

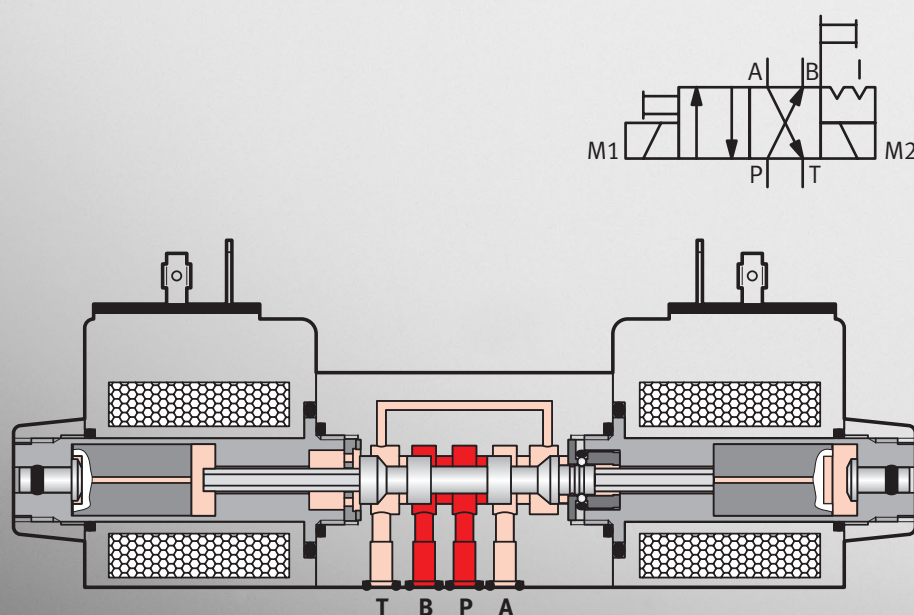
Hidráulica

Electrohidráulica

Fundamentos

FESTO

Manual de estudio



Nº de artículo: 574182
Actualización: 08/2013
Autores: Renate Aheimer, Christine Löffler, Dieter Merkle, Georg Prede,
Klaus Rupp, Dieter Scholz, Burkhard Schrader
Redacción: Frank Ebel
Gráficos: Doris Schwarzenberger
Layout: 10/2013, Frank Ebel

© Festo Didactic GmbH & Co. KG, D-73770 Denkendorf, Alemania, 2013

Internet: www.festo-didactic.com

E-Mail: 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

Prólogo	10
1 Funciones de un equipo hidráulico	11
1.1 ¿Qué significa hidráulica?	11
1.2 Sistemas hidráulicos estacionarios	11
1.3 Sistemas hidráulicos móviles	12
1.4 Características de la hidráulica	13
2 Fundamentos físicos de la hidráulica	15
2.1 Presión	15
2.2 Propagación de la presión	18
2.3 Propagación de la fuerza	19
2.4 Multiplicador de recorrido	20
2.5 Multiplicador de presión	21
2.6 Caudal	22
2.7 Ecuación de continuidad	22
2.8 Medición de la presión	23
2.9 Medición de temperatura	24
2.10 Medición del caudal	24
2.11 Tipos de flujo	25
2.12 Fricción, calor, caída de presión	27
2.13 Energía y potencia	31
2.13.1 Energía	31
2.13.2 Potencia	34
2.14 Cavitación	37
2.15 Zonas de estrangulación	38
3 Fluidos a presión	40
3.1 Funciones de los fluidos a presión	40
3.2 Tipos de fluidos a presión	41
3.3 Propiedades y requisitos	42
3.4 Viscosidad	43
4 Componentes de un alimentador de energía	47
4.1 Accionamiento	47
4.2 Bomba	48
4.3 Acoplamiento	55
4.4 Depósito	55
4.5 Filtro	57
4.5.1 Filtro de retorno	59

4.5.2	Filtro de aspiración	59
4.5.3	Filtro de presión	60
4.5.4	Lugar de montaje de los filtros	60
4.5.5	Filtración en caudal secundario	63
4.5.6	Indicadores de saturación	63
4.5.7	Determinación de la presión diferencial de un filtro de presión	64
4.6	Unidad de refrigeración	65
4.7	Calefacción	66
4.8	Acumulador hidráulico	67
4.8.1	Construcción y funcionamiento	67
4.8.2	Acumulador de émbolo	69
4.8.3	Acumulador de diafragma	70
4.8.4	Acumulador de vejiga	71
4.8.5	Normas de seguridad	72
4.8.6	Sistemas de seguridad	73
5	Actuadores	74
5.1	Cilindro hidráulico	74
5.1.1	Cilindros de simple efecto	74
5.1.2	Cilindros de doble efecto	75
5.1.3	Amortiguación en las posiciones finales	78
5.1.4	Juntas	79
5.1.5	Tipos de montaje	80
5.1.6	Escape	80
5.1.7	Datos característicos	80
5.1.8	Resistencia al pandeo	82
5.1.9	Selección de un cilindro	84
5.2	Motores hidráulicos	85
6	Tipos y valores característicos de válvulas hidráulicas	88
6.1	Valores característicos de válvulas	88
6.2	Fuerza de accionamiento	89
6.3	Construcción de cilindros de simple efecto	89
6.3.1	Válvulas de asiento	90
6.3.2	Válvulas de corredera	91
6.4	Solapamiento de conmutación	92
6.5	Flancos de mando	94
7	Válvulas reguladoras de presión	95
7.1	Válvulas limitadoras de presión	95
7.2	Válvulas reductoras de presión	97

8	Válvulas distribuidoras	100
8.1	Funciones	100
8.2	Tipos	100
8.2.1	Tipos de válvulas distribuidoras	100
8.2.2	Tipos de conexiones de válvulas distribuidoras	102
8.2.3	Datos de rendimiento de electroválvulas de 4/3 vías	103
8.3	Tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras	103
8.3.1	Válvulas distribuidoras de accionamiento manual y mecánico	104
8.3.2	Válvulas de vías accionadas eléctricamente	105
8.3.3	Interrupción de la alimentación de energía y rotura de cables en válvulas distribuidoras accionadas eléctricamente	105
8.4	Válvulas de 2/2 vías	106
8.4.1	Válvula de leva de 2/2 vías	106
8.5	Válvulas de 3/2 vías	107
8.5.1	Electroválvula de 3/2 vías de accionamiento directo, con reposición por muelle	108
8.6	Válvula de 4/2 vías	109
8.6.1	Posiciones intermedias	110
8.6.2	Válvula de 4/2 vías de palanca, con reposición por muelle	110
8.6.3	Electroválvula biestable de 4/2 vías, con enclavamiento	111
8.7	Válvula de 4/3 vías	112
8.7.1	Electroválvula de 4/3 vías, centrado por muelle, centro cerrado	113
8.7.2	Significado de la posición central	115
8.8	Servopilotaje de una válvula distribuidora	116
8.8.1	Electroválvula servopilotada de 4/3 vías	116
8.8.2	Comparación entre electroválvulas servopilotadas y electroválvulas de accionamiento directo	118
9	Válvulas de antirretorno	119
9.1	Válvula de antirretorno simple	119
9.2	Válvula de antirretorno desbloqueable	120
9.3	Válvula de antirretorno doble desbloqueable	122
10	Válvulas de caudal	123
10.1	Válvulas con tramos o puntos de estrangulación	123
10.2	Válvula de estrangulación y antirretorno	126
10.3	Válvulas reguladoras de caudal	127
11	Válvulas proporcionales	132
11.1	Construcción y funcionamiento de un electroimán proporcional	132
11.1.1	Construcción de un electroimán proporcional	132
11.1.2	Funcionamiento de un electroimán proporcional	132
11.1.3	Accionamiento de válvulas reguladoras de presión, válvulas reguladoras de caudal y válvulas distribuidoras.	133
11.1.4	Regulación de la posición del inducido	134

11.2	Construcción y funcionamiento de válvulas proporcionales reguladoras de presión	135
11.2.1	Válvula limitadora de presión	135
11.2.2	Válvula reductora de presión	136
11.3	Construcción y funcionamiento de válvulas proporcionales reguladoras de caudal y de válvulas distribuidoras	137
11.3.1	Válvulas proporcionales, reguladoras de caudal	137
11.3.2	Válvula posicionadora, de accionamiento directo	137
11.3.3	Válvula posicionadora servopilotada	138
11.3.4	Ventajas y desventajas de válvulas proporcionales servopilotadas	139
11.4	Tipos de válvulas proporcionales	140
12	Accesorios	141
12.1	Tubos flexibles y rígidos	141
12.1.1	Tuberías flexibles	142
12.1.2	Tubos rígidos	147
12.2	Placas base	149
12.3	Válvulas de escape	150
12.4	Manómetros	151
12.4.1	Manómetro con resorte tubular (manómetro de Bourdon)	151
12.4.2	Manómetros de cápsula o de membrana	152
12.4.3	Manómetro de émbolo	152
12.5	Sensores de presión	153
12.6	Caudalímetros	153
12.6.1	Caudalímetro	153
13	Fundamentos de electrotécnica	155
13.1	Corriente continua y corriente alterna	155
13.2	Ley de Ohm	156
13.2.1	Conductor eléctrico	156
13.2.2	Resistencia eléctrica	156
13.2.3	Tensión en la fuente	157
13.3	Potencia eléctrica	157
13.4	Funcionamiento de un electroimán	158
13.4.1	Construcción de un electroimán	158
13.4.2	Utilización de electroimanes	158
13.4.3	Resistencia inductiva con tensión alterna	159
13.4.4	Resistencia inductiva con tensión continua	159
13.5	Funcionamiento de un condensador eléctrico	159
13.6	Funcionamiento de un diodo	160

13.7	Mediciones en un circuito eléctrico	161
13.7.1	Definición: medir	161
13.7.2	Indicaciones de seguridad	161
13.7.3	Forma de proceder al efectuar mediciones en un circuito eléctrico	162
13.7.4	Medición de tensión	162
13.7.5	Medición de intensidad	163
13.7.6	Medición de resistencia	163
13.7.7	Fuentes de errores en mediciones realizadas en un circuito eléctrico	164
14	Componentes eléctricos	165
14.1	Unidad de conexión a la red	165
14.2	Unidades eléctricas de entrada	165
14.2.1	Contacto normalmente abierto	166
14.2.2	Contacto normalmente cerrado	166
14.2.3	Contacto de conmutación	166
14.3	Sensores	167
14.3.1	Interruptores de posición final	167
14.3.2	Detectores de proximidad	167
14.3.3	Presostato	171
14.4	Relé y contactor	172
14.4.1	Relé	173
14.4.2	Contactor	174
14.5	Control lógico programable	175
14.5.1	Construcción y funcionamiento de un PLC	176
14.6	Estructura completa de la unidad de mando por señales	176
14.7	Electroimanes	177
14.8	Supresión de arco en electroválvulas	179
15	Descripción de secuencias de trabajo de máquinas y equipos	180
15.1	Diagramas de funciones.	180
15.1.1	Ámbito de aplicación del diagrama de funciones	180
15.1.2	Diagrama espacio-pasos	181
15.2	Descripción de secuencias mediante GRAFCET según EN 60848	182
15.2.1	Principio básico de GRAFCET	182
15.2.2	Pasos	182
15.2.3	Condición de transición	183
15.2.4	Acciones	184
15.2.5	Selección de secuencias	187
15.2.6	Retornos y saltos	188
15.2.7	Estructuración de esquemas GRAFCET	188

16	Estructura de los esquemas de circuitos	189
16.1	Esquema de distribución hidráulico	189
16.1.1	Distribución de los símbolos en un esquema de distribución hidráulico	189
16.1.2	Posición de cilindros y de válvulas distribuidoras	191
16.1.3	Código de identificación de componentes	191
16.1.4	Informaciones técnicas	193
16.2	Esquema eléctrico	194
16.2.1	Esquema de circuitos eléctricos de un sistema de control electrohidráulico	195
16.2.2	Identificación de componentes	196
16.2.3	Tabla de elementos de conmutación	197
16.2.4	Contactos y sensores activados	198
16.3	Esquema de conexión de bornes	198
16.3.1	Estructura de un esquema de conexiones mediante bornes	201
16.3.2	Cableado de un sistema de control electrohidráulico	203
17	Medidas de seguridad en los mandos electrohidráulicos	204
17.1	Peligros y medidas de protección	204
17.2	El efecto de la corriente eléctrica en seres humanos	205
17.2.1	El efecto de la corriente eléctrica	205
17.2.2	La resistencia eléctrica del ser humano	206
17.2.3	Factores que inciden en el peligro de accidentes	207
17.3	Medidas de protección contra accidentes ocasionados por corriente eléctrica	208
17.3.1	Protección contra contacto directo	208
17.3.2	Conexión a tierra	208
17.3.3	Bajo voltaje de protección	208
17.4	Panel de mando y sistemas de aviso	209
17.4.1	Interruptor de red	209
17.4.2	Parada de emergencia	209
17.4.3	Elementos de mando de un sistema de control electrohidráulico	210
17.5	Protección de sistemas eléctricos frente a influencias del entorno	212
17.5.1	Identificación de los tipos de protección	213
17.6	Principios de seguridad para instalaciones electrohidráulicas	214
17.6.1	Configuración de un sistema de control electrohidráulico	214
17.6.2	Puesta en funcionamiento de un sistema electrohidráulico	215
17.6.3	Mantenimiento y reparación de un sistema electrohidráulico	215

18	Símbolos	216
18.1	Símbolos de componentes hidráulicos	216
18.1.1	Símbolos de bombas y motores hidráulicos	216
18.1.2	Símbolos de válvulas	217
18.1.3	Símbolos de válvulas distribuidoras	217
18.1.4	Símbolos de tipos de accionamiento	219
18.1.5	Símbolos de válvulas de presión	220
18.1.6	Símbolos de válvulas de caudal	220
18.1.7	Símbolos de válvulas de antirretorno y cierre	221
18.1.8	Símbolos de cilindros	221
18.1.9	Símbolos de otros componentes	222
18.1.10	Aparatos de medición	223
18.2	Símbolos de componentes eléctricos	223
18.2.1	Símbolos correspondientes a funciones básicas	223
18.2.2	Símbolos de actuadores electromecánicos	225
18.2.3	Símbolos de relés y contactores	226
18.2.4	Símbolos de sensores	226
Normas		227
Índice de conceptos		228

Prólogo

La hidráulica es la rama de la física que se encarga del estudio de las propiedades de los fluidos. El tema central del presente manual es la generación de fuerzas y movimientos mediante fluidos. Los fluidos son el medio transmisor. La hidráulica industrial, que es la que tratamos aquí, también se conoce como oleohidráulica.

En numerosos sectores de la automatización industrial se aprovecha con mucho éxito la hidráulica y electrohidráulica. Por ejemplo, en todo el mundo se utilizan máquinas de procesamiento de madera, máquinas herramienta, equipos de procesos continuos, prensas, máquinas de procesamiento de materiales sintéticos y sistemas de transporte que funcionan con sistemas de control electrohidráulicos. Pero también los equipos hidráulicos móviles con sistemas de control electrohidráulicos tienen múltiples usos, por ejemplo en vehículos agrarios, vehículos utilizados para la construcción de carreteras o vehículos municipales.

En el presente manual se explican, a modo de introducción al tema, la construcción y el funcionamiento de los componentes utilizados en sistemas hidráulicos y electrohidráulicos. En los próximos capítulos se describen procesos, se explica la estructura de esquemas de distribución y se hace hincapié en medidas de protección y seguridad.

Además, el progreso tecnológico y las exigencias más estrictas han tenido como consecuencia una evidente modificación de los sistemas de control. Buenos ejemplos de ello son las redes de bus y la hidráulica proporcional. La estrecha relación existente entre la técnica de fluidos, la microelectrónica, la técnica de sensores y la informática redonda en numerosas soluciones innovadoras en el sector de los actuadores y sistemas de control hidráulicos.

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, Alemania.

Los autores

1 Funciones de un equipo hidráulico

1.1 ¿Qué significa hidráulica?

Los sistemas hidráulicos se utilizan en centros de producción y fabricación modernos.

Por hidráulica se entiende la generación de fuerzas y movimientos mediante fluidos sometidos a presión. Se entiende que los fluidos a presión hacen las veces de medio de transmisión de energía.

Las múltiples aplicaciones de la hidráulica en sistemas automatizados demuestran su gran importancia. Básicamente se distingue entre

- Sistemas hidráulicos estacionarios
- sistemas hidráulicos móviles.

Los sistemas hidráulicos móviles pueden transportarse (por ejemplo, sobre ruedas o cadenas), a diferencia de los sistemas hidráulicos estacionarios, instalados fijamente en un determinado lugar. Los sistemas hidráulicos móviles se caracterizan usualmente por el hecho de tener válvulas que se accionan manualmente. En el caso de los sistemas hidráulicos estacionarios, las válvulas por lo general son de accionamiento electromagnético.

Cabe mencionar además los sectores de la hidráulica utilizada en barcos, en la minería y en aeroplanos. La hidráulica en la aeronáutica tiene características muy especiales, pues deben considerarse numerosos criterios de seguridad de gran importancia. En las próximas páginas se ofrecen algunos ejemplos de aplicaciones típicas, con el fin de explicar las tareas que pueden asumir los sistemas hidráulicos.

1.2 Sistemas hidráulicos estacionarios

Los sistemas hidráulicos estacionarios tienen especial importancia en los siguientes sectores:

- Máquinas de producción y máquinas de montaje
- Máquinas de fundición por inyección
- Líneas de transporte
- Líneas de laminación
- Equipos elevadores y de transporte
- Ascensores
- Prensas

Una de las aplicaciones típicas de los sistemas hidráulicos estacionarios es el sector de fabricación de máquinas herramienta.

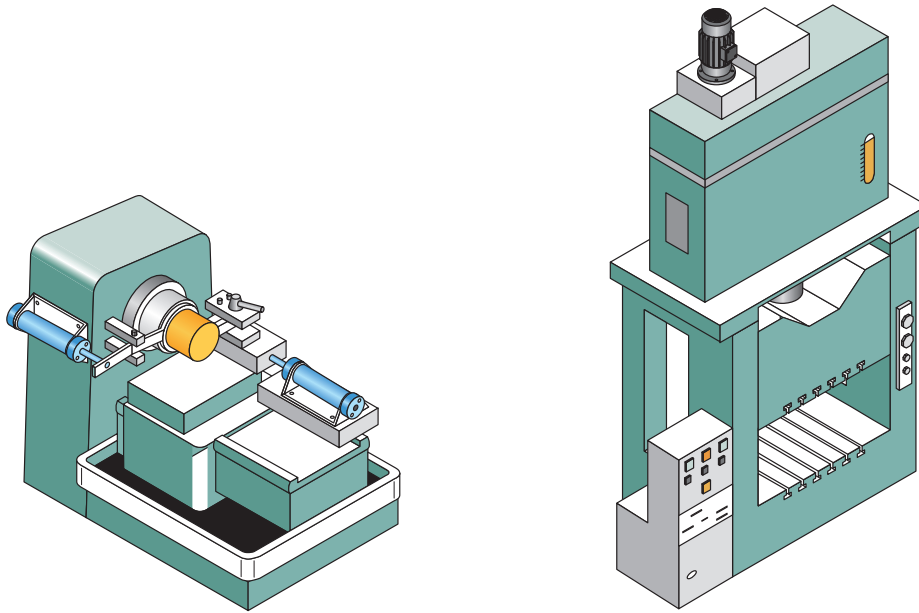


Fig. 1.1: torno y prensa con depósito superior

En las modernas máquinas de control numérico (CNC), las herramientas y las piezas se fijan y sujetan hidráulicamente. También los movimientos de avance y del husillo de accionamiento pueden controlarse de modo hidráulico.

1.3 Sistemas hidráulicos móviles

Aplicaciones de sistemas hidráulicos móviles:

- Máquinas de construcción
- Volquetes, brazos mecánicos, plataformas de carga
- Máquinas elevadoras y transportadoras
- Máquinas del sector agrario

La hidráulica se utiliza de muchas maneras en el sector de las máquinas utilizadas en obras de construcción. Por ejemplo, en el caso de las excavadoras, todos los movimientos funcionales (elevar, sujetar, girar, etc.) son hidráulicos y, además, también su motor suele ser hidráulico.

La ejecución de los movimientos rectos está a cargo de actuadores lineales (cilindros), mientras que los movimientos giratorios se realizan con unidades de accionamiento giratorio (motores, actuadores giratorios).

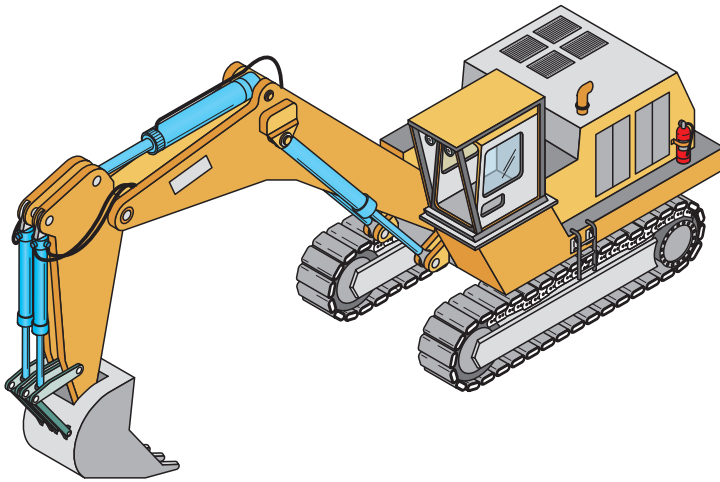


Fig. 1.2: sistema de hidráulica móvil, excavadora

1.4 Características de la hidráulica

Ventajas de la hidráulica	Desventajas de la hidráulica
Transmisión de grandes fuerzas mediante componentes pequeños. Es decir, alto rendimiento relativo.	Contaminación ambiental debido a fugas de aceite (peligro de incendio, peligro de accidente).
Posicionamiento preciso.	Sensibilidad frente a la suciedad.
Avance desde cero con máxima carga.	Peligro de presiones muy elevadas (chorro cortante).
Funcionamiento suave y conmutación suave.	Sensible a cambios de temperatura (cambios de viscosidad).
Buenas cualidades de control y regulación.	Rendimiento desfavorable.
Buena capacidad de disipación térmica.	
Movimientos homogéneos, independientes de la carga, ya que los líquidos apenas se comprimen.	

Tabla 1.1: hidráulica – ventajas y desventajas

Además de la hidráulica, existen otras tecnologías que se utilizan para generar movimientos y señales aprovechados en la técnica de control:

- Mecánica
- Electricidad
- Neumática

Debe tenerse en cuenta que cada tecnología ofrece ventajas en determinadas aplicaciones. En la Tabla 1.2 se ofrece una comparación entre datos típicos correspondientes a las tres tecnologías más difundidas (electricidad, neumática e hidráulica).

	Electricidad	Hidráulica	Neumática
Fugas	—	Suciedad	Sin desventajas, exceptuando la pérdida de energía
Influencias medioambientales	Peligro de explosión en determinadas zonas; sensible a cambios de temperatura	Sensible a cambios de temperatura, peligro de incendio en caso de fugas	A prueba de explosiones, sensible a cambios de temperatura
Acumulación de energía	Difícil, únicamente en cantidades pequeñas con baterías	Limitada, con ayuda de gases	Sencilla
Transporte de energía	Ilimitado, con pérdida de energía	Hasta 100 m Velocidad de flujo: $v = 2$ hasta 6 m/s	Hasta 1000 m Velocidad de flujo: $v = 20$ hasta 40 m/s
Velocidad de trabajo	—	$v = 0,5$ m/s	$v = 1,5$ m/s
Coste energético	Bajo	Alto	Muy alto
Movimiento lineal	Complicado y costoso, pequeñas fuerzas, complicada regulación de la velocidad	Sencillo mediante cilindros, buena regulación de la velocidad, fuerzas muy grandes	Sencillo mediante cilindro, fuerzas limitadas, la velocidad depende considerablemente de la carga
Movimiento giratorio	Sencillo y de alto rendimiento	Sencillo, grandes momentos de giro, bajas revoluciones	Sencillo, bajo rendimiento, altas revoluciones
Precisión de posicionamiento	Precisión de $\pm 0,05$ mm o superior	Dependiendo de la sofisticación del sistema, posibilidad de alcanzar niveles de precisión de $\pm 0,05$ mm	Sin cambios de carga, posible hasta ± 0.1 mm
Rigidez	Posibilidad de obtener muy buenos valores de rigidez mediante módulos mecánicos intermedios	Gran rigidez, ya que el aceite casi no se comprime	Deficiente, porque el aire se comprime
Fuerzas	No admite sobrecargas, deficiente grado de eficiencia debido a componentes mecánicos conectados detrás, posibilidad de obtener grandes fuerzas	Resistente a sobrecargas; con altas presiones de hasta 600 bar en el sistema, es posible obtener fuerzas muy grandes ($F < 3000$ kN)	Resistente a sobrecargas; la presión del aire y el diámetro del cilindro limitan la fuerza ($F < 30$ kN hasta 6 bar)

Tabla 1.2: comparación entre electricidad, hidráulica y neumática

2 Fundamentos físicos de la hidráulica

2.1 Presión

La hidráulica trata de las fuerzas y movimientos que se transmiten mediante fluidos. La hidráulica es parte de la hidromecánica. Se distingue entre

- Hidrostática (fuerza como producto de presión por superficie) y
- Hidrodinámica (fuerza como producto de masa por aceleración).

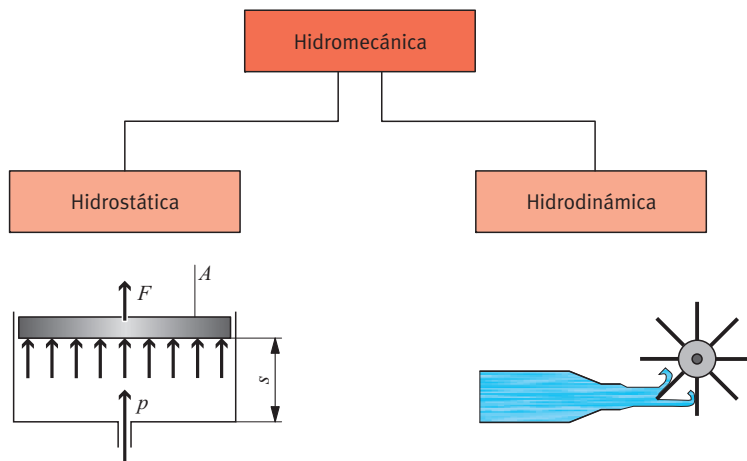


Fig. 2.1: hidromecánica

La presión hidrostática es la presión que se genera en el interior de un fluido en función del peso de la masa del fluido y de su altura:

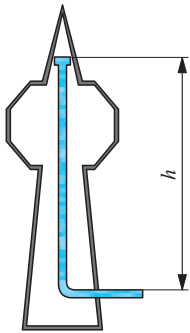
$$p_s = h \cdot \rho \cdot g$$

p_s presión hidrostática [Pa], h altura de la columna del fluido [m],

ρ densidad del fluido [kg/m^3], g gravedad [m/s^2]

Según el sistema internacional de unidades SI, la presión hidrostática se expresa en pascal o bar. La altura de la columna de un líquido se expresa en metros, la densidad del líquido en kilogramos por metro cúbico y la gravedad (o, para ser más exactos, la aceleración de la gravedad) en metros por segundos al cuadrado.

La presión hidrostática o, simplemente, presión, es independiente de la forma del recipiente. Únicamente depende de la altura y la densidad de la columna del líquido.



Torre

$$h = 300 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$$

$$p_s = h \cdot \rho \cdot g$$

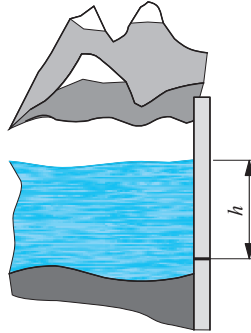
$$p_s = 300 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$p_s = 3.000.000 \frac{\text{m}^2 \text{ kg}}{\text{m}^3 \text{ s}^2}$$

$$p_s = 3.000.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p_s = 3.000.000 \text{ Pa} = 3 \text{ MPa}$$

$$(p_s = 30 \text{ bar})$$



Embalse

$$h = 15 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$$

$$p_s = h \cdot \rho \cdot g$$

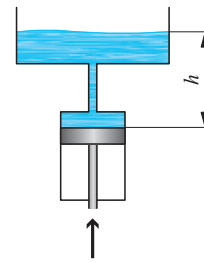
$$p_s = 15 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$p_s = 150.000 \frac{\text{m}^2 \text{ kg}}{\text{m}^3 \text{ s}^2}$$

$$p_s = 150.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p_s = 150.000 \text{ Pa} = 1,5 \text{ kPa}$$

$$(p_s = 1,5 \text{ bar})$$



Depósito elevado

$$h = 5 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$$

$$p_s = h \cdot \rho \cdot g$$

$$p_s = 5 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$p_s = 50.000 \frac{\text{m}^2 \text{ kg}}{\text{m}^3 \text{ s}^2}$$

$$p_s = 50.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p_s = 50.000 \text{ Pa} = 0,5 \text{ kPa}$$

$$(p_s = 0,5 \text{ bar})$$

Cualquier cuerpo aplica una determinada presión p en su base de apoyo. La magnitud de la presión depende de la carga (fuerza debido al peso) F del cuerpo y del tamaño de la superficie A , sobre la que actúa la carga.

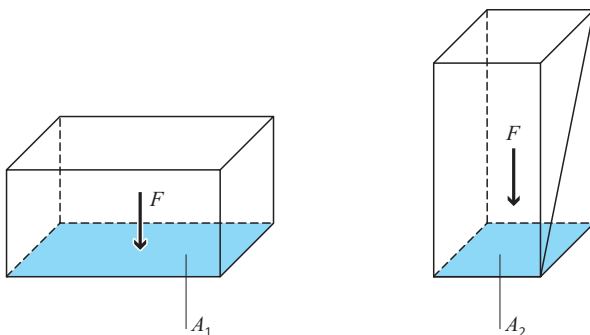


Fig. 2.2: fuerza y superficie

En la Fig. 2.2 se muestran dos cuerpos con dos superficies de apoyo (A_1 y A_2) diferentes. Considerando que la masa de los cuerpos es la misma en ambos casos, la carga F que se aplica sobre la superficie también es la misma. Sin embargo, la presión es diferente porque las superficies de apoyo no son iguales. Si la carga es la misma, pero la superficie de apoyo es menor, la presión es mayor (efecto de punta de lápiz).

La siguiente ecuación expresa este hecho:

$$p = \frac{F}{A}$$

p presión [Pa], F fuerza [N], A superficie [m^2]

La fórmula también permite calcular la fuerza y la superficie.

Observación

En hidráulica suele utilizarse la unidad "bar" debido a las elevadas presiones existentes en sistemas hidráulicos. Según el sistema internacional de unidades SI, se le da preferencia a la unidad "pascal", restringiéndose el uso de "bar".

Ejemplo

Una plataforma elevadora deberá elevar una carga de 15.000 N, siendo la presión del sistema de 75 bar. ¿Cuál debe ser la superficie A del émbolo?

Conocido: $F = 15.000 \text{ N}$

$p = 75 \text{ bar} = 7,5 \text{ MPa}$

$$A = \frac{F}{p} = \frac{15.000 \text{ N}}{7,5 \text{ MPa}} = 0,002 \text{ m}^2 = 20 \text{ cm}^2$$

En vez de realizar el cálculo, también se puede utilizar un diagrama. No se considera la fricción estática del cilindro.

Ejemplo

Conocido: fuerza $F = 100 \text{ kN}$

Presión de funcionamiento $p = 350 \text{ bar}$

¿Qué tamaño debe tener el diámetro del émbolo? (Consultar Fig. 2.3)

Lectura: $d = 60 \text{ mm}$

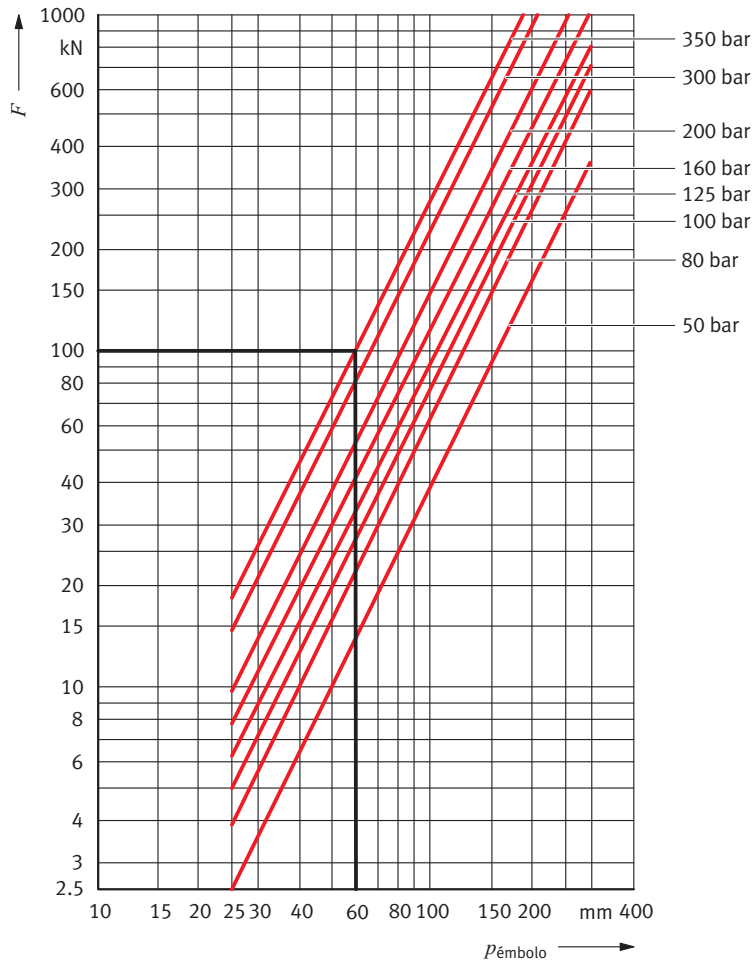


Fig. 2.3: diagrama para determinar el diámetro del émbolo

2.2 Propagación de la presión

Si se aplica una fuerza F_1 en la superficie A_1 de un fluido contenido en un recipiente indeformable, se obtiene una presión p que se propaga con igual intensidad en todas las direcciones (ley de Pascal). La presión es la misma en cualquier parte del sistema (ver Fig. 2.4).

Considerando las grandes presiones que suelen utilizarse en sistemas hidráulicos, puede pasarse por alto la presión hidrostática. Por lo tanto, al calcular la presión en fluidos únicamente se considera la presión a causa de la aplicación de fuerzas externas. En consecuencia, en las superficies A_2 , A_3 , A_4 y A_5 actúa la misma presión que en A_1 . Esta presión se calcula con la fórmula $p = \frac{F}{A}$

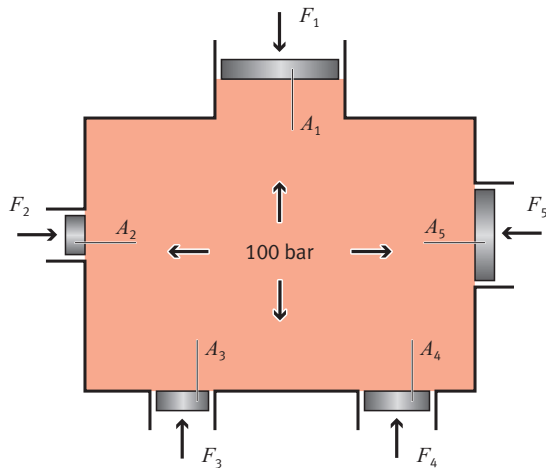


Fig. 2.4: propagación de la presión

Ejemplo

Conocido: $A_1 = 10 \text{ cm}^2 = 0,001 \text{ m}^2$
 $F_1 = 10.000 \text{ N}$

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{10.000 \text{ N}}{0,001 \text{ m}^2} = 10.000.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p = 100 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ bar}$$

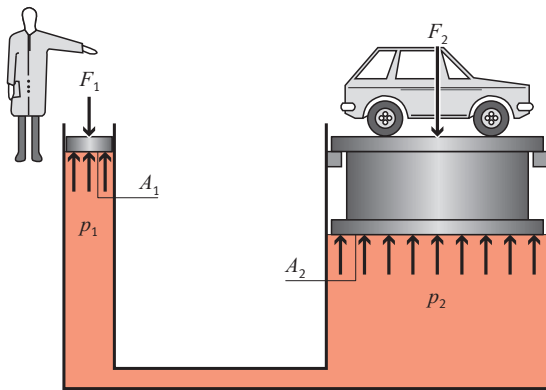
2.3 Propagación de la fuerza

Fig. 2.5: propagación de la fuerza

En un sistema cerrado, la presión es la misma en cualquier parte, sin importar la forma del recipiente.

Si un recipiente tiene la forma que se muestra en la Fig. 2.5, es posible multiplicar la fuerza. La presión del fluido puede describirse mediante la siguiente ecuación:

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} \text{ y } p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

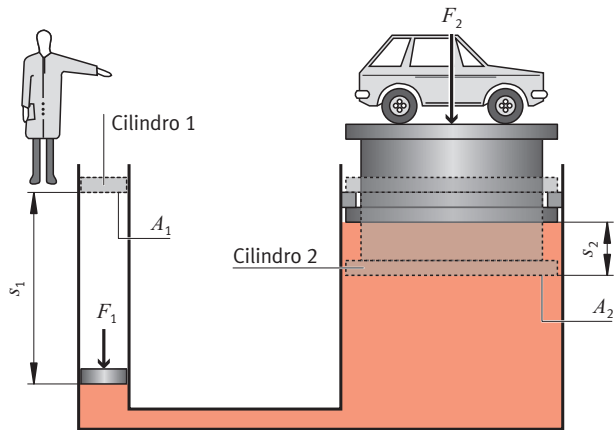
Si el sistema se encuentra en estado de equilibrio, es válido que $p_1 = p_2$. Por lo tanto, combinando las dos ecuaciones, se obtiene que $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$.

Partiendo de esta ecuación se pueden calcular los valores de F_1 y F_2 , así como de A_1 y A_2 . Por ejemplo, para F_1 y A_2 se obtiene:

$$F_1 = \frac{A_1 \cdot F_2}{A_2} \text{ o bien } A_2 = \frac{A_1 \cdot F_2}{F_1}$$

Ampliando la superficie del émbolo de trabajo, se obtienen fuerzas mayores que las del émbolo de presión. Este es el principio fundamental que se aprovecha en cualquier sistema hidráulico, trátase de un gato para elevar automóviles o de una plataforma elevadora industrial. En estos casos, la fuerza F_1 debe ser lo suficientemente grande como para que la presión del fluido supere la resistencia que ofrece la carga.

2.4 Multiplicador de recorrido



Si aplicando el principio antes descrito se pretende elevar una carga F_2 a una altura s_2 , el émbolo 1 debe desplazar una determinada cantidad de fluido, capaz de elevar el émbolo 2 a una altura s_2 .

El volumen a desplazar se calcula de manera siguiente:

$$V_1 = s_1 \cdot A_1 \text{ y } V_2 = s_2 \cdot A_2$$

Fig. 2.6: multiplicación de recorridos

Considerando que el volumen a desplazar es el mismo ($V_1 = V_2$), se obtiene que $s_1 \cdot A_1 = s_2 \cdot A_2$. De esta ecuación se puede concluir que el recorrido (la altura) s_1 debe ser mayor que el recorrido (la altura) s_2 , ya que la superficie A_1 es menor que la superficie A_2 .

El recorrido del émbolo es inversamente proporcional a su superficie. Este principio permite calcular los valores correspondientes a s_1 , s_2 , A_1 y A_2 .

2.5 Multiplicador de presión

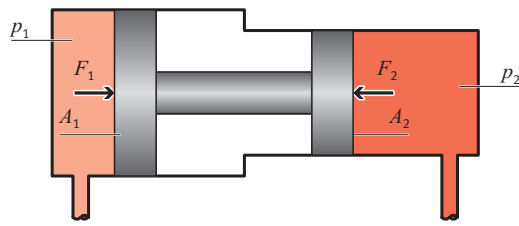


Fig. 2.7: multiplicador de presión

La presión del fluido p_1 genera una fuerza F_1 que se aplica en la superficie A_1 . Esa fuerza se transmite al émbolo pequeño a través del vástago. Por lo tanto, la fuerza F_1 actúa sobre la superficie A_2 , generando la presión p_2 del fluido. Dado que la superficie A_2 del émbolo es más pequeña que la superficie A_1 del émbolo, la presión p_2 debe ser mayor que la presión p_1 .

Con $p = \frac{F}{A}$ se obtiene lo siguiente para las fuerzas F_1 y F_2 :

$$F_1 = p_1 \cdot A_1 \text{ y } F_2 = p_2 \cdot A_2$$

Considerando que las fuerzas son iguales ($F_1 = F_2$), pueden combinarse las dos ecuaciones:

$$p_1 \cdot A_1 = p_2 \cdot A_2$$

Utilizando esta ecuación se pueden calcular los valores correspondientes a p_1 , p_2 , A_1 y A_2 .

Por ejemplo, para p_2 y A_2 se obtiene que

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot A_1}{A_2} \text{ o bien } A_2 = \frac{p_1 \cdot A_1}{p_2}$$

En el caso de un cilindro de doble efecto es posible que se obtengan presiones inadmisiblemente altas debido a la multiplicación de presión (suponiendo que está bloqueado el escape en el lado del vástago).

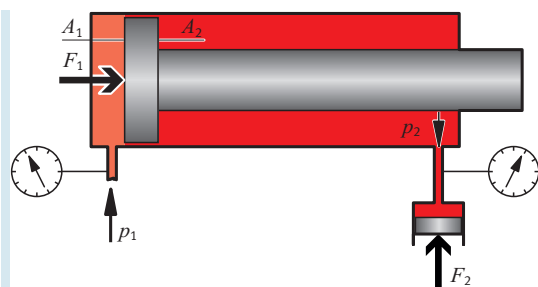


Fig. 2.8: multiplicación de presión mediante cilindro de doble efecto

Ejemplo

Conocido:

$$p_1 = 10 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$A_1 = 8 \text{ cm}^2 = 0,0008 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 4,2 \text{ cm}^2 = 0,00042 \text{ m}^2$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot A_1}{A_2} = \frac{10 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot 0,0008 \text{ m}^2}{0,00042 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^2}$$

$$p_2 = 19 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 19 \text{ bar}$$

2.6 Caudal

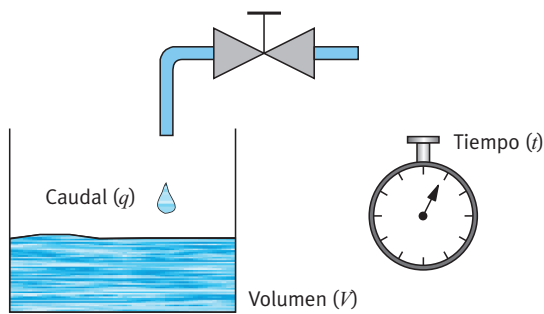


Fig. 2.9: caudal

Se entiende por caudal el volumen de líquido que fluye a través de un tubo en un determinado tiempo. Por ejemplo, para llenar un cubo de 10 litros con agua del grifo, se necesita más o menos un minuto. En ese caso, el caudal del grifo de agua es de 10 l/min.

En la hidráulica, el caudal se identifica con la letra q . Es válido lo siguiente:

$$q = \frac{V}{t}$$

q caudal [m^3/s], V volumen [m^3], t tiempo [s]

Recurriendo a la fórmula del caudal, se obtienen las ecuaciones para calcular el volumen (V) y el tiempo (t).

2.7 Ecuación de continuidad

Si en la fórmula del caudal ($q = V/t$) se sustituye el tiempo t por s/v ($v = s/t$) y si, además, se considera que el volumen V puede sustituirse por $A \cdot s$, entonces se obtiene lo siguiente:

$$q = A \cdot v$$

q caudal [m^3/s], v velocidad de flujo [m/s], A sección del tubo [m^2]

Recurriendo a la fórmula del caudal, es posible obtener las fórmulas necesarias para calcular la sección del tubo y la velocidad de flujo.

Ejemplo

Conocido: $q = 4,2 \text{ l/min}$
 $v = 4 \text{ m/s}$

$$A = \frac{q}{v} = \frac{4,2 \text{ dm}^3}{60 \text{ s}} = \frac{0,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}}{4 \text{ s m}}$$

$$A = 0,00002 \text{ m}^2 = 0,2 \text{ cm}^2$$

Para obtener una velocidad del fluido de 4 m/s con un caudal de 4,2 l/min, la sección del tubo debe ser de 0,2 cm².

El caudal de un líquido que fluye a través de un tubo de varias secciones de diferentes diámetros, es el mismo en cualquier parte del tubo (ver fig.). Lo dicho significa que el líquido fluye más rápidamente en las secciones de menor diámetro que en aquellas de mayor diámetro. Es válido lo siguiente: $q_1 = A_1 \cdot v_1$, $q_2 = A_2 \cdot v_2$, $q_3 = A_3 \cdot v_3$, $q_4 = A_4 \cdot v_4$, etc. Considerando que q es igual en cualquier parte del tubo, se obtiene la ecuación de continuidad:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = A_3 \cdot v_3 = \dots$$

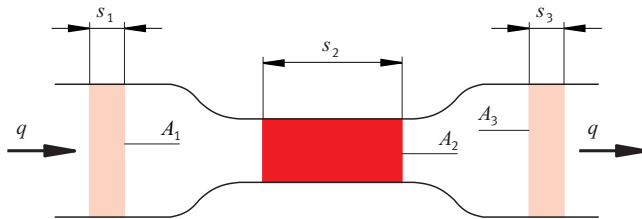


Fig. 2.10: caudal

Ejemplo

Conocido:

- $v_1 = 4 \text{ m/s}$
- $v_2 = 100 \text{ m/s}$
- $A_1 = 0,2 \text{ cm}^2 = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- $A_2 = 0,008 \text{ cm}^2 = 0,008 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$q = A \cdot v$$

$$q_1 = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ y}$$

$$q_2 = 0,008 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 100 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

2.8 Medición de la presión

Para medir la presión en conductos, entradas o salidas, deberá montarse un manómetro en el lugar correspondiente.

Se distingue entre la medición de la presión absoluta (el valor cero de la escala corresponde al vacío absoluto) y la medición de la presión relativa (el valor cero de la escala se refiere a la presión atmosférica). En el caso de los sistemas de medición de la presión absoluta, el vacío se expresa mediante valores inferiores a 1. Tratándose de sistemas de medición de presión relativa, el vacío se expresa mediante valores inferiores a 0.

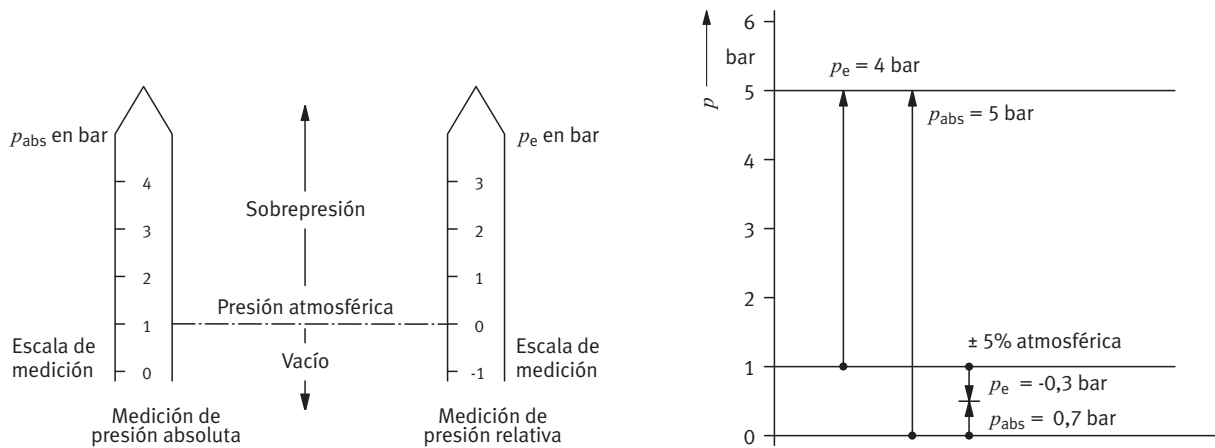


Fig. 2.11: presión absoluta y presión relativa; p presión general, p_{abs} presión absoluta, p_e presión relativa

2.9 Medición de temperatura

La temperatura del fluido a presión en sistemas hidráulicos puede medirse de manera sencilla con **aparatos de medición** (termómetro) o con un **sistema de medición** que transmite señales a la unidad de control.

La medición de la temperatura es importante, ya que las temperaturas altas ($> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$) producen el deterioro precoz del fluido. Además, también la viscosidad cambia en función de la temperatura. Los aparatos de medición pueden estar montados dentro del recipiente que contiene el fluido. Con el fin de mantener constante la temperatura, se utilizan **termostatos** que activan el sistema de refrigeración o calefacción, según sea necesario.

2.10 Medición del caudal

La forma más sencilla de medir el caudal es utilizando un **recipiente** y un **cronómetro**.

Sin embargo, cuando es necesario realizar una medición constante, es recomendable utilizar **turbinas de medición**. Estos aparatos miden el número de giros y lo convierte en magnitudes de caudal. Los giros son proporcionales al caudal. Otra posibilidad consiste en utilizar **diafragmas de medición**. La caída de presión que se mide en el diafragma es el criterio para determinar el caudal (la caída de presión es proporcional al caudal). La viscosidad del líquido apenas interfiere en el resultado de la medición obtenido mediante un diafragma.

2.11 Tipos de flujo

Se distingue entre **flujo laminar** y **flujo turbulento**.

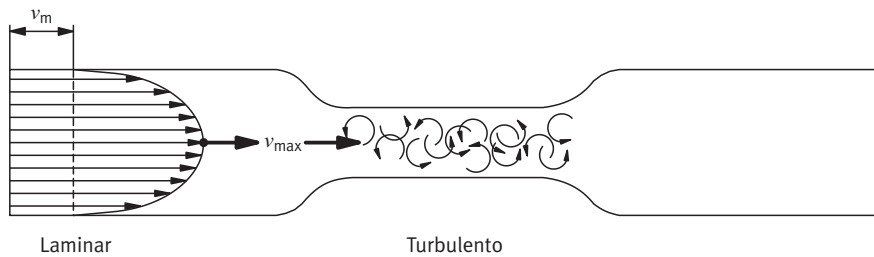


Fig. 2.12: flujos laminar y turbulento

En el caso de un **flujo laminar**, el fluido avanza dentro del tubo de sección circular de manera ordenada, formando **láminas cilíndricas estratificadas**. Las láminas de fluido interiores avanzan a mayor velocidad que las exteriores.

Si aumenta la velocidad del fluido a presión, las partículas del líquido ya **no avanzan de manera ordenada** una vez que se supera una determinada velocidad (velocidad crítica). Las partículas del líquido que fluían en el centro tienden a desplazarse hacia los costados. De esta manera, las partículas del líquido se entorpecen entre sí, formándose remolinos, por lo que **el flujo se torna turbulento**. La consecuencia: el flujo principal pierde energía.

El número de Reynolds (Re) permite calcular el tipo de flujo en un tubo liso de sección circular. Este número depende de los siguientes factores:

- La velocidad del líquido v [m/s]
- El diámetro del tubo d [m]
- La viscosidad cinemática ν [m²/s]

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

El valor Re calculado con esta fórmula puede interpretarse de la siguiente manera:

- Flujo laminar: $Re < 2300$
- Flujo turbulento: $Re > 2300$

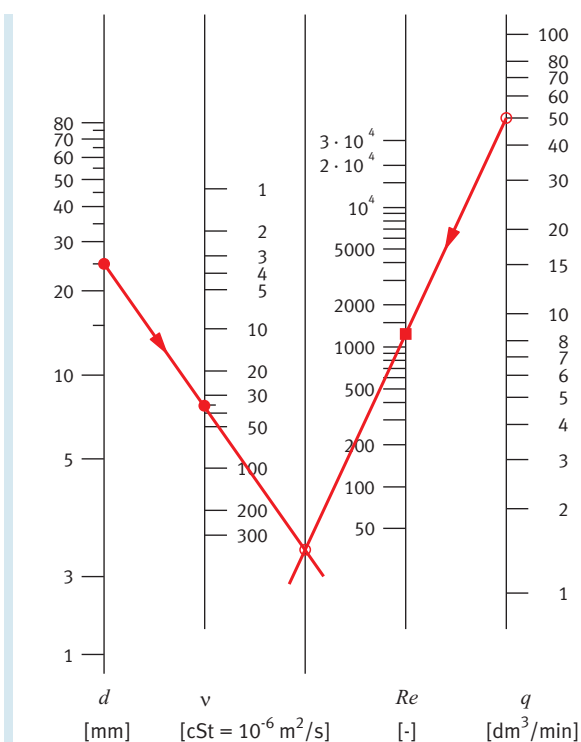
El valor 2300 se denomina número crítico de Reynolds (Re_{crit}), aplicable en el caso de tubos lisos de sección circular. Sin embargo, un flujo turbulento no se torna laminar de inmediato, si el valor pasa a ser inferior a Re_{crit} . El flujo vuelve a recuperar su condición laminar cuando se alcanza un valor equivalente a la mitad de Re_{crit} .

Lo dicho significa que la velocidad crítica es aquella en la que el flujo laminar se torna turbulento.

$$v_{crit} = \frac{Re_{crit} \cdot v}{d} = \frac{2300 \cdot v}{d}$$

Para evitar que en sistemas hidráulicos se produzcan pérdidas por rozamiento causadas por flujos turbulentos, es recomendable no superar el límite crítico de Re_{crit} .

La velocidad crítica no puede expresarse mediante un valor fijo, ya que depende de la viscosidad del fluido y del diámetro del tubo. Por lo tanto, en la práctica se suelen aplicar valores empíricos.



Ejemplo

Conocido: $q = 50 \text{ dm}^3/\text{min}$
 $d = 25 \text{ mm}$
 $v = 36 \text{ cSt}$

Número Reynolds, según el diagrama:

$Re = 1200$

Fig. 2.13: determinación del número Reynolds (según Prof. Charchut); d diámetro, v viscosidad, Re número Reynolds, q caudal

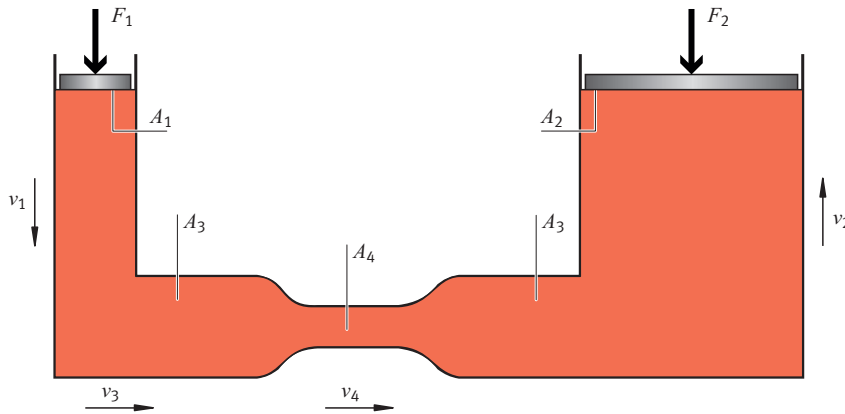


Fig. 2.14: tipos de flujos

Ejemplo

Conocido: $v_1 = 1 \text{ m/s}$, $d_1 = 10 \text{ mm}$
 $v_3 = 4 \text{ m/s}$, $d_3 = 5 \text{ mm}$
 $v_4 = 100 \text{ m/s}$, $d_4 = 1 \text{ mm}$
 $\nu = 40 \text{ mm}^2/\text{s}$

Se busca el tipo de flujo en las secciones A_1 , A_3 , y A_4 .

$$Re_x = \frac{v_x \cdot d_x}{\nu}$$

$$Re_1 = \frac{1000 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm s}}{s \cdot 40 \text{ mm}^2} = 250$$

$$Re_3 = \frac{4000 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm s}}{s \cdot 40 \text{ mm}^2} = 500$$

$$Re_4 = \frac{100.000 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm s}}{s \cdot 40 \text{ mm}^2} = 2500 \text{ (turbulento)}$$

El flujo únicamente es turbulento en la sección A_4 , ya que $2500 > 2300$. En la sección A_3 , detrás de la zona de estrangulación, el flujo vuelve a ser laminar, ya que $500 < 1150 = 2300/2$. Sin embargo, el flujo recupera su condición de laminar después de un tramo de estabilización.

