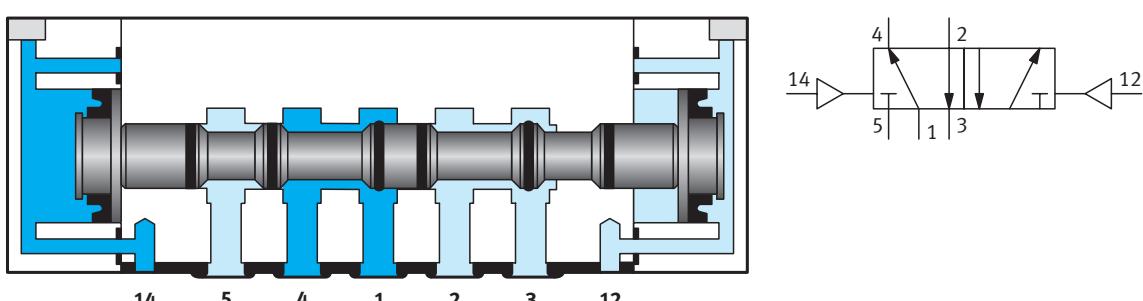
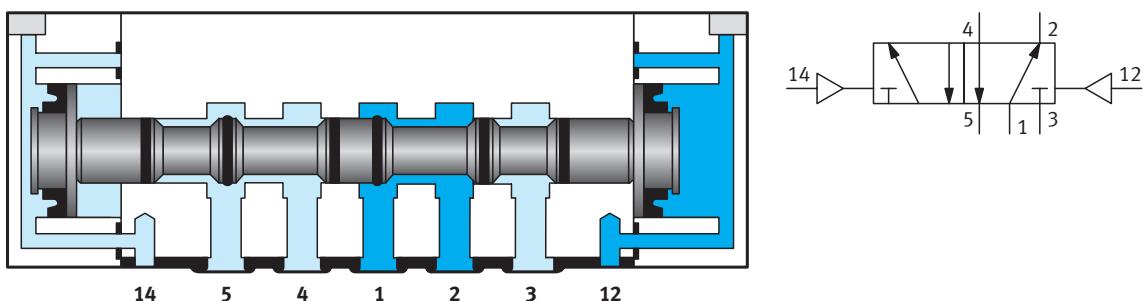


Fig. 5.18: Válvula neumática biestable de 5/2 vías, con corredera longitudinal – Dibujo en sección y símbolo

Otro sistema de hermetización consiste en el uso de juntas de asiento de plato, con las que el movimiento de conmutación puede ser relativamente pequeño. La junta de asiento de plato establece la conexión entre 1 y 2 ó 1 y 4. Las juntas secundarias del émbolo bloquean la conexión de escape que no es necesaria en cada caso. La válvula que se muestra en la imagen tiene un sistema de accionamiento auxiliar manual en ambos lados, con los que se controla el émbolo.

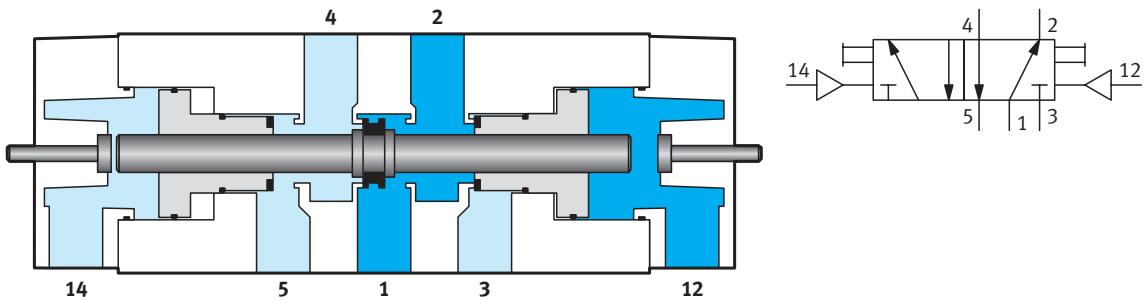


Fig. 5.19: Válvula neumática biestable de 5/2 vías, caudal desde 1 hacia 2 y desde 4 hacia 5

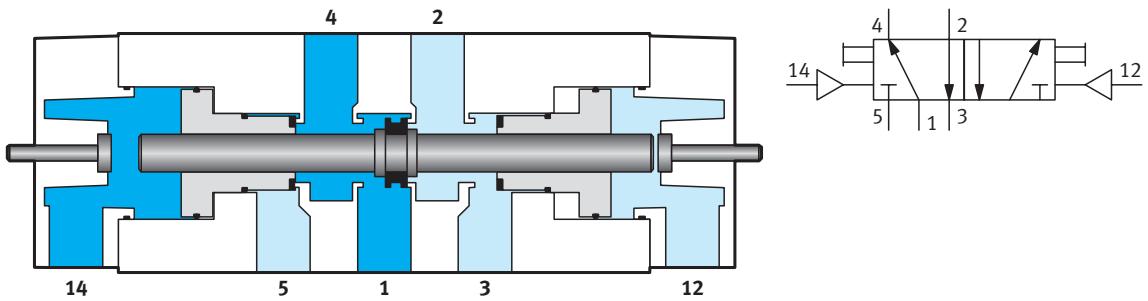


Fig. 5.20: Válvula neumática biestable de 5/2 vías, caudal desde 1 hacia 4 y desde 2 hacia 3

### 5.6.3 Electroválvula de 5/2 vías, servopilotada

La Fig. 5.21 muestra las dos posiciones que puede asumir una electroválvula servopilotada de 5/2 vías.

- En posición normal, el émbolo se encuentra junto al tope del lado izquierdo (Fig. 5.21). De este modo están unidas las conexiones 1 y 2 y las conexiones 4 y 5.
- Si fluye corriente a través de la bobina, el émbolo de la válvula se desplaza hasta el tope de lado derecho (Fig. 5.22). En esta posición se establece una conexión entre las conexiones 1 y 4, así como entre las conexiones 2 y 3.
- Si no se aplica corriente en la bobina, el émbolo retorna a la posición normal debido a la fuerza aplicada por el muelle de reposición.
- Así se produce el escape del aire de pilotaje a través de la conexión 84.

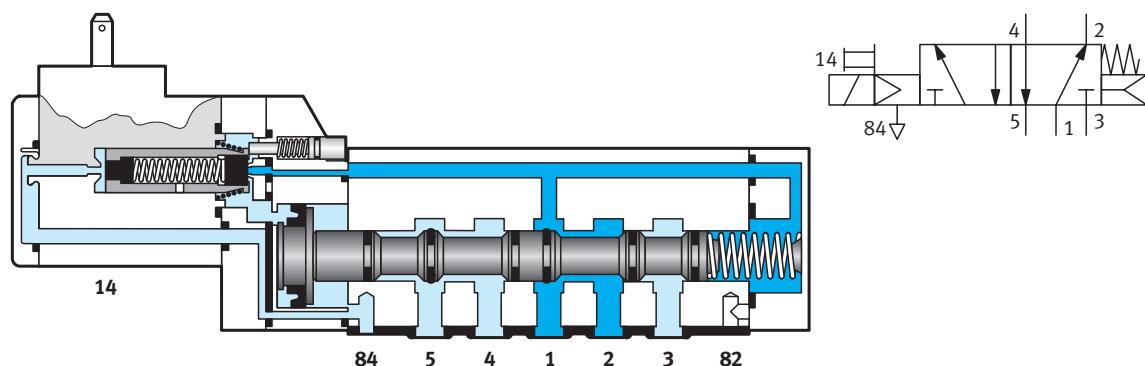


Fig. 5.21: Electroválvula servopilotada de 5/2 vías, sin activar

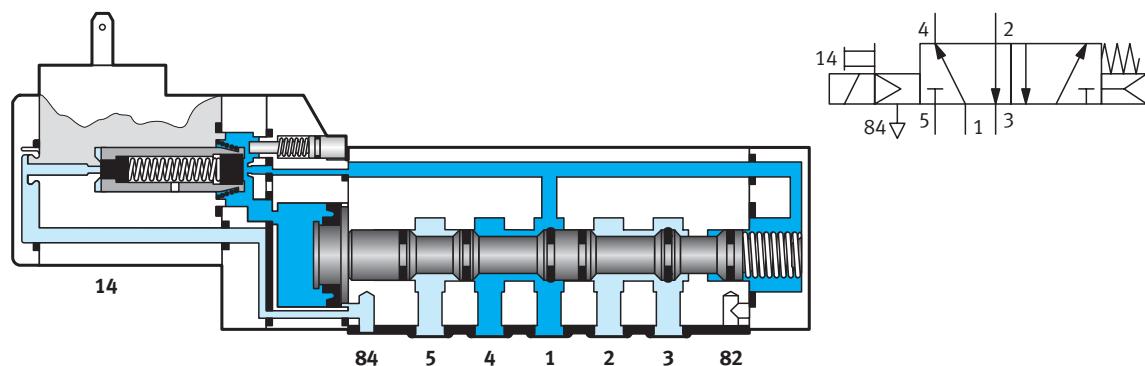


Fig. 5.22: Electroválvula servopilotada de 5/2 vías, activada

#### 5.6.4 Electroválvula biestable de 5/2 vías, servopilotada

Las Figs. 5.23 y 2.24 y muestran dos dibujos en sección de una electroválvula biestable servopilotada de 5/2 vías.

- Si el émbolo se encuentra en la posición final del lado izquierdo, están unidas entre sí las conexiones 1 y 2, así como las conexiones 4 y 5 (Fig. 5.23).
- Si fluye corriente a través de la bobina del lado izquierdo, el émbolo se desplaza hacia la posición final de la derecha, con lo que quedan unidas entre sí las conexiones 1 y 4 y las conexiones 2 y 3 (Fig. 5.24).
- Si la válvula debe comutar a su posición normal, no basta con interrumpir la alimentación de corriente eléctrica en la bobina del lado izquierdo. Más bien es necesario cerrar adicionalmente el circuito de la bobina del lado derecho.

Si no se excita ninguna de las bobinas, el émbolo mantiene su última posición, debido a la fricción estática. Lo mismo sucede si se cierran los circuitos de ambas bobinas a la vez, ya que se producen fuerzas iguales contrapuestas.

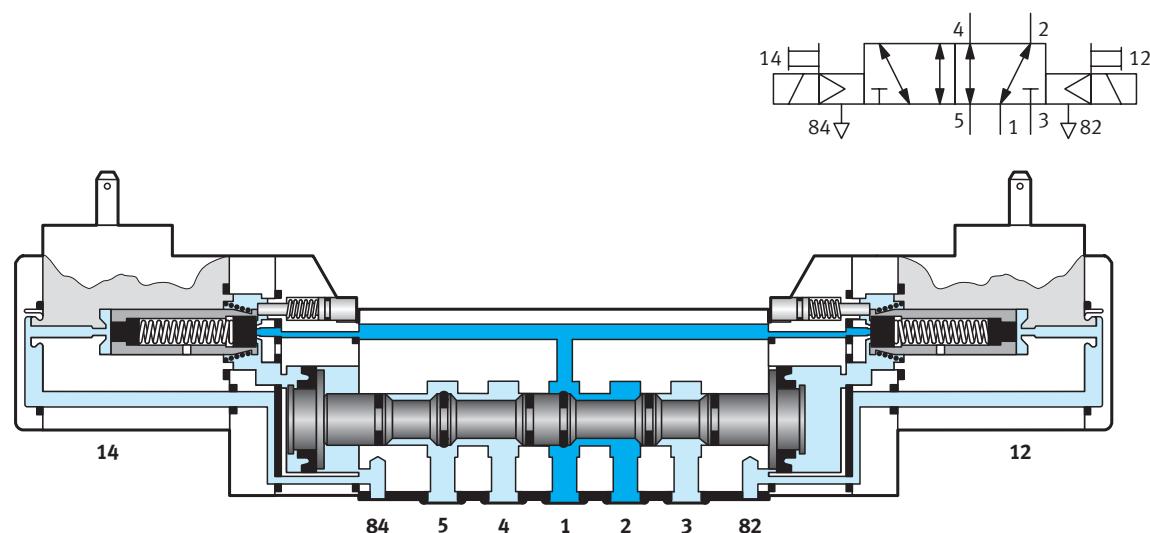


Fig. 5.23: Electroválvula biestable servopilotada de 5/2 vías, caudal desde 1 hacia 2 y desde 4 hacia 5

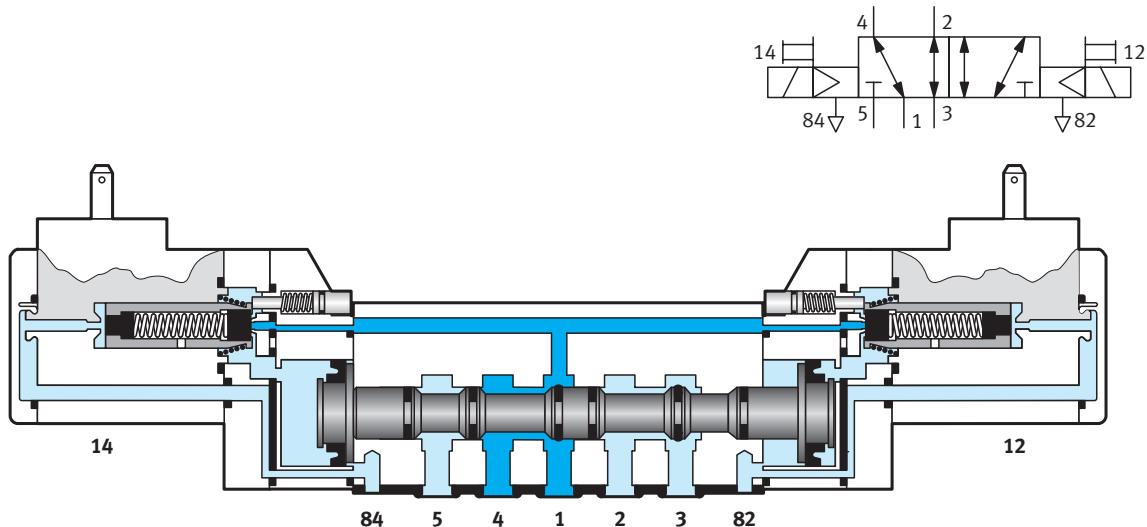


Fig. 5.24: Electroválvula biestable servopilotada de 5/2 vías, caudal desde 1 hacia 4 y desde 2 hacia 3

## 5.7 Válvulas de 5/3 vías

Una válvula de 5/3 vías tiene 5 conexiones y 2 posiciones. Con estas válvulas es posible detener cilindros de doble efecto en cualquier parte de la carrera. Si en las tomas de pilotaje no se recibe señal alguna, la válvula mantiene su posición central por efecto del muelle.

### 5.7.1 Válvula neumática de 5/3 vías

Las Figs. 5.25, 5.26 y 5.27 muestran las tres posiciones centrales de una válvula neumática de 5/3 vías.

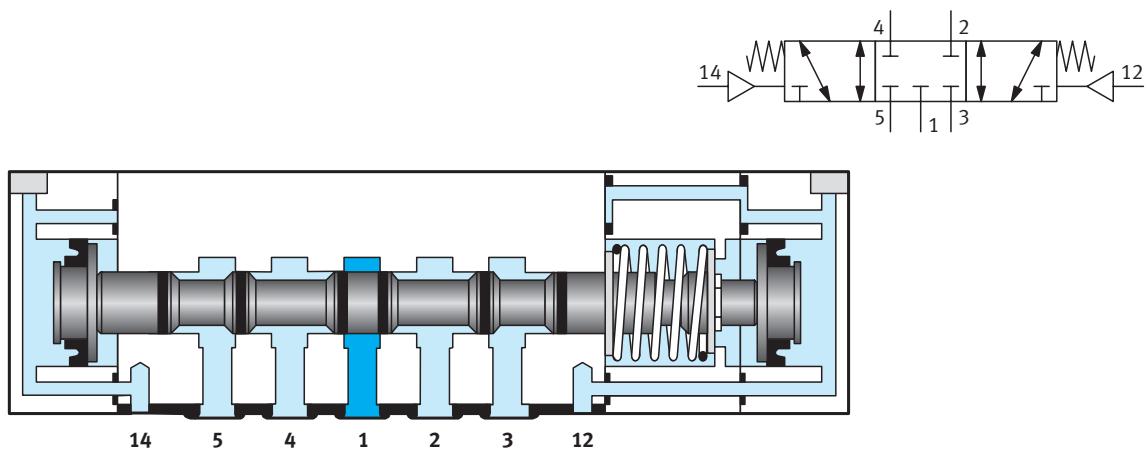


Fig. 5.25: Válvula neumática de 5/3 vías, centro cerrado

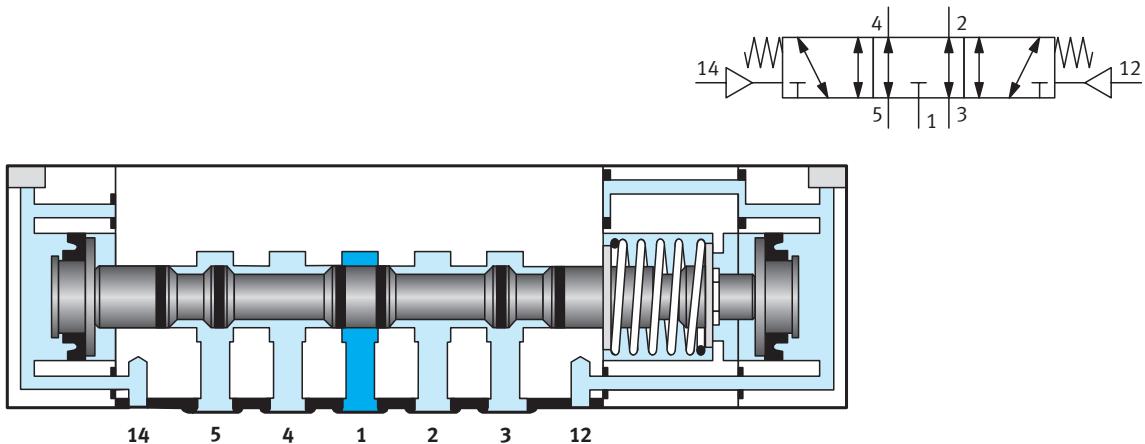


Fig. 5.26: Válvula neumática de 5/3 vías, centro a escape

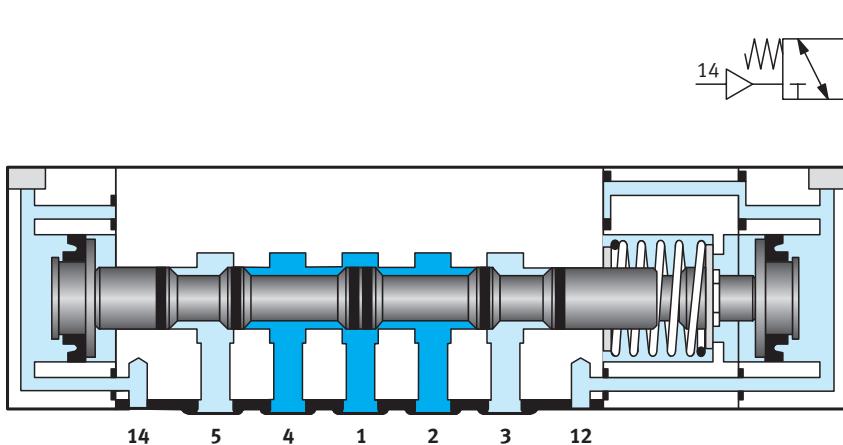


Fig. 5.27: Válvula neumática de 5/3 vías, centro a presión

### 5.7.2 Electroválvula servopilotada de 5/3 vías con centro a escape

Las Figs. 5.28, 5.29 y 5.30 muestran las tres posiciones de una electroválvula servopilotada de 5/3 vías.

- En posición central, las bobinas no reciben corriente y el émbolo se mantiene en la posición central por acción de los dos muelles (Fig. 5.28). De este modo están unidas las conexiones 2 y 3 y las conexiones 4 y 5. La conexión 1 está bloqueada.
- Si fluye corriente a través de la bobina del lado izquierdo, el émbolo se desplaza hasta el tope de lado derecho (Fig. 5.29). Así se establece una unión entre las conexiones 1 y 4 y entre 2 y 3, respectivamente.
- Si fluye corriente a través de la bobina del lado derecho, el émbolo se desplaza hacia el tope del lado izquierdo (Fig. 5.30). En esta posición se establece una conexión entre las conexiones 1 y 2, así como entre las conexiones 4 y 5.
- Cada una de las posiciones se mantiene mientras fluye corriente a través de la bobina correspondiente. Si se interrumpe el flujo de corriente, el émbolo vuelve a la posición central.

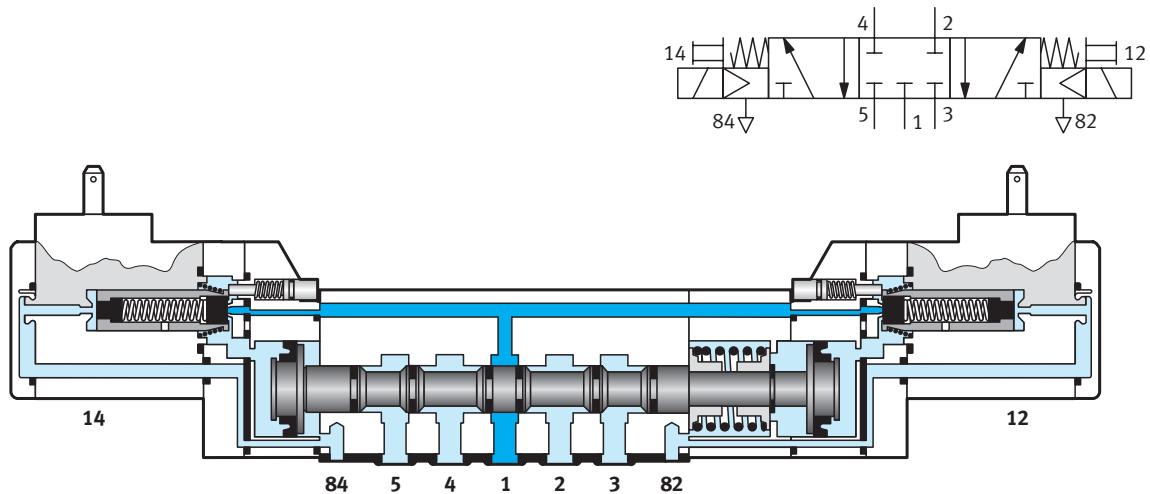


Fig. 5.28: Electroválvula servopilotada de 5/3 vías, centro cerrado

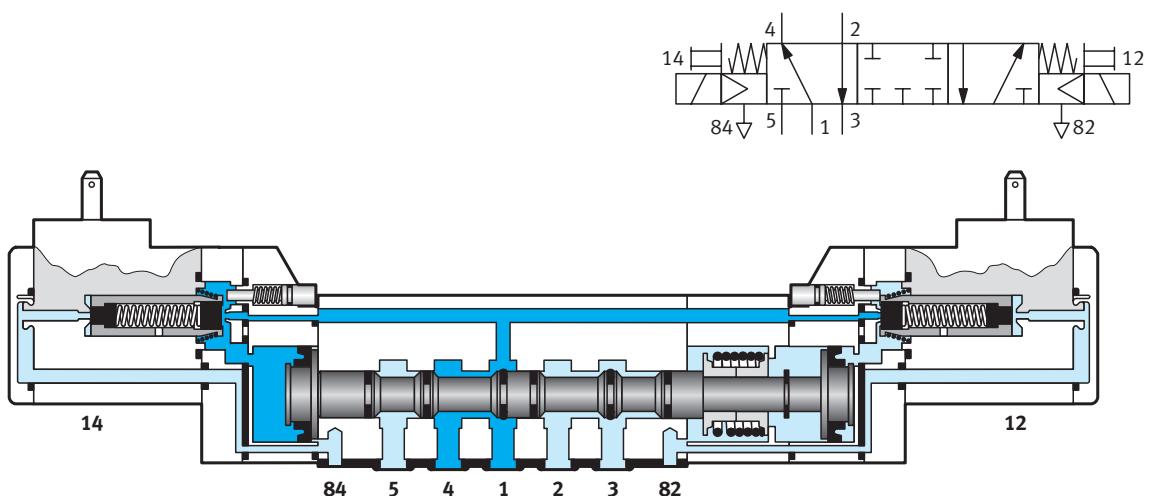


Fig. 5.29: Electroválvula servopilotada de 5/3 vías, caudal desde 1 hacia 4 y desde 2 hacia 3

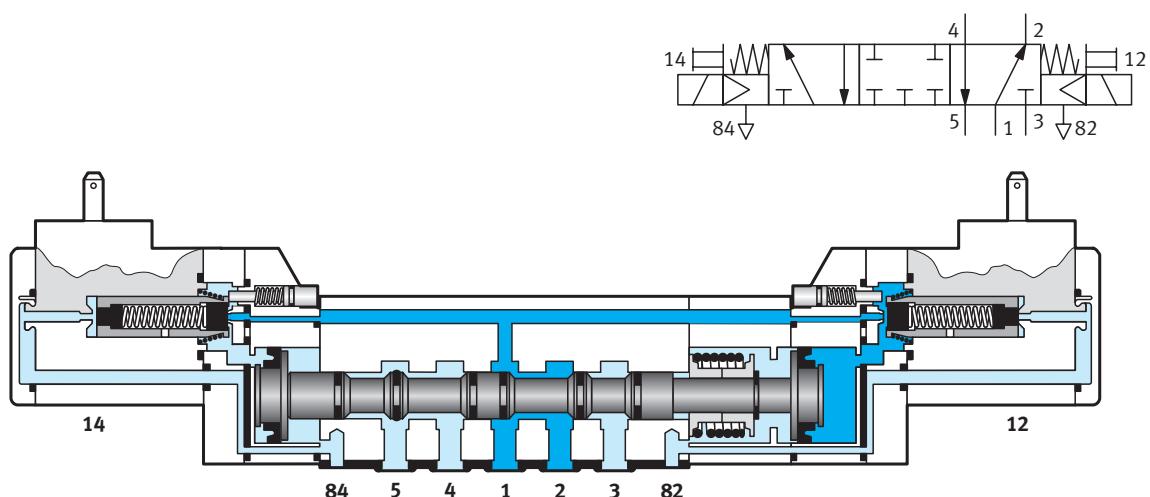


Fig. 5.30: Electroválvula servopilotada de 5/3 vías, caudal desde 1 hacia 2 y desde 4 hacia 5

### 5.7.3 Significado de la posición central

Las válvulas distribuidoras con dos posiciones (por ejemplo, válvulas de 3/2 vías y válvulas de 5/2 vías) permiten que un cilindro avance o retroceda. Las válvulas con tres posiciones (por ejemplo, válvulas de 5/3 vías) ofrecen más posibilidades para el accionamiento del cilindro, gracias a la posición central adicional. Las explicaciones que se ofrecen a continuación se hacen en base a tres válvulas de 5/3 vías con posiciones intermedias diferentes. Se analizará el comportamiento del cilindro cuando las válvulas posicionadoras ocupan sus respectivas posiciones centrales.

- En el caso de una válvula de 5/3 vías con centro a escape, el émbolo del cilindro no aplica fuerza alguna sobre el vástagos. El vástagos puede moverse libremente (Fig. 5.31).

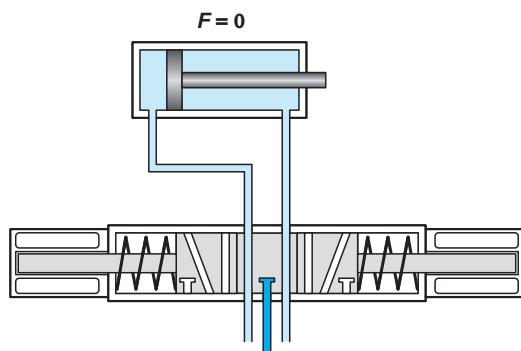


Fig. 5.31: Electroválvula de 5/3 vías, centro a escape: el vástagos puede moverse libremente.

- En el caso de una válvula de 5/3 vías con centro cerrado, el vástagos del cilindro se mantiene inmóvil. El vástagos está inmovilizado aunque no se encuentre en la posición final (Fig. 5.32).

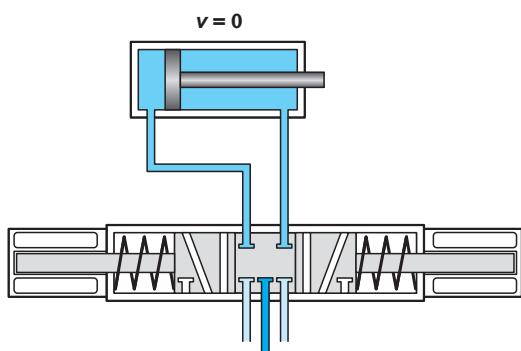


Fig. 5.32: Electroválvula de 5/3 vías, centro cerrado: Vástagos inmovilizado, ya que se aplica presión en ambos lados

- En el caso de una válvula de 5/3 vías con centro a presión, el vástagos avanza con fuerza aminorada (Fig. 5.33).

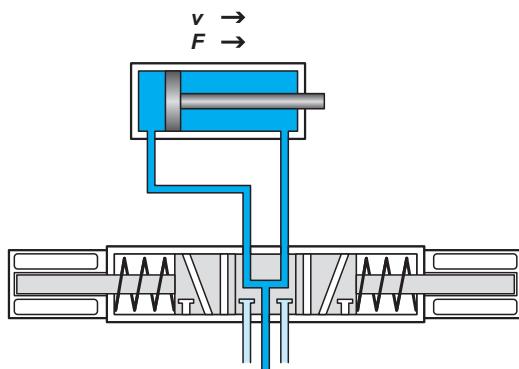


Fig. 5.33: Electroválvula de 5/3 vías, centro a presión: el vástagos avanza con fuerza aminorada

### 5.8 Valor del caudal de válvulas

Para el usuario es importante conocer las pérdidas de presión y el caudal correspondientes a las válvulas neumáticas. La selección de una válvula depende de los siguientes criterios:

- Volumen y velocidad del cilindro
- Frecuencia necesaria de comutación
- Caída admisible de la presión

Las válvulas neumáticas se identifican por su caudal nominal. Al calcular los valores correspondientes al caudal, deben tenerse en cuenta varios factores. Esos factores son los siguientes:

|            |   |
|------------|---|
| $p_1$      | Presión aplicada en la entrada de la válvula (expresada en kPa o bar) |
| $p_2$      | Presión aplicada en la salida de la válvula (expresada en kPa o bar)  |
| $\Delta p$ | Diferencia de presión ( $p_1 - p_2$ ) (kPa o bar)                     |
| $T_1$      | Temperatura (K)   |
| $q_n$      | Caudal nominal (l/min)  |

Al efectuar la medición, el aire atraviesa la válvula en un sentido. Se mide la presión en la entrada y la presión en la salida. Con un caudalímetro se mide el caudal del aire.

Los datos correspondientes al caudal nominal constan en los catálogos de los fabricantes.

## 5.9 Funcionamiento fiable de válvulas

### 5.9.1 Montaje de válvulas con rodillo

La fiabilidad de un sistema de control depende fundamentalmente del montaje correcto de los detectores de final de carrera. Estos detectores deben poder ajustarse y adaptarse de manera sencilla en cualquier momento. Ello es importante para garantizar la coordinación precisa de los movimientos de todos los cilindros.

### 5.9.2 Montaje de las válvulas

Además de seleccionar cuidadosamente las válvulas, es importante que se monten correctamente. Únicamente en ese caso pueden funcionar de manera fiable y sin fallos y, además, solo así puede accederse fácilmente a ellas para efectuar los trabajos de mantenimiento y reparación que sean necesarios. Lo dicho es válido tanto para las válvulas del lado funcional, como para aquellas del lado de control.

Los trabajos de mantenimiento y reparación resultan más sencillos si se consideran los siguientes aspectos:

- Numeración de todos los componentes instalados
- Montaje de indicadores ópticos
- Documentación completa

Las válvulas manuales, utilizadas para la entrada de señales, suelen estar montadas en el tablero o panel de mando. Por ello, es conveniente que se seleccionen válvulas con elementos de accionamiento que puedan conectarse directamente al elemento básico. Existen diversos elementos de accionamiento para numerosas operaciones de entrada de señales de mando.

Las válvulas, utilizadas como elementos de maniobra, controlan el funcionamiento de los componentes neumáticos funcionales. La construcción de estas válvulas debe permitir una rápida respuesta de los actuadores. Por ello, es recomendable que la válvula esté montada lo más cerca posible del actuador. De este modo, la longitud de los tubos es menor y los tiempos de respuesta son más cortos. En el caso ideal, la válvula debería estar conectada directamente al actuador. De esta manera se necesita menos material y el tiempo de montaje también es menor.

## 6 Válvulas de cierre, reguladoras de caudal y reguladoras de presión; combinaciones de válvulas

### 6.1 Válvulas de cierre

Las válvulas de cierre bloquean el flujo en un sentido, mientras que permiten el flujo en el sentido contrario. La presión puesta en el lado de la salida aplica una carga sobre la pieza de bloqueo, apoyando el efecto de cierre de la válvula.

#### 6.1.1 Válvulas de estrangulación y antirretorno

Las válvulas antirretorno pueden bloquear el paso completamente en un sentido, mientras que el aire puede fluir en el sentido contrario con un mínimo de pérdida de presión. El bloqueo en un sentido está a cargo de un cono, una bola, una placa o una membrana.

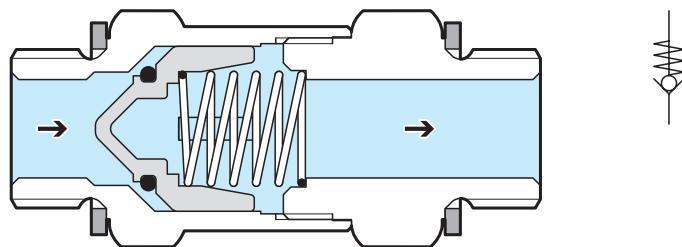


Fig. 6.1: Válvula antirretorno – Dibujo en sección y símbolo

#### 6.1.2 Elementos de procesamiento

Los componentes que tienen las propiedades de una válvula antirretorno y que están montados entre dos tramos de transmisión de señales, pueden utilizarse como elementos de procesamiento para controlar esas señales. Las dos válvulas que son los elementos de procesamiento, se utilizan para el procesamiento lógico de dos señales de entrada y, además, para la transmisión de la señal resultante. La válvula de simultaneidad únicamente genera una señal, si recibe una señal en ambas entradas (función de Y). La válvula selectora transmite una señal si recibe, como mínimo, una señal en una entrada (función de O).

### 6.1.3 Válvula de simultaneidad: Función lógica de Y

La válvula de simultaneidad tiene dos entradas 1 y una salida 2. El paso del aire comprimido sólo está abierto si la válvula recibe una señal en ambas entradas. Si solamente se recibe una señal en una de las dos entradas, se bloquea el paso debido a la diferencia de las fuerzas que se aplican en la corredera del émbolo.

Si las señales de entrada no se reciben simultáneamente y si la presión es igual en ambas entradas, la que se recibe de último llega a la salida. Si existe una diferencia de presión en las entradas, la mayor presión cierra la válvula, mientras que la presión más pequeña llega a la salida 2. La válvula de simultaneidad se utiliza principalmente en sistemas de control de bloqueo, en aplicaciones de vigilancia y en sistemas con enlaces lógicos de Y.