2.12 Fricción, calor, caída de presión

En todos los aparatos y conductos de un sistema hidráulico se produce **fricción** (o rozamiento). En primer lugar, se trata de la fricción que se produce en las paredes del tubo (fricción exterior). A esa fricción se suma la fricción entre las láminas del fluido (fricción interior).

La fricción produce un **calentamiento** del fluido a presión y, por lo tanto, también se calientan los componentes. Este aumento de temperatura provoca una disminución de la presión en el sistema, por lo que disminuye la presión real aprovechable en los actuadores.

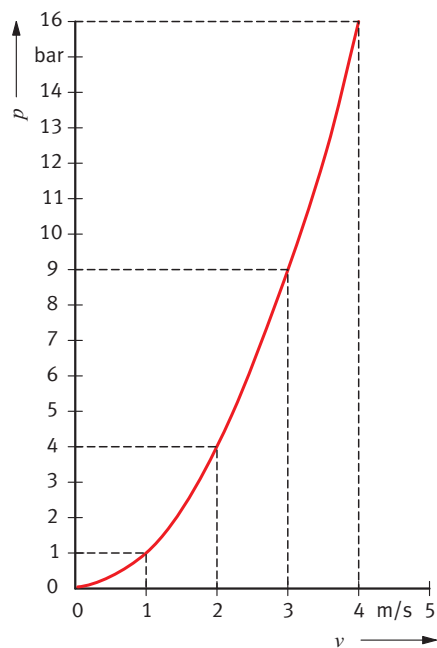


Fig. 2.15: la velocidad de flujo y su influencia sobre la caída de presión

La magnitud de la caída de presión depende de las **resistencias internas** del sistema hidráulico. Estas resistencias internas dependen de los siguientes factores:

- Velocidad del flujo (superficie de la sección del tubo, caudal)
- Tipo de flujo (laminar, turbulento)
- Tipo y cantidad de reducciones de la sección de los tubos (estrangulación, diafragmas)
- Viscosidad del aceite (temperatura, presión)
- Longitud de los tubos y desvíos del flujo
- Acabado de las superficies
- Recorrido del tubo

La fricción entre las partículas del fluido y la adherencia de partículas del fluido en la pared del tubo crean una resistencia que puede medirse o calcularse como caída de presión.

Considerando que la velocidad de flujo (valor al cuadrado) incide considerablemente en la resistencia, es recomendable no superar los valores de referencia sugeridos.

Para fluidos hidráulicos con $\rho=850\text{ kg/m}^3$ k: con aprox. 15 °C ($\nu = 100\text{ mm}^2/\text{s}$); w: con aprox. 60 °C ($\nu = 20\text{ mm}^2/\text{s}$)									
$\nu\text{ [m/s]}$		0,5		1		2		4	
$d\text{ [mm]}$		k	w	k	w	k	w	k	w
6	Re	30	150	60	300	120	600	240	1200
	λ	2,5	0,5	2,25	0,25	0,625	0,125	0,312	0,0625
	$\Delta p\text{ [bar/m]}$	0,44	0,09	0,88	0,177	1,77	0,35	3,54	0,70
10	Re	50	250	100	500	200	1000	400	2000
	λ	1,5	0,3	0,75	0,15	0,375	0,075	0,187	0,037
	$\Delta p\text{ [bar/m]}$	0,16	0,03	0,32	0,064	0,64	0,13	1,27	0,25
20	Re	100	500	200	1000	400	2000	800	4000
	λ	0,75	0,15	0,375	0,075	0,187	0,037	0,093	0,04
	$\Delta p\text{ [bar/m]}$	0,04	0,008	0,08	0,016	0,16	0,03	0,32	0,136

Tabla 2.1: resistencias al flujo por cada metro

Para fluidos hidráulicos con $\rho=850 \text{ kg/m}^3$ k: con aprox. 15 °C ($\nu = 100 \text{ mm}^2/\text{s}$); w: con aprox. 60 °C ($\nu = 20 \text{ mm}^2/\text{s}$)									
$\nu [\text{m}^2/\text{s}]$		0,5		1		2		4	
$d [\text{mm}]$		k	w	k	w	k	w	k	w
30	Re	150	750	300	1500	600	3000	1200	6000
	λ	0,5	0,1	0,25	0,05	0,125	0,043	0,062	0,036
	$\Delta p [\text{bar/m}]$	0,017	0,003	0,035	0,007	0,07	0,024	0,14	0,082
40	Re	200	1000	400	2000	800	4000	1600	8000
	λ	0,375	0,075	0,187	0,037	0,093	0,04	0,047	0,033
	$\Delta p [\text{bar/m}]$	0,01	0,002	0,02	0,004	0,04	0,017	0,08	0,056
50	Re	250	1250	500	2500	1000	5000	2000	10000
	λ	0,3	0,06	0,15	0,045	0,075	0,037	0,037	0,031
	$\Delta p [\text{bar/m}]$	0,006	0,001	0,013	0,004	0,025	0,012	0,05	0,042
60	Re	300	1500	600	3000	1200	6000	2400	12000
	λ	0,25	0,05	0,125	0,043	0,062	0,036	0,045	0,03
	$\Delta p [\text{bar/m}]$	0,004	0,0008	0,009	0,003	0,017	0,01	0,05	0,034

Tabla 2.1: resistencias al flujo por cada metro (continuación)

Suponiendo un flujo laminar y cambio de estado isotérmico, el coeficiente de resistencia en el tubo λ es de $\lambda = \frac{64}{Re}$. En el caso de los viscosos aceites hidráulicos, prevalece el proceso adiabático debido a la mayor fricción en las paredes del tubo. Por lo tanto, en Tabla 2.1 se calcula con el coeficiente de fricción en el tubo $\lambda = \frac{75}{Re}$.

Caída de presión por desvíos

Cualquier desvío del flujo (en tubos curvados, piezas en T, derivaciones y racores en codo) provoca una considerable caída de presión. Las resistencias que se producen en estas partes del sistema dependen principalmente de la geometría de las piezas que provocan el desvío y, además, de la magnitud del caudal.

Para calcular estas pérdidas de presión se recurre al coeficiente ξ (zeta), determinado empíricamente mediante ensayos, considerando las formas de desvíos más usuales.

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Dado que el coeficiente referido a las formas de los desvíos (coeficiente zeta) depende principalmente del número Reynolds, se considera un factor de corrección b según el número Re . Fórmula válida en caso de flujo laminar:

$$\Delta p = \xi \cdot b \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Re	25	50	100	250	500	1000	1500	2300
n	30	15	7,5	3	1,5	1,25	1,15	1,0

Tabla 2.2: factor de corrección b

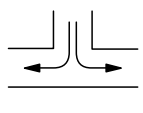
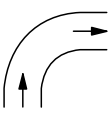
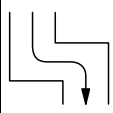
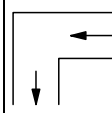
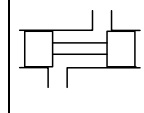
	Racor en T	Codo de 90°	Doble ángulo	Ángulo de 90°	Válvula
ξ	1,3	De 0,5 a 1	2	1,2	De 5 a 15
					

Tabla 2.3: tabla del coeficiente zeta (referido a la forma de los desvíos)

Ejemplo

Calcule la caída de presión Δp en un tubo en forma de codo, de diámetro nominal de 10 mm.

Conocido: Velocidad de flujo $v = 5 \text{ m/s}$

Densidad del aceite $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$

Viscosidad $\nu = 100 \text{ mm}^2/\text{s}$ con 15°C

Primero debe calcularse Re :

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,01 \text{ m}}{0,0001 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 500$$

Factor según Tabla 2.2: $b = 1$,

Coeficiente zeta según Tabla 2.3: $\xi = 1,2$

$$\Delta p = \xi \cdot b \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 1,2 \cdot 1,5 \cdot \frac{850 \text{ kg} \cdot 25 \text{ m}^2}{2 \cdot \text{m}^3 \text{ s}^2} = 19125 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,19 \text{ bar}$$

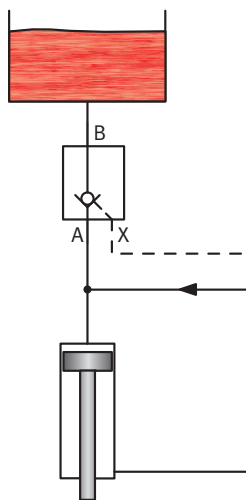
2.13 Energía y potencia

2.13.1 Energía

La energía total de un sistema hidráulico es el resultado de varias energías parciales. Según la ley de conservación de energía, la energía total contenida en un fluido permanece constante. Únicamente cambia si se agrega o retira energía desde fuera, en forma de trabajo. La energía total es la suma de las energías parciales que se indican a continuación:

- Energía estática
 - Energía potencial
 - Energía de presión
- Energía dinámica
 - Energía cinética
 - Energía térmica

La energía potencial es aquella que posee un cuerpo (o un líquido) si es elevado una altura h . Durante la operación de elevación, se realiza un trabajo en contra de la fuerza de gravedad. La energía potencial se aprovecha en prensas dotadas de grandes cilindros, con el fin de llenar rápidamente la cámara del lado del émbolo y, además, como presión inicial de las bombas.



$$W = m \cdot g \cdot h$$

W Trabajo [J]

m Masa del fluido [kg]

g Gravedad [m/s^2]

h Altura de la columna del fluido [m]

Considerando que $W = F \cdot s$ y $F = m \cdot g$

se obtiene: $W = m \cdot g \cdot h$ siendo $s = h$

Unidad: $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ W/s}$

(1 J = 1 joule, 1 W = 1 vatio)

Fig. 2.16: esquema de prensa con depósito elevado

Ejemplo

Calcule la energía acumulada en el depósito elevado.

Conocido: $m = 100 \text{ kg}$
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$
 $h = 2 \text{ m}$

$$W = m \cdot g \cdot h = 100 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2 \text{ m}$$

$$W = 2000 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2} = 2000 \text{ Nm} = 2000 \text{ J}$$

Si se aplica presión en un fluido, su volumen disminuye debido a los gases que contiene. El volumen que puede comprimirse alcanza entre 1 y 3 por ciento del volumen inicial. Considerando que los fluidos casi no se comprimen (es decir, ΔV es relativamente pequeño), la energía hidráulica (energía de presión) es mínima. Si la presión es de 100 bar, ΔV es de aproximadamente 1 por ciento del volumen inicial. A continuación se muestra un cálculo que considera estos valores.

Siendo $W = F \cdot s$ y $F = p \cdot A$, se obtiene: $W = p \cdot A \cdot s$. Sustituyendo $A \cdot s$ por ΔV , se obtiene:

$$W = p \cdot \Delta V$$

p presión del fluido [Pa], ΔV volumen del fluido [m^3], unidad: $1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{m}^3 = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$

La energía de presión se obtiene por la presión que una cantidad de fluido opone a la compresión.

Ejemplo

Conocido: $p = 100 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 $\Delta V = 0,001 \text{ m}^3$

$$W = p \cdot \Delta V = 100 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,001 \text{ m}^3 = 0,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N m}^3}{\text{m}^2} = 10.000 \text{ J}$$

Todos los materiales pueden comprimirse. Por lo tanto: si la presión inicial p_0 se aumenta por el valor Δp , el volumen inicial V_0 disminuye por el valor ΔV . La posibilidad de comprimir aceite aumenta por los gases que contiene y por el aumento de la temperatura.

En el caso de actuadores de precisión, no debe pasarse por alto la compresibilidad del aceite. El valor característico correspondiente es el módulo de compresibilidad K , que también suele calificarse de módulo de elasticidad del aceite E_{Aceite} . El módulo de compresibilidad puede calcularse mediante una fórmula aproximada, suponiendo un margen de presión usual.

$$K \approx V_0 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

V_0 Volumen inicial, ΔV Reducción de volumen, unidad: N/m^2 oder N/cm^2

La magnitud K correspondiente a aceite sin contenido de aire y con 50°C es de aproximadamente $1,56 \cdot 10^5 \text{ N/cm}^2$. Sin embargo, considerando que el aceite suele contener aire, en la práctica se calcula con un valor K de 1,0 hasta $1,2 \cdot 10^5 \text{ N/cm}^2$.

Ejemplo

El volumen de aceite contenido en un cilindro de 100 mm de diámetro (\varnothing) y 400 mm de largo (l_0), está expuesto a una contrapresión de 200 bar. ¿Qué distancia Δl retrocede el vástago? La relación entre las superficies del lado del émbolo y del lado del vástago es de 2:1. La relación de 2:1 entre las superficies redonda en una presión de 100 bar, aplicada sobre el volumen de aceite. El módulo de compresibilidad es de $K = 1,2 \cdot 10^5 \text{ N/cm}^2$. No se consideran en este caso la elasticidad del material y el ensanchamiento de la camisa del cilindro.

De $K = V_0 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta V}$ se obtiene que $\Delta V = V_0 \cdot \frac{\Delta p}{K}$. De $V_0 = A \cdot l_0$ y $\Delta V = A \cdot \Delta l$ se obtiene la siguiente ecuación:

$A \cdot \Delta l = A \cdot l_0 \cdot \frac{\Delta p}{K}$. Calculando Δl se obtiene: $\Delta l = l_0 \cdot \frac{\Delta p}{K}$. Incluyendo los valores respectivos se obtiene:

$$\Delta l = 400 \text{ mm} \cdot \frac{1000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}{1,2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}} = 3,33 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el vástago retrocede 3,33 mm. En este cálculo no se consideró el aumento del volumen debido a los cambios de temperatura, ya que los cambios de presión suelen producirse muy rápidamente, por lo que cabe suponer un cambio adiabático del estado (es decir, sin intercambio térmico).

Este ejemplo demuestra que en muchos casos puede pasarse por alto la compresibilidad (por ejemplo, en el caso de prensas). Sin embargo, es recomendable que los tubos y los cilindros sean lo más cortos posible. Este es el motivo por el que en máquinas herramientas se suelen utilizar husillos de rodamiento de bolas accionados por motores hidráulicos, en vez de cilindros largos.

La **energía cinética** es la que posee un cuerpo (o líquido) cuando se mueve a una determinada velocidad. La energía se alimenta en forma de trabajo de aceleración, en la medida en que sobre el cuerpo (la partícula de líquido) actúa una fuerza F .

La energía cinética depende de la velocidad de flujo y de la masa.

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

v Velocidad [m/s], m Masa [kg]

De $W = F \cdot s$ y $F = m \cdot a$ se obtiene $W = m \cdot a \cdot s$. Sustituyendo s por $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ se obtiene

$$W = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2. \text{ Siendo } v = a \cdot t \text{ finalmente se obtiene que } W = \frac{1}{2} m \cdot v^2.$$

Cualquier cambio de la velocidad de flujo (suponiendo un caudal constante) tiene automáticamente como consecuencia un cambio de la energía cinética. Su porcentaje en la energía total aumenta en la medida en que el fluido a presión fluye más rápidamente. Y disminuye si se reduce la velocidad de flujo del fluido a presión.

El fluido a presión contenido en un sistema hidráulico fluye a diversas velocidades debido a la variación de los diámetros de los tubos (tal como se indica en la imagen), considerando que el caudal, siendo el producto de velocidad de flujo por sección del tubo, se mantiene constante.

La **energía térmica** es la energía que se necesita para que un cuerpo (o un líquido) alcance una determinada temperatura.

En sistemas hidráulicos, una parte de la energía se convierte en energía térmica debido a la fricción. La fricción produce un calentamiento del fluido a presión y, por lo tanto, también de los componentes. Una parte del calor se disipa hacia el exterior, por lo que la energía restante en el sistema es menor. La consecuencia: una reducción de la energía de presión.

La energía térmica puede calcularse recurriendo a la caída de presión y al volumen.

$$W = \Delta p \cdot V$$

Δp Pérdida de presión por fricción [Pa], V Volumen [m^3], unidad: $1 \text{ Pa m}^3 = 1 \frac{\text{N m}^3}{\text{m}^2} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$

2.13.2 Potencia

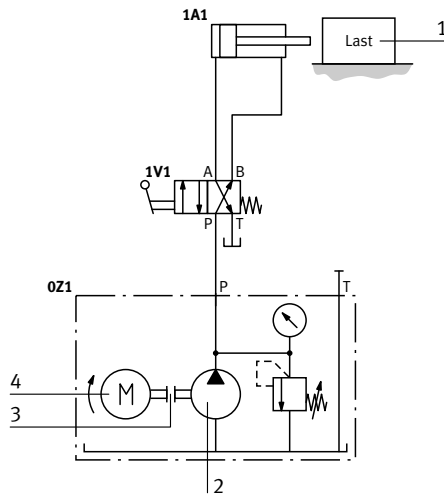
En términos generales, la potencia se define como trabajo (o cambio de energía) por unidad de tiempo. En instalaciones hidráulicas se distingue entre potencia mecánica y potencia hidráulica. La potencia mecánica se transforma en potencia hidráulica, se transporta y regula y, finalmente, se vuelve a convertir en potencia mecánica.

La potencia hidráulica se calcula recurriendo a la presión y al caudal.

Se aplica la siguiente ecuación:

$$P = p \cdot q$$

P potencia [W] = [Nm/s], p presión [Pa], q caudal [m³/s]



- 1: Potencia mecánica $P = F \cdot v$,
- 2: Potencia hidráulica $P = p \cdot q$,
- 3: Potencia mecánica $P = 2 \pi \cdot n \cdot M$,
- 4: Potencia eléctrica $P = U \cdot I$

Fig. 2.17: potencia eléctrica, hidráulica y mecánica

Ejemplo

Calcule la potencia hidráulica.

Conocido: $p = 60 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$q = 4,2 \text{ l/min} = 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

$$P = p \cdot q = 60 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,07 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 4,2 \cdot 10^2 \frac{\text{Nm}^3}{\text{m}^2 \text{ s}} = 420 \text{ W}$$

En un sistema hidráulico, la potencia de entrada no es la misma que la potencia de salida, ya que se producen pérdidas de potencia. La relación entre potencia de salida y potencia de entrada se llama grado de eficiencia o rendimiento η (eta).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

En la práctica se distingue entre la pérdida de potencia volumétrica, causada por fugas, y la pérdida de potencia hidráulica y mecánica, ocasionada por la fricción.

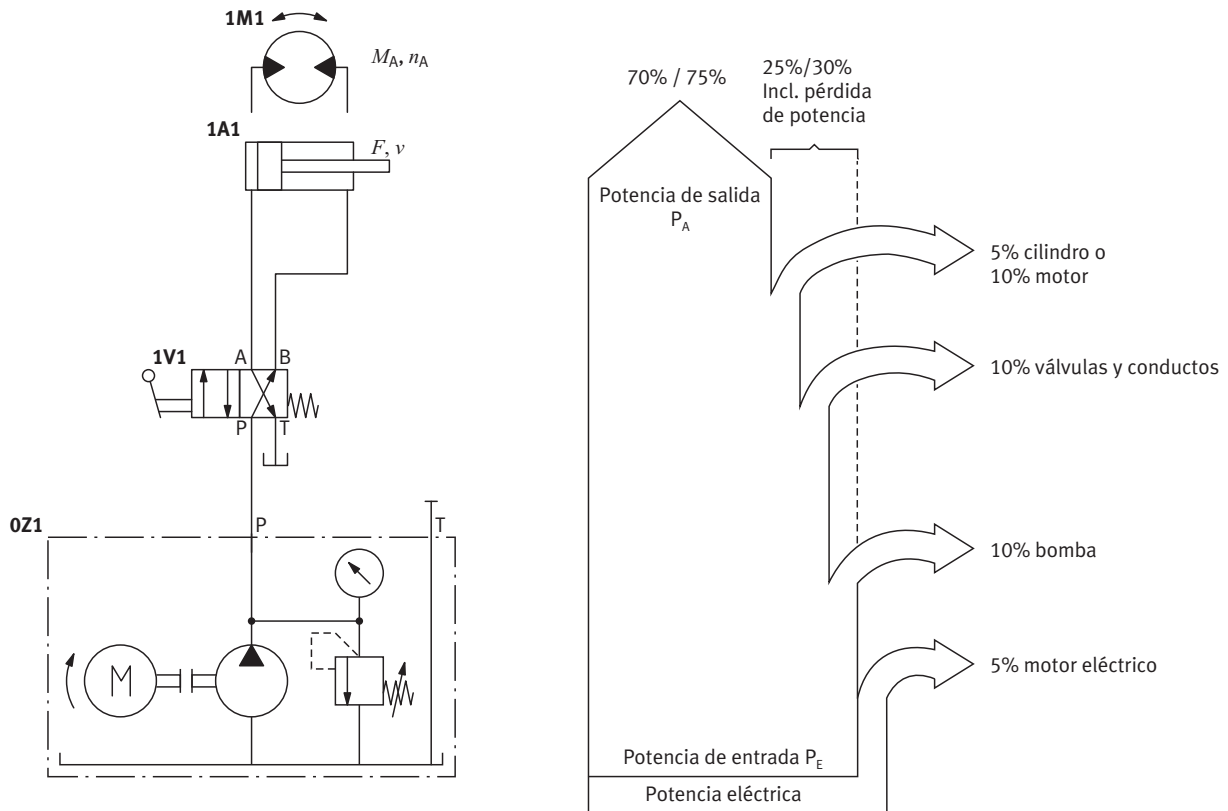


Fig. 2.18: cálculo de la potencia de entrada y la potencia de salida;
motor hidráulico: P_A aprox. 330 W con $P_E = 467$ W, cilindro: P_A aprox. 350 W con $P_E = 467$ W

De igual manera se distingue entre diversos grados de eficiencia o rendimiento:

- **Rendimiento volumétrico (η_{vol})**
Se refiere a las pérdidas provocadas por fugas internas y externas en bombas, motores y válvulas.
- **Rendimiento mecánico- hidráulico (η_{hm})**
Se refiere a las pérdidas ocasionadas por fricción en bombas, motores y cilindros.

Las pérdidas totales que se producen durante la conversión de potencia en bombas, motores y cilindros se expresan a través del **grado de rendimiento total (η_{total})** y se calculan de la siguiente manera:

$$\eta_{total} = \eta_{vol} \cdot \eta_{hm}$$

En la Fig. 2.18 se muestra cómo deben considerarse los niveles de rendimiento al calcular la potencia de entrada y de salida de un sistema hidráulico. Los valores que allí se indican son valores empíricos. Estos valores deberán ser sustituidos correspondientemente por los valores propuestos por cada fabricante.

2.14 Cavitación

Bajo cavitación se entiende la erosión con desprendimiento de ínfimas partículas de la superficie del material. La cavitación es un efecto que surge en aristas afiladas de aparatos hidráulicos (bombas y válvulas). La erosión del material se produce debido a picos de presión locales o aumentos fuertes y abruptos de temperatura.

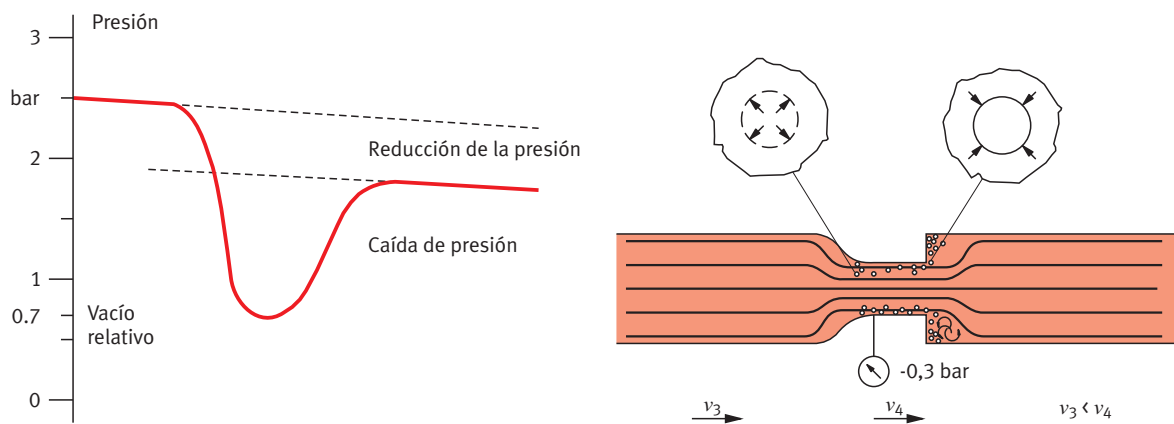


Fig. 2.19: cavitación; izq.: caída de presión en una zona de reducción de la sección; der.: formación y colapso de burbujas de gas.

¿Cómo se producen picos de presión y de temperatura? Para que en una zona de estrechamiento aumente la velocidad de flujo del aceite, es necesaria la presencia de energía cinética. Esta energía cinética se retira de la energía de presión. Por lo tanto, en la zona de estrechamiento puede producirse una caída de presión, pudiéndose generar un vacío. A partir de un vacío de $p_e \leq -0,3 \text{ bar}$, se desprende aire contenido en el aceite. De esta manera se forman burbujas de gas.

Detrás de la zona de estrechamiento vuelve a aumentar la presión, las burbujas colapsan y se pueden producir los siguientes efectos de cavitación:

- **Picos de presión**

En la zona de estrechamiento se desprenden pequeñas partículas del material de la pared del tubo. De esta manera se produce una degradación o incluso la destrucción del material. Este efecto de cavitación va acompañado de fuertes ruidos.

- **Autoencendido de la mezcla de aceite y aire**

Al colapsar las burbujas de aire, el aceite ocupa el volumen correspondiente. Debido a la alta presión que se produce detrás de la zona de estrechamiento, el colapso de las burbujas y la compresión correspondiente del aire genera temperaturas muy altas. Tal como sucede en motores diésel, en estas circunstancias es posible que se produzca un autoencendido de la mezcla de aceite y aire en las burbujas (**efecto diésel**).

Existen varias razones que explican la presencia de aire en un sistema hidráulico:

- Los líquidos siempre contienen una determinada cantidad de aire. Suponiendo condiciones atmosféricas normales, el aceite hidráulico contiene aprox. un 9% en vol. de aire disuelto en el fluido. Este porcentaje cambia en función de la presión, de la temperatura y del tipo de aceite. Pero el aire también puede provenir de fuera, especialmente en zonas de estrangulación no estancas.
- Además, es posible que el aceite hidráulico aspirado por la bomba ya contenga burbujas de aire. El aire contenido en el aceite puede deberse a un empalme incorrecto del conducto de retorno hacia el depósito de aceite, a una permanencia demasiado breve del aceite en el depósito, o a una capacidad insuficiente del aceite de segregar el aire.

2.15 Zonas de estrangulación

Los temas abordados en el presente capítulo (tipos de flujo, fricción, calor, caída de presión, energía, potencia y cavitación) pueden explicarse de manera resumida considerando una zona de estrangulación:

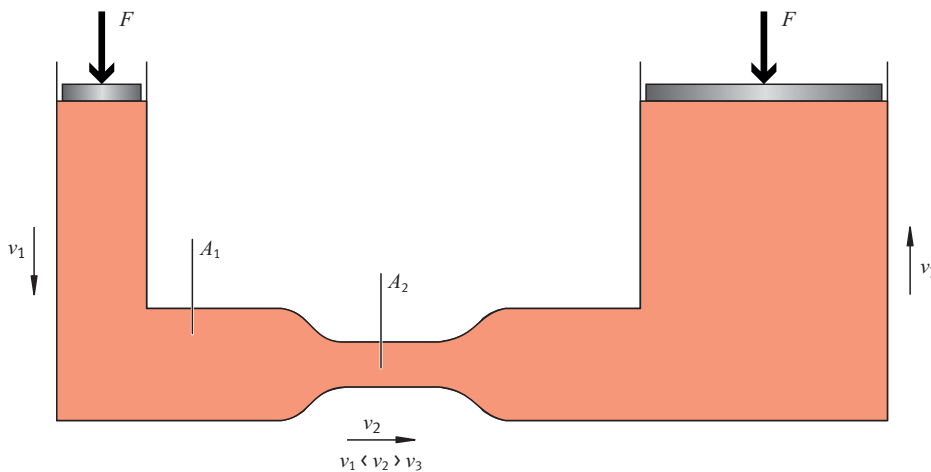


Fig. 2.20: zona de estrangulación

En zonas de estrangulación, el valor del número de Reynolds es muy superior a 2300. Ello se debe a la disminución de la sección, que tiene como consecuencia un aumento de la velocidad de flujo debido a que el caudal se mantiene constante. De este modo, la velocidad alcanza rápidamente un nivel crítico, en el que el flujo pasa de estado laminar a estado turbulento.

Según la ley de conservación de energía, la energía total de un sistema siempre es constante. Por lo tanto, si la energía cinética aumenta debido a la mayor velocidad de flujo, necesariamente deben disminuir alguna de las otras formas de energía.

Se produce una conversión de energía, de energía de presión en energía cinética y energía térmica. Debido al aumento de la velocidad de flujo, aumenta la **fricción**. Esto tiene como consecuencia un calentamiento del fluido sometido a presión y, por lo tanto, un aumento de la energía térmica. Una parte del calor se disipa hacia el exterior. Al final de la zona de estrangulación, el caudal vuelve a recuperar la velocidad de flujo que tuvo antes de la zona de estrangulación. Sin embargo, la energía de presión se redujo por el monto correspondiente a la energía térmica, lo que tiene como consecuencia una **caída de presión detrás de la zona de estrangulación**.

La reducción de la energía que se produce en zonas de estrangulación redonda en pérdida de potencia. La pérdida de potencia se puede detectar midiendo la reducción de la presión y el aumento de la temperatura. La pérdida de presión depende de los siguientes factores:

- Viscosidad
- Velocidad de flujo
- Forma y longitud de la zona de estrangulación
- Tipo de flujo (laminar, turbulento)

Considerando la ley de Hagen-Poiseuille (o, simplemente, ley de Poiseuille)

$$q = \alpha \cdot A_D \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

α Caudal A_D Sección del estrangulador [m²] Δp Caída de presión [Pa] ρ Densidad del aceite [kg/m³]

es posible afirmar lo siguiente (sin considerar la constante):

$$q \approx \sqrt{\Delta p}$$

El caudal a través de un estrangulador depende de la diferencia de presión.

Si la presión en una zona de estrangulación cae por debajo del límite de vacío, se desprende aire del aceite, formándose burbujas llenas de vapor de aceite y de aire (cavitación).

Las burbujas colapsan al aumentar la presión en la zona de ampliación de la sección, detrás de la zona de estrangulación. De esta manera se producen efectos de cavitación (destrucción del material en la zona de ampliación de la sección y, en determinadas circunstancias, autoencendido del aceite hidráulico).

3 Fluidos a presión

En principio, cualquier líquido es apropiado para transmitir energía de presión. Pero considerando que en sistemas hidráulicos es necesario que los fluidos a presión cumplan diversos criterios adicionales, se limita considerablemente la cantidad de líquidos apropiados. El agua crea problemas de corrosión y, además, no es apropiado debido a sus puntos de ebullición y de congelación, así como por su falta de viscosidad.

Los fluidos a presión basados en aceites minerales, llamados **aceites hidráulicos** o simplemente aceites, suelen cumplir todas las exigencias usuales (que se plantean, por ejemplo, en el caso de máquinas herramienta). Los aceites hidráulicos son los fluidos más difundidos en sistemas hidráulicos.

Tratándose de equipos hidráulicos utilizados en zonas de mayor riesgo de incendio, como, por ejemplo, en

- minas de carbón,
- máquinas de fundición a presión,
- prensas de forja,
- sistemas de regulación de turbinas de centrales eléctricas,
- plantas metalúrgicas y trenes de laminación,

se necesitan fluidos a presión difícilmente inflamables. En todas estas aplicaciones existe el peligro que se inflamen los fluidos a presión de aceite mineral, debido a fugas o roturas de tubos en la cercanía de partes metálicas muy calientes. En esos casos se utilizan mezclas de aceite y agua o aceites sintéticos, en vez de los aceites minerales normales.

3.1 Funciones de los fluidos a presión

Los fluidos a presión utilizados en sistemas hidráulicos deben cumplir diversas funciones:

- Transmisión de presión
- Lubricación de piezas móviles
- Refrigeración, es decir, disipación del calor causado por la transformación de energía (pérdidas de presión)
- Amortiguación de vibraciones, causadas por picos de presión
- Protección contra corrosión
- Arrastre de virutas
- Transmisión de señales

3.2 Tipos de fluidos a presión

En cada uno de estos dos grupos (aceites hidráulicos y fluidos a presión difícilmente inflamables) incluye, a su vez, varios tipos de fluidos de diversas características y propiedades. Las propiedades se definen por el fluido básico y las sustancias activas que se le agregan en pequeñas cantidades.

Aceites hidráulicos

Según la norma ISO 11158, los aceites hidráulicos se clasifican en tres clases, según sus propiedades y su composición:

- Aceite hidráulico HL
- Aceite hidráulico HLP
- Aceite hidráulico HV

Las denominaciones incluyen la letra H que indica que se trata de un aceite hidráulico. Las letras adicionales se refieren al aditivo agregado al aceite. A las letras de identificación se les agrega el número identificador de la viscosidad según ISO 6743 (clases de viscosidad ISO).

Denominación	Características especiales	Ámbitos de aplicación
HL	Mayor protección ante la corrosión y el envejecimiento	Equipos en los que se producen grandes esfuerzos térmicos o en los que es posible la corrosión debido a la presencia de agua.
HLP	Mayor resistencia al desgaste	Igual que el aceite HL, pero además para equipos en los que se produce mayor fricción, ya sea por la construcción de la máquina o por el tipo de funcionamiento del sistema.
HV	Mejor viscosidad y mayor resistencia a temperaturas	Igual que el aceite HLP y, además, en aplicaciones con fuertes cambios de temperatura y con temperaturas ambiente bajas.

Tabla 3.1: aceite hidráulico para sistemas hidráulicos

Ejemplo

Aceite hidr. HLP 68	H	Aceite hidráulico
	L	Con aditivos para aumentar la protección contra la corrosión y/o para reducir el envejecimiento
	P	Con aditivos para aumentar la resistencia a esfuerzos
	68	Coefficiente de viscosidad según ISO 6743

Fluidos a presión difícilmente inflamables

En el caso de estos fluidos hidráulicos, se distingue entre fluidos **con contenido de agua** y fluidos **sin agua**. La estructura química de los fluidos a presión sintéticos evita que se inflamen los gases contenidos en ellos.

La Tabla 3.2 ofrece informaciones sobre fluidos hidráulicos difícilmente inflamables (fluidos HF). Estos fluidos también se describen en la norma ISO 12922.

Denominación breve	Composición	Contenido de agua en %
HFA	Emulsiones de aceite y agua	80 – 98
HFB	Emulsión de agua y aceite	40
HFC	Soluciones acuosas, por ejemplo, glicol	35 – 55
HFD	Fluido sin agua, por ejemplo, éster de ácido fosfórico	0 – 0,1

Tabla 3.2: fluidos hidráulicos difícilmente inflamables

3.3 Propiedades y requisitos

Para que los aceites hidráulicos cumplan las funciones indicadas arriba, es necesario que dispongan de ciertas propiedades, considerando las respectivas condiciones de utilización. Entre esas propiedades, cabe mencionar las siguientes:

- Densidad lo más baja posible
- Buena relación viscosidad/presión
- Baja compresibilidad
- Buena resistencia al envejecimiento
- Viscosidad no demasiado baja (película lubricante)
- Difícilmente inflamable
- Buena relación viscosidad/temperatura
- Buena compatibilidad con los materiales utilizados en el sistema

Además, los aceites hidráulicos deberían cumplir los siguientes requisitos:

- Separación de aire
- Protección contra desgaste y corrosión
- Sin formación de espuma
- Capacidad de separación de agua
- Resistencia al frío

Los aceites hidráulicos se diferencian entre sí especialmente por su viscosidad.

3.4 Viscosidad

Simplificando, la viscosidad también puede entenderse como la facilidad que tiene un líquido de fluir. La viscosidad se refiere a la fricción interna en un fluido. Es decir, se trata de la resistencia que debe superarse para que dos capas de líquido contiguas se desplacen entre sí. Por lo tanto, la viscosidad expresa la facilidad con la que fluye un líquido.

Según el sistema internacional de unidades, por viscosidad se entiende la "viscosidad cinemática" (unidad: mm^2/s). La viscosidad se determina aplicando procedimientos normalizados según ISO 3104 y ISO 3105.

Para determinar la viscosidad cinemática, puede utilizarse un viscosímetro de bola. Con él, es posible obtener valores de viscosidad bastante precisos, cubriendo un amplio margen. Se mide la velocidad con la que un cuerpo circular se hunde en un líquido debido a la fuerza de gravedad. Para obtener el valor de la viscosidad cinemática, debe dividirse el valor obtenido con el viscosímetro de bola con la densidad del líquido.

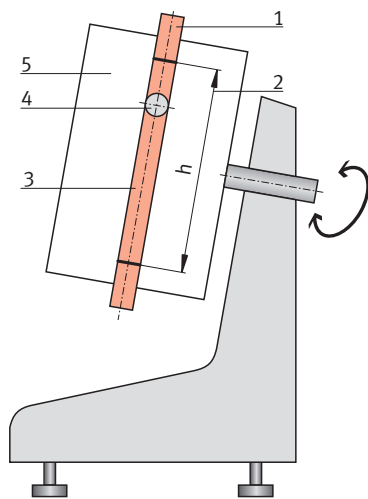


Fig. 3.1: viscosímetro de bola. 1 Fluido utilizado para la prueba 2 Altura de caída 3 Tubo de caída 4 Bola 5 Recubrimiento regulador de temperatura

Un valor identificador importante de los aceites es la clase de viscosidad. Según la norma ISO 11158, es válido lo siguiente: las clases de viscosidad determinan la viscosidad mínima y la viscosidad máxima de aceites hidráulicos con una temperatura de 40 °C.

Clases de viscosidad según ISO	Viscosidad cinemática [mm²/s] con 40 °C	
	Máx.	Mín.
ISO VG 10	9,0	11,0
ISO VG 22	19,8	24,2
ISO VG 32	28,8	35,2
ISO VG 46	41,4	50,6
ISO VG 68	61,2	74,8
ISO VG 100	90,0	110,0

Tabla 3.3: clases de viscosidad (según ISO 6743-4)

Por lo tanto, para cada uno de los tipos de aceites hidráulicos (HL, HLP y HV) existen aceites de seis clases de viscosidad diferentes. En la siguiente tabla se indican las aplicaciones apropiadas según clases de viscosidad. La clase de viscosidad debe seleccionarse en función de la temperatura.

Por razones de almacenamiento, en sistemas hidráulicos también se utilizan aceites de alta calidad, previstos para motores y cajas de cambio. Por esta razón también se indica la clasificación de la viscosidad según SAE en la siguiente tabla. Pero los márgenes de tolerancia son mucho mayores, lo que se puede comprobar al comparar los dos criterios de clasificación.

ISO-VG	Clases SAE	Ámbitos de aplicación
100	30	Equipos estacionarios utilizados en espacios cerrados y a altas temperaturas
68	20, 25 W	
46	15 W, 20 W	Con temperaturas normales
22, 32	10 W	Utilización en exteriores; hidráulica móvil
15	5 W	En zonas frías
10	0 W	

Tabla 3.4: clasificación de viscosidad según SAE

Los **límites de viscosidad** tienen una gran importancia en la práctica.

- Si la **viscosidad** es **demasiado baja** (líquido muy fluido), es mayor el riesgo de fugas. La película lubricante es demasiado delgada y puede desgarrarse, por lo que disminuye la protección contra el desgaste por fricción. A pesar de ello es preferible utilizar aceites más fluidos en vez de aceites muy viscosos, porque ofrecen menos resistencia y, por lo tanto, la presión es mayor y las pérdidas de potencia son menores. En la medida en que aumenta la viscosidad, aumenta la fricción interna en el fluido, por lo que la pérdida de presión y de potencia es mayor debido al calor.
- Un **alto** nivel de **viscosidad** tiene como consecuencia una mayor fricción, lo que provoca pérdidas considerables de presión y causa calentamiento, especialmente en zonas de estrangulación. En estas condiciones, se dificulta el arranque en frío y la segregación de burbujas de aire, por lo que es más probable que se produzca cavitación.

	Viscosidad cinemática
Límite inferior	$10 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$
Margen de viscosidad ideal	15 hasta $100 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$
Límite superior	$750 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$

Tabla 3.5: límites de viscosidad

En las aplicaciones debe considerarse el comportamiento de los fluidos según su viscosidad y según las temperaturas a las que están expuestos, dado que la viscosidad del fluido a presión cambia en función de la temperatura. Este comportamiento se puede explicar con el diagrama viscosidad/temperatura de Ubbelohde. Si se incluyen los valores en una tabla logarítmica, se obtiene una línea recta.

Como valor característico de la relación entre la viscosidad y la temperatura suele utilizarse el índice de viscosidad (VI). Este índice se calcula según la norma ISO 2909. Cuanto mayor es el índice de viscosidad de un aceite hidráulico, tanto menos cambia su viscosidad. Es decir, tanto mayor es el margen de temperatura apropiado para la utilización del correspondiente aceite hidráulico. En el diagrama viscosidad/temperatura, un elevado índice de viscosidad se expresa mediante una línea característica plana.

En términos generales y simplificando, se puede afirmar que cuanto más caliente está un aceite hidráulico, tanto más fluido es.

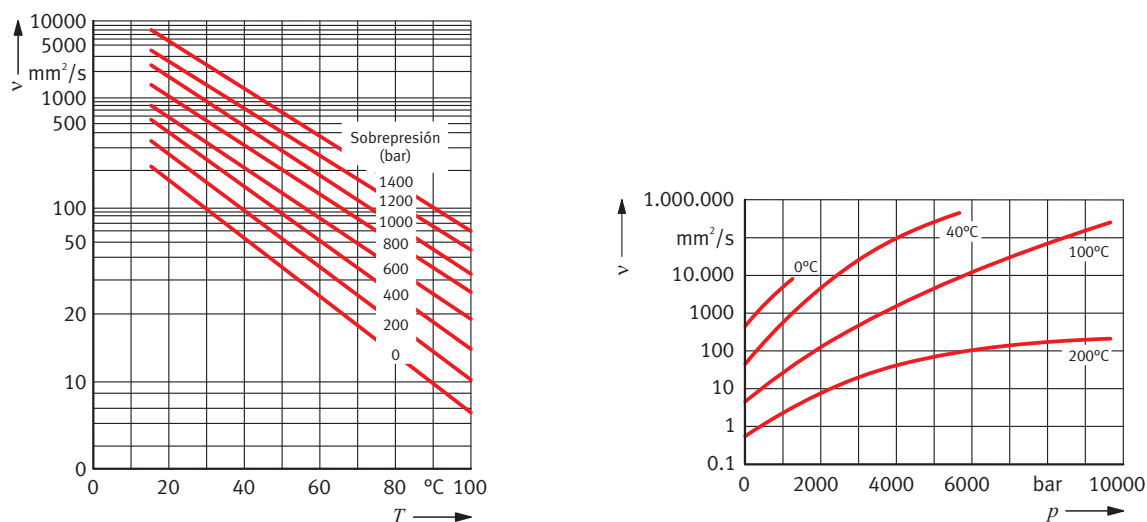


Fig. 3.2: izq.: diagrama viscosidad/temperatura; der.: diagrama viscosidad/presión

Los aceites minerales con alto índice de viscosidad también se llaman **aceites multigrado**. Estos aceites se utilizan siempre que las temperaturas de funcionamiento varían mucho. Por ejemplo, en equipos hidráulicos móviles. En el caso de aceites de bajo índice de viscosidad, se distingue entre aceites apropiados para el uso en verano y aquellos apropiados para el uso en invierno.

- **Aceites de verano:** de gran viscosidad, para que el aceite no se torne demasiado fino, es decir, para evitar que la película lubricante no se desgarre.
- **Aceites de invierno:** de baja viscosidad, para que el aceite no se torne demasiado espeso, dificultando el arranque en frío.

También es importante el comportamiento de un aceite hidráulico según la viscosidad y la presión, ya que la viscosidad de un aceite aumenta al aumentar la presión. Este comportamiento debe tenerse en cuenta especialmente si Δp es superior a 200 bar. La viscosidad con una presión de 350 o 400 bar es dos veces mayor que la viscosidad con 0 bar.

Si se resumen las propiedades de fluidos a presión descritas en el presente capítulo, puede afirmarse que los fluidos hidráulicos difícilmente inflamables ofrecen las siguientes ventajas y desventajas en comparación con aceites hidráulicos minerales:

	Ventajas	Inconvenientes
Mayor densidad	—	Aspiración más difícil por la bomba
Menor compresibilidad	Menor elasticidad del fluido a presión	Posibilidad de soportar mayores picos de presión
Menor capacidad de segregar aire	—	Necesidad de utilizar depósitos de mayor tamaño, para prolongar la estancia del aceite en el depósito.
Margen limitado de la temperatura de funcionamiento.	—	No deben superarse los 50 °C, ya que de lo contrario se evapora demasiada cantidad de agua
Mejor comportamiento considerando la relación viscosidad/temperatura	Tratándose de fluidos HFC, cambia menos la viscosidad si se producen oscilaciones de la temperatura.	Tratándose de fluidos HFD, cambia la viscosidad al oscilar la temperatura.
Desintegración	—	Los fluidos HFD desintegran las juntas usuales de NBR; desintegración de los tubos flexibles.
Precio	Si se utilizan sistemas de refrigeración y de calefacción, las propiedades de los fluidos HFD se asemejan a las de los aceites hidráulicos.	Los fluidos HFD son más costosos que los aceites hidráulicos.

Tabla 3.6: ventajas y desventajas de fluidos hidráulicos difícilmente inflamables en comparación con aceites hidráulicos minerales

4 Componentes de un alimentador de energía

La unidad de alimentación de energía aporta la energía necesaria para el funcionamiento de un sistema hidráulico. Sus componentes principales son los siguientes:

- Unidad de accionamiento
- Bomba
- Válvula limitadora de presión
- Acoplamiento
- Depósito
- Filtro
- Unidad de refrigeración
- Unidad de calefacción

Además, todos los sistemas hidráulicos cuentan con aparatos apropiados para realizar los trabajos de mantenimiento, así como aparatos de vigilancia y de seguridad, además de conductos que unen los componentes hidráulicos entre sí.

4.1 Accionamiento

El accionamiento de sistemas hidráulicos está a cargo de motores (exceptuando el caso de las bombas manuales). En los sistemas hidráulicos estacionarios, por lo general se trata de motores eléctricos, mientras que en los sistemas hidráulicos móviles suelen utilizarse motores de combustión. Estos motores generan la potencia mecánica necesaria para el funcionamiento de la bomba.

Tratándose de máquinas y equipos de mayor tamaño, se suele contar con una unidad hidráulica central. Todas las unidades consumidoras del sistema están unidas a uno o varios grupos hidráulicos y se alimentan a través de un conducto común, utilizando uno o varios acumuladores. El acumulador hidráulico acumula energía hidráulica que se aprovecha cuando es necesario.

Los conductos de presión, retorno y fuga son circuitos anulares. Gracias a esta configuración se necesita menos potencia y espacio para el funcionamiento del sistema.

En la Fig. 4.1 se muestra el esquema de distribución de una estación de mecanizado en una línea de transferencia.

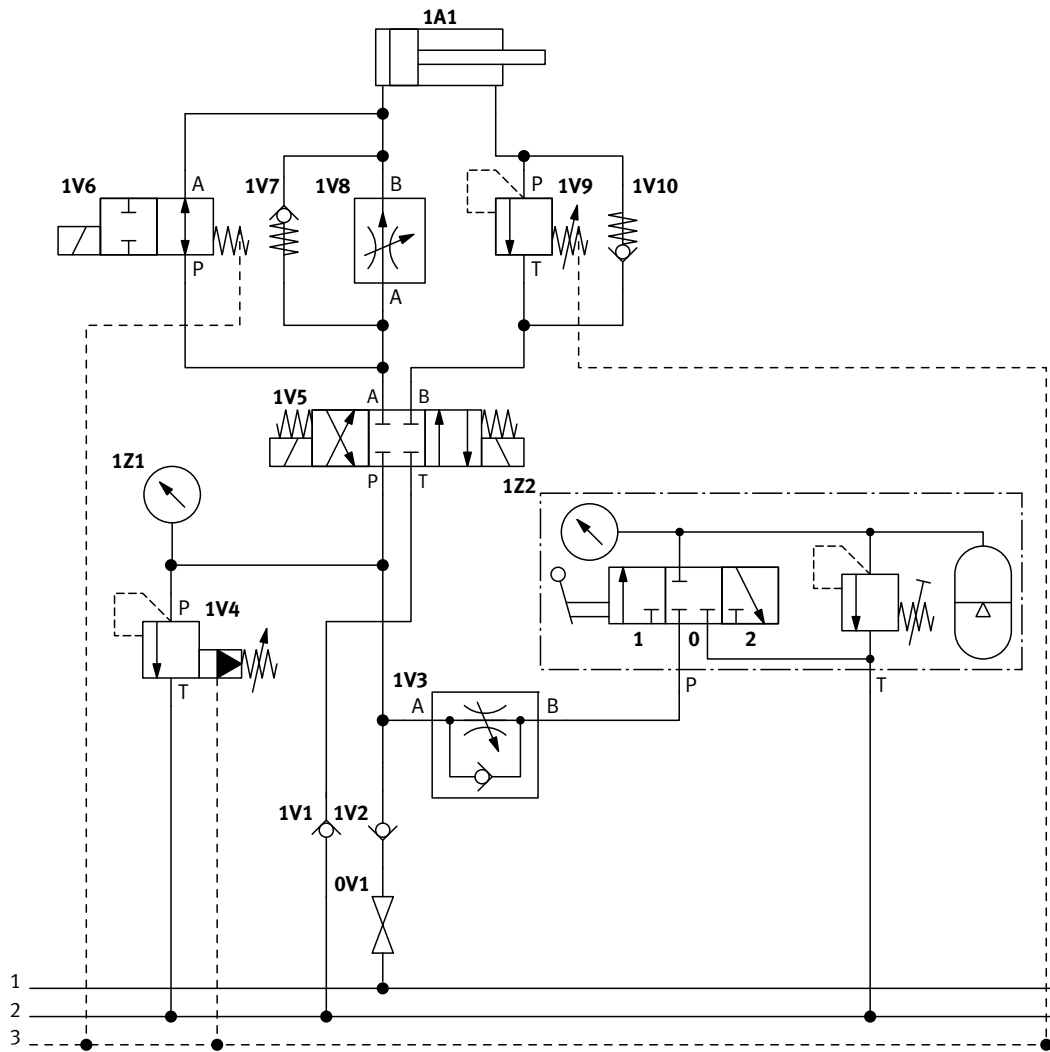


Fig. 4.1: esquema de distribución hidráulico. 1 Conducto de presión 2 Conducto de retorno 3 Conducto de aceite de fuga

4.2 Bomba

La bomba de un sistema hidráulico (bomba hidráulica) convierte la energía mecánica del grupo de accionamiento en energía hidráulica (energía de presión).

La bomba aspira el fluido a presión y lo alimenta al sistema de conductos. En el sistema hidráulico se genera presión debido a las resistencias que se oponen al flujo del fluido a presión. La magnitud de la presión depende de la resistencia total. La resistencia total depende de las **resistencias exteriores e interiores**, así como del caudal.

- **Resistencias exteriores:** estas resistencias se crean debido a cargas útiles, fricción mecánica, cargas estáticas y fuerzas de aceleración.
- **Resistencias interiores:** estas resistencias se crean debido a la fricción total en los conductos y actuadores, la fricción dentro del fluido y pérdidas de caudal (zonas de estrangulación).

Por lo tanto, la presión del fluido contenido en un sistema hidráulico no se produce desde un principio por la bomba. Más bien aumenta en función de las resistencias. En casos extremos, el nivel de presión puede aumentar tanto que puede llegar a destruir alguno de los componentes incluidos en el circuito hidráulico. Para evitar la destrucción de un componente se monta una válvula limitadora de presión (válvula de seguridad) justo detrás de la bomba o en la bomba misma. En esta válvula se ajusta el nivel máximo de la presión de funcionamiento, según las características de la bomba.

En el caso de la bomba, tienen importancia los siguientes valores característicos:

- El **volumen de expulsión** V (también llamado volumen de transporte o volumen de elevación) es el valor que define a la bomba. Este parámetro define el volumen del líquido que transporta la bomba con cada giro (o, respectivamente, con cada movimiento de elevación).
Por definición, el caudal q es el volumen de fluido transportado por minuto (caudal bombeado). El caudal se obtiene considerando el volumen de expulsión V y las revoluciones n .

$$q = n \cdot V$$

Ejemplo

Cálculo del caudal (bombeado) de una bomba de engranajes.

Conocido: revoluciones $n = 1450$ rpm

volumen de expulsión $V = 2,8 \text{ cm}^3$ (por cada giro)

$$q = n \cdot V = 1450 \text{ min}^{-1} \cdot 2,8 \text{ cm}^3 = 4060 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 4,06 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} = 4,06 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

- En relación con las aplicaciones, es importante conocer la **presión de funcionamiento**. Aunque se indica la presión máxima, es recomendable que ésta se alcance únicamente durante breves instantes (ver Fig. 4.2), ya que de lo contrario se provocaría un desgaste prematuro de la bomba.

Algunas bombas incluyen una válvula limitadora de presión por razones de seguridad.

- Las **revoluciones de funcionamiento** son un criterio importante a tener en cuenta al seleccionar una bomba, ya que el caudal q de una bomba depende de las revoluciones n . Muchas bombas son homologadas para el funcionamiento dentro de un determinado margen de revoluciones, lo que significa que no deben someterse a una carga desde el inicio de funcionamiento. En el caso de las bombas hidráulicas, las revoluciones más usuales son de $n = 1500$ rpm, ya que las bombas suelen funcionar con motores trifásicos síncronos, que dependen de la frecuencia existente en la red.

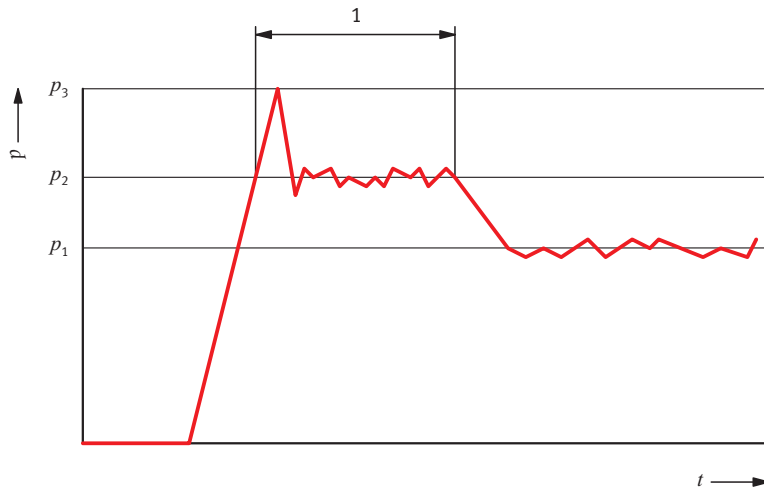


Fig. 4.2: Presión de funcionamiento. 1 Tiempo de utilización p_1 Presión continua p_2 Presión máxima p_3 Pico de presión

- Las bombas transforman la potencia mecánica en potencia hidráulica. Al hacerlo, se producen pérdidas de potencia. Estas pérdidas se expresan mediante el **grado de eficiencia o rendimiento**.

Al calcular el grado de rendimiento total de una bomba, deben tenerse en cuenta el rendimiento volumétrico (η_{vol}) y el rendimiento hidráulico-mecánico (η_{hm}). Relación válida:

$$\eta_{total} = \eta_{vol} \cdot \eta_{hm}$$

Para evaluar las características de una bomba en la práctica, se recurre a líneas características. Normalmente existen diversas líneas características. Por ejemplo:

- Caudal q
- Potencia P
- Rendimiento η

En todos los casos, en función de la presión, suponiendo revoluciones constantes.

La línea característica del caudal en función de la presión se llama línea característica de la bomba. La línea característica de la bomba indica que el caudal efectivo (q_{ef}) disminuye en función del aumento de la presión. El caudal real (q_w) se obtiene si se tiene en cuenta adicionalmente el aceite de fuga de la bomba (q_l).

Para mantener el efecto de lubricación, es necesaria la existencia de un flujo mínimo de aceite de fuga en el interior de la bomba!

Información que ofrece la línea característica de la bomba:

- Siendo $p = 0$, la bomba entrega el caudal total q .
- Siendo $p > 0$, q es menor debido a la fuga de aceite en la bomba.
- El recorrido de la línea característica informa sobre el grado de eficacia volumétrica (η_{vol}) de la bomba.

En la Fig. 4.3 se comparan las líneas características de una bomba nueva y una bomba usada:

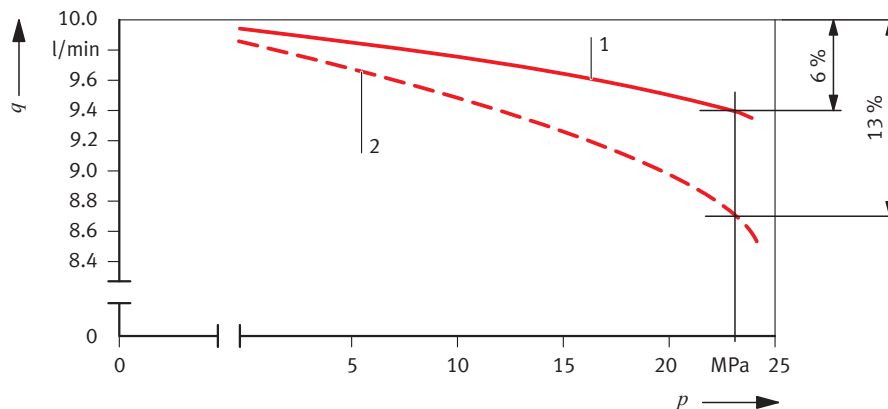


Fig. 4.3: línea característica de bombas. 1 Bomba nueva 2 Bomba usada

Recurriendo a la línea característica de la bomba, es posible conocer su grado de rendimiento volumétrico (η_{vol}).

Ejemplo: cálculo del rendimiento

Línea característica de la bomba nueva

Las fugas de la bomba ascienden a 6,0 % con 230 bar. Por lo tanto, se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 q_{(p=0)} &= 10,0 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \\
 q_{(p=230)} &= 9,4 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \\
 q_L &= 0,6 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \\
 \eta_{Vol} &= \frac{9,4 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}}}{10,0 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}}} = 0,94
 \end{aligned}$$

Línea característica de la bomba usada

Las fugas de la bomba ascienden a 13 % con 230 bar. Por lo tanto, se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 q_{(p=0)} &= 10,0 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \\
 q_{(p=230)} &= 8,7 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \\
 q_L &= 1,3 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \\
 \eta_{Vol} &= \frac{8,7 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}}}{10,0 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}}} = 0,87
 \end{aligned}$$

Para utilizar una bomba correctamente, deben conocerse las magnitudes y las líneas características antes mencionadas. Solamente en ese caso es posible hacer una comparación realista y seleccionar la bomba más apropiada. Además hay otras características constructivas de las bombas que deberían tenerse en cuenta:

- Tipo de fijación
- Margen de temperatura de funcionamiento
- Nivel de ruidos
- Fluido a presión recomendado
- Tipo de bomba

Considerando el volumen bombeado, es posible definir tres tipos básicos de bombas hidráulicas:

- **Bombas constantes** con volumen de expulsión constante
- **Bombas ajustables** con volumen de expulsión ajustable
- **Bombas regulables** con posibilidad de regular la presión, el caudal y, respectivamente, la potencia en un volumen de expulsión regulado

Existen muchos tipos constructivos de bombas hidráulicas. Sin embargo, todas funcionan de acuerdo al mismo principio de expulsión. La expulsión (el desplazamiento) del fluido a presión hacia el elemento actuador está a cargo de émbolos, paletas, husillos o engranajes.

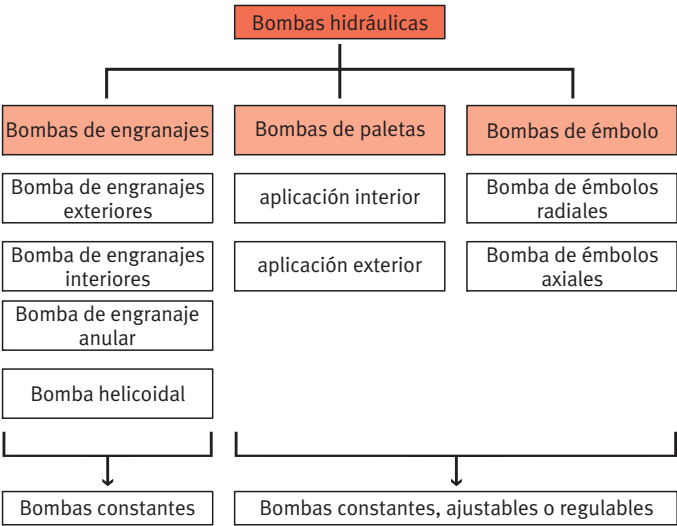


Fig. 4.4: bombas hidráulicas. Cuadro general

Bomba hidráulica, tipo: bomba de engranajes

Las bombas de engranajes son bombas de funcionamiento constante, ya que no cambia el volumen expulsado, determinado por el espacio existente entre los dientes del sistema de engranajes.

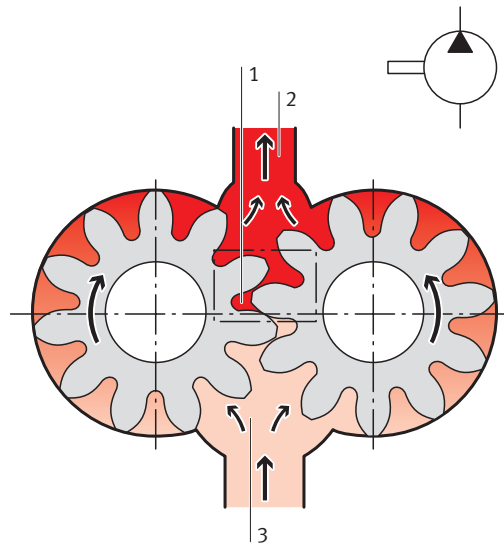


Fig. 4.5: bomba de engranajes. Vista en corte y símbolo. 1 Entalle entre dientes 2 Cámara de presión 3 Cámara de aspiración

La cámara de aspiración (3) está unida al depósito.

Principio de funcionamiento de una bomba de engranajes:

- Una de las ruedas dentadas está unida a un sistema de accionamiento que se encarga del giro de la otra rueda dentada.
- El aumento de volumen ocasionado cuando un diente sale del respectivo entalle de la rueda dentada opuesta, genera un vacío en la cámara de aspiración (3).
- El líquido sometido a presión llena las cámaras entre los dientes y fluye a lo largo del cuerpo de la bomba hacia la cámara de presión (2).
- Al engranar los dientes de los rodillos, se expulsa el líquido sometido a presión hacia el tubo de salida.

- El fluido se comprime en los entalles (espacios entre dientes) (1) en la zona que se encuentra entre la cámara de aspiración y la cámara de presión. Este líquido fluye hacia la cámara de presión a través de una ranura. Este flujo es necesario porque la compresión del aceite aprisionado provocaría picos de presión que ocasionarían ruidos y probablemente la rotura de la bomba.

El aceite de fuga de la bomba está determinado por el tamaño de la ranura (entre el cuerpo, las cabezas de los dientes y los flancos de los dientes), la superposición de los flancos de los dientes, la viscosidad del fluido y las revoluciones. Estas pérdidas pueden deducirse el rendimiento volumétrico, pues este valor indica la relación entre el caudal real y el caudal teóricamente posible.

Considerando que la velocidad de flujo admisible es menor en los conductos de aspiración, la **cámara de aspiración** es mayor que la **cámara de presión**. Un tubo de aspiración de diámetro demasiado pequeño tendría como consecuencia una velocidad de flujo demasiado alta, considerando que $v = \frac{q}{A}$.

Suponiendo un caudal constante y un diámetro menor, aumentaría la velocidad de flujo. Por lo tanto, la energía de presión se transformaría en energía cinética y energía térmica, por lo que se provocaría una caída de presión en la cámara de aspiración. Dado que en la cámara de aspiración hay un vacío durante la operación de aspiración, aumentaría el vacío, lo que provocaría el fenómeno de la cavitación. En el transcurso del tiempo, la cavitación destruiría la bomba.

Para seleccionar correctamente una bomba, deben considerarse los factores antes descritos y, además, las líneas características de las bombas. En la siguiente tabla constan los valores característicos correspondientes a las bombas más difundidas.

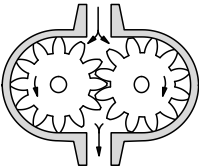
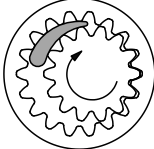
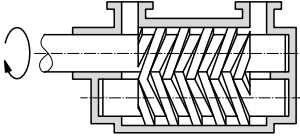
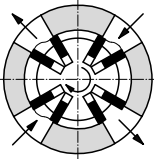
Vista en corte	Tipos	Margen de revoluciones [rpm]	Volumen de expulsión [cm ³]	Presión nominal [bar]	Rendimiento total
	Bomba de engranajes dientes exteriores	500 – 3500	1,2 – 250	63 – 160	0,8 – 0,91
	Bomba de engranajes dientes interiores	500 – 3500	4 – 250	160 – 250	0,8 – 0,91
	Bomba de husillos	500 – 4000	4 – 630	25 – 160	0,7 – 0,84
	Bomba de paletas	960 – 3000	5 – 160	100 – 160	0,8 – 0,93

Tabla 4.1: valores característicos de bombas constantes

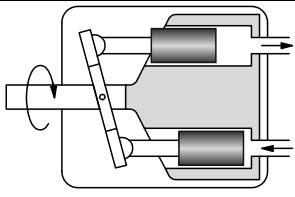
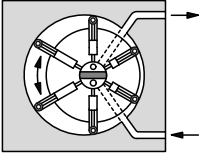
Vista en corte	Tipos	Margen de revoluciones [rpm]	Volumen de expulsión [cm ³]	Presión nominal [bar]	Rendimiento total
	Bomba de émbolos axiales	... – 3000	100	200	0,8 – 0,92
		750 – 3000	25 – 800	160 – 250	0,82 – 0,92
		750 – 3000	25 – 800	160 – 320	0,8 – 0,92
	Bomba de émbolos radiales	960 – 3000	5 – 160	160 – 320	0,90

Tabla 4.1: valores característicos de bombas constantes (continuación)

4.3 Acoplamiento

Los acoplamientos se montan entre el motor y la bomba en el sistema de alimentación de energía. Los acoplamientos aplican en la bomba el momento de giro generado por el motor. Además, sirven de unidad amortiguadora entre el motor y la bomba. De esta manera se evita que las oscilaciones del funcionamiento del motor se trasladen hacia la bomba, así como se evita que los picos de presión de la bomba incidan en el motor. Además, los acoplamientos compensan errores de alineación del eje del motor y del eje de la bomba.

Ejemplos

- Acoplamientos de goma
- Acoplamientos de dientes arqueados
- Acoplamientos metálicos de garras, con discos intermedios de material sintético

4.4 Depósito

En un sistema hidráulico, el depósito asume diversas funciones.

- Recipiente para almacenar el fluido necesario para el funcionamiento del sistema
- Disipación de calor
- Separación de aire, agua y partículas sólidas
- Soporte para la bomba incluida o montada encima, así como el motor de accionamiento y otros componentes del sistema hidráulico (por ejemplo, válvulas, acumulador, etc.)

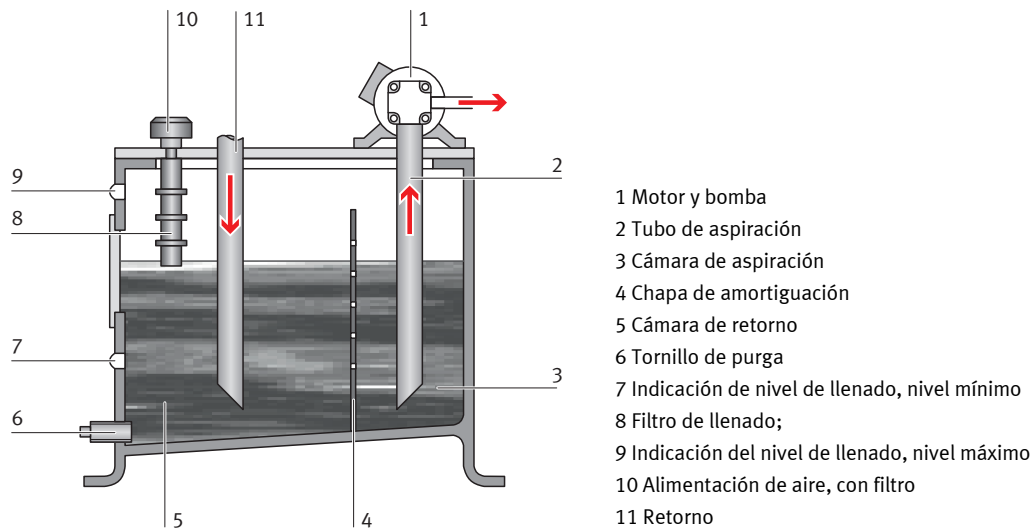


Fig. 4.6: grupo hidráulico, representación esquemática

Considerando las funciones que debe cumplir un depósito, deben tenerse en cuenta los siguientes criterios para su configuración:

- Tamaño del depósito

El tamaño depende de los siguientes factores:

 - Capacidad de desplazamiento de la bomba (volumen a desplazar)
 - Temperatura de funcionamiento en relación con la temperatura máxima admisible del fluido
 - Diferencia máxima posible del volumen del fluido, causada al llenar y vaciar unidades consumidoras (por ejemplo, cilindros, acumuladores, etc.)
 - Lugar de utilización
 - Tiempo de circulación

Un criterio aproximado para definir el tamaño de un depósito es el volumen que es capaz de desplazar la bomba en el transcurso de un tiempo de más o menos 3 hasta 5 minutos. Adicionalmente debe preverse un colchón de aire de aproximadamente 15 por ciento del volumen, con el fin de compensar oscilaciones del nivel.

Considerando que los equipos hidráulicos móviles tienen depósitos de menor tamaño (debido al espacio que ocupan y al peso que tienen), es necesario prever un sistema de refrigeración externo.

- Forma del depósito

Los depósitos altos son buenos para la disipación de calor. Los depósitos anchos son buenos para la separación de aire.
- Conductos de aspiración y de retorno

Estos conductos deberían estar lo más separados entre sí y, además, deberían instalarse claramente por debajo del nivel de aceite más bajo admisible.
- Chapa de desviación y amortiguación

Para separar la zona de aspiración de la zona de retorno. Adicionalmente, consigue que el aceite permanezca durante más tiempo en el depósito, por lo que la separación de agua y de aire es más eficiente.

- **Chapa de base**
Esta chapa debería tener una inclinación hacia el tornillo de purga, para poder extraer de manera eficiente el lodo y el agua.
- **Alimentación y escape de aire (filtro de aire)**
Para compensar la presión al oscilar el nivel de aceite, es necesario prever un sistema de alimentación y escape de aire. El tornillo de cierre de la entrada de aire suele incluir un filtro. La alimentación y el escape de aire no son necesarios en depósitos cerrados, como suelen utilizarse en equipos hidráulicos móviles. En esos casos, el depósito incluye una vejiga flexible, que contiene un gas sometido a presión (nitrógeno). Por lo tanto, este tipo de depósitos tienen menos problemas ocasionados por contaminación por el aire y el agua y, por lo tanto, el proceso de envejecimiento del fluido a presión es más lento. Gracias al gas sometido a presión, contenido en la vejiga, se evita que se produzca cavitación en el conducto de aspiración, ya que en el depósito hay una sobrepresión.

4.5 Filtro

Los filtros en sistemas hidráulicos son importantes para el buen funcionamiento de los componentes y para aumentar su duración.

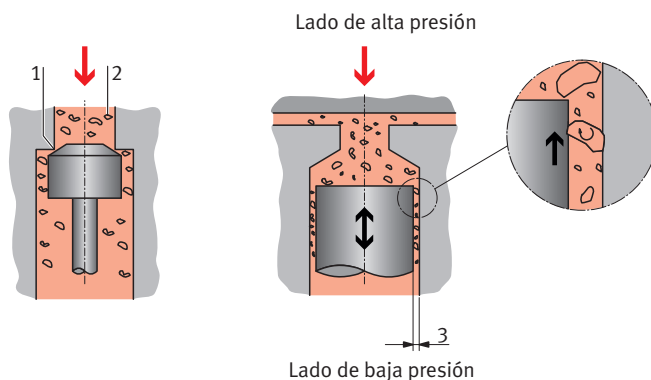


Fig. 4.7: consecuencias de aceite con partículas de suciedad. 1 Asiento de la válvula 2 Partículas de suciedad 3 Holgura del émbolo

El ensuciamiento de fluidos a presión tiene las siguientes causas:

- **Suciedad inicial.** Se produce durante la primera puesta en funcionamiento (virutas metálicas, arena de fundición, polvo, salpicaduras de soldadura, escorias, pintura, partículas de suciedad no definidas, material hermetizante, suciedad contenida en el fluido a presión tal como se entrega de fábrica).
- **Suciedad durante el funcionamiento.** Debido a abrasión, penetración a través de las juntas y del sistema de alimentación de aire al depósito, rellenado o sustitución del fluido a presión, sustitución de componentes en el sistema, sustitución de tubos flexibles.

La función de los filtros consiste en reducir la suciedad a un nivel aceptable, con el fin de evitar un desgaste prematuro de los componentes del sistema. El filtro debe ser tan fino como sea necesario. Y la eficiencia del proceso de filtración debería poder controlarse mediante un indicador correspondiente. Antes de poner en funcionamiento un sistema, suele utilizarse primero un filtro de bajo precio para realizar una primera limpieza. La elección y la configuración del filtro dependen principalmente de la sensibilidad de los componentes hidráulicos frente a la suciedad.

Grado de filtración x en μm , con $\beta_x = 100$	Tipo de sistema hidráulico
1 – 2	Protección de sistemas altamente sensibles contra partículas de suciedad micrónica. Utilización especialmente en aplicaciones que exigen un alto y previsible nivel de fiabilidad (sector de aeronáutica, laboratorios químicos, etc.).
2 – 5	Protección de sistemas sensibles de control y regulación de alto rendimiento, que funcionan con alta presión. Utilización frecuente en la aeronáutica, robótica y en máquinas herramienta.
5 – 10	Protección de sistemas hidráulicos industriales de alta calidad, que deben tener un elevado grado de fiabilidad de funcionamiento y una duración previsible de todos sus componentes.
10 – 20	Protección de sistemas hidráulicos en general: sistemas hidráulicos móviles, sistemas con mediana presión y de mediano tamaño.
15 – 25	Protección de sistemas hidráulicos utilizados en la industria pesada, sistemas de baja presión o sistemas de duración limitada.
20 – 40	Protección de sistemas hidráulicos que admiten grandes holguras.

Tabla 4.2: grado de filtración y aplicaciones

El tamaño de las partículas de suciedad se expresa en μm . Por lo tanto, el grado de filtración también se expresa en μm . Concretamente, se distingue entre

- **Grado de filtración absoluto**
Indica la partícula de mayor tamaño que puede atravesar un filtro.
- **Grado de filtración nominal**
Las partículas que corresponden al tamaño nominal de los poros del filtro se retienen a más tardar tras haber pasado varias veces a través del filtro.
- **Porosidad media**
Tamaño promedio de los poros de un filtro según la distribución normal o distribución de Gauss.
- **Valor β**
Comparando la cantidad de partículas superiores a un determinado tamaño que se encuentran en el lado del flujo hacia el filtro con las que se encuentran en el lado de salida del filtro, este valor indica cuántas partículas más se encuentran en el lado de flujo hacia el filtro. $\beta_{50} = 10$ significa que en el lado de flujo hacia el filtro hay diez veces más partículas de tamaño superior a $50 \mu\text{m}$ que en el lado de la salida del filtro.

4.5.1 Filtro de retorno

Los filtros de retorno se montan directamente sobre el depósito de aceite; los filtros funcionales de retorno se montan directamente en el conducto de retorno. El cuerpo y el cartucho filtrante de estos filtros deben soportar picos de presión que pueden ocasionarse cuando se abren válvulas grandes repentinamente, o cuando el flujo continúa directamente hacia el depósito a través de una válvula bypass de respuesta rápida. Es recomendable filtrar la totalidad del flujo de retorno. Si el flujo de retorno no fluye a través de un conducto colector, pueden utilizarse filtros en conductos secundarios para filtrar el flujo parcial. La filtración del flujo de retorno es menos costosa que la filtración de alta presión.

Valores característicos importantes	
Presión de funcionamiento	Considerando la construcción del filtro, máximo 30 bar
Caudal	Hasta 1300 l/min (en caso de filtros para el montaje en el depósito) Hasta 3900 l/min (en caso de filtros grandes para el montaje en los tubos)
Grado de filtración	10 – 25 μm
Presión diferencial Δp admisible	Dependiendo de la construcción del elemento filtrante, hasta aproximadamente 70 bar

Tabla 4.3: filtros del flujo de retorno, valores característicos

Para evitar una paralización de las máquinas durante los trabajos de mantenimiento del sistema de filtración, se utilizan filtros dobles. En ese caso, se trata de dos filtros montados en paralelo. Desviando el flujo hacia uno u otro filtro, es posible retirar el filtro saturado, sin necesidad de desconectar el sistema.

4.5.2 Filtro de aspiración

Este tipo de filtros se instala en el conducto de aspiración de la bomba. De esta manera, el fluido a presión se aspira a través del filtro. Por lo tanto, únicamente aceite filtrado entra en el sistema.

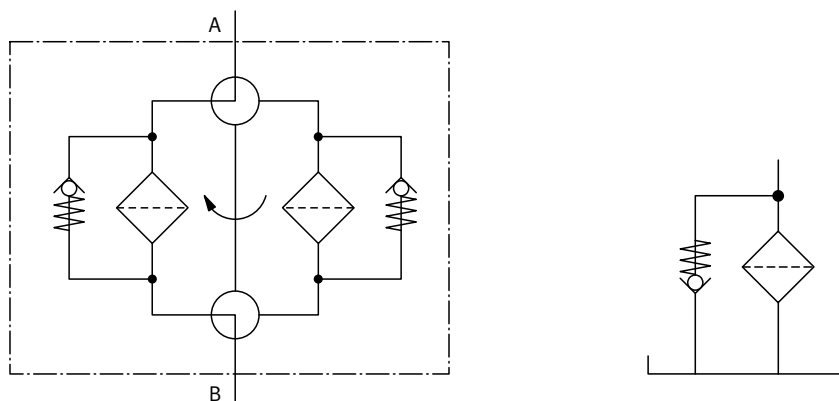


Fig. 4.8: símbolos de filtros. Izq.: filtros conmutables. Der.: filtro de aspiración con bypass

Valores característicos importantes	
Grado de filtración	60 – 100 μm
Presión diferencial Δp admisible	Dependiendo de la construcción del elemento filtrante, hasta aproximadamente 0,1 bar

Tabla 4.4: filtro de aspiración. Valores característicos

Estos filtros se utilizan especialmente en sistemas hidráulicos en los que no se puede garantizar la pureza necesaria del fluido hidráulico contenido en el depósito. Estos filtros únicamente protegen la bomba. Además, dificultan la tarea de aspiración de la bomba debido a la considerable reducción de la presión o al elevado grado de saturación del filtro. Por estas razones, estos filtros no pueden ser finos, ya que de lo contrario la bomba generaría un vacío, lo que a su vez redundaría en cavitación. Para que no surjan problemas durante la aspiración, los filtros de aspiración se combinan con válvulas tipo bypass. Además, es necesario incluir un indicador del grado de saturación del filtro.

4.5.3 Filtro de presión

Estos filtros se montan en el conducto de presión de un sistema hidráulico, justo delante de componentes sensibles a la suciedad. Por ejemplo, en la salida de presión de la bomba, delante de válvulas o de reguladores de caudal.

Considerando que estos filtros están expuestos a la presión de funcionamiento máxima, deben ser muy resistentes. No deberían combinarse con un bypass, aunque sí deberían incluir siempre un indicador del grado de saturación.

Valores característicos importantes	
Presión de funcionamiento	Hasta 420 bar
Caudal	Hasta 300 l/min
Grado de filtración	3 – 5 μm
Presión diferencial Δp admisible	Dependiendo de la construcción del elemento filtrante, hasta 200 bar.

Tabla 4.5: filtro de presión. Valores característicos

4.5.4 Lugar de montaje de los filtros

En un sistema hidráulico, los filtros pueden montarse en diversos lugares. Se distingue entre

- **Filtración en el flujo principal:** filtro en el caudal de retorno, filtro en el caudal de aspiración, filtro en el caudal de presión
- **Filtración en flujos secundarios:** filtración únicamente en una parte del caudal

Los esquemas que constan en la Tabla 4.7 muestran las alternativas para el montaje de los filtros. El lugar de montaje más apropiado de los filtros depende especialmente de la sensibilidad de los componentes que se pretenden proteger, así como del grado de suciedad del fluido a presión y, también de los costes.

Equipos hidráulicos	Principio de filtración	Montaje del filtro en el circuito hidráulico	Grado de filtración nominal [μm]
Bomba de émbolos axiales	Filtro en el caudal principal	Conducto de retorno y/o conducto de presión	≤ 25
		Conducto de baja presión	≤ 25 (10)
Bombas de engranajes, de émbolos radiales	Filtro en el caudal principal	Conducto de retorno	≤ 63
Válvulas distribuidoras, reguladoras de presión, reguladoras de caudal, de cierre	Filtro en caudal parcial (filtro adicional)	Conducto de aspiración	≤ 63
Cilindro de trabajo			
Motores hidráulicos de medianas revoluciones	Filtro en el caudal principal	Conducto de retorno	≤ 25

Tabla 4.6: grados de filtración recomendados

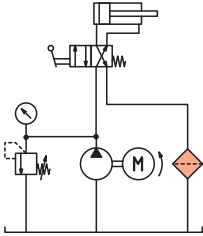
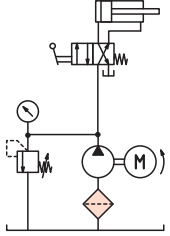
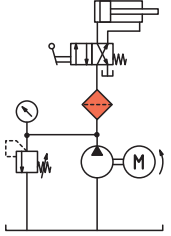
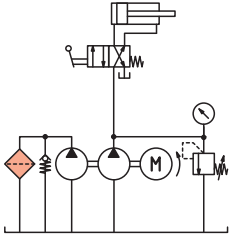
	Filtración en el caudal principal			Filtración en caudal secundario
	Filtro de retorno	Filtro de aspiración	Filtro de presión	
Esquema de distribución				
Ventajas	Precio ventajoso mantenimiento sencillo	Protege la bomba frente a impurezas	En presencia de válvulas sensibles a la suciedad, posibilidad de seleccionar poros más pequeños que en otros filtros.	Filtro pequeño como filtro complementario.
Inconvenientes	Las partículas se retienen después de haber atravesado los componentes.	Difícil acceso. Problemas de aspiración tratándose de filtros de poros pequeños.	Filtros costosos.	Capacidad limitada de retención de partículas de suciedad.
Comentario	Uso muy frecuente.	Uso como filtro grueso delante de la bomba.	Necesidad de contar con un cuerpo resistente a la presión y, además, con un indicador del grado de saturación.	Filtración de únicamente una parte del caudal.

Tabla 4.7: filtración en caudal principal y en caudal secundario

Filtros planos

Estos filtros están compuestos de una capa delgada, por ejemplo de metal, celulosa, tejido de material sintético o, también, de papel. Se trata de filtros desechables. Suelen utilizarse en operaciones de enjuagado o al poner en funcionamiento un equipo por primera vez.

Filtros hondos

Estos filtros pueden ser de fibras o capas comprimidas de material textil, celulosa, material sintético, vidrio o fibras metálicas. También pueden tener un cartucho de metal sinterizado. Teniendo la misma superficie, estos filtros tienen una gran capacidad de retención de partículas de suciedad.

En principio, el material filtrante tiene un pliegue en forma de estrella. De esta manera, la superficie filtrante es muy grande, aunque el filtro sea pequeño.

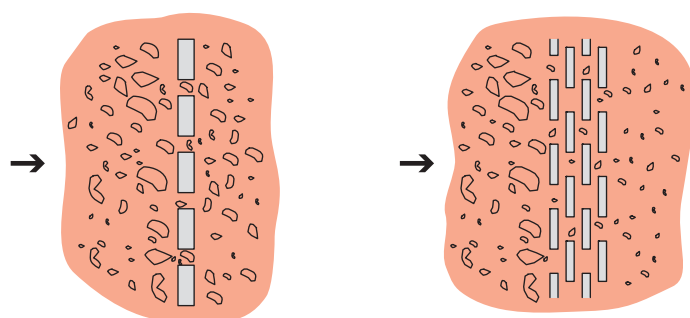


Fig. 4.9: representación esquemática de filtros. Izq.: filtro plano. Der.: filtro hondo

Las características de los filtros y sus posibles aplicaciones dependen del material filtrante, del grado de filtración y del tipo de filtro. En la Tabla 4.6 y la Tabla 4.8 se indican dichas características y aplicaciones.

Cualquier filtro provoca una pérdida de presión. En el caso de los filtros montados el flujo principal, se aplican los siguientes valores de referencia:

Filtro de presión	$\Delta p \sim 1$ hasta 1,5 bar	a temperatura de funcionamiento
Filtro de retorno	$\Delta p \sim 0,5$ bar	a temperatura de funcionamiento
Filtro de aspiración	$\Delta p \sim 0,05$ hasta 0,1 bar	a temperatura de funcionamiento

Material y tipo	Grado de filtración [μm]	Aplicaciones y características
Filtro absoluto $\beta_x = 75$	3, 5, 10, 20	Aseguramiento del funcionamiento y de la duración de componentes sensibles (por ejemplo, válvulas servopilotadas, válvulas proporcionales).
Filtro nominal		
Poliéster Vellón de papel Vellón metálico 4 + 4	1, 5, 10, 20	Aseguramiento del funcionamiento y de la duración de algunos componentes sensibles; mínima resistencia al caudal; buena capacidad de retención de partículas de suciedad.
Tejido de alambre tejido trenzado	25 25, 50, 100	Utilización en caso de fluidos difícilmente inflamables y de agua, mediante la utilización de material filtrante de acero inoxidable; gran resistencia a presión diferencial; gran capacidad de retención de partículas de suciedad; ejecución especial para temperatura de funcionamiento > 120 °C.

Tabla 4.8: criterios de selección de elementos filtrantes (HYDAC)

4.5.5 Filtración en caudal secundario

El volumen de alimentación de la bomba en caudal secundario debería corresponder al 10 por ciento de la capacidad del depósito. Para que las pérdidas de presión sean lo más bajas posible, es necesario que el filtro sea suficientemente grande. La pérdida total de presión depende del grado de filtración, del caudal y de la viscosidad del fluido. El fabricante del cuerpo del filtro y del elemento filtrante indica el factor de viscosidad f y la pérdida de presión Δp . La presión diferencial total del filtro es el resultado de la siguiente ecuación:

$$\Delta p_{\text{total}} = \Delta p_{\text{cuerpo}} + f \cdot \Delta p_{\text{Elemento}}$$

4.5.6 Indicadores de saturación

Es importante poder controlar la eficiencia del filtro mediante un indicador de saturación. El grado de ensuciamiento (la saturación) de un filtro se mide mediante la caída de presión. Al aumentar el grado de saturación, aumenta la presión delante del filtro.

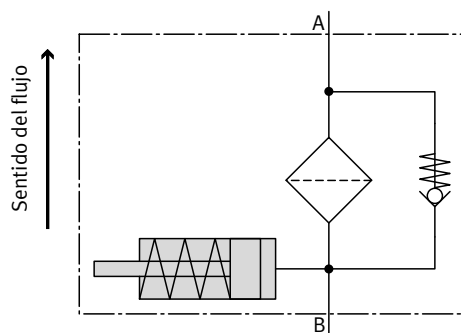


Fig. 4.10: indicador de saturación del filtro

Esta presión actúa sobre un émbolo con muelle. Al aumentar la presión, el émbolo se desplaza en contra de la fuerza del muelle.

Existen diversas posibilidades de indicar el grado de saturación. Por ejemplo, siendo visible directamente el desplazamiento del émbolo. Pero también es posible que este desplazamiento actúe sobre contactos eléctricos, de manera que se obtengan una indicación eléctrica u óptica.

4.5.7 Determinación de la presión diferencial de un filtro de presión

Ejemplo

La tarea consiste en calcular la pérdida total de presión Δp , suponiendo un caudal de 15 l/min. Además se supone que el grado de filtración es de 10 μm y que la viscosidad cinemática $\nu = 30 \text{ mm}^2/\text{s}$. El fabricante (Hydac) ofrece los diagramas que se muestran a continuación.

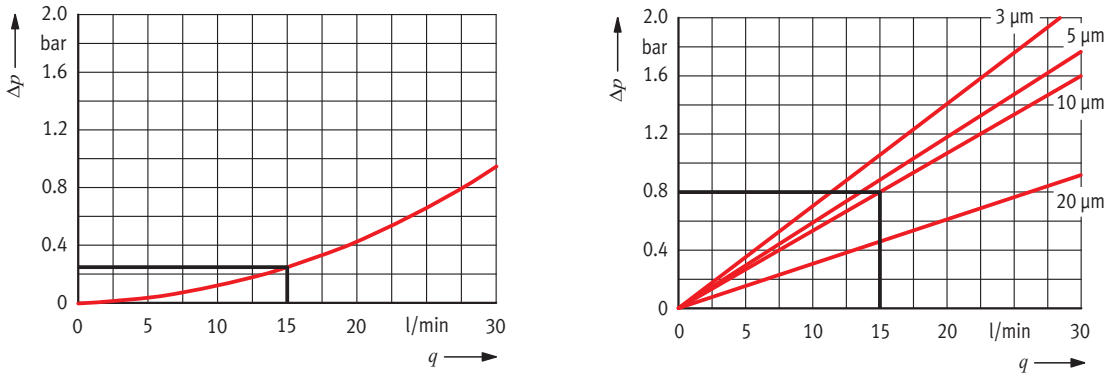


Fig. 4.11: líneas características. Izq.: línea característica del cuerpo. Der.: línea característica del elemento filtrante

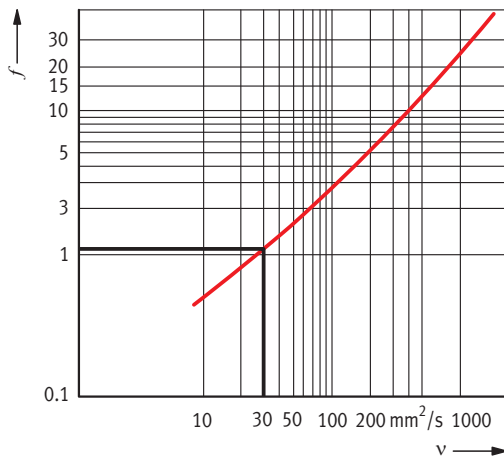


Fig. 4.12: factor de viscosidad f

Recurriendo a estos diagramas, se obtienen los resultados que se indican a continuación, siendo $q = 15 \text{ l/min}$.

$$\Delta p_{\text{Cuerpo}} = 0,25 \text{ bar}$$

$$\Delta p_{\text{Elemento}} = 0,8 \text{ bar}$$

$$f = 1,2$$

Por lo tanto, la diferencia total de presión (pérdida de presión) es:

$$\Delta p_{\text{total}} = 0,25 \text{ bar} + 1,2 \cdot 0,8 \text{ bar} = 1,21 \text{ bar}$$

Considerando que el valor de referencia correspondiente a la pérdida de presión en un filtro de presión es de aproximadamente 1 hasta 1,5 bar, el filtro que se seleccionó mediante el cálculo es el apropiado.

4.6 Unidad de refrigeración

En sistemas hidráulicos se producen pérdidas de energía debido a la fricción que surge cuando el fluido a presión fluye a través de los conductos y los componentes. Por esta razón, se calienta el fluido a presión. Este calor se disipa parcialmente hacia el exterior a través del depósito de aceite, los conductos y los demás componentes.

Es recomendable que la temperatura de funcionamiento no supere los 50 o 60 °C. Si la temperatura es demasiado elevada, disminuye la viscosidad del aceite a niveles inadmisibles y se provoca su envejecimiento prematuro. Además, así también se reduce la duración de las juntas.

Si la capacidad que tiene el sistema por sí mismo de reducir la temperatura del fluido es insuficiente, por lo general se utilizan unidades de refrigeración adicionales, que se activan mediante un termostato y que logran mantener el nivel de temperatura dentro de determinados límites.

Existen diferentes tipos de unidades de refrigeración:

- Refrigerador por aire: posibilidad de reducir la temperatura en hasta 25 °C.
- Refrigerador por agua: posibilidad de reducir la temperatura en hasta 35 °C.
- Refrigeración del aceite mediante agentes refrigerantes provenientes de una máquina frigorífica provista de refrigerador de aire: si es necesario disipar grandes cantidades de calor.

En equipos hidráulicos móviles casi siempre es necesario utilizar una unidad refrigerante, ya que los depósitos son demasiado pequeños y no disipan una cantidad suficiente del calor generado por la pérdida de energía.

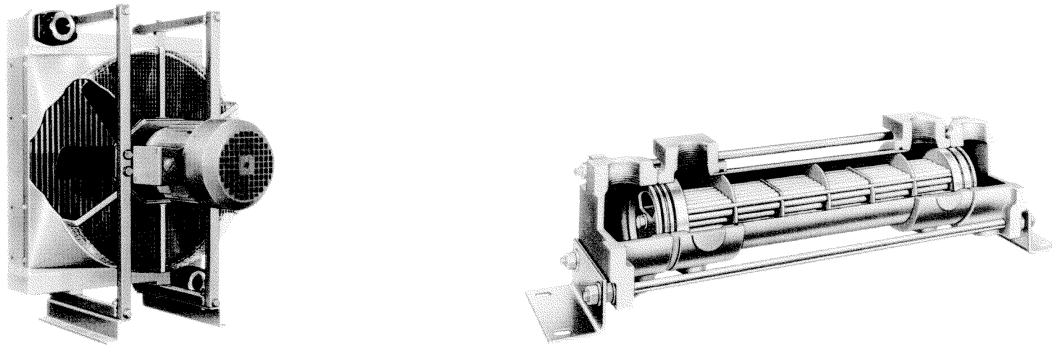


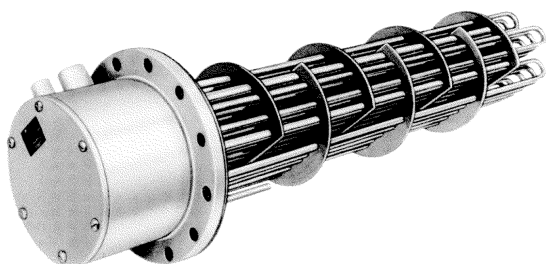
Fig. 4.13: refrigerador por aire (marca Längerer & Reich); refrigerador por agua (marca Längerer & Reich)

	Refrigerador por aire	Refrigerador por agua
Descripción	El fluido a presión proveniente del conducto de retorno fluye a través de un serpentín tubular que, a su vez, es refrigerado con un ventilador.	Tubos con flujo de aceite caliente, alrededor de los que fluye agua refrigerante en el exterior.
Ventajas	Bajos costes de funcionamiento, instalación sencilla.	Posibilidad de disipar mayor calor (causado por pérdidas de energía); ausencia de ruidos molestos.
Desventajas	Ruidos molestos.	Mayor coste de funcionamiento (agente refrigerante), riesgo de ensuciamiento y de corrosión.

Tabla 4.9: comparación entre unidades de refrigeración por aire y por agua

4.7 Calefacción

En numerosas ocasiones es necesario utilizar un sistema de calefacción para obtener rápidamente la temperatura de funcionamiento necesaria. La finalidad consiste en que al poner en funcionamiento el sistema, el fluido a presión alcance lo más rápidamente posible su viscosidad óptima.



Si la viscosidad es demasiado elevada (fluido espeso), se produce un desgaste prematuro debido a la mayor fricción y a la cavitación.

Para calentar o precalentar los fluidos a presión se utilizan **cartuchos calefactores** y **circuitos de precalentamiento**.

Fig. 4.14: cartucho calefactor (marca Längerer & Reich)

Temperaturas apropiadas del fluido a presión:

Equipos estacionarios: 35 hasta 55 °C en el depósito de aceite

Equipos móviles: 45 hasta 65 °C en el depósito de aceite

4.8 Acumulador hidráulico

Los acumuladores hidráulicos reciben y acumulan la energía hidráulica proveniente de la bomba y, a continuación, la entregan sobre demanda. Según la aplicación, las funciones de un acumulador pueden ser las siguientes:

- Compensación de considerables variaciones de la demanda de caudal
 - Unidades consumidoras con demanda diferente de aceite a presión
 - Aumento breve de la demanda de aceite a presión (por ejemplo, máquinas de fundición por inyección)
- Mantenimiento de un nivel de presión constante
 - Compensación de pérdidas debido a fugas
 - Mantenimiento de la presión de fijación durante un tiempo prolongado
- Amortiguación de picos de presión
 - Allanar picos de presión debido al caudal pulsante generado por algunas bombas hidráulicas
 - Compensar picos de presión ocasionados por válvulas de respuesta rápida
- Fuente de energía para un funcionamiento sin vibraciones
 - Para el mecanizado fino de piezas
- Fuente de energía para el funcionamiento en modo de emergencia en caso de un corte de energía
 - Finalizar un ciclo de trabajo
 - Cerrar o abrir compuertas
 - Activar frenos o abrir o cerrar puertas en casos de emergencia

4.8.1 Construcción y funcionamiento

Los líquidos casi no se pueden comprimir y, por lo tanto, no pueden aprovecharse para acumular energía. El fluido a presión contenido en un acumulador hidráulico se somete a una carga mediante pesos, muelles o colchones de gas. En la mayoría de los equipos hidráulicos se utilizan acumuladores hidroneumáticos con elemento de separación. Los elementos de separación pueden ser los siguientes:

- Émbolos
- Membranas
- Vejigas

El gas utilizado suele ser nitrógeno u otro gas apropiado (según norma EN 982). Las bombonas de nitrógeno son de color gris para identificarlas debidamente. En la bombona de gas consta grabada la fecha de control.

Importante

Bajo ninguna circunstancia deberá utilizarse oxígeno o aire, ya que estos gases podrían provocar una explosión.

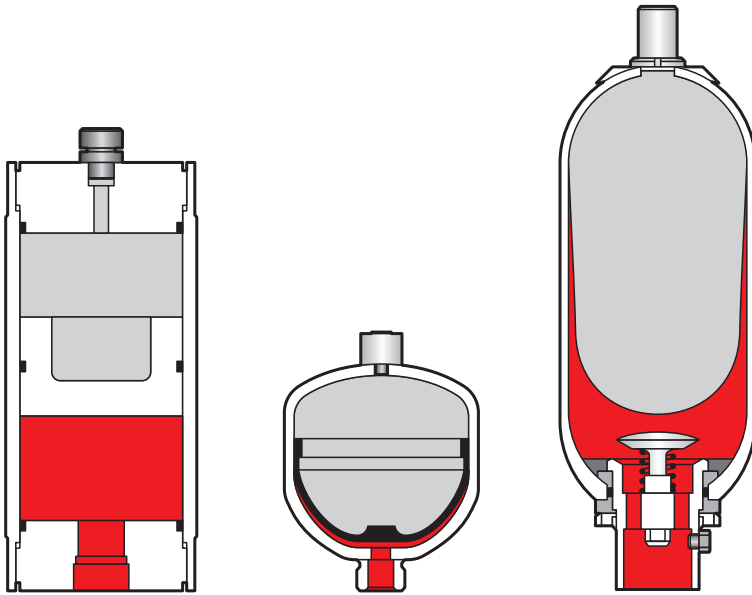


Fig. 4.15: acumulador de émbolo, acumulador de diafragma y acumulador de vejiga (vistas en corte)

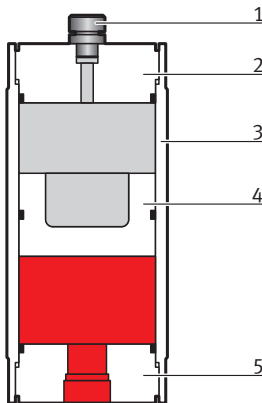
Con el fin de describir el funcionamiento de un acumulador hidráulico, se distingue entre cuatro valores de presión diferentes:

- **Presión de transporte p_T**
Presión en el gas durante el transporte del acumulador hidráulico. Esta presión suele ser de 10 bar, con el fin de evitar el rozamiento del elemento separador.
- **Presión de gas de precarga p_0**
Si el acumulador únicamente contiene gas (es decir, si no contiene fluido a presión), la presión se llama presión de gas de precarga. Esta presión debería ser más o menos un 10 por ciento menor que la presión de funcionamiento mínima. El depósito debería contener una cantidad mínima de aceite, para evitar golpes en el elemento separador.
- **Presión mínima de funcionamiento p_1**
Se trata de la presión mínima existente en el equipo hidráulico. Este valor se determina mediante cálculo o, también, empíricamente.
- **Presión máxima de funcionamiento p_2**
Esta presión se regula con la válvula limitadora de presión o se determina mediante cálculo.

Tratándose de depósitos de diafragma o de vejiga, es inevitable que se produzca una mínima pérdida de gas a través del diafragma o de la vejiga. Por esta razón debe revisarse regularmente la presión de precarga del gas y, en caso necesario, rellenar gas.

4.8.2 Acumulador de émbolo

Construcción



Valores característicos típicos

- Volumen: desde 0,2 hasta 650 l
- Posibilidad de comprobar la posición del émbolo
- Émbolo sustituible
- Relación máxima admisible de presión:

$$\frac{p_2}{p_0} : \text{sin limitación}$$

Fig. 4.16: acumulador de émbolo, vista en corte;

1 Válvula de gas 2 Tapa del lado del gas 3 Camisa del cilindro
4 Émbolo flotante 5 Tapa del lado del aceite

Función

En el acumulador de émbolo, el émbolo separa el lado que contiene el gas del lado que contiene el líquido. Si se alimenta líquido a presión en el acumulador, disminuye el volumen de gas y por lo tanto aumenta la presión. El émbolo se desplaza hasta que se produce un equilibrio de fuerzas entre el lado del gas y el lado del líquido. Si baja la presión del fluido proveniente de la bomba principal, se expande el gas, desplazando al líquido contenido en la cámara opuesta.

Aplicación

Los acumuladores de émbolo utilizados en la práctica se distinguen por tener un gran volumen nominal, aprovechable rápidamente. Estos acumuladores se utilizan, por ejemplo, en máquinas de fundición inyectada, en las que es necesario disponer de grandes volúmenes. La ventaja de un acumulador de émbolo consiste en que es posible aprovechar toda la longitud de aparato, ya que se dispone de todo el volumen para el líquido sometido a presión.

4.8.3 Acumulador de diafragma

Construcción

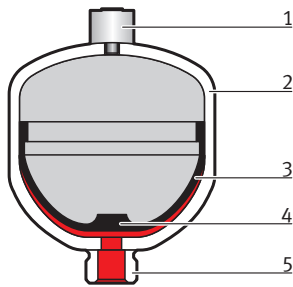


Fig. 4.17: acumulador de diafragma, vista en corte;
1 Válvula de gas 2 Acumulador 3 Diafragma 4 Plato de la
válvula 5 Cuerpo de la válvula con conexión del fluido

Valores característicos típicos

- Volumen: desde 0,1 hasta 10 l
- Sin posibilidad de observar el contenido.
- Si el acumulador está atornillado, es posible sustituir el diafragma.
- Relación máxima admisible de presión
 $\frac{p_2}{p_0}$: desde 4:1 hasta 8:1

Los acumuladores de diafragma pueden estar atornillados o soldados. El plato de la válvula evita que el diafragma se dañe por los cantos de la conexión. El material del diafragma se selecciona en función del fluido a presión y de la temperatura de funcionamiento.

Función

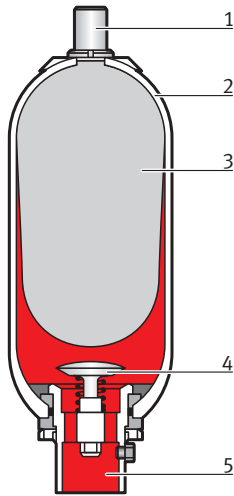
Mientras se alimenta líquido a presión en el acumulador, disminuye el volumen de gas y por lo tanto aumenta la presión. En estas condiciones se deforma el diafragma que separa el gas del líquido, hasta que se produce un equilibrio de presión. Si cae la presión del fluido proveniente de la bomba principal, el gas actúa sobre el diafragma, por lo que se descarga el líquido contenido en el acumulador.

Aplicación

Los acumuladores de diafragma tienen un elevado grado de eficiencia, gracias al diafragma separador de material elástico. Estos acumuladores funcionan casi sin inercia, ya que no se producen pérdidas por fricción y, además, porque las cámaras de gas y de líquido están completamente separadas entre sí. Un acumulador de diafragma puede montarse en posiciones indistintas.

4.8.4 Acumulador de vejiga

Construcción



Valores característicos típicos

- Volumen: desde 1 hasta 50 l
- Vejiga sustituible
- Sin posibilidad de observar el contenido.
- Relación máxima admisible de presión

$$\frac{p_2}{p_0} : 4:1$$

La válvula de antirretorno evita que se dañe la vejiga cuando está completamente inflada.

Fig. 4.18: acumulador de vejiga, vista en corte.

1 Válvula de gas 2 Acumulador 3 Vejiga flexible 4 Válvula antirretorno 5 Conexión del fluido

Función

Mientras se alimenta líquido a presión en el acumulador, disminuye el volumen de gas y por lo tanto aumenta la presión. En estas condiciones se deforma la vejiga que contiene el gas, hasta que se produce un equilibrio de presión. Si cae la presión del fluido proveniente de la bomba principal, la vejiga se expande, por lo que se descarga el líquido contenido en el acumulador.

Aplicación

Los acumuladores de vejiga tienen un elevado grado de eficiencia, gracias a la elasticidad del material de la vejiga. Estos acumuladores funcionan casi sin inercia, ya que no se producen pérdidas por fricción y, además, porque las cámaras de gas y de líquido están completamente separadas entre sí. Los acumuladores de vejiga se instalan preferentemente en posición vertical. La válvula de escape de fluido se encuentra en la parte inferior.

4.8.5 Normas de seguridad

Bajo ninguna circunstancia se permite efectuar trabajos de soldadura o taladrado en un acumulador hidráulico.

Control a cargo de expertos y personal oficialmente autorizado

Los acumuladores hidráulicos son depósitos que están sometidos a presión, y como tales están sujetos a las normas de prevención de accidentes. En Alemania tiene validez el reglamento de depósitos de presión, publicado con disposición legal en el año 1980 y modificada el 1 de mayo de 1989. En cada país se aplicará el reglamento correspondiente. El reglamento alemán equivale al reglamento válido en la UE.

Los depósitos de presión (acumuladores) se clasifican en grupos según la presión de funcionamiento máxima admisible p en bar, el volumen del acumulador l en litros y el producto de la multiplicación entre presión y volumen $p \cdot l$. Si un sistema cuenta con varios acumuladores de presión, deberá determinarse por separado el producto de cada uno de ellos.

Grupo	Control antes de la puesta en funcionamiento		Controles regulares
	en la planta del fabricante	en el lugar de utilización	
II $p > 25 \text{ bar}$ $p \cdot l \leq 200$	Control y certificación que confirma que el acumulador se fabricó de acuerdo con el reglamento vigente y que cumple con los requisitos exigidos tras haberse efectuado una prueba de presión.	El experto realiza un control de aprobación del acumulador y certifica que el acumulador cumple los requisitos previstos.	Un experto deberá controlar regularmente este tipo de acumuladores, y los intervalos se definen por el usuario según valores empíricos relacionados con el funcionamiento y la utilización del acumulador.
III $p > 1 \text{ bar}$ $200 < p \cdot l \leq 1000$	Control previo por un experto reconocido oficialmente . Control y certificación que confirma que el acumulador se fabricó de acuerdo con el reglamento vigente y que cumple con los requisitos exigidos tras haberse efectuado una prueba de presión.	El experto reconocido oficialmente realiza el control de recepción del acumulador, y certifica que cumple los requisitos previstos y que se encuentra en perfecto estado.	Igual que en el caso del grupo II.

Tabla 4.10: clasificación de acumuladores según grupos de control (extracto)

4.8.6 Sistemas de seguridad

Equipamiento obligatorio:

- Válvula limitadora de presión. Estas válvulas se controlan y precintan al término del proceso de producción en la planta del fabricante. El envío del acumulador incluye un certificado en el que consta el ajuste de presión indicado.
- Llave de cierre para la conexión de presión.
- Llave de escape en la conexión del depósito.
- Conexión del manómetro

Estos cuatro requisitos son requisitos mínimos obligatorios. El fabricante puede prever más componentes, según el tipo de aplicación de sus productos.