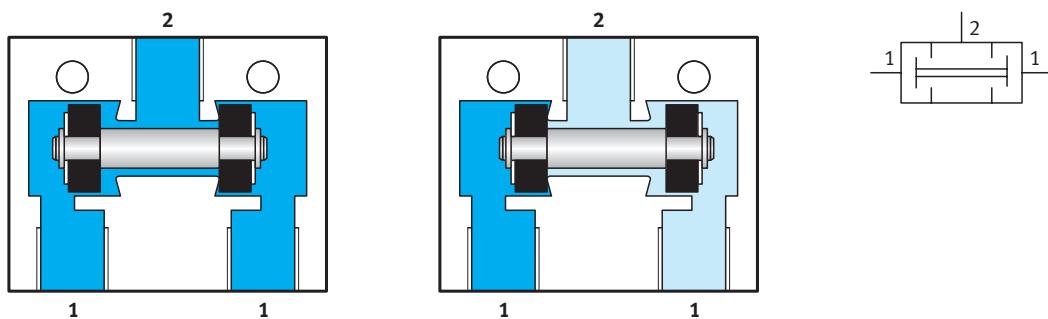


Fig. 6.2: Válvula de simultaneidad: función lógica de Y – Dibujos en sección y símbolo

### 6.1.4 Válvula selectora: Función lógica de O

Esta válvula de cierre tiene dos entradas 1 y una salida 2. Si se aplica presión en la entrada 1 del lado izquierdo, el émbolo bloquea la entrada del lado derecho. Así, el aire fluye desde la entrada 1 de lado izquierdo hacia la salida 2. Si fluye el aire desde la entrada 1 del lado derecho hacia la salida 2, se bloquea la entrada del lado izquierdo. Si el aire fluye en sentido contrario cuando el aire fluye a escape en la válvula montada detrás, el émbolo mantiene su posición anterior debido a las condiciones de presión imperantes en la válvula. Esta válvula es considerada un elemento de función lógica de O. Si es necesario que un cilindro u otro actuador sea accionado de modo múltiple, siempre es necesario utilizar una o varias válvulas selectoras.

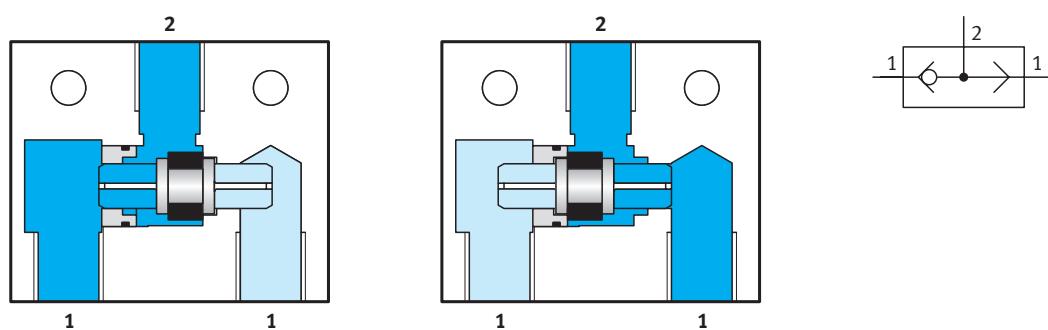


Fig. 6.3: Válvula selectora: función lógica de O – Dibujos en sección y símbolo

### 6.1.5 Válvula de escape rápido

Las válvulas de descarga rápida se utilizan para aumentar la velocidad de los cilindros. Con ellas es posible reducir los tiempos de retroceso, especialmente en el caso de cilindros de simple efecto. El vástagos puede retroceder casi a máxima velocidad, ya que la resistencia que el aire de escape ofrece durante el movimiento de retroceso se reduce a través de la válvula de escape rápido. La válvula tiene una conexión de presión 1 bloqueable, una salida de escape 3 bloqueable, y una salida 2.

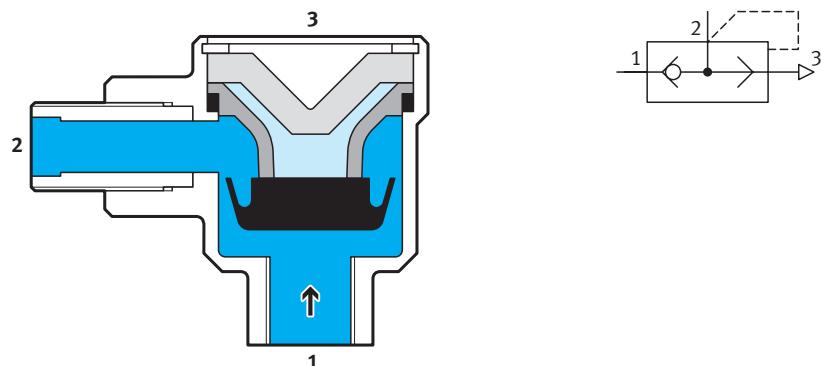


Fig. 6.4: Válvula de escape rápido, flujo desde 1 hacia 2

Si se aplica presión en la conexión 1, el disco cierra la salida de escape 3. De este modo, el aire comprimido fluye desde 1 hacia 2. Si no se aplica presión en 1, el aire proveniente de 2 provocará el desplazamiento del disco contra la conexión 1, cerrándola. De este modo, el aire de escape puede salir al exterior. Esto significa que el aire de escape no tiene que pasar por conductos largos y estrechos hasta llegar a la válvula distribuidora. Es recomendable que la válvula de escape rápido se encuentre lo más cerca posible del cilindro.

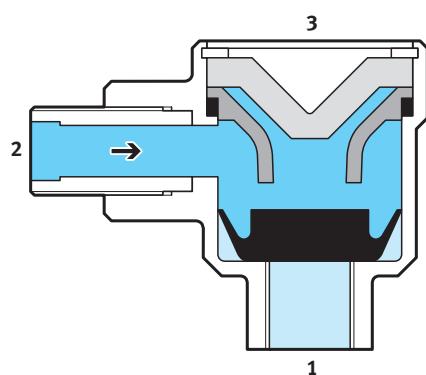


Fig. 6.5: Válvula de escape rápido, escape desde 2 hacia 3

### 6.1.6 Válvula de cierre

Las válvulas de cierre abren o cierran el paso de modo continuo y en ambos sentidos. Las llaves de bloqueo o las llaves de bola son típicas válvulas de cierre.

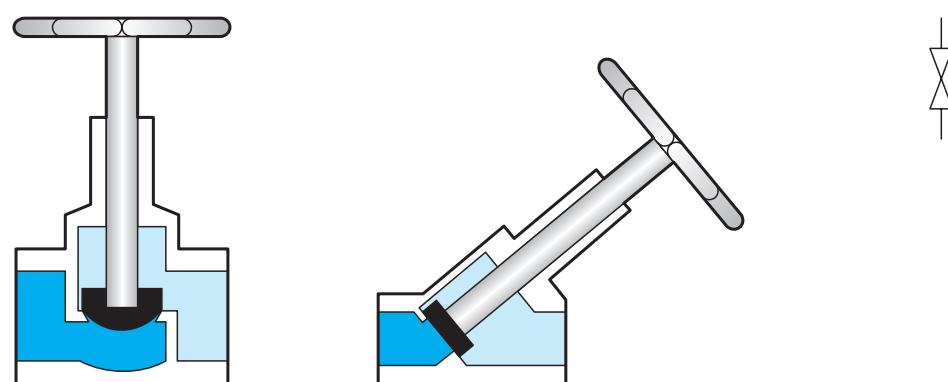


Fig. 6.6: Válvulas de cierre – Dibujos en sección y símbolo

### 6.2 Válvula reguladora de caudal

Las válvulas reguladoras modifican el flujo de aire comprimido en ambos sentidos. Una válvula estranguladora es una válvula reguladora de caudal.

#### 6.2.1 Válvula estranguladora

Por lo general, las válvulas estranguladoras pueden regularse. Esa regulación puede mantenerse fijamente. Las válvulas estranguladoras se utilizan para regular la velocidad de los cilindros. Debe tenerse en cuenta que una válvula estranguladora nunca está cerrada completamente.

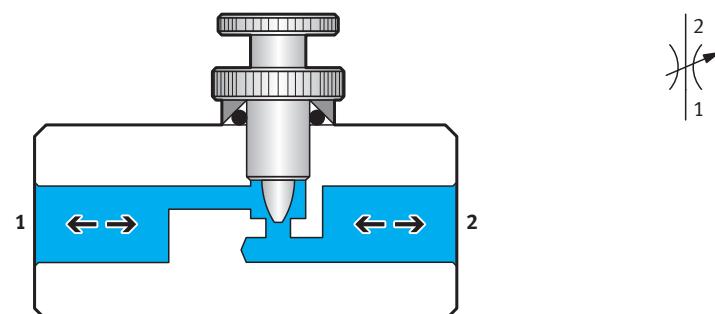


Fig. 6.7: Válvula estranguladora – Dibujo en sección y símbolo

Propiedades de las válvulas estranguladoras:

- **Válvula estranguladora**  
El tramo de estrangulación es mayor que el diámetro de la válvula.
- **Válvula de diafragma:**  
El tramo de estrangulación es menor que el diámetro de la válvula.

### 6.2.2 Válvulas de estrangulación y antirretorno

En el caso de una válvula con efecto de estrangulación y antirretorno, la estrangulación únicamente surte efecto en un sentido. La válvula cierra el paso del aire en un sentido y, además, el aire únicamente puede fluir a través de la sección abierta regulada. Al abrirse la válvula antirretorno, el aire puede fluir libremente en el sentido opuesto. Estas válvulas se utilizan para regular la velocidad de cilindros neumáticos. Es recomendable montar estas válvulas lo más cerca posible de los cilindros.

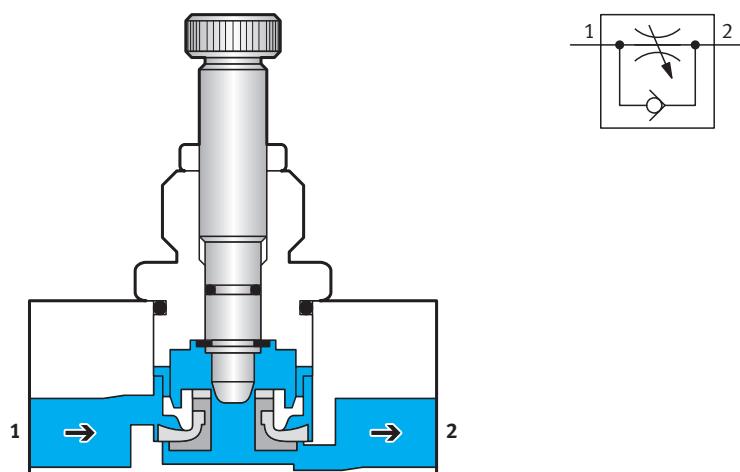


Fig. 6.8: Válvula de estrangulación y antirretorno – Dibujo en sección y símbolo

En principio, existen dos tipos de estrangulación para cilindros de doble efecto:

- Estrangulación del aire de alimentación
- Estrangulación del aire de escape

### 6.2.3 Estrangulación del aire de alimentación

Para estrangular el aire de alimentación, las válvulas reguladoras de caudal se montan de tal modo que se estrangula el flujo de aire hacia el cilindro. El aire de escape sale libremente al exterior en el lado de escape de la válvula reguladora. Cualquier oscilación de la carga (por ejemplo, al sobrepasar un detector de posición), redundaría 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. Por ello, la estrangulación del aire de alimentación se suele utilizar en combinación con cilindros de simple efecto y de pequeño volumen.

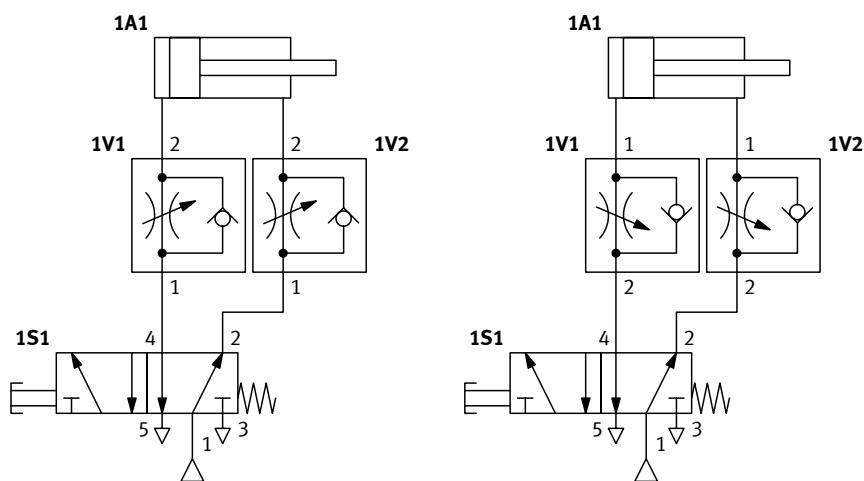


Fig. 6.9: Izquierda estrangulación del aire de alimentación. Derecha: Estrangulación del aire de escape

### 6.2.4 Estrangulación del aire de escape

En el caso de la estrangulación del aire de escape, el aire alimentado fluye libremente hacia el cilindro, mientras que el estrangulador ofrece una resistencia al flujo de aire en el conducto de escape. El émbolo está sujeto entre las dos cámaras de aire, en las que se generó presión por la alimentación de aire y por la resistencia que el estrangulador ofrece al aire de escape. Esta disposición de las válvulas reguladoras logra mejorar considerablemente las características del movimiento de avance. Al utilizar cilindros de doble efecto, se suele utilizar una válvula para estrangular el aire de escape. Tratándose de cilindros pequeños y, por lo tanto, considerando la poca cantidad de aire, debería optarse por un sistema combinado de estrangulación del aire de alimentación y de estrangulación del aire de escape.

### 6.2.5 Utilización de los tipos de estrangulación

Para saber en qué circunstancias utilizar qué tipo de estrangulación, es necesario conocer la carga que soporta el cilindro. Dependiendo de la posición de montaje del cilindro y de la masa móvil, bien puede ser recomendable utilizar una solución que combine los dos tipos de estrangulación.

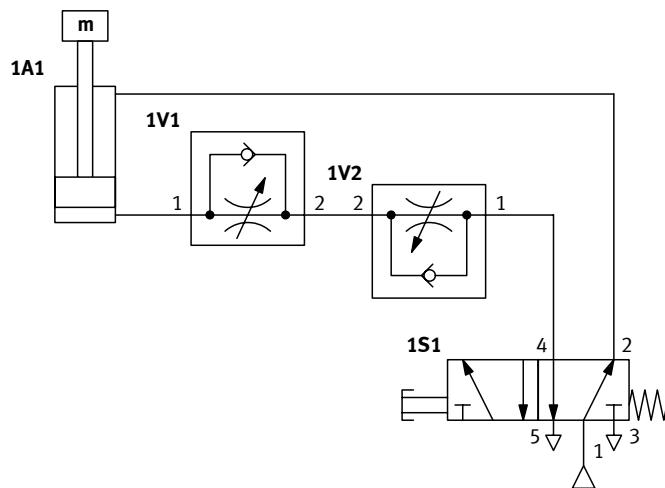


Fig. 6.10: Carga que aplica fuerza de presión; combinación de estrangulación de alimentación y escape

Si el vástago del cilindro ejecuta el movimiento de trabajo ascendiendo verticalmente, la masa constituye una carga que aplica presión. La estrangulación en el lado del vástago tiene como consecuencia un escape retardado del aire. El émbolo del cilindro no se mueve hasta que la fuerza que se aplica en la cámara del lado del vástago es superior a la fuerza que actúa sobre la superficie opuesta más la fuerza que aplica la masa. Ello significa que, en este caso, la estrangulación del aire de escape funciona simplemente como un retardador.

Para que en esta configuración el émbolo se aleje más pronto de su posición final, no se monta una válvula de estrangulación y antirretorno en el lado del vástago. Para que aun así sea posible regular la velocidad del avance, se estrangula adicionalmente la alimentación de aire en el lado del émbolo.

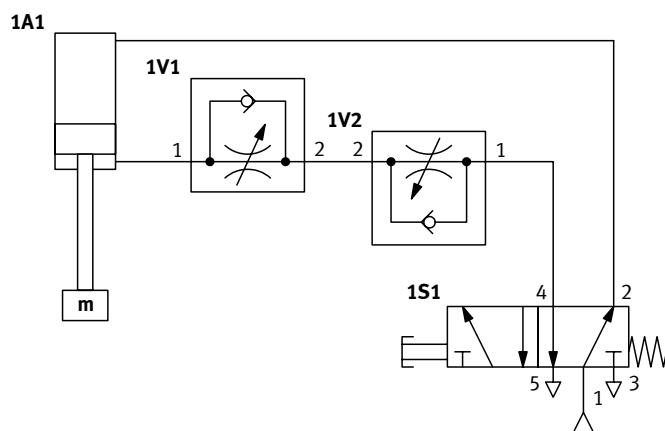


Fig. 6.11: Carga que aplica fuerza de tracción; combinación de estrangulación de alimentación y escape

Si el vástago del cilindro ejecuta el movimiento de trabajo descendiendo verticalmente, la masa constituye una carga que aplica una fuerza de tracción. También en este caso se utiliza una combinación de estrangulación del aire de alimentación y de escape.

### 6.3 Válvula reguladora de presión

Las válvulas reguladoras de presión se utilizan para regular la presión o modificar la magnitud de la presión.

Se diferencia entre tres grupos de válvulas reguladoras de presión:

- Válvula reguladora de presión
- Válvula limitadora de presión
- Válvula de secuencia

#### 6.3.1 Válvula reguladora de presión

La válvula reguladora de presión se utiliza para mantener un nivel constante de presión, aunque oscile la presión en la red. La presión mínima de entrada tiene que ser superior a la presión de salida.

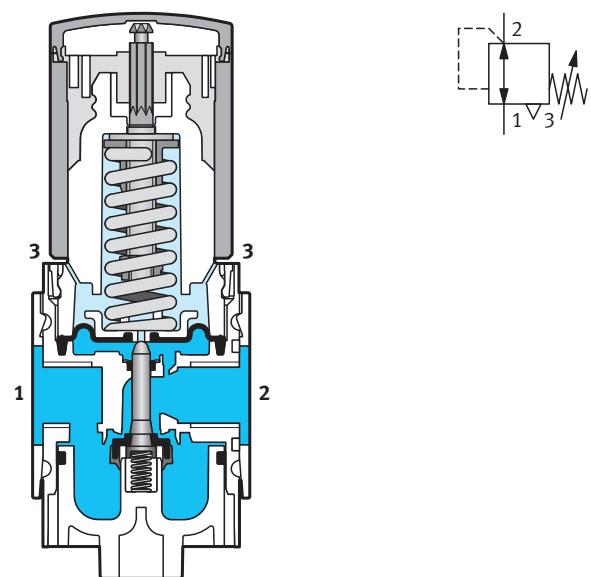


Fig. 6.10: Válvula reguladora de presión – Dibujo en sección y símbolo

#### 6.3.2 Válvula limitadora de presión

Esta válvula se utiliza principalmente como válvula de seguridad (válvula de sobrecarga). Con ella se evita que en el sistema se supere la presión máxima admisible. Si la presión alcanza el valor máximo admisible en la entrada de la válvula, se abre la salida de la válvula para que el aire pueda fluir al exterior. La válvula se mantiene abierta hasta que se vuelve a cerrar por acción del muelle incorporado y según la línea característica de dicho muelle, cuando el nivel de presión vuelve a corresponder a la presión previamente regulada.

### 6.3.3 Válvula de secuencia

Esta válvula funciona de acuerdo al mismo principio de funcionamiento de una válvula limitadora de presión. La válvula se abre cuando se supera la presión que se ajustó previamente en el muelle.

Se bloquea el paso desde 1 hacia 2. La salida 2 abre solamente cuando en la línea de pilotaje 12 se alcanza la presión previamente ajustada. El émbolo abre el paso desde 1 hacia 2.

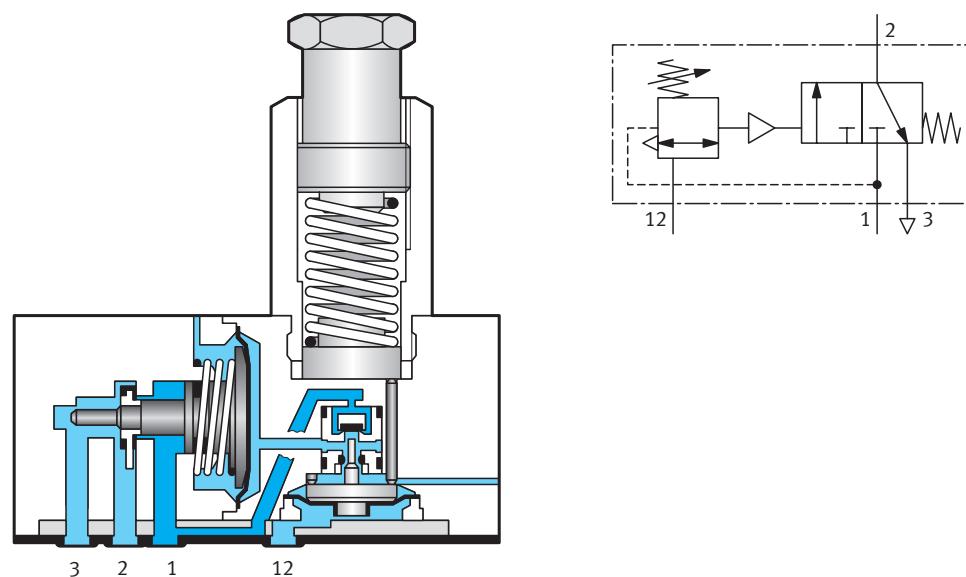


Fig. 6.11: Válvula de secuencia, ajustable – Dibujo en sección y símbolo

Las válvulas de secuencia se utilizan cuando en un sistema neumático es necesario disponer de una determinada presión para ejecutar una operación de comutación (control en función de la presión).

### 6.4 Combinación de válvulas

Es posible formar unidades combinadas recurriendo a válvulas de diverso tipo. Las propiedades y características de estas unidades combinadas están definidas por las válvulas utilizadas. Los símbolos correspondientes están compuestos de los símbolos de cada válvula individual. Las siguientes unidades están incluidas en el grupo de las combinaciones de válvulas:

- Válvula temporizadora: retardo de la retransmisión de las señales
- Bloque de mando neumático: ejecución de movimientos individuales y oscilantes de cilindros de doble efecto
- Válvula de 5/4 vías: detención de cilindros de doble efecto en posiciones indistintas
- Válvula de 8 vías de accionamiento neumático: control de unidades de avance
- Generador de pulsos: ejecución de movimientos rápidos de cilindros
- Ventosa con expulsor: sujetar y expulsar piezas
- Módulo de paso a paso: para el control de tareas secuenciales
- Módulos de memorización de comandos: para activar el inicio según el cumplimiento de condiciones previas

#### 6.4.1 Válvulas temporizadoras

La válvula temporizadora está compuesta de una válvula neumática de 3/2 vías, una válvula de estrangulación y antirretorno y un pequeño depósito de aire comprimido. La válvula de 3/2 vías puede ser de posición normal cerrada o posición normal abierta. El tiempo de retardo normalmente es desde 0 hasta 30 segundos en ambos casos.

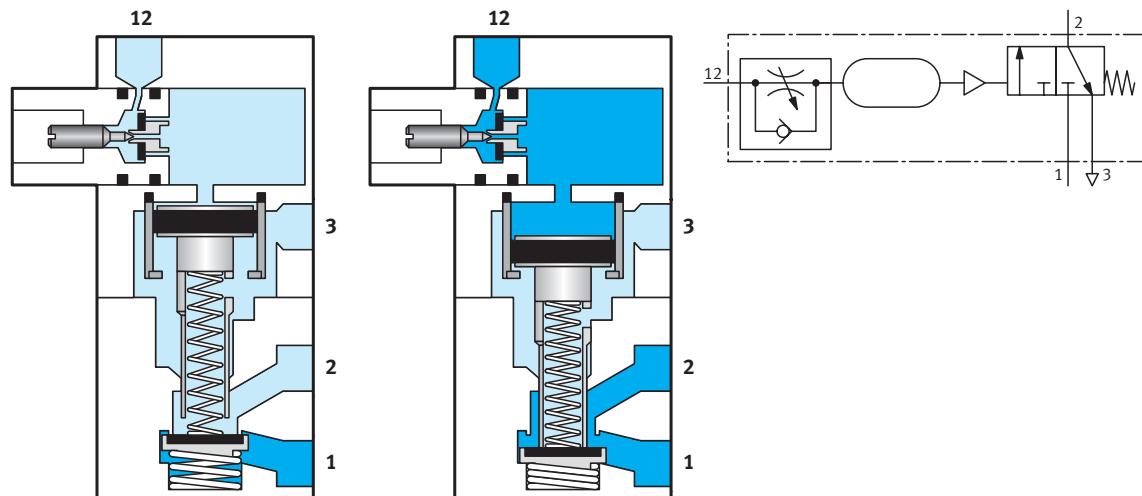


Fig. 6.12: Válvula temporizadora normalmente cerrada. Izquierda: sin activar. Derecha: activada

El tiempo de retardo puede ser mayor si se utilizan depósitos de aire adicionales. El ajuste del tiempo de retardo puede ser muy preciso si el aire comprimido está limpio y si el nivel de presión es constante.

#### Funcionamiento

El funcionamiento que se explica a continuación es válido en el caso de una válvula temporizadora compuesta por una válvula de 3/2 vías con posición normal cerrada.

El aire comprimido se alimenta a la válvula en la conexión 1. El aire de pilotaje llega a la válvula por la entrada 12, y fluye a través de la válvula de estrangulación y antirretorno. La cantidad de aire que fluye al depósito en determinado tiempo depende de la posición del tornillo de estrangulación. Una vez que se generó la presión de pilotaje necesaria en el depósito, desciende el émbolo de la válvula de 3/2 vías, bloqueando el paso desde 2 hasta 3. El plato se eleva de su asiento, por lo que el aire puede fluir desde 1 hacia 2. El tiempo que transcurre hasta que se genera la presión necesaria en el depósito, es el tiempo que determina el punto de comutación.

Para que la válvula temporizada asuma nuevamente su posición inicial, el aire debe salir a través de la conexión de pilotaje 12. El aire contenido en el depósito sale al exterior a través de la válvula de estrangulación y antirretorno y de la conexión de escape de la válvula de señales. El muelle de reposición de la válvula consigue que el émbolo y el plato vuelvan a sus respectivas posiciones iniciales. El aire contenido en 2 escapa a través de 3, mientras 1 se bloquea.

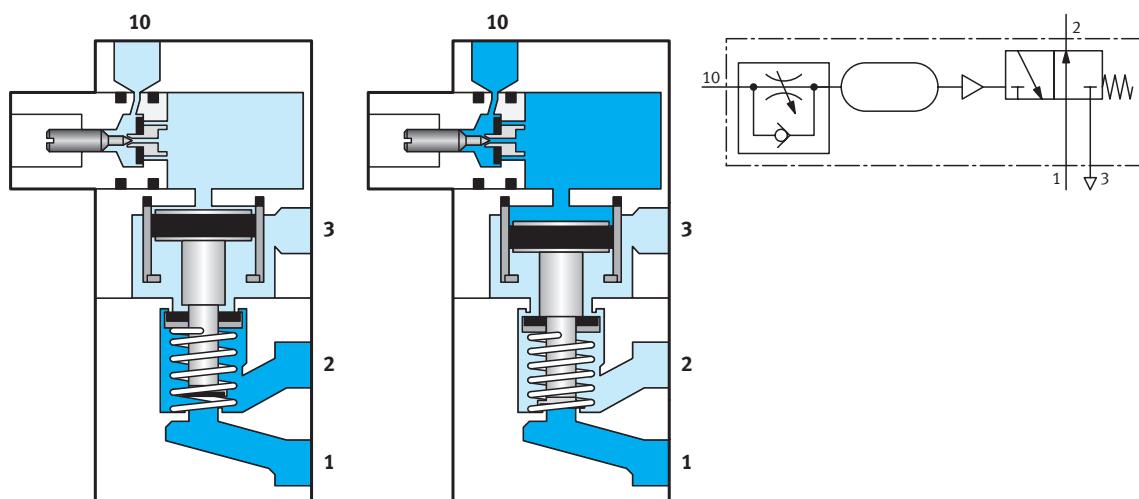


Fig. 6.13: Válvula temporizada normalmente abierta. Izquierda: sin activar. Derecha: activada

Si se monta una válvula de 3/2 vías con posición normal abierta, la salida 2 recibe una señal cuando la válvula se encuentra en su posición normal. Si se activa la válvula mediante una señal en la entrada 10, se produce un escape desde 2 hacia 3, mientras 1 se bloquea. De esta manera, se cancela la señal de salida una vez transcurrido el tiempo que se ajustó antes.

También en este caso, el retardo corresponde al tiempo que transcurre hasta que vuelve a generarse la presión en el depósito de aire comprimido. Si se retira aire en la conexión 10, la válvula de 3/2 vías vuelve nuevamente a su posición normal.

## 7 Terminales de válvulas

Las electroválvulas pueden utilizarse por separado como válvulas individuales, o en combinaciones, por ejemplo en bloques de válvulas o en terminales de válvulas.

Un terminal de válvulas es un bloque de válvulas en el que, adicionalmente, se unen los cables de alimentación eléctricos (mediante conexiones multipolo, de bus de campo o AS-Interfaz).

### 7.1 Medidas para la optimización del funcionamiento de válvulas individuales

El trabajo de desarrollo que se lleva a cabo en relación con válvulas tiene la finalidad de reducir su tamaño y peso, de obtener tiempos de respuesta más cortos y, además, de disminuir el consumo de corriente eléctrica. Estas metas se alcanzan aplicando las siguientes medidas:

- Utilización de bobinas con devanado modificado de menor inductividad. De esta manera, cuando se produce la activación aumenta más rápidamente la corriente que fluye a través de la bobina, por lo que se genera más rápidamente la fuerza necesaria para activar la primera fase. Tras la operación de conmutación, la bobina de la válvula reduce la corriente electrónicamente, de manera que el servopilotaje de la electroválvula pueda aplicar la fuerza justa necesaria para mantener el estado de activación, actuando en contra de la fuerza del muelle de reposición. De esta manera, el consumo de corriente eléctrica es mucho menor en esta fase. Dado que la fase de mantenimiento dura mucho más que la fase de conmutación, se necesita mucho menos energía eléctrica para la activación de la bobina.
- Las válvulas de vías se optimizan en relación con su volumen muerto, la fuerza de accionamiento y la masa móvil. De este modo se consigue que la válvula responda rápidamente.
- En su interior, el cuerpo tiene una configuración aerodinámica, con el fin de obtener un gran caudal.
- El grosor de la pared del cuerpo se reduce lo más posible, con el fin de minimizar las dimensiones y el peso.

### 7.2 Ventajas de válvulas individuales optimizadas

Una electroválvula optimizada ofrece las siguientes ventajas:

- Mayor dinamismo (tiempos de respuesta más cortos, gran caudal)
- Menor consumo de aire comprimido (debido al menor volumen entre la válvula y el actuador)
- Menor costo de la unidad de alimentación eléctrica (porque el consumo de corriente es menor)
- Menor espacio necesario para el montaje y menor peso

### 7.3 Válvulas optimizadas, montaje en bloque

Los módulos de bloques de válvulas que se muestran en la imagen, tienen fugas mínimas, dimensiones muy compactas y, además, tienen una buena relación precio/rendimiento. Un bloque incluye lo siguiente:

- Módulos de válvulas de vías
- Módulos para la conexión neumática
- Módulos para la conexión eléctrica

La Fig. 7.1 muestra un módulo de válvulas de vías optimizado, para el montaje en bloque. Varios de estos módulos se montan entre dos placas ciegas. El aire comprimido se alimenta a través de una de las dos placas frontales (Fig. 7.1), o a través de un módulo de conexiones que se encuentra en la parte inferior (Fig. 7.2).



Fig. 7.1: Estructura modular de un bloque de válvulas. Izquierda: módulo de válvula. Derecha: alimentación de aire y montaje del silenciador en una de las placas frontales

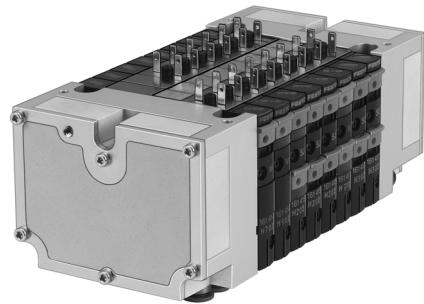


Fig. 7.2: Estructura modular de un bloque de válvulas: alimentación de aire en la parte inferior, silenciadores en los extremos laterales

#### 7.4 Conexión eléctrica de bloques de válvulas

Los contactos eléctricos de los bloques de válvulas se encuentran en la parte superior. De este modo es posible obtener diversos cableados para las bobinas, utilizando módulos diferentes de conexiones eléctricas:

1. Sin un módulo de conexiones eléctricas adicional, cada bobina se conecta mediante un conector con cable propio.
2. Módulo para la conexión multipolo: Todas las bobinas de un terminal de válvulas se conectan mediante un mismo conector múltiple.
3. Módulo para conexión de bus de campo: Todas las bobinas de un terminal de válvulas se conectan mediante una misma interfaz de bus de campo.
4. Módulo para la conexión de la interfaz actuador/sensor Todas las bobinas de un terminal de válvulas se conectan a las dos interfaces para conectar el bus actuador/sensor.

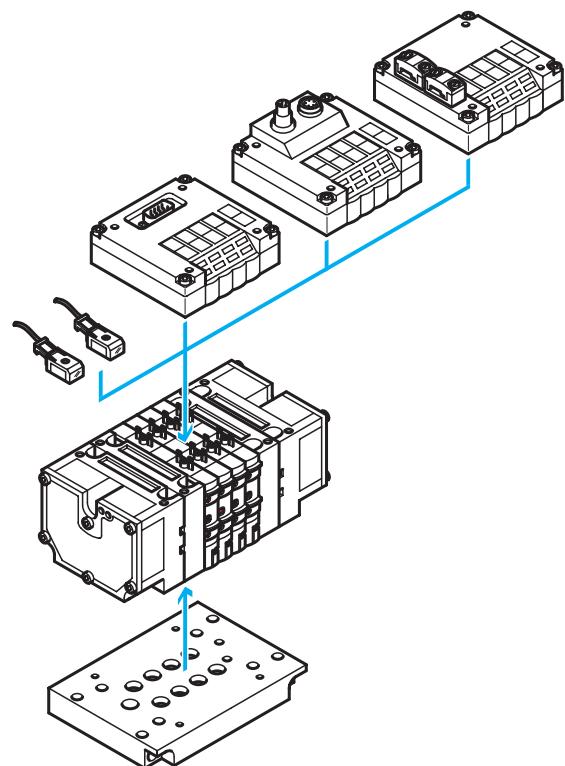


Fig. 7.3: Conexión eléctrica de bloques de válvulas o terminales de válvulas;  
de izq. a der.: conexión convencional con conector tipo clavija por separado para cada bobina, conexión multipolo, conexión de bus de campo, interfaz actuador/sensor

## 7.5 Conceptos de instalación modernos

En el cableado convencional, todos los componentes de un sistema de control electroneumático se conectan mediante regletas de bornes. Para conectar las bobinas y los sensores se necesita una caja de bornes por separado. En estas condiciones, la instalación eléctrica es bastante complicada.

### 7.5.1 Ventajas de los conceptos de instalación modernos

Los componentes modernos utilizados actualmente en la electroneumática, permiten efectuar el montaje combinado de válvulas en terminales de válvulas. Los contactos de las bobinas se conectan directamente a los zócalos de conexión del terminal. Los sensores quedan unidos con el módulo de entrada mediante un conector tipo clavija. Este conector puede estar montado por separado, o bien puede estar integrado en el terminal. Esta solución ofrece las siguientes ventajas:

- No es necesario disponer de una caja de bornes y de las correspondientes regletas de bornes.
- Es posible sustituir válvulas y sensores defectuosos sin necesidad de desconectar y volver a conectar.
- El cableado es más sencillo.

### 7.5.2 Componentes de control, para la instalación más sencilla

En las siguientes imágenes se muestran dos ejemplos de componentes de control modernos.

- La Fig. 7.4 muestra un terminal de válvulas y un módulo de entradas, al que se conectan los sensores mediante conectores tipo clavija. Los dos componentes están unidos entre sí mediante un cable de bus de campo.
- La Fig. 7.5 muestra un terminal que incluye válvulas, conexiones para sensores y PLC.

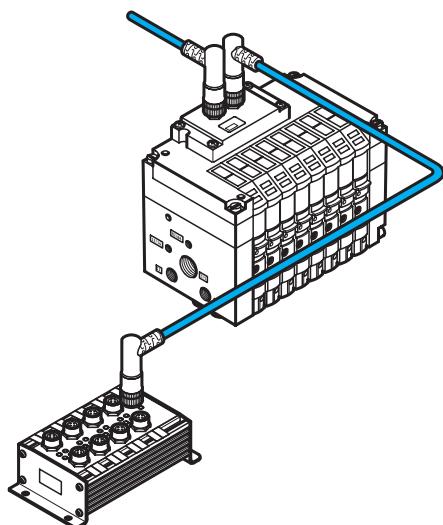
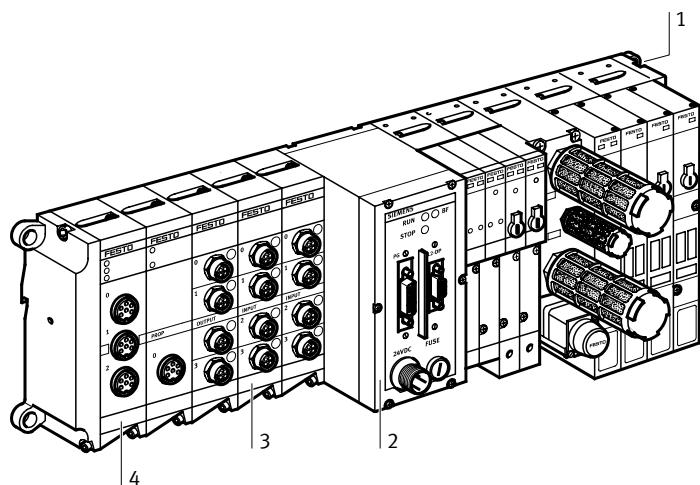


Fig. 7.4: Componentes de control, para una instalación más sencilla: terminal de válvulas y módulo separado para la conexión de los sensores

### 7.5.3 Terminal de instalación

Un terminal de válvulas provisto de funciones complementarias (por ejemplo, PLC integrado o módulo integrado de conexión de sensores) se llama terminal de instalación. En este texto se utiliza el término terminal de válvulas, más conocido y difundido.



1: Salidas neumáticas 2: PLC 3: Unidad para la conexión de sensores 4: Salidas eléctricas

Fig. 7.5: Componentes de control, para una instalación más sencilla: terminal de válvulas con unidad integrada de conexión de sensores y con PLC integrado

### 7.5.4 Cableado con conexión multipolo

Tratándose de un terminal de válvulas con conexión multipolo, todas las conexiones eléctricas del terminal de válvulas están unidas en un conector tipo clavija de múltiples contactos (Fig. 7.3). El cable que lleva hacia la regleta de bornes montada en el armario de maniobra, se conecta al multipolo mediante el correspondiente conector tipo clavija. Es posible conectar varios terminales de válvulas con conexión multipolo a la regleta de bornes del armario de maniobra.

### 7.5.5 Estructura de un sistema de bus de campo

La Fig. 7.6 muestra la estructura de un sistema de bus de campo en el sector de la electroneumática.

- El control lógico programable y los terminales de válvulas disponen, cada uno, de una interfaz para su conexión al bus de campo. Cada interfaz está compuesta por una conexión emisora y de una conexión receptora.
- El bus de campo transmite las señales entre el PLC y los terminales de válvulas.

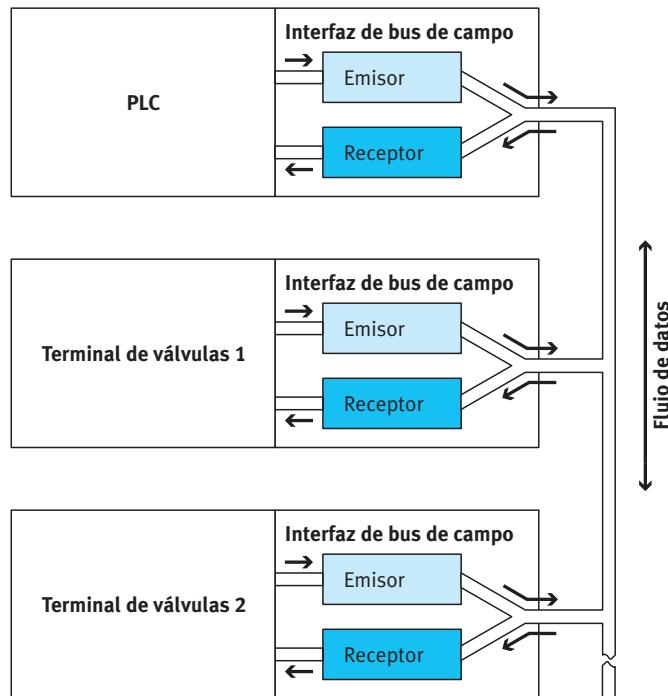


Fig. 7.6: Estructura de un sistema de bus de campo en la electroneumática

La energía necesaria para el funcionamiento de las válvulas y sensores se transmite a través del mismo cable.

### 7.5.6 Funcionamiento de un sistema de bus de campo

El intercambio de datos entre el PLC y el terminal de válvulas se produce de la siguiente manera:

- Si, por ejemplo, debe activarse la bobina de una válvula, el PLC transmite una serie de señales binarias a través del bus de campo. El terminal identifica la secuencia de señales y, por lo tanto, sabe qué bobina debe activarse. A continuación, ejecuta el comando.
- Si el sensor cambia su estado, el terminal de válvulas o el módulo de conexión de sensores emite una secuencia de señales y las transmite al control lógico programable. El PLC detecta el cambio y lo considera al procesar el programa.

Además del estado de las entradas y salidas, se intercambian otros datos a través del bus de campo. Por ejemplo, para evitar que el PLC y un terminal o dos terminales transmitan señales al mismo tiempo.

También es posible conectar entre sí los PLC de dos sistemas de control electroneumáticos a través de un sistema de bus de campo. De este modo, los dos PLC pueden intercambiar señales entre sí.

### 7.5.7 Tipos de buses de campo

Existen numerosos tipos de buses de campo. Criterios de diferenciación:

- La forma de codificar y descodificar la información
- El tipo de conexión eléctrica
- La velocidad de transmisión

Los sistemas de bus de campo pueden clasificarse en buses específicos de empresas y buses abiertos, utilizados por varios fabricantes de controles lógicos programables (por ejemplo: Profibus). Los terminales de válvulas y los módulos de conexión de sensores son compatibles con una gran cantidad de sistemas de bus de campo. Únicamente se pueden combinar sistemas de control y terminales de válvulas concebidos para el mismo bus de campo.

## 8 Neumática proporcional

Aplicaciones principales de la neumática proporcional:

- Regulación continua de presiones y fuerzas
- Regulación continua de caudales y velocidades
- Posicionamiento con actuadores controlados numéricamente (por ejemplo, en aplicaciones de técnica de manipulación)

### 8.1 Reguladores de presión proporcionales

#### 8.1.1 Función de una válvula proporcional, reguladora de presión

Una válvula proporcional reguladora de presión convierte la tensión eléctrica (señal de entrada) en presión (señal de salida). La presión en la salida de la unidad consumidora puede regularse de modo continuo desde 0 kPa hasta una presión máxima determinada (por ejemplo: 600 kPa).



Fig. 8.1: Válvulas proporcionales, reguladoras de presión, de diversos diámetros nominales

### 8.1.2 Aplicación de una válvula proporcional, reguladora de presión

En la Fig. 8.2 se muestra un equipo para probar la resistencia de sillas de oficina. Con el fin de comprobar la duración del muelle del respaldo, se aplica una fuerza que cambia periódicamente. La fuerza máxima y la aplicación de fuerza en el transcurso del tiempo puede variar, de modo que es posible ejecutar diversos ciclos de pruebas. En la Fig. 8.2 también se aprecian dos posibles evoluciones de la fuerza en función del tiempo.

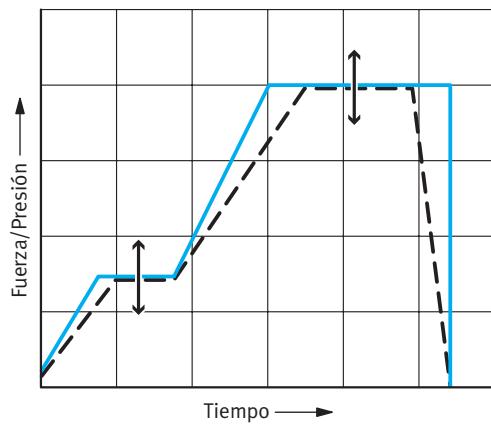
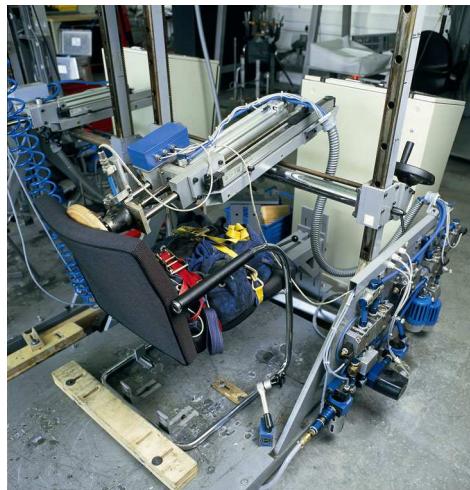


Fig. 8.2: Banco de pruebas para sillas de oficina. Izquierda: configuración de la prueba. Derecha: fuerza en función del tiempo

### 8.1.3 Control del banco de prueba

El control electroneumático del banco de prueba funciona de acuerdo con el siguiente principio:

- Un control lógico programable que, además, puede procesar señales analógicas, emite una señal en forma de tensión eléctrica, equivalente a un valor nominal de la presión.
- La válvula proporcional reguladora de presión genera en su salida una presión. Esta presión es proporcional a la tensión eléctrica (baja tensión = baja presión; alta tensión = alta presión).
- La salida de la válvula proporcional hacia la unidad consumidora está unida a la cámara del cilindro. Una alta presión en la salida de la válvula proporcional redonda en una gran fuerza del cilindro, mientras que una baja presión en la salida de la válvula significa que el émbolo aplica una fuerza menor.

Si aumenta la tensión en la salida del PLC, la válvula proporcional aumenta la presión en la cámara del cilindro. Así aumenta la fuerza que aplica el émbolo. Si disminuye la tensión en la salida del PLC, la válvula proporcional reduce la presión en la cámara del cilindro. Así disminuye la fuerza que aplica el émbolo.

#### 8.1.4 Esquema de distribución de una válvula proporcional, reguladora de presión

La Fig. 8.3 muestra el esquema de distribución de una válvula proporcional, reguladora de presión. La válvula tiene una conexión de aire comprimido, una conexión hacia la unidad consumidora y una conexión de escape. Las dos conexiones eléctricas tienen las siguientes funciones:

- La entrada de señales de la válvula se conecta a la salida analógica de la unidad de control eléctrica.
- En la salida de señales de la válvula puede obtenerse una señal eléctrica analógica que corresponde a la presión existente en la salida de la unidad consumidora. Para que funcione la válvula, no es necesario conectar esa salida.

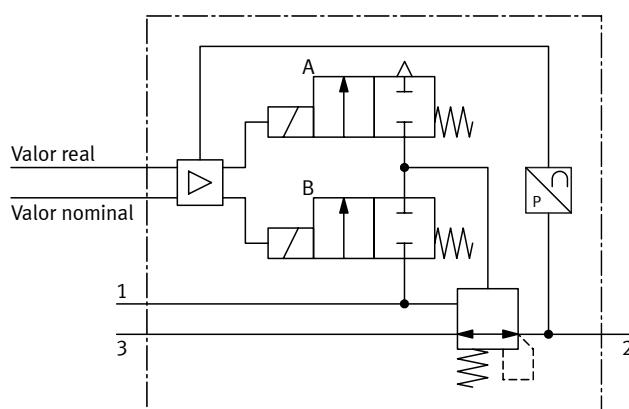


Fig. 8.3: Válvulas proporcionales reguladoras de presión: esquema de distribución

#### 8.1.5 Funcionamiento de una válvula proporcional, reguladora de presión

La presión existente en la salida de la unidad consumidora se mide con un sensor de presión. El valor medido se compara con el valor nominal de la presión.

- Si el valor nominal de la presión es superior a valor real de la presión, se abre la válvula A (Fig. 8.3). Así aumenta la presión en la parte superior del regulador de presión. En consecuencia, se establece una conexión entre la unidad consumidora y la conexión de alimentación de aire comprimido. El aire comprimido fluye hacia la conexión de la unidad consumidora. La presión aumenta en la conexión de la unidad consumidora. Se equilibra la presión en ambas superficies del regulador, por lo que éste vuelve a su posición inicial. La válvula se cierra cuando la presión alcanza el valor definido previamente.
- Si el valor nominal de la presión es inferior a valor real de la presión, se abre la válvula B. Así disminuye la presión en la parte superior del regulador de presión. En consecuencia, se establece una conexión entre la unidad consumidora y la conexión de escape. La presión disminuye en la conexión de la unidad consumidora, y el regulador de presión vuelve a su posición inicial.

En la Fig. 8.4 se aprecia el recorrido de la presión en la conexión de la unidad consumidora, suponiendo tres tensiones de entrada diferentes, pero constantes. La válvula se encarga de mantener constante la presión en un margen muy amplio, independientemente del caudal. La presión únicamente disminuye si el caudal es muy grande.

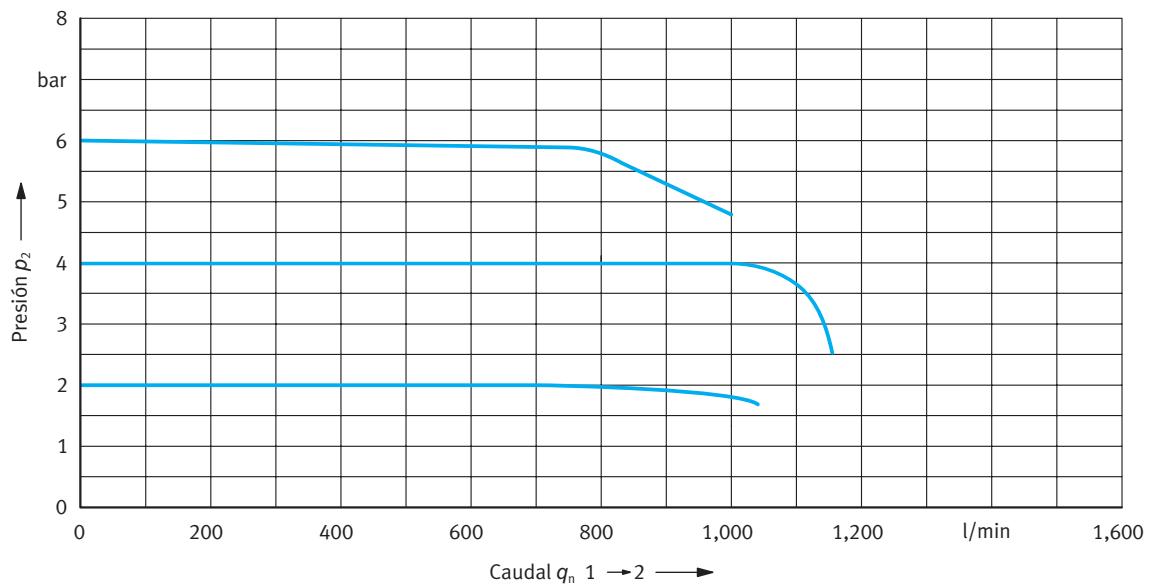


Fig. 8.4: Válvulas proporcionales reguladoras de presión: líneas características de la presión y del caudal;  $p_2$  = presión de salida

## 8.2 Válvulas distribuidoras proporcionales

### 8.2.1 Función de una válvula proporcional

Una válvula distribuidora proporcional, combina las propiedades de una válvula conmutadora de accionamiento eléctrico y una válvula estranguladora de ajuste eléctrico. Las uniones entre las conexiones de las válvulas se puede abrir y cerrar. El caudal puede regularse desde cero hasta un valor máximo.



Fig. 8.5: Válvulas distribuidoras proporcionales con diferentes diámetros nominales

### 8.2.2 Utilización de una válvula proporcional

Con una válvula distribuidora proporcional puede modificarse de manera continua el caudal de la válvula y, por lo tanto, la velocidad de los movimientos que ejecuta el vástago de un cilindro neumático. De esta manera se puede optimizar el comportamiento del cilindro, de modo que es posible conseguir altas velocidades, aunque con fases suaves de aceleración y de frenado (Fig. 8.6). Una posible aplicación consiste en el transporte de piezas sensibles (por ejemplo, en la industria alimentaria).

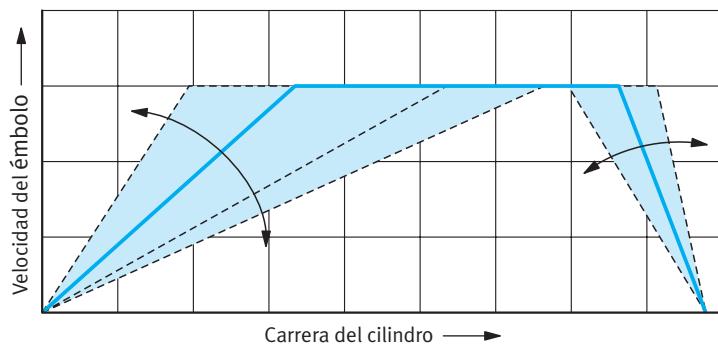


Fig. 8.6: Válvulas distribuidoras proporcionales: ejemplos de curvas de velocidad

### 8.2.3 Esquema de distribución de una válvula proporcional

La Fig. 8.7 muestra el esquema de distribución de una válvula distribuidora proporcional de 5/3 vías. Dependiendo de la señal analógica eléctrica de entrada (= valor regulable), la válvula asume posiciones de comutación diferentes:

- Señal de entrada inferior a 5 V:  
Las conexiones 1 y 2 y las conexiones 4 y 5 están unidas
- Señal de entrada igual a 5 V:  
Válvula cerrada (en posición central)
- Señal de entrada superior a 5 V:  
Las conexiones 1 y 4 y las conexiones 2 y 3 están unidas

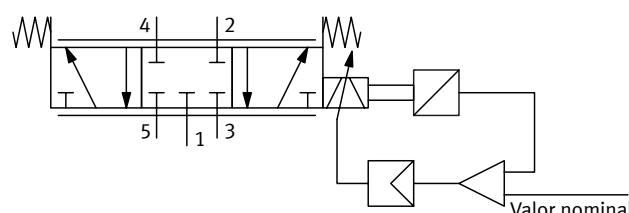


Fig. 8.7: Válvulas distribuidora proporcional: esquema de distribución

#### 8.2.4 Función de indicación de caudal de una válvula proporcional

Adicionalmente, se modifica la abertura de la válvula en función del valor regulable. La relación entre el valor regulable (magnitud de ajuste) y el caudal se describe mediante la función de señal de caudal (Fig. 8.8):

- Señal de entrada igual a 0 V:  
Las conexiones 1 y 2 están conectadas; máximo caudal
- Señal de entrada igual a 2,5 V:  
Las conexiones 1 y 2 están conectadas; caudal reducido
- Señal de entrada igual a 5 V:  
Válvula cerrada
- Señal de entrada igual a 7,5 V:  
Las conexiones 1 y 4 están conectadas; caudal reducido
- Señal de entrada igual a 10 V:  
Las conexiones 1 y 4 están conectadas; máximo caudal

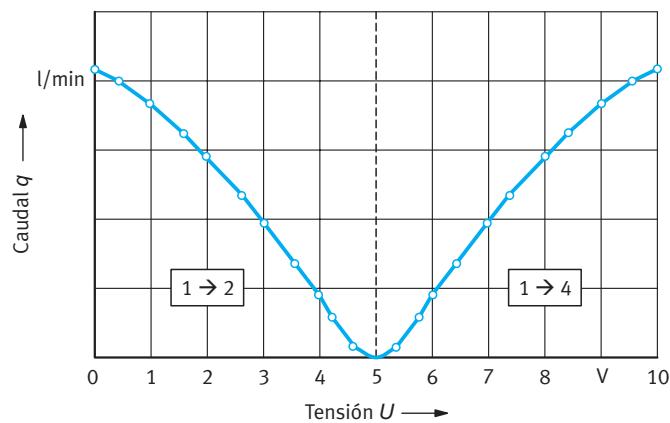


Fig. 8.8: Válvulas distribuidoras proporcionales: línea característica del caudal (función de la señal de caudal)

### 8.3 Actuador neumático de posicionamiento

Los actuadores neumáticos de posicionamiento se utilizan para ejecutar movimientos avanzando hasta varias posiciones, definidas en un programa. Un sistema de regulación de posiciones mantiene inmovilizado al émbolo mediante el aire comprimido contenido en las dos cámaras del cilindro. Ello significa que el émbolo no solamente puede posicionarse en las dos posiciones finales, sino, también, en cualquier parte de la carrera. Dependiendo del tipo de actuador, se puede alcanzar una precisión de posicionamiento de hasta 0,1 mm. Gracias al sistema de regulación de posiciones, es posible mantener una posición determinada aunque se aplique una fuerza en el émbolo.

#### 8.3.1 Utilización de un actuador neumático de posicionamiento

Los actuadores neumáticos de posicionamiento se utilizan, por ejemplo, para la manipulación, la paletización y el montaje de piezas. La Fig. 8.9 muestra un equipo para la clasificación y colocación de bricks de bebidas en cartones de embalaje, utilizando un actuador neumático de posicionamiento.

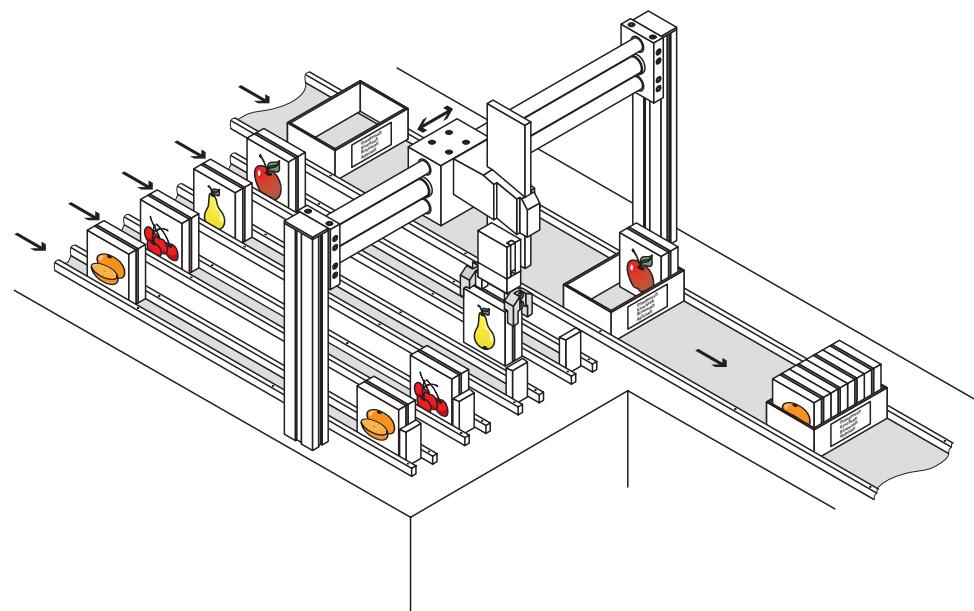


Fig. 8.9: Utilización de un actuador neumático de posicionamiento

#### 8.3.2 Construcción de un actuador neumático de posicionamiento

Un actuador neumático de posicionamiento incluye los siguientes componentes:

- Un control numérico
- Una válvula distribuidora proporcional
- Un cilindro de doble efecto
- Un sistema de medición de recorrido

## 9 Fundamentos de electrotecnia

### 9.1 Corriente continua y corriente alterna

Un circuito eléctrico sencillo está compuesto de una fuente de tensión, una unidad consumidora y de los correspondientes cables.

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.

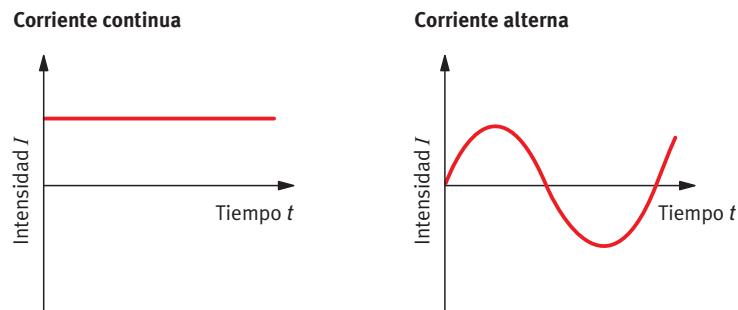


Fig. 9.1: Corriente continua y corriente alterna en función del tiempo

La Fig. 9.2 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).

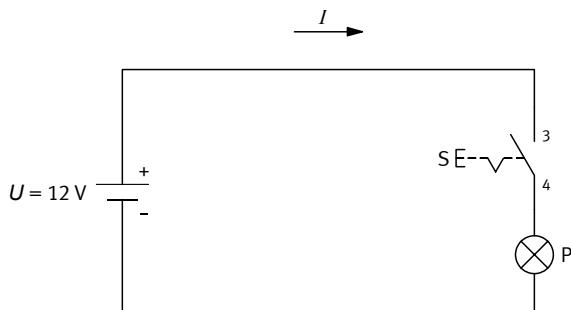


Fig. 9.2: Circuito de corriente continua

### Sentido 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.

### 9.2 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)        |

#### 9.2.1 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.

### 9.2.2 Resistencia eléctrica

Cualquier material 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.

### 9.2.3 Fuente de tensión

En el polo negativo de una fuente de tensión existe un excedente de electrones. En el polo positivo hay escasez de electrones. Debido a esta situación, se produce una tensión en la fuente.

## 9.3 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, 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.

$$P = U \cdot I$$

|          |            |                      |
|----------|------------|----------------------|
| <i>P</i> | Potencia   | Unidad: Vatios (W)   |
| <i>U</i> | Tensión    | Unidad: Voltios (V)  |
| <i>I</i> | Intensidad | Unidad: Amperios (A) |

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

Alimentación de tensión continua de 24 V a la bobina de una válvula de 5/2 vías. La resistencia de la bobina es de 60 Ω. ¿A cuánto asciende el consumo de potencia eléctrica?

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:

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

### 9.4 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.

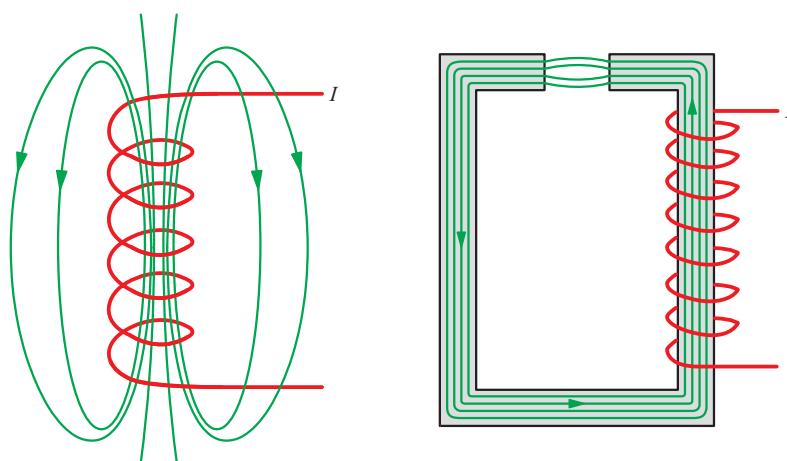


Fig. 9.3: Bobina eléctrica y líneas de fuerza magnética. Izquierda: bobina sin núcleo. Derecha: bobina con núcleo de hierro y entrehierro

#### 9.4.1 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. El campo magnético aumenta debido a las espiras superpuestas, formándose un campo magnético de determinada orientación principal.
- 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.

#### 9.4.2 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.

#### 9.4.3 Resistencia inductiva con tensión alterna

Si se aplica tensión alterna en una bobina, fluye corriente alterna. Esto significa lo siguiente: La corriente y el campo magnético cambian constantemente. Al cambiar el campo magnético, se induce una corriente en la bobina. La corriente inducida se opone a la corriente que genera el campo magnético. Esto significa que la bobina ofrece una resistencia a la corriente alterna. Esta resistencia se llama resistencia inductiva. La resistencia inductiva aumenta en función de la velocidad del aumento de la tensión eléctrica y de la magnitud de la inductancia de la bobina.

La inductancia se expresa en «henrios» (H).

$$1 \text{ H} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = 1 \Omega \text{s}$$

#### 9.4.4 Resistencia inductiva con tensión continua

Tratándose de tensión continua, la corriente, la tensión y el campo magnético únicamente cambian al producirse la conexión. Por ello, la resistencia inductiva únicamente surte efecto en el momento de la conexión.

Además de la resistencia inductiva, una bobina tiene también una resistencia óhmica. Esta resistencia se produce tanto con tensión continua como con tensión alterna.

#### 9.5 Funcionamiento de un condensador eléctrico

Un condensador está compuesto de 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. 9.4), 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, 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 se expresa en «faradios» (F):

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

Si se conecta una unidad consumidora al condensador cargado eléctricamente (se cierra el pulsador S2 en la Fig. 9.4), se produce una compensación de carga. La corriente eléctrica fluye a través de la unidad consumidora hasta que el condensador está completamente descargado.

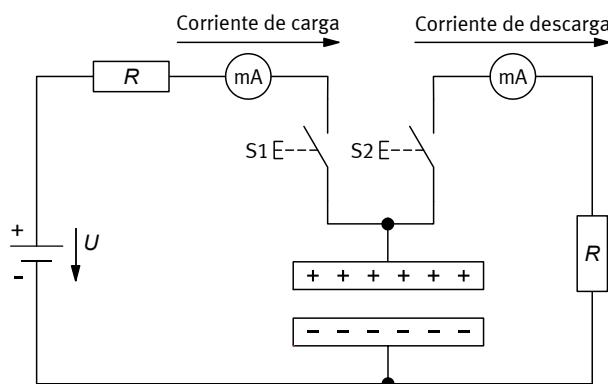


Fig. 9.4: Funcionamiento de un condensador

### 9.6 Funcionamiento de un diodo

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

- En el sentido de paso, la resistencia es mínima, de manera que la corriente eléctrica puede fluir sin trabas.
- En el sentido de bloqueo, 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. Ello significa que la corriente está rectificada.

El efecto que un diodo tiene en la corriente eléctrica puede compararse con el efecto que tiene una válvula antirretorno en el flujo de aire en un circuito neumático.

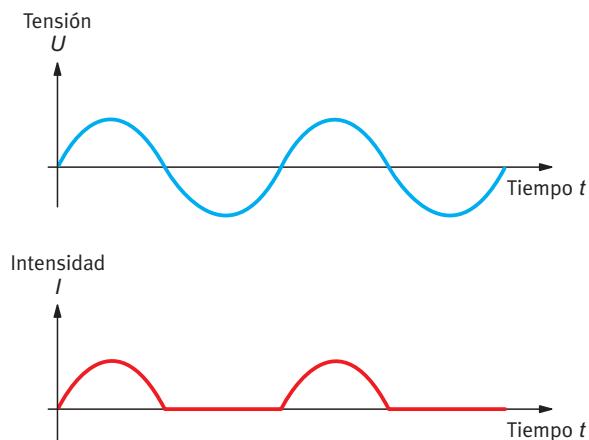
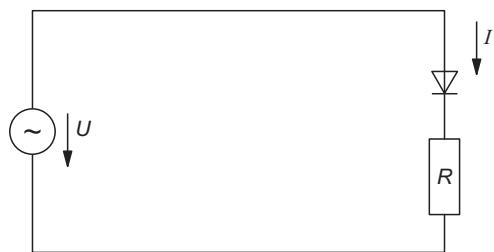


Fig. 9.5: Funcionamiento de un diodo

## 9.7 Mediciones en un circuito eléctrico

### 9.7.1 Definición: Medir

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 cinta métrica) 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.

Únicamente puede medirse correctamente si se ajusta la modalidad de funcionamiento apropiada.

Un aparato para medir la tensión se llama voltímetro; un aparato para medir la intensidad se llama amperímetro.

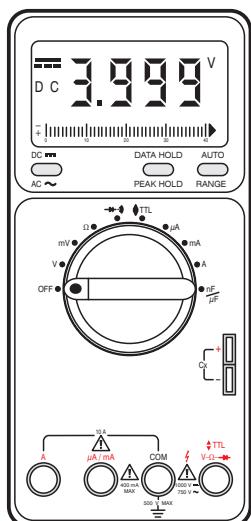


Fig. 9.6: Aparato de medición universal

### 9.7.2 Indicaciones de seguridad

- Antes de efectuar la medición, cerciórese 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!

### 9.7.3 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.

### 9.7.4 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.

La resistencia interna del voltímetro debe ser lo mayor posible.

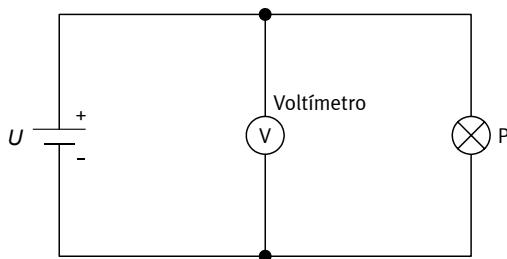


Fig. 9.7: Medición de tensión

### 9.7.5 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.

La resistencia interna del amperímetro debe ser lo menor posible.

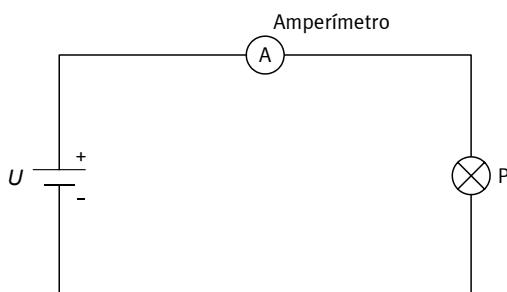


Fig. 9.8: Medición de intensidad

### 9.7.6 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. 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. 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 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!

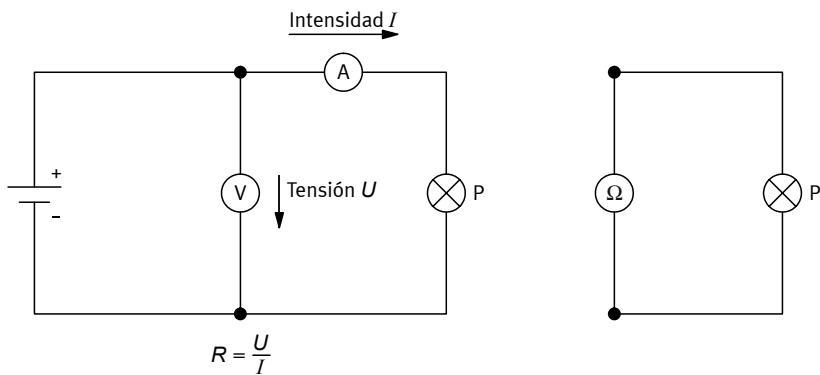


Fig. 9.9: Medición de resistencia. Izquierda medición indirecta. Derecha: medición directa

### 9.7.7 Fuentes de errores en mediciones realizadas en un circuito eléctrico

Los aparatos de medición de tensiones, intensidades y resistencias eléctricas no tienen una precisión ilimitada. Por un lado, el aparato de medición mismo incide en el circuito eléctrico y, por otro lado, ningún aparato de medición muestra resultados totalmente precisos. El margen de error admisible de un aparato de medición se expresa en tanto por ciento del margen de medición del aparato. Por ejemplo, si la clase de precisión de un aparato de medición es de 0,5, ello significa que el error máximo de ese aparato no es superior al 0,5 por ciento de su margen de medición.