Informaciones obligatorias visibles en el acumulador:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| • Fecha de fabricación (mes/año) | • Volumen expresado en litros |
| • Número de serie | • Margen de temperatura admisible |

Todos los acumuladores a partir de grupo II deben estar equipados con un bloque acumulador de seguridad.

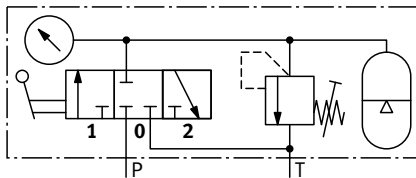


Fig. 4.19: acumulador de diafragma con bloque de seguridad. Símbolo esquemático.

5 Actuadores

5.1 Cilindro hidráulico

El cilindro hidráulico convierte energía hidráulica en energía mecánica. Un cilindro ejecuta movimientos lineales. Por esta razón también se denomina motor lineal.

Se distingue entre dos tipos básicos de cilindros hidráulicos:

- Cilindros de simple efecto
- Cilindros de doble efecto

5.1.1 Cilindros de simple efecto

En un cilindro de simple efecto únicamente puede aplicarse presión hidráulica en una de las superficies del émbolo. Por esta razón, el cilindro únicamente puede realizar trabajo **en un sentido**.

Función

El líquido sometido a presión fluye hacia la cámara del cilindro del lado del émbolo. En el lado del émbolo se genera una presión debido a la contrafuerza (carga debido al peso). Cuando se supera esa contrafuerza, el émbolo avanza hacia la posición final delantera.

Al retroceder, la cámara del lado del émbolo está unida al depósito a través del conducto y la válvula distribuidora, mientras que el conducto sometido a presión está cerrado mediante la válvula distribuidora. El émbolo retrocede por su propio peso, por efecto de la fuerza de un muelle o por la fuerza que aplica un peso. Estas fuerzas deben superar las fuerzas de fricción dentro del cilindro, en los conductos y en las válvulas, desplazando el fluido a presión hacia el conducto de salida.

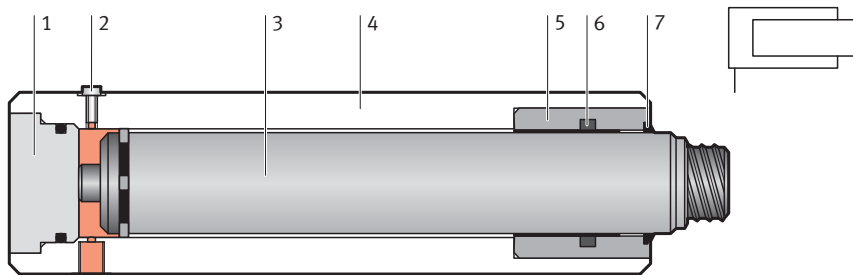
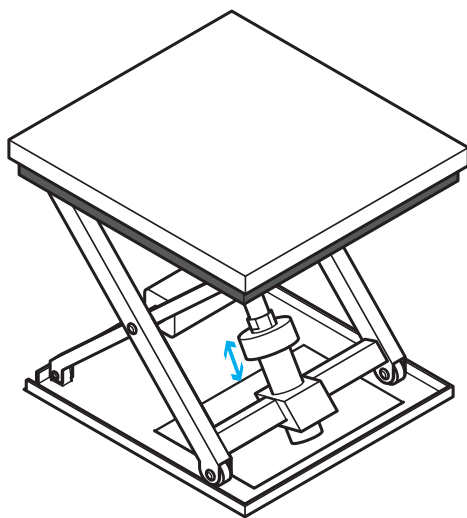


Fig. 5.1: cilindro hidráulico de simple efecto (cilindro de émbolo). Vista en corte y símbolo. 1 Base del cilindro 2 Tornillo de purga de aire 3 Vástago 4 Camisa del cilindro 5 Guía del vástago 6 Junta del vástago 7 Rascador de partículas de suciedad

Los cilindros de émbolo buzo y los cilindros telescópicos son tipos específicos de cilindros. Los cilindros de simple efecto se llaman de émbolo buzo si el émbolo y el vástago forman una misma pieza. Con cilindros telescópicos es posible obtener carreras más largas.

Posibles aplicaciones

Los cilindros de simple efecto se utilizan en aplicaciones que exigen un trabajo hidráulico únicamente en un sentido de movimiento. Por ejemplo, para elevar, sujetar o descender piezas, así como en aplicaciones como elevadores hidráulicos y plataformas elevadoras.



Criterios a tener en cuenta al instalar cilindros de simple efecto:

- **Montaje vertical:**
si el retroceso del émbolo se consigue mediante la aplicación de fuerzas externas.
- **Montaje horizontal:**
en el caso de cilindros de simple efecto con reposición por muelle.

En el caso de prensas hidráulicas grandes, el retroceso está a cargo de cilindros de recuperación.

Fig. 5.2: ejemplo de aplicación, plataforma elevadora tipo tijera

5.1.2 Cilindros de doble efecto

En un cilindro de doble efecto puede aplicarse presión hidráulica en ambas superficies del émbolo. Por esta razón es posible realizar trabajo en **ambos sentidos**.

Función

El fluido a presión fluye hacia la cámara del lado del émbolo y actúa sobre la superficie A del émbolo. Se genera una presión debido a las resistencias internas y externas. Considerando que $F = p \cdot A$, se obtiene una fuerza F a partir de la presión p y la superficie del émbolo A . De este modo se superan las resistencias y el vástago avanza. Ello es posible gracias a la conversión de energía hidráulica en energía mecánica, que se pone a disposición de la unidad consumidora.

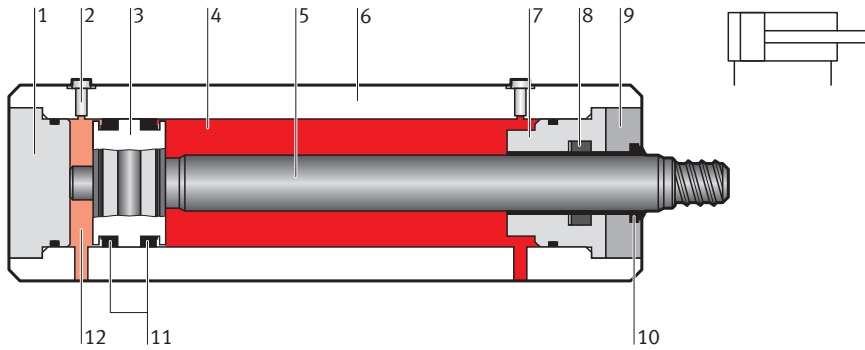


Fig. 5.3: cilindro hidráulico de doble efecto. Vista en corte y símbolo. 1 Base del cilindro 2 Tornillo de purga de aire 3 Émbolo 4 Cámara del lado del vástago 5 Vástago 6 Camisa del cilindro 7 Guía del vástago 8 Junta del vástago 9 Culata del cilindro 10 Rascador de partículas de suciedad 11 Junta del émbolo 12 Cámara del lado del émbolo

Al avanzar el émbolo debe tenerse en cuenta que el aceite que se encuentra en la cámara del lado del vástago debe salir hacia el depósito a través de los conductos correspondientes. Cuando el cilindro retrocede, el líquido sometido a presión entra en la cámara del lado del vástago. El vástago retrocede y el aceite sometido a presión es descargado de la cámara del lado del émbolo.

En el caso de cilindros de doble efecto con vástago en un solo lado, varían las fuerzas ($F = p \cdot A$) y las velocidades al avanzar y retroceder, siendo igual el caudal. Esto se explica por la diferencia entre las superficies (superficie total del émbolo y superficie reducida del émbolo en el lado del vástago).

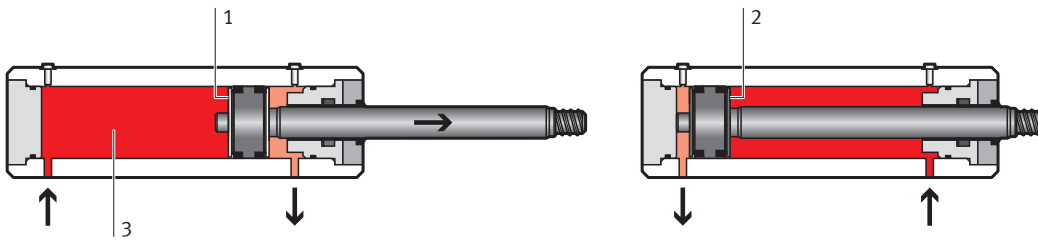


Fig. 5.4: cilindro de doble efecto. 1 Superficie del émbolo 2 Superficie del émbolo en el lado del vástago 3 Cámara del lado del émbolo

La velocidad de retroceso es mayor porque si bien el caudal es el mismo, el volumen a llenar es menor que en el caso del movimiento de avance.

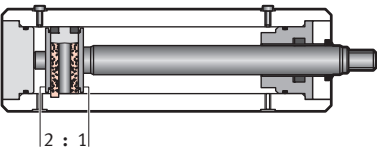

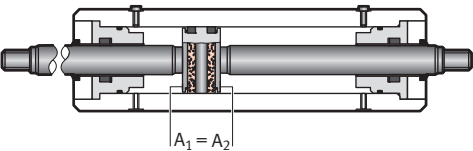
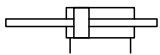
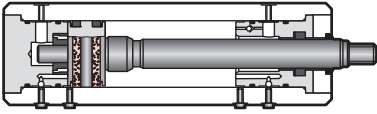

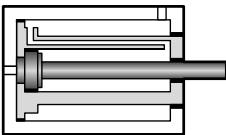
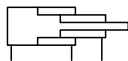
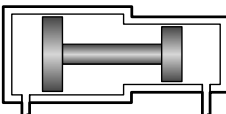

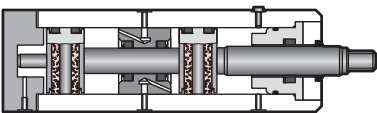

Denominación	Descripción	Vista en corte	Símbolo
Cilindro diferencial	Relación de superficies de 2:1 (superficie en el lado del émbolo / superficie en el lado del vástago) La velocidad del retroceso del émbolo duplica la velocidad de avance.		
Cilindro simétrico	Relación de superficies de 1:1. Las velocidades de avance y de retroceso son iguales.		
Cilindro con amortiguación en los finales de carrera	Para frenar el movimiento con grandes masas, con el fin de evitar el impacto.		
Cilindro telescópico	Carreras más largas.		
Cilindro multiplicador de presión	Para aumentar la presión.		
Cilindro tándem	En aplicaciones que exigen grandes fuerzas pero que únicamente ofrecen espacio para el montaje de cilindros pequeños.		

Tabla 5.1: cilindros hidráulicos de doble efecto. Tipos de cilindros.

Los movimientos que ejecutan los cilindros hidráulicos se aprovechan en las siguientes aplicaciones:

- **Máquinas herramienta**
Movimientos de avance de herramientas y de piezas; sistemas de fijación de piezas; movimientos de corte ejecutados por cepillos, punzones; movimientos de prensas; movimientos de fundición a presión y de fundición por inyección, etc.
- **Equipos de transporte y de elevación**
Movimientos basculantes, elevadores y giratorios de volquetes, carretillas elevadoras, etc.
- **Equipos móviles**
Excavadoras, palas mecánicas, tractores, elevadores, camiones mezcladores de hormigón.
- **Aeroplanos**
Movimientos elevadores, basculantes y giratorios de trenes de aterrizaje, elementos hipersustentadores (flaps y slats), etc.
- **Barcos**
Movimientos de timón, regulación del ángulo de la hélice.

5.1.3 Amortiguación en las posiciones finales

Los cilindros con amortiguación en las posiciones finales se utilizan si es necesario frenar movimientos muy veloces. Los amortiguadores evitan un impacto duro en los finales de carrera.

Si las velocidades son de $v < 0,1$ m/s, puede prescindirse de amortiguadores. Si las velocidades son de $v \geq 0,1$ hasta 0,3 m/s, es necesario utilizar un sistema de amortiguación con válvulas reguladoras de caudal o válvulas de freno. Con velocidades $v > 0,3$ m/s deben aplicarse medidas de amortiguación o frenado especiales.

Cuando el émbolo regresa a su posición final trasera, la sección por la que el fluido a presión sale de la cámara del émbolo se va empequeñeciendo a partir de determinado punto debido al pivote amortiguador, hasta que se termina cerrando completamente. Entonces, el fluido a presión debe salir a través de una válvula reguladora de caudal (ver Fig. 5.5). De esta manera disminuye la velocidad del émbolo, evitándose así posibles daños. Al avanzar, el aceite fluye libremente a través de la válvula de antirretorno, por lo que se evita el punto de estrangulación.

Si el cilindro tiene una amortiguación en los finales de carrera, deberá utilizarse una válvula limitadora de presión (división de flujo).

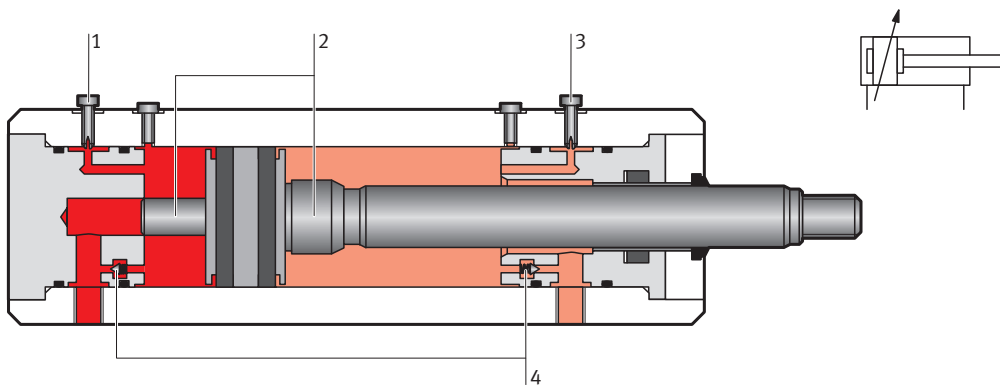


Fig. 5.5: cilindro de doble efecto con amortiguación. Vista en corte. 1 Tornillo de estrangulación 2 Pivote amortiguador 3 Tornillo de estrangulación 4 Válvulas de antirretorno

5.1.4 Juntas

La función de las juntas consiste en evitar fugas de aceite en los componentes de un sistema hidráulico. Considerando que las fugas provocan pérdidas de presión, las juntas tienen una gran importancia en relación con el rendimiento de un sistema hidráulico.

En términos generales se distingue entre **juntas estáticas** montadas entre piezas inmóviles y **juntas dinámicas** montadas entre piezas móviles.

- **Juntas estáticas**
 - Juntas tóricas para el cuerpo del cilindro
 - Juntas planas para la tapa del depósito de aceite
- **Juntas dinámicas**
 - Juntas de émbolo y de vástago
 - Juntas de ejes en sistemas giratorios

La velocidad máxima recomendada de un émbolo es de aproximadamente 0,2 m/s. Esta velocidad depende del material de la junta y del tipo de junta, pero también de las condiciones de utilización y de funcionamiento. Si es necesario disponer de velocidades extremadamente bajas y/o de mínimas fuerzas de arranque, deben utilizarse materiales y tipos de juntas especiales y, además es necesario que los cilindros tengan una superficie mejorada.

Dependiendo de las exigencias (presión, temperatura, velocidad, diámetro, aceite, agua) que se planteen frente a los cilindros, se utilizan las juntas que se pueden apreciar en la Tabla 5.2.

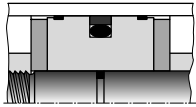
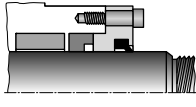
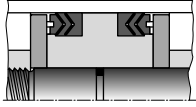
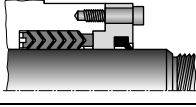
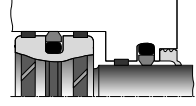
Juntas del émbolo		Juntas del vástago	
Junta de anillo deslizante, para bajas velocidades del émbolo. Con baja presión. De tres partes: aro de presión, junta anular, anillo de apoyo		Junta de anillo deslizante con anillo rascador.	
Junta tipo retén para el funcionamiento robusto. De tres partes: aro de presión, junta anular, anillo de apoyo		Junta tipo retén con anillo rascador, ajustable.	
		Elemento hermetizante de PTF, para altas velocidades y alta presión. Fuerza de apriete mediante junta tórica.	

Tabla 5.2: juntas de cilindros

5.1.5 Tipos de montaje

Los cilindros pueden montarse de diversas maneras, dependiendo de la aplicación. En la Tabla 5.3 se muestran algunas formas de fijación.

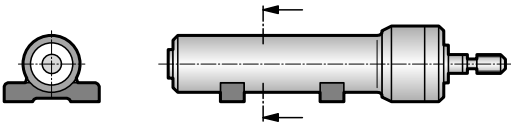

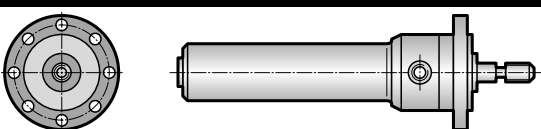
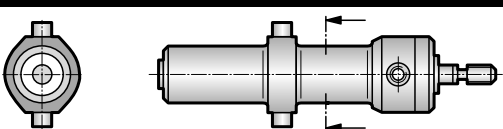
Fijación por pies	Ejecución giratoria
	
Brida de fijación	Fijación basculante con pivote
	

Tabla 5.3: tipos de fijación

5.1.6 Escape

Para que el émbolo ejecute movimientos sin tirones ni vibraciones, es necesario que el sistema hidráulico cuente con un escape de aire. Es decir, es necesario eliminar el aire contenido y arrastrado en los tubos. Considerando que el aire contenido en un sistema cerrado siempre se acumula en el punto más elevado del sistema, debe instalarse precisamente allí un **tornillo de escape de aire** denominado también purga, o bien una **válvula de escape de aire**.

Los cilindros hidráulicos incluyen desde fábrica tornillos de escape de aire en ambos extremos. Estas conexiones también pueden aprovecharse para conectar manómetros.

5.1.7 Datos característicos

Para elegir un cilindro, debe conocerse la carga F . La presión p necesaria se elige según la aplicación.

Conociendo estos valores, puede calcularse el diámetro necesario del émbolo. Al hacerlo, debe tenerse en cuenta el rendimiento hidráulico-mecánico η_{hm} . Este rendimiento depende de la rugosidad de la camisa del cilindro y del vástago, así como del tipo de juntas. En la medida en que aumenta la presión, mejora el rendimiento. El rendimiento se halla generalmente entre 0,85 y 0,95.

El diámetro del émbolo d se obtiene de $F = p \cdot A \cdot \eta_{hm}$ siendo $A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ y, por lo tanto, siendo

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{p \cdot \eta_{hm} \cdot \pi}}.$$

El rendimiento volumétrico η_{vol} tiene en cuenta las pérdidas por fugas en la junta del émbolo. Si la junta está intacta, el rendimiento es igual a 1 ($\eta_{vol} = 1,0$), por lo que no es necesario considerarlo.

Los diámetros interiores de los cilindros, los diámetros de los vástagos y las presiones nominales están definidos en la norma ISO 3320/3322. Además, en las normas también se determina la combinación preferente de las superficies (relación ϕ) de lado del émbolo A_K y del lado del vástago A_{KR} .

Diámetro interior del cilindro												
	12	16	20		25		32		40	50	63	80
100	125	160	200	220	250	280	320	360	400			

Diámetro del vástago																			
8	10		12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	63	70	80	90
	100	110	112	140	160	180	200	220	250	280	320	360							

Presiones nominales										
25	40	63	100	160	200	250	315	400	500	630

Tabla 5.4: diámetros interiores de cilindros, diámetros de émbolos y presiones nominales, según ISO 3320/3322

Deberán preferirse los valores de presión nominal que aparecen en negritas. Los valores preferentes de las carreras del émbolo se indican en la norma DIN ISO 4393, y los valores preferentes de la rosca del vástago constan en la norma DIN ISO 4395.

En la Tabla 5.5 se indica la superficie A_K correspondiente al diámetro interior del cilindro d_K , así como la superficie del lado del vástago A_{KR} (no confundir con la superficie del vástago A_{ST}) correspondiente al diámetro del vástago d_{ST} , considerando la relación ϕ de las superficies.

$$\phi = \frac{A_K}{A_{KR}}, \quad A_{KR} = A_K - A_{ST}$$

Tabla según relación de superficies φ										
Valores nominales de φ	d_k	25	32	40	50	60	63	80	100	125
	$A_{KR} [cm^2]$	4,91	8,04	12,60	19,60	28,30	31,20	50,30	78,50	123
1,25	d_{ST}	12	14	18	22	25	28	36	45	56
	$A_{KR} [cm^2]$	3,78	6,50	10,00	15,80	23,40	25,00	40,10	62,20	98,10
	Valor real φ	1,30	1,24	1,25	1,24	1,21	1,25	1,25	1,26	1,25
1,4	d_{ST}	14	18	22	28	32	36	45	56	70
	$A_{KR} [cm^2]$	3,37	5,50	8,77	13,50	20,20	21	34,40	54	84,20
	Valor real φ	1,46	1,46	1,44	1,45	1,39	1,49	1,46	1,45	1,46
1,6	d_{ST}	16	20	25	32	36	40	50	63	80
	$A_{KR} [cm^2]$	2,90	4,90	7,66	11,60	18,20	18,60	30,60	47,70	72,40
	Valor real φ	1,69	1,64	1,64	1,69	1,55	1,68	1,64	1,66	1,69
2	d_{ST}	18	22	28	36	40	45	56	70	90
	$A_{KR} [cm^2]$	2,36	4,24	6,41	9,46	15,70	15,30	25,60	40,00	59,10
	Valor real φ	2,08	1,90	1,96	2,08	1,80	2,04	1,96	1,96	2,08
2,5	d_{ST}	20	25	32	40	45	50	63	80	100
	$A_{KR} [cm^2]$	1,77	3,13	4,52	7,07	12,30	11,50	19,10	28,40	44,20
	Valor real φ	2,78	2,57	2,78	2,78	2,30	2,70	2,64	2,78	2,78
5	d_{ST}	–	–	–	45	55	56	70	90	110
	$A_{KR} [cm^2]$	–	–	–	3,73	4,54	6,54	11,80	14,90	27,70
	Valor real φ	–	–	–	5,26	6,20	4,77	4,27	5,26	4,43

Tabla 5.5: tabla de la relación de superficies φ (extracto de la norma ISO 3320)

5.1.8 Resistencia al pandeo

Al determinar el diámetro del vástago y la carrera, deberá tenerse en cuenta la resistencia al pandeo según Euler. Los fabricantes ofrecen tablas con los correspondientes valores. Al realizar el montaje del cilindro deberán evitarse deformaciones por tensiones. Además, el sentido de la fuerza debe coincidir con la orientación del cilindro.

La longitud forzada a pandeo l_k depende de la carga.

La fuerza de pandeo admisible $F_{K\text{-admisible}}$, correspondiente a la carga que aplica presión, puede calcularse recurriendo a la siguiente fórmula:

$$F_{K\text{-admisible}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_K^2 \cdot v}$$

E Módulo de elasticidad [$\frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$] (para acero = $2,1 \cdot 10^6$), I Momento de área [cm^4],

l_K Longitud libre forzada a pandeo [cm], v Factor de seguridad desde 2,5 hasta 3,5

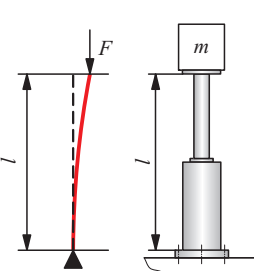
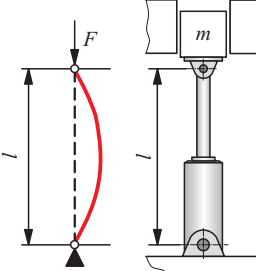
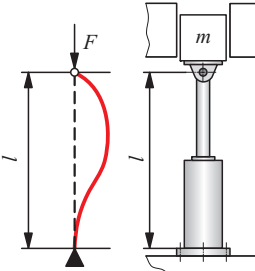
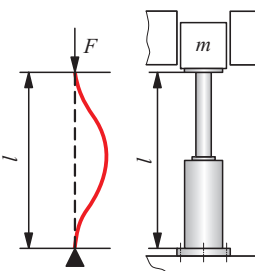
Caso 1	Caso 2 (básico)	Caso 3	Caso 4
Un extremo libre, un extremo empotrado	Dos extremos articulados	Un extremo articulado, un extremo empotrado	Dos extremos empotrados
			
$l_K = 2l$	$l_K = l$	$l_K = l \cdot \sqrt{\frac{1}{2}}$	$l_K = \frac{l}{2}$

Tabla 5.6: longitud de pandeo según Euler, en función de la forma de fijación

Los cilindros únicamente deberán soportar esfuerzos de tracción y compresión. Las fuerzas transversales deben compensarse mediante guías. El tipo de montaje y de fijación determina la longitud de pandeo según Euler.

La longitud l se calcula a partir de la superficie de atornillamiento de la brida o de otro sistema de apoyo fijo (brida basculante con pivote, etc.). Si la brida o el pivote se encuentran en la culata, la longitud l deberá calcularse a partir de ese punto.

En la medida de lo posible, deberán evitarse los casos de montaje 3 y 4. En estos casos el guiado de la carga no es preciso, por lo que es posible que se produzcan deformaciones por tensiones.

5.1.9 Selección de un cilindro

Ejemplo: sistema elevador

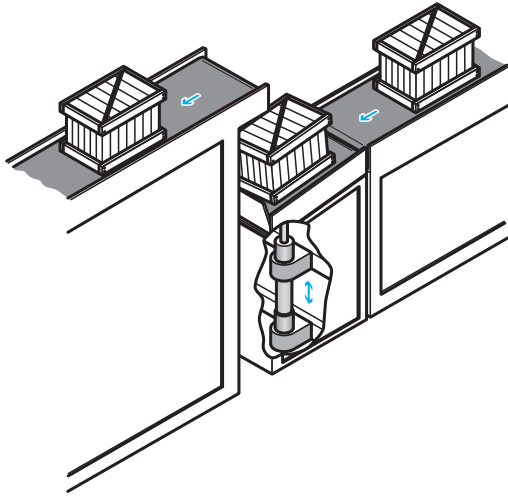


Fig. 5.6: sistema elevador

Un cilindro diferencial con diámetro de émbolo $d_K = 63 \text{ mm}$ y relación de superficies ϕ de 2:1 se utiliza para elevar 40 kN 500 mm en 5 s .

Recurriendo a la Tabla 5.5, determine el diámetro del vástago d_{ST} correspondiente a este diámetro d_K del émbolo. Conociendo el diámetro del vástago d_{ST} , recurra al diagrama de resistencia al pandeo (página siguiente) para determinar la carrera máxima.

Recurriendo a la Tabla 5.5 se puede leer el diámetro del vástago de $d_{ST} = 45 \text{ mm}$, correspondiente a la relación ϕ de las superficies de 2:1.

En el diagrama de resistencia al pandeo (Fig. 5.7) se aprecia que considerando 40 kN y un diámetro del vástago $d_{ST} = 45 \text{ mm}$, la carrera máxima es de 1440 mm . Si en esta tarea no se hubiera definido una relación entre las superficies de 2:1, d_{ST} podría ser menor.

Considerando sus características geométricas, el cilindro es apropiado para esta aplicación de elevación.

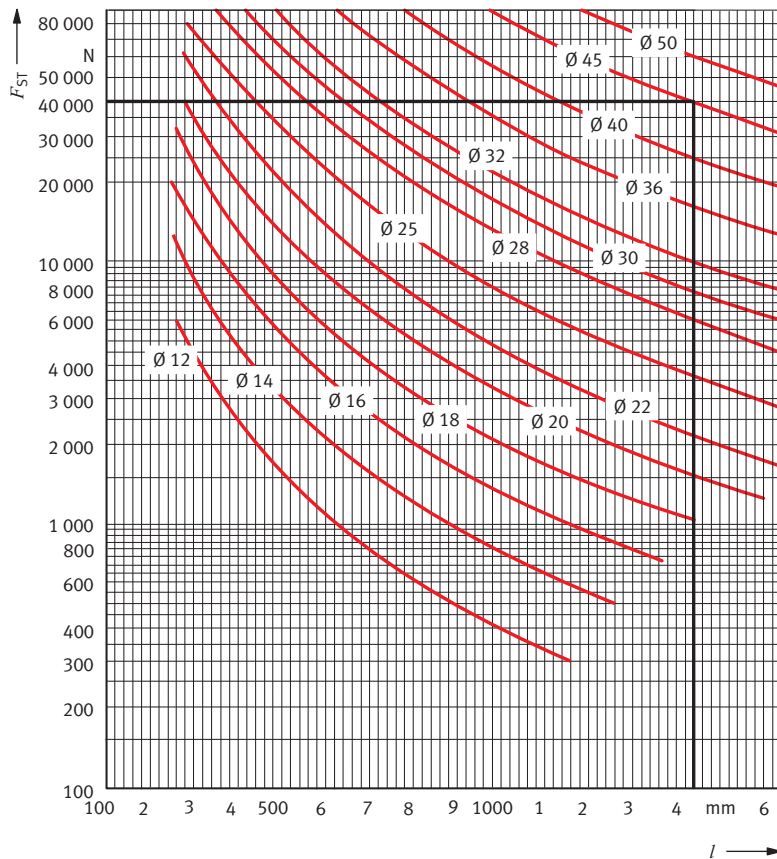


Fig. 5.7: diagrama de resistencia al pandeo. En el cálculo se consideró el factor de seguridad v .

5.2 Motores hidráulicos

Los motores hidráulicos convierten la energía hidráulica en energía mecánica y generan movimientos giratorios (actuadores giratorios). Si el giro se produce dentro de los márgenes establecidos por un ángulo determinado, se trata de motores oscilantes.

Los motores hidráulicos suelen tener la misma construcción que las bombas hidráulicas. Clasificación:

- **Motores constantes**
Capacidad de absorción (desplazamiento geométrico) constante
- **Motores regulables**
Capacidad de absorción (desplazamiento geométrico) regulable

Cada uno de estos tipos básicos incluye varias versiones

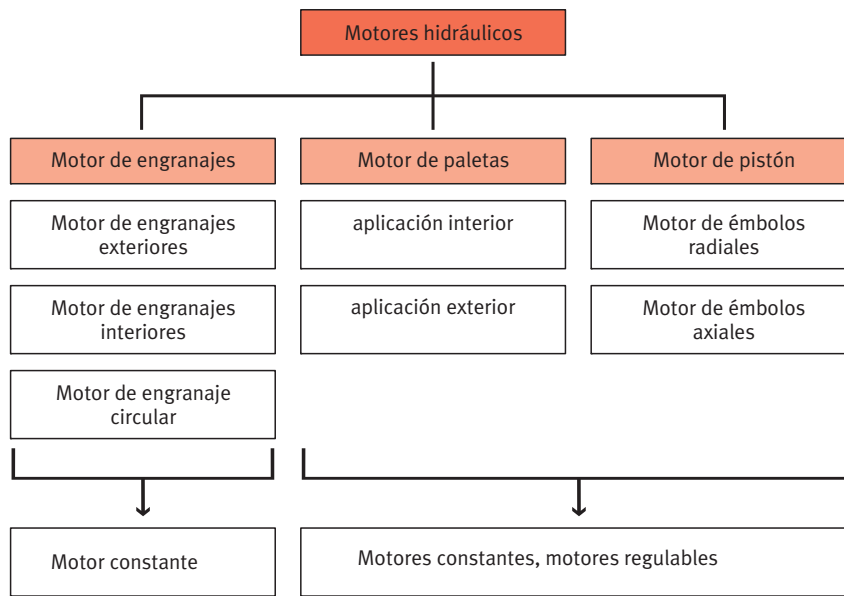


Fig. 5.8: motores hidráulicos, cuadro general

En los motores hidráulicos se aplican los mismos parámetros que en las bombas hidráulicas. Sin embargo, en el caso de los motores hidráulicos se aplica el criterio de absorción, mientras que en el caso de las bombas hidráulicas se aplica el criterio de expulsión. Los fabricantes de motores hidráulicos indican el volumen de absorción en cm^3 por giro. Además indican el margen de revoluciones correspondiente al funcionamiento eficiente del motor.

Fórmula de la capacidad de absorción de motores hidráulicos:

$$p = \frac{M}{V} \text{ y } q = n \cdot v$$

p Presión [Pa], M Momento de giro [Nm], V Capacidad de absorción [cm^3],
 q Caudal [dm^3/min], n Revoluciones [rpm]

Conociendo la capacidad de absorción y las revoluciones necesarias, puede calcularse el caudal que necesita el motor.

Ejemplo

Un motor hidráulico que tiene una capacidad de absorción de $V = 12,9 \text{ cm}^3$ funciona con un caudal de la bomba de $q = 15 \text{ dm}^3/\text{min}$. Considerando las revoluciones resultantes, el momento de giro es de $M = 1 \text{ Nm}$. ¿Cuál es la velocidad de giro n y la potencia P ? Calcule el momento de giro, suponiendo que le motor se frena con gran fuerza, por lo que se genera una presión de 140 bar ($140 \cdot 10^5 \text{ Pa}$).

Calcule las revoluciones (velocidad de giro) n .

De $q = n \cdot V$ se obtiene que $n = \frac{q}{V}$

$$n = \frac{15 \text{ dm}^3}{12,9 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}} = \frac{15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{12,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ min}} = 1163 \text{ min}^{-1}$$

Calcule la potencia P expresada en vatios.

$$P = \omega \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot 1163 \text{ min}^{-1} \cdot 1 \text{ Nm}$$

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1163 \cdot 1 \text{ Nm}}{60} \frac{\text{s}}{\text{s}} = 122 \text{ W}$$

Cálculo del momento de giro M con presión de entrada máxima ($p_{\text{máx}} = 140 \cdot 10^5 \text{ Pa}$)

De $p = \frac{M}{V}$ se obtiene que $M = p \cdot V$

$$M = 140 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 12,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 140 \cdot 10^5 \cdot 12,9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Nm}^3}{\text{m}^2}$$

$$M = 1806 \cdot 10^{-1} \text{ Nm} = 180,6 \text{ Nm}$$

En estos cálculos no se consideraron el rendimiento mecánico-hidráulico ni el rendimiento volumétrico.

6 Tipos y valores característicos de válvulas hidráulicas

En sistemas hidráulicos, la energía se transmite entre la bomba y las unidades consumidoras a través de conductos. Para disponer en la unidad consumidora de las magnitudes necesarias (fuerza o momento de giro, velocidad o revoluciones, así como sentido del movimiento) y, además, para cumplir las condiciones de funcionamiento del sistema, se incluyen válvulas en los conductos. Estas válvulas se utilizan para controlar la energía. Las válvulas controlan o regulan la presión y el caudal. Además, cada válvula también es una resistencia.

Las válvulas se clasifican según diversos criterios:

- Tareas
- Tipo de construcción
- Tipo de accionamiento

Según el criterio de las tareas que deben cumplir, las válvulas incluidas en un sistema hidráulico pueden ser las siguientes:

- Válvulas reguladoras de presión
- Válvulas distribuidoras
- Válvulas de cierre
- Válvulas de caudal

6.1 Valores característicos de válvulas

Las válvulas se definen en función de los siguientes valores característicos:

- Tamaño nominal NG
Diámetro nominal en mm: 4; 6; 10; 16; 20; 22; 25; 30; 32; 40; 50; 52; 63; 82; 100; 102
- Presión nominal ND (presión de funcionamiento)
Presión en bar (o pascal) para la que fueron configurados aparatos y equipos hidráulicos, para que funcionen en determinadas condiciones definidas.
- Caudal nominal q_n
Cantidad de aceite (l/min) que fluye a través de la válvula considerando una pérdida de presión de $\Delta p = 1$ bar (viscosidad del aceite: 35 mm²/s con 40 °C).
- Caudal máximo $q_{m\acute{a}x}$
Máxima cantidad de aceite (l/min) que puede fluir a través de la válvula, provocando pérdidas de presión correspondientemente altas.
- Margen de viscosidad
Por ejemplo, 20 hasta 230 mm²/s (cSt)
- Margen de presión del fluido a presión
Por ejemplo, 10 hasta 80 °C

6.2 Fuerza de accionamiento

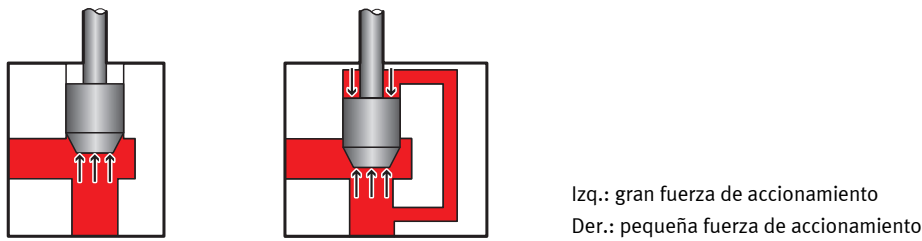


Fig. 6.1: fuerzas de accionamiento de válvulas

En el caso de algunos tipos de válvulas de asiento, la fuerza de accionamiento puede ser sumamente grande, dependiendo de la presión y de la superficie. Para evitarlo, es necesario que junto a las válvulas se prevea una compensación de presión (Fig. 6.1, derecha). Sin embargo, en la mayoría de los casos no es posible configurar válvulas de asiento con compensación de presión. Por lo tanto, se necesitan grandes fuerzas de conmutación para accionarlas. La solución consiste en utilizar palancas o un sistema de servopilotaje.

Los flancos de mando de la válvula están circundados de aceite, por lo que se enjuagan y arrastran las partículas de suciedad (efecto de autolimpieza). Por esta razón, las válvulas de asiento son relativamente insensibles a la suciedad. Si a pesar de todo se deposita una partícula de suciedad en el asiento, la válvula se cierra exceptuando la ranura creada por esa partícula. En estas circunstancias se produce cavitación.

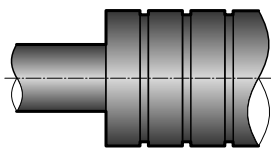


Fig. 6.2: ranuras anulares

La presión dentro de la válvula presiona al émbolo contra el taladro en el cuerpo. Esto supone considerables fuerzas iniciales y grandes fuerzas de accionamiento. La presión se compensa mediante ranuras anulares en el perímetro del émbolo. El émbolo descansa sobre una película de aceite. Al accionar la válvula, únicamente debe superarse la fricción del líquido.

6.3 Construcción de cilindros de simple efecto

Según su tipo de construcción, se distingue entre válvulas de asiento y válvulas de corredera. Otro criterio importante de diferenciación que define el comportamiento de conmutación es la sobreposición de los flancos, además de la geometría de los flancos de mando.

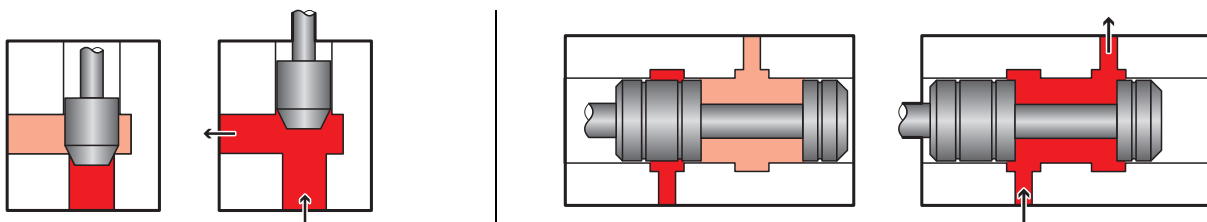


Fig. 6.3: tipos de construcción de válvulas. Vistas en corte. Izq.: válvula de asiento. Der.: válvula de corredera

6.3.1 Válvulas de asiento

En las válvulas de asiento se aplica presión sobre una bola, un cono o, con menos frecuencia, un disco que hace las veces de elemento de cierre. Este tipo de válvulas bloquean el paso herméticamente.

Considerando la construcción con asiento, un elemento de mando puede abrir o cerrar como máximo tres vías. Lo dicho significa que una válvula que tiene más de tres vías, debe contar con varios elementos de mando. En ese caso, el solapamiento es negativo.

Ejemplo

Una válvula de asiento de 4/2 vías puede estar constituida internamente por dos válvulas de 3/2 vías.

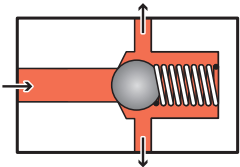
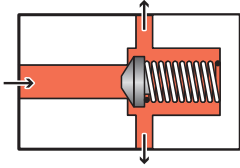
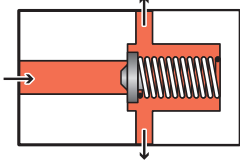
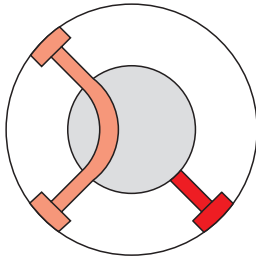
Tipo de válvula	Vista en corte	Ventajas y desventajas / utilización
Válvulas de asiento esférico		<ul style="list-style-type: none"> Fabricación sencilla. La bola tiende a vibrar y genera ruidos. – Válvulas de antirretorno
Válvulas de asiento cónico		<ul style="list-style-type: none"> El cono debe fabricarse con gran precisión. El cono cierra muy herméticamente. – Válvulas distribuidoras (válvulas de vías)
Válvulas de asiento de plato		<ul style="list-style-type: none"> Carreras pequeñas. – Válvulas de cierre

Tabla 6.1: válvulas de asiento

6.3.2 Válvulas de corredera

Se distingue entre válvulas de corredera lineales y giratorias.



La **válvula de corredera giratoria** tiene uno o varios émbolos que entran en un taladro cilíndrico. Si se utilizan como válvulas distribuidoras, estas válvulas suelen ser más cortas que válvulas de corredera longitudinal.

Fig. 6.4: válvula de corredera giratoria

La **válvula de corredera longitudinal** está compuesta por uno o varios émbolos que se desplazan axialmente en un taladro cilíndrico. En el caso de las válvulas de corredera, desplazando los émbolos es posible abrir, unir y cerrar una cantidad indistinta de canales de conexión. De acuerdo con este principio de funcionamiento, puede configurarse una válvula de 3 vías reductora de presión, así como también una válvula de 6/4 vías.

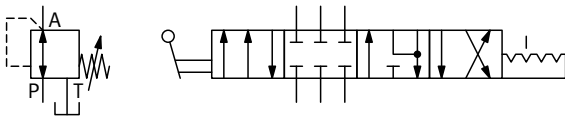


Fig.65: válvulas de corredera longitudinal. Símbolo.

Al accionarse, las válvulas de corredera longitudinal únicamente tienen que superar las fuerzas de fricción y la fuerza de los muelles. Las fuerzas originadas por la aplicación de presión se compensan mediante las superficies opuestas.

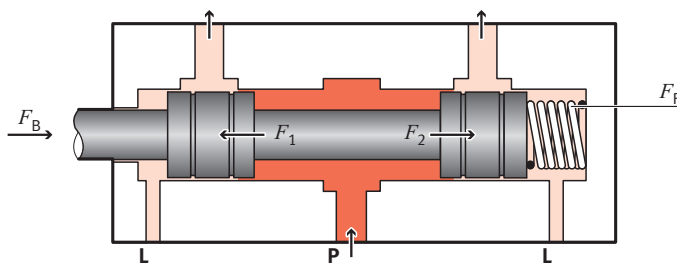


Fig. 6.6: válvulas de corredera; fuerzas. F_B Fuerza de accionamiento F_1, F_2 Fuerzas que actúan sobre el émbolo de la válvula F_F Fuerza del muelle

La corredera debe montarse previendo cierta holgura. Esta holgura tiene como consecuencia fugas constantes de aceite, lo que redunda en pérdidas de caudal en la válvula. Por ello, la cámara del lado del muelle debe estar conectada con el depósito. Para evitar que el émbolo se presione contra la pared, el émbolo está provisto de ranuras circulares.

Si el aceite hidráulico contiene suciedad, las partículas se depositan entre la corredera y el taladro. Allí tienen un efecto abrasivo, lo que provoca un aumento del tamaño del taladro. Esto, por su parte, tiene como consecuencia un aumento de la fuga de aceite.

Características de válvulas de asiento	Características de válvulas de corredera
Cierre hermético	Caudal de aceite de fuga
Insensibles a la suciedad	Sensibles a la suciedad
Configuración complicada de válvulas multiposición	Configuración sencilla de válvulas multiposición
Necesidad de prever compensación de presión	Presión compensada
Recorrido de accionamiento corto	Recorrido de accionamiento largo

Tabla 6.2: comparación entre tipos de construcción de válvulas

6.4 Solapamiento de conmutación

El comportamiento de conmutación de una válvula está determinado por el solapamiento o superposición de conmutación. Se distingue entre solapamiento positivo, negativo y solapamiento cero. En un émbolo de mando es posible que cada uno de los flancos de mando tenga un solapamiento variado.

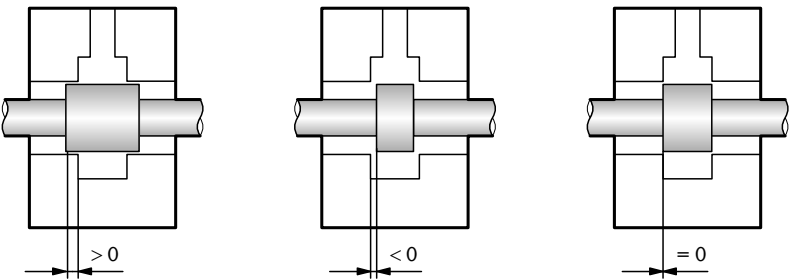


Fig. 6.7: solapamiento de conmutación

Además de la holgura del émbolo, el solapamiento determina las fugas de aceite. El solapamiento es importante en cualquier tipo de válvula. El solapamiento más apropiado para cada caso depende de la aplicación:

- **Solapamiento positivo (> 0)**

Al conmutar, las conexiones están bloqueadas durante unos breves instantes. No se produce una caída de presión (criterio importante en el caso de sistemas hidráulicos con acumulador); se producen impactos por picos de presión; detención dura.

- **Solapamiento negativo (< 0)**

Al conmutar, todas las conexiones están unidas entre sí durante unos breves instantes; se produce una breve caída de presión (desciende la carga).

- **Apertura previa de presión**

La bomba se une primero al elemento de trabajo. A continuación se une al depósito el conducto de retorno del elemento de trabajo.

- **Apertura previa de descarga**

La conexión de descarga del elemento de trabajo se une primero hacia el depósito. A continuación, se une el conducto de alimentación a la bomba.

- **Solapamiento cero ($= 0$)**

Posición de flanco con flanco. Importante si son necesarios una conmutación rápida y recorridos de conmutación cortos.

Tratándose de válvulas multiposición, es posible que en una misma válvula varíen los solapamientos, dependiendo de la aplicación. De esta manera también se adaptan solapamientos a las exigencias que plantea cada aplicación. En caso de ser necesaria una reparación, deberá ponerse cuidado en que el nuevo émbolo tenga el mismo solapamiento que el anterior.

A continuación se explica el efecto que tienen el solapamiento negativo y positivo, utilizando una válvula de 3/2 vías.

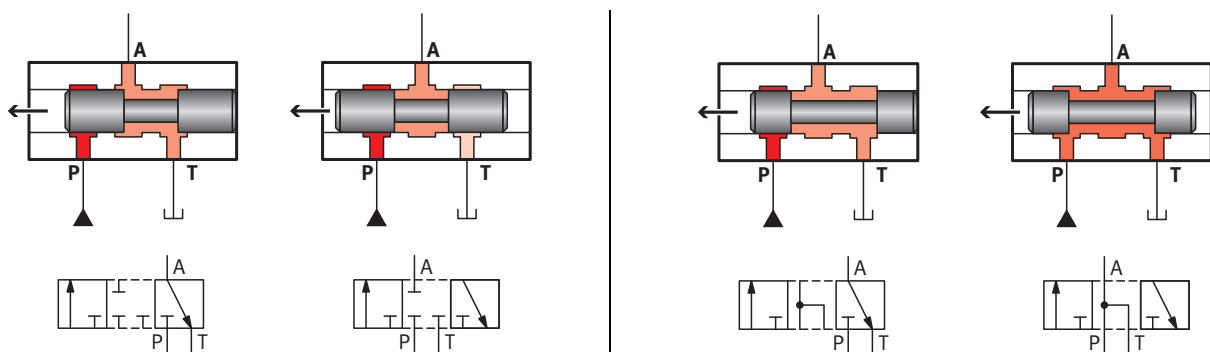


Fig. 6.8: efectos del solapamiento. Izq.: solapamiento positivo. Der.: solapamiento negativo

- En el caso de solapamiento positivo (Fig. 6.8, izquierda) todas las conexiones están cerradas unos breves instantes mientras dura la operación de conmutación. Si el émbolo de la válvula continúa su movimiento, la presión del sistema actúa de inmediato sobre un cilindro conectado. Por lo tanto, el inicio del movimiento del cilindro es abrupto.
- En el caso de solapamiento negativo (Fig. 6.8, derecha) todas las conexiones están conectadas entre sí unos breves instantes.. Al conmutar, se produce una descarga en el sistema. De esta manera, la generación de presión no se produce abruptamente y el movimiento se inicia suavemente.

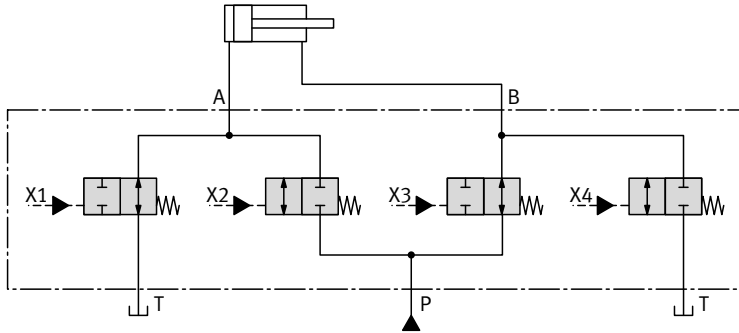


Fig. 6.9: solapamiento de conmutación en válvulas de asiento

En el caso de **válvulas de corredera**, el solapamiento de conmutación está definido por la geometría de los flancos de mando y por la conexión fija de los émbolos de maniobra.

En el caso de válvulas de asiento, la respuesta de las válvulas individuales no es simultánea, obteniéndose así el solapamiento deseado que, además, puede modificarse indistintamente modificando los tiempos de accionamiento.

6.5 Flancos de mando

Los flancos de mando de los émbolos suelen ser de canto vivo, biselado o provisto de una muesca. Gracias a este perfil de los flancos de mando, el caudal se estrangula paulatinamente y no de manera repentina al conmutar.

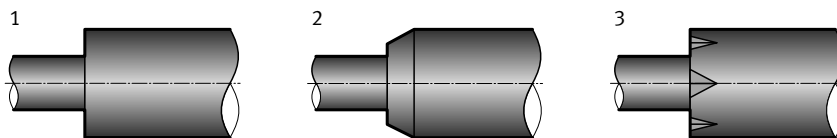


Fig. 6.10: flancos de mando. 1 Flanco de canto vivo 2 Flanco biselado 3 Flanco con muescas axiales

7 Válvulas reguladoras de presión

Las válvulas reguladoras de presión tienen la finalidad de controlar y regular la presión en determinados tramos de un sistema hidráulico. Las válvulas reguladoras de presión se clasifican según su funcionamiento:

- **Válvulas limitadoras de presión**

Con estas válvulas se ajusta y se limita la presión en instalaciones hidráulicas. La presión de funcionamiento se determina en la entrada P de la válvula.

- **Válvulas reductoras de presión**

Con estas válvulas se reduce la presión de salida, siendo variable la presión de entrada. La presión de mando se obtiene de la salida de la válvula.

7.1 Válvulas limitadoras de presión

Las válvulas limitadoras de presión pueden ser válvulas de asiento o válvulas de corredera. Cuando están en posición normal, un muelle de compresión

- presiona un elemento de estanqueidad sobre la conexión de entrada,
- o bien desplaza una corredera sobre la conexión hacia el depósito.

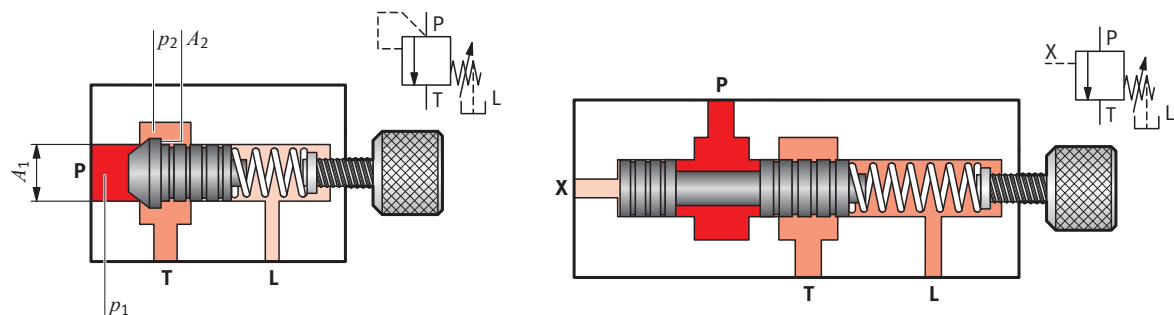


Fig. 7.1: válvulas limitadoras de presión. Vistas en corte y símbolos. Izq.: válvula de asiento, accionamiento interno. Der.: válvula de corredera, accionamiento externo.

Principio de funcionamiento de una válvula limitadora de presión:

- La presión de entrada (p) actúa sobre el elemento de trabajo de la válvula y genera una fuerza $F = p_1 \cdot A_1$
- Es posible ajustar la fuerza del muelle con la que se presiona el elemento de la válvula sobre su asiento.
- Si la fuerza generada por la presión de entrada supera la fuerza del muelle, la válvula empieza a abrirse. De esta manera se produce un flujo parcial hacia el depósito. Si la presión de entrada sigue aumentando, la válvula continúa abriéndose hasta que la totalidad del caudal proveniente de la bomba fluye hacia el depósito.
- Las fuerzas de resistencia en la salida (conducto hacia el depósito, filtro de retorno, etc.) actúan sobre la superficie A_2 . La fuerza resultante debe agregarse a la fuerza del muelle.

Las válvulas limitadoras de presión suelen incluir émbolos amortiguadores o elementos de estrangulación para evitar oscilaciones de presión. Estos elementos de amortiguación tienen los siguientes efectos:

- La válvula se abre rápidamente
- La válvula se cierra lentamente

De este modo se evitan daños provocados por picos de presión (funcionamiento suave de la válvula). Los picos de presión se producen cuando la bomba alimenta aceite hidráulico casi sin presión al circuito hidráulico y si una válvula distribuidora cierra repentinamente la conexión de la unidad consumidora.

Las válvulas limitadoras de presión se utilizan con los siguientes fines:

- **Válvulas de seguridad**
Una válvula limitadora de presión se llama válvula de seguridad si, por ejemplo, está montada junto a la bomba con el fin de protegerla frente a sobrecargas. En ese caso, esa válvula está ajustada fijamente en función de la presión máxima de la bomba. La válvula únicamente se abre en casos de emergencia.
- **Válvulas de contrapresión**
Se oponen a la inercia de las masas debido a cargas con efecto de tracción. Estas válvulas deben funcionar con presión compensada y la conexión hacia el depósito debe soportar grandes cargas.
- **Válvulas de freno**
Estas válvulas evitan picos de presión que pueden surgir debido a fuerzas de inercia de las masas cuando se cierra repentinamente la válvula distribuidora.
- **Válvulas de secuencia (válvulas secuenciales, válvulas alimentadoras de presión)**
Estas válvulas se abren el paso hacia otras unidades consumidoras si la presión supera una determinada presión ajustada previamente. Existen válvulas limitadoras de presión controladas internamente y externamente. Las válvulas limitadoras de presión, tanto las de asiento como las de corredera, únicamente pueden utilizarse como válvulas secuenciales si tienen compensación de presión y si la carga que actúa sobre la conexión hacia el depósito no incide en la forma en que se abren.

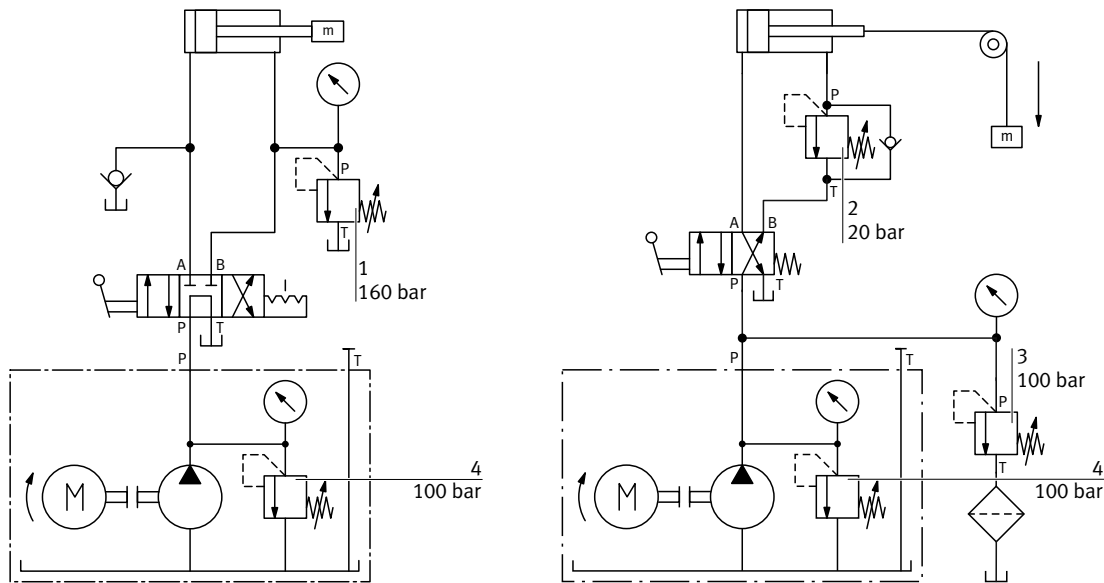


Fig. 7.2: ejemplos de aplicaciones de válvulas limitadoras de presión.

1 Válvula de freno 2 Válvula de contrapresión 3 Válvula limitadora de presión en el sistema 4 Válvula de seguridad

7.2 Válvulas reductoras de presión

Las válvulas reductoras de presión disminuyen la presión de entrada en función de una determinada presión de salida. Estas válvulas se utilizan cuando se necesitan varios niveles de presión en un mismo sistema hidráulico. El funcionamiento de una válvula reductora de presión se explica recurriendo al ejemplo de un sistema con dos circuitos de mando:

- El primer circuito de mando actúa sobre un motor hidráulico a través de una válvula reguladora de caudal. El motor hidráulico se utiliza para el accionamiento de un rodillo. El rodillo se utiliza para aplicar presión sobre placas de varias capas que se unen mediante pegamento.
- El segundo circuito actúa sobre un cilindro hidráulico que se encarga de presionar el rodillo aplicando una presión reducida ajustable. Para colocar las placas, la unidad formada por el rodillo y el cilindro deben elevarse (el vástago del cilindro avanza).

La válvula reductora de presión de 2 vías funciona de la siguiente manera:

- La válvula está abierta en posición normal. La presión de salida en A se aplica sobre la superficie del émbolo (1) a través de una línea de mando (3). La fuerza que se obtiene de esta manera se compara con la fuerza ajustada del muelle.
- Si la fuerza que actúa sobre la superficie del émbolo supera el valor ajustado, la válvula empieza a cerrarse. La corredera se desplaza en contra de la fuerza del muelle hasta que se obtiene un equilibrio de fuerzas. De esta manera disminuye el tamaño de la ranura de estrangulación (2) y se produce una reducción de la presión.
- Si continúa aumentando la presión en la salida A, el émbolo cierra el paso completamente. En la entrada P se aplica la presión del primer circuito de mando.

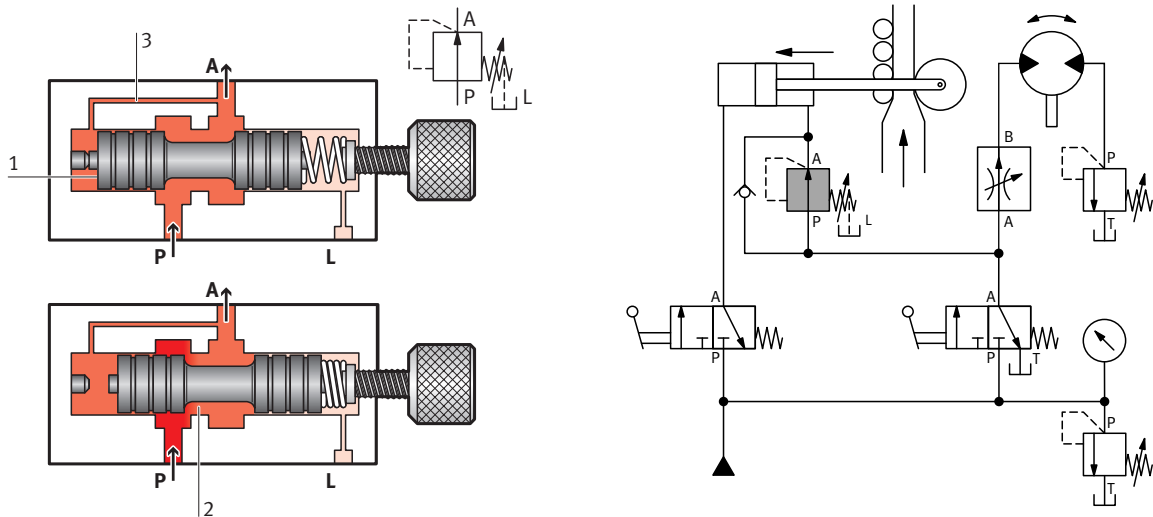


Fig. 7.3: válvula reductora de presión de 2 vías. Izq.: vistas en corte y símbolo. 1 Superficie del émbolo 2 Ranura de estrangulación 3 Circuito de mando. Der.: ejemplo de esquema de distribución.

En el caso de válvulas de corredera, pueden configurarse adicionalmente los flancos de mando para modificar la operación de abrir, de tal manera que la ranura aumente su tamaño lentamente. De esta manera, la precisión de regulación es mayor y, además, se reducen las vibraciones de la válvula.

La válvula reductora de presión de 2 vías se utiliza, por ejemplo, si en un sistema de sujeción de piezas es necesario disponer de una presión baja y constante en un circuito secundario del sistema hidráulico.

Sin embargo, en el ejemplo que aquí se muestra, una válvula reductora de presión de 2 vías puede causar problemas. Si la válvula reductora de presión de 2 vías está cerrada, las irregularidades del grosor del material de la pieza provocan un aumento adicional de la presión en la salida A de la válvula. Este aumento de la presión por encima del valor ajustado no es deseable. El problema puede solucionarse mediante la inclusión de una válvula limitadora de presión en la salida.

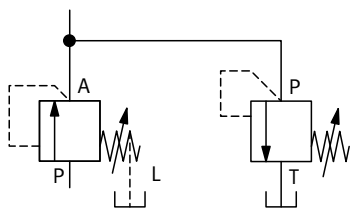


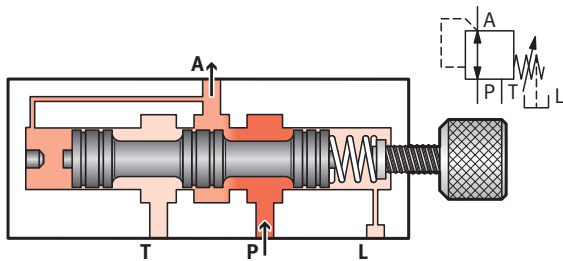
Fig. 7.4: válvula limitadora de presión para evitar un aumento de la presión

Esta válvula limitadora de presión puede ajustarse de diversas maneras:

- Ajuste de la presión en la válvula limitadora de presión superior a la presión ajustada en la válvula reductora de presión.
- Ajuste de la presión en la válvula limitadora de presión igual a la presión ajustada en la válvula reductora de presión.
- Ajuste de la presión en la válvula limitadora de presión inferior a la presión ajustada en la válvula reductora de presión.

Estos ajustes tienen como consecuencia un comportamiento diverso de la válvula reductora de la presión. En la práctica, las válvulas reductoras de presión de 2 vías suelen utilizarse sólo en muy pocas ocasiones. Debido a su construcción, no es posible regular la presión de tal manera que se disminuya una presión alta hasta alcanzar una baja presión.

Otra posibilidad de reducir estos aumentos de presión consiste en utilizar una válvula reductora de presión de 3 vías.



Considerando el flujo desde P hacia A, el funcionamiento de una válvula reductora de presión de 3 vías es idéntico al de una válvula reductora de presión de 2 vías.

Fig. 7.5: válvula reductora de presión de 3 vías. Vista en corte y símbolo.

Sin embargo, si aumenta la presión en la salida A por encima de la presión ajustada, el émbolo se desplaza adicionalmente. De esta manera surge el efecto de limitación de la presión, abriéndose el paso desde A hacia T.

Importante

En el caso de la válvula reductora de presión de 3 vías, este solapamiento está definido por su propia construcción.

En el caso de la válvula reductora de presión de 2 vías, combinada con una válvula limitadora de presión, puede ajustarse el solapamiento.

8 Válvulas distribuidoras

8.1 Funciones

Las válvulas distribuidoras son componentes que modifican, abren o cierran vías de flujo en sistemas hidráulicos. Los símbolos correspondientes a las válvulas distribuidoras están definidos en la norma ISO 1219-1.

Las funciones más importantes de las válvulas distribuidoras son las siguientes:

- Abrir o cerrar la alimentación de energía hidráulica
- Controlar el movimiento de los elementos actuadores bloqueando o iniciando el flujo del fluido a presión o modificando su sentido.

Las válvulas distribuidoras se clasifican en válvulas de funcionamiento continuo y válvulas de funcionamiento binario.

- Válvulas distribuidoras de funcionamiento continuo
Estas válvulas tienen, además de sus dos posiciones finales, una cantidad indistinta de posiciones intermedias, cada una de ellas con efecto de estrangulación diferente. Las **válvulas proporcionales** y las **válvulas servopilotadas** son válvulas de funcionamiento continuo.
- Válvulas distribuidoras de funcionamiento binario
Estas válvulas tienen posiciones de conmutación fijas. En la práctica, simplemente se llaman **válvulas distribuidoras** o **válvulas de vías**.

Las válvulas distribuidoras se denominan en función de su cantidad de conexiones y posiciones de conmutación:

- Válvula de 2/2 vías
- Válvula de 3/2 vías
- Válvula de 4/2 vías
- Válvula de 4/3 vías

8.2 Tipos

8.2.1 Tipos de válvulas distribuidoras

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.

Clasificación de válvulas distribuidoras:

- Según su forma de funcionamiento, válvulas con estrangulación y válvulas sin estrangulación
- Según su construcción, válvulas de corredera y válvulas de asiento
- Según su modo de fijación y sus conexiones, válvulas de montaje externo y válvulas integradas

Al seleccionar una válvula, es recomendable proceder paso a paso.

- Primero debe determinarse el tipo de válvula según la función que debe cumplir y según su comportamiento en caso de un corte de energía.
- En segundo lugar, se determina la válvula capaz de cumplir la tarea generando la menor cantidad de costes posible. Para tomar esa decisión, se tienen en cuenta los datos técnicos de la válvula, tal como aparecen en el catálogo del fabricante. Al considerar los costes, no solamente debe tenerse en cuenta el precio de la válvula, sino también los costes de instalación, funcionamiento, mantenimiento y repuestos.

A continuación se ofrece un cuadro que incluye los tipos de electroválvulas más frecuentes, sus correspondientes símbolos y sus aplicaciones.

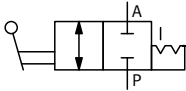
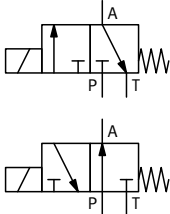
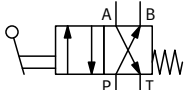
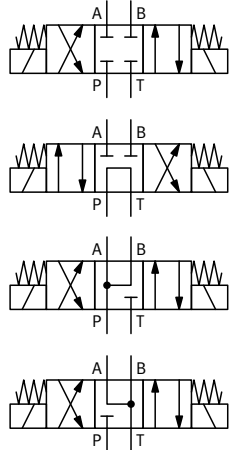
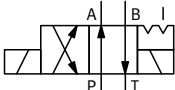
Tipo de válvula	Símbolo	Aplicaciones
Válvula manual de 2/2 vías de accionamiento directo, con enclavamiento		Función de cierre
Electroválvula de 3/2 vías de accionamiento directo, con reposición por muelle Normalmente cerrada Normalmente abierta		Accionamiento de cilindros lineales de simple efecto Alimentación y bloqueo de fluido a presión
Válvula manual de 4/2 vías de accionamiento directo, con reposición por muelle		Accionamiento de cilindros lineales de doble efecto
Electroválvulas de 4/3 vías de accionamiento directo, con reposición por muelle con posición de bloqueo con posición de recirculación con posición central en h, con bloqueo de la conexión hacia el depósito con posición central en h, con bloqueo de la conexión hacia la bomba		Cilindro lineal de doble efecto o motor con posición intermedia con circuito de memoria con modo de movimientos acelerados con circuito de bloqueo o con comportamiento especial en caso de un corte de energía
Electroválvula biestable de 4/2 vías, de accionamiento directo		Cilindro lineal de doble efecto o motor

Tabla 8.1: aplicaciones y símbolos de válvulas distribuidoras accionadas eléctricamente, con reposición por muelle

Si no se encuentran una válvula que cumpla todos los requisitos, es posible, por ejemplo, cambiar conexiones con el fin de obtener un determinado comportamiento de conmutación, o bien se puede utilizar una válvula con una cantidad de conexiones diferente.

- Para obtener la función de una electroválvula de 2/2 vías utilizando una electroválvula de 4/2 vías, deben bloquearse dos conexiones.
- Para obtener la función de una electroválvula biestable de 3/2 vías utilizando una electroválvula biestable de 4/2 vías, debe bloquearse la conexión hacia una unidad consumidora.

8.2.2 Tipos de conexiones de válvulas distribuidoras

Se ofrecen válvulas distribuidoras accionadas eléctricamente con dos tipos diferentes de conexiones, con el fin de permitir su montaje en diversas posiciones.

Las **válvulas integradas** son válvulas atornillables con cartucho de montaje. Todos los elementos funcionales de la válvula se encuentran en el cartucho. Estas válvulas no tienen cuerpo adicional. Las válvulas integradas se utilizan principalmente como válvulas individuales montadas en un bloque que hace las veces de cuerpo común. De esta manera se obtiene una unidad hidráulica compacta con pocos tubos y de diverso grado de integración de funciones.

Las **válvulas de montaje** externo tienen una superficie de contacto hermética y están atornilladas sobre una placa base. Las placas base tienen un patrón de taladros uniforme. Los patrones de taladros y los tamaños nominales están definidos en la norma ISO 4401. La conexión es indirecta, en la medida en que los tubos se atornillan fijamente a la placa base mediante elementos de unión.

Ventajas de este tipo de válvulas:

- Desmontaje sencillo de las válvulas para realizar trabajos de mantenimiento.
- Las placas base pueden acoger válvulas de diversos fabricantes.
- Todas las conexiones se encuentran en un mismo plano. Las superficies de atornillamiento y de hermetización son planas.
- Adicionalmente es posible prever conexiones laterales adicionales en las válvulas.
- La estanqueización de las conexiones mediante juntas anulares es muy fiable.

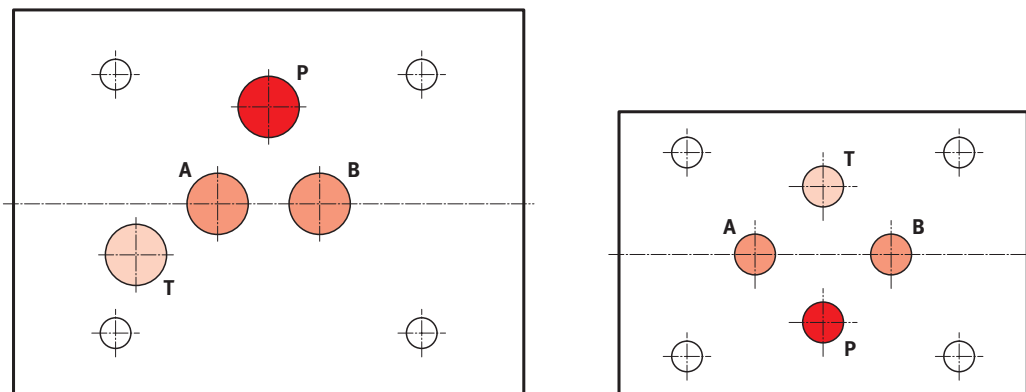


Fig. 8.1: patrón de conexiones NG 10 y NG 6, comúnmente utilizado para válvulas distribuidoras

8.2.3 Datos de rendimiento de electroválvulas de 4/3 vías

En la siguiente tabla se incluye un resumen de los datos de rendimiento y de las condiciones de utilización de cuatro electroválvulas de 4/3 vías.

Tipo de válvula	Electroválvula de 4/3 vías de accionamiento directo, tamaño nominal 4	Electroválvula de 4/3 vías de accionamiento directo, tamaño nominal 10	Electroválvula servopilotada de 4/3 vías, tamaño nominal 10	Electroválvula servopilotada de 4/3 vías, tamaño nominal 16
Tipo de conexión	Válvula de montaje externo	Válvula de montaje externo	Válvula de montaje externo	Válvula de montaje externo
Símbolo				
Presión máxima de funcionamiento en P/A/B	250 bar (25 MPa)	320 bar (32 MPa)	320 bar (32 MPa)	320 bar (32 MPa)
Presión máxima de funcionamiento en T	250 bar (25 MPa)	160 bar (16 MPa)	70 bar (7 MPa)	160 bar (16 MPa)
Presión mínima de pilotaje			10 bar (1 MPa)	5 bar (0,5 MPa)
Presión máxima de pilotaje			250 bar (25 MPa)	210 bar (21 MPa)
Caudal máximo	20 l/min	100 l/min	120 l/min	300 l/min
Tiempos de conmutación (electroimán de corriente continua) Excitación Desconexión	20 ms 40 ms	60 – 95 ms 25 – 70 ms	20 ms 50 ms	50 ms 60 ms
Temperatura del fluido a presión	0 hasta +60 °C	0 hasta +75 °C	0 hasta +75 °C	-20 hasta +70 °C
Temperatura ambiente	-25 hasta +60 °C	-25 hasta +60 °C	-20 hasta +50 °C	-20 hasta +50 °C

Tabla 8.2: datos de rendimiento hidráulico de válvulas distribuidoras accionadas eléctricamente (ARON SpA)

8.3 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 eléctrico
- Combinación de diversos tipos de accionamiento

Para representar una válvula distribuidora de manera completa en un esquema de distribución hidráulica, deben incluirse los siguientes datos:

- Tipo básico de accionamiento de la válvula
- Forma de reposición
- Servopilotaje (si procede)
- Sistemas adicionales de accionamiento (por ejemplo, accionamiento auxiliar manual, si procede)

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








Tipo de accionamiento	Símbolo
Accionamiento manual	
Mediante compresión	
Mediante palanca	
Accionamiento mecánico	
Mediante leva	
Mediante rodillo	
Accionamiento eléctrico	
Mediante bobina	
Accionamiento combinado	
Válvula servopilotada, accionamiento electromagnético en ambos lados, con accionamiento manual auxiliar	
Partes mecánicas	
Reposición por muelle	

Tabla 8.3: tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras

8.3.1 Válvulas distribuidoras de accionamiento manual y mecánico

El émbolo de la válvula distribuidora es accionado manualmente o por medio de componentes mecánicos.

- Las válvulas distribuidoras pueden accionarse manualmente por medio de una palanca
- Si la válvula se acciona mediante una leva o un rodillo, se necesita otra leva o un disco de levas para accionarla
- Las válvulas monoestables disponen de un muelle que, al cesar el accionamiento manual o mecánico, las devuelve a su posición inicial.

8.3.2 Válvulas de vías accionadas eléctricamente

En sistemas de control electrohidráulicos se utilizan dos fuentes de energía:

- Energía eléctrica (corriente eléctrica) en la parte de las señales de control
- Energía hidráulica (fluido a presión) en la parte funcional

Las válvulas distribuidoras accionadas eléctricamente representan el punto de enlace entre las dos partes de un sistema de control electrohidráulico. Conmutan debido al efecto de las señales de salida de la parte eléctrica de control, y bloquean o abren conexiones en la parte funcional hidráulica.

8.3.3 Interrupción de la alimentación de energía y rotura de cables en válvulas distribuidoras accionadas eléctricamente

Un sistema de control electrohidráulico debería configurarse de tal manera que si se produce un corte de la alimentación de la energía eléctrica o una rotura de cable, el equipo y las herramientas no ejecuten movimientos imprevistos que podrían causar daños. En estas circunstancias, el comportamiento de un cilindro hidráulico puede definirse mediante la selección de la correspondiente electroválvula distribuidora.

Tipo de válvula	Comportamiento en caso de un corte de energía eléctrica o rotura de cable
Electroválvula de 3/2 vías o de 4/2 vías, con reposición por muelle	Una electroválvula de 3/2 vías o de 4/2 vías conmuta a posición normal y el vástago del cilindro recupera su posición inicial.
Electroválvula de 4/3 vías, con centrado por muelle	Una electroválvula de 4/3 vías con centrado por muelle también conmuta a su posición normal (posición central). Si las conexiones hacia las unidades consumidoras están conectadas con el depósito si la válvula se encuentra en su posición normal (central), y si, además, está bloqueada la conexión hacia la bomba, no actúa fuerza alguna sobre el cilindro. Si las conexiones hacia las unidades consumidoras están bloqueadas y si, además, están unidas las conexiones de la bomba y del depósito, la bomba siguen funcionando sin presión y el fluido fluye directamente hacia el depósito. Si están bloqueadas todas las conexiones, se paraliza el movimiento del vástago.
Electroválvula biestable de 4/2 vías, con enclavamiento	La válvula biestable mantiene su posición de conmutación. El vástago continúa desplazándose hasta finalizar el movimiento que estaba ejecutando.

Tabla 8.4: comportamiento de un sistema electrohidráulico en caso de un corte de energía o rotura de cable

Accionamiento manual auxiliar

El accionamiento manual auxiliar permite activar la válvula sin energía eléctrica. Se utiliza durante la puesta en funcionamiento del sistema o si falla el sistema de accionamiento normal.

8.4 Válvulas de 2/2 vías

La válvula de 2/2 vías tiene una conexión de presión y una conexión de utilización A (ver Fig. 8.2). Estas válvulas controlan el caudal cerrando y abriendo el paso.

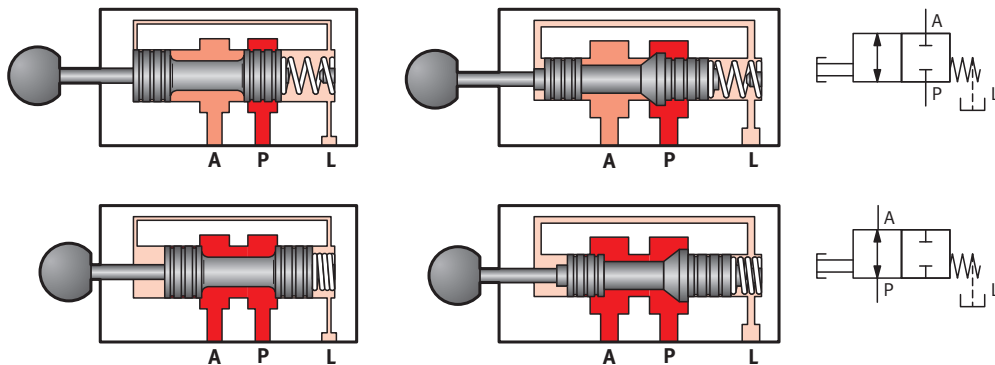


Fig. 8.2: válvulas de 2/2 vías. Construcción, vistas en corte y símbolos. Izq.: válvula de corredera. Der.: válvula de asiento. Arriba: posición normal (flujo P → A bloqueado). Debajo: válvula activada (flujo P → A)

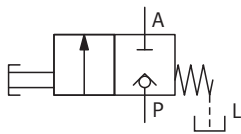


Fig. 8.3: válvula distribuidora de 2/2 vías, ejecución con asiento. Símbolo.

El símbolo de las válvulas de asiento suele incluir el asiento. Sin embargo, esta forma de representación gráfica no está normalizada.

Las válvulas distribuidoras de 2/2 vías también pueden tener el paso abierto en su posición normal.

Aplicación

- Accionamiento de cilindros de simple efecto.
- Derivación; por ejemplo, movimiento acelerado de avance, recirculación de la bomba sin presión.
- Activación y desactivación de diversas válvulas reguladoras de caudal o de presión (activación de niveles de presión).
- Accionamiento de un motor en un sentido.

8.4.1 Válvula de leva de 2/2 vías

La válvula de leva de 2/2 vías se utiliza para controlar el caudal. Su accionamiento es mecánico. La válvula que se muestra aquí puede modificarse para obtener diversas posiciones normales.

- Posición normal (en reposo): el muelle (6) actúa sobre el émbolo (4) en contra del tope. Conexión P → A abierta.
- Posición activada: accionamiento a través del rodamiento de bolas (1), la leva (2) y el vástago (3) sobre el émbolo (4), en contra de la fuerza del muelle (6). Conexión P → A cerrada.

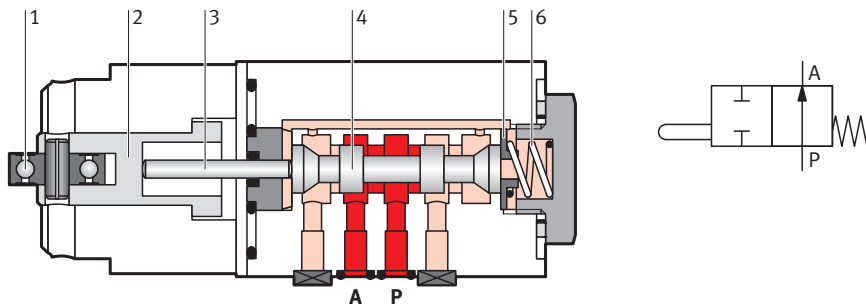


Fig. 8.4: válvula de 2/2 vías. Vista en corte y símbolo. 1 Rodamiento de bolas 2 Leva 3 Vástago 4 Émbolo 5 Plátano del muelle 6 Muelle

8.5 Válvulas de 3/2 vías

La válvula de 3/2 vías tiene una conexión de presión P, una conexión de utilización A y una conexión T hacia el depósito. Esta válvula controla el caudal mediante las siguientes posiciones:

- Posición normal (reposo): conexión P bloqueada, conexión abierta desde A hacia T.
- Posición accionada: escape T bloqueado, conexión abierta desde P hacia A.

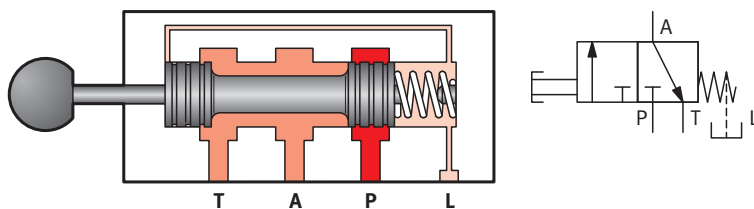
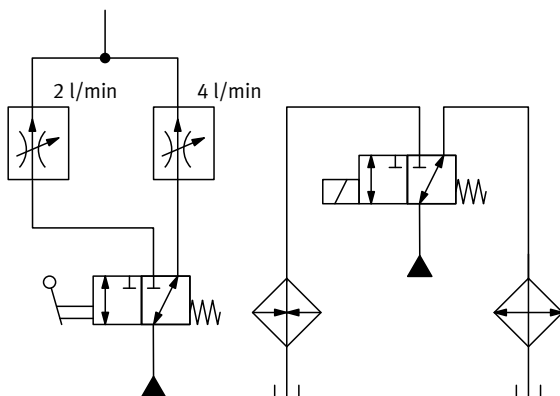


Fig. 8.5: válvula de 3/2 vías. Principio de construcción, vista en corte y símbolo.



Las válvulas de 3/2 vías también se ofrecen con posición normal abierta.

Aplicación

- Accionamiento de cilindros de simple efecto
- Conmutación de desvíos

Fig. 8.6: utilización como desvío

8.5.1 Electroválvula de 3/2 vías de accionamiento directo, con reposición por muelle

En el caso de electroválvulas de accionamiento directo, el accionamiento del émbolo de la válvula está a cargo directamente de electroimanes, sin elementos de amplificación intermedios.

Fig. 8.7 muestra dos vistas en corte de una electroválvula de 3/2 vías de accionamiento directo.

La válvula tiene una conexión de utilización A, una conexión de presión P y una conexión T hacia el depósito. El electroimán es un imán que conmuta "en aceite", por lo que también se llama imán húmedo. El inducido funciona en el fluido a presión. El inducido está conectado a la conexión del depósito.

- En posición normal, la conexión de utilización A está conectada a la conexión T del depósito. La conexión de presión P está bloqueada.
- Si fluye una corriente eléctrica a través de la bobina, el campo magnético aplica una presión sobre el inducido. El inducido aplica presión mediante la leva sobre el émbolo y lo mueve en contra de la fuerza del muelle del lado opuesto. De esta manera, se conecta la conexión P con la conexión A, y se bloquea la conexión T hacia el depósito.
- Si no fluye corriente a través de la bobina, el inducido vuelve a su posición inicial debido a la fuerza que aplica el muelle. De esta manera se bloquea la conexión entre P y A, y se abre la conexión entre A y T. Por lo tanto, el fluido a presión fluye hacia el depósito a través de la conexión T.

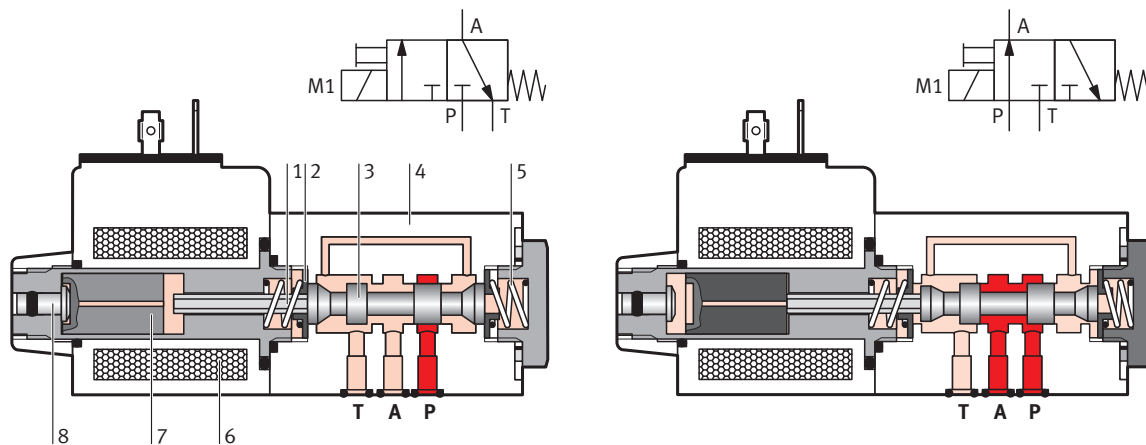


Fig. 8.7: electroválvula de 3/2 vías accionada directamente, con accionamiento manual auxiliar, con posición normal cerrada. Izq.: no activada. Der.: activada. 1 Leva 2 Plato del muelle 3 Émbolo 4 Cuerpo 5 Muelle 6 Bobina 7 Inducido 8 Accionamiento manual auxiliar

Las válvulas de 3/2 vías pueden ser de posición normal cerrada y de posición normal abierta.

En aplicaciones industriales suele utilizarse una válvula de 4/2 vías para obtener la función de una válvula de 3/2 vías. Con ese fin, se cierra una conexión de utilización de la válvula de 4/2 vías.

8.6 Válvula de 4/2 vías

La válvula de 4/2 vías tiene dos conexiones de utilización A y B, una conexión de presión P y una conexión T hacia el depósito. Esta válvula controla el caudal mediante las siguientes posiciones:

- Posición normal (de reposo): paso abierto desde P hacia B y desde A hacia T
- Posición activada: paso abierto desde P hacia A y desde B hacia T.

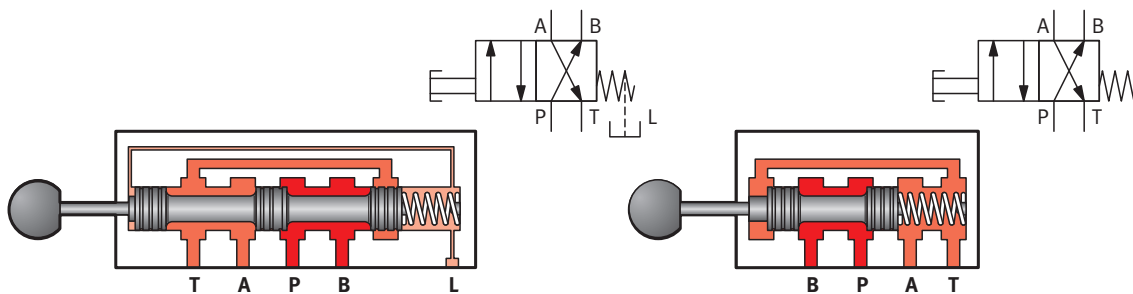


Fig. 8.8: válvula de 4/2 vías. Principio de construcción, vista en corte y símbolo. Izq.: con 3 émbolos de maniobra. Der.: con 2 émbolos de maniobra

También se ofrecen válvulas de 4/2 vías con únicamente dos émbolos de maniobra. Estas válvulas no necesitan conexiones para aceite de fuga. En este caso debe tenerse en cuenta que la conexión T hacia el depósito y las conexiones de utilización A y B se conducen a través de la culata trasera de la válvula. En las hojas de datos de estas válvulas siempre se indica una presión máxima menor para la conexión hacia el depósito en comparación con la presión máxima prevista para el lado de presión, porque la presión en esa conexión actúa sobre la culata trasera.

Considerando su construcción, las válvulas de 4/2 vías más sencillas son válvulas de corredera. Las válvulas de 4/2 vías de asiento son más complicadas, ya que se obtienen mediante dos válvulas de 3/2 vías o utilizando cuatro válvulas de 2/2 vías.

Aplicación

- Accionamiento de cilindros de doble efecto
- Accionamiento de motores con giro horario y antihorario
- Accionamiento de dos circuitos de control

8.6.1 Posiciones intermedias

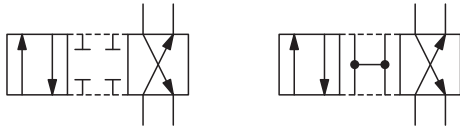


Fig. 8.9: posiciones intermedias, válvula de 4/2 vías.
Izq.: solapamiento positivo
Der.: solapamiento negativo

Cuando se elige una válvula, deben considerarse sus posiciones intermedias. Por esta razón se indican detalladamente en el símbolo. Considerando que no se trata de posiciones en el sentido estricto de la palabra, el recuadro correspondiente en el símbolo aparece con líneas punteadas.

8.6.2 Válvula de 4/2 vías de palanca, con reposición por muelle

Fig. 8.10 muestra la posición normal (reposo) de una válvula de 4/2 vías de palanca manual. La válvula se utiliza para controlar caudales hidráulicos. La válvula tiene dos conexiones de utilización A y B, una conexión de presión P y una conexión T hacia el depósito.

- Posición normal (palanca en posición 0): en posición normal, el émbolo se mantiene en la posición final del lado izquierdo debido a la fuerza del muelle (3). En estas condiciones, las conexiones abiertas son las siguientes: $P \rightarrow B$ y $A \rightarrow T$.
- Posición activada (palanca en posición I): con la palanca (5) y a través de la corredera (4) y la leva (3), el émbolo se presiona contra el muelle. En estas condiciones, las conexiones abiertas son las siguientes: $P \rightarrow A$ y $B \rightarrow T$.

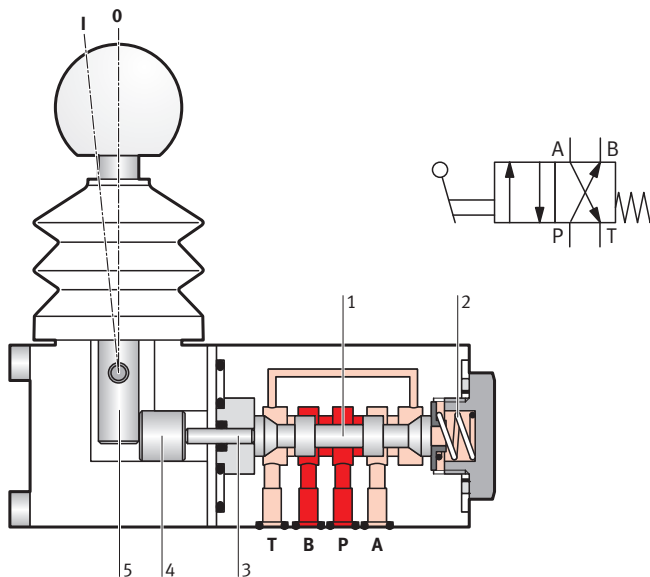


Fig. 8.10: válvula de 4/2 vías de palanca, con reposición por muelle. Vista en corte y símbolo. 1 Émbolo 2 Muelle 3 leva 4 Corredera 5 Palanca

8.6.3 Electroválvula biestable de 4/2 vías, con enclavamiento

Fig. 8.11 y Fig. 8.12 muestran las dos posiciones de conmutación de una electroválvula biestable de 4/2 vías de accionamiento directo. Las posiciones de conmutación cambian al conectar tensión durante unos breves instantes en la bobina correspondiente.

La válvula tiene dos conexiones de utilización A y B, una conexión de presión P y una conexión T hacia el depósito. El electroimán de corriente continua es un imán que conmuta "en aceite". El inducido funciona en el fluido a presión. El inducido está conectado a la conexión del depósito. Si el émbolo de la válvula se encuentra en la posición final izquierda, se abre el paso desde P hacia B y desde A hacia T.

- Activación de la bobina M1: si se conecta tensión durante unos instantes en la bobina M1 del lado izquierdo, el inducido (2) desplaza al émbolo (6) hacia la posición final del lado contrario. Los pasos desde P hacia T y desde B hacia T están abiertos. Esta posición se mantiene aunque no se aplique corriente, gracias a un encastre.
- Activación de la bobina M2: si se conecta tensión durante unos instantes en la bobina M2 del lado derecho, se abre el paso desde P hacia B y desde A hacia T. También esa posición se mantiene.

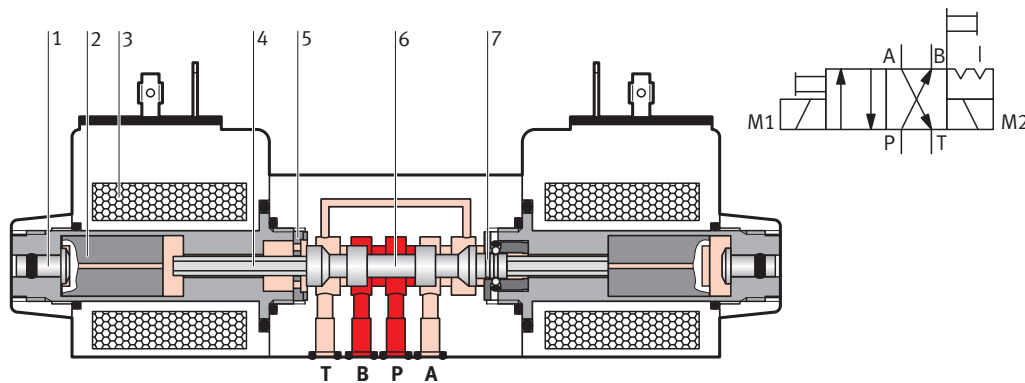


Fig. 8.11: electroválvula biestable de 4/2 vías de accionamiento directo, con enclavamiento. Vista en corte y símbolo. Aplicación de corriente eléctrica en la bobina M2 durante unos breves instantes. 1 Accionamiento manual auxiliar 2 Inducido 3 Bobina 4 Leva 5 Plato del muelle 6 Émbolo 7 Enclavamiento

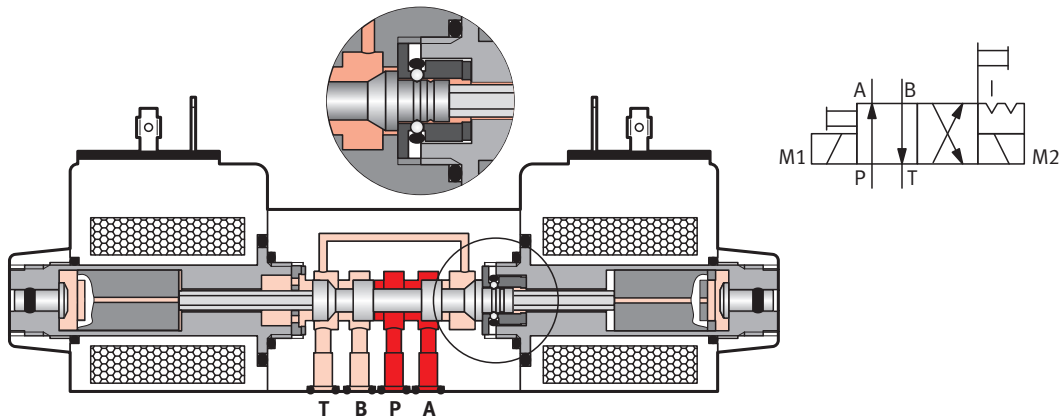


Fig. 8.12: electroválvula biestable de 4/2 vías de accionamiento directo, con enclavamiento. Vista en corte y símbolo. Aplicación de corriente eléctrica en la bobina M1 durante algunos instantes.

- Si no se excita ninguna de las bobinas, el émbolo mantiene su última posición. Lo mismo es válido si se aplica tensión simultáneamente en los dos electroimanes, ya que las fuerzas iguales se anulan entre sí.

Desde fuera no se puede apreciar la posición de conmutación del émbolo de la válvula. Para obtener una determinada posición inicial, es necesario que la válvula reciba un impulso eléctrico en el electroimán correspondiente.

8.7 Válvula de 4/3 vías

La construcción de las válvulas de 4/3 vías es sencilla si es una válvula de corredera, y complicada si es una válvula de asiento. Las válvulas de asiento de 4/3 vías pueden componerse utilizando, por ejemplo, cuatro válvulas individuales de 2 vías.

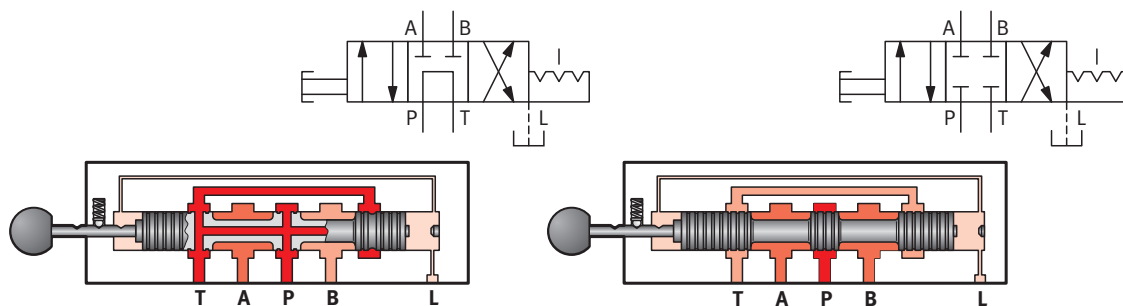
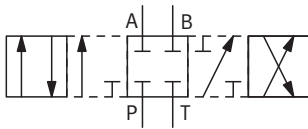


Fig. 8.13: válvula de 4/3 vías, principio de construcción, vistas en corte y símbolos. Izq.: centro en recirculación. Der.: centro cerrado



En el caso de válvulas de 4/3 vías pueden indicarse posiciones intermedias.

Fig. 8.14: posiciones intermedias, ejemplo

Si se utilizan varias cadenas de control, es posible utilizar varias válvulas de 4/3 vías con centro cerrado para controlar cada una de las cadenas. Si es necesario que el sistema listo para funcionar conmute a recirculación, deberá utilizarse adicionalmente una válvula de 2/2 vías.

Aplicación

- Accionamiento de cilindros de doble efecto o de motores (stop, giro horario, giro antihorario).

8.7.1 Electroválvula de 4/3 vías, centrado por muelle, centro cerrado

En las siguientes imágenes se muestran las tres posiciones de conmutación de una electroválvula de 4/3 vías de accionamiento directo, con centro cerrado.

La válvula tiene dos conexiones de utilización A y B, una conexión de presión P y una conexión T hacia el depósito. El electroimán de corriente continua es un imán que conmuta "en aceite". El inducido funciona en el fluido a presión. El inducido está conectado a la conexión del depósito.

- En posición normal, las dos bobinas no reciben corriente y el émbolo se mantiene en la posición central por acción de los dos muelles.
- Si se aplica tensión en la bobina M2 del lado derecho, el émbolo de la válvula se desplaza aplicando presión en el muelle del lado opuesto. Los pasos desde P hacia T y desde B hacia T están abiertos.
- Si se aplica tensión en la bobina M1 de lado izquierdo, el émbolo de la válvula se desplaza hacia el lado opuesto. Se abre el paso desde P hacia B y desde A hacia T.
- Cualquiera de las dos posiciones se mantiene mientras que la correspondiente bobina recibe corriente. Si se interrumpe el flujo de corriente, el émbolo de la válvula vuelve a la posición central.

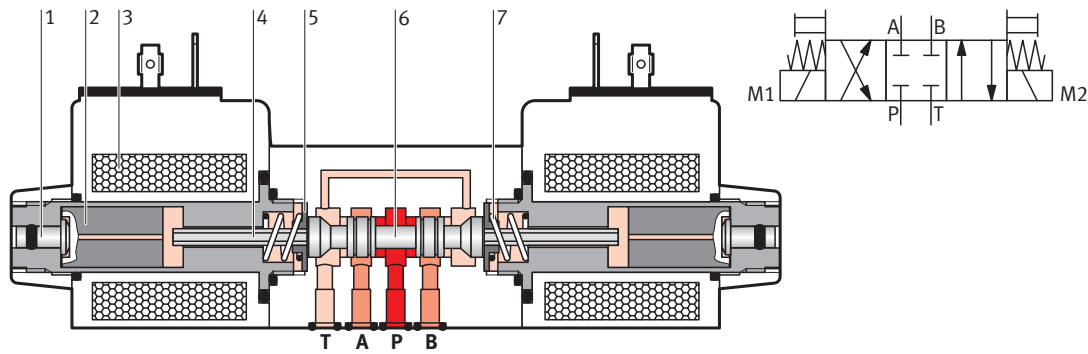


Fig. 8.15: electroválvula de 4/3 vías de accionamiento directo, centro cerrado. Vista en corte y símbolo. 1 Accionamiento manual auxiliar 2 Inducido 3 Bobina 4 Leva 5 Plato del muelle 6 Émbolo 7 Muelle

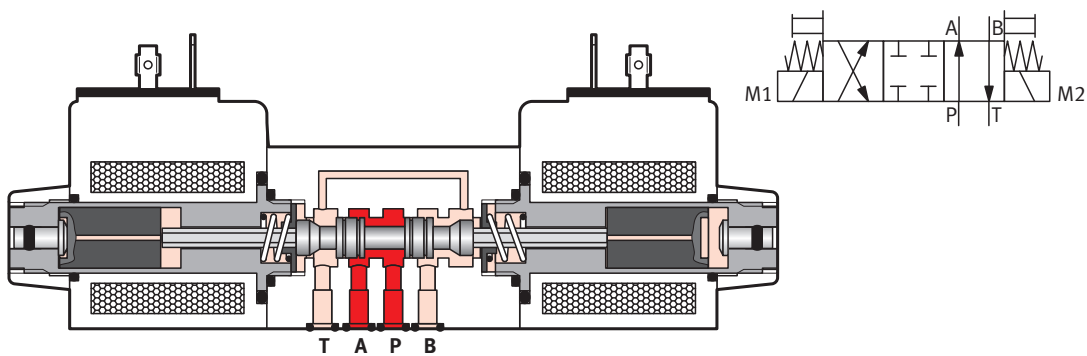


Fig. 8.16: electroválvula de 4/3 vías, de accionamiento directo. Tensión puesta en la bobina M2

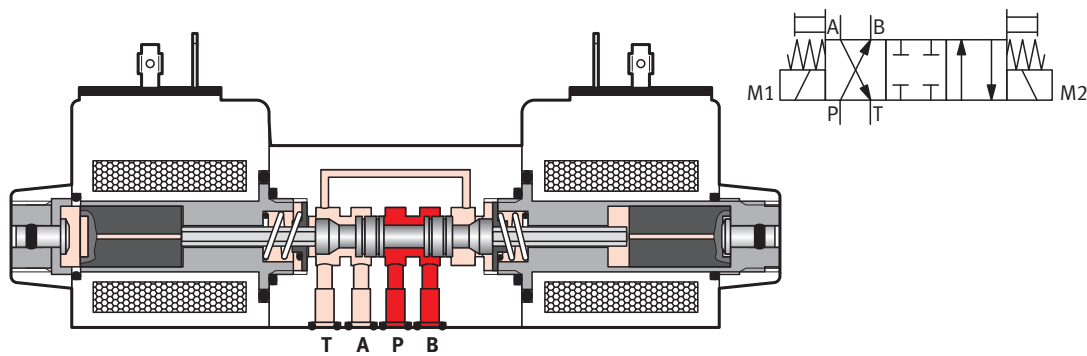


Fig. 8.17: electroválvula de 4/3 vías, de accionamiento directo. Tensión puesta en la bobina M1

8.7.2 Significado de la posición central

Las válvulas distribuidoras con dos posiciones de conmutación (por ejemplo, válvulas de 3/2 o de 4/2 vías) consiguen que un cilindro avance y retroceda. Las válvulas distribuidoras con tres posiciones de conmutación (por ejemplo, válvulas de 4/3 vías) tienen una posición central adicional, por lo que ofrecen más posibilidades para el accionamiento de cilindros. En vez de cilindros, también puede tratarse de motores. Con las válvulas de tres posiciones es posible detener un motor o hacerlo girar en sentido horario o antihorario.

Las posibilidades que ofrecen estas válvulas se explicarán recurriendo al ejemplo de tres válvulas de 4/3 vías con diferentes posiciones centrales. Se analizará el comportamiento del cilindro cuando las válvulas distribuidoras ocupan sus respectivas posiciones centrales.

- **Electroválvula de 4/3 vías con centro cerrado:**
utilizando una válvula de 4/3 vías que bloquea todas las conexiones, el vástago no se mueve. El vástago está inmovilizado aunque no se encuentre en la posición final.
Si se desea que el cilindro mantenga su posición de manera fiable durante un tiempo prolongado, deberá utilizarse, por ejemplo, una electroválvula de 4/3 vías de asiento. Las válvulas de asiento no tienen fugas internas.
- **Electroválvula de 4/3 vías con centro a recirculación:**
utilizando una electroválvula de 4/3 vías que mantiene bloqueadas las conexiones de utilización, el vástago mantiene su posición actual. La bomba sigue funcionando sin presión y el líquido a presión fluye directamente hacia el depósito. No se produce una disipación de potencia.
Este tipo de válvula se utiliza preferentemente para el accionamiento de una unidad consumidora que no ejecuta movimientos constantemente.
- **Electroválvula de 4/3 vías con posición central en h:**
utilizando una electroválvula de 4/3 vías en la que las conexiones de utilización están directamente unidas al depósito, el émbolo del cilindro no aplica fuerza alguna sobre el vástago. El vástago puede moverse libremente.

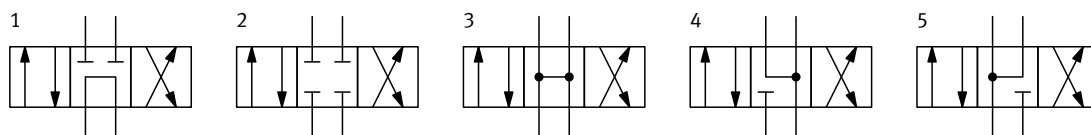


Fig. 8.18: válvulas de 4/3 vías con diferentes posiciones centrales. Símbolos. 1 Centro a recirculación 2 Centro cerrado 3 Centro en H 4 Centro en h (con utilidades a descarga) 5 Centro en h (con utilidades a presión)

8.8 Servopilotaje de una válvula distribuidora

En las válvulas distribuidoras servopilotadas, el émbolo se activa de manera indirecta. Las válvulas servopilotadas están compuestas de una válvula principal accionada por aceite a presión y una válvula auxiliar de accionamiento directo.

El accionamiento de la válvula auxiliar suele estar a cargo directamente de un electroimán. Al conmutar la válvula auxiliar, la señal de control se amplifica hidráulicamente y se desplaza el émbolo de control principal.

La alimentación de la válvula auxiliar puede ser externa o interna.

- Alimentación interna significa que las conexiones P y T están conectadas a los conductos correspondientes de la válvula de mando principal.
- Alimentación externa significa que la conexión P está conectada a la conexión S, mientras que la conexión T está conectada a la conexión Y de la válvula principal.

En la Fig. 8.19 se explica el funcionamiento de la válvula auxiliar de servopilotaje. La válvula auxiliar de servopilotaje tiene la función de dirigir el fluido a presión hacia uno o hacia ambos lados del émbolo de la válvula principal. De esta manera se dispone de fuerzas mucho mayores para controlar el émbolo de la válvula principal que en una versión de accionamiento directo.

8.8.1 Electroválvula servopilotada de 4/3 vías

La Fig. 8.19 muestra un dibujo en sección de una válvula de 4/3 vías servopilotada, de accionamiento eléctrico, con centro cerrado. La válvula es una válvula de corredera. A modo de válvula auxiliar de servopilotaje se utiliza una electroválvula de 4/3 vías con centro en h.

- En posición de reposo, no fluye corriente a través de las bobinas M1 y M2. El émbolo de la válvula principal se mantiene en la posición central por efecto de la fuerza de los muelles (6.1, 6.2). Las cámaras de los muelles (4, 8) están unidas al depósito a través de la válvula auxiliar, sin presencia de presión. La válvula auxiliar de servopilotaje recibe fluido a presión a través de la línea de mando (3).
- Si fluye corriente eléctrica a través de la bobina M2 de la derecha, el émbolo de la válvula auxiliar se mueve hacia la izquierda.