**Ejemplo de aplicación: Error**

Medición de la tensión de una batería de 9 V, utilizando un aparato de medición de clase de precisión 1,5. El margen de medición se define una vez con 10 V y otra vez con 100 V. ¿Cuál es el máximo error admisible en cada caso?

| Margen de medición | Error admisible de indicación del aparato de medición | Error porcentual   |
|--------------------|---|--|
| 10 V               | $10 \text{ V} \cdot \frac{1,5}{100} = 0,15 \text{ V}$ | $\frac{0,15 \text{ V}}{9 \text{ V}} \cdot 100 = 1,66 \%$ |
| 100 V              | $100 \text{ V} \cdot \frac{1,5}{100} = 1,5 \text{ V}$ | $\frac{1,5}{9 \text{ V}} \cdot 100 = 16,6 \%$            |

Tabla 9.1: Cálculo del error de indicación de un aparato de medición

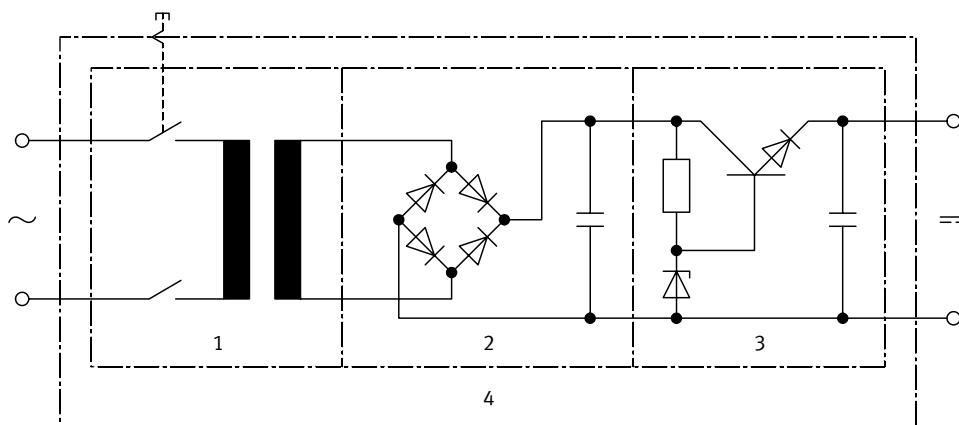
Este ejemplo de cálculo indica con toda claridad que el error admisible de indicación es menor cuanto más pequeño es el margen de medición. Además, así es más sencilla la lectura en el aparato de medición. Ello significa que siempre debería ajustarse el margen de medición más pequeño posible.

## 10 Componentes y módulos de la parte de mando eléctrico

### 10.1 Fuente de alimentación

Las unidades de control electroneumáticas reciben energía alimentada a través de la red eléctrica. Por ello, la unidad de control incluye una fuente de alimentación (Fig. 10.1). 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.



1: Transformador 2: Rectificador 3: Estabilización 4: Fuente de alimentación

Fig. 10.1: Componentes de una fuente de alimentación

### Indicaciones de seguridad

- Considerando la elevada tensión de entrada, las unidades de alimentación son consideradas parte de la instalación de alta intensidad (IEC 60364-1).
- Deberán respetarse las instrucciones de seguridad aplicables a instalaciones de alta intensidad.
- Únicamente personas autorizadas pueden manipular unidades de alimentación.

## 10.2 Pulsador y selector

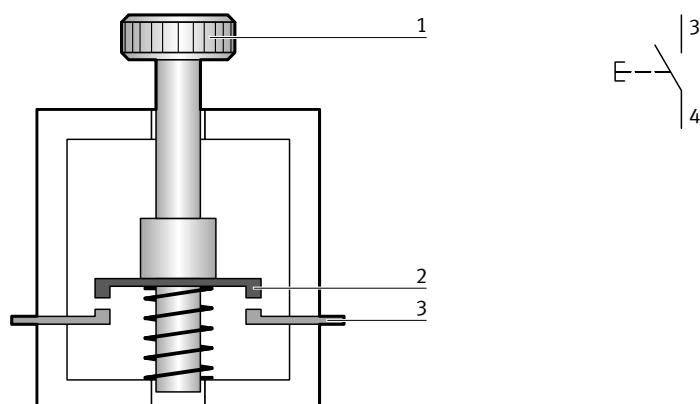
Para alimentar corriente a una unidad consumidora incluida en un circuito eléctrico o para interrumpir el flujo de corriente, se incluyen interruptores en el circuito. Estos interruptores pueden ser pulsadores o selectores.

- 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 selectores, por lo contrario, mantienen su posición de conmutación. Estos interruptores mantienen su posición hasta que son accionados nuevamente. Una aplicación típica de selectores son, por ejemplo, los interruptores de luz en una casa.

### 10.2.1 Contacto normalmente abierto

En el caso de un contacto normalmente abierto, el circuito de corriente está interrumpido mientras el interruptor (pulsador) se encuentra en su posición normal (es decir, mientras no se activa). Presionando el pulsador, se cierra el circuito de corriente, con lo que la corriente fluye hacia 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.

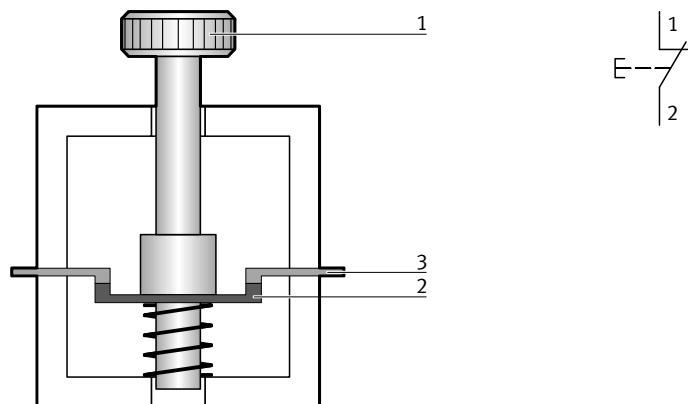


1: Pulsador de accionamiento 2: Elemento de conmutación 3: Contacto

Fig. 10.2: Interruptor de contacto normalmente abierto – Dibujo en sección y símbolo

### 10.2.2 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.

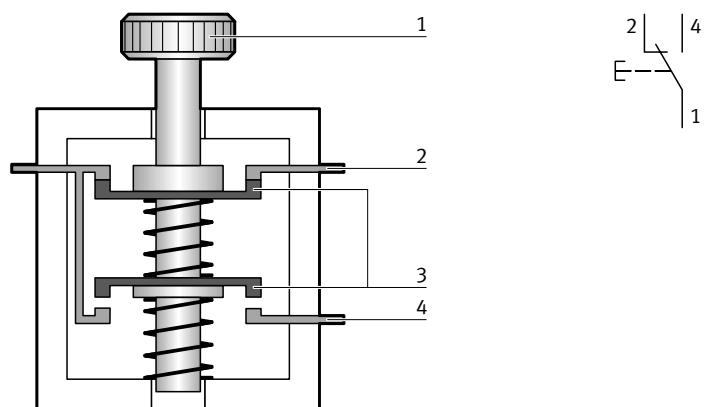


1: Pulsador de accionamiento 2: Contacto 3: Elemento de conmutación

Fig. 10.3: Interruptor de contacto normalmente cerrado – Dibujo en sección y símbolo

### 10.2.3 Contacto conmutador

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



1: Pulsador de accionamiento 2: Contacto normalmente cerrado 3: Elemento de conmutación 4: Contacto normalmente abierto

Fig. 10.4: Comutador – Dibujo en sección y símbolo

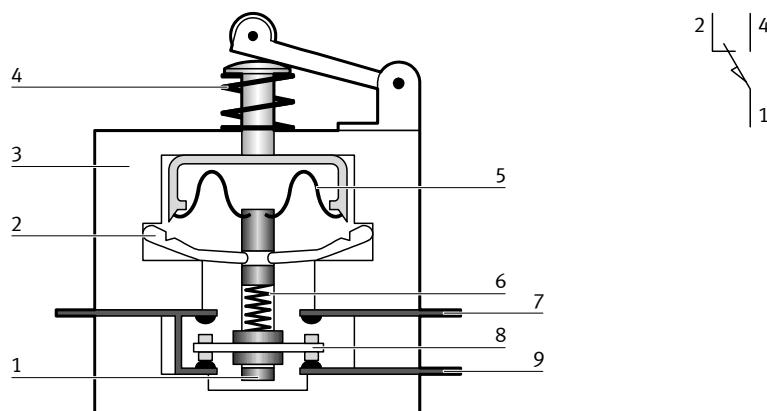
### 10.3 Sensores para detección de posiciones y para control de la presión

Los sensores tienen la función de captar informaciones y de transmitir señales procesables a las unidades de evaluación. En sistemas de control electroneumáticos, los sensores se utilizan principalmente con los siguientes fines:

- En cilindros, para detectar la posición final delantera y posterior del vástago.
- Para comprobar la presencia y la posición de piezas.
- Para medir y vigilar la presión.

#### 10.3.1 Detectores de final de carrera

Cuando la parte de una máquina o una pieza llegan a una determinada posición, se activa un interruptor de posición final. Por lo general, la parte de la máquina o la pieza actúan sobre una leva al llegar a dicha posición. Los detectores de posiciones finales suelen ser interruptores. Dependiendo de las circunstancias, pueden ser de contacto normalmente cerrado, de contacto normalmente abierto o de contacto comutador.



1: Perno de guía 2: Palanca de separación forzada 3: Cuerpo 4: Muelle compresor 5: Muelle de lámina 6: Muelle de contacto  
7: Contacto normalmente abierto 8: Lengüeta de contacto 9: Contacto normalmente cerrado

Fig. 10.5: Interruptor mecánico de final de carrera – Dibujo en sección y símbolo

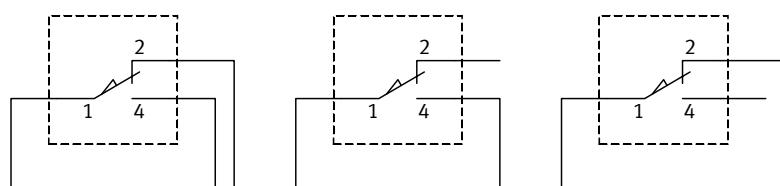


Fig. 10.6: Detector mecánico de final de carrera – Posibles conexiones

### 10.3.2 Detectores de proximidad

A diferencia de los detectores de posiciones finales, los detectores de proximidad funcionan sin contacto y, además, comutan sin aplicación de una fuerza mecánica exterior.

Por ello, los detectores de proximidad tienen una duración mayor y, además, comutan de modo plenamente fiable. Se puede diferenciar entre los siguientes tipos:

- Contacto Reed
- Detectores de proximidad inductivos
- Detectores de proximidad capacitivos
- Detectores de proximidad ópticos

#### Contacto Reed

Los contactos Reed son detectores de proximidad 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 campo magnético se cierra el contacto entre las dos lengüetas, de modo que puede fluir corriente eléctrica.

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

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

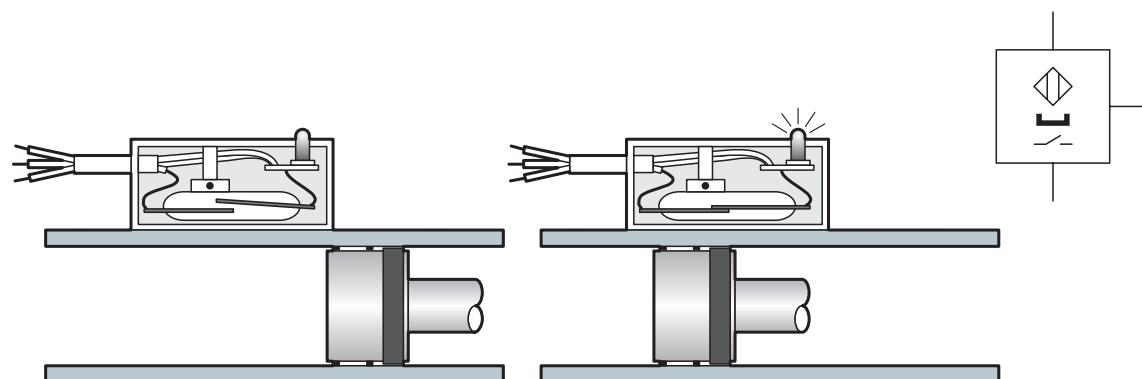


Fig. 10.7: Contacto Reed (normalmente abierto) – Ejemplo de aplicación y símbolo

## Detectores electrónicos

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

## Sensores de conmutación a positivo y a negativo

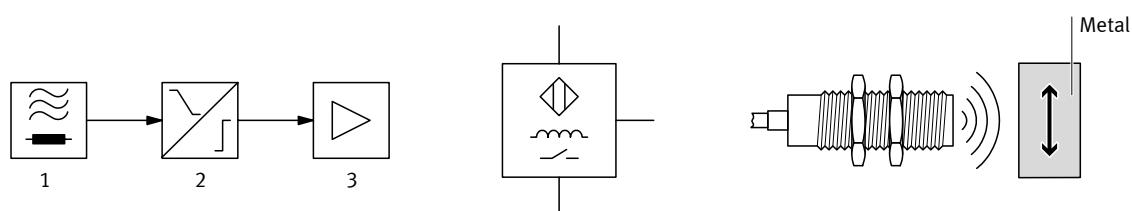
En lo que respecta a la polaridad de la señal de salida, existen dos tipos de sensores electrónicos de posición:

- En el caso de los sensores que conmutan a positivo, la salida tiene la tensión cero si en la zona de reacción del detector no se encuentra una pieza. La aproximación de una pieza provoca la conmutación de la salida, de modo que se aplica tensión de alimentación.
- En el caso de sensores 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.

## Detector de proximidad inductivo

Un detector de proximidad inductivo está compuesto de un circuito oscilante (1), un flip-flop (2) y un amplificador (3). Al aplicar una tensión en las conexiones, el circuito oscilante genera un campo magnético alterno de alta frecuencia en el frente del detector. Si se introduce un conductor eléctrico en este campo alterno, se atenúa la oscilación del circuito. La unidad electrónica conectada detrás, compuesta de flip-flop y amplificador, evalúa el comportamiento del circuito oscilante y activa la salida.

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



1: Circuito oscilante 2: Contacto biestable 3: Amplificador

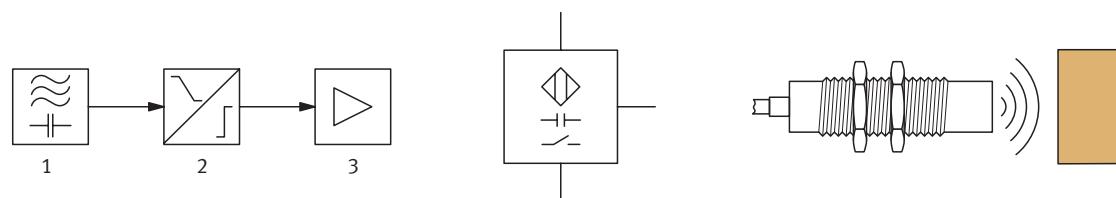
Fig. 10.8: Detector inductivo de proximidad – Principio de funcionamiento, símbolo, esquema funcional

### Detector de proximidad capacitivo

Un detector de proximidad capacitivo consta de una resistencia eléctrica y de un condensador 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.

Por lo tanto, se atenúa la oscilación del circuito. La unidad electrónica montada detrás, activa la salida.

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



1: Circuito oscilante 2: Contacto biestable 3: Amplificador

Fig. 10.9: Detector capacitivo de proximidad – Principio de funcionamiento, símbolo, esquema funcional

### Detector de proximidad óptico

Los sensores ópticos recurren a sistemas ópticos y electrónicos para detectar piezas. Con ese fin se utiliza luz roja o infrarroja. Los diodos luminosos semiconductores (LED) son emisores especialmente fiables de luz roja e infrarroja. Los diodos luminosos son pequeños, robustos, tienen una gran duración y su modulación es sencilla. Los receptores de los detectores ópticos suelen ser fotodioides o fototransistores. La luz roja tiene la ventaja que es visible sin necesidad de usar medios auxiliares, lo que el ajuste de los ejes ópticos de los detectores puede realizarse a simple vista. Además, los conductores de luz de polímero son especialmente apropiados en esta aplicación, ya que la supresión de esta longitud de onda es mínima.

Puede diferenciarse entre tres tipos de detectores ópticos:

- Barrera de luz unidireccional
- Barrera de luz de reflexión
- Detectores por reflexión

### Barrera de luz unidireccional

La barrera de luz unidireccional tiene un emisor y un receptor separados en el espacio. Los componentes se montan de tal manera que la luz emitida cae directamente en la unidad receptora. Si se interrumpe el haz de luz, se activa la salida.

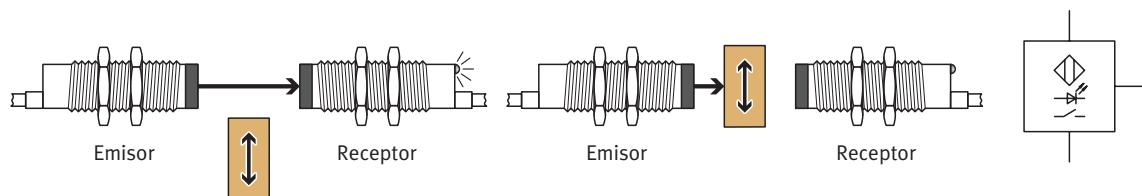


Fig. 10.10: Barrera de luz unidireccional – Esquema de funcionamiento, símbolo

### 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 montaje se realiza de tal manera que el haz de luz emitido por el emisor se refleja casi totalmente hacia el receptor. Si se interrumpe el haz de luz, se activa la salida.

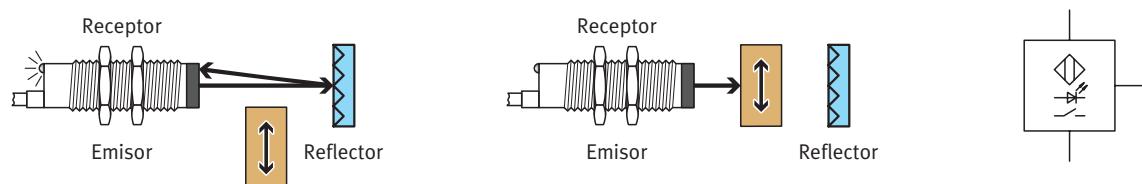


Fig. 10.11: Detector por reflexión – Esquema de funcionamiento, símbolo

### Detectores por reflexión

El emisor y el receptor del detector por reflexión están montados uno junto al otro en un mismo cuerpo. 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).

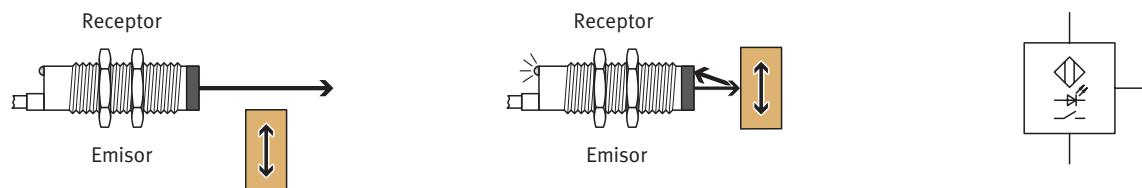


Fig. 10.12: Detector por reflexión – Esquema de funcionamiento, símbolo

## Sensores de presión

Existen diversos tipos de sensores de presión:

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

## Presostatos mecánicos

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 el conjunto de contactos comutadores.

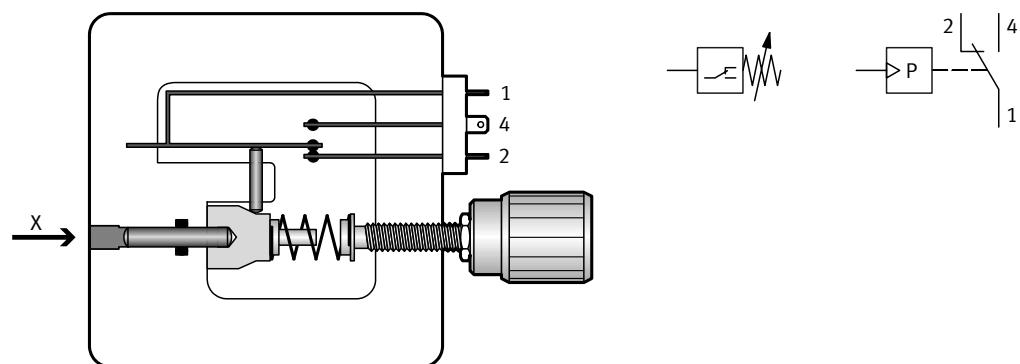


Fig. 10.13: Sensor de presión – Dibujo en sección, símbolos según ISO 1219-1 y EN 60617-2

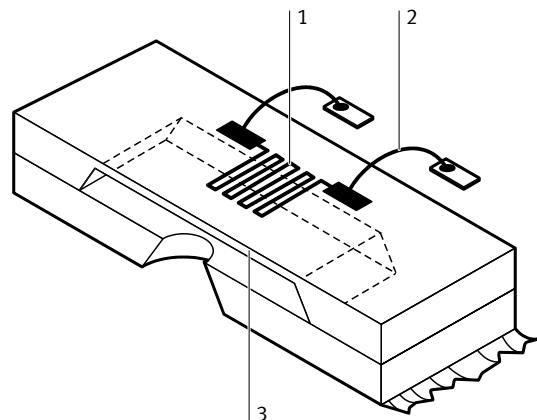
## Presostatos electrónicos

Los presostatos de membrana están adquiriendo una importancia cada vez mayor. En vez del accionamiento mecánico de un contacto, en estos presostatos se activa la salida electrónicamente. 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 determinado, conmuta la salida.

### Sensores de presión analógicos

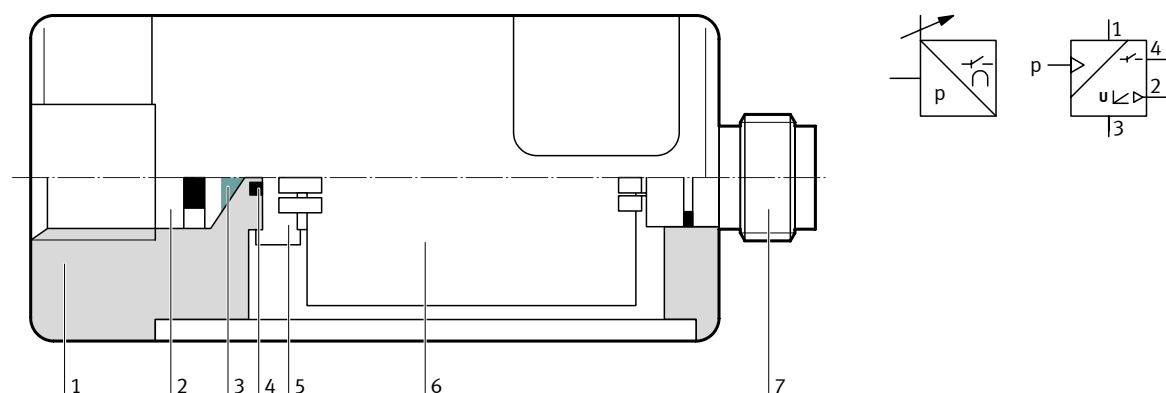
A continuación se explica la construcción y el funcionamiento de un sensor de presión analógico.

La resistencia eléctrica (1) de la célula de medición piezorresistiva cambia su valor cuando una presión actúa sobre la membrana (3). La resistencia está conectada al verificador electrónico a través de los contactos (2). El verificador emite la señal de salida.



1: Resistencias incorporadas 2: Contactos 3: Membrana

Fig. 10.14: Célula de medición de un sensor de presión



1: Cuerpo 2: Diafragma 3: Gel de silicona 4: Junta tórica 5: Célula de medición 6: Amplificador 7: Conector

Fig. 10.15: Presostato de émbolo – Dibujo en sección, símbolos según ISO 1219-1 y EN 60617-2

La línea característica del sensor establece una relación entre la presión y la señal de salida eléctrica. Al aumentar la presión, aumenta la tensión eléctrica en la salida del sensor. Una presión de 1 bar genera una tensión de salida de 1 V; una presión de 2 bar genera tensión de salida de 2 V, etc.

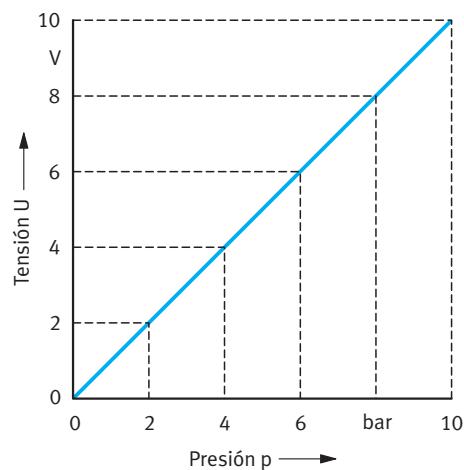
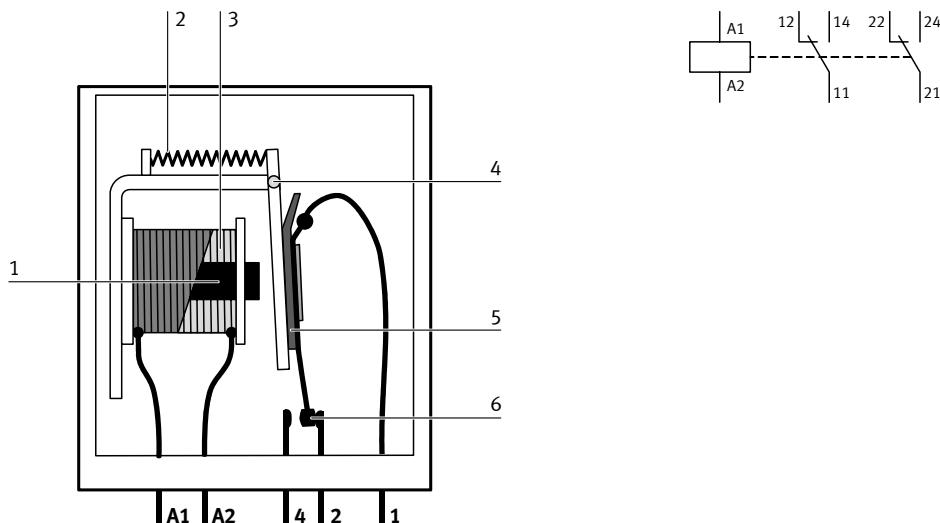


Fig. 10.16: Línea característica de un sensor de presión analógico

## 10.4 Relés y contactores

### 10.4.1 Construcción de un relé

Un relé es un interruptor de accionamiento electromagnético. 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.



1: Núcleo de la bobina 2: Muelle de reposición 3: bobina del relé 4: Inducido 5: Aislamiento 6: Contacto

Fig. 10.17: Relé – Dibujo en sección y símbolo

En la bobina de 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.

#### 10.4.2 Aplicaciones de relés

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

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

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

### 10.4.3 Relés de remanencia

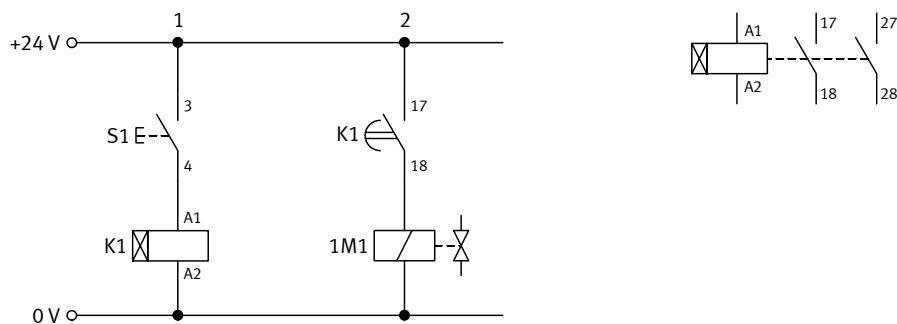
Un relé de adherencia (relé biestable) reacciona a impulsos de corriente eléctrica.

- Si el impulso es positivo, se excita el inducido del relé.
- Si el impulso es negativo, se desexcita el inducido.
- Sin no hay una señal de entrada, el relé mantiene su posición de conmutación.

Un relé de adherencia funciona igual que una válvula neumática biestable, que reacciona frente a impulsos de presión.

### 10.4.4 Relé de temporización

Los relés temporizadores se clasifican en relés con retardo de conexión y relés con retardo de desconexión. En el caso de los relés con retardo de conexión, el inducido reacciona después de transcurrido un tiempo determinado, mientras que la desconexión se produce de inmediato. En el caso de los relés con retardo de desconexión sucede exactamente lo contrario. Los contactos conmutan correspondientemente. Es posible ajustar el tiempo de retardo  $t_v$ .



Tensión en la bobina del relé

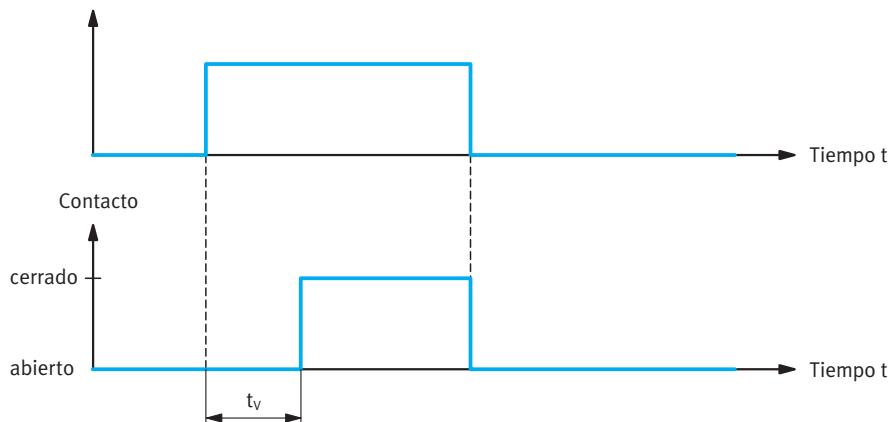
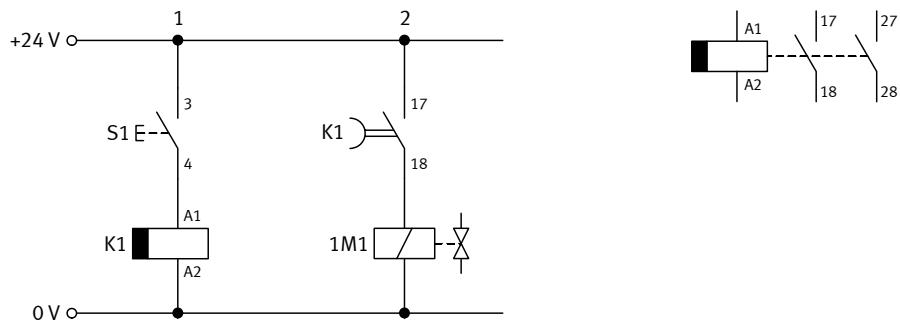


Fig. 10.18: Relé temporizador (retardo de activación) – Esquema de distribución, símbolo y comportamiento según señales



Tensión en la bobina del relé

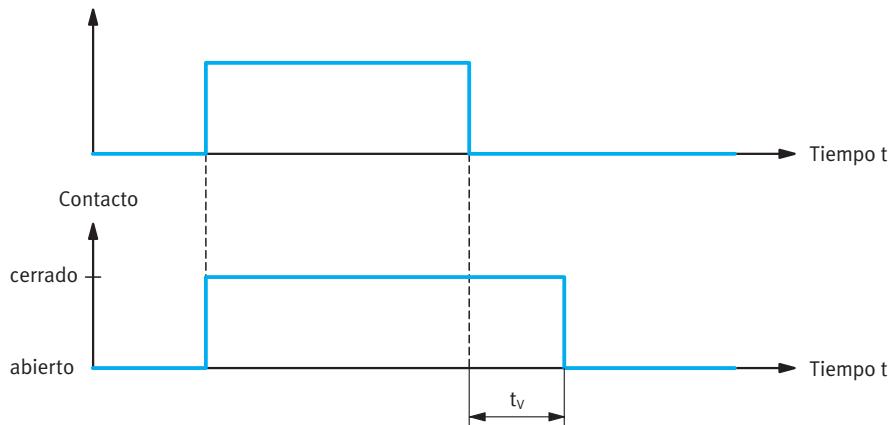


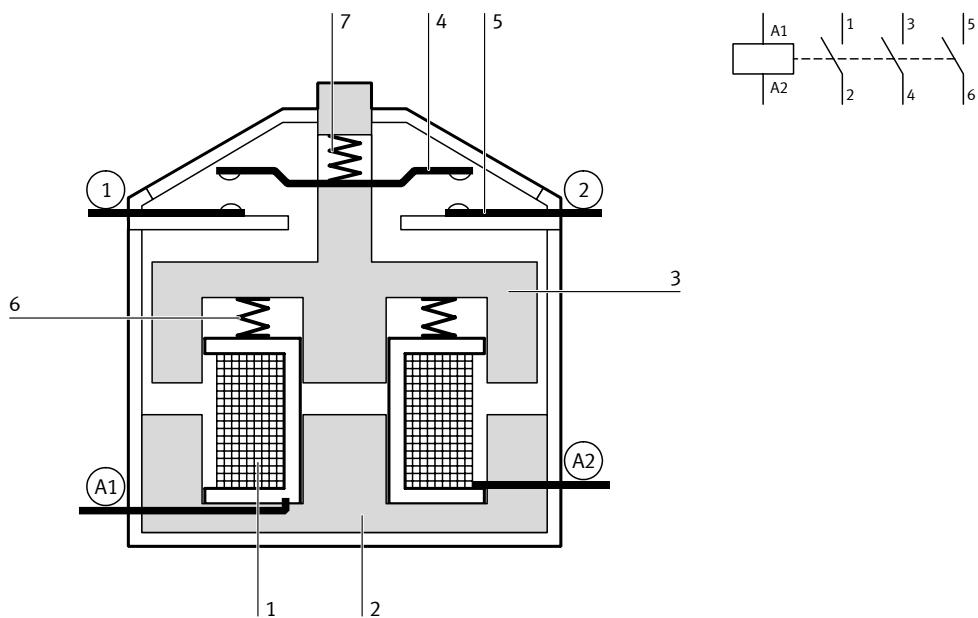
Fig. 10.19: Relé temporizador (retardo de desactivación) – Esquema de distribución, símbolo y comportamiento según señales

## 10.5 Construcción de un contactor

En principio, un contactor funciona igual que un relé. Características principales de un contactor:

- Interrupción doble (por cada contacto, dos puntos de interrupción)
- Contactos forzados
- Cámaras cerradas (cámaras de supresión de arco voltaico)

Considerando estas características específicas, los contactores funcionan con corriente de mayor intensidad que los relés.