De esta manera la cámara del muelle del lado izquierdo (8) contiene presión de mando, mientras que en la cámara del muelle del lado derecho (4) no hay presión. La presión de mando actúa sobre la superficie izquierda de émbolo de mando principal, desplazándolo hacia la derecha en contra de la fuerza del muelle (6.1) hasta que se topa con la culata. De esta manera, en la válvula principal se establece la conexión entre P y A y entre B y T.

Esta posición de conmutación se mantiene mientras fluye corriente eléctrica a través de la bobina M2.

- Si deja de fluir corriente a través de la bobina M2, el émbolo de la válvula auxiliar de servopilotaje recupera su posición central. De esta manera, la cámara del muelle (8) no contiene presión. El muelle (6.1) puede ahora desplazar el émbolo de mando principal hacia la izquierda, hasta que se topa con el plato del muelle (6.2). El émbolo se encuentra en posición central.

- Si fluye corriente eléctrica a través de la bobina M1 de la izquierda, el émbolo de la válvula auxiliar se mueve hacia la derecha.

De esta manera la cámara del muelle del lado derecho (4) contiene presión de mando, mientras que en la cámara del muelle del lado izquierdo (8) no hay presión. La presión de mando actúa sobre la superficie derecha de émbolo de mando principal, desplazándolo hacia la izquierda en contra de la fuerza del muelle (6.2) hasta que se topa con la culata.

De esta manera se abre el paso desde P hacia B y desde A hacia T en la válvula principal.

Esta posición de conmutación se mantiene mientras fluye corriente eléctrica a través de la bobina M1.

- Si deja de fluir corriente a través de la bobina M1, el émbolo de la válvula auxiliar de servopilotaje recupera su posición central. De esta manera, la cámara del muelle (4) no contiene presión. El muelle (6.2) puede ahora desplazar el émbolo de mando principal hacia la derecha, hasta que se topa con el plato del muelle (6.1). El émbolo se encuentra en posición central.

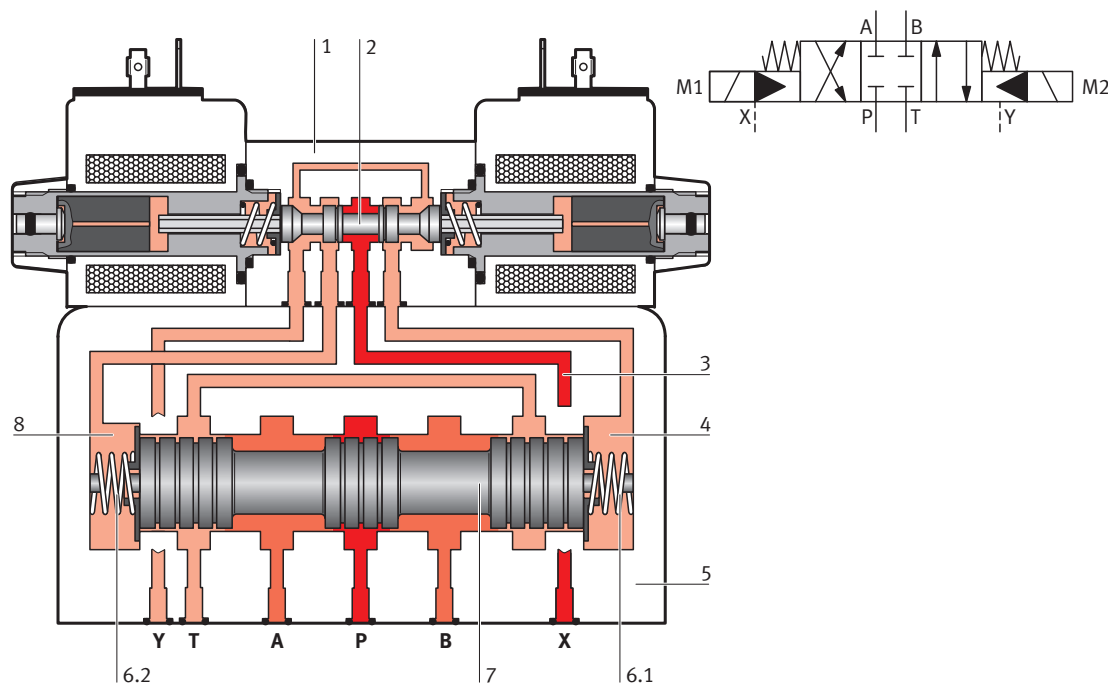


Fig. 8.19: electroválvula servopilotada de 4/3 vías con centro cerrado. Vista en corte y símbolo.

1 Válvula auxiliar de servopilotaje 2 Émbolo de servopilotaje 3 Línea de mando 4 Cámara del muelle del lado derecho 5 Válvula principal 6.1 Muelle del lado derecho 6.2 Muelle del lado izquierdo 7 Émbolo de mando principal 8 Cámara del muelle del lado izquierdo

Para que el émbolo de la válvula principal actúe en contra de la fuerza del muelle, es necesario disponer de una presión de mando mínima. Esta presión mínima necesaria se indica en la documentación técnica de la válvula y, según tipo de válvula, es de aproximadamente 5 bar.

8.8.2 Comparación entre electroválvulas servopilotadas y electroválvulas de accionamiento directo

Las válvulas distribuidoras pueden ser de accionamiento directo o pueden ser servopilotadas. Si una válvula debe ser de accionamiento directo o servopilotada depende principalmente de la fuerza de accionamiento necesaria y, por lo tanto, depende de su tamaño.

En el caso de una **electroválvula de accionamiento directo**, el émbolo de la válvula que controla el flujo hacia la unidad consumidora se mueve debido a la fuerza que aplica directamente el electroimán. La fuerza necesaria para mover el émbolo de la válvula aumenta en la medida en que aumentan el tamaño y el rendimiento de la válvula. Cuanto mayor es la fuerza magnética, tanto mayor es el volumen necesario para su montaje y tanto mayor es el consumo de corriente del electroimán.

A partir de un determinado tamaño del electroimán, ya no es económico el uso de electroválvulas de accionamiento directo. Por lo tanto, las válvulas de accionamiento directo suelen tener un tamaño nominal de máximo 10. Esta limitación es válida tanto en el caso de válvulas de asiento como en el de válvulas de corredera.

En sistemas de mayor rendimiento hidráulico se utilizan **válvulas servopilotadas**. Estas válvulas suelen ser válvulas de corredera. Una válvula servopilotada está compuesta de la válvula principal y una válvula auxiliar de servopilotaje, más pequeña.

El accionamiento de la válvula auxiliar está a cargo directamente de un electroimán. Al conmutar la válvula auxiliar, la señal de control se amplifica hidráulicamente y se desplaza el émbolo de control principal. El electroimán de la válvula auxiliar de servopilotaje únicamente debe generar la fuerza necesaria para controlar la reducida cantidad del fluido de mando.

En comparación con una válvula distribuidora de accionamiento directo, el electroimán de una válvula auxiliar de servopilotaje puede ser mucho más pequeño. Por lo tanto, el consumo de corriente eléctrica y la generación de calor también son menores. La potencia de conexión de válvulas auxiliares de servopilotaje con imán de corriente continua empieza con más o menos 3 W. Estas válvulas pueden activarse directamente por la electrónica de control, por ejemplo con una señal de salida del PLC.

Las válvulas servopilotadas tienen un balance energético favorable. Si se analiza su balance energético hidráulico, puede ser menos favorable que en el caso de las válvulas de accionamiento directo, ya que al definir el caudal debe considerarse adicionalmente el caudal necesario en las válvulas auxiliares de servopilotaje.

Si se comparan los costes y el espacio necesario para el montaje, puede constatarse que las electroválvulas de accionamiento directo ocupan menos espacio y tienen costes más ventajosos que las electroválvulas servopilotadas.

9 Válvulas de antirretorno

Las válvulas de antirretorno bloquean el caudal en un sentido y abren el paso en el sentido opuesto. Considerando que el bloqueo debe ser completamente hermético, estas válvulas siempre son válvulas de asiento. Su funcionamiento es el siguiente:

Un elemento de bloqueo (por lo general una bola o un cono) se presiona contra la correspondiente superficie de asiento. El caudal en el sentido de flujo puede abrir la válvula separando el elemento de bloqueo de su asiento.

Las válvulas de antirretorno pueden ser

- Válvulas de antirretorno simple (con o sin muelle de pre-carga)
- Válvulas de antirretorno bloqueables y desbloqueables

9.1 Válvula de antirretorno simple

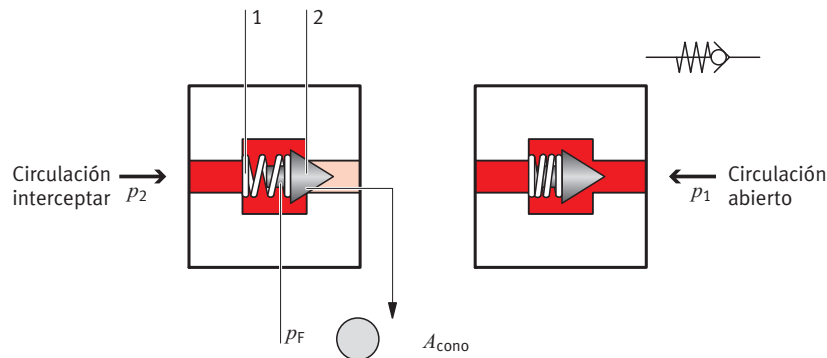


Fig. 9.1: válvula de antirretorno con carga por muelle. Vista en corte y símbolo. 1 Muelle 2 Cono de cierre

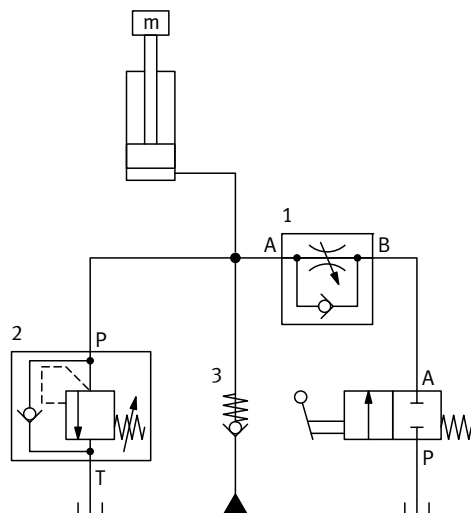
Si en el cono se aplica una presión p_1 , el cono se separa de su asiento y abre el paso si no existe muelle de pre-carga. Para que se separe el cono, debe superarse la contrapresión p_2 .

Considerando que la válvula de antirretorno que se aprecia en la imagen sí tiene un muelle, además de superarse la contrapresión p_2 , tiene que superarse adicionalmente la fuerza que aplica el muelle sobre el cono. El flujo es posible si $p_1 > p_2 + p_F$.

La presión que el muelle aplica sobre el cono se define de la siguiente manera: $p_F = \frac{F_{Muelle}}{A_{Cono}}$.

Aplicación

En la Fig. 9.2 se muestran posibles aplicaciones de válvulas de antirretorno.



- 1 Válvula de antirretorno combinada (válvula de estrangulación y antirretorno)
- 2 Puenteo de una válvula limitadora de presión
- 3 Aseguramiento de una bomba. Al desconectar el motor eléctrico, la presión de carga no puede poner en funcionamiento la bomba en sentido contrario. Los picos de presión que surgen en el sistema no inciden en la bomba, sino que más bien se descargan a través de la válvula limitadora de presión.

Fig. 9.2: válvulas de antirretorno, aplicaciones

9.2 Válvula de antirretorno desbloqueable

En el caso de válvulas de antirretorno desbloqueables, puede abrirse el paso al flujo en el sentido bloqueado abriendo el cono de la válvula. Principio de funcionamiento:

el flujo desde A hacia B es posible, el flujo desde B hacia A está bloqueado.

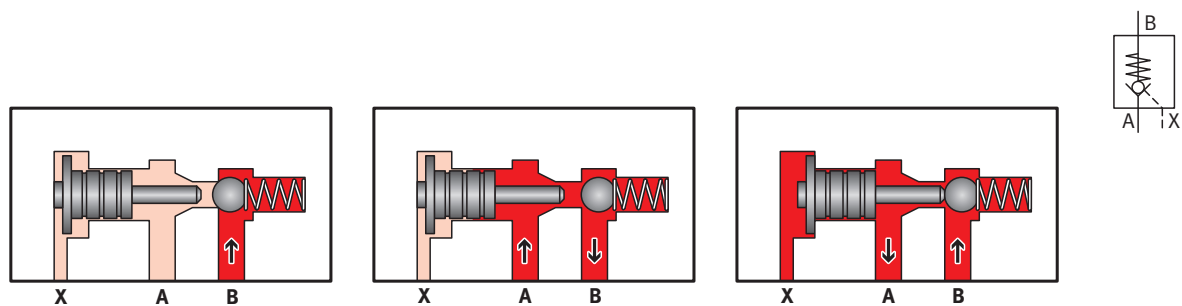


Fig. 9.3: válvula antirretorno desbloqueable. Vistas en corte y símbolo. De izq. a der.: flujo bloqueado desde B hacia A, flujo desde A hacia B, flujo desde B hacia A

Si el caudal debe fluir desde B hacia A, el émbolo de desbloqueo debe separar de su asiento la bola de la válvula. Sobre este émbolo se aplica presión a través de la conexión de control X. Con el fin de desbloquear la válvula de modo fiable, es necesario que la superficie del émbolo de desbloqueo sea mayor que la superficie del elemento de bloqueo. La relación de superficies es desde 3:1 hasta 5:1. Las válvulas de antirretorno desbloqueables también se ofrecen con predescarga.

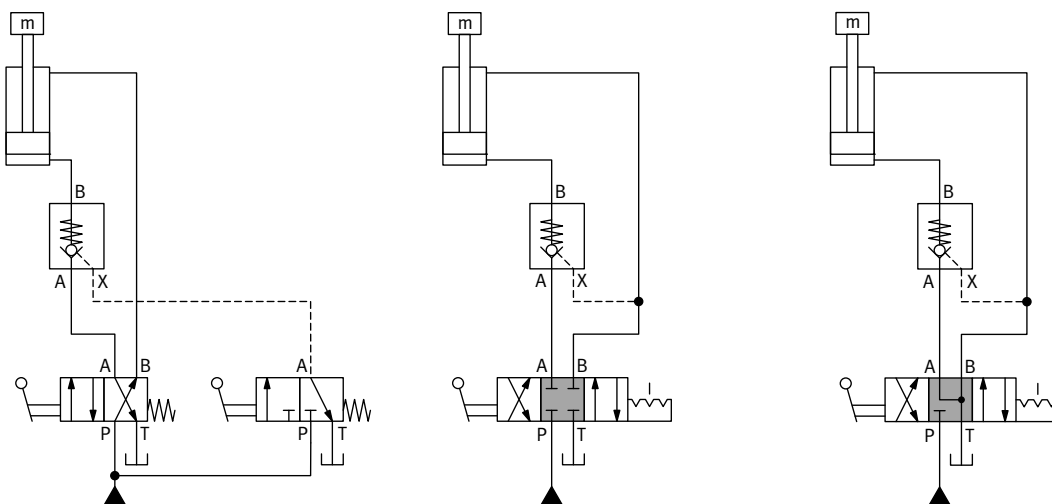


Fig. 9.4: válvula de antirretorno. Esquemas de distribución.

Función

Los ejemplos de esquemas de distribución de la Fig. 9.4 explican el funcionamiento de una válvula de antirretorno desbloqueable, incluida en un sistema de control hidráulico.

La válvula de 3/2 vías bloquea el flujo del fluido cuando se encuentra en su posición normal, mientras que el paso está abierto en la válvula de 4/2 vías que se encuentra en el lado del vástago. El vástago no retrocede, ya que la válvula de antirretorno bloquea el paso. Al accionar la válvula de 3/2 vías, se aplica presión en el émbolo de desbloqueo, y se abre el elemento bloqueador de la válvula de antirretorno. De esta manera es posible que el líquido fluya desde la cámara del lado del émbolo hacia el depósito a través de la válvula de 4/2 vías.

Al accionar la válvula de 4/2 vías, el líquido fluye hacia el cilindro a través de la válvula de antirretorno, y el vástago avanza. Una válvula de antirretorno desbloqueable abierta únicamente se cierra si el fluido de mando puede fluir desde la conexión de mando hacia el depósito.

Por lo tanto, el uso de una válvula de antirretorno desbloqueable supone la inclusión de una válvula de 4/3 vías con centro de "descarga de las conexiones de utilización. Considerando esa función de la posición central, está abierto el paso desde A y B hacia T, mientras que la conexión P está bloqueada. Tanto la conexión de mando X como la conexión B de la válvula de antirretorno no tienen carga. Por lo tanto, el cilindro se detiene inmediatamente.

9.3 Válvula de antirretorno doble desbloqueable

Utilizando una válvula de antirretorno doble desbloqueable, el émbolo del cilindro puede posicionar fiablemente una carga, a pesar de las fugas internas. Sin embargo, este posicionamiento fiable únicamente es posible si el cilindro está apoyado. Si se trata de un cilindro colgante o de un cilindro de doble vástago, no es posible realizar una tarea de posicionamiento utilizando una válvula de antirretorno doble desbloqueable.

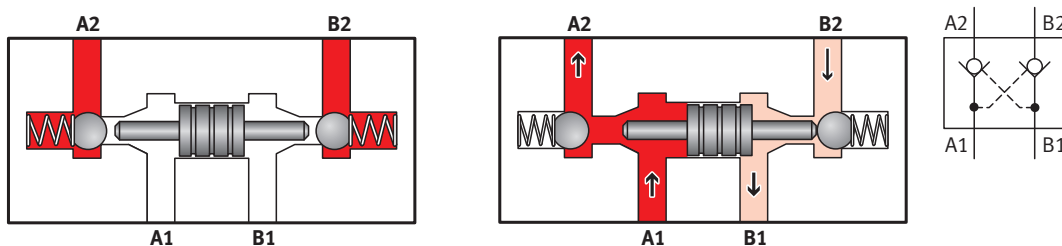


Fig. 9.5: válvula de antirretorno doble desbloqueable. Vistas en corte y símbolo. Izq.: bloqueada. Der.: desbloqueada

Función

El paso puede estar abierto entre A1 y A2 y, respectivamente, desde B1 hacia B2. El flujo desde A2 hacia A1 y, respectivamente, desde B2 hacia B1 está bloqueado. Si el fluido fluye desde A1 hacia A2, el émbolo de mando se desplaza hacia la derecha, y el cono de la válvula se separa de su asiento. Por lo tanto, se abre el paso desde B2 hacia B1. El funcionamiento de la válvula es equivalente en el caso de abrirse el paso desde B1 hacia B2.

10 Válvulas de caudal

Las válvulas de caudal se utilizan para disminuir la velocidad de un cilindro o para reducir las revoluciones de un motor. Considerando que las dos magnitudes dependen del caudal, éste deberá reducirse. Pero debe tenerse en cuenta que las bombas constantes alimentan un caudal constante.

Las válvulas de caudal se clasifican según su función de control o regulación:

- Válvulas de control de caudal
- Válvulas reguladoras de caudal

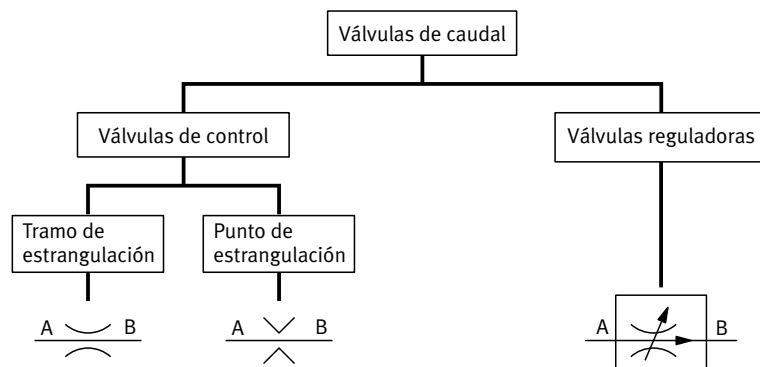


Fig. 10.1: válvulas de control o regulación de caudal. Cuadro general

10.1 Válvulas con tramos o puntos de estrangulación

Para regular el caudal se utilizan válvulas con tramos o puntos de estrangulación. Estas válvulas ofrecen una resistencia al flujo. La resistencia depende de la sección transversal del flujo, de su forma geométrica y de la viscosidad del fluido a presión. Al pasar por la zona de resistencia al flujo, se produce una reducción de la presión debido a la fricción y al aumento de la velocidad de flujo. La caída de presión atribuible a la fricción puede disminuirse considerablemente mediante la geometría de la zona de estrangulación. Para obtener la resistencia deseada mediante un punto (orificio) de estrangulación, debe crearse turbulencia aumentando la velocidad de flujo.

De esta manera, la resistencia está determinada por la turbulencia, con lo que la regulación es **independiente de la viscosidad**. Por esta razón se utiliza este tipo de válvulas de estrangulación siempre que es necesario que no incida la temperatura y, por lo tanto, la viscosidad. Por ejemplo, en aparatos de medición del caudal.

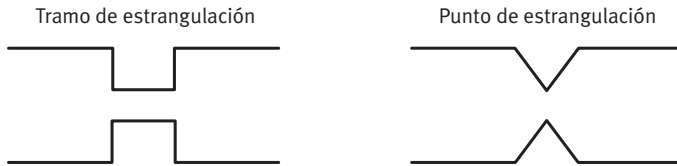


Fig. 10.2: tramo y punto de estrangulación. Representación esquemática.

En muchos sistemas de control es necesario que se produzca cierta reducción de la presión. Con ese fin se utilizan válvulas reguladoras de caudal. Estas válvulas de estrangulación regulan el caudal junto con una válvula limitadora de presión.

La disminución del caudal que fluye hacia el componente de accionamiento se consigue según el siguiente principio (ver Fig. 10.3):

Al reducirse el paso a través de la válvula de caudal, aumenta la presión delante de ella. Esta presión tiene como consecuencia que se abra la válvula limitadora de presión, por lo que se produce un reparto del caudal. Debido a esta bifurcación del caudal se logra que fluya la cantidad necesaria hacia el elemento de trabajo (considerando sus revoluciones o su velocidad), mientras que el excedente fluye a través de la válvula limitadora de presión. Este excedente de caudal fluye a través de la válvula limitadora de presión manteniendo su máxima presión, lo que redundará en una gran pérdida de energía. Para ahorrar energía, pueden utilizarse bombas regulables. En ese caso, el aumento de presión actúa sobre el dispositivo de regulación de la bomba.

El caudal parcial que fluye a través de la zona de estrangulación depende de la diferencia de presión Δp . La relación entre Δp y el caudal $q_{\text{consumidor}}$ se expresa de la manera siguiente:

$$\Delta p \approx q_{\text{consumidor}}^2$$

La presión del fluido que circula hacia la válvula se mantiene constante mediante la válvula limitadora de presión. Al cambiar la carga de la unidad consumidora, cambia la diferencia de presión Δp . Por lo tanto, cambia el caudal hacia la unidad consumidora.

Las válvulas estranguladoras actúan en función de la carga.

Ello significa que no son apropiadas para ajustar un caudal constante si cambia la carga.

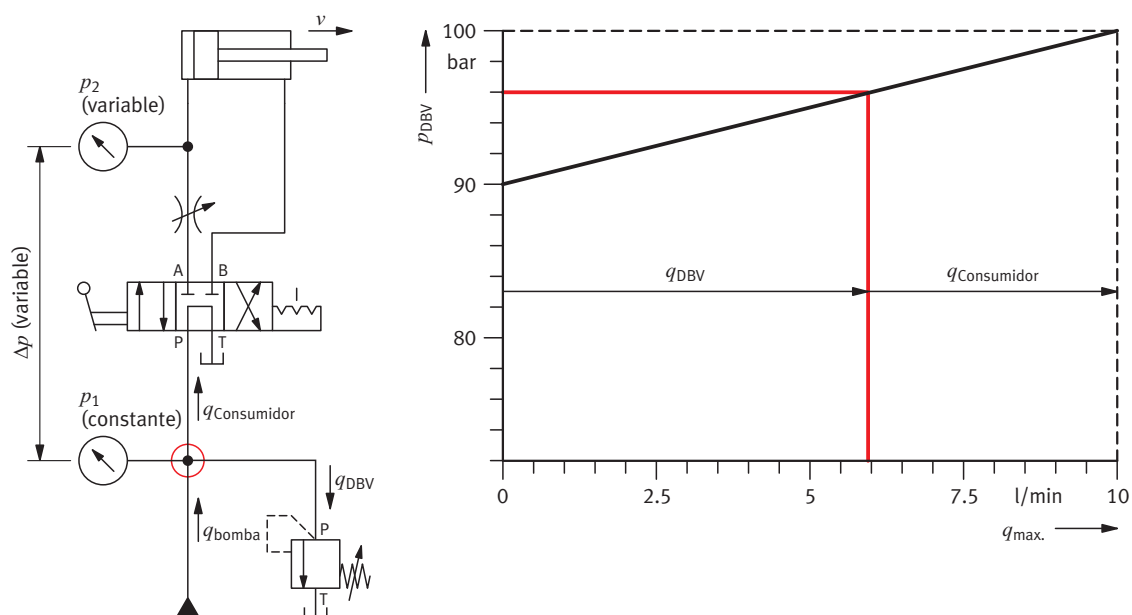


Fig. 10.3: válvula estranguladora. Principio de división del caudal. Izq.: esquema de distribución, círculo rojo. Der.: línea característica

Válvulas reguladoras de caudal ajustables

Factores a tener en cuenta en válvulas reguladoras ajustables:

- Creación de una resistencia
- Resistencia sin variación al cambiar la temperatura del fluido a presión (es decir, independencia de la viscosidad)
- Ajuste fino (la precisión del ajuste de una válvula reguladora también depende de la relación entre la superficie de la sección sin estrangulación y la superficie de la sección de estrangulación)
- Construcción de coste favorable

El cumplimiento de estos criterios varía según el tipo de construcción de las válvulas reguladoras de caudal.

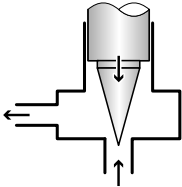
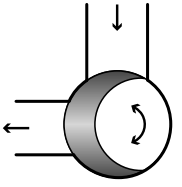
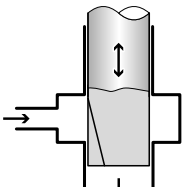
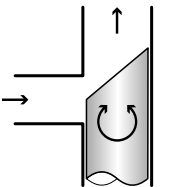
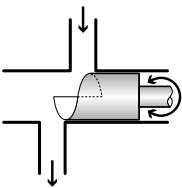
Construcción	Resistencia	Dependencia de la viscosidad	Posibilidad de ajuste	Construcción
 Estrangulador de aguja	Aumento de la velocidad, mucha fricción debido a la longitud de la zona de estrangulación	Gran dependencia, debido alto nivel de fricción	Ampliación de la sección desfavorablemente grande, mínimo recorrido de ajuste, relación desfavorable entre superficie y circunferencia	Bajo coste, construcción sencilla
 Disco estrangulador	Igual que en el tipo anterior	Igual que en el tipo anterior, aunque menor que en el caso del estrangulador de aguja	Aumento más uniforme de la sección, relación homogénea entre superficie y perímetro, recorrido total de sólo 90°	Coste favorable, construcción sencilla, aunque más complicada que la del estrangulador de aguja
 Estrangulador longitudinal	Igual que en el tipo anterior	Igual que en el tipo anterior	Igual que en el tipo anterior, aunque ajuste más fino debido al mayor recorrido de ajuste	Igual que en el tipo anterior
 Estrangulador de ranura	Aumento de la velocidad, bajo nivel de fricción, tramo de estrangulación corto	Baja	Poco eficiente, aumento homogéneo de la sección, recorrido de ajuste de 180°	Coste ventajoso
 Estrangulador de ranura con espiral	Aumento de la velocidad, bajo nivel de fricción	Baja	Ajuste fino, ampliación homogénea de la sección, recorrido de ajuste de 360°	Costoso debido a la fabricación de la espiral

Tabla 10.1: válvulas reguladoras ajustables

10.2 Válvula de estrangulación y antirretorno

Las válvulas de estrangulación y antirretorno con efecto de estrangulación únicamente en un sentido son una combinación de válvula de estrangulación y válvula de antirretorno. La válvula de estrangulación controla el caudal en un sentido de movimiento en función de la carga. En sentido contrario está completamente abierto el paso, por lo que el movimiento de retroceso puede realizarse aprovechando la totalidad del caudal proveniente de la bomba.

Funcionamiento

El caudal del líquido sometido a presión se estrangula en el sentido de flujo desde A hacia B. Al igual que en el caso de una válvula de estrangulación, se produce una derivación del caudal. De esta manera se reduce el caudal que fluye hacia el actuador, por lo que también disminuye la velocidad.

En sentido contrario (desde B hacia A) no se estrangula el caudal, dado que el cono de bloqueo de la válvula de antirretorno está separado de su asiento, por lo que el paso está abierto completamente.

En las válvulas de estrangulación y antirretorno regulables es posible ampliar o reducir la sección de paso.

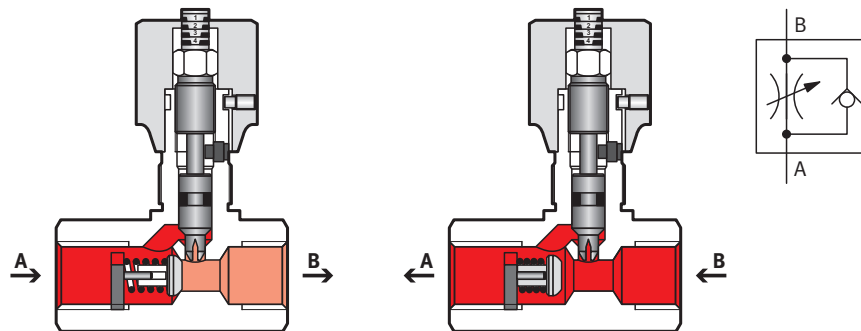


Fig. 10.4: válvula de estrangulación y antirretorno. Vistas en corte y símbolo.

10.3 Válvulas reguladoras de caudal

Al igual que en caso de las válvulas estranguladoras, existe una relación entre la caída de presión Δp y el caudal q ($q: \Delta p \sim q^2$). Si es necesario que el caudal hacia la unidad consumidora no varíe aunque cambie la carga, debe mantenerse constante la caída de presión Δp a través de la zona de estrangulación.

Por esta razón, una válvula reguladora de caudal incluye un estrangulador ajustable (2) para obtener el caudal necesario y, además, un segundo estrangulador (1) (regulador o, también, equilibrador de presión) que cambia su resistencia según la presión que se aplica en la entrada o la salida de la válvula, de manera que la diferencia de presión se mantiene constante en el estrangulador ajustable (2). La derivación del caudal se debe a la resistencia total de los dos estranguladores y a la resistencia ofrecida por la válvula limitadora de presión.

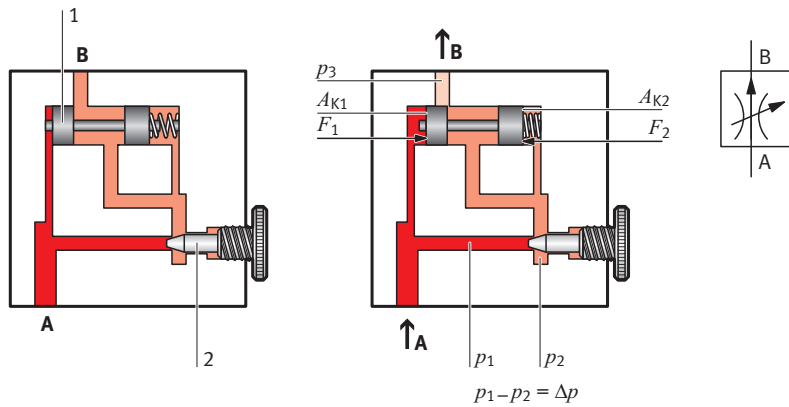


Fig. 10.5: válvula reguladora de caudal de dos vías. Esquema de construcción, vistas en corte y símbolo. 1 estrangulador regulador 2 Estrangulador ajustable

El estrangulador regulador (1) puede estar montado delante o detrás del estrangulador ajustable (2). La válvula está abierta en su posición normal. Cuando el fluido circula a través de la válvula, se obtiene la presión de entrada p_1 delante del estrangulador ajustable. En el estrangulador ajustable se produce una caída de presión Δp , es decir: $p_2 < p_1$. Para que el estrangulador regulador se mantenga en equilibrio, es necesario incluir un muelle en el lado F_2 .

Con este muelle se consigue una diferencia de presión constante en el estrangulador de ajuste. Si la unidad consumidora aplica una carga en la salida de la válvula, el estrangulador de regulación reduce esa resistencia de manera equivalente al aumento de la carga.

En funcionamiento sin carga, el estrangulador de regulación se mantiene en equilibrio con la ayuda del muelle. La válvula aplica una resistencia determinada que se ajusta con el estrangulador de ajuste en función del caudal.

Si **aumenta** la presión p_3 en la **salida** de la válvula, también aumenta la presión p_2 . De esta manera cambia la diferencia de presión en el estrangulador de ajuste. Al mismo tiempo, p_2 actúa sobre la superficie del émbolo A_{K2} . La fuerza correspondiente y la fuerza del muelle actúan sobre el estrangulador de regulación. El estrangulador regulador abre el paso hasta que se vuelve a establecer el equilibrio entre las fuerzas F_1 y F_2 , restableciéndose de ese modo el valor original de la diferencia de presión en el estrangulador de ajuste.

En las válvulas reguladoras de caudal de 2 vías, al igual que en las válvulas de estrangulación, el excedente de caudal es descargado hacia el depósito a través de la válvula limitadora de presión.

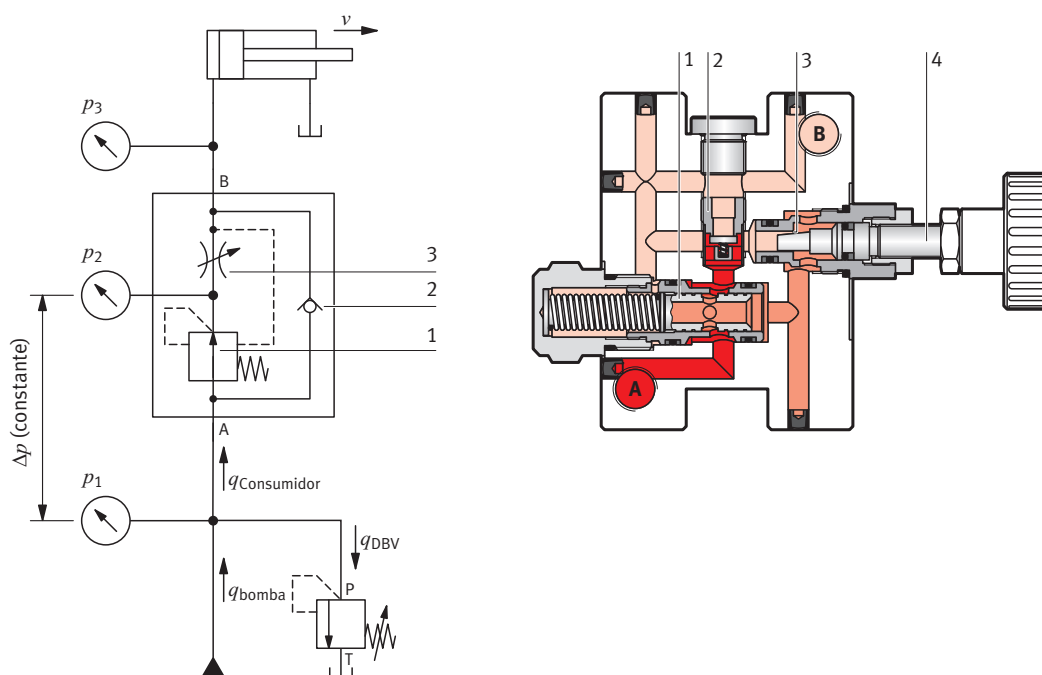


Fig. 10.6: válvula reguladora de caudal de 2 vías. Esquema de distribución y vista en corte. 1 Estrangulador de regulación 2 Válvula de antirretorno 3 Estrangulador de ajuste 4 Tornillo de ajuste

Si la presión p_3 **disminuye** en la **salida** de la válvula, aumenta la diferencia de presión Δp . Por lo tanto también disminuye la presión que actúa sobre la superficie del émbolo A_{K2} , lo que tiene como consecuencia que la fuerza F_1 es superior a la fuerza F_2 . El estrangulador de regulación se cierra hasta que se restablece el equilibrio entre las fuerzas F_1 y F_2 .

Esa misma función de regulación también surte efecto si cambian las presiones de entrada. Si cambian la presión de entrada, Δp se mantiene constante a través del estrangulador de ajuste. Por lo tanto, también se mantiene constante el caudal hacia la unidad consumidora.

Funciones del estrangulador de regulación

Tal como se describió antes, el estrangulador de regulación tiene la función de compensar los cambios de carga en la entrada y en la salida regulando la resistencia ofrecida al caudal y, en consecuencia, mantener constante la diferencia de presión en el estrangulador de ajuste. Esto significa que en el émbolo de regulación debe existir un equilibrio de fuerzas para que sea posible regular cuando se producen cambios de carga. Es decir, es necesario que $F_1 = F_2$. F_1 depende de la superficie A_{K1} y de la presión p_1 . F_2 depende de la superficie A_{K2} (que es igual que la superficie A_{K1}) y de la presión p_2 .

Considerando que la presión p_2 es menor en función de la resistencia que ofrece el estrangulador de ajuste, debe incluirse un muelle de compensación.

Considerando las ecuaciones $F_1 = F_2$, $A_{K1} = A_{K2}$ y $F_1 = A_{K1} \cdot p_1$, $F_2 = A_{K2} \cdot p_2 + F_F$, se obtiene que la fuerza del muelle debe ser $F_F = (p_1 - p_2) \cdot A_{K1}$.

Esto significa que la fuerza constante del muelle F_F es igual al producto de diferencia de presión Δp por la superficie del émbolo A_{K1} . Esta diferencia de presión en el estrangulador de ajuste siempre se mantiene constante, tal como lo demuestran los siguientes ejemplos.

Observación

Para que la válvula reguladora de caudal funcione en la medida de lo posible de manera independiente de la viscosidad, los estranguladores de ajuste utilizados en aplicaciones industriales suelen tener un tramo de estrangulación mínimo y ajustable.

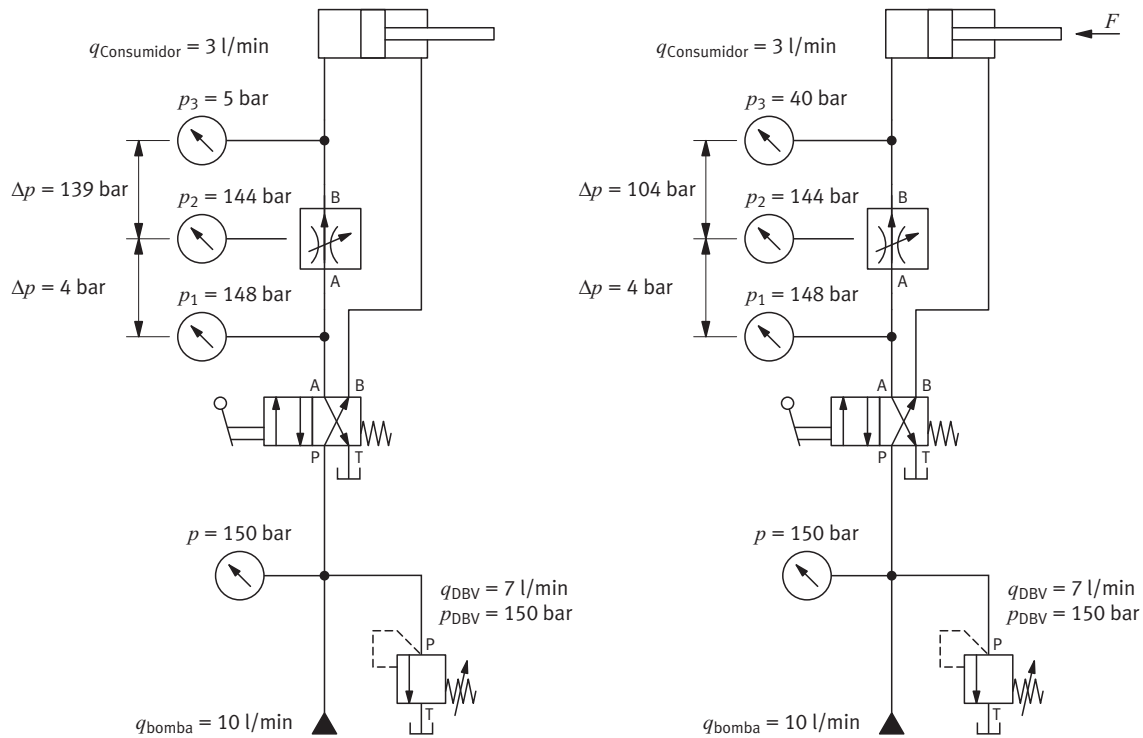


Fig. 10.7: válvula reguladora de caudal de 2 vías. Izq.: carga de la unidad consumidora (sin carga). Der.: carga de la unidad consumidora (con carga)

Las válvulas reguladoras de caudal de 2 vías pueden utilizarse para regular la alimentación o el escape, así como para regular el flujo en una derivación. Desventaja de la regulación en una derivación tipo bypass: la irregularidad del caudal proveniente de la bomba, causada por oscilaciones de las revoluciones, incide en la cantidad del caudal que debe regularse.

Utilizando válvulas reguladoras de caudal de 2 vías se obtiene un caudal constante aunque varíen las cargas. Considerando esta característica, se obtienen dos aplicaciones posibles (ejemplos):

- Carro que debe funcionar con una velocidad de avance constante ajustable, aunque varíe la carga de trabajo.
- Unidades elevadoras en las que debe limitarse con precisión la velocidad de descenso.

11 Válvulas proporcionales

11.1 Construcción y funcionamiento de un electroimán proporcional

11.1.1 Construcción de un electroimán proporcional

Un electroimán proporcional se basa en los imanes de conmutación que se utilizan en sistemas electrohidráulicos para el accionamiento de válvulas distribuidoras. La corriente eléctrica fluye a través de la bobina del electroimán, generando un campo magnético. El campo magnético aplica una fuerza orientada hacia la derecha sobre el inducido. El inducido tiene un apoyo móvil. Esa fuerza se aprovecha para el accionamiento de una válvula.

El inducido, el tubo polarizado y el cuerpo de un electroimán proporcional son de un material fácilmente magnetizable (aleación magnética blanda). En comparación con las bobinas de conmutación, los electroimanes proporcionales tienen un cono de mando de forma diferente. Este cono es de material no magnetizable e incide en la forma de las líneas de flujo del campo magnético.

11.1.2 Funcionamiento de un electroimán proporcional

Mediante la configuración apropiada de las partes de aleación magnética blanda y del cono de mando, se obtienen, en términos generales, las siguientes características:

- La fuerza aumenta proporcionalmente a la corriente. Esto significa que una duplicación de la corriente eléctrica provoca una duplicación de la fuerza que actúa sobre el inducido.
- En la zona de trabajo de un electroimán proporcional, la fuerza no depende de la posición del inducido.

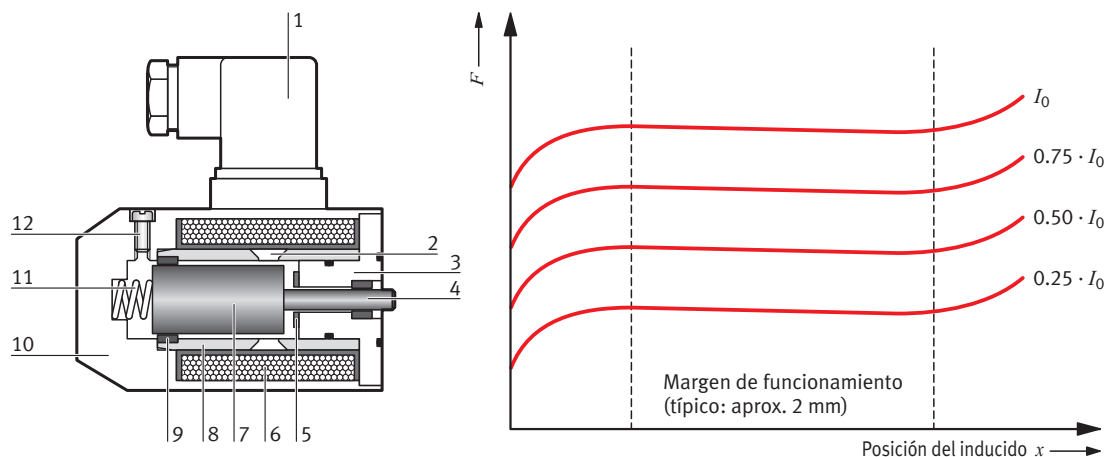


Fig. 11.1: construcción y líneas características de un electroimán proporcional. 1 Conexión eléctrica 2 Anillo intermedio no magnético / Cono de mando 3 Núcleo 4 Guía (leva) 5 Disco de tope 6 Bobina de excitación 7 Inducido 8 Tubo polarizado 9 Guía deslizante 10 Cuerpo 11 Muelle de compensación 12 Tornillo de escape de aire

El electroimán proporcional de una válvula proporcional actúa contra un muelle. El muelle genera la fuerza de reposición. En los dos diagramas de las líneas características de un electroimán proporcional se incluye adicionalmente la línea característica del muelle. Cuanto más se desplaza el inducido hacia el lado derecho, tanto mayor es la fuerza del muelle.

- Si la corriente es pequeña, la fuerza que se aplica en el inducido también es pequeña. En esas circunstancias, el muelle está casi completamente distendido (Fig. 11.2 a, c).
- Al aumentar la corriente eléctrica, también aumenta la fuerza que se aplica sobre el inducido. El inducido se desplaza hacia la derecha y comprime el muelle (Fig. 11.2 b, d).

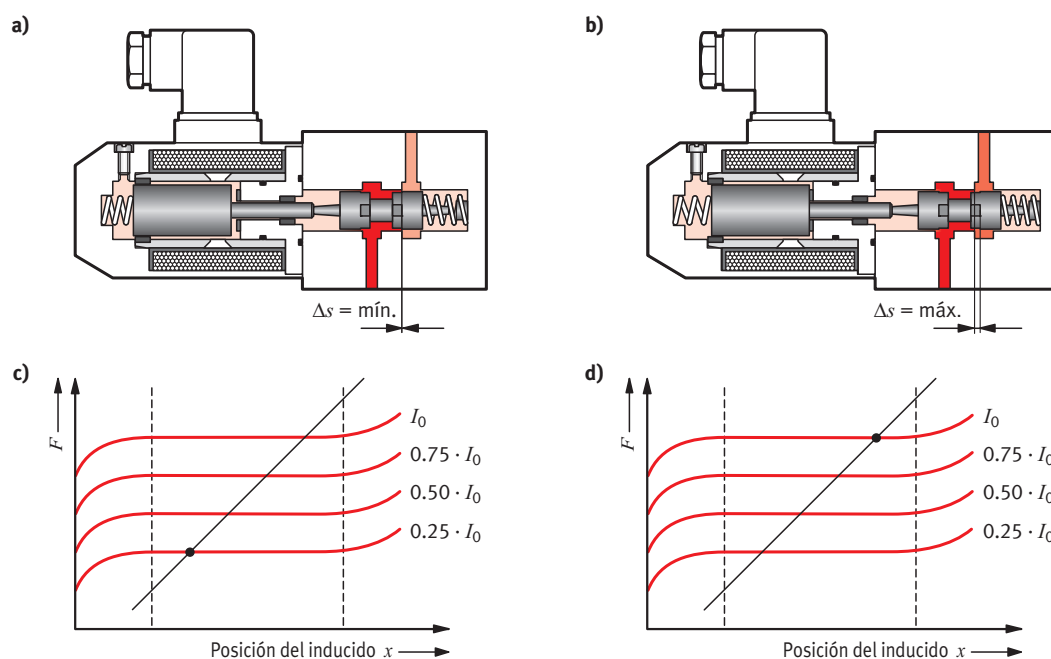


Fig. 11.2: comportamiento de un electroimán proporcional con diferentes corrientes eléctricas

11.1.3 Accionamiento de válvulas reguladoras de presión, válvulas reguladoras de caudal y válvulas distribuidoras.

En el caso de las válvulas reguladoras de presión, el muelle se encuentra entre el electroimán proporcional y el cono de mando.

- Si la corriente eléctrica es pequeña, la pretensión del muelle es mínima. La válvula abre el paso a partir de una presión muy pequeña.
- Cuanto mayor es la corriente eléctrica aplicada en el electroimán proporcional, tanto mayor es la fuerza que se aplica sobre el inducido. El inducido se desplaza hacia la derecha y aumenta la pretensión del muelle. La presión con la que abre la válvula aumenta proporcionalmente a la fuerza de pretensión del muelle, es decir, proporcionalmente a la posición del inducido y a la corriente eléctrica.

En el caso de válvulas reguladoras de caudal y de válvulas distribuidoras, la corredera de mando se encuentra entre el electroimán proporcional y el muelle.

- Si la corriente eléctrica es pequeña, el muelle se comprime muy poco. La corredera se encuentra en el extremo del lado izquierdo. La válvula está cerrada.
- Al aumentar la corriente que fluye a través del electroimán proporcional, la corredera se desplaza hacia la derecha. La apertura de la válvula y el caudal aumentan.

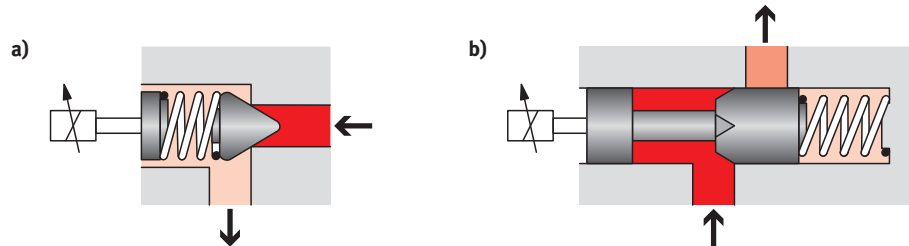


Fig. 11.3: posición de montaje del muelle recuperador. a) En válvulas reguladoras de presión b) En válvulas reguladoras de caudal y en válvulas distribuidoras

11.1.4 Regulación de la posición del inducido

Los efectos de magnetización, la fricción y las fuerzas del caudal inciden en el comportamiento de la válvula proporcional. Estas magnitudes tienen como consecuencia que la posición del inducido no sea exactamente proporcional a la corriente eléctrica.

Mediante un sistema de regulación de la posición del inducido se obtiene un grado de precisión considerablemente mayor.

- La posición del inducido se mide utilizando un sistema de medición inductivo.
- La señal de medición se compara con la señal de entrada.
- Se amplifica la diferencia entre la señal de entrada y la señal de medición.
- Se genera una corriente eléctrica I que actúa sobre el electroimán proporcional.
- El electroimán proporcional genera una fuerza que cambia la posición del inducido de tal manera que disminuye la diferencia entre la señal de entrada y la señal de medición.

El electroimán proporcional y el sistema de medición de recorrido forman una sola unidad que está embridada a la válvula.

11.2 Construcción y funcionamiento de válvulas proporcionales reguladoras de presión

Con una válvula proporcional reguladora de presión puede regularse la presión en un sistema hidráulico mediante una señal eléctrica.

11.2.1 Válvula limitadora de presión

En la Fig. 11.4 se muestra una válvula servopilotada, limitadora de presión. Esta válvula consta de una válvula auxiliar de asiento y de una válvula principal de corredera. La presión en la conexión P actúa sobre el cono de servopilotaje a través del taladro de la corredera de mando. El electroimán proporcional aplica una contrafuerza regulable eléctricamente.

- Si la fuerza del electroimán proporcional es superior a la fuerza generada por la presión en la conexión P, la válvula auxiliar permanece cerrada. La corredera de mando de la válvula principal mantiene su posición inferior debido a la fuerza que aplica el muelle. El caudal es igual a cero.
- Si la fuerza generada por la presión es superior a la fuerza de cierre del cono de servopilotaje, éste se abre. De esta manera se produce un pequeño caudal que fluye desde la conexión P hacia el depósito a través de la conexión Y. El flujo provoca una caída de presión en el interior de la corredera de mando a través del estrangulador. De esta manera, la presión en el lado superior de la corredera de mando es menor que la presión en su lado inferior. La diferencia de presión genera la fuerza resultante. La corredera de mando se desplaza hacia arriba hasta que el muelle de reposición compensa la fuerza. El flanco de mando de la válvula principal se abre, de manera que se abre la conexión entre P y T. El fluido a presión fluye hacia el depósito a través de la conexión T.

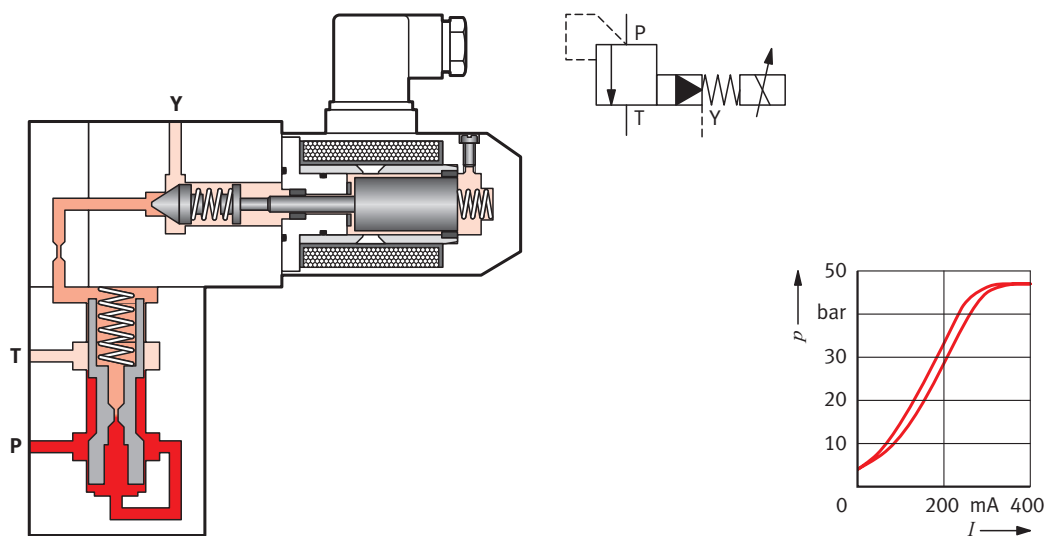


Fig. 11.4: válvula proporcional servopilotada, limitadora de presión. Vista en corte, símbolo y línea característica

11.2.2 Válvula reductora de presión

En la Fig. 11.5 se muestra una válvula servopilotada de 2 vías, reductora de presión. La válvula auxiliar es una válvula de asiento, mientras que la válvula principal es una válvula de corredera. La presión en la conexión A (conexión hacia la unidad consumidora) actúa sobre el cono de servopilotaje a través del taladro de la corredera de mando. La contrafuerza se ajusta mediante el electroimán proporcional.