1: Bobina 2: Núcleo de hierro (imán) 3: Inducido 4: Pieza móvil con contactos 5: Pieza fija con contactos 6: Muelle de compresión 7: Muelle de compresión de contactos

Fig. 10.20: Contactor – Dibujo en sección y símbolo

Un contactor tiene varios elementos de conmutación, y es usual que tenga entre cuatro y diez contactos. Al igual que los relés, también los contactores pueden ser de diverso tipo, con combinaciones de contactos normalmente cerrados, contactos normalmente abiertos, temporizadores, etc. En el caso de los contactos, se diferencia entre elementos de conmutación principales y elementos auxiliares de conmutación. Los contactores que únicamente tienen contactos de control, se llaman contactores auxiliares. Los contactores que tienen elementos de conmutación principales y auxiliares se llaman contactores principales o disyuntores.

### Utilización de contactores

Los contactores se utilizan en las siguientes aplicaciones:

- Tratándose de potencias entre 4 y 30 kW, la conmutación está a cargo de los contactos principales del contactor.
- Las funciones de control y de enlaces lógicos se activan mediante contactos auxiliares.

En el caso de controles electroneumáticos, la intensidad y la potencia de la corriente son muy bajas. Por ello, pueden utilizarse contactores auxiliares. No es necesario utilizar contactores principales o disyuntores.

## 10.6 Unidades de control pequeñas

El primer control lógico programable (PLC) fue desarrollado en 1968 por un ingenieros de la empresa General Motors, buscando una sustitución de los complicados sistemas de control mediante relés.

El nuevo sistema de control tuvo que cumplir los siguientes requisitos:

- Programación sencilla
- Modificación del programa, sin intervenir en el sistema (sin modificación del cableado interno)
- Solución más pequeña, económica y fiable que un correspondiente sistema de control con relés
- Mantenimiento sencillo y económico

También los sistemas de control pequeños modernos cumplen esos requisitos. Estos sistemas son apropiados para la ejecución de tareas de conmutación y control sencillas. En esas aplicaciones suelen ser suficientes unas pocas entradas y salidas, para automatizar un proceso de modo rápido y sencillo.

Grupos principales:

- Módulo de entradas
- Unidad central
- Módulo de salidas

El módulo de entradas tiene la función de convertir las señales provenientes del exterior en señales apropiadas para el PLC, y transmitirlas a la unidad central. El módulo de las salidas cumple las funciones contrarias. Es decir, convierte las señales del PLC en señales apropiadas para los actuadores. El procesamiento de las señales se lleva a cabo en la unidad central, de acuerdo con un programa que está guardado en la memoria de la unidad.

Estas unidades de control pequeñas ofrecen una ventaja decisiva frente a los sistemas de control mediante relés. Concretamente, las unidades de control permiten efectuar modificaciones y ampliaciones sin necesidad de modificar el cableado. Basta con modificar o ampliar el programa para solucionar el problema.

Las siguientes imágenes muestran la evolución de los sistemas de control, empezando por sistemas puramente neumáticos, pasando por sistemas de control mediante relés, y llegando hasta las unidades de control pequeñas más modernas.

### Descripción de secuencias de ciclo continuo

- Si el interruptor de final de carrera 1B1 está activado Y se activa el selector 1S1, la válvula de 5/2 vías conmuta, por lo que avanza el vástagos del cilindro 1A1.
- Al alcanzar la posición final delantera, el vástagos del cilindro 1A1 actúa sobre el detector de final de carrera 1B2. La válvula de 5/2 vías conmuta a posición inicial y el vástagos del cilindro 1A1 retrocede.
- La secuencia se repite hasta que el selector 1S1 vuelve a su posición inicial.

### Descripción de secuencias, ciclo individual

- Si el interruptor de final de carrera 1B1 está activado Y se activa el pulsador 1S1, la válvula de 5/2 vías conmuta, por lo que avanza el vástagos del cilindro 1A1.
- Al alcanzar la posición final delantera, el vástagos del cilindro 1A1 actúa sobre el detector de final de carrera 1B2. La válvula de 5/2 vías conmuta a posición inicial y el vástagos del cilindro 1A1 retrocede.

La Fig. 10.21 muestra la solución puramente neumática de las secuencias necesarias.

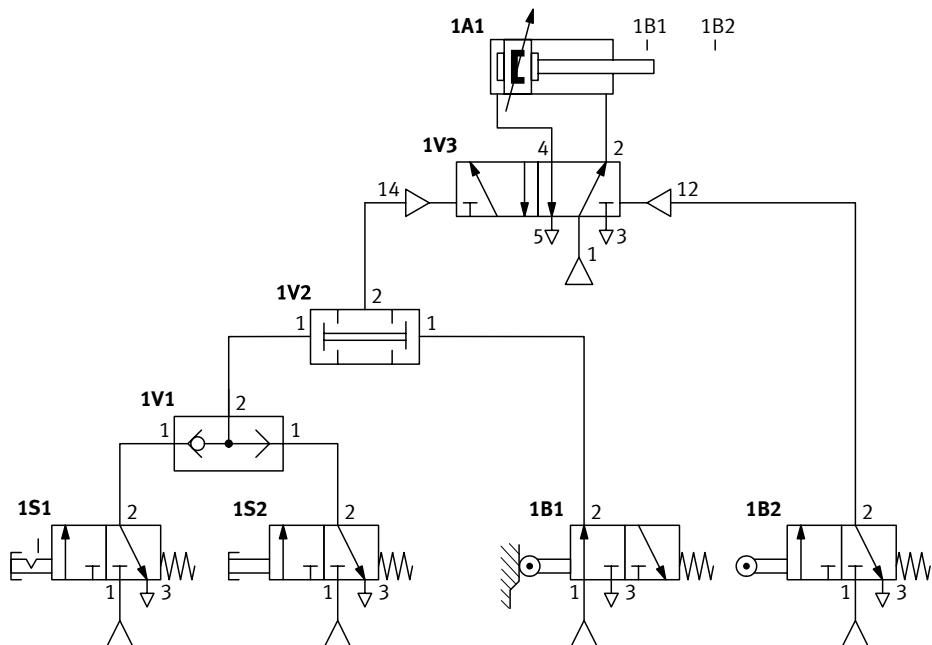


Fig. 10.21: Esquema de distribución neumático – Sistema de control neumático

La Fig. 10.22 muestra el proceso con una electroválvula biestable de 5/2 vías con sistema de control mediante relés.

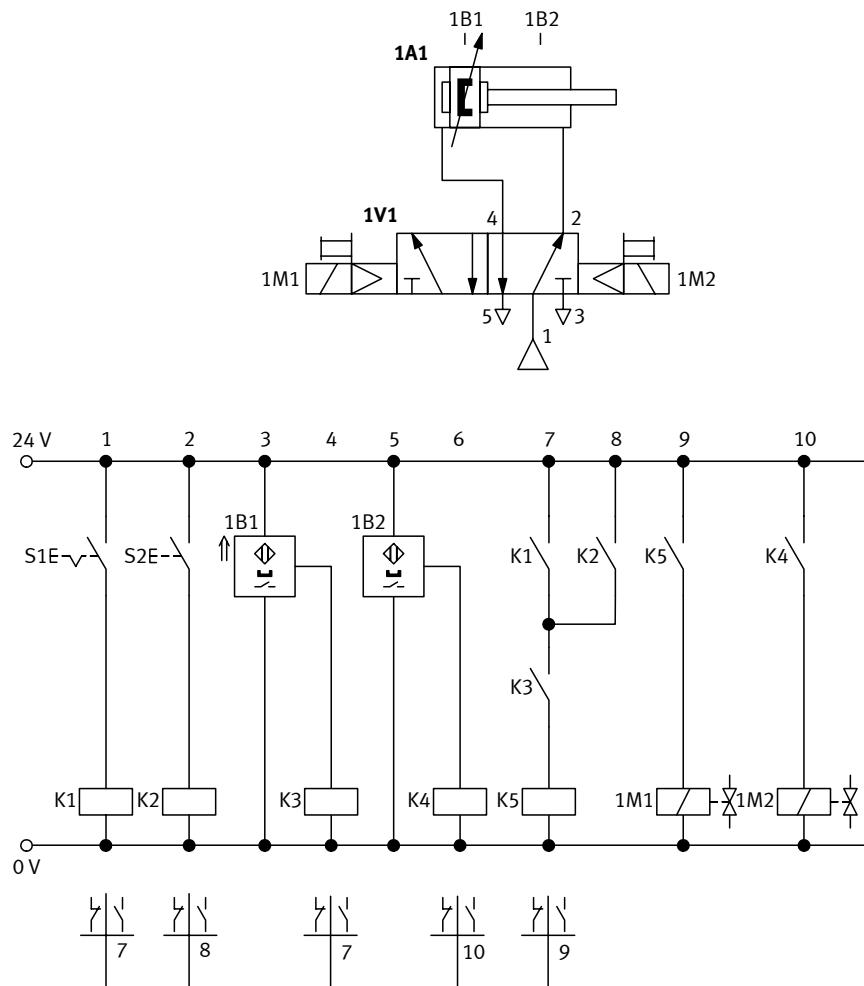


Fig. 10.22: Esquema neumático y esquema eléctrico – Sistema de control con relés

En la Fig 10.23 se aprecia que la secuencia se controla mediante una unidad de control pequeña. La Fig. 10.24 muestra el programa lógico correspondiente.

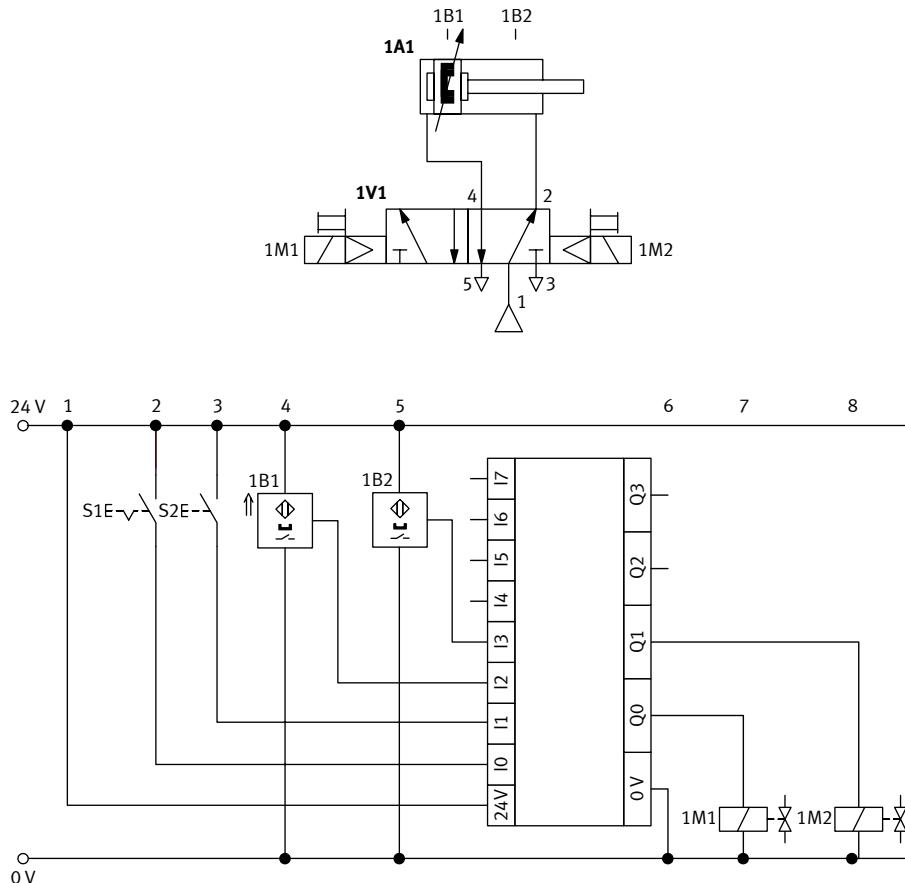


Fig. 10.23: Esquema neumático y esquema eléctrico – Sistema de control con una unidad de control pequeña

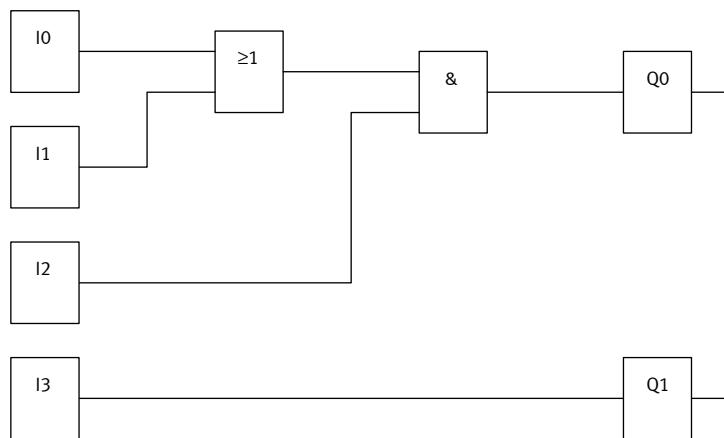


Fig. 10.24: Programa lógico, correspondiente a las secuencias aquí descritas

## 11 Descripciones de secuencias funcionales

### 11.1 Diagrama de funciones de máquinas y equipos

El diagrama de funciones tiene la finalidad de simplificar el diseño y la configuración de sistemas de control de máquinas y equipos. El diagrama de funciones puede emplearse independientemente del tipo de control y de la tecnología utilizada.

Además, es un medio auxiliar útil al localizar fallos. Las reglas y los símbolos deben ser los mismos en todos los casos, para que el diagrama pueda entenderse en cualquier parte, sin que se produzcan confusiones. En muchos casos, las formas más sencillas del diagrama son suficientes, para describir claramente las secuencias.

#### Importante

Los diagramas de funciones, los símbolos de enlace y las líneas de acción se rigen por las recomendaciones incluidas en las directivas VDI 3226 y 3260. Sin embargo, estas directivas VDI ya no están vigentes desde los años 1992 y 1994. Fueron sustituidas por la norma DIN 40 719, parte 6 «Diagramas, reglas para diagramas de funciones».

Pero esta norma tampoco es válida en la actualidad, ya que perdió su vigencia el 31 de marzo de 2005. La norma que le sucedió se llama GRAFCET y tiene validez en toda Europa. Esta norma se identifica con EN 60848.

Los diagramas de funciones son un medio muy difundido en el sector industrial, que se utiliza para representar secuencias de movimientos. A continuación se explican brevemente estos diagramas de funciones.

#### 11.1.1 Ámbito de aplicación del diagrama de funciones

Los diagramas de funciones se utilizan para representar secuencias de funciones en sistemas de control mecánicos, neumáticos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos, así como también en combinaciones de estos sistemas de control. Por ejemplo, puede tratarse de sistemas electroneumáticos, electrohidráulicos, etc.

Los diagramas de funciones están compuestos del diagrama de movimientos y del diagrama de mando. El diagrama de movimientos puede ser un diagrama de espacio-pasos o un diagrama de espacio-tiempo. A continuación se explica el diagrama espacio-pasos.

### 11.1.2 Diagrama espacio-pasos

Los movimientos (recorridos de trabajo, carreras) de los vástagos de los cilindros 1A1 y 2A1 desde el estado secuencial 1 hacia el estado secuencial 2, y desde éste hacia el estado secuencial 3, se muestran en la gráfica mediante líneas funcionales (líneas de movimiento) (Fig. 11.1).

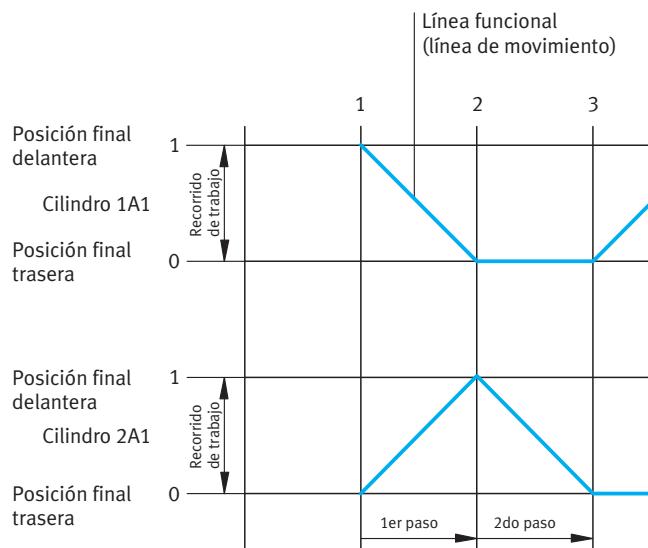


Fig. 11.1: Diagrama espacio-pasos correspondiente a los movimientos de los cilindros 1A1 y 2A1

En un diagrama espacio-pasos se pueden incluir las líneas funcionales y, además, las líneas de las señales. Una línea de señal empieza en el elemento transmisor de la señal, y finaliza donde se produce un cambio de estado a raíz de dicha señal. Las flechas en las líneas de señales indican el sentido de flujo de la señal.

| Función                | Símbolo | Función                               | Símbolo |
|------------------------|---------|---------------------------------------|---------|
| Enlace de O            |         | Sensor ON                             |         |
| Enlace de Y            |         | Sensor (detector de final de carrera) |         |
| Bifurcación de señales |         |                                       |         |

Tabla 11.1: Representación de líneas de señales y de módulos de entrada

Las denominaciones de cada uno de los módulos de entrada se indican en el punto de inicio de cada una de las líneas.

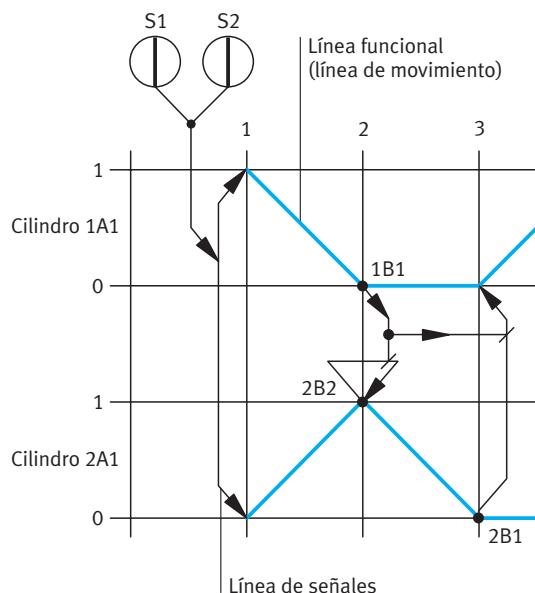


Fig. 11.2: Diagrama espacio-pasos con líneas de transmisión de señales

### 11.2 Descripción de ciclos con GRAFCET según EN 60848

GRAFCET describe esencialmente dos aspectos de un sistema de control y, además, lo hace de acuerdo con reglas claramente definidas:

- Acciones a ejecutar (comandos)
- Secuencia de la ejecución de las acciones

Por ello, un GRAFCET (o plan GRAFCET) tiene dos partes. La parte estructural muestra la ejecución del proceso en función del tiempo. En este caso, el proceso está dividido en pasos que se suceden.

Ello significa que esta parte no indica qué acciones se ejecutarán concretamente. Esta información se ofrece en la parte de acción o de efectos. En el ejemplo que aquí se describe, se trata de los bloques que se aprecian a la derecha de los pasos, así como las condiciones de transición entre los pasos.

### 11.2.1 Principio básico de GRAFCET

1. Las secuencias se dividen en
    - Pasos y
    - Transiciones,
    - que se alternan.
  2. Siempre está activo un solo paso a la vez.
  3. A cada paso le puede seguir una cantidad indistinta de acciones.
  4. Las secuencias pueden bifurcarse y volverse a unir,
    - ya sea como bifurcación alternativa o
    - bifurcación paralela.
- Deberá tenerse en cuenta el paso 1.

### 11.2.2 Pasos

Las secuencias se dividen en pasos. Cada paso se representa mediante un rectángulo (preferentemente un cuadrado). En la parte superior se indica una identificación alfanumérica.

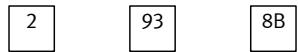


Fig. 11.3: Ejemplos de pasos

#### Paso inicial

Cada cadena de pasos incluye un paso inicial. Se trata del estado inicial del sistema de control. Es decir, el paso en el que se encuentra el sistema de control (no la máquina!) inmediatamente después de activarlo. Este paso inicial se identifica con un doble marco.



Fig. 11.4: Ejemplo de paso inicial

### 11.2.3 Condiciones de transición

Una transición es la conexión entre un paso y el siguiente paso. Por lo tanto, también se denomina conexión transitoria. La transición se representa mediante una línea en vertical que atraviesa la conexión entre los dos pasos.

#### Excepción

En caso de un salto atrás, la transición también puede encontrarse sobre la línea horizontal, si así el esquema resulta más claro.

#### La regla más importante

Para que las secuencias no contengan errores, es necesario que los pasos y las transiciones siempre se alternen.

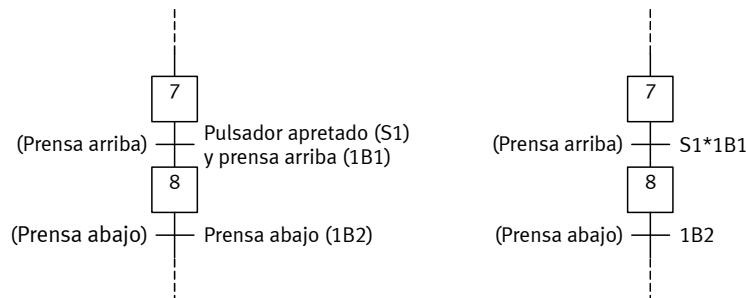


Fig. 11.5: Ejemplo de condiciones de transición

La condición que debe cumplirse se indica a la derecha de la transición. Las transiciones pueden tener un nombre. Para evitar confusiones, ese nombre debe escribirse en el lado izquierdo y, además, debe estar entre paréntesis).

#### Téngase en cuenta:

El punto o asterisco describe un enlace de Y, mientras que el signo positivo se refiere a un enlace de O. Las negaciones se indican mediante una línea encima del nombre de la variable.

Si al término de un tiempo determinado debe activarse el siguiente paso, se utiliza una condición transitoria que depende del tiempo. La condición de transición contiene el tiempo y el estado del paso activo. Las dos informaciones aparecen separadas por una línea oblicua.

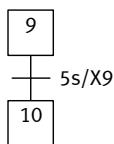


Fig. 11.6: Ejemplo de la ejecución de un paso con limitación de tiempo

En el ejemplo que se muestra aquí, X9 es la variable del paso 9. La variable expresa el estado booleano del paso 9. Transcurridos 5 segundos, se activa el siguiente paso (paso 10).

#### 11.2.4 Acciones

Un paso puede estar seguido de una o varias acciones. La acción aparece como rectángulo; el largo de los lados del rectángulo es indistinto. Los diferentes comportamientos de las acciones se muestran mediante complementos diferentes. El orden de su representación no equivale al orden en el transcurso del tiempo.

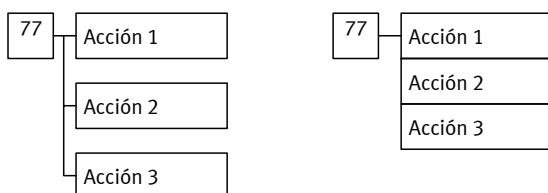


Fig. 11.7: Ejemplos de representación de un paso con varias acciones

Las acciones se diferencian por el tipo de su ejecución. Es posible distinguir entre dos tipos de acciones:

**1. acciones de efecto continuado**

Estas acciones se ejecutan durante un tiempo determinado. Cuando finaliza ese tiempo, se retira automáticamente la acción.

**2. acciones con memoria**

Estas acciones se activan con una simple orden en un momento determinado. Es indispensable que ese momento se defina con gran precisión. Para desactivar la acción, es necesario emitir otra orden.

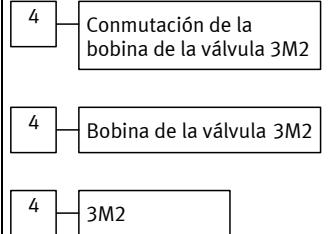
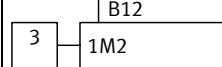
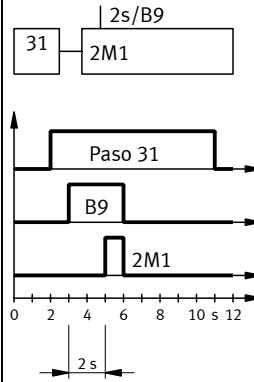
| Tipo de acción   | Comentario   | Ejemplo  |
|--|--|--|
| Acción de efecto continuado  | Acción de efecto continuado significa lo siguiente:<br>Mientras está activo el paso correspondiente, se atribuye el valor 1 (TRUE) a la variable. Cuando el paso ya no está activo, se atribuye el valor 0 (FALSE) a la variable.  |    |
| Acción de efecto continuado con condición de atribución                        | A la variable descrita en la acción se le atribuye el valor 1 (TRUE) únicamente si se cumple la condición de atribución (TRUE) (en el ejemplo, B12). De lo contrario, se le atribuye el valor 0 (FALSE) a la variable, aunque esté activo el paso (en el ejemplo, paso 3). |    |
| Acción de efecto continuado con condición de atribución dependiente del tiempo | El tiempo que consta a la izquierda de la variable, se activa mediante el flanco ascendente de la variable. Transcurrido ese tiempo, se ejecuta la acción. El comportamiento es equivalente al de un retardo de conexión.  |  |

Tabla 11.2: Acciones de efecto continuado

| Tipo de acción                                       | Comentario   | Ejemplo  |
|--|--|--|
| Acción de efecto continuado con retardo              | Si debe ejecutarse una acción con retardo, la acción de efecto continuado con condición de atribución puede ampliarse mediante un valor de tiempo. A modo de condición de atribución se indican el tiempo y la variable del paso activo. Solo al término del tiempo se cumple la condición de atribución, con lo que la variable indicada en la acción obtiene el valor 1. | <p>27 → 4M1<br/>2s/X27</p> <p>Paso 27</p> <p>4M1</p> <p>0 2 4 6 8 10 s 12</p> <p>2 s</p> |
| Acción de efecto continuado con limitación de tiempo | La acción con límite de tiempo se obtiene mediante la negación de la condición de la acción con retardo.   | <p>29 → 5M2<br/>5s/X29</p> <p>Paso 29</p> <p>5M2</p> <p>0 2 4 6 8 10 s 12</p> <p>5 s</p> |

Tabla 11.3: Acciones de efecto continuado (continuación)

| Tipo de acción                           | Comentario   | Ejemplo   |
|--|--|---|
| Acción con memoria, al activarse el paso | En el momento en que se activa el paso correspondiente, se le atribuye a la variable el valor de la acción. El valor de la variable se mantiene memorizado hasta que se sobrescribe con una acción nueva<br><br>Considerando que la atribución del valor se efectúa cuando se activa el paso (es decir, cuando se presenta un flanco ascendente de la variable), la acción se identifica con una flecha que indica hacia arriba. | <p>9 → 4M1:=1</p> <p>14 → 4M1:=0</p> <p>15 → C:=C+1</p> |

Tabla 11.4: Acciones de efecto con memoria

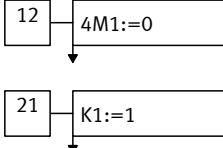
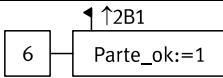
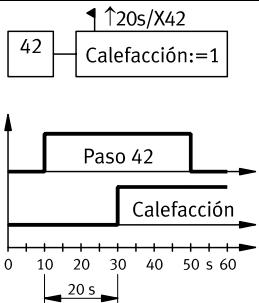
| Tipo de acción                                 | Comentario   | Ejemplo   |
|--|--|---|
| Acción con memoria, al desactivarse el paso    | <p>Cuando se desactiva el paso, se le atribuye a la variable el valor que se indica en la acción. El valor de la variable se mantiene memorizado hasta que se sobrescribe con una acción nueva.</p> <p>Considerando que la atribución del valor se efectúa cuando se activa el paso (es decir, cuando se presenta un flanco descendente de la variable), la acción se identifica con una flecha que indica hacia abajo.</p>  |  <pre> graph TD     12 --&gt; M1["M1:=0"]     M1 --&gt; 21     21 --&gt; K1["K1:=1"] </pre>   |
| Acción con memoria al producirse una operación | <p>A las variables descritas en la acción sólo se les atribuye el valor, si el paso está activo y si se produce un flanco ascendente, correspondiente a la operación</p> <p>El símbolo que parece un banderín es, en realidad, una flecha que indica hacia un lado. Esta flecha indica que la acción se ejecuta con memoria cuando se produce una operación. La flecha que indica hacia arriba, muestra que la acción se ejecuta cuando se aparece el flanco ascendente de la operación.</p> |  <pre> graph TD     6 --↑--&gt; ParteOk["Parte_ok:=1"] </pre>   |
| Acción retardada con memoria                   | <p>Si la operación que provoca la memorización tiene un tiempo definido, se produce una acción retardada con memoria. La flecha de la variable que indica hacia arriba describe el flanco ascendente, es decir, la finalización del tiempo indicado.</p>   |  <p>Graph below:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Y-axis: Paso 42, Calefacción</li> <li>X-axis: 0, 10, 20, 30, 40, 50 s, 60</li> <li>Pulse: A pulse labeled "Paso 42" starts at 30s and ends at 50s.</li> <li>Variable: A variable labeled "Calefacción" shows a step-up at 30s and remains high until 50s.</li> <li>Time scale: 0 to 60 seconds.</li> </ul> |

Tabla 11.5: Acciones de efecto con memoria (continuación)

### 11.2.5 Selección de secuencias

#### Bifurcación alternativa

Si una secuencia ofrece varias alternativas, esta circunstancia se muestra mediante bifurcaciones sencillas. Una secuencia puede desembocar en una cantidad indistinta de secuencias alternativas. Existe una condición de conmutación para cada una de las alternativas. Las condiciones deben describirse de manera clara e inconfundible, de manera que sea imposible que se cumplan simultáneamente varias condiciones (bloqueo recíproco).

Una vez concluidas las bifurcaciones de alternativa, cada una con su propia condición de transición, se procede a la ejecución del siguiente paso.

#### Derivaciones paralelas

En el caso de bifurcaciones paralelas, el cumplimiento de la condición de transición provoca la activación simultánea de varias secuencias parciales. Las secuencias parciales se inician al mismo tiempo, aunque se ejecutan independientemente entre sí.

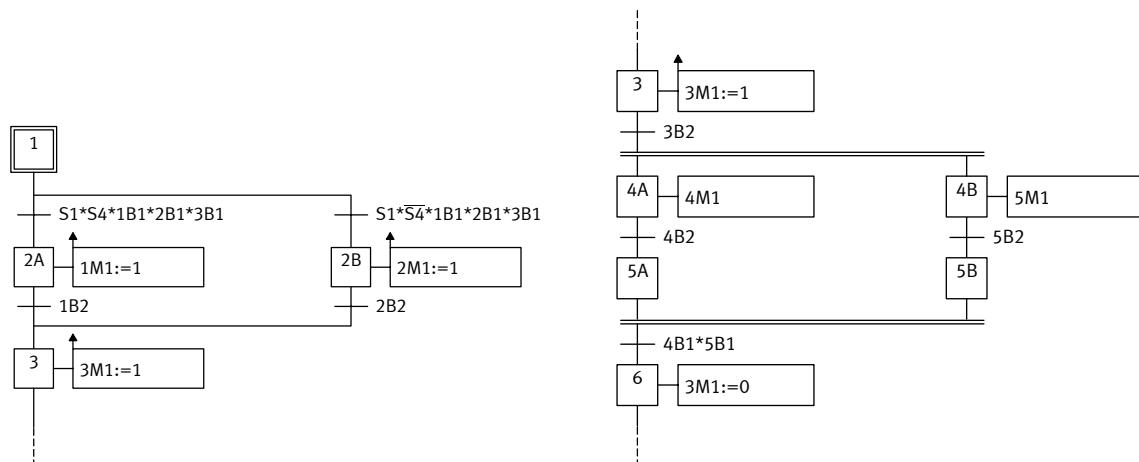


Fig. 11.8: Bifurcaciones. Izquierdo: ejemplo de una bifurcación alternativa. Derecha: ejemplo de una bifurcación paralela.

La unión de cadenas parciales se lleva a cabo de manera sincronizada. La transición hacia el siguiente paso que se encuentra debajo de la línea más gruesa (en el ejemplo, el paso 6), únicamente se activa si se ejecutaron todas las secuencias parciales paralelas. Para ello necesariamente debe cumplirse la condición conjunta de transición.

### 11.2.6 Retornos y saltos

Las secuencias suelen ejecutarse cíclicamente, lo que significa que forman un bucle. Para mostrar esta estructura de bucle, la línea debe transcurrir desde la parte inferior hacia la parte superior. Considerando que ese sentido es opuesto al sentido usual de una secuencia, debe utilizarse una flecha.



Fig. 11.9: Ejemplo de retorno en una estructura secuencial

### 11.2.7 Estructuración de esquemas GRAFCET

Los elementos descritos son suficientes para describir secuencias de modo muy preciso, aunque sin niveles jerárquicos. La norma incluye los elementos necesarios para estructurar los niveles jerárquicos.

Los niveles jerárquicos son necesarios para obtener estructuras generales y detalladas del comportamiento de un sistema de control, para explicar los modos de funcionamiento y, también, para representar la función de parada de emergencia de sistemas de control más complejos.

Si se trabaja con varios niveles jerárquicos, el GRAFCET se divide en varias partes. Esas partes se llaman GRAFCET parciales. Cada uno obtiene su propio nombre. Al nombres se le antepone la letra G.

Los elementos de estructuración más importantes son:

- Comandos de control forzado
- Pasos incluyentes
- Pasos macro

Los elementos de estructuración no se explican en el presente capítulo.

### 11.2.8 Ejemplo: máquina fresadora de ranuras

#### Descripción del funcionamiento

La tarea consiste en fresar ranuras en forma de U en tablas de madera. El avance a lo largo de las ranuras longitudinales está a cargo de un cilindro de doble efecto 1A1. El avance a lo largo de las ranuras transversales está a cargo de un cilindro de doble efecto 2A1. Las posiciones finales de los dos cilindros se controlan mediante detectores de posición.

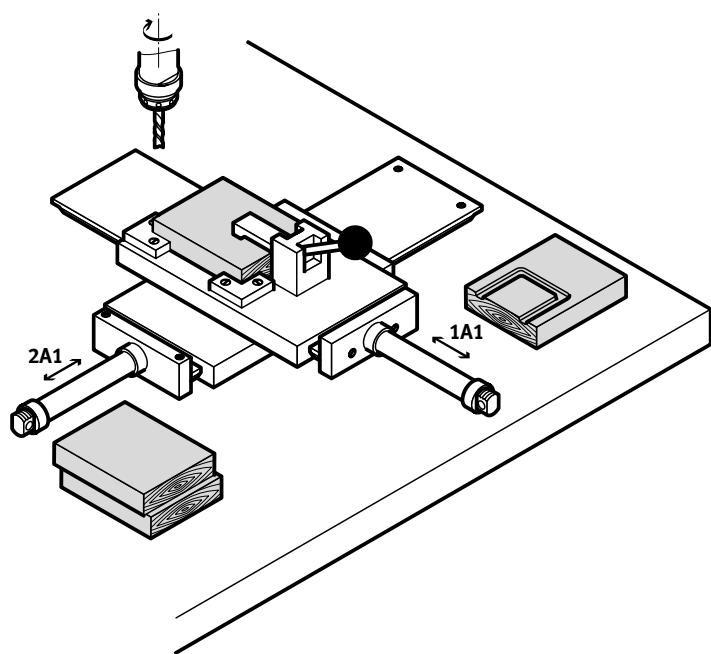


Fig. 11.10: Esquema de situación

#### Descripción de las secuencias

1. La tabla de madera se fija manualmente y la fresa avanza hacia su posición de trabajo.
2. En el paso inicial, la acción con condición de atribución se encarga de activar la indicación de posición inicial. Si el equipo se encuentra en su posición inicial, se enciende la lámpara P1. De lo contrario, no se enciende la lámpara P1. Para cumplirse la condición de transición hacia el paso 2, se consulta la posición inicial con P1 y el pulsador de START S1.
3. En el paso 2 se activa la bobina 1M1. El vástago del cilindro 1A1 avanza, guiando la fresa para cortar la primera ranura longitudinal. Para ejecutar el paso 3 debe cumplirse la correspondiente condición de transición que, en este caso, es que el cilindro alcance su posición final delantera 1B2.