- Si la presión en la conexión A es inferior al valor ajustado, el servopilotaje se mantiene cerrado. La presión es la misma a ambos lados de la corredera de mando. La corredera de mando se desplaza hacia abajo debido a la fuerza del muelle. El flanco de mando de la válvula principal está abierto. El fluido a presión puede circular libremente desde la conexión P hacia la conexión A.
- Si la presión en la conexión A supera el valor ajustado previamente, la válvula auxiliar abre el paso, de manera que un pequeño caudal fluye hacia la conexión Y. La presión disminuye en la corredera de mando a través del estrangulador. Disminuye la fuerza que actúa sobre el lado superior de la corredera de mando, y la corredera de mando se desplaza hacia arriba. Se reduce la sección de paso. Por lo tanto, aumenta la resistencia hidrodinámica del flanco de control entre la conexión P y la conexión A. Disminuye la presión en la conexión A.

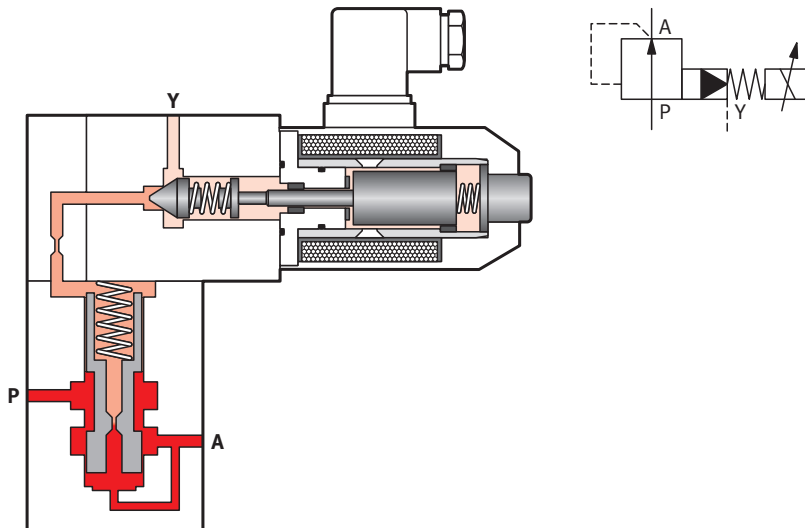


Fig. 11.5: válvula proporcional servopilotada, reductora de presión. Vista en corte y símbolo.

11.3 Construcción y funcionamiento de válvulas proporcionales reguladoras de caudal y de válvulas distribuidoras

11.3.1 Válvulas proporcionales, reguladoras de caudal

Para modificar el caudal en un sistema hidráulico se utiliza una válvula proporcional con sección de estrangulación. La construcción de una válvula proporcional reguladora de caudal es similar a la de una válvula de 2/2 vías o de 4/2 vías. En el caso de las válvulas proporcionales reguladoras de caudal de accionamiento directo (Fig. 11.6), el electroimán proporcional actúa directamente sobre la corredera de mando.

- Si la corriente eléctrica que fluye a través del electroimán proporcional es pequeña, los dos flancos de control están cerrados.
- Cuanto mayor es la corriente eléctrica aplicada en el electroimán proporcional, tanto mayor es la fuerza que se aplica sobre la corredera. La corredera se desplaza hacia la derecha, abriendo los flancos de control.

La corriente que fluye a través del electroimán y el desplazamiento de la corredera son proporcionales entre sí.

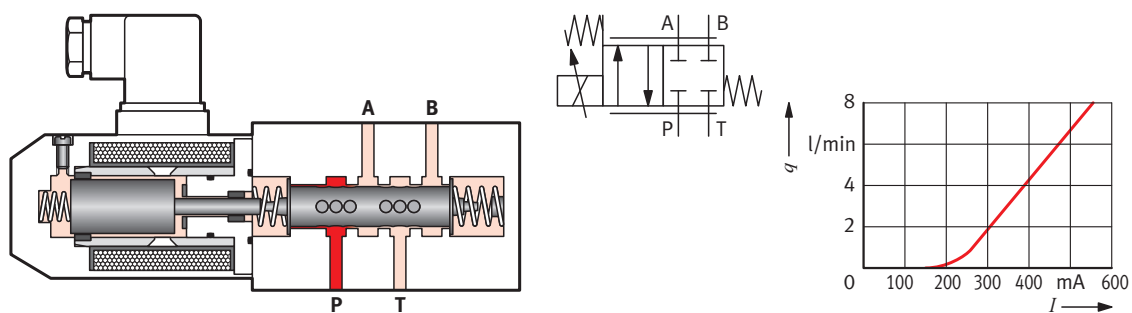


Fig. 11.6: válvula proporcional reguladora de caudal, de accionamiento directo, sin regulación de posiciones. Vista en corte, símbolo y línea característica

11.3.2 Válvula posicionadora, de accionamiento directo

La construcción de una válvula posicionadora se asemeja a la de una válvula de 4/3 vías. Esta válvula combina dos funciones:

- Estrangulador ajustable eléctricamente (igual que en una válvula proporcional reguladora de caudal)
- Unión de las conexiones de las unidades consumidoras con P o bien con T (igual que en una válvula de 4/3 vías).

En la fig. 11.7 se muestra una válvula posicionadora de accionamiento directo.

- Si la señal eléctrica es igual a cero, no fluye corriente a través de ninguno de los dos electroimanes. La corredera se mantiene centrada por efecto de los muelles. Todos los flancos de control están cerrados.
- Si se aplica una tensión negativa en la válvula, fluye corriente a través del electroimán del lado derecho. La corredera se desplaza hacia la izquierda. Se abre el paso entre las conexiones P y B, así como entre A y T. La corriente que fluye a través del electroimán y el desplazamiento de la corredera son proporcionales entre sí.
- Si la tensión es positiva, la corriente fluye a través del electroimán izquierdo. La corredera se desplaza hacia la derecha. Se abre el paso entre las conexiones P y A, así como entre B y T. También en este caso, la corriente eléctrica y el desplazamiento de la corredera son proporcionales entre sí.

En caso de un corte de la alimentación de la energía eléctrica, la corredera se desplaza hacia su posición central, de manera que se cierran todos los flancos de control (posición segura fail-safe).

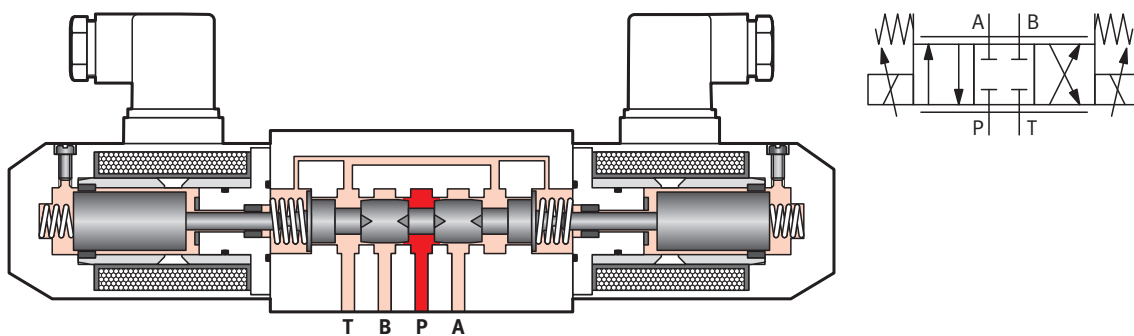


Fig. 11.7: válvula posicionadora sin regulación de la posición. Vista en corte y símbolo.

11.3.3 Válvula posicionadora servopilotada

En la Fig. 11.8 se muestra una válvula posicionadora servopilotada. Para el servopilotaje se utiliza una válvula proporcional de 4/3 vías. Con esta válvula se modifica la presión que actúa sobre las superficies frontales de la corredera de la válvula principal. De esta manera se desplaza la corredera de la válvula principal y se abren los flancos de control. En la válvula que aquí se muestra, tanto la parte auxiliar como la principal incluyen un sistema de regulación de posiciones, con el fin de obtener una precisión mayor.

En caso de un corte de la alimentación eléctrica o hidráulica, la corredera de la válvula principal se desplaza hacia la posición central. Se cierran todos los flancos de control (posición segura fail-safe).

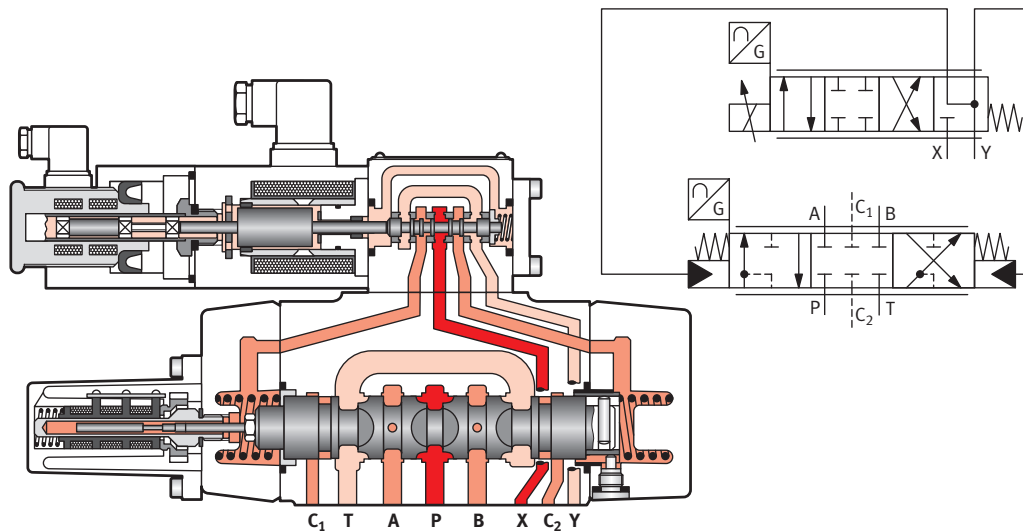


Fig. 11.8: Válvula posicionadora servopilotada, con regulación de posiciones. Vista en corte y símbolo.

En vez de una válvula de 4/3 vías también pueden utilizarse dos válvulas reductoras de presión de 3 vías para la función de servopilotaje. Cada una de estas válvulas regula la presión en la superficie frontal de la corredera de la válvula principal.

11.3.4 Ventajas y desventajas de válvulas proporcionales servopilotadas

En el caso de una válvula servopilotada, la fuerza necesaria para el accionamiento de la válvula principal se genera hidráulicamente. El electroimán proporcional únicamente debe generar una fuerza mucho mayor de la que es necesaria para el accionamiento de la válvula auxiliar. La ventaja consiste en que puede controlarse una gran potencia hidráulica con una corriente eléctrica pequeña y con un electroimán proporcional también pequeño. La desventaja consiste en el consumo adicional de aceite y de energía en la unidad de servopilotaje.

Las válvulas posicionadoras de tamaño nominal de hasta 10, suelen ser válvulas de accionamiento directo. Las válvulas de mayor tamaño nominal son, por lo general, válvulas servopilotadas. Las válvulas de gran tamaño nominal, utilizadas para obtener caudales extremos, pueden contar con varias válvulas auxiliares.

11.4 Tipos de válvulas proporcionales

Las válvulas proporcionales se distinguen por su tipo, por el tipo de accionamiento y por la construcción del electroimán proporcional. Con cualquiera de las combinaciones que constan en la Tabla 11.1 se obtiene un determinado tipo de válvula. Por ejemplo:

- Válvula proporcional de 2/2 vías, reguladora de caudal, de accionamiento directo, sin regulación de la posición
- Válvula proporcional de 4/3 vías, servopilotada, con regulación de posiciones
- Válvula proporcional de 2 vías, reguladora de caudal, de accionamiento directo, con regulación de posiciones

Tipos de válvulas	– Válvulas reguladoras de presión	Válvula limitadora de presión Válvula de 2 vías, reductora de presión Válvula de 3 vías, reductora de presión
	– Válvulas de estrangulación	Válvula estranguladora de 4/2 vías Válvula estranguladora de 2/2 vías
	– Válvulas distribuidoras	Válvula de 4/3 vías Válvula de 3/3 vías
	– Válvulas reguladoras de caudal	Válvula de 2 vías, reguladora de caudal Válvula de 3 vías, reguladora de caudal
Tipo de mando	– Accionamiento directo – Servopilotaje	
Electroimán proporcional	– Con regulación de posiciones – Sin regulación de posiciones	

Tabla 11.1: criterios de diferenciación de válvulas proporcionales

12 Accesorios

Al margen de los componentes hidráulicos descritos en los capítulos anteriores (válvulas distribuidoras, válvulas reguladoras de presión, cilindros hidráulicos, etc.), existen diversos **accesorios** que son importantes para el funcionamiento de equipos hidráulicos:

- Tubos flexibles
- Acoplamientos de tubos flexibles
- Tubos rígidos
- Racores
- Placas base
- Válvulas de escape
- Manómetro
- Caudalímetro

Estos accesorios se utilizan principalmente para el transporte de energía hidráulica (tubos flexibles o rígidos, etc.), para unir o fijar componentes (racores, placas base) o para ejecutar funciones de control (aparatos de medición).

12.1 Tubos flexibles y rígidos

Los componentes de un sistema hidráulicos están unidos entre sí mediante tubos flexibles o rígidos.

Las secciones de los **tubos flexibles o rígidos** determinan la pérdida de presión en los conductos. Las secciones inciden considerablemente en el rendimiento de un sistema hidráulico. Para que las pérdidas de presión no sean demasiado grandes en los tubos rectos o acodados, así como en los racores acodados y, al mismo tiempo, para que las dimensiones de los tubos no sean demasiado grandes, es recomendable configurar el sistema hidráulico de tal manera que no se superen los siguientes valores de referencia de velocidades de flujo:

Conducto de presión

hasta 50 bar pr. de func.:	4,0 m/s
hasta 100 bar pr. de func.:	4,5 m/s
hasta 150 bar pr. de func.:	5,0 m/s
hasta 200 bar pr. de func.:	5,5 m/s
hasta 300 bar pr. de func.:	6,0 m/s

Conducto de aspiración: 1,5 m/s

Conducto de retorno: 2,0 m/s

Considerando estos datos, puede aplicarse la fórmula $A = \frac{q}{v}$ para calcular la sección de paso A necesaria, considerando el caudal q y la velocidad de flujo v .

De esta manera es posible determinar el diámetro nominal necesario de los tubos flexibles durante la fase de definición de dimensiones de un sistema hidráulico.

Ejemplo

Cálculo para determinar el diámetro nominal de tubos

Conocido: $q = 4,2 \text{ l/min}$
 $v = 4 \text{ m/s}$ (presión en el tubo de hasta 50 bar)

Siendo $A = \frac{q}{v}$ y $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, se obtiene el diámetro nominal d : $d = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot v}}$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,2 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}}}{\pi \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 4 \cdot 60 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} = \sqrt{0,022 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 0,0047 \text{ m} = 4,7 \text{ mm}$$

12.1.1 Tuberías flexibles

Los tubos flexibles se utilizan para unir componentes hidráulicos móviles o si la distribución de los componentes es poco favorable (especialmente en el caso de sistemas hidráulicos móviles). Se utilizan si no es posible tender tubos rígidos (por ejemplo, si se emplean para conectar componentes móviles). Además, los tubos flexibles también reducen el nivel de ruidos y disminuyen las vibraciones. Estos tubos constan de varias capas:

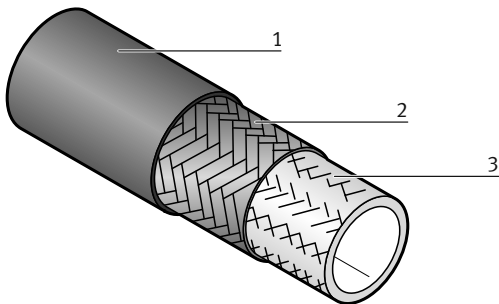


Fig. 12.1: estructura de un tubo flexibles. 1 Capa exterior 2 Capa de soporte de la presión 3 Capa interior (alma del tubo)

La capa interior (3) es de goma sintética, PTFE, elastómeros de poliéster, NBR o neopreno. La capa que soporta la presión (2) es una capa de acero trenzado y/o poliéster o rayón.

Dependiendo del margen de presión, la capa trenzada puede ser, a su vez, de una o varias capas. La capa superior (1) es de goma resistente a la abrasión, poliéster, elastómero de poliuretano o de otros materiales de características similares. Los tubos flexibles pueden tener una capa exterior adicional de material en espiral o trenzado, con el fin de obtener una protección adicional.

Selección de tubos flexibles

Al elegir los tubos flexibles, deben considerarse la aplicación y diversos factores adicionales. Además de tener que soportar la presión del fluido que contienen, los tubos flexibles también están expuestos a influencias químicas, térmicas y mecánicas.

La presión de funcionamiento (dinámica y estática) debe definirse con especial cuidado. Los picos de presión que se producen cuando las válvulas conmutan rápidamente, pueden superar considerablemente las presiones calculadas. Los datos técnicos ofrecidos por los fabricantes son el único criterio decisivo. En relación con el diámetro nominal y la presión, deben considerarse las normas de EN 853 a EN 857.

Definiciones

- **Presión máxima de funcionamiento**

Valor indicado por los fabricantes en relación con la presión estática, aunque también frecuentemente en relación con la presión dinámica. La presión de funcionamiento estática se indica con un margen de seguridad cuádruple, lo que significa que esa presión equivale a la cuarta parte de la presión de estallido.

- **Presión de estallido**

Se trata únicamente de un nivel de presión comprobado mediante ensayos. El tubo flexible no deberá estallar o tener fugas si la presión es inferior a la presión de estallido.

- **Presión de comprobación**

La presión de comprobación corresponde al doble de la presión de funcionamiento, y se aplica durante mínimo 30 segundos y máximo 60 segundos.

- **Cambio de longitud**

Dependiendo del material y de las características de la capa trenzada, la longitud de un tubo flexible experimenta cierta modificación si el tubo está sometido a la presión de funcionamiento. Este cambio de longitud admisible es de máximo +2 hasta -4 por ciento.

- **Radio de flexión**

La indicación del radio de flexión más pequeño admisible supone que se aplica la presión de funcionamiento máxima y que el tubo flexible no se mueve. Por razones de seguridad, es aconsejable que se respete este radio de flexión.

- **Temperatura de funcionamiento**

Las temperaturas indicadas se refieren a la temperatura del aceite que fluye en el sistema. Si las temperaturas son muy altas, la duración del tubo flexible disminuye considerablemente.

Δp en bar por m, sin elementos de conexión ($\rho = 850 \text{ kg/m}^3$; $\nu = 20 \text{ mm}^2/\text{s}$)											
NG	d_a [mm]	$q = 10$ l/min	$q = 20$ l/min	$q = 30$ l/min	$q = 50$ l/min	$q = 70$ l/min	$q = 100$ l/min	$q = 125$ l/min	$q = 150$ l/min	$q = 175$ l/min	$q = 200$ l/min
6	14	0,33	1,13	2,16							
	18	0,14	0,46	0,88							
8	16	0,10	0,31	0,59	1,41	1,2					
	20	0,045	0,12	0,23	0,55	0,97	0,82	1,2			
10	19	0,045	0,12	0,23	0,55	0,97	0,82	1,2			
	22	0,02	0,04	0,08	0,19	0,37	0,65	0,96	0,68	0,87	1,1
12	20	0,02	0,04	0,08	0,19	0,37	0,65	0,96	0,68	0,87	1,1
	26	0,008	0,02	0,03	0,075	0,15	0,27	0,39	0,57	0,73	0,92
16	26			0,01	0,041	0,07	0,14	0,2	0,27	0,35	0,43
	30				0,021	0,04	0,073	0,1	0,15	0,186	0,23
20	30				0,012	0,02	0,041	0,06	0,007	0,106	0,136
	34					0,013	0,025	0,035	0,05	0,06	0,083
24	36					0,009	0,016	0,023	0,032	0,04	0,051
	38,1						0,01	0,015	0,02	0,025	0,033
32	46						0,004	0,006	0,008	0,011	0,014
	50,8						0,003	0,004	0,005	0,007	0,009
40	60,3									0,003	0,004

Tabla 12.1: resistencia al flujo Δp en tubos flexibles (según Prof. Charchut)

Al realizar el montaje de tubos flexibles, debe ponerse especial cuidado en su longitud. Los componentes móviles deben poder ejecutar sus movimientos sin provocar fuerzas de tracción en los tubos flexibles. Además, los radios de flexión deben ser suficientemente grandes. En la Fig. 12.2 se muestran algunas reglas básicas a tener en cuenta al montar tubos flexibles.

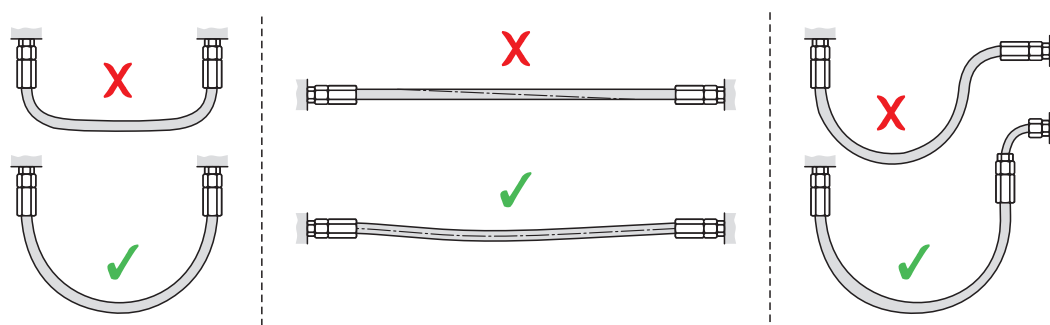


Fig. 12.2: reglas para el montaje de tubos flexibles

En sistemas hidráulicos móviles y en sistemas estacionarios muy grandes, se utilizan tubos flexibles para establecer la conexión entre las partes del sistema. Por lo tanto, al definir las dimensiones de los sistemas debe tenerse en cuenta la caída de presión Δp que se produce en los tubos flexibles.

Los tubos flexibles pueden estar conectados a los componentes, pero también pueden estar conectados entre sí mediante **racores** o **acoplamientos**. Para unir tubos flexibles correctamente, se utilizan **racores**.

Según la norma ISO 12151 se distinguen los siguientes tipos de empalme en el **lado del racor correspondiente al tubo flexible**:

- **Racor roscado**
Atornillamiento axial para fijar el tubo flexible. Este tipo de racor se monta sin necesidad de utilizar herramientas especiales y, además, puede volver a utilizarse.
- **Racor de aprisionamiento por compresión**
El tubo flexible se fija mediante la deformación (compresión) de una parte del racor. Este tipo de racor se monta utilizando herramientas especiales y no se puede volver a utilizar.
- **Racor de manguitos**
La fijación del tubo flexible está a cargo de manguitos o segmentos que se sujetan exteriormente aplicando presión. Este tipo de racor puede volver a utilizarse y, según su tipo, puede montarse con o sin herramientas especiales.
- **Racor con brida**
El tubo flexible se fija mediante abrazaderas (según DIN 3017) o con bridas (según DIN 32620). Dependiendo de su tipo, estos racores pueden montarse con o sin herramientas especiales. Algunos de estos racores pueden volverse a utilizar. No son apropiados para presiones elevadas.
- **Racor enchufable**
Estos racores por lo general tienen una boquilla. La fijación del tubo se logra mediante su deformación al introducir la boquilla. La deformación depende de la forma de la boquilla. Este tipo de racor puede montarse sin utilizar herramientas especiales y, además, se puede volver a utilizar. Sin embargo, estos racores no son apropiados para altas presiones.

Según la norma ISO 12151 se distinguen los siguientes tipos de empalme en el **lado del racor opuesto al tubo flexible:**

- Racor con rosca
- Racor provisto de tubo rígido, para racores con anillo cortante
- Racor con brida
- Racor con anillo
- Racor con acoplamiento simétrico o asimétrico
- Racor con collar

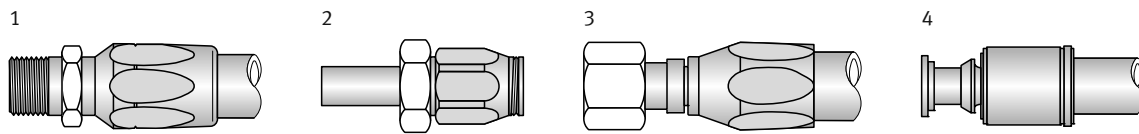


Fig. 12.3: racores, lado opuesto al tubo. 1 Rosca exterior 2 Extremo del tubo 3 Tuerca 4 Boquilla para brida SAE

Además, los racores incluyen las siguientes piezas individuales:

- **Tuerca**
- **Montura**
Parte del racor que empalma con el tubo flexible. La montura puede ser atornillable o comprimible, o bien puede estar compuesta de manguitos o tener abrazaderas de fijación.
- Boquilla o manguito
Pieza que se introduce en el tubo flexible. Según la norma ISO 12151, también las boquillas se distinguen según el lado de conexión (hacia el tubo o hacia un componente):
 - **Boquilla del lado del tubo flexible:** atornillable, comprimible o enchufable
 - **Boquilla del lado del componente:** conexión mediante rosca, cabezal hermetizante, tubo, collar, brida, anillo.

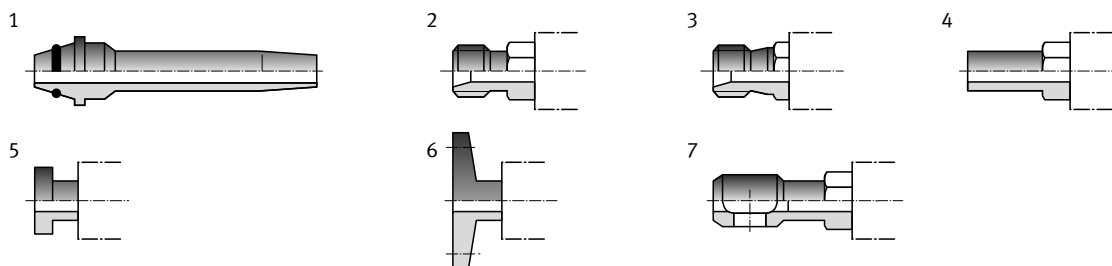


Fig. 12.4: acoplamientos. 1 Boquilla con cabezal 2 Boquilla con rosca interior 3 Boquilla con rosca exterior 4 Boquilla con conexión para tubo rígido 5 Boquilla con corona 6 Boquilla con brida 7 Boquilla con anillo

Los racores rápidos permiten un acoplamiento y desacoplamiento rápido. Se ofrecen racores rápidos con y sin válvula de antirretorno desbloqueable. Gracias a la presencia de una válvula de antirretorno, es posible acoplar y desacoplar sin que se produzcan fugas de aceite, suponiendo que no se aplica presión.

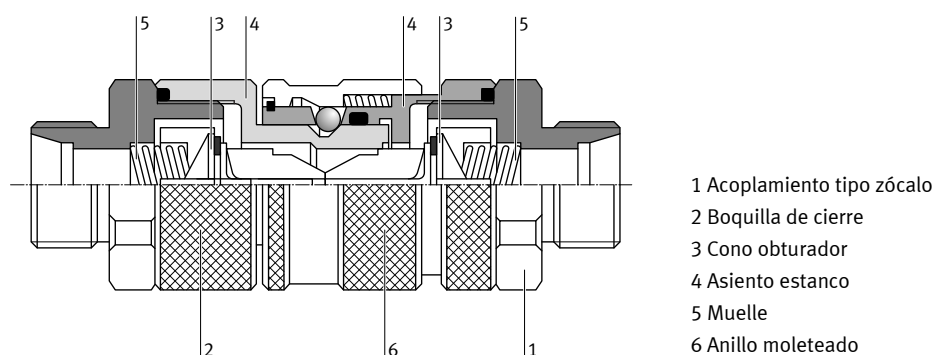


Fig. 12.5: racor rápido, vista en corte

12.1.2 Tubos rígidos

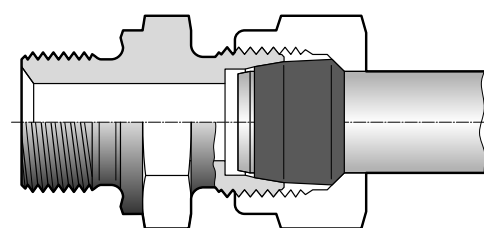
Según la norma EN 10305, en sistemas hidráulicos deben utilizarse tubos de acero continuos de precisión. El grosor de los tubos depende de la **presión máxima** existente en el sistema, debiéndose agregar un margen de seguridad considerando posibles picos de presión.

Antes de su instalación, pueden doblarse los tubos en frío o caliente, en concordancia con las curvaturas necesarias y utilizando las herramientas apropiadas. Una vez moldeados los tubos, deben enjuagarse para limpiarlos. En el caso de los tubos moldeados en caliente, debe retirarse la capa de oxidación.

Para unir tubo con tubo o tubo con componente, se utilizan

- Acoplamientos roscados con diámetro nominal de hasta 38 (dependiendo de la presión de funcionamiento).
- Uniones por brida: a partir de diámetro nominal de 30.

Según la norma DIN 3850, se distingue entre los siguientes acoplamientos roscados:



- Acoplamiento sin soldadura
- Acoplamiento con anillo autocortante
- Acoplamiento de doble cono anular
- Acoplamiento con soldadura
- Acoplamiento con collar
- Acoplamiento con casquillo de bolas

Fig. 12.6: acoplamiento de tubos

El acoplamiento más común es el **acoplamiento con anillo autocortante**, por el más sencillo de utilizar. Al establecer la conexión y ajustar la tuerca, el anillo cortante penetra en el cono interior del empalme. En el lado del tubo se abre el borde, presionándolo contra un tope estanco.

Según la norma DIN 3850, se distingue entre los **elementos hermetizantes** y **elementos de conexión** que se indican a continuación.

Denominación	Según norma DIN
Anillo cortante	3816
Anillo cónico doble	3862
Casquillo de bolas	3863
Casquillo con collar	3864
Aro de presión	3867

Tabla 12.2: cuadro general de elementos hermetizantes

Denominación		Según norma DIN	Elemento hermetizante
Tuerca	O	3870	Anillo cortante
	B		Anillo cónico doble (bicono)
	C		Casquillo con collar, estañado
			Casquillo con collar soldado
Tuerca		3872	Anillo autocortante con aro de presión
Tornillo	O	3871	Anillo cortante
	C		Anillo cónico doble (bicono)
			Casquillo de bolas
			Casquillo con collar

Tabla 12.3: cuadro general de elementos de unión

Los racores utilizados para unir tubos rígidos pueden tener los siguientes tipos de empalmes:

- Empalme recto
- Empalme angular, en L, en T, en cruz
- Empalme pasamuros, empalmes soldados o estañados

Existen diversas formas de los empalmes mencionados antes, especificados en la norma DIN 3850. En esa misma norma constan los diámetros nominales y las presiones correspondientes a los empalmes normalizados.

Los acoplamientos mediante bridas se utilizan para unir tubos de mayor tamaño. La brida puede estar soldada o atornillada al tubo.

En sistemas hidráulicos suelen utilizarse acoplamientos con roscas de unión tipo Whitworth, roscas métricas finas y roscas NPT (roscas cónicas).

12.2 Placas base

La unión directa de válvulas mediante tubos rígidos o flexibles no siempre es compatible con la exigencia de disponer de un sistema compacto, económico y de funcionamiento fiable. Por esta razón suelen utilizarse placas base en sistemas hidráulicos. Además, estos sistemas de unión permiten sustituir válvulas rápidamente. Adicionalmente permiten que los trayectos de flujo sean más cortos.

Las placas base, al igual de las válvulas, tienen conexiones normalizadas según ISO 4401. Las válvulas se atornillan a las placas. Las placas se montan en paneles frontales o soportes. En el dorso de las placas se encuentran las conexiones con los tubos.

Con el fin de reducir los costes ocasionados por tubos rígidos o flexibles, se utilizan placas colectoras para válvulas conectadas en serie (bloques hidráulicos). Existen bloques de control especiales de acero fundido que se fabrican en serie, provistos de los taladros necesarios, de manera que no hay más que atornillar las válvulas necesarias. Estos bloques se utilizan, por ejemplo, en sistemas de accionamiento de prensas, en las que deben instalarse numerosos de estos bloques.

Estos bloques de control especiales pueden encadenarse entre sí para obtener sistemas de control más sofisticados, según las necesidades del caso.

Concatenación en altura

Para el encadenamiento vertical se utilizan placas intermedias provistas de válvulas. Estas placas intermedias se atornillan a una placa base colectora. De esta manera, se necesitan muchos menos tubos.

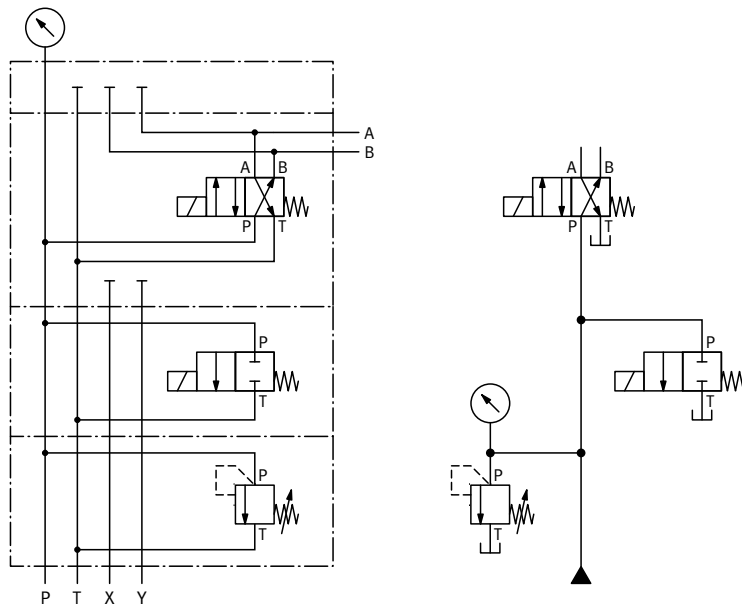


Fig. 12.7: encadenamiento vertical y esquema normalizado

Encadenamiento horizontal

Tratándose de sistemas que incluyen varias cadenas de mando, se conectan en línea varias placas de encadenamiento horizontal, intercalando una placa de cambio de sentido). En las placas de cambio de sentido pueden atornillarse válvulas individuales o un sistema de encadenamiento vertical.

Técnica de cartuchos

La técnica de cartuchos es otra solución que simplifica la obtención de sistemas de mando completos en un mismo bloque, con elevado grado de integración de funciones. Con estos bloques de control se obtienen diversas funciones de conmutación mediante el accionamiento individual de válvulas de 2/2 vías. Las características de las válvulas de 2/2 vías utilizadas en estos bloques están definidas en la norma ISO 7368. Los bloques de control sólo son eficientes económicamente a partir de un tamaño nominal de 16 y, además, si se utilizan en grandes cantidades.

12.3 Válvulas de escape

Las válvulas de escape (denominadas también de purga) deben instalarse en el punto más alto de un sistema de tuberías, ya que el aire contenido en los tubos se acumula precisamente en la parte más alta. En los siguientes esquemas se muestra un sistema de escape automático de aire.

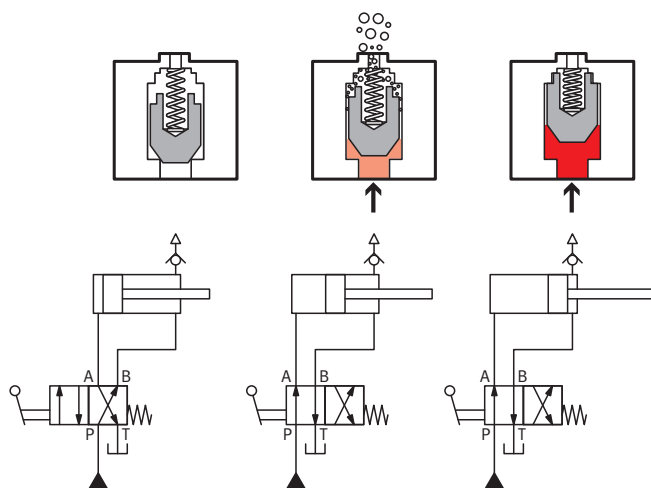


Fig. 12.8 izq.: el cilindro está retraído y el émbolo de la válvula de escape cierra el paso.

Fig. 12.8 centro: al avanzar el vástago, el émbolo de la válvula de escape se separa de su asiento. En estas condiciones, el aire puede escapar a través del taladro hasta que el fluido a presión llega hasta el émbolo, desplazándolo hacia arriba.

Fig. 12.8: válvula de escape automático de aire

Fig. 12.8 der.: el fluido a presión eleva el émbolo del cilindro hasta la posición final superior, por lo que cierra el paso hacia el exterior y el escape de aire está bloqueado. Cuando se reduce la presión, el muelle aplica presión y el émbolo desciende y se vuelve a abrir el taladro de escape y se repite el proceso.

12.4 Manómetros

12.4.1 Manómetro con resorte tubular (manómetro de Bourdon)

El aparato de medición de presión más frecuente es el manómetro de Bourdon. Su muelle tubular en espiral tiene una sección oval. Al entrar fluido a presión en el muelle tubular, se genera la misma presión en todo su interior. Debido a la diferencia de superficies exterior e interior de la espiral del muelle tubular, la fuerza que actúa sobre la parte exterior es mayor, por lo que la espiral tiende a abrirse. Este movimiento se traslada a una manecilla a través de la palanca, el segmento dentado y el piñón. En la escala se puede apreciar la presión correspondiente. Este manómetro no es resistente a la sobrepresión.

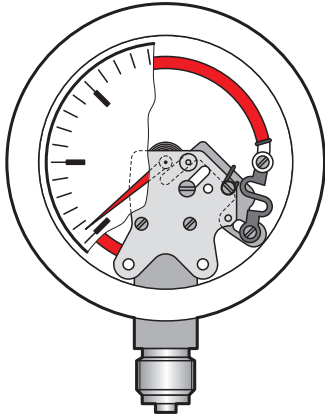


Fig. 12.9: manómetro de Bourdon

La conexión debe incluir un estrangulador para evitar que los picos de presión destruyan la espiral. Si las presiones son superiores a 100 bar, en vez de muelles tubulares en forma de espiral circular se utilizan muelles tubulares en forma de espiral helicoidal. Con estos manómetros es posible medir presiones superiores a 1000 bar. Estos manómetros deben instalarse obligatoriamente en la posición prevista.

12.4.2 Manómetros de cápsula o de membrana

Estos manómetros tienen una cápsula hermética de metal ondulado o una membrana hermética prensada entre dos bridas, en vez de contar con un muelle tubular. Aplicando presión, se arquea la cápsula o la membrana. Esta deformación se aprovecha para indicar la presión mediante una manecilla y una escala. Dependiendo del tipo de manómetro, el margen de presión admisible es de hasta 25 bar.

12.4.3 Manómetro de émbolo

En el caso de este manómetro, la presión del fluido se aplica sobre un émbolo. El émbolo, a su vez, aplica fuerza en un muelle de compresión. La manecilla indicadora está acoplada directamente al émbolo, y la presión se lee mediante una escala. Los manómetros de émbolo son resistentes a sobrecargas.

12.5 Sensores de presión

Mediante detectores de presión de cuarzo, que aprovechan el efecto piezoeléctrico, es posible medir la presión de manera más precisa. En este caso, la presión se aplica sobre una membrana y, de manera indirecta, sobre el cuarzo que genera una determinada tensión o corriente si se somete a presión. Esta señal eléctrica se amplifica electrónicamente y sirve de magnitud de la presión que se muestra mediante un aparato de evaluación.

Otros sensores de presión funcionan con una cinta de dilatación (galga extensiométrica) adherida a una membrana. Sometida a presión, la membrana se deforma. La correspondiente dilatación se transforma en señales eléctricas. Estas señales se amplifican electrónicamente y se aprovechan para la indicar la presión en un aparato por separado. En estos sensores, la parte electrónica empleada para amplificar la señal está integrada directamente en el cuerpo del sensor.

Ventajas de los sensores electrónicos de presión: la presión indicada puede mostrarse en lugares apartados (mediante cables) o en registradores gráficos. También es posible aprovechar la señal amplificada para el accionamiento directo de válvulas.

12.6 Caudalímetros

Si únicamente se necesita una sola medición, por ejemplo para comprobar el caudal de la bomba o para ajustar una válvula reguladora de caudal, la forma más sencilla de medir el caudal consiste en utilizar un depósito cilíndrico calibrado y un cronómetro.

Si, por lo contrario, es necesario controlar ininterrumpidamente el caudal en un sistema hidráulico, se utilizan los aparatos que se describen a continuación (dependiendo de la aplicación y de la precisión requerida).

12.6.1 Caudalímetro

El aceite fluye a través de un tubo de medición. El tubo de medición contiene un cono fijo. A lo largo del cono se mueve un émbolo. Si fluye fluido a presión entre el cono y el émbolo, el émbolo se desplaza en concordancia con la magnitud del caudal y actúa contra un muelle. El émbolo hace las veces de elemento móvil de medición. Dependiendo de su posición en relación con el cono, aumenta o disminuye la sección que permite el paso del fluido. El émbolo se desplaza hasta que se produce un equilibrio entre la presión que desplaza el émbolo y la contrafuerza que aplica el muelle. Considerando que el caudal depende de la diferencia de presión que se produce en la sección que permite el paso del fluido, la carrera del émbolo puede aprovecharse para indicar la magnitud del caudal. La imprecisión de este tipo de medidor es de aproximadamente 4 por ciento.

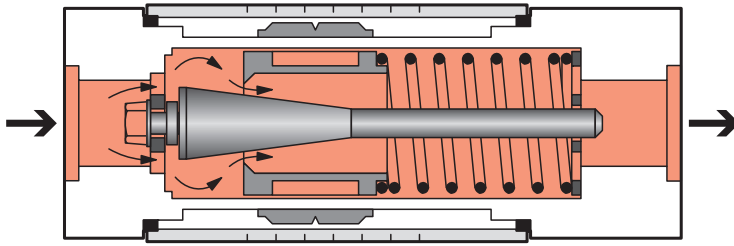


Fig. 12.10: caudalómetro (esquema oficial de UCC)

Si es necesario realizar una medición más precisa para regular o controlar cilindros o motores sincronizados, o para controlar movimientos de posicionamiento, se utilizan **turbinas de medición, contadores de discos ovales, aparatos de medición de ruedas dentadas, placas con taladro de medición o discos de retención.**

Una turbina de medición ejecuta movimientos giratorios provocados por el caudal. Las revoluciones de la turbina se aprovechan para evaluar el caudal (Fig. 12.11).

Un aparato de medición de ruedas dentadas tiene una estructura similar a la de un motor de engranajes. La posición de cada diente se detecta inductivamente mediante un aparato de medición. Un convertidor de valores de medición convierte las revoluciones e indica el correspondiente caudal. El contador de discos ovales funciona de la misma manera. También en este caso se miden inductivamente las revoluciones. Tal como sucede con el aparato de medición de ruedas dentadas, también en este caso se conoce el volumen de la cámara, por lo que midiendo las revoluciones se obtiene el caudal.

En el caso de la placa con taladro de medición, se mide la diferencia de presión Δp . El correspondiente valor se convierte y se indica como caudal. En el medidor de disco de retención, el fluido actúa contra un disco que se encuentra en el tubo. El disco se desplaza dependiendo de la magnitud del caudal. El recorrido del movimiento del disco se detecta sin contacto. La señal de salida eléctrica se convierte y se expresa como caudal.

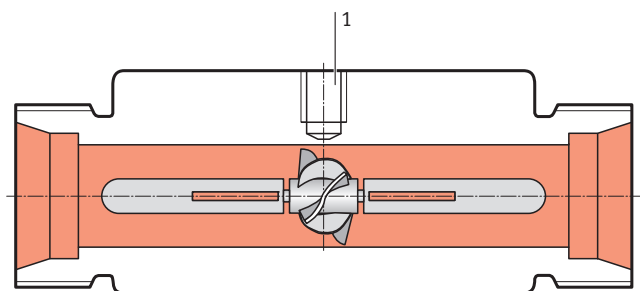


Fig. 12.11: turbina de medición, vista en sección. 1 Taladro para el montaje de un detector inductivo para la medición de las revoluciones

13 Fundamentos de electrotécnica

13.1 Corriente continua y corriente alterna

Un circuito eléctrico sencillo se compone 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 distinguir 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.

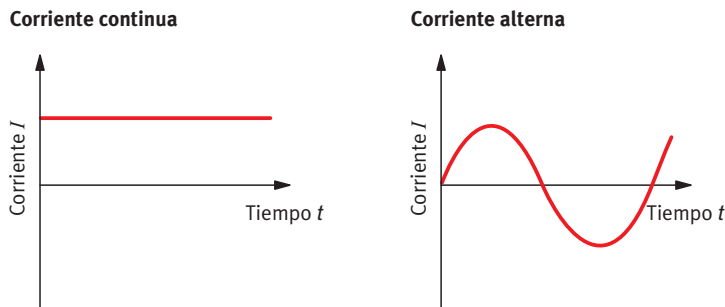


Fig. 13.1: corriente continua y corriente alterna en función del tiempo

En la Fig. 13.2 se muestra un circuito eléctrico sencillo de corriente continua, compuesto por una fuente de tensión, cables, un conmutador y una unidad consumidora (en el ejemplo, una bombilla).

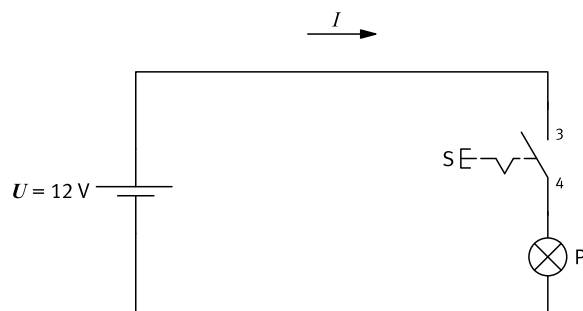


Fig. 13.2: circuito de corriente continua

Sentido técnico del flujo de la corriente

Al cerrar 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.

13.2 Ley de Ohm

La ley de Ohm describe la relación entre tensión, intensidad y resistencia eléctrica. 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: voltio [V]

R Resistencia, unidad: ohmio [Ω]

I Intensidad, unidad: amperio [A]

13.2.1 Conductor eléctrico

Por 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.

13.2.2 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 aisladores eléctricos. Para aislar los cables eléctricos se utilizan materiales que son mezclas de goma o de plástico.

13.2.3 Tensión en la fuente

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.

13.3 Potencia eléctrica

En la mecánica, la potencia se define en función del trabajo. Cuanto más rápidamente se ejecuta el trabajo, tanto mayor es la potencia. Por lo tanto, potencia es la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo.

Una unidad consumidora incluida en un circuito eléctrico convierte la energía eléctrica en energía cinética (por ejemplo, motor eléctrico), en rayos de luz (por ejemplo, bombilla eléctrica) o en energía térmica (por ejemplo, calefacción eléctrica, bombilla eléctrica). Cuanto más rápidamente se transforma la energía, tanto mayor es la potencia eléctrica. Por lo tanto, en este caso la potencia se refiere a la energía convertida por unidad de tiempo. La potencia aumenta en la medida en que aumentan la intensidad y la tensión.

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

$$P = U \cdot I$$

P Potencia, unidad: vatio [W]

U Tensión, unidad: voltio [V]

I Intensidad, unidad: amperio [A]

Ejemplo: potencia eléctrica de una bobina

La bobina de una válvula de 4/2 vías se alimenta con una corriente continua de 24 V. La resistencia de la bobina es de 60 Ω . ¿Cuál es el consumo de potencia?

La intensidad se calcula aplicando 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:

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

13.4 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.

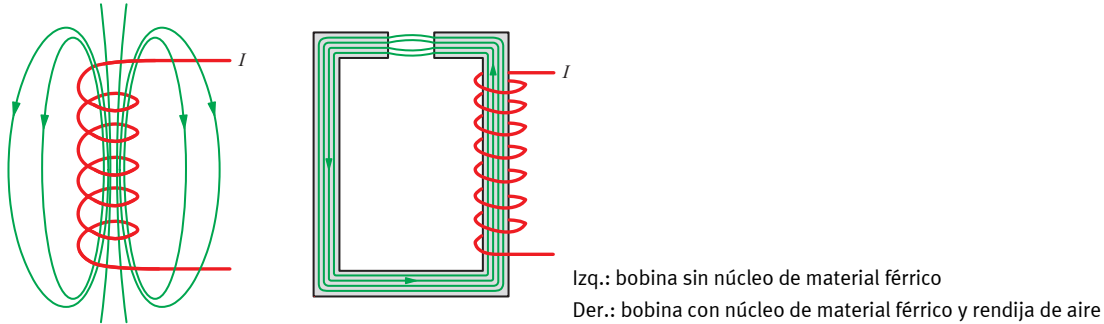


Fig. 13.3: bobina y líneas de fuerza magnética

13.4.1 Construcción 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 ferrosas con gran fuerza, aunque la intensidad sea pequeña.

13.4.2 Utilización de electroimanes

En sistemas electrohidráulicos, los electroimanes se utilizan principalmente para incidir en la posición de conmutación de válvulas, relés y 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.

13.4.3 Resistencia inductiva con tensión alterna

Si se aplica tensión alterna en una bobina, fluye corriente alterna. Lo dicho significa que 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. Ello 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 a la que aumenta la tensión eléctrica y de la magnitud de la inductancia de la bobina.

La unidad de la inductancia es el henry o henrio [H]: $1\text{ H} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = 1\ \Omega\text{s}$

13.4.4 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 una resistencia óhmica. Esta resistencia se produce tanto con tensión continua como con tensión alterna.

13.5 Funcionamiento de un condensador eléctrico

Un condensador se compone de dos placas conductoras separadas por una capa aislante (dieléctrico). Si se conecta un condensador a una fuente de tensión continua (se cierra el pulsador S1 en la Fig. 13.4), fluye brevemente una corriente de carga.

Por ello, las dos placas 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 unidad de la capacidad es el farad o faradio [F]: $1\text{ F} = 1 \frac{\text{As}}{\text{V}}$

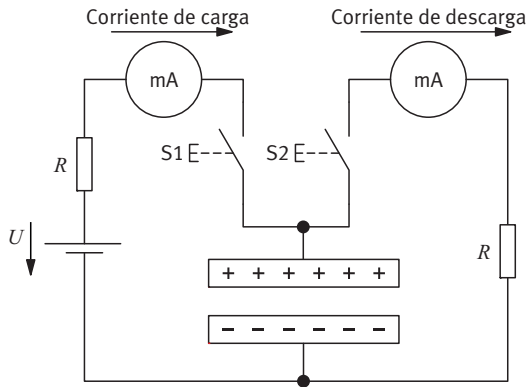


Fig. 13.4: funcionamiento de un condensador

Si se conecta una unidad consumidora al condensador cargado eléctricamente (se cierra el pulsador S2 en la Fig. 13.4), se produce una compensación de carga. La corriente eléctrica fluye a través de la unidad consumidora hasta que el condensador está completamente descargado.

13.6 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 tiene un diodo en la corriente eléctrica puede compararse con el efecto que tiene una válvula de antirretorno en el caudal en un circuito hidráulico o neumático.

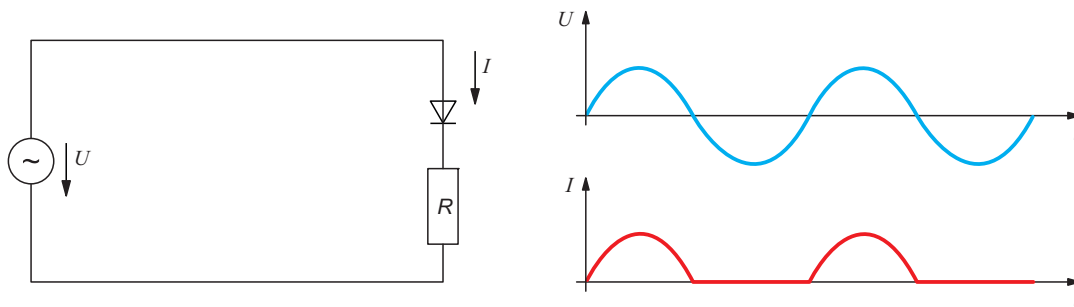


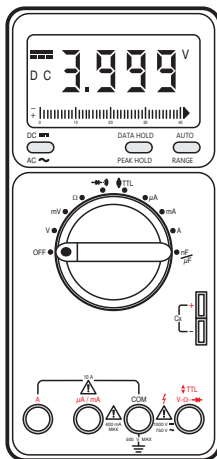
Fig. 13.5: funcionamiento de un diodo

13.7 Mediciones en un circuito eléctrico

13.7.1 Definición: medir

Medir significa comparar una magnitud desconocida (por ejemplo, la longitud de un cilindro) con una magnitud conocida (por ejemplo, una cinta métrica graduada). Un aparato de medición (por ejemplo, una cinta métrica) permite llevar a cabo esa comparación. El resultado, es decir el valor de medición, 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 ajustarse para 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. 13.6: multímetro

13.7.2 Indicaciones de seguridad

- Antes de efectuar la medición, asegúrese que la parte del circuito que desea medir esté conectado únicamente a una tensión eléctrica de máximo 24 V.
- Únicamente personas debidamente capacitadas o autorizadas podrán realizar mediciones en circuitos de un sistema de control con tensiones superiores (por ejemplo, de 230 V).
- ¡Si la medición se lleva a cabo de manera indebida, puede peligrar la integridad física de la persona!

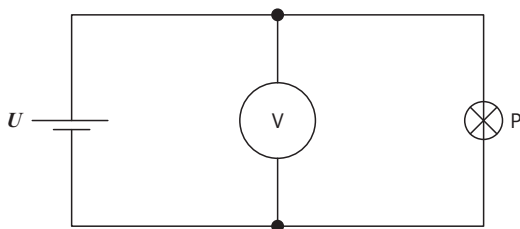
13.7.3 Forma de proceder al efectuar mediciones en un circuito eléctrico

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

- Desconectar la alimentación de tensión en el circuito eléctrico.
- Seleccionar el modo de funcionamiento del multímetro (medición de intensidad o tensión, tensión continua o alterna, medición de resistencia).
- 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.

13.7.4 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 intrínseca. Para minimizar el error de medición, el flujo de corriente a través del aparato de medición debe ser mínimo.

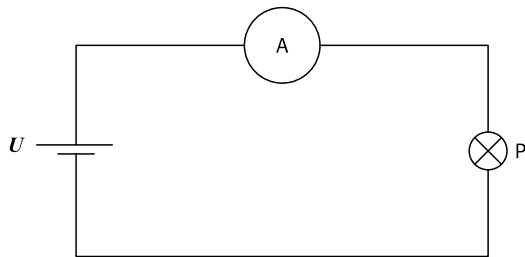


La resistencia intrínseca del voltímetro debe ser lo mayor posible.

Fig.: 13.7: medición de tensión

13.7.5 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 intrínseca. Esta resistencia adicional disminuye el flujo de la corriente. Para minimizar el error de medición, el aparato de medición debe tener una resistencia intrínseca muy pequeña.



La resistencia intrínseca del amperímetro debe ser la menor posible.

Fig. 13.8: medición de intensidad

13.7.6 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 realizarse de modo consecutivo o simultáneamente. A continuación se calcula la resistencia según 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 una unidad consumidora tiene algún defecto, la medición de la resistencia arroja un valor infinitamente elevado o valor cero (cortocircuito).