4. En el paso 3 se activa la bobina 2M1. El vástago del cilindro 2A1 avanza, guiando la fresa para cortar la primera ranura transversal. Para ejecutar el paso 4 debe cumplirse la correspondiente condición de transición que, en este caso, es que el cilindro alcance su posición final delantera 2B2.
5. En el paso 4 se activa la bobina 1M1. El vástago del cilindro 1A1 retrocede, guiando la fresa para cortar la segunda ranura longitudinal. Para ejecutar el paso 5 debe cumplirse la correspondiente condición de transición que, en este caso, es que el cilindro alcance su posición final trasera 1B1.
6. En el paso 5 se activa la bobina 2M1. El vástago del cilindro 2A1 retrocede, guiando la fresa hacia su posición inicial. Para ejecutar el paso 1 debe cumplirse la correspondiente condición de transición que, en este caso, es que el cilindro alcance su posición final trasera 2B1.
7. La fresadora asume su posición de espera, y el sistema suelta la tabla de madera.

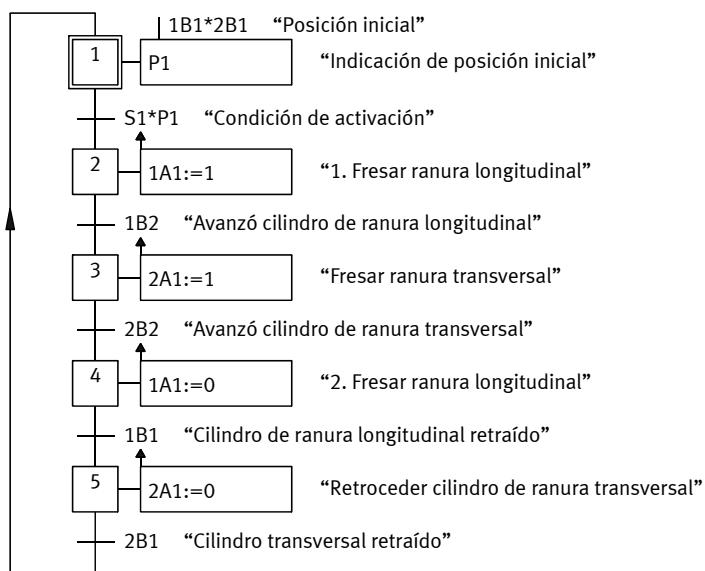


Fig. 11.11: GRAFCET del sistema de fresado de ranuras – solución independiente de tecnologías específicas

## 12 Estructura de esquemas de distribución

### 12.1 Esquema de distribución neumático

#### 12.1.1 Distribución de símbolos en un esquema de distribución neumático

La estructura de un esquema de distribución neumático, el uso de los símbolos y la identificación y numeración de los componentes están definidos en la norma ISO 1219-2. En un control electroneumático, los símbolos de los componentes neumáticos se incluyen de la siguiente manera en el esquema de distribución:

- En la parte superior, los elementos de trabajo
- Debajo, las válvulas utilizadas para regular la velocidad (por ejemplo, válvulas de estrangulación, válvulas antirretorno, válvulas de estrangulación y antirretorno)
- Debajo, los elementos posicionadores (válvulas distribuidoras)
- Abajo, en el lado izquierdo, la alimentación de energía

Tratándose de sistemas de control que incluye varios elementos de trabajo, los símbolos de los actuadores se colocan uno al lado del otro. Debajo de cada símbolo correspondiente a un actuador, se colocan los símbolos de las correspondientes válvulas.

#### 12.1.2 Posición de cilindros y de válvulas distribuidoras

Los componentes que se incluyen en el esquema de distribución neumático se muestran con conexión de la presión de funcionamiento. En el caso de los esquemas de distribución electroneumáticos, la parte eléctrica de control de señales se muestra sin corriente.

#### Posición normal

En las válvulas con reposición (por ejemplo, reposición por muelle), se llama posición normal a aquella posición que asumen las partes móviles de la válvula cuando ésta no está conectada.

#### Importante

En el caso de las válvulas biestables, no es posible definir claramente la posición normal, ya que no disponen de un muelle de reposición.

### Posición inicial

La posición inicial es aquella que asumen las partes móviles de una válvula después de montarla en la máquina y conectar la presión de funcionamiento y, si procede, la tensión eléctrica. Es la posición con la que empieza el programa de control previsto para la máquina en cuestión.

Si una válvula está activada en su posición inicial, deberá indicarlo así la leva de mando incluida en el esquema. Ello significa que, en este caso, debe constar la posición de comutación activada.

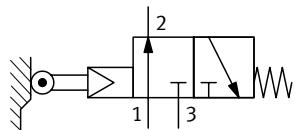


Fig. 12.1: Válvula de 3/2 vías con rodillo, activada en posición inicial

#### 12.1.3 Código de identificación de componentes

Cada uno de los componentes (exceptuando los cables y los tubos flexibles) se identifican tal como consta en la Fig. 12.2. Contenido del código de identificación:

- El número del equipo (número; puede obviarse, si la totalidad del circuito está compuesto por una sola máquina)
- El número del circuito (número; indicación obligatoria)
- La identificación del componente (letra; indicación obligatoria)
- El número del componente (número; indicación obligatoria)

El código de identificación debería estar incluido en un rectángulo.

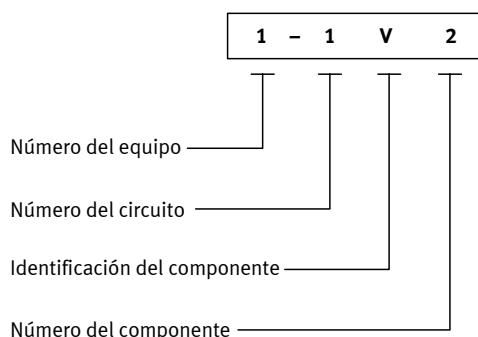


Fig. 12.2: Código de identificación de componentes incluidos en esquemas de distribución neumáticos

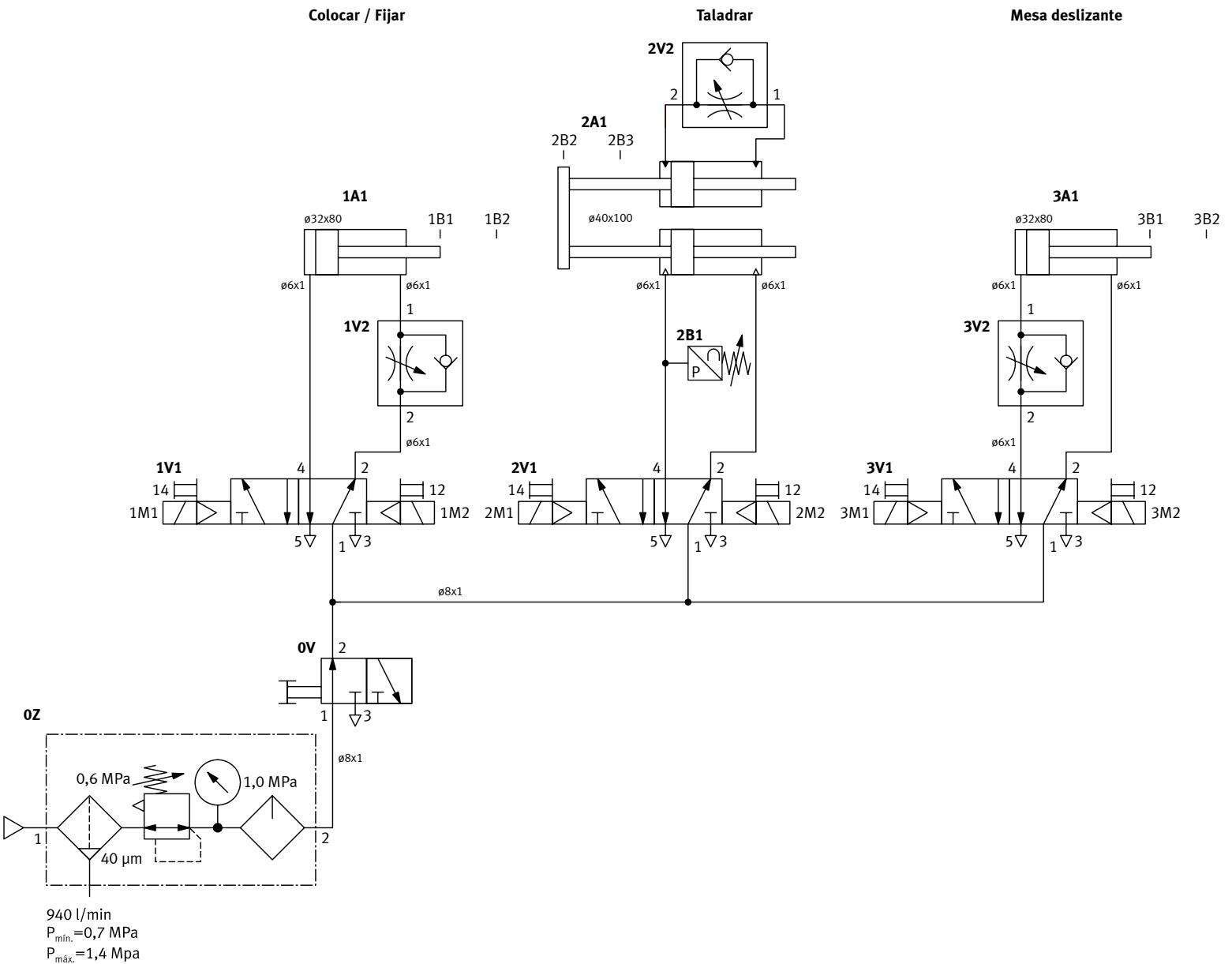


Fig. 12.3: Esquema neumático de un sistema de control electroneumático con tres cadenas de mando

### Número del equipo

Si en una planta existen diversos equipos y sistemas de control electroneumático, es más sencillo atribuir los correspondientes esquemas a los correspondientes sistemas de control si se numeran los equipos. Todos los componentes neumáticos de un sistema de control (equipo) se identifican mediante un mismo número de equipo (Fig. 12.3). En el ejemplo de esquema de distribución, no consta el número del equipo en el código de identificación.

### Número de circuito

De preferencia se utiliza el número 0 para identificar todos los componentes relacionados con la alimentación de energía. Los demás números del circuito se atribuyen a las diversas cadenas de mando (= circuitos). Considerando el sistema representado en la Fig. 12.3, se aplican las siguientes atribuciones:

- Alimentación de energía e interruptor principal: Número 0
- Cadena de mando «colocar/sujetar»: Número de circuito 1
- Cadena de mando «taladrar»: Número de circuito 2
- Cadena de mando «mesa deslizante»: Número de circuito 3

### Identificación de componentes y número de componentes

En un esquema de distribución, cada componente incluido en un sistema de control electroneumático está provisto de una identificación y de un número. En un mismo circuito, los componentes que tienen la misma identificación, son numerados correlativamente desde abajo hacia arriba y desde la izquierda hacia la derecha. Ello significa que las válvulas de la cadena de control «colocar/fijar» (circuito 1 en el esquema de la Fig. 12.3), deberán identificarse de la siguiente manera:

- Válvula distribuidora: 1V1 (circuito número 1, identificación de componente V, componente número 1)
- Regulador de caudal: 1V2 (circuito número 1, identificación de componente V, componente número 2)

| Componentes                                       | Identificación |
|---|----------------|
| Compresores                                       | P              |
| Elementos actuadores                              | A              |
| Motores de accionamiento                          | M              |
| Señales de entrada                                | S              |
| Recepción de señales                              | B              |
| Válvulas  | V              |
| Bobinas   | M*             |
| Otros componentes                                 | Z**            |
| * Complemento nacional en norma alemana           |                |
| ** O cualquier otra letra no incluida en la lista |                |

Tabla 12.1: Código de identificación de componentes incluidos en esquemas de distribución neumáticos

## Informaciones técnicas

Para simplificar el trabajo de montaje de un sistema de control y para sustituir componentes de modo más sencillo cuando se realizan trabajos de mantenimiento, determinados componentes incluidos en un esquema de distribución neumático están identificados con informaciones adicionales:

- Cilindros Diámetro del émbolo, carrera y función  
(por ejemplo “colocar/fijar”)
- Alimentación de aire Margen de presión, expresado en MPa o bar  
Caudal nominal en l/min
- Filtro Tamaño nominal en micrómetros
- Tubos flexibles Diámetro nominal interior en mm
- Manómetros Margen de presión, expresado en MPa o bar

## 12.2 Esquema de distribución eléctrico

El esquema eléctrico de un sistema de control muestra cómo están conectados entre sí los componentes eléctricos y, además, cómo se produce una interacción entre ellos. Según la norma EN 61082 y dependiendo de la tarea a ejecutar, se utilizan los siguientes tipos de esquemas de distribución:

- Esquema general
- Esquema funcional
- Esquema de circuitos eléctricos

### 12.2.1 Esquema general

El esquema general ofrece una información general sobre las instalaciones eléctricas de un sistema completo (por ejemplo, una máquina de envasado o una máquina de montaje). Este esquema únicamente muestra lo más importante. Los sistemas parciales se representan mediante esquemas de distribución adicionales más detallados.

### 12.2.2 Esquema funcional

El esquema funcional explica todas las funciones individuales de un sistema. En estos esquemas no se indica la configuración de esas funciones.

### 12.2.3 Esquema de circuitos eléctricos

El esquema de circuitos eléctricos muestra los detalles de la configuración de sistemas, instalaciones, etc.

Este esquema contiene lo siguiente:

- Símbolos gráficos de los componentes
- Uniones entre los componentes
- Identificación de los componentes
- Identificación de las conexiones
- Otros datos que son necesarios para entender los circuitos (identificación de señales, indicaciones sobre el lugar)

### Representación general y representación específica de un esquema de circuitos eléctricos

En el caso de la representación general de un esquema de circuitos eléctricos, cada componente se incluye como un solo símbolo (por ejemplo, representación de un relé, aunque cuente con varios contactos normalmente abiertos y varios normalmente cerrados).

En el caso de la representación específica, pueden incluirse las diversas funciones específicas de un componente. Esta información se distribuye de tal modo que se obtenga una representación clara y rectilínea, con la menor cantidad posible de líneas superpuestas. Por ejemplo, los contactos normalmente abiertos o cerrados de un relé, pueden representarse de modo distribuido en todo el esquema eléctrico.

### Esquema de distribución eléctrico de un sistema de control electroneumático

En el sector de la electroneumática se utilizan esquemas de circuitos eléctricos detallados para representar la parte correspondiente a las señales de control. Únicamente si se trata de sistemas de control muy amplios, se utiliza adicionalmente un esquema general o un esquema funcional.

Ello significa que, en la práctica, un esquema de un “sistema de control electroneumático”, suele ser, en realidad, un esquema de distribución eléctrico.

#### 12.2.4 Esquema de un sistema de control electroneumático

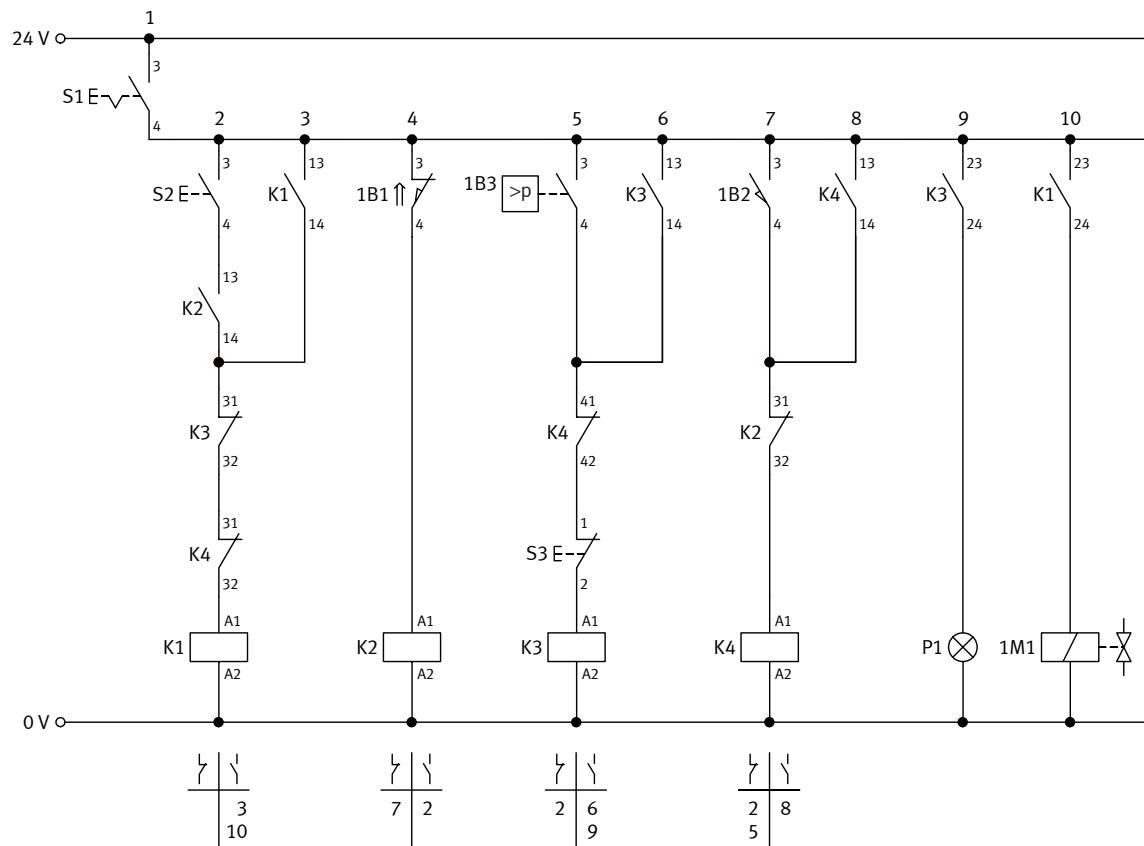
El esquema de distribución eléctrico de un sistema de control electroneumático incluye los símbolos correspondientes a los componentes necesarios para los enlaces y las secuencias. Estos símbolos se incluyen correlativamente, desde abajo hacia arriba, y desde la izquierda hacia la derecha. Los relés y las bobinas siempre se incluyen por debajo de los contactos.

Para mejorar la claridad de un esquema de distribución eléctrico, se aplican las siguientes soluciones:

- División según circuitos individuales
- Identificación de los componentes y contactos mediante letras y números
- División del circuito de control y circuito principal
- Confección de tablas de elementos de conmutación

### Circuitos de corriente

En un esquema de distribución eléctrico, todos los circuitos de corriente eléctrica incluidos en un sistema de control electroneumático aparecen uno junto al otro y están numerados uno por uno. El esquema de distribución eléctrico de un sistema de control electroneumático que se puede apreciar en la Fig.12.4, incluye 10 circuitos. Los circuitos 1 hasta 8 son parte del circuito de control, mientras que los circuitos 9 y 10 pertenecen al circuito principal.



S1 = Interruptor principal; S2 = Pulsador de start; S3 = Pulsador de confirmación; 1B1/1B2 = Detector de posición final; 1B3 = Presostato

Fig. 12.4: Esquema de distribución eléctrico (esquema de circuitos eléctricos) de un sistema de control electroneumático

### Identificación de componentes

Los componentes incluidos en un esquema de circuitos eléctricos de un sistema de control, se identifican mediante letras. Los componentes que tienen la misma letra de identificación, se diferencian por su numeración (por ejemplo: 1B1, 1B2, etc.).

Los sensores y las bobinas tienen que aparecer tanto en el esquema de distribución neumático como en el esquema de circuitos eléctricos. Para conseguir que los esquemas sean claros y su lectura sea sencilla, es recomendable que los mismos símbolos incluidos en los dos esquemas lleven la misma identificación y numeración. Si, por ejemplo, un detector de final de carrera se identifica con 1B1 en el esquema de distribución neumático, debería llevar la misma identificación en el esquema de circuitos eléctricos.

| Componentes  | Identificación |
|--|----------------|
| Detector, interruptor Reed, detector de posición electrónico, presostato | B              |
| Relés  | K              |
| Bobina de una válvula  | M              |
| Sistemas de aviso  | P              |
| Contactor  | Q              |
| Pulsadores de accionamiento manual                                       | S              |

Tabla 12.2: Denominación de componentes en un esquema de circuitos eléctricos (EN 81346-2)

### Ejemplos de identificación de componentes

Los componentes incluidos en el esquema de circuitos eléctricos se identifican de la siguiente manera:

- Los interruptores de accionamiento manual con S1, S2 y S3
- Los detectores de posiciones finales con 1B1 y 1B2
- El presostato con 1B3
- Los relés con K1, K2, K3 y K4
- La bobina con 1M1
- La lámpara con P1

### Denominación de conexiones de contactos y relés

Para garantizar un cableado y contactos sin errores, todas las conexiones se identifican de la misma manera en el componente y en el esquema de circuitos eléctricos. Cada conexión de un contacto se identifica mediante un número funcional. En la Tabla 12.3 se muestran los números funcionales correspondientes a diversos tipos de contactos. Si un interruptor, un relé o un contactor tiene varios contactos, éstos identifican con un número ordinal seguido de un número funcional (ver Fig. 12.5).

Las conexiones de una bobina de relé se identifican con A1 y A2.

| Tipo de contacto                          | Número funcional |
|---|------------------|
| Contacto normalmente cerrado              | 1, 2             |
| Contacto normalmente abierto              | 3, 4             |
| Contacto normalmente cerrado, con retardo | 5, 6             |
| Contacto normalmente abierto, con retardo | 7, 8             |
| Contacto comutador                        | 1, 2, 4          |
| Comutador, con retardo                    | 5, 6, 8          |

Tabla 12.3: Números funcionales de contactos

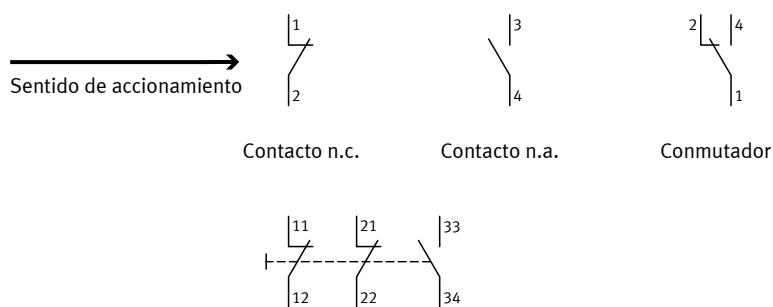


Fig. 12.5: Identificación de contactos mediante números funcionales y ordinados

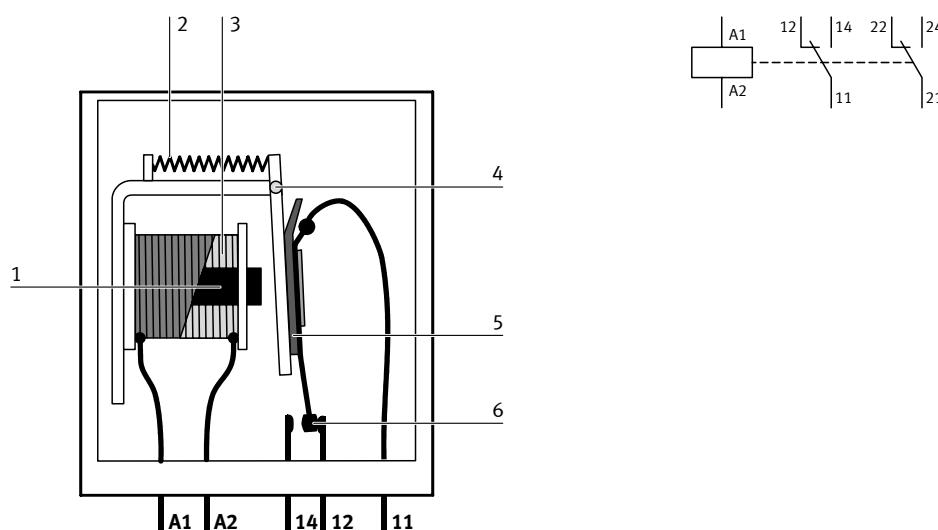


Fig. 12.6: Relé – Símbolo, dibujo en sección y denominación de conexiones

### Ejemplo de identificación de conexiones de relés

En el circuito de la Fig. 12.4, los contactos del relé K1 están identificados de la siguiente manera:

- Bobina (circuito 2): A1, A2
- Contacto normalmente abierto (circuito 3): 13, 14
- Contacto normalmente abierto (circuito 10): 23, 24

### Elementos de conmutación, tabla

Todos los contactos activados por una bobina de relé o contactor, se incluyen en una lista de elementos de conmutación. Esta tabla de elementos de conmutación se incluye debajo del circuito en el que se encuentra la bobina del relé. Las tablas de elementos de conmutación pueden ser simples o detalladas.

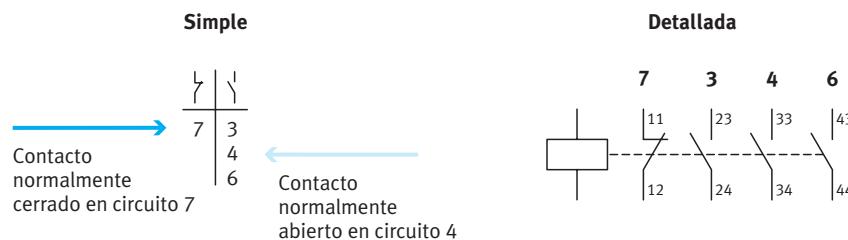


Fig. 12.7: Tabla de elementos de conmutación de un relé: versión simple y versión detallada

### Ejemplos de tablas de elementos de conmutación

En el circuito de la Fig. 12.4, se incluyen en total 4 tablas de elementos de conmutación.

- Circuito 2: Tabla de elementos de conmutación correspondientes al relé K1
- Circuito 4: Tabla de elementos de conmutación correspondientes al relé K2
- Circuito 5: Tabla de elementos de conmutación correspondientes al relé K3
- Circuito 7: Tabla de elementos de conmutación correspondientes al relé K4

### Contactos y sensores activados

El esquema de distribución eléctrico se muestra con la alimentación de energía eléctrica desconectada.

Si en ese estado están accionados los detectores de posiciones finales, deberán aparecer marcados con una flecha. Adicionalmente se muestran los contactos correspondiente en posición activada.

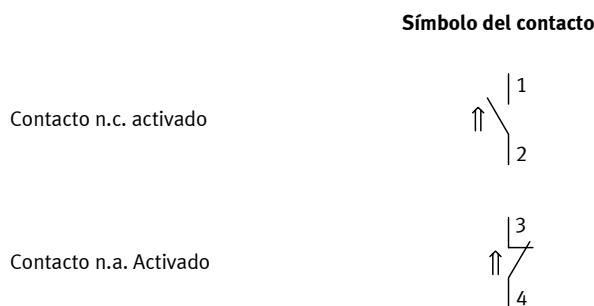


Fig. 12.8: Forma de representar los contactos activos en un esquema de circuitos eléctricos

### 12.3 Esquema de bornes de conexión

En el caso de un sistema de control electroneumático, los sensores, elementos de control, elementos de procesamiento de señales y las bobinas deben estar conectados entre sí. En ese contexto debe considerar la distribución de los componentes de control. Ello es importante por las siguientes razones:

- Los sensores suelen estar montados en zonas de difícil acceso
- El procesamiento de señales (relés, controles lógicos programables) suelen estar instalados en el armario de maniobra. Últimamente se prefiere utilizar terminales de válvulas con control lógico programable integrado.
- Los elementos de mando pueden encontrarse directamente en la parte frontal del armario de maniobra o, también, en un tablero de mando por separado.
- Las válvulas distribuidoras accionadas eléctricamente se montan en bloque dentro de armario de maniobra, en bloque en terminales de válvulas o individualmente en las cercanías de los actuadores.

La gran cantidad de componentes y las distancias que los separan, tienen como consecuencia que el cableado constituya un importante factor de costos en un sistema de control electroneumático.

#### 12.3.1 Requisitos para el cableado

El cableado de un sistema de control electroneumático debe cumplir los siguientes requisitos:

- Configuración económica (utilización de componentes apropiados; elaboración de un esquema de circuitos eléctricos que logre optimizar el cableado y permita la utilización de componentes con la menor cantidad posible de conexiones).
- Localización sencilla de fallos (cableado claro, entendible y documentado con exactitud).
- Reparaciones rápidas (sustitución sencilla de componentes mediante conexiones enchufables o con racores; evitar conexiones soldadas).

#### 12.3.2 Cableado con regletas de bornes

Tratándose de sistemas de control con cableado individual, se utilizan regletas de bornes con el fin de obtener una solución de bajo costo, apropiada para la localización sencilla de fallos y de estructura que permita realizar reparaciones fácilmente. Todos los cables que salen del armario de maniobra o entran en él, pasan por una regleta de bornes (Fig. 12.9). Si un componente debe ser sustituido por estar defectuoso, no hay más que desconectarlo en la regleta y conectar el componente nuevo.

Si se montan regletas de bornes adicionales directamente en los equipos o en las máquinas, es posible utilizar cables mucho más pequeños para conectar los componentes que se encuentran fuera del armario de maniobras (Fig. 12.10). De este modo, la instalación y la sustitución de componentes resulta mucho más sencilla. Las regletas adicionales se montan en una caja, con el fin de protegerla frente al entorno.

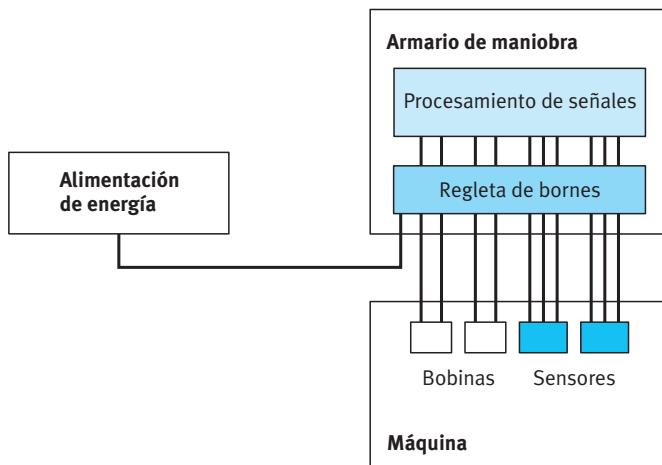


Fig. 12.9: Configuración de un sistema de control electroneumático, utilizando regletas de bornes – Regleta montada en el armario de maniobra.

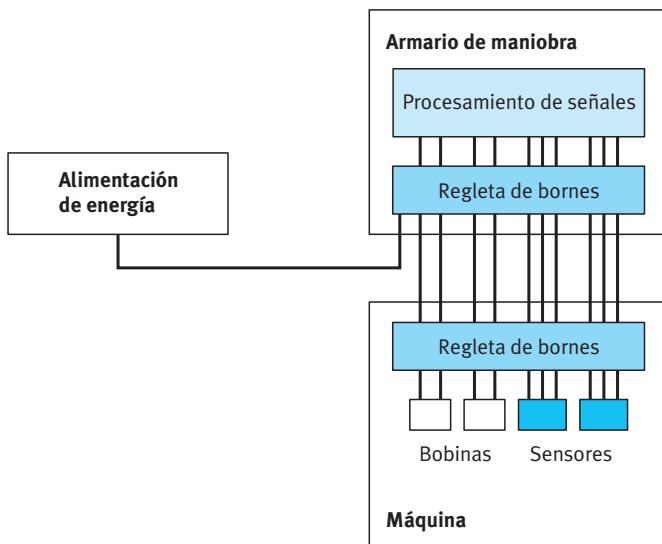
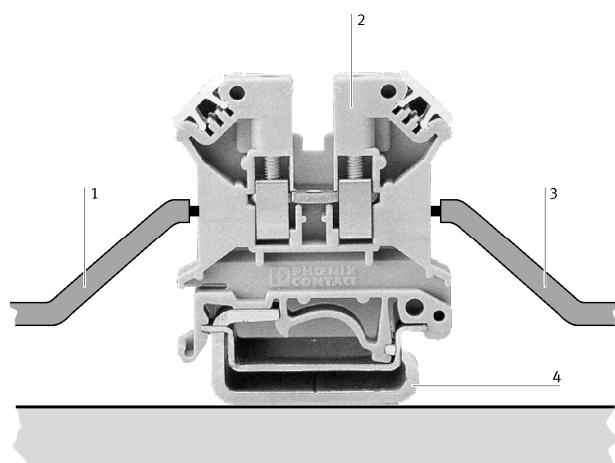


Fig. 12.10: Configuración de un sistema de control electroneumático, utilizando regletas de bornes – Regleta montada en el armario de maniobra y regletas adicionales montadas junto a la máquina

### 12.3.3 Distribución de conexiones y de regletas de bornes

Un borne tiene dos prensacables, unidos entre sí con conducción eléctrica. Todos los bornes se montan uno junto al lado del otro en la regleta. La conexión conductora entre bornes contiguos está a cargo de puentes.



1: Cable eléctrico 1 2: Borne 3: Cable eléctrico 2 4: Perfil de montaje

Fig. 12.11: Borne

### 12.3.4 Ocupación de bornes

La meta de configurar un sistema de control del modo más económico posible se opone a la meta de realizar un cableado claro y fácilmente entendible. Sin embargo, considerando el trabajo de mantenimiento del sistema de control, es recomendable que los bornes de una regleta se ocupen de tal modo que se pueda reconocer con facilidad la estructura del cableado. En las plantas existen soluciones muy variadas:

- Sistemas de control con ocupación de los bornes de acuerdo a criterios sistemáticos, que facilitan el trabajo de mantenimiento.
- Sistemas de control con una cantidad mínima de bornes, por lo que la configuración del cableado es confuso.
- Soluciones que combinan las dos anteriores.

#### Importante

Bajo ninguna circunstancia debe ocuparse la conexión de un borne con varios cables.

|                     | <b>Ocupación de bornes con distribución clara</b>  | <b>Cantidad mínima de bornes</b>   |
|---------------------|--|--|
| <b>Ventajas</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Rápida localización de fallos</li> <li>– Distribución clara y lógica</li> <li>– Mantenimiento y reparación sencillos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Solución económica (menos espacio ocupado en el armario de maniobra, menor cantidad de bornes)</li> <li>– Tendido más sencillo de los cables</li> <li>– Se cometan menos errores al efectuar el cableado</li> </ul> |
| <b>Limitaciones</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Uso de más material</li> <li>– Más tiempo necesario para realizar el cableado</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Cableado de distribución confusa. Personas no familiarizadas con el sistema necesitan más tiempo.</li> </ul>  |

Tabla 12.4: Procedimiento para la ocupación de los bornes

### 12.3.5 Estructura de un esquema de bornes de conexión

La ocupación de los bornes consta en el esquema de conexiones mediante bornes. Este esquema consta de dos partes: el esquema de circuitos eléctricos y la lista de ocupación de bornes.

En el esquema de circuitos eléctricos, todos los bornes se representan mediante un círculo (Fig. 12.14). Los bornes se identifican con X y se numeran correlativamente en una misma regleta de bornes (identificación, por ejemplo, con X1, X2, etc.). Si existen varias regletas de bornes, cada una de ellas se identifica adicionalmente con un número ordinal (por ejemplo X2.6, que sería el sexto borne de la regleta número 2).

En una lista de ocupación de bornes se incluye en orden correlativo la ocupación de cada uno de los bornes de una regleta. Si un sistema de control tiene varias regletas de bornes, se prepara una lista para cada regleta. Estas listas se utilizan como documentación para efectuar el montaje del sistema de control, para localizar fallos (medición de señales en los bornes) y para realizar reparaciones.

### 12.3.6 Confección de un esquema de bornes de conexión

El esquema de conexiones mediante bornes se basa en el esquema de circuitos eléctricos, sin incluir la ocupación de los bornes. El esquema de conexiones mediante bornes se confecciona en dos fases:

1. Atribuir los números de los bornes e incluir los bornes en el esquema de circuitos eléctricos.
2. Conexión de una o varias listas (según proceda) de ocupación de bornes.

### Ejemplo de aplicación

A continuación se explica un método para la ocupación de los bornes especialmente apropiado para obtener un cableado claramente estructurado. Para confeccionar el esquema de conexiones mediante bornes se utiliza lo siguiente:

- Un esquema de circuitos eléctricos de un sistema de control, aunque sin marcar los bornes (Fig. 12.12).
- Una lista vacía de ocupación de bornes (Fig. 12.13).

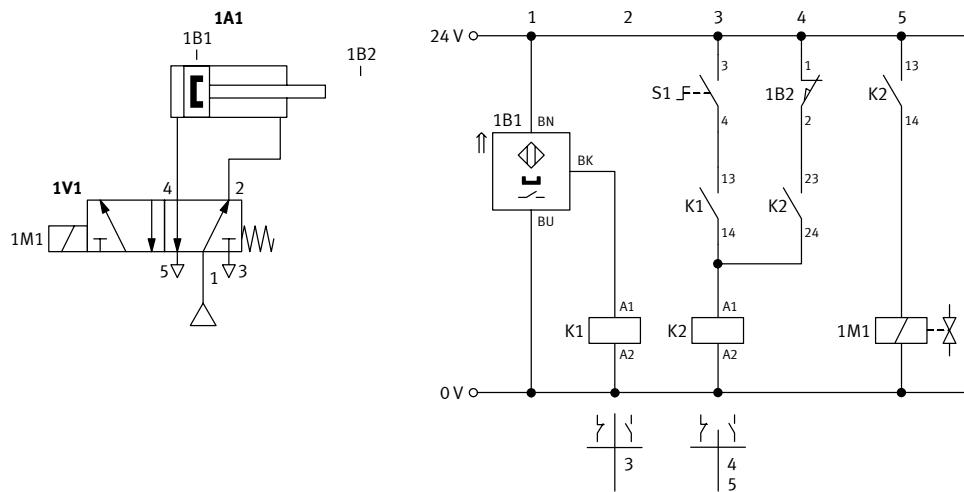


Fig. 12.12: Esquema de distribución neumático y esquema de circuitos eléctricos de un sistema de control electroneumático

| Denominación del componente | Denominación de la conexión | Destino            |                |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------|
|                             |                             | Puente de conexión | Borne nº X ... |
|                             |                             |                    | 1              |
|                             |                             |                    | 2              |
|                             |                             |                    | 3              |
|                             |                             |                    | 4              |
|                             |                             |                    | 5              |
|                             |                             |                    | 6              |
|                             |                             |                    | 7              |
|                             |                             |                    | 8              |
|                             |                             |                    | 9              |
|                             |                             |                    | 10             |
|                             |                             |                    | 11             |
|                             |                             |                    | 12             |
|                             |                             |                    | 13             |
|                             |                             |                    | 14             |
|                             |                             |                    | 15             |
|                             |                             |                    | 16             |
|                             |                             |                    | 17             |
|                             |                             |                    | 18             |
|                             |                             |                    | 19             |
|                             |                             |                    | 20             |

Fig. 12.13: Lista vacía de ocupación de bornes

### Atribución de números a los bornes

Los números de los bornes se atribuyen uno tras otro y se incluyen correspondientemente en el esquema de circuitos eléctricos. La atribución de los números y la inclusión en el esquema de circuitos eléctricos se realiza en tres pasos:

1. Alimentación de tensión a todos los circuitos eléctricos (bornes X1-1 hasta X1-4 en el esquema de circuitos; Fig. 12.14).
2. Conexión a tierra en todos los circuitos eléctricos (bornes X1-5 hasta X1-8 en el esquema de circuitos; Fig. 12.14).
3. Conexión de todos los componentes montados fuera del armario de maniobras, aplicando los siguientes criterios:
  - en el orden de los circuitos,
  - en cada circuito desde arriba hacia abajo,
  - en el caso de los contactos, en el orden de los números funcionales,
  - en el caso de componentes electrónicos, en el siguiente orden: conexión de alimentación de tensión, conexión de señales (si procede), conexión a masa.

En el esquema que se muestra a continuación, los componentes ocupan los bornes X1-9 hasta X1-17.

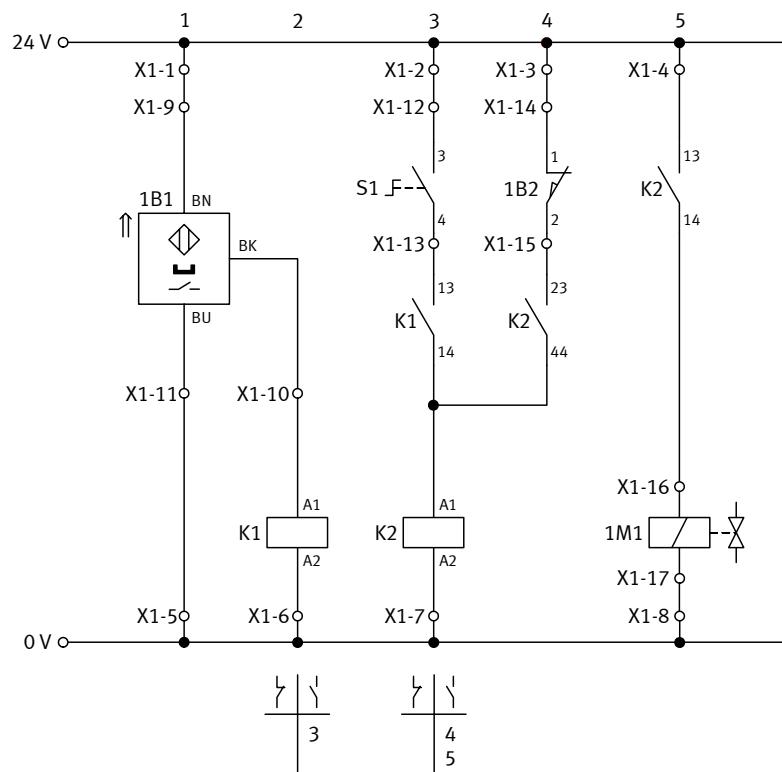


Fig. 12.14: Esquema de circuitos eléctricos, con bornes incluidos

### Rellenar la lista de ocupación de bornes

Para llenar la lista de ocupación de bornes, deberá procederse en el siguiente orden:

1. Apuntar las denominaciones de los elementos y las conexiones de los componentes montados fuera del armario de maniobra (en el lado izquierdo de la lista de ocupación de bornes)
2. Apuntar las denominaciones de los elementos y las conexiones de los componentes montados dentro del armario de maniobra (en el lado derecho de la lista de ocupación de bornes)
3. Incluir los puentes necesarios en el esquema (en el ejemplo que aquí se comenta: bornes X1-1 hasta X1-4 para tensión de alimentación de 24 V; X1-5 hasta X1-8 para conexión a masa)
4. Incluir las conexiones entre bornes que no pueden solucionarse mediante puentes

| Máquina                     |         | Armario de maniobra |             |                             |         |
|-----------------------------|---------|---------------------|-------------|-----------------------------|---------|
| Denominación del componente | Destino | Puente de conexión  | Borne nº X1 | Denominación del componente | Destino |
| Denominación de la conexión |         |                     |             | Denominación de la conexión |         |
| 24V                         | ○       |                     | 1           | X1                          | 9       |
|                             | ○       |                     | 2           | X1                          | 12      |
|                             | ○       |                     | 3           | X1                          | 14      |
|                             | ○       |                     | 4           | K2                          | 13      |
| OV                          | ○       |                     | 5           | X1                          | 11      |
|                             | ○       |                     | 6           | K1                          | A2      |
|                             | ○       |                     | 7           | K2                          | A2      |
|                             | ○       |                     | 8           | X1                          | 17      |
| 1B1                         | BN      | ○                   | 9           | X1                          | 1       |
| 1B1                         | BK      | ○                   | 10          | K1                          | A1      |
| 1B1                         | BU      | ○                   | 11          | X1                          | 5       |
| S1                          | 3       | ○                   | 12          | X1                          | 2       |
| S1                          | 4       | ○                   | 13          | K1                          | 13      |
| 1B2                         | 1       | ○                   | 14          | X1                          | 3       |
| 1B2                         | 2       | ○                   | 15          | K2                          | 23      |
| 1M1                         |         | ○                   | 16          | K2                          | 14      |
| 1M1                         |         | ○                   | 17          | X1                          | 8       |
|                             |         | ○                   | 18          |                             |         |
|                             |         | ○                   | 19          |                             |         |
|                             |         | ○                   | 20          |                             |         |

Fig. 12.15: Lista de ocupación de bornes (según el ejemplo de sistema de control)

### Cableado en sistemas de control electroneumáticos

La estructura de una lista de ocupación de bornes depende de la configuración de las regletas de bornes.

El cableado del sistema de control electroneumático puede realizarse en buena medida de acuerdo con la lista de ocupación de bornes.

- Todos los cables que llevan hacia componentes montados fuera del armario de maniobra, se conectan en el lado izquierdo de la regleta de bornes, de acuerdo con la lista.
- Todos los cables que llevan hacia componentes montados dentro del armario de maniobra, se conectan en el lado derecho de la regleta de bornes, de acuerdo con la lista.
- Los bornes contiguos, provistos de un puente según la lista de ocupación de bornes, se conectan con conducción de corriente.

Los cables que unen dos componentes montados en el armario de maniobra, no pasan por la regleta de bornes. Estos componentes no aparecen en la lista de ocupación de bornes, lo que significa que deben cablearse según el esquema de circuitos eléctricos.

## 13 Medidas de seguridad en sistemas de control electroneumáticos

### 13.1 Peligros y medidas de protección

Con el fin de utilizar sistemas de control electroneumáticos de manera segura, es necesario aplicar diversas medidas de protección.

Cualquier máquina o equipo que ejecuta movimientos, es una posible fuente de peligros. Por ejemplo, en una prensa neumática, deben adoptarse las medidas necesarias para evitar que queden aprisionados los dedos o la mano del operario. La Fig. 13.1 muestra un esquema general que incluye fuentes de peligro y las correspondientes medidas de protección.

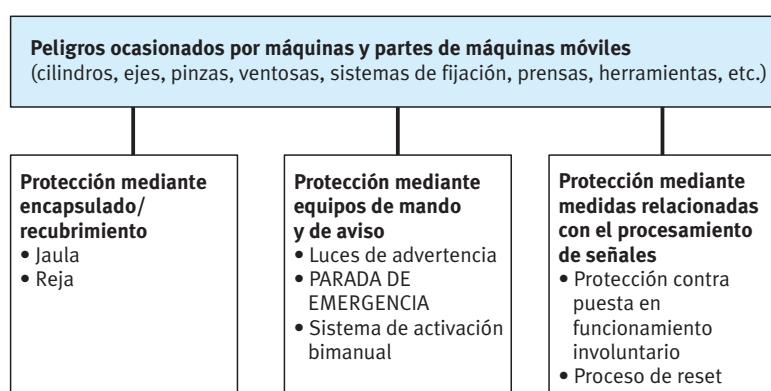


Fig. 13.1: Máquinas y partes de equipos, que ejecutan movimientos: Peligros y medidas de protección

También la corriente eléctrica alberga peligros. En la Fig. 13.2 se muestran los peligros ocasionados por la corriente eléctrica y las medidas que deben adoptarse para evitarlos.

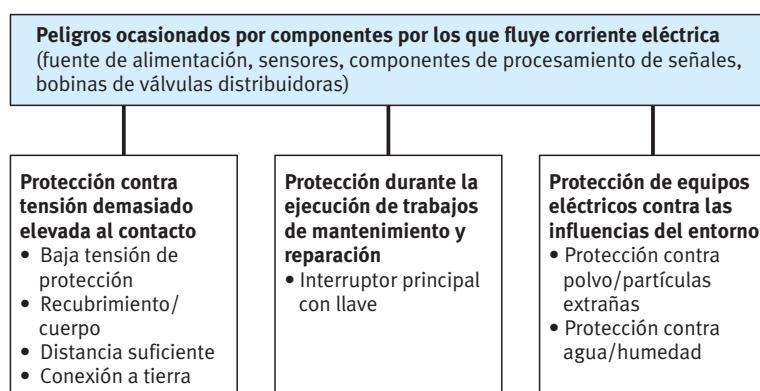


Fig. 13.2: Corriente eléctrica: Peligros y medidas de protección

## Indicaciones de seguridad

Para evitar, en la medida de lo posible, que los operarios estén expuestos a peligros al trabajar con sistemas de control electropneumáticos, deben respetarse una serie de directivas y normas de seguridad. A continuación se ofrece una lista que incluye las normas de seguridad más importantes, promulgadas con el fin de proteger frente a los peligros que alberga la corriente eléctrica:

- Medidas de protección en instalaciones de corriente de alta intensidad de hasta 1000 V (IEC 60364-1)
- Normas sobre equipos eléctricos y seguridad de máquinas (EN 60204)
- Tipos de protección en equipos y utillaje eléctricos (EN 60529)

## 13.2 El efecto de la corriente eléctrica en seres humanos

Al establecer contacto con piezas que están bajo tensión, se cierra un circuito eléctrico. En ese caso, fluye corriente eléctrica ( $I$ ) a través del cuerpo de la persona.

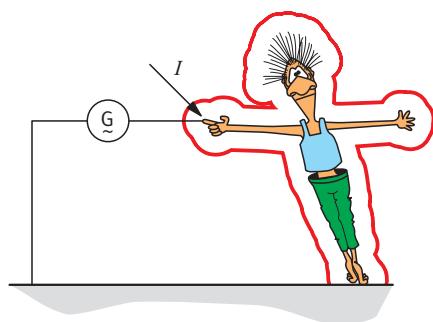


Fig. 13.3: Establecer contacto con piezas bajo corriente

### 13.2.1 El efecto de la corriente eléctrica

La gravedad del efecto que tiene la corriente eléctrica en el cuerpo del ser humano, aumenta en la medida en que aumenta la intensidad y la duración del contacto. Es posible distinguir entre los siguientes efectos en función de la intensidad y duración:

- Si no se percibe la corriente, ésta no tiene efectos negativos en el ser humano.
- Hasta el límite en que la persona aún pueda soltarse, no existe peligro para la salud de la persona.
- Por encima de ese límite (posibilidad de soltarse), se agarrota la musculatura y se producen problemas cardíacos.
- Por encima del límite de fibrilación cardíaca, se producen paros cardíacos, fibrilaciones ventriculares, paros respiratorios y desmayos. Peligro de muerte inminente.

En la Fig. 13.4 se incluyen los límites de percepción, de separación y de fibrilación para corriente alterna con una frecuencia de 50 Hz. Esta frecuencia es la que tiene la red eléctrica pública. En el caso de corriente continua, los valores límite son ligeramente superiores.

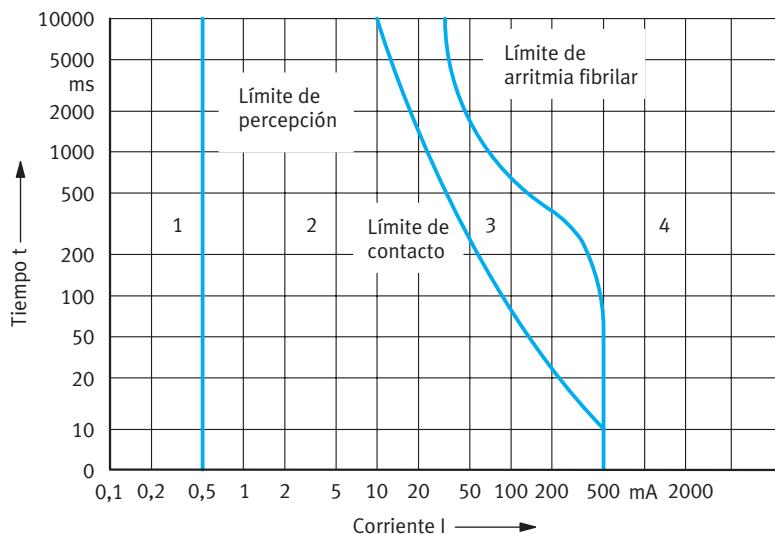


Fig. 13.4: Márgenes de peligro por contacto con tensión alterna (frecuencia de 50 Hz/60 Hz)

### 13.2.2 La resistencia eléctrica del ser humano

El cuerpo humano opone una resistencia al flujo de corriente eléctrica. La corriente eléctrica entra, por ejemplo, a través de la mano de la persona, fluye a través del cuerpo, y vuelve a salir en otro lugar (por ejemplo, en los pies).

La resistencia eléctrica  $R_H$  del ser humano se forma por la conexión en serie de la resistencia de entrada  $R_{P1}$ , la resistencia interna  $R_I$  y la resistencia de salida  $R_{P2}$ . La resistencia se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$R_H = R_{P1} + R_I + R_{P2}$$

Las resistencias de paso  $R_{P1}$  y  $R_{P2}$  varían mucho, en función de la superficie de contacto, la humedad y el grosor de la piel. Estos factores inciden en la resistencia total  $R_H$ . La resistencia total puede variar entre los siguientes valores extremos:

- Menos de 1000  $\Omega$  (gran superficie de apoyo, piel húmeda o sudorosa)
- Varios millones de  $\Omega$  (contacto en superficie muy pequeña, piel muy seca y gruesa)

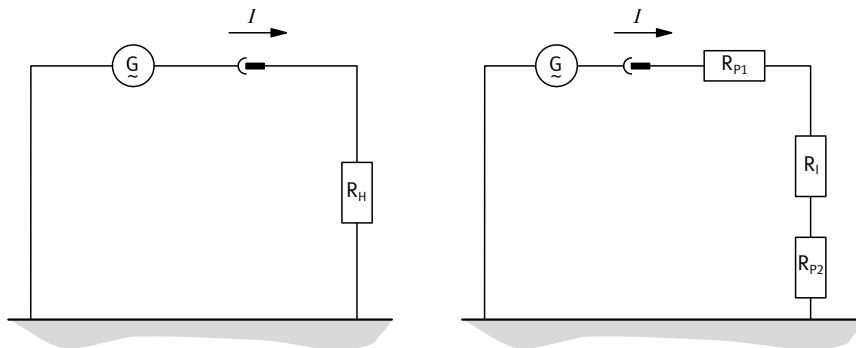


Fig. 13.5: Resistencia eléctrica del ser humano

### 13.2.3 Factores que inciden en el peligro de accidentes

La corriente  $I$  que fluye a través del cuerpo humano depende de la tensión  $U$  de la fuente, de la resistencia  $R_C$  del cable eléctrico, de la resistencia  $R_H$  del cuerpo humano y de la resistencia  $R_T$  del contacto a tierra.

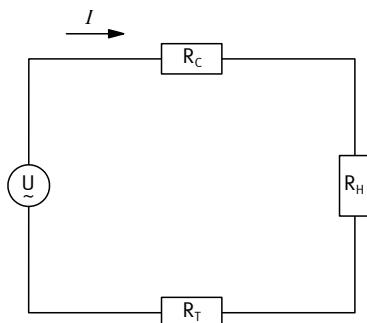


Fig. 13.6: Corriente a través del cuerpo humano

La corriente que fluye a través del ser humano se calcula con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{U}{R_C + R_H + R_T}$$

De acuerdo con esta fórmula, se obtiene una alta intensidad de la corriente, lo que significa que existe un gran peligro:

- al establecer contacto con el conductor eléctrico de alta tensión  $U$  (por ejemplo, cable de la red eléctrica pública, con 230 V de corriente alterna),
- al establecer contacto con una resistencia de paso  $R_p$  baja y, por lo tanto, existiendo una resistencia  $R_h$  también baja (por ejemplo, grandes superficies de contacto, piel sudorosa, vestimenta mojada).

### **13.3 Medidas de protección contra accidentes ocasionados por corriente eléctrica**

Numerosos tipos de sistemas de protección logran evitar que el operario se exponga al peligro de sufrir una descarga eléctrica al trabajar con sistemas de control electroneumáticos.

#### **13.3.1 Protección contra contacto directo**

Las normas establecen que es obligatorio prever medidas de protección, para evitar que se produzcan contactos con piezas bajo tensión, sin importar si se trata de baja o alta tensión. Con medidas de:

- aislamiento y
- protección por cubrimiento,

es posible ofrecer una protección satisfactoria, para evitar el contacto directo.

#### **13.3.2 Conexión a tierra**

Las piezas sometidas a tensión eléctrica y con las que personas pueden establecer contacto, deben estar conectadas a tierra. Si se aplica tensión al cuerpo de un componente que está conectado a tierra, se produce un cortocircuito que dispara los elementos de protección contra sobrecargas. De esta manera, se interrumpe la alimentación de tensión eléctrica. Estos componentes que protegen contra sobrecargas, pueden ser los siguientes:

- Fusibles
- Interruptores de protección contra potencia eléctrica
- Interruptores FI (interruptor de intensidad diferencial)
- Interruptores FU (interruptor de tensión diferencial)

### 13.3.3 Baja tensión de protección

Al establecer contacto con un conductor eléctrico con tensión inferior a aproximadamente 30 V, no existe peligro de muerte, ya que sólo fluye poca corriente a través del ser humano.

Por esta razón, los sistemas de control electroneumáticos no suelen funcionar con la tensión de la red eléctrica pública (por ejemplo, de 230 V de tensión alterna), sino con 24 voltios de corriente continua. La tensión de alimentación se reduce mediante una fuente de alimentación con transformador de seguridad.

#### Importante

A pesar de esta medida de protección, debe tenerse en cuenta que los cables eléctricos que se conectan a las entradas de la unidad de alimentación, se encuentran bajo alta tensión!

## 13.4 Panel de mando y sistemas de aviso

Los paneles y elementos de mando y, además, los sistemas de aviso, deben configurarse de tal manera que sea posible utilizar el sistema de control de manera sencilla y rápida. Las funciones, la disposición y los colores de diferenciación de los elementos y de las lámparas de control, están definidos en las normas correspondientes. De esta manera, es posible que los mandos de diferentes sistemas de control sean siempre iguales, por lo que se evita, en buena medida, que se cometan errores de utilización.

### 13.4.1 Interruptor principal

Todas las máquinas y todos los equipos deben estar provistos de un interruptor principal. Con este interruptor se desconecta la alimentación de energía eléctrica mientras se realizan trabajos de limpieza, mantenimiento y reparación, aunque también si se producen paralizaciones de las máquinas durante un tiempo prolongado. Este interruptor principal tiene que ser manual y únicamente debe tener dos posiciones: "0" (OFF) y "1" (ON). El interruptor debe poder bloquearse en la posición de OFF, para evitar que se vuelva a conectar la corriente involuntariamente y, además, para evitar que se produzca una activación de la máquina a distancia. Si la alimentación de corriente es múltiple, los interruptores principales deben bloquearse recíprocamente, para que los técnicos encargados del mantenimiento no corran peligro.

### 13.4.2 PARADA DE EMERGENCIA

En situaciones de peligro, el operario activa manualmente el interruptor de PARADA DE EMERGENCIA.

Si se trata de un interruptor manual de PARADA DE EMERGENCIA, debe tratarse de un pulsador saliente. Las normas también admiten sistemas de accionamiento indirecto, mediante cuerdas de desgarre o listones de accionamiento con el pie. Si existen varios puestos de trabajo o puestos de mando, cada uno de ello debe tener un sistema de PARADA DE EMERGENCIA. El elemento de activación de la función de PARADA DE EMERGENCIA debe ser de llamativo color rojo. La superficie debajo del interruptor de emergencia debe ser de color amarillo, para contrastar con el color rojo del interruptor.

Una vez que se activa la función de PARADA DE EMERGENCIA, los actuadores deben detenerse lo más rápidamente posible y, en la medida de lo posible, la unidad de control debe separarse de la alimentación de energía eléctrica y neumática. Al activarse la función de PARADA DE EMERGENCIA, deberán tenerse en cuenta las siguientes limitaciones:

- Si es indispensable que el puesto de trabajo esté iluminado, no deberá apagarse.
- Los componentes auxiliares y de frenado, necesarios para detener la máquina rápidamente, deberán seguir funcionando
- La máquina no deberá soltar las piezas que sujeta.
- Si es necesario y recomendable, la PARADA DE EMERGENCIA debe activar movimientos de retroceso. Sin embargo, estos movimientos únicamente deberán activarse si no albergan peligro.

### 13.4.3 Elementos de mando en sistemas de control electroneumáticos

Un sistema de control electroneumático cuenta con diversos elementos de mando, además del interruptor principal y el interruptor de PARADA DE EMERGENCIA. A continuación, un ejemplo de panel de mando:

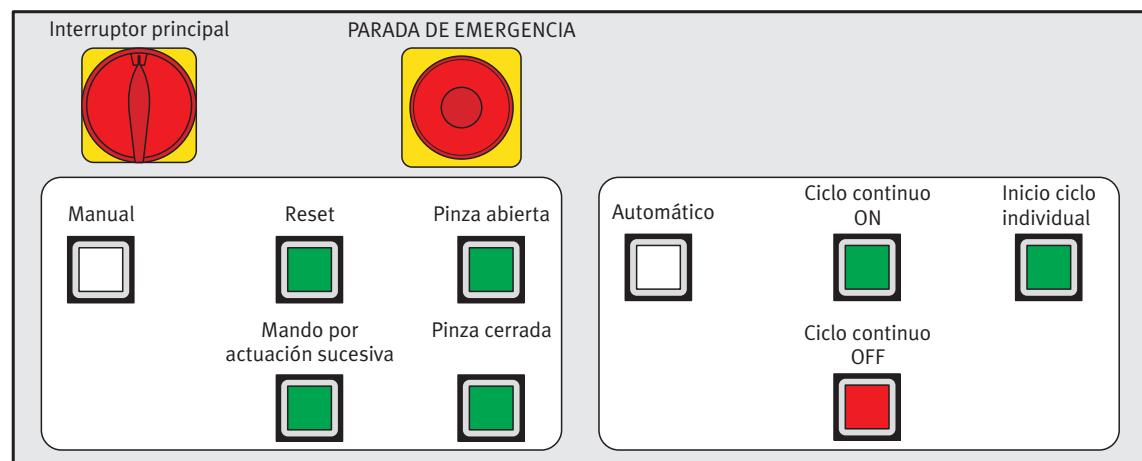


Fig. 13.7: Elementos de mando en sistemas de control electroneumáticos (ejemplo)

En los sistemas de control electroneumáticos, se distingue entre

- funcionamiento controlado manualmente y
- funcionamiento automático, es decir, controlado por un programa.

### **Funcionamiento manual**

En la modalidad de funcionamiento manual, se utilizan los siguientes elementos de mando:

- «Reset»: También: reposición. La máquina vuelve a su posición inicial.
- «Accionamiento sucesivo»: También llamado «modo Jog». Al presionar un pulsador, se activa el paso siguiente de la secuencia.
- Movimientos individuales: Al accionar el pulsador o el interruptor correspondientes, se activa un actuador.  
(Ejemplo: «Abrir pinza» o «Cerrar pinza»).

### **Funcionamiento automático**

Las siguientes modalidades únicamente son posibles en modo de funcionamiento automático:

- Ciclo individual: Se ejecutan una vez las operaciones correspondientes a un ciclo.
- Ciclo continuo: Las operaciones se ejecutan de manera continua.

Al accionar el pulsador «Ciclo continuo OFF» (o «STOP»), se interrumpe la ejecución de las operaciones. La interrupción se produce después del siguiente paso, o al término de toda la secuencia.

El interruptor principal y el pulsador de PARADA DE EMERGENCIA funcionan siempre, sin importar la modalidad de funcionamiento. Todos los sistemas de control electroneumático tienen que disponer obligatoriamente del interruptor principal y del pulsador de PARADA DE EMERGENCIA, además de los elementos de mando «Manual», «Automático», «Start», «Stop» y «Reset». Dependiendo de las funciones de la aplicación, es posible que el panel de mando incluya otros elementos de mando adicionales.

### Identificación de los elementos de mando mediante colores

En la siguiente tabla se muestra un cuadro general de colores que deben tener los elementos de mando. Además, se explica su significado según la norma NE 60204.

| Color          | Orden  | Estado pretendido   |
|----------------|--|---|
| Rojo           | Stop, OFF  | Paralización de uno o varios motores. Paralización de partes (módulos) de la máquina. Desactivación de sistemas magnéticos de sujeción de piezas.   |
|                |  | Detención del ciclo (cuando el operario presiona el pulsador mientras se está ejecutando un ciclo, la máquina se detiene una vez que concluye el ciclo que se está ejecutando).   |
|                | PARADA DE EMERGENCIA   | !Detención en caso de peligro! (Por ejemplo, desconexión en caso de sobrecalentamiento peligroso).  |
| Verde o negro  | Start, ON, Jog   | Conexión de circuitos a la alimentación de tensión (modalidad de espera). Activación de uno o varios motores para la ejecución de tareas auxiliares. Activación de partes (módulos) de la máquina. Activación de sistemas magnéticos de sujeción de piezas. Funcionamiento por actuación sucesiva (funcionamiento jog). |
| Amarillo       | Inicio de un movimiento de retroceso, al margen del funcionamiento normal. O inicio de un movimiento para eliminar situaciones peligrosas. | Reposición de máquinas a su situación inicial al principio del ciclo, suponiendo que la ejecución del ciclo aún no terminó. El accionamiento del pulsador de color amarillo puede desactivar otras funciones, activadas con anterioridad.   |
| Blanco o negro | Cualquier función, exceptuando las que se activan con los elementos de mando de los colores antes explicados.                              | Control de funciones auxiliares, no relacionadas directamente con el ciclo de trabajo.  |

Tabla 13.1: Identificación mediante colores de los elementos de mando de máquinas

### Identificación de los elementos de mando mediante colores

Las lámparas de aviso están identificadas con colores según la norma EN 60204, para que los operarios de una máquina puedan reconocer de inmediato fallos o situaciones de peligro. En la siguiente tabla se explica el significado de los diversos colores.

| Color             | Estado de funcionamiento  | Ejemplos de aplicaciones  |
|-------------------|---|---|
| Rojo              | Situaciones anormales   | La máquina se detuvo porque se activó una función de protección (por ejemplo, debido a sobrecarga, sobrepaso indebido u otro fallo). Aviso, para que el operario detenga la máquina (por ejemplo, debido a sobrecarga).   |
| Amarillo          | iAtención! o iCuidado!  | Un valor (corriente, temperatura) se acerca al límite admisible. También: señal tras activación de la modalidad de funcionamiento automático.   |
| Verde             | La máquina está lista para funcionar  | La máquina está lista para funcionar: Los sistemas para el accionamiento de las funciones están en modalidad de espera. Todas las unidades se encuentran en su posición inicial, los valores de presión neumática o de tensión son correctos. El ciclo ha concluido, y la máquina está lista para iniciar el siguiente ciclo o repetir el anterior. |
| Blanco (incoloro) | Se aplica tensión a los circuitos eléctricos<br>Normal en funcionamiento                                      | El interruptor principal se encuentran en posición de ON. Selección de la velocidad o del sentido de giro. Los actuadores y los sistemas auxiliares están en funcionamiento. La máquina está en funcionamiento.   |
| Azul              | Cualquier función, exceptuando las que se activan con los elementos de mando de los colores antes explicados. |   |

Tabla 13.2: Identificación mediante lámparas de color de sistemas de control de máquinas

### 13.5 Protección de sistemas eléctricos frente a influencias del entorno

Los sistemas eléctricos (por ejemplo, sensores, controles lógicos programables, etc.) están expuestos a diversas influencias del entorno. Entre ellas, hay algunas que pueden inhibir el buen funcionamiento de los sistemas, como, por ejemplo, polvo, humedad o cuerpos extraños.

Dependiendo de las condiciones de montaje y de las condiciones imperantes en el entorno, se protegen los componentes eléctricos mediante cuerpos o sistemas hermetizantes. Estas medidas de protección también evitan que las personas corran peligro al utilizar esos componentes.

### 13.5.1 Identificación de los tipos de protección

Según la norma EN 60529, la identificación de los tipos de protección se realiza mediante dos letras (IP, por International Protection) y dos cifras. La primera cifra indica el grado de protección frente al ingreso de polvo o de partículas extrañas, mientras que la segunda cifra indica el grado de protección frente a la entrada de humedad o agua. En las siguientes tablas se muestra la relación entre clases de protección y el alcance de la protección.

| Primer número de código | Alcance de la protección                             |  |
|-------------------------|--|--|
|                         | Denominación   | Explicación  |
| 0                       | Sin protección                                       | No ofrece protección especial para evitar que personas entren en contacto involuntario con partes que están bajo tensión o partes interiores móviles. No ofrece protección al elemento operativo contra penetración de cuerpos extraños sólidos.   |
| 1                       | Protección contra objetos extraños grandes           | Protección contra contactos involuntarios, por ejemplo con la mano, con una superficie de apoyo grande en partes que están bajo tensión o partes interiores móviles. No ofrece protección para evitar el acceso intencionado a esas partes. Protección contra penetración de cuerpos extraños sólidos de diámetros superiores a 50 mm. |
| 2                       | Protección contra cuerpos extraños de tamaño mediano | Protección contra contactos con los dedos en partes que están bajo tensión o partes interiores móviles. Protección contra penetración de cuerpos extraños sólidos de diámetros superiores a 12 mm.   |
| 3                       | Protección contra objetos extraños pequeños          | Protección contra contactos en partes que están bajo tensión o en partes móviles interiores con herramientas, cables o con objetos similares de diámetro mínimo de 2,5 mm. Protección contra penetración de cuerpos extraños sólidos de diámetros superiores a 2,5 mm.   |
| 4                       | Protección contra cuerpos extraños granulados        | Protección contra penetración de cuerpos extraños sólidos de diámetros superiores a 1 mm.  |
| 5                       | Protección contra el polvo                           | Protección total contra contactos en partes que están bajo tensión o partes interiores móviles. Protección contra depósitos dañinos de polvo Si bien no se evita totalmente la penetración de polvo, su cantidad debe ser tan pequeña que no afecte el funcionamiento.   |
| 6                       | Protección contra la penetración de polvo            | Protección total contra contactos en partes que están bajo tensión o partes interiores móviles. Protección contra la penetración de polvo.   |

Tabla 13.3: Protección contra contacto directo, polvo y cuerpos extraños

| <b>Segundo número de código</b> | <b>Alcance de la protección</b>       |  |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|
|                                 | <b>Denominación</b>                   | <b>Explicación</b>   |
| 0                               | Sin protección                        | No ofrece protección especial.   |
| 1                               | Goteo de agua                         | Las gotas que caen perpendicularmente no deben ocasionar daños.  |
| 2                               | Goteo de agua, con inclinación de 15° | Las gotas que caen perpendicularmente no deben ocasionar daños si el cuerpo está inclinado 15 grados hacia uno u otro lado del plano horizontal.   |
| 3                               | Rocío de agua                         | El agua que cae oblicuamente en un ángulo máximo de 60° no debe tener efectos dañinos.   |
| 4                               | Salpicadura de agua                   | El agua que salpica desde cualquier ángulo contra el cuerpo no tiene efectos dañinos.  |
| 5                               | Chorro de agua                        | El agua que salpica desde cualquier ángulo contra el elemento operativo no debe tener efectos dañinos.   |
| 6                               | Chorro fuerte de agua                 | El agua que salpica con fuerza desde cualquier ángulo contra el elemento operativo no debe tener efectos dañinos.  |
| 7                               | Sumersión pasajera                    | El agua no debe penetrar en cantidades que puedan ocasionar un daño si el cuerpo se sumerge en agua sometiéndose a una determinada presión durante un determinado tiempo.  |
| 8                               | Sumersión duradera                    | El agua no debe penetrar en cantidades que puedan ocasionar un daño si el cuerpo se sumerge de modo duradero en agua. Las condiciones correspondientes deben acordarse entre el fabricante y el usuario. Sin embargo, las condiciones tienen que ser más estrictas a aquellas definidas por el número 7. |

Tabla 13.4: Protección contra humedad y agua

## 14 Símbolos

### 14.1 Símbolos de componentes neumáticos

El esquema neumático de un sistema de control muestra cómo están conectados entre sí los componentes neumáticos y, además, cómo se produce una interacción entre ellos. Los símbolos de los componentes se distribuyen de tal manera que se obtenga un esquema claramente estructurado, en el que se cruce la menor cantidad posible de líneas. Esto significa que un esquema neumático no es apropiado para apreciar la distribución real de los componentes.

En un esquema de distribución neumático, los componentes se representan mediante símbolos. Estos símbolos están definidos en la norma ISO 1219-1. Un símbolo debe ofrecer las siguientes informaciones:

- Tipo de accionamiento
- Cantidad de conexiones y su denominación
- Cantidad de posiciones de conmutación

A continuación únicamente se hace referencia a símbolos de componentes que se usan con frecuencia en sistemas de control neumáticos.

#### 14.1.1 Símbolos correspondientes a la parte de alimentación de energía

La parte de alimentación de energía se representa mediante símbolos de cada uno de los componentes, una combinación de símbolos o, también, con un solo símbolo simplificado.

| Función   | Símbolo |
|---|---------|
| Compresor con volumen de desplazamiento constante |         |
| Depósito, acumulador de aire comprimido           |         |
| Fuente de presión                                 |         |

Tabla 14.1: Símbolos correspondientes a la parte de alimentación de energía – Sistemas de alimentación

| Función  | Comentario   | Símbolo |
|--|--|---------|
| Filtro   | Filtración de partículas de suciedad                           |         |
| Separador de agua con accionamiento manual     |  |         |
| Separador de agua con accionamiento automático |  |         |
| Lubricador                                     | Dosificación de pequeñas cantidades de aceite al flujo de aire |         |
| Válvula reguladora de presión                  | Regulable, con salida de descarga                              |         |

Tabla 14.2: Símbolos correspondientes a la parte de alimentación de energía – Unidad de mantenimiento

| Función                 | Comentario  | Símbolo |
|-------------------------|---|---------|
| Unidad de mantenimiento | Compuesta por separador de agua, filtro de aire comprimido, válvula reguladora de presión, manómetro y lubricador |         |
|                         | Representación simplificada de una unidad de mantenimiento  |         |
|                         | Representación simplificada de una unidad de mantenimiento sin lubricador   |         |

Tabla 14.3: Símbolos correspondientes a la parte de alimentación de energía – Símbolos combinados

### 14.1.2 Símbolos de válvulas

Los símbolos de válvulas neumáticas están compuestos de uno o varios cuadrados.

| Función  | Símbolo |
|--|---------|
| Las posiciones de conmutación se representan mediante cuadrados.   |         |
| La cantidad de cuadrados corresponde a la cantidad de posiciones de conmutación  |         |
| Las líneas indican las vías de flujo; las flechas indican el sentido de flujo  |         |
| Las conexiones bloqueadas se representan mediante dos líneas en ángulo recto   |         |
| Las líneas correspondientes a la alimentación de aire y al aire de escape se dibujan en la parte exterior de un cuadrado |         |

Tabla 14.4: Módulos para símbolos de válvulas

### 14.1.3 Símbolos de válvulas distribuidoras

El símbolo de una válvula distribuidora muestra las conexiones, las posiciones de conmutación y las vías de flujo. En el caso de una válvula distribuidora de accionamiento eléctrico, el símbolo muestra las posiciones de conmutación que ocupa la válvula cuando se desconecta la alimentación de energía eléctrica.

| Función   | Símbolo |
|---|---------|
| 1er. número: Cantidad de conexiones<br>2º número: Cantidad de posiciones de conmutación |         |
| Válvula de 2/2 vías en posición de paso abierto   |         |
| Válvula de 3/2 vías en posición de paso bloqueado                                       |         |

Tabla 14.5: Válvulas distribuidoras – Conexiones y posiciones de conmutación

| Función   | Símbolo |
|---|---------|
| 1er. número: Cantidad de conexiones<br>2º número: Cantidad de posiciones de conmutación |         |
| Válvula de 3/2 vías en posición de paso abierto   |         |
| Válvula de 4/2 vías, caudal desde 1 hacia 2 y desde 4 hacia 3                           |         |
| Válvula de 5/2 vías, caudal desde 1 hacia 2 y desde 4 hacia 5                           |         |
| Válvula de 5/3 vías, centro cerrado   |         |

Tabla 14.6: Válvulas distribuidoras – Conexiones y posiciones de conmutación (continuación)

### Identificación de las conexiones y del accionamiento de válvulas distribuidoras

Con el fin de evitar una conexión equivocada de los tubos flexibles, las conexiones de las válvulas están debidamente identificadas según la norma ISO 5599-3, tanto en la válvula misma, como también en el esquema de distribución. Tratándose de un sistema de accionamiento asistido por aire comprimido, el efecto del accionamiento se muestra en la línea de control correspondiente o, tratándose de válvulas con alimentación interna del aire de pilotaje, junto al símbolo del sistema de accionamiento.

|   | Función  | Denominación            |
|---|--|-------------------------|
| Líneas de utilización (todos los tipos de válvulas)   | Conexión de aire comprimido<br>Conexiones de unidades consumidoras<br>Conexiones de escape   | 1<br>2,4<br>3,5         |
| Conexión de control / sistema de accionamiento. En caso de válvulas servopilotadas o de accionamiento por aire comprimido | Bloqueo de la conexión de aire comprimido<br>Unión de las conexiones 1 y 2<br>Unión de las conexiones 1 y 4<br>Conexiones de escape del aire de pilotaje | 10<br>12<br>14<br>82,84 |

Tabla 14.7: Identificación de las líneas de utilización y de control de válvulas distribuidoras

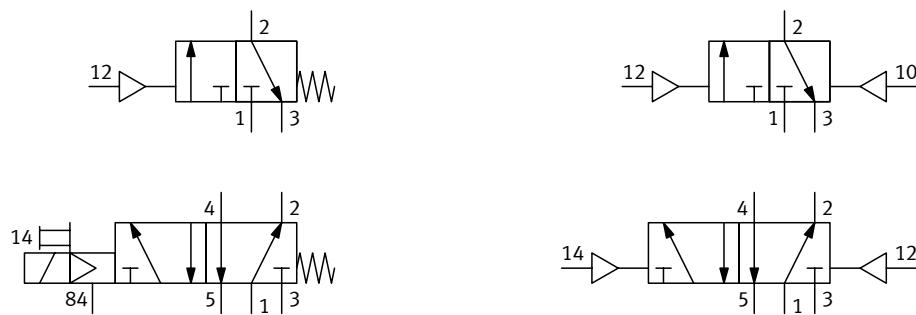


Fig. 14.1: Ejemplos de denominaciones

### Tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras

Para la representación completa de una válvula distribuidora en un esquema de distribución neumático, el símbolo debe ofrecer las siguientes informaciones:

- El tipo básico de accionamiento de la válvula
- La forma de reposición
- El servopilotaje (si procede)
- Accionamientos adicionales (p. ej. accionamiento manual auxiliar, si procede)

Los símbolos correspondientes al tipo de accionamiento se incluyen junto a la posición de conmutación según el sentido de su efecto.

El tipo de accionamiento depende de las exigencias que plantea la aplicación. Tipos de accionamiento:

- Accionamiento manual
- Accionamiento mecánico
- Accionamiento por aire comprimido
- Accionamiento eléctrico
- Combinación de diversos tipos de accionamiento

| Función    | Símbolo |
|------------|---------|
| Compresión |         |
| Tracción   |         |

Tabla 14.8: Tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras – Accionamiento manual

| Función             | Símbolo  |
|---------------------|--|
| Retorno por muelle  |   |
| Centrado por muelle |  |

Tabla 14.9: Tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras – Reposición mecánica

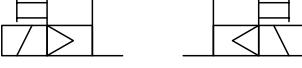
| Función   | Símbolo  |
|---|--|
| Por efecto de un electroimán  |   |
| Por efecto de dos electroimanes   |  |
| Válvula servopilotada, accionamiento electromagnético en ambos lados, con accionamiento manual auxiliar |  |

Tabla 14.10: Tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras – Accionamiento eléctrico, accionamiento combinado

#### 14.1.4 Símbolos de válvulas antirretorno, válvulas estranguladoras y válvulas de escape rápido

En un sistema de control neumático, las válvulas antirretorno determinan el sentido de flujo, mientras que las válvulas estranguladoras determinan el caudal. Las válvulas de escape rápido consiguen que los actuadores neumáticos ejecuten movimientos a gran velocidad, ya que el aire comprimido puede salir casi sin tener que superar resistencia alguna.

| Función                          | Símbolo   |
|----------------------------------|---|
| Válvula de antirretorno          |  |
| Válvula antirretorno con muelle  |  |
| Válvula estranguladora regulable |  |

Tabla 14.11: Símbolos de válvulas antirretorno, válvulas estranguladoras y válvulas de escape rápido

| Función   | Símbolo |
|---|---------|
| Regulador de caudal (estrangulación y antirretorno) |         |
| Válvula de escape rápido                            |         |
| Válvula de simultaneidad                            |         |
| Válvula selectora                                   |         |

Tabla 14.12: Símbolos de válvulas de escape rápido, válvulas de simultaneidad y válvulas selectoras

#### 14.1.5 Símbolos de válvulas reguladoras de presión

Finalidad de la utilización de válvulas reguladoras de presión:

- Mantener un nivel de presión constante (válvula reguladora de presión)
- Conmutación en función de la presión (válvula de secuencia)

En un sistema de control electroneumático, en vez de una válvula de secuencia también puede utilizarse una válvula distribuidora accionada en función de la señal de un presostato o de un sensor de presión.

| Función  | Símbolo |
|--|---------|
| Válvula reguladora de presión (regulable) sin salida de descarga |         |
| Válvula reguladora de presión (regulable) con salida de descarga |         |

Tabla 14.13: Símbolos de válvulas reguladoras de presión

| Función  | Símbolo |
|--|---------|
| Válvula de secuencia con línea de alimentación externa |         |
| Válvula limitadora de presión                          |         |
| Válvula de secuencia (combinación)                     |         |

Tabla 14.14: Símbolos de válvulas reguladoras de presión (continuación)

#### 14.1.6 Símbolos de elementos de trabajo

En sistemas de control electroneumáticos se utilizan principalmente con los siguientes elementos de trabajo:

- Cilindros neumáticos para la ejecución de movimientos lineales (cilindros de simple efecto, cilindros de doble efecto, cilindros sin vástagos, etc.)
- Cilindros giratorios
- Motores para la ejecución continua de movimientos giratorios (por ejemplo, motor de paletas para destornilladores neumáticos)
- Ventosas de aspiración

| Función                   | Comentario   | Símbolo |
|---------------------------|--|---------|
| Cilindro de simple efecto | Avance mediante energía neumática.<br>Retroceso por la fuerza del muelle de reposición |         |
| Cilindro de doble efecto  | Avance y retroceso mediante energía neumática  |         |

Tabla 14.15: Símbolos de elementos de trabajo neumáticos

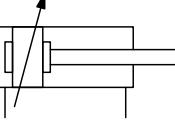
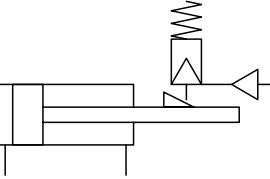
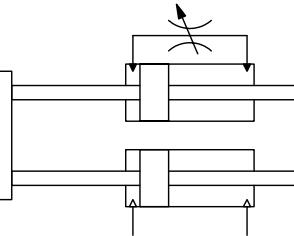
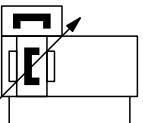
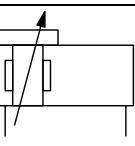
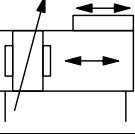
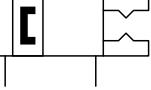
| Función  | Comentario   | Símbolo  |
|--|--|--|
| Cilindro de doble efecto   | Amortiguación regulable en los finales de carrera, para avance y retroceso   |    |
| Cilindro de doble efecto con unidad de bloqueo                               | Unidad de bloqueo mecánico, con desbloqueo neumático   |    |
| Cilindro de doble efecto con cilindro de arrastre hidráulico                 | El cilindro se controla neumáticamente. El cilindro hidráulico de arrastre consigue que los movimientos se ejecuten homogéneamente |    |
| Cilindro sin vástago, con amortiguación regulable en las posiciones finales. | Por lo general, cilindros de gran carrera. Accionamiento mediante imán permanente  |    |
| Cilindro sin vástago, con amortiguación regulable en las posiciones finales. | Transmisión mecánica de la fuerza; cilindro con cinta hermetizante   |   |
| Cilindro sin vástago, con amortiguación regulable en las posiciones finales. | Transmisión mecánica de la fuerza; ejecución de correa / cinta   |  |
| Pinza neumática de doble efecto  |  |  |

Tabla 14.16: Símbolos de elementos de trabajo neumáticos (continuación)

| Función                      | Comentario   | Símbolo |
|------------------------------|--|---------|
| Actuador neumático giratorio | Motor con giro limitado  |         |
| Motor neumático              | Motor de aire comprimido con volumen constante y un solo sentido de giro |         |
| Motor neumático              | Motor neumático con dos sentidos de giro                                 |         |
| Generador de vacío           | Entrada de vacío mediante eyector  |         |

Tabla 14.17: Símbolos de elementos de trabajo neumáticos (continuación)

#### 14.1.7 Símbolos de otros elementos

| Función                                       | Símbolo |
|---|---------|
| Salida de escape sin conexión                 |         |
| Salida de escape con conexión                 |         |
| Silenciador                                   |         |
| Unión de líneas                               |         |
| Cruce de líneas                               |         |
| Aparato de medición de la presión (manómetro) |         |
| Indicación óptica                             |         |

Tabla 14.18: Símbolos de otros componentes neumáticos y electroneumáticos

| Función   | Símbolo   |
|---|---|
| Presostato electromecánico (convertidor P/E)                  |  |
| Presostato electrónico regulable, señal de salida de conexión |  |
| Sensor de presión, señal de salida eléctrica analógica        |  |

Tabla 14.19: Símbolos de otros componentes neumáticos y electroneumáticos

## 14.2 Símbolos de componentes eléctricos

En un esquema de circuitos eléctricos, los componentes se representan mediante símbolos. Estos símbolos están definidos en la norma EN 60617. Desde la Tabla 14.20 hasta la Tabla 14.28: símbolos de componentes eléctricos, de uso frecuente en esquemas correspondientes a sistemas de control electroneumático.

### 14.2.1 Símbolos correspondientes a funciones básicas

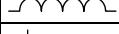
| Función   | Símbolo   |
|---|---|
| Tensión continua, corriente continua            |  |
| Tensión alterna, corriente alterna              |  |
| Rectificador (unidad de alimentación eléctrica) |  |
| Aviso luminoso                                  |  |
| Imán permanente                                 |  |
| Resistencia (general)                           |  |
| Bobina (inducción)                              |  |
| Condensador                                     |  |
| Conexión a tierra (general)                     |  |

Tabla 14.20: Símbolos eléctricos – Funciones básicas

|                              | Símbolos<br>funciones básicas | Símbolos<br>Función con reposición<br>automática | Símbolos<br>Función sin reposición<br>automática |
|------------------------------|-------------------------------|--|--|
| Contacto normalmente abierto |                               |  |  |
| Contacto normalmente cerrado |                               |  |  |
| Contacto comutador           |                               |  |  |

Tabla 14.21: Símbolos de elementos de conmutación – Funciones básicas

| Función                      | Símbolo<br>Accionamiento retardado | Símbolo<br>Reposición retardada | Símbolo de accionamiento y<br>reposición retardados |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|
| Contacto normalmente abierto |                                    |                                 |   |
| Contacto normalmente cerrado |                                    |                                 |   |

Tabla 14.22: Símbolos de elementos de conmutación – Funcionamiento con retardo

| Función  | Símbolo<br>Pulsador | Símbolo<br>Selector |
|--|---------------------|---------------------|
| Contacto normalmente abierto, accionamiento manual             |                     |                     |
| Contacto normalmente abierto, accionamiento manual presionando |                     |                     |

Tabla 14.23: Símbolos de elementos de conmutación de accionamiento manual

| Función   | Símbolo<br>Pulsador   | Símbolo<br>Selector   |
|---|---|---|
| Contacto normalmente cerrado, accionamiento manual con tracción |  |  |
| Contacto normalmente abierto, accionamiento manual girando      |  |  |

Tabla 14.24: Símbolos de elementos de conmutación de accionamiento manual (continuación)

#### 14.2.2 Símbolos de actuadores electromecánicos

| Función   | Símbolo  |
|---|--|
| Actuador electromecánico (general)  |       |
| Actuador electromecánico con dos bobinados de efecto en el mismo sentido    |       |
| Actuador electromecánico con dos bobinados de efecto en sentidos contrarios |   |
| Actuador electromecánico con activación retardada                           |   |
| Actuador electromecánico con desconexión retardada                          |   |
| Actuador electromecánico con activación y desconexión retardadas            |   |

Tabla 14.25: Símbolos de actuadores electromecánicos

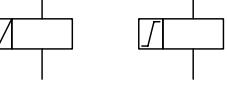
| Función   | Símbolo  |
|---|--|
| Actuador electromecánico de un relé de corriente continua |   |
| Actuador electromecánico de un relé de remanencia         |  |
| Actuador electromecánico de una válvula distribuidora     |   |

Tabla 14.26: Símbolos de actuadores electromecánicos (continuación)

### 14.2.3 Símbolos de relés y contactores

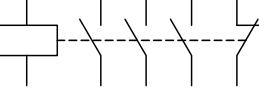
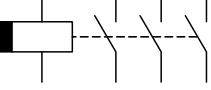
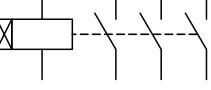
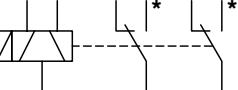
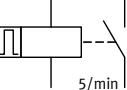
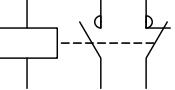
| Función  | Símbolo  |
|--|--|
| Relé con tres contactos normalmente abiertos y un contacto normalmente cerrado   |    |
| Relé con retardo de desconexión  |   |
| Relés con retardo de conexión  |  |
| Relé de remanencia<br>Si en la conexión del bobinado marcado con * se aplica una tensión, se produce un contacto en los elementos de commutación marcados con *. |  |
| Relé intermitente  |   |
| Contactor con un contacto normalmente cerrado y un contacto normalmente abierto  |   |

Tabla 14.27: Símbolos de relés y contactores (representación conexa)

#### 14.2.4 Símbolos de sensores/detectores

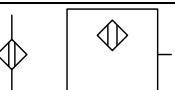
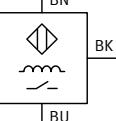
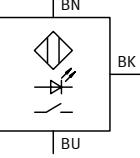
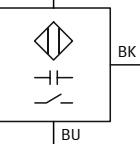
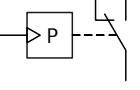
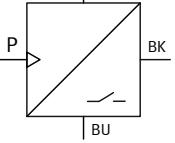
| Función   | Símbolo   |
|---|---|
| Detector de posiciones finales (contacto normalmente abierto)               |    |
| Detector de posiciones finales (contacto normalmente cerrado)               |    |
| Detector de posición (activación en aproximación)                           |    |
| Detector de posición (contacto normalmente abierto), accionamiento por imán |    |
| Detector de proximidad inductivo  |    |
| Detector óptico   |   |
| Detector de posición capacitivo   |  |
| Presostato electromecánico  |  |
| Presostato electrónico  |  |

Tabla 14.28: Símbolos de sensores

## **Las normas**

DIN 1343

Estado de referencia, estado normalizado, volumen normalizado: conceptos y valores; enero de 1990  
(IUPAC Compendium of Chemical Terminology 2nd Edition (1997))

EN 60073

Reglas básicas y de seguridad en relación con la interfaz hombre-máquina; identificación: principios básicos de codificación, aplicables a elementos de indicación y elementos de mando; mayo de 2003

EN 60204, parte 1

Seguridad de máquinas: equipamiento eléctrico de máquinas Requisitos generales; junio de 2007

EN 60529

Tipos de protección mediante cuerpos (código IP); setiembre de 2000

EN 60617

Símbolos gráficos para esquemas de distribución; partes 2 hasta 8; agosto de 1997

EN 60848

GRAFCET: lenguaje de especificación para diagramas de funciones de controles secuenciales; diciembre de 2002

EN 61082, parte 1

Documentos de electrotécnica: reglas; marzo de 2007

EN 81346-2

Sistemas industriales, equipos, máquinas y productos industriales, principios de estructuración e identificaciones de referencia: clasificación de objetos y codificación de clases; mayo de 2010

IEC 60364-1

Configuración de equipos de baja tensión: aplicaciones, finalidades y principios básicos; noviembre de 2005

ISO 1219, parte 1

Técnica de fluidos: símbolos gráficos y esquemas de distribución. Símbolos gráficos; diciembre de 2007

ISO 1219, parte 2

Técnica de fluidos: símbolos gráficos y esquemas de distribución. Esquemas de distribución; diciembre de 1996

## Índice de términos técnicos

|                                       |     |   |     |
|---------------------------------------|-----|---|-----|
| Accionamiento manual auxiliar         | 76  | Circuitos de corriente                  | 168 |
| Actuador giratorio                    | 51  | Código de identificación de componentes | 163 |
| Actuador neumático de posicionamiento |     | Combinación de válvulas                 | 101 |
| Construcción                          | 117 | Compresor                               |     |
| Actuador neumático de posicionamiento | 117 | Regulación                              | 25  |
| Utilización                           | 117 | Compresor de émbolos rotativos          | 24  |
| Actuadores                            | 45  | Compresor de flujo                      | 25  |
| Acumulador                            | 27  | Compresor de membrana                   | 24  |
| Aire                                  |     | Compresor helicoidal                    | 25  |
| Propiedades                           | 19  | Compresores                             | 23  |
| Aire comprimido                       |     | Compresores de émbolo                   | 23  |
| Preparación                           | 22  | Conceptos de instalación                | 107 |
| Alimentación de aire comprimido       | 22  | Condensador                             | 123 |
| Amortiguación final                   | 48  | Conductor                               | 119 |
| Baja tensión de protección            | 185 | Conexión a tierra                       | 184 |
| Barrera de luz de reflexión           | 137 | Conexión de bus de campo                | 106 |
| Barrera de luz unidireccional         | 137 | Conexión multipolo                      | 106 |
| Bifurcación alternativa               | 158 | Consumo de aire                         | 60  |
| Boyle Mariotte                        |     | Contacto comutador                      | 132 |
| Ley de                                | 19  | Contacto normalmente abierto            | 131 |
| Bus de campo                          |     | Contacto normalmente cerrado            | 132 |
| Estructura                            | 109 | Contacto Reed                           | 134 |
| Cableado                              |     | Contactor                               | 143 |
| con regletas de bornes                | 172 | construcción                            | 143 |
| Cableado con regletas de bornes       | 172 | utilización                             | 144 |
| Carrera                               | 59  | Contactos                               |     |
| Cilindro                              |     | denominaciones                          | 169 |
| Amortiguación final                   | 48  | Corriente                               |     |
| cilindro con doble vástago            | 50  | alterna                                 | 118 |
| de cinta hermetizante                 | 52  | continua                                | 118 |
| doble efecto                          | 48  | Denominación de conexiones              | 169 |
| simple efecto                         | 45  | Derivaciones paralelas                  | 158 |
| sin vástago                           | 52  | Descripciones de secuencias funcionales | 149 |
| Cilindro con acoplamiento magnético   | 53  | Detector de proximidad                  |     |
| Cilindro de cinta                     | 52  | capacitivo                              | 136 |
| Cilindro de simple efecto             | 45  | inductivo                               | 135 |
| Función                               | 46  | Detector de proximidad inductivo        | 135 |
| Músculo neumático                     | 46  | Detectores de proximidad                | 134 |
| Cilindro giratorio                    | 51  | Detectores de proximidad capacitivos    | 136 |
| Cilindro multiposición                | 50  | Detectores de proximidad ópticos        | 136 |
| Cilindro sin vástago                  | 52  | Detectores por reflexión                | 137 |
| Cilindro tandem                       | 49  | Diagrama de funciones                   | 149 |
| Cilindros de doble efecto             | 48  | Diagrama espacio-pasos                  | 150 |

|   |     |                                       |     |
|---|-----|---------------------------------------|-----|
| Dimensionamiento de los tubos             | 34  | Funcionamiento automático             | 187 |
| Diodo                                     | 124 | Funcionamiento manual                 | 187 |
| Disposición de los tubos                  | 36  | Fundamentos físicos                   | 17  |
| Distribución de aire                      | 34  | Gases                                 |     |
| Ecuación general de los gases             | 21  | Ecuación general de los               | 21  |
| Efectos de la corriente eléctrica         | 181 | Gay-Lussac                            |     |
| Ejemplos de aplicación                    | 13  | Ley de                                | 20  |
| Electroimán                               | 121 | Generación de aire comprimido         | 22  |
| Aplicaciones                              | 122 | Generadores de vacío                  | 56  |
| estructura                                | 122 | GRAFCET                               | 151 |
| Funcionamiento                            | 121 | Acciones                              | 154 |
| Electrotecnia                             | 118 | Condiciones de transición             | 153 |
| Fundamentos                               | 118 | Ejemplo, máquina fresadora de ranuras | 160 |
| Electroválvula biestable de 5/2 vías      | 86  | Pasos                                 | 152 |
| Electroválvula de 3/2 vías                | 76  | retornos                              | 159 |
| Electroválvula de 3/2 vías, servopilotada | 81  | Selección de secuencias               | 158 |
| Electroválvula de 5/2 vías, servopilotada | 85  | Indicaciones de seguridad             | 126 |
| Electroválvula de 5/3 vías                | 88  | Indicadores luminosos                 | 189 |
| Electroválvulas                           | 65  | identificación por colores            | 189 |
| Elementos de conmutación, tabla           | 171 | Interruptor principal                 | 185 |
| Elementos de mando                        | 188 | Ley de Boyle Mariotte                 | 19  |
| identificación por colores                | 188 | Ley de Gay-Lussac                     | 20  |
| Esquema                                   |     | Ley de Newton                         | 17  |
| circuitos eléctricos                      | 166 | Ley de Ohm                            | 119 |
| código de identificación                  | 163 | Lista de ocupación de bornes          | 178 |
| eléctrico                                 | 166 | Lubricador                            |     |
| funcional, eléctrico                      | 166 | Mantenimiento                         | 42  |
| general, eléctrico                        | 166 | Lubricador de aire comprimido         | 41  |
| identificación de componentes             | 168 | Material del los tubos                | 35  |
| neumático                                 | 162 | Medición                              |     |
| Esquema de bornes de conexión             | 172 | Fuentes de errores                    | 128 |
| Esquema de circuitos eléctricos           | 166 | Intensidad                            | 127 |
| Esquema de distribución eléctrico         | 166 | Resistencia                           | 127 |
| Esquema de distribución neumático         | 162 | Tensión                               | 126 |
| Esquema funcional                         | 166 | Medición de intensidad                | 127 |
| Esquema general                           | 166 | Medición de resistencia               | 127 |
| Estrangulación del aire de alimentación   | 98  | Medición de tensión                   | 126 |
| Estrangulación del aire de escape         | 98  | Mediciones en un circuito eléctrico   | 125 |
| Filtro de aire                            |     | Medidas de protección                 | 184 |
| mantenimiento                             | 39  | Medidas de seguridad                  | 180 |
| Filtro de aire comprimido                 | 37  | Medios de trabajo                     | 15  |
| Finales de carrera                        | 133 | Medir                                 | 125 |
| Fuente de alimentación                    | 130 | Montaje en bloque                     | 105 |
| Fuente de tensión                         | 120 | Motores                               | 62  |
| Fuerza del émbolo                         | 58  | de flujo                              | 64  |
| Función lógica de O                       | 94  | de turbina                            | 64  |
| Función lógica de Y                       | 94  | Motores de aletas                     | 63  |

|  |     |                                       |     |
|--|-----|---------------------------------------|-----|
| Motores de émbolos                     | 63  | Esquema de distribución               | 113 |
| Motores de engranajes                  | 64  | Estructura                            | 111 |
| Músculo neumático                      | 46  | Funcionamiento                        | 113 |
| Neumática                              |     | Reguladores de presión proporcionales | 111 |
| Conceptos básicos                      | 17  | Relés                                 | 140 |
| Desventajas                            | 14  | Aplicaciones                          | 141 |
| Neumática proporcional                 | 111 | Construcción                          | 140 |
| Newton                                 |     | denominaciones                        | 169 |
| Ley de                                 | 17  | remanencia                            | 142 |
| Nivel de presión                       | 23  | temporización                         | 142 |
| Ocupación de bornes                    | 174 | Requisitos para el cableado           | 172 |
| Optimización de válvulas individuales  | 104 | Resistencia                           | 120 |
| Panel de mando                         | 185 | Resistencia eléctrica del ser humano  | 182 |
| PARADA DE EMERGENCIA                   | 186 | Resistencia inductiva                 | 122 |
| Pinzas                                 | 54  | con tensión alterna                   | 122 |
| neumáticas                             | 54  | con tensión continua                  | 123 |
| Pinzas neumáticas                      | 54  | Secado por absorción                  | 31  |
| Posición inicial                       | 163 | Secador                               |     |
| Posición normal                        | 162 | por absorción                         | 31  |
| Potencia                               | 120 | por adsorción                         | 30  |
| Presión                                | 18  | por frío                              | 30  |
| Presión normalizada                    | 18  | Secador de aire                       | 29  |
| Presostatos                            |     | Secador por adsorción                 | 30  |
| electrónicos                           | 138 | Secador por frío                      | 30  |
| mecánicos                              | 138 | Selector                              | 131 |
| Presostatos electrónicos               | 138 | Sensores                              | 133 |
| Presostatos mecánicos                  | 138 | conexión a positivo y a negativo      | 135 |
| Propiedades de los cilindros           | 58  | electrónicos                          | 135 |
| Carrera                                | 59  | Sensores de presión                   | 138 |
| Consumo de aire                        | 60  | analógicos                            | 139 |
| Fuerza del émbolo                      | 58  | Sensores de presión analógicos        | 139 |
| Velocidad del émbolo                   | 60  | Sentido de la corriente               | 119 |
| Propiedades del aire                   | 19  | Servopilotaje                         | 78  |
| Propiedades y ventajas de la neumática | 14  | Accionamiento de una válvula          | 78  |
| Protección contra contacto directo     | 184 | Válvula de accionamiento eléctrico    | 80  |
| Pulsador                               | 131 | Símbolo                               |     |
| comutador                              | 132 | actuadores electromecánicos           | 204 |
| normalmente abierto                    | 131 | componentes eléctricos                | 202 |
| normalmente cerrado                    | 132 | elementos de trabajo                  | 199 |
| Punto de condensación                  | 29  | funciones básicas                     | 202 |
| Punto de condensación bajo presión     | 29  | relés y contactores                   | 205 |
| Regletas de bornes                     |     | sensores                              | 206 |
| confección                             | 175 | válvula de antirretorno               | 197 |
| distribución                           | 174 | válvula de escape rápido              | 197 |
| estructura                             | 175 | válvula estranguladora                | 197 |
| Regulador de presión proporcional      |     | válvula reguladora de presión         | 198 |
| Aplicación                             | 112 | Símbolos                              | 192 |

|                                    |     |   |         |
|------------------------------------|-----|---|---------|
| alimentación de energía            | 192 | Válvula distribuidora 5/3               |         |
| componentes neumáticos             | 192 | significado de la posición central      | 90      |
| válvulas                           | 194 | Válvula estranguladora                  | 96      |
| Símbolos de componentes eléctricos | 202 | Válvula limitadora de presión           | 100     |
| Símbolos de sensores               | 206 | Válvula neumática biestable de 5/2 vías | 83      |
| Sistema de bus de campo            | 109 | Válvula neumática de 3/2 vías           | 74      |
| Funcionamiento                     | 110 | Válvula neumática de 5/2 vías           | 82      |
| tipos                              | 110 | Válvula reguladora de caudal            | 96      |
| Sistemas de accionamiento          | 45  | Válvula reguladora de presión           | 39, 100 |
| Sistemas de aviso                  | 185 | con salida de descarga                  | 40      |
| Sistemas de control                | 15  | sin salida de descarga                  | 40      |
| Técnicas de manipulación           | 53  | Válvula selectora                       | 94      |
| Temperatura normalizada            | 18  | Válvulas de 2/2 vías                    | 72      |
| Tensión alterna                    |     | Válvulas de 5/3 vías                    | 87      |
| peligros                           | 182 | Válvulas de antirretorno                | 93      |
| Terminales de válvulas             | 104 | Válvulas de asiento                     | 68      |
| Tipo de accionamiento              | 71  | Válvulas de cierre                      | 93      |
| Tipos de protección                | 190 | Válvulas de corredera                   | 68      |
| Tubos                              |     | Válvulas de estrangulación              | 97      |
| Dimensionamiento                   | 34  | Válvulas distribuidoras                 | 65      |
| disposición                        | 36  | accionamiento                           | 196     |
| material                           | 35  | Construcción                            | 67      |
| Resistencia al flujo               | 34  | Datos neumáticos                        | 69      |
| Unidad de mantenimiento            | 37  | funcionamiento fiable                   | 92      |
| Unidad giratoria y lineal          | 54  | identificación del accionamiento        | 195     |
| Unidades de control pequeñas       | 145 | servopilotadas                          | 78      |
| Unidades de mantenimiento          |     | Tareas                                  | 65      |
| Combinación de equipos             | 43  | Tipo de accionamiento                   | 71      |
| mantenimiento                      | 44  | Valor del caudal de válvulas            | 91      |
| Utilización                        |     | Válvulas distribuidoras proporcionales  | 114     |
| Tiempo de                          | 26  | Aplicación                              | 115     |
| Valor del caudal de válvulas       | 91  | Esquema de distribución                 | 115     |
| Válvula de 3/2 vías con rodillo    | 78  | Función                                 | 114     |
| Válvula de cierre                  | 96  | Indicación de caudal                    | 116     |
| Válvula de corredera de 3/2 vías   | 72  | Válvulas individuales                   |         |
| Válvula de escape rápido           | 95  | Optimización                            | 104     |
| Válvula de leva de 3/2 vías        | 73  | Válvulas neumáticas de 5/3 vías         | 87      |
| Válvula de secuencia               | 101 | Válvulas temporizadoras                 | 102     |
| Válvula de simultaneidad           | 94  | Velocidad del émbolo                    | 60      |
|                                    |     | Ventosas de aspiración                  | 56      |