¡Atención!

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

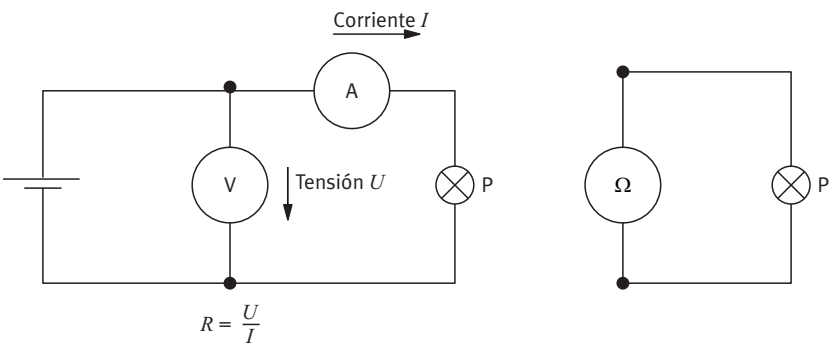


Fig. 13.9: medición de resistencia. Izq.: medición indirecta. Der.: medición directa

13.7.7 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: error de indicación

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	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 13.1: cálculo del error de indicación del 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.

14 Componentes eléctricos

14.1 Unidad de conexión a la red

La alimentación de la energía eléctrica en sistemas electroneumáticos y electrohidráulicos suele provenir de una unidad de alimentación conectada a la red pública, y no de un generador propio de tensión (por ejemplo, una batería).

Indicación de seguridad

Considerando la elevada tensión de entrada, las unidades de alimentación son consideradas parte del sistema de corriente 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.

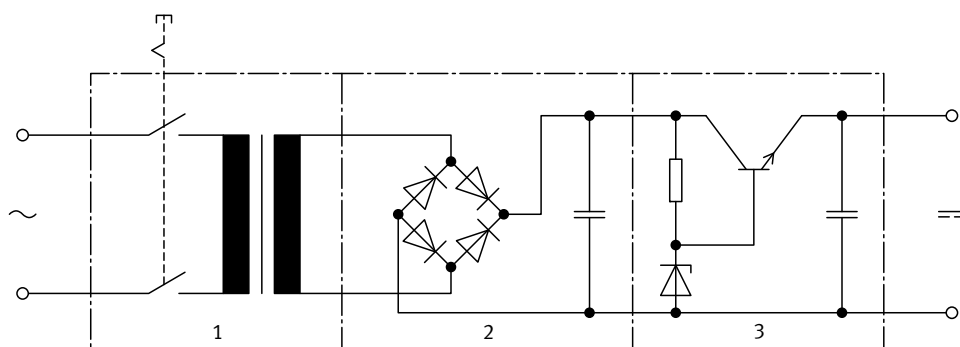


Fig. 14.1: componentes de una unidad de alimentación. 1 Transformador 2 Rectificador 3 Estabilizador

Una unidad de alimentación está compuesta de las siguientes partes:

- Transformador: convierte la tensión alterna de la red pública (por ejemplo, 230 V) en una tensión de salida inferior (por lo general, 24 V).
- Rectificador: el rectificador y el condensador generan una tensión continua alisada.
- A continuación, se estabiliza la tensión continua mediante el regulador longitudinal.

14.2 Unidades eléctricas de entrada

En un circuito se incluyen interruptores con el fin de abrir o cerrar el flujo de corriente eléctrica hacia una unidad consumidora. Estos interruptores pueden ser pulsadores o selectores. Las dos variantes pueden ser de contacto normalmente cerrado, contacto normalmente abierto o de conmutación de contactos.

- Los selectores tiene posiciones estables y mantienen su posición de conmutación hasta que son accionados nuevamente.
- Un pulsador abre o cierra el circuito de corriente sólo por unos breves instantes. Es decir, mantiene su posición de conmutación únicamente mientras se presiona.

14.2.1 Contacto normalmente abierto

En el caso de contacto normalmente abierto, el circuito está abierto si no se activa el pulsador. Presionando el pulsador, se cierra el circuito y la corriente fluye hacia la unidad consumidora. Al soltarlo, el pulsador vuelve a su posición inicial debido a la fuerza del muelle. De esta manera, se interrumpe el circuito y no fluye corriente.

14.2.2 Contacto normalmente cerrado

En el caso del contacto normalmente cerrado, el circuito está cerrado si no se activa el pulsador. El contacto se mantiene cerrado debido a la fuerza que aplica el muelle. Se mantiene cerrado hasta que se presiona el pulsador. Al presionar el pulsador, se supera la fuerza del muelle y el contacto se abre. Así, se interrumpe el flujo de corriente eléctrica hacia la unidad consumidora.

14.2.3 Contacto de conmutación

El conmutador es la tercera variante de contacto. Este tipo de contacto combina las dos funciones, es decir, la de contacto normalmente cerrado y la de contacto normalmente abierto. Los conmutadores se utilizan para cerrar un circuito y para abrir simultáneamente otro circuito. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que al conmutar, los dos circuitos están abiertos (interrumpidos) durante unos breves instantes.

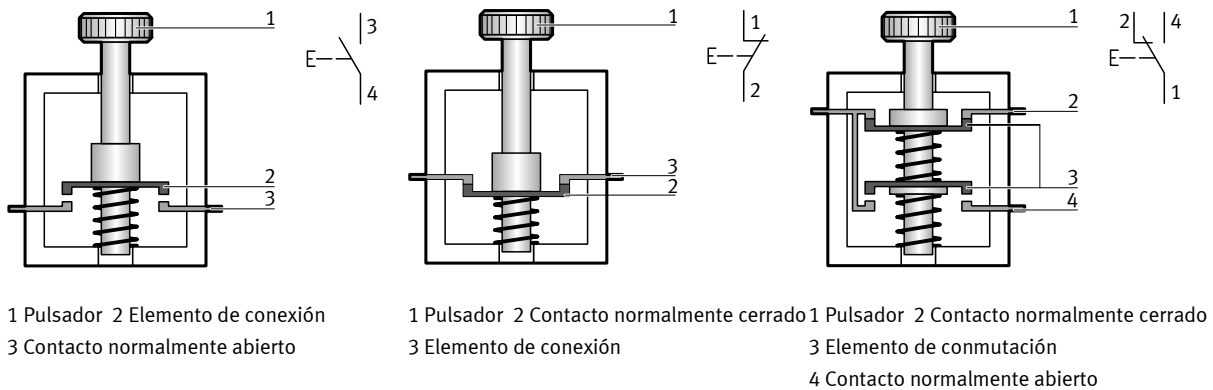


Fig. 14.2: interruptores con contacto normalmente abierto, cerrado y conmutador. Vistas en corte y símbolos.

14.3 Sensores

Los sensores se utilizan para recibir informaciones sobre el estado de un sistema y, a continuación, para transmitir las señales correspondientes a la unidad de control. Los sensores utilizados en sistemas electroneumáticos y electrohidráulicos tienen principalmente las funciones que se indican a continuación:

- Detección de la aproximación, de la posición o de las posiciones finales de elementos actuadores.
- Medición y vigilancia de temperatura, nivel de llenado, presión, posición o tamaño de piezas.
- Detección de materiales.

14.3.1 Interruptores de posición final

Un detector mecánico de posición final es un interruptor eléctrico que se activa si la parte de una máquina o una pieza se encuentra en determinada posición. La activación del detector suele estar a cargo de una leva, que a su vez actúa sobre una palanca móvil. Los detectores de posiciones finales suelen ser conmutadores, que permiten disponer de las funciones de cerrar, abrir o conmutar circuitos de corriente.

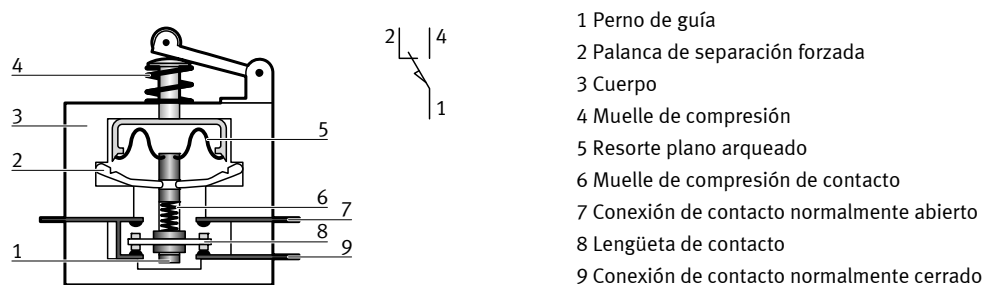


Fig. 14.3: detector mecánico de posición final. Vista en corte y símbolo

14.3.2 Detectores de proximidad

Los detectores de proximidad sin contacto se diferencian de los detectores mecánicos en la medida en que se activan sin intervención de una fuerza de accionamiento mecánica externa. Clasificación de los detectores de proximidad:

- Detectores de proximidad magnéticos (contacto Reed)
- Detectores de posición inductivos
- Detectores de posición capacitivos
- Detectores de posición 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 imán 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 un imán mucho más potente.

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

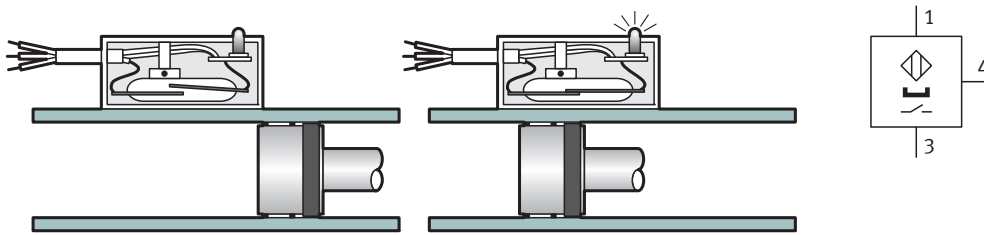


Fig. 14.4: contacto Reed (normalmente abierto). Ejemplo de aplicación y símbolo

Detectores electrónicos

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

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

En 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 detectores electrónicos de posición:

- En el caso de los sensores de conmutación a positivo, la salida tiene tensión cero cuando una pieza se encuentra en la zona de reacción del sensor. La aproximación de una pieza provoca la conmutación de la salida, de modo que se aplica tensión de alimentación.
- En el caso de los sensores de conmutación a negativo, la salida tiene tensión de alimentación cuando una pieza se encuentra en la zona de reacción del sensor. La aproximación de una pieza provoca la conmutación de la salida, con lo que la tensión es de 0 V.

Detectores de proximidad inductivos

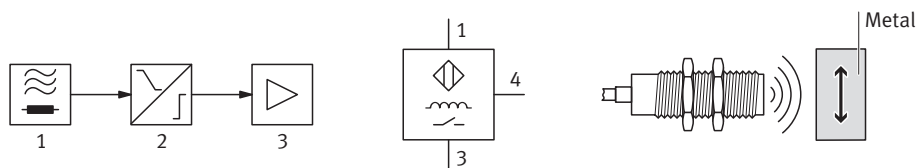


Fig. 14.5: detector de proximidad inductivo. Esquema de distribución, símbolo y representación del modo de funcionamiento. 1 Circuito resonante 2 Oscilador 3 Amplificador

En detector de proximidad inductivo se compone de un circuito resonante (1), un oscilador (2) y un amplificador (3). Al aplicar tensión en las conexiones, el circuito resonante genera un campo magnético de alta frecuencia en la parte frontal del detector. Si una pieza de material conductivo entra en la zona del campo magnético alterno, se atenúa el circuito resonante. El circuito oscilante evalúa la señal del circuito resonante y activa la salida de conmutación a través del amplificador.

Los detectores de proximidad inductivos tienen las siguientes características:

- Detección de todos los materiales de buena conductividad. El funcionamiento de estos detectores no se limita a la detección de materiales magnetizables o de metales, puesto que también son capaces de detectar, por ejemplo, grafito.
- Las piezas se detectan sin importar si están en movimiento o no.
- Los objetos de superficie plana se detectan mejor que objetos que tienen una superficie pequeña en comparación con la superficie del detector (por ejemplo, virutas).

Detectores de proximidad capacitivos

Los detectores de proximidad capacitivos miden el cambio de la capacidad, provocado por el acercamiento de un objeto al campo eléctrico de un condensador. El detector de proximidad capacitivo se compone de una resistencia óhmica, un condensador (circuito resonante RC) y un circuito electrónico. Entre el electrodo activo y el electrodo de medición se crea un campo electrostático. Si se introduce un objeto en ese campo, cambia la capacidad del condensador. Este detector no solamente detecta todos los materiales conductores, sino también todos los materiales aislantes que tienen una constante dieléctrica elevada. Por lo tanto, se detectan objetos de material sintético, vidrio, cerámica, madera y, también, líquidos.

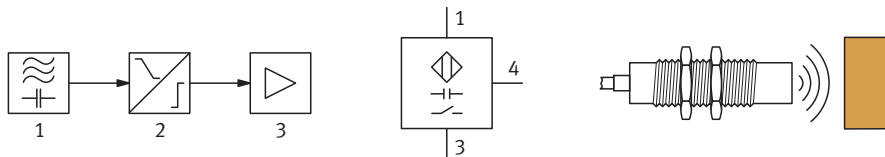


Fig. 14.6: detector de proximidad capacitivo. Esquema de distribución y representación del modo de funcionamiento. 1 Circuito resonante 2 Oscilador 3 Amplificador

Detectores de posición ópticos

Puede distinguirse entre tres tipos de detectores ópticos:

- Barrera de luz unidireccional
- Detector de reflexión directa
- Barrera de luz de reflexión

Barrera de luz unidireccional

Una barrera de luz unidireccional se compone de un emisor y un receptor, separados entre sí. Estas unidades se montan de tal manera que el emisor proyecte el haz de luz directamente sobre el receptor. Si se interrumpe el haz de luz, los contactos se abren o cierran.

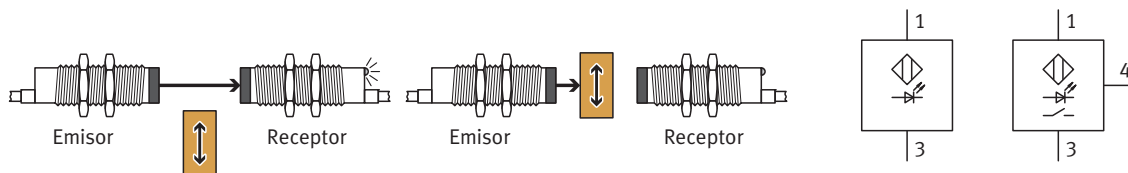


Fig. 14.7: barra de luz unidireccional. Representación del funcionamiento y símbolos

Barrera de luz de reflexión

En el caso de las barreras de luz de reflexión, el emisor y el receptor se encuentran lado a lado. Para que funcionen estas barreras, el reflector debe estar montado del tal manera que refleje casi totalmente el haz de luz hacia el receptor. También en este caso se aprovecha la interrupción del haz de luz para abrir o cerrar un contacto.

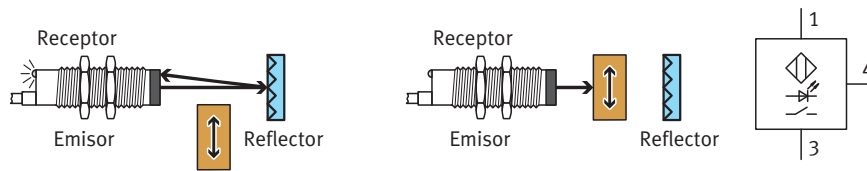


Fig. 14.8: barrera de luz de reflexión. Representación del funcionamiento y símbolos.

Detectores por reflexión

Al igual que en el caso de las barreras de luz de reflexión, el emisor y el receptor de un detector de reflexión directa también se encuentran uno al lado del otro. Si el haz de luz proveniente del emisor incide sobre un objeto reflectante, se refleja la luz hacia el receptor, donde se genera una señal de conmutación. La fiabilidad de la detección es mayor si el objeto detectado tiene una gran capacidad de reflexión.

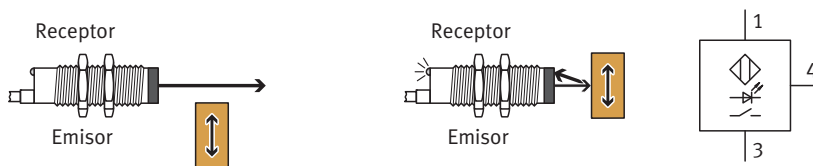


Fig. 14.9: detector de reflexión directa. Representación del funcionamiento y símbolo.

14.3.3 Presostato

Los presostatos se utilizan como aparatos de control y de supervisión. Pueden cerrar, abrir o conmutar circuitos a partir de una determinada presión. La presión de entrada actúa sobre la superficie de un émbolo. La fuerza resultante actúa sobre la fuerza regulable de un muelle. Si la presión supera la fuerza del muelle, el émbolo se desplaza y activa un conjunto de contactos. Tratándose de presostatos con contactos mecánicos, puede utilizarse una membrana, un tubo ondulado o un muelle tubular en lugar del muelle helicoidal.

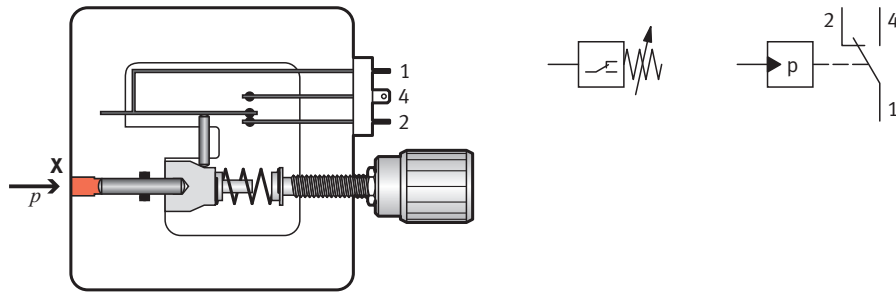


Fig. 14.10: presostato con émbolo. Vista en corte y símbolos según ISO 1219-1 y EN 60617-2

Los presostatos de membrana están adquiriendo una importancia cada vez mayor. En ellos, el contacto no se activa mecánicamente, sino de modo electrónico. Para conseguirlo se utilizan sensores sensibles a la presión o a la fuerza, que aprovechan los siguientes efectos físicos:

- Efecto de resistencia (membrana con cinta de dilatación; modificación de la resistencia eléctrica al deformarse la membrana).
- Efecto piezorresistivo (modificación de la resistencia eléctrica al cambiar la tensión mecánica).
- Efecto piezoeléctrico (generación de una carga eléctrica debido a un esfuerzo mecánico).
- Efecto capacitivo (modificación de la capacidad al cambiar el esfuerzo mecánico).

El elemento sensible a la presión se aplica sobre la membrana por difusión, evaporación o cauterización. Mediante un circuito electrónico se produce una señal analógica amplificada. Esta señal puede aprovecharse para indicar la presión o para una operación de conmutación.

14.4 Relé y contactor

La forma de representar relés y contactores en circuitos eléctricos es idéntica. También su funcionamiento básico es el mismo.

- Los relés se utilizan para fines de conmutación en circuitos de baja potencia e intensidad.
- Los contactores se emplean con el mismo fin en circuitos de gran potencia e intensidad.

14.4.1 Relé

Un relé es un interruptor accionado electromagnéticamente. Se compone de un cuerpo, un electroimán y contactos móviles. 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 el conjunto de contactos. En el conjunto de contactos se abre o cierra mecánicamente una determinada cantidad de contactos. Al interrumpirse el flujo de corriente a través de la bobina, la fuerza de un muelle desplaza al inducido hacia su posición inicial.

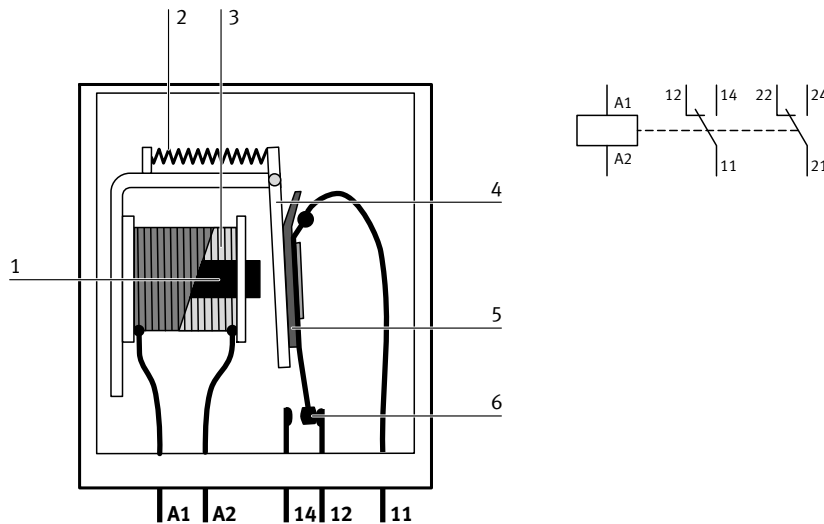


Fig. 14.11: relé, vista en corte y símbolo. 1 Núcleo de la bobina 2 Muelle de reposición 3 Bobina del relé 4 Inducido 5 Aislamiento 6 Contacto

Ejemplos de aplicaciones

Existen diversos tipos de relés. Por ejemplo, relés temporizadores o relés contadores. Los relés pueden utilizarse para diversos fines de regulación, control y vigilancia:

- Utilización como punto de contacto entre el circuito de mando y el circuito de carga
- Multiplicar de señales
- Utilización para separar circuitos de corriente continua de circuitos de corriente alterna
- Utilización para retardar, formar y convertir señales
- Utilización para enlazar de informaciones

Denominación de conexiones

Dependiendo de su tipo, los relés tienen cantidades diferentes de contactos normalmente abiertos, contactos normalmente cerrados, conmutadores, retardadores normalmente cerrados, retardadores normalmente abiertos y conmutadores retardadores. La denominación de las conexiones está definida en la norma EN 50005, 50011-13:

- Los relés se identifican con K1, K2, K3, etc.
- Las conexiones de la bobina se identifican con A1 y A2.
- Los contactos activados por relés también se identifican con K1, K2, etc.
- Los contactos también se identifican con varias cifras. La primera cifra se utiliza simplemente para numerar todos los contactos existentes (cifra de orden), mientras que las demás cifras se refieren al tipo de funcionamiento del contacto (cifra funcional).

Cifra	Función
1, 2	Contacto normalmente cerrado
3, 4	Contacto normalmente abierto
5, 6	Contacto normalmente cerrado, con retardo

Cifra	Función
7, 8	Contacto normalmente abierto, con retardo
1, 2, 4	Contacto de conmutación
5, 6, 8	Conmutador, con retardo

Tabla 14.1: cifras funcionales de relés

14.4.2 Contactor

Los contactores funcionan del mismo modo que relés. Características de contactores:

- Interrupción doble (por contacto, dos puntos de interrupción)
- Contactos forzados
- Cámaras cerradas (cámaras de supresión de arcos voltaicos)

Un contactor tiene varios elementos de conmutación. Es usual que tenga entre 4 y 10 contactos. También los contactores pueden ser de diverso tipo, con combinaciones de contactos normalmente cerrados, contactos normalmente abiertos, contactos de retardo normalmente cerrados, etc. Los contactos se distinguen por ser elementos de maniobra principales o contactos auxiliares (de control).

- Los contactos principales conmutan potencias entre 4 y 30 kW.
- Los contactos auxiliares pueden asumir al mismo tiempo otras funciones de control o establecer enlaces lógicos.
- Los contactores que únicamente activan contactos auxiliares (de control), se llaman contactores auxiliares o contactores de control.
- Los contactores que activan contactos principales se llaman contactores principales o contactores de potencia.

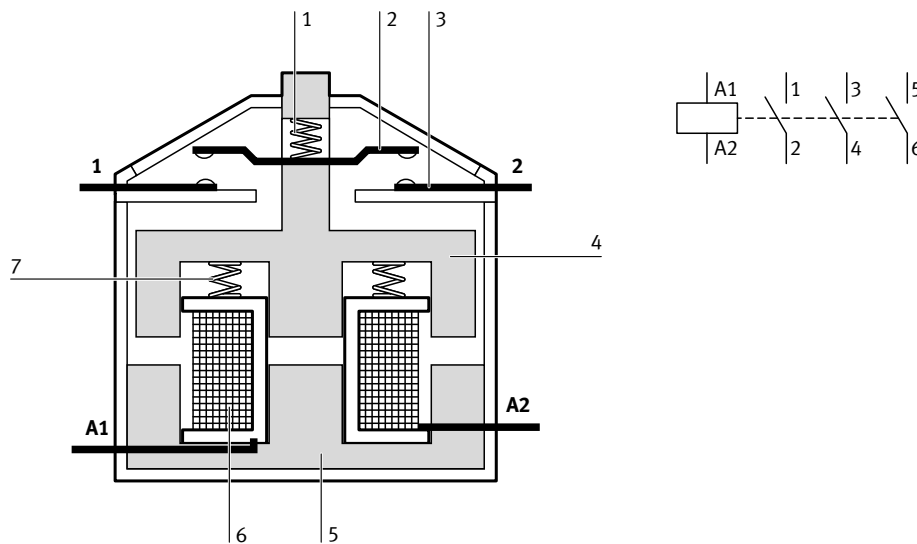


Fig. 14.12: contactor, vista en corte y símbolo. 1 Contacto de muelle de compresión 2 Elemento de conmutación móvil con contactos 3 Elemento de conmutación fijo con contactos 4 Inducido 5 Núcleo de material ferroso (imán) 6 Bobina 7 Muelle de compresión

14.5 Control lógico programable

Los controles lógicos programables (PLC) se utilizan para procesar señales. Los PLC son especialmente útiles si un sistema de control tiene numerosas señales de entrada y de salida y, además, muchas combinaciones de señales. Las señales de entrada y de salida pueden ser binarias o analógicas.

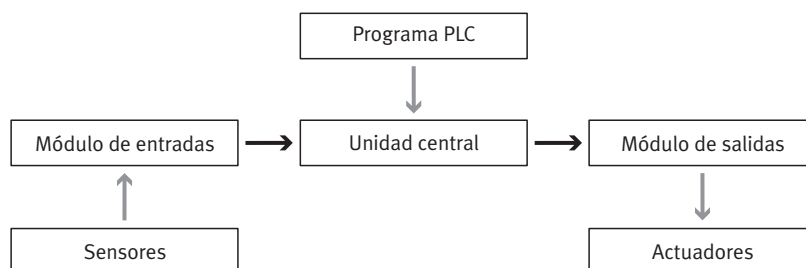


Fig. 14.13: componentes de un PLC

14.5.1 Construcción y funcionamiento de un PLC

La Fig. 14.13 muestra la configuración básica de un PLC. La parte principal es el microprocesador. Mediante programación del microprocesador se determina lo siguiente:

- Qué señales de entrada (I1, I2, etc.) se leerán
- La forma de relacionar entre sí esas señales de entrada
- A qué salidas (Q1, Q2, etc.) se entregarán los resultados del procesamiento de las señales

Por lo tanto, el comportamiento del PLC no solamente depende de las conexiones de los componentes eléctricos, sino también del programa.

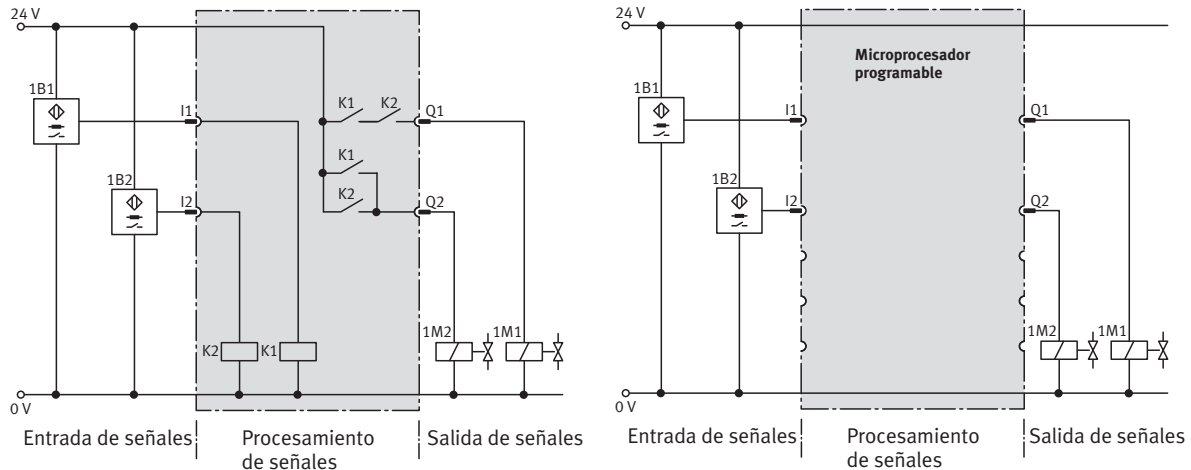


Fig. 14.14: procesamiento de señales de mando. Izq.: con relés (representación esquemática, no conforme con la norma). Der.: con control lógico programable (PLC)

14.6 Estructura completa de la unidad de mando por señales

En la parte izquierda de la Fig. 14.14 se muestra el esquema de la unidad de mando por señales de un sistema de control electrohidráulico, en el que el procesamiento de las señales está a cargo de relés.

- Los elementos de entrada de señales (detectores de proximidad inductivos 1B1 y 1B2) están conectados a los relés (K1, K2) a través de las entradas de señales (I1, I2).
- El procesamiento de las señales está a cargo de varios relés.
- Los elementos de salida de señales (bobinas 1M1 y 1M2) están conectados a las salidas de mando (Q1, Q2). Su accionamiento está a cargo de los contactos de los relés.

En la parte de la derecha de la Fig. 14.14 se muestra un esquema de la unidad de mando por señales de un sistema de control electrohidráulico, en el que el procesamiento de las señales está a cargo de un PLC.

- Los elementos de entrada de señales (detectores de proximidad inductivos 1B1 y 1B2) están conectados a las entradas de señales del PLC (I1, I2).
- El sistema programable de microprocesadores del PLC se hace cargo de todas las tareas de procesamiento de señales
- Los elementos de salida de señales (bobinas 1M1 y 1M2) están conectados a las salidas del PLC (Q1, Q2). La confirmación se realiza mediante el circuito electrónico que es parte del sistema de microprocesadores

14.7 Electroimanes

Para el accionamiento de electroimanes suelen utilizarse cuatro versiones de imanes lineales:

- Electroimán de corriente continua, de conmutación en aire. También se llama electroimán seco.
- Electroimán de corriente continua, de conmutación en aceite. También se llama electroimán húmedo.
- Electroimán de corriente alterna, de conmutación en aire.
- Electroimán de corriente alterna, de conmutación en aceite.

Los electroimanes de corriente continua son muy fiables y permiten una operación suave de conmutación. La bobina no se quema si se detiene el movimiento del inducido, por ejemplo mediante émbolos de apriete. Los electroimanes de corriente continua son especialmente apropiados en aplicaciones que exigen una gran frecuencia de conmutación.

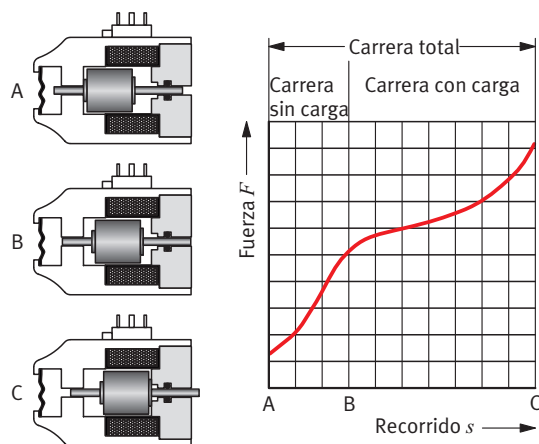


Fig. 14.15: relación fuerza/recorrido de un electroimán de corriente continua

Los electroimanes de corriente alterna se distinguen por su capacidad de conmutar rápidamente. Si el inducido no puede conmutar hasta la posición final, es posible que se queme la bobina.

Los electroimanes lineales tienen dos posiciones finales.

- La primera posición final se ocupa cuando fluye corriente (se excita el imán; posición C).
- La segunda posición final se ocupa al no fluir corriente y por acción de un muelle de reposición (se desconecta el imán; posición A)

En cada operación de conmutación, la leva actúa adicionalmente en contra del muelle de reposición de la válvula, por lo que disminuye su fuerza en el sentido de activación.

- Al inicio del movimiento lineal, la fuerza magnética es pequeña. Por esta razón, el movimiento del inducido se inicia con un recorrido sin carga (posición A).
- La corredera de mando de la válvula distribuidora conmuta sólo cuando aumenta la fuerza magnética (posición B).

Electroimán húmedo

En los electroimanes húmedos, la cámara del inducido está llena de fluido a presión. Por lo tanto, el electroimán conmuta en el fluido a presión. En este tipo de electroimán es indispensable que su cuerpo exterior sea completamente estanco. La cámara del inducido está conectada con el depósito, con el fin de evitar que el electroimán tenga que soportar esfuerzos por presiones altas. Ventajas de este tipo de electroimán de uso muy frecuente:

- Estanquidad absoluta y mínima fricción, gracias a la ausencia de una junta en la leva que tenga que soportar esfuerzos dinámicos.
- Ausencia de corrosión en el interior del electroimán.
- Movimiento amortiguado del inducido.
- Buena disipación de calor.

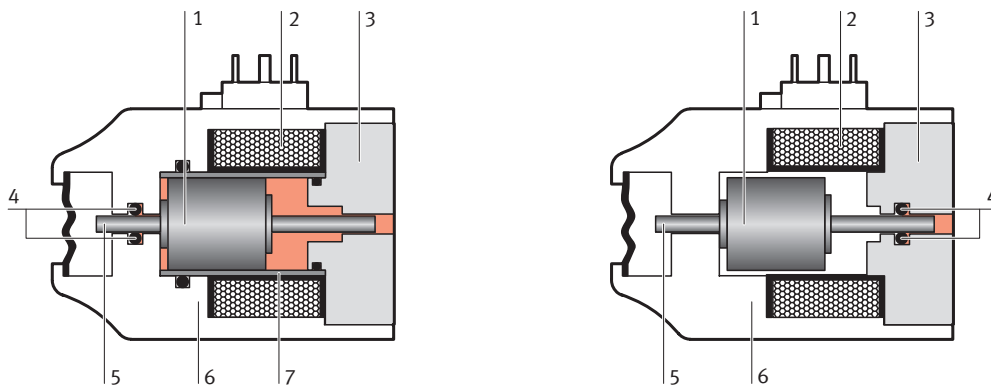


Fig. 14.16: electroimanes; vistas en corte. Izq.: electroimán húmedo. Der.: electroimán seco. 1 Inducido 2 Bobinado 3 Inducido 4 Junta 5 Accionamiento manual auxiliar 6 Cuerpo del imán 7 Núcleo de la bobina

Electroimán seco

En un electroimán seco, el imán está separado del aceite. La leva está provista de una junta que aísla el electroimán del aceite contenido en la válvula. Por lo tanto, el imán debe superar adicionalmente la fricción entre la leva y la junta, además de tener que superar la fuerza del muelle y la fricción de la corredera de mando.

14.8 Supresión de arco en electroválvulas

Si una bobina se encuentra en un circuito eléctrico, acumula energía magnética. Esta energía se descarga cuando se desconecta la bobina. Cuanto más rápida es la desconexión, tanto más rápidamente se descarga la energía y tanto mayor es el pico de tensión inductiva. Este pico puede provocar una interrupción en el circuito de corriente o la destrucción del contacto debido a un arco voltaico (chispa de desconexión).

Para evitar la destrucción de los contactos o de la bobina, es necesario que la energía acumulada en la bobina se descargue lentamente. Para conseguirlo se incluye un circuito protector. Existen diversas formas de obtener un circuito protector. Pero independientemente del tipo de circuito protector, todos ellos consiguen que al desconectar, la corriente que fluye a través de la bobina cambia lentamente.

Los siguientes esquemas muestran los circuitos protectores más frecuentes.

- Circuito protector con diodo.
- Circuito protector con un condensador y una resistencia.



Fig. 14.17: circuitos protectores. Izq.: con diodo. Der.: con condensador y resistencia

En el caso de la supresión de arco voltaico mediante diodo debe tenerse en cuenta que el diodo está polarizado hacia bloqueo si el contacto está cerrado.

Tratándose de electroimanes de corriente continua, la polaridad de la tensión de alimentación es fija. Por lo tanto, en ese caso puede instalarse un diodo luminoso en paralelo a la bobina, a modo de indicador de activación. El circuito protector y el indicador de activación se instalan en un adaptador. El adaptador se conecta directamente a la bobina, debajo del enchufe de conexión. Pero también puede montarse directamente en el enchufe de conexión.

15 Descripción de secuencias de trabajo de máquinas y equipos

15.1 Diagramas de funciones.

Los diagramas de funciones tienen la finalidad de simplificar los trabajos de diseño de proyectos, construcción y configuración de los sistemas de control de máquinas y equipos industriales. Estos diagramas no dependen de determinados tipos de sistemas de control o de la tecnología utilizada.

Además, un diagrama de funciones puede servir de medio auxiliar durante la localización de fallos. Es recomendable que la forma de los diagramas y los símbolos utilizados siempre sean los mismos, para que puedan entenderse en cualquier parte del mundo y se eviten posibles confusiones. La forma de representación más sencilla es suficiente 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. La norma actualmente vigente es la norma EN 60848 "GRAFCET", lenguaje de especificaciones para diagramas de funciones de mandos secuenciales.

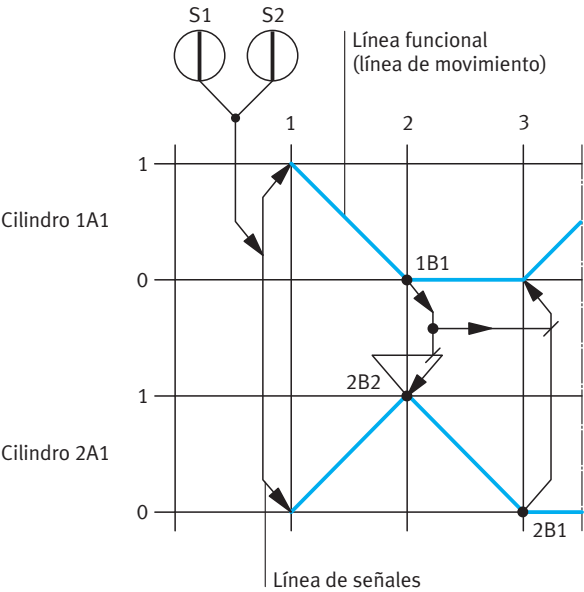
Los diagramas de funciones son un medio muy difundido en el sector industrial, que se utiliza para representar secuencias de movimientos. A continuación se explican brevemente estos diagramas de funciones.

15.1.1 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 en combinaciones de estos sistemas de control (por ejemplo, controles electroneumáticos, electrohidráulicos, etc.).

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

15.1.2 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. 15.1).

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.

Fig. 15.1: diagrama espacio-pasos correspondiente a los movimientos ejecutados por los cilindros 1A1 y 2A1

Las flechas en las líneas de señales indican el sentido de flujo de la señal. Las denominaciones de cada uno de los módulos de entrada se indican en el punto de inicio de cada una de las líneas.

Función	Símbolo	Función	Símbolo
Enlace en O		Enlace en Y	
Bifurcación de señales		Señal (detector de final de carrera)	
Señal ON		Señal OFF	

Tabla 15.1: representación de líneas de señales y módulos de entrada

15.2 Descripción de secuencias mediante GRAFCET según EN 60848

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

- Las acciones a ejecutar (comandos)
- Las secuencias 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 encuentran a la derecha de los pasos, así como las condiciones de transición se encuentran entre los pasos.

15.2.1 Principio básico de GRAFCET

1. Las secuencias se clasifican 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. Las bifurcaciones pueden ser
 - bifurcaciones de alternativa o
 - bifurcaciones paralelas.
 ¡Debe considerarse el paso 1!

15.2.2 Pasos

Las secuencias se dividen en pasos. Cada paso se representa mediante un rectángulo (preferentemente un cuadrado). En la parte superior central del cuadrado (celda correspondiente a un paso) debe constar una identificación alfanumérica.

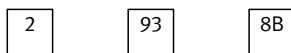


Fig. 15.2: ejemplos de pasos

Paso inicial

Cada cadena de pasos tiene un paso inicial. Es paso inicial corresponde a la posición inicial del sistema de control, es decir, se trata del paso que activa el sistema de control (ino la máquina!) inmediatamente después de iniciar el programa de control. Este paso inicial se identifica con un doble marco.



Fig. 15.3: ejemplo de un paso inicial

15.2.3 Condición 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 una secuencia no contenga errores, es obligatorio que los pasos y las transiciones siempre se alternen.

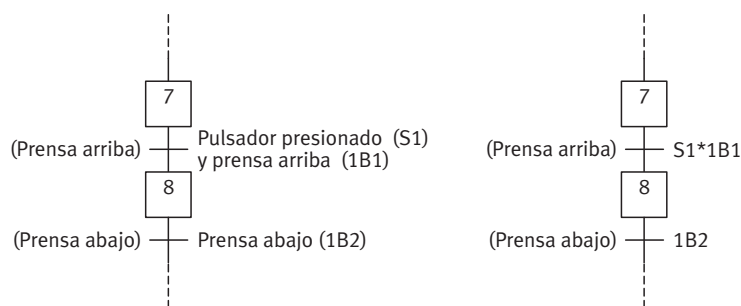


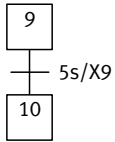
Fig. 15.4: ejemplo de condiciones de transiciones

La condición de transición consta 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).

A tener en cuenta:

el punto o asterisco describe un enlace en Y, mientras que el signo positivo se refiere a un enlace en 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.



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 paso 10.

Fig. 15.5: ejemplo de ejecución de un paso con limitación de tiempo

15.2.4 Acciones

Un paso puede estar relacionado con 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 las acciones que se muestran en el esquema no representa secuencias en función del tiempo.

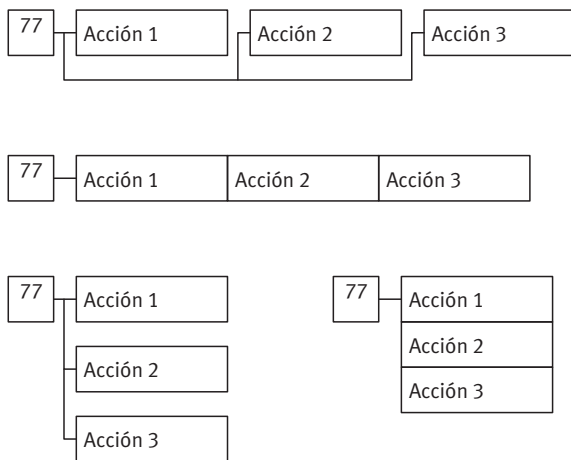


Fig. 15.6: ejemplos de un paso con varias acciones

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

1. **Acciones de efecto continuo**

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

2. **Acciones con memoria**

Estas acciones se ejecutan una vez en un determinado momento. 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 continuo	Una acción de efecto continuo significa que mientras está activo el paso correspondiente, se le atribuye el valor 1 (es decir, TRUE) a la variable indicada. Cuando el paso ya no está activo, se atribuye el valor 0 (FALSE) a la variable.	<div>4 — Activar bobina 3M2</div> <div>4 — Bobina 3M2</div> <div>4 — 3M2</div>
Acción de efecto continuo 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 asigna el valor 0 (FALSE) a la variable, aunque esté activo el paso (en el ejemplo, el paso 3).	<div>3 — 1B2</div> <div>3 — 1M2</div>
Acción de efecto continuo 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. Al término del tiempo, se ejecuta la acción. El comportamiento es equivalente al de un retardo de conexión.	<div>31 — 2s/B9</div> <div>31 — 2M1</div>
Acción de efecto continuo con retardo	Si debe ejecutarse una acción con retardo, la acción de efecto continuo 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.	<div>27 — 2s/X27</div> <div>27 — 4M1</div>
Acción de efecto continuo con limitación de tiempo	La acción con límite de tiempo se obtiene mediante la negación de la condición de la acción con retardo.	<div>29 — 5s/X29</div> <div>29 — 5M2</div>

Tabla 15.2: acciones de efecto continuo

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 otra acción lo sobrescribe. Dado que el valor de la acción se atribuye cuando se activa el paso (es decir, en presencia del flanco ascendente de la señal de la variable), esta acción se representa mediante una flecha que indica hacia arriba.	
Acción con memoria, al desactivarse el paso	Cuando se desactiva el paso, se le atribuye a la variable el valor que se indica en la acción. El valor para la variable se mantiene memorizado hasta que otra acción lo sobrescribe. Dado que el valor de la acción se atribuye cuando se desactiva el paso (es decir, en presencia del flanco descendente de la señal de la variable), esta acción se representa mediante una flecha que indica hacia abajo.	
Acción con memoria al producirse una operación	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. El símbolo que se asemeja a una pequeña bandera es 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.	
Acción retardada con memoria	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.	

Tabla 15.3: acciones con memoria

15.2.5 Selección de secuencias

Bifurcación alternativa

Si una secuencia ofrece varias alternativas, éstas se representan mediante bifurcaciones simples. Una secuencia puede contener una cantidad ilimitada de secuencias alternativas. Cada alternativa tiene su propia condición de transición. Estas condiciones deben definirse de manera muy precisa, de manera que nunca sea posible que puedan cumplirse simultáneamente varias condiciones (en tal caso se produciría un bloqueo recíproco).

Una vez concluida la ejecución de los pasos contenidos en las ramas alternativas tras cumplirse todas las condiciones de transición respectivas, se produce una unión que lleva directamente hacia el siguiente paso.

Bifurcación paralela

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.

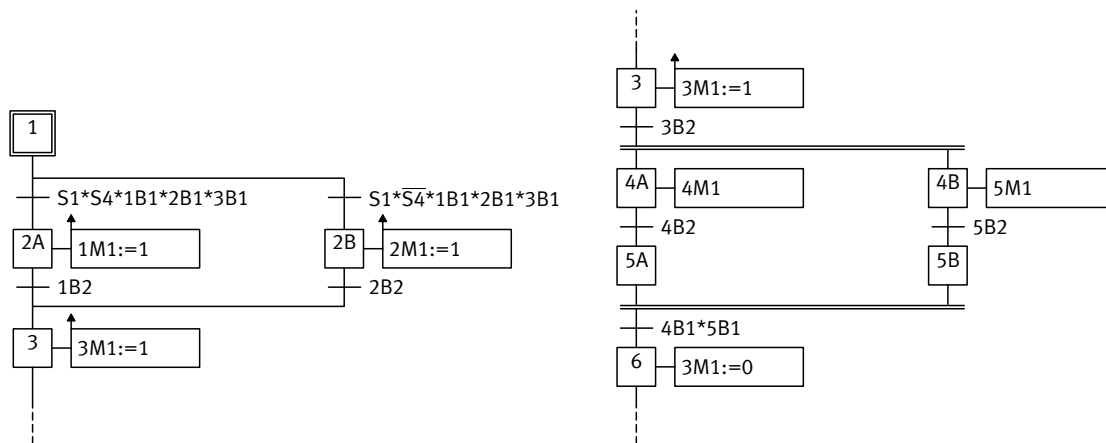
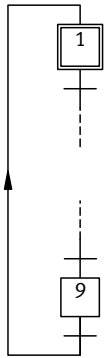


Fig. 15.7: bifurcaciones. Izq.: ejemplo de una bifurcación alternativa. Der.: ejemplo de bifurcación paralela.

Una vez ejecutadas las secuencias parciales, la bifurcación se vuelve a unir 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.

15.2.6 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. 15.8: ejemplo de un retorno en una estructura de secuencias

15.2.7 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.

16 Estructura de los esquemas de circuitos

16.1 Esquema de distribución hidráulico

El esquema de distribución hidráulico de un sistema de mando muestra cómo se conectan los componentes hidráulicos entre sí y cómo su funcionamiento influye recíprocamente. Los símbolos de los componentes se incluyen en el esquema de tal manera que se obtenga una distribución clara, evitando en la medida de lo posible que se crucen las líneas. Por esta razón, un esquema hidráulico no refleja la distribución real de los componentes en un espacio.

Los componentes incluidos en un esquema de distribución hidráulico se identifican con símbolos. Estos símbolos están normalizados en la norma ISO 1219-1. Los símbolos deben contener las siguientes características del componente correspondiente:

- Tipo de accionamiento
- Cantidad de conexiones y su denominación
- Cantidad de posiciones de conmutación

16.1.1 Distribución de los símbolos en un esquema de distribución hidráulico

En la norma ISO 1219-2 se define la estructura de los esquemas de distribución, la forma de incluir símbolos y de identificar cada componente. En un esquema hidráulico, los símbolos de los componentes hidráulicos se distribuyen de la siguiente manera:

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

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

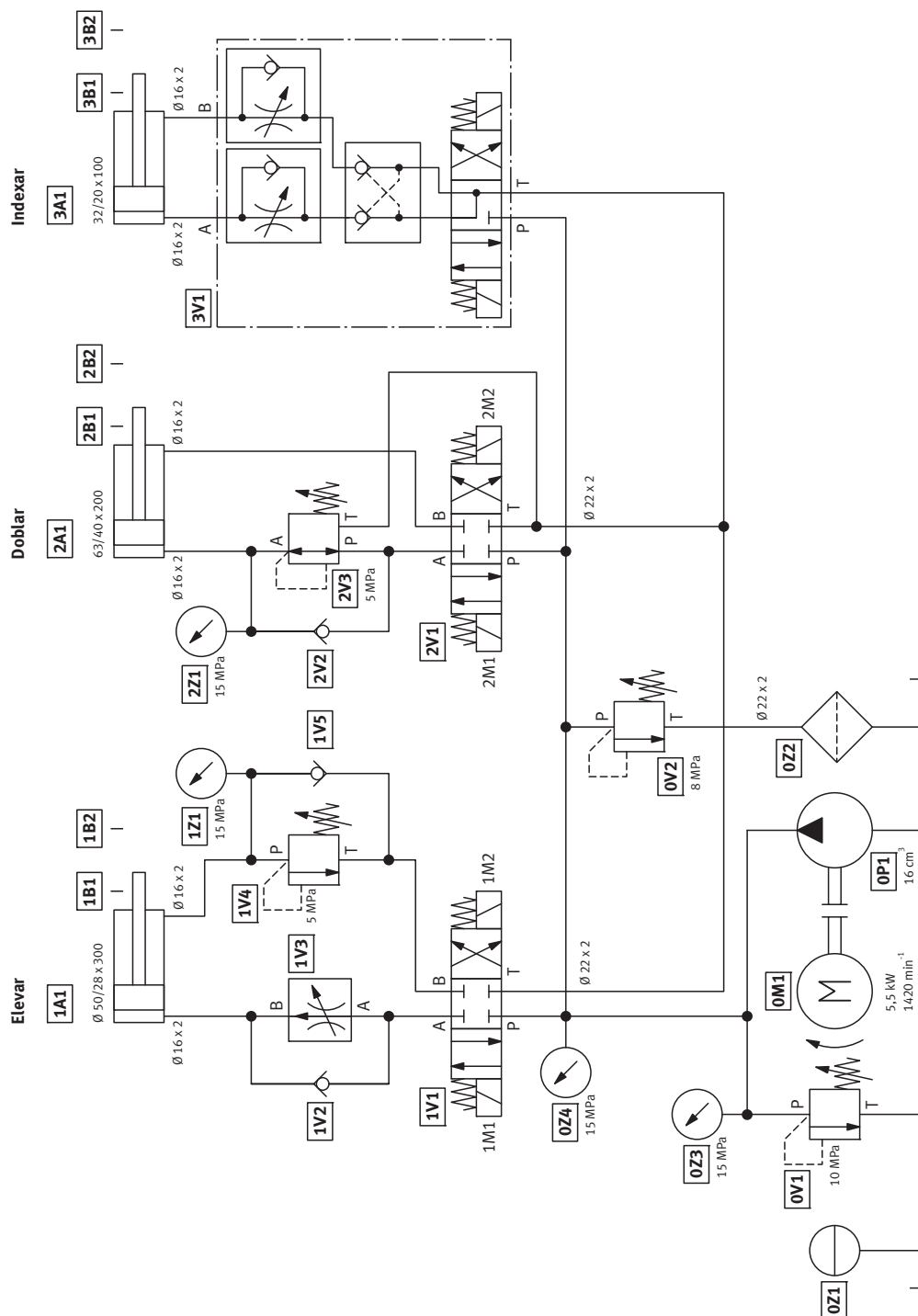


Fig. 16.1: esquema de distribución hidráulico de un sistema de mando electrohidráulico con tres cadenas de mando

16.1.2 Posición de cilindros y de válvulas distribuidoras

Todos los componentes incluidos en el esquema de distribución hidráulico se muestran estando conectada la presión de funcionamiento. En el caso de los esquemas de distribución electrohidráulicos, no fluye corriente en la parte de las señales eléctricas. Ello significa lo siguiente:

- No están activadas las bobinas de las válvulas distribuidoras
- Los actuadores (por ejemplo, cilindros y motores) se encuentran en su posición normal.

Posición normal

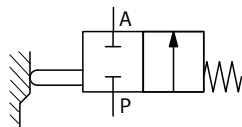
En las válvulas con reposición (por ejemplo, reposición por muelle), se llama posición normal a aquella posición que asumen las partes móviles de la válvula cuando ésta no está activada.

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.



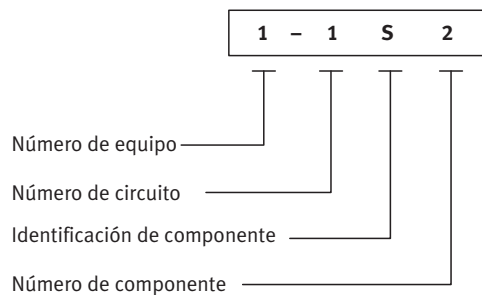
Si una válvula está activada en su posición inicial, deberá indicarlo así la leva de mando incluida en el esquema. Ello significa que, en este caso, debe constar la posición de conmutación activada.

Fig. 16.2: válvula de 2/2 vías, accionada por leva. Activada en posición normal.

16.1.3 Código de identificación de componentes

Cada componente (exceptuando los tubos rígidos y flexibles) se identifica debidamente en el esquema de distribución. Contenido del código de identificación:

- Número del equipo
(puede prescindirse de este número, si todo el esquema corresponde a un mismo equipo)
- Número del circuito (número obligatorio)
- Identificación del componente (letra obligatoria)
- Número del componente (número obligatorio)



El código de identificación debería estar incluido en un rectángulo.

Fig. 16.3: código de identificación de componentes incluidos en esquemas de distribución hidráulicos

Número del equipo

Si en una planta se tienen instalados varios equipos y sistemas de control hidráulicos, el número del equipo permite atribuir de manera más sencilla los esquemas de distribución a sus respectivos sistemas de control.

Todos los componentes hidráulicos de un sistema de control se identifican con el mismo número de equipo correspondiente. En el ejemplo de esquema de distribución, el código de identificación no incluye el número de equipo.

Número de circuito

Todos los componentes que son parte del sistema de alimentación de energía se identifican preferentemente con el número de circuito 0. Los demás números de circuito se refieren a los circuitos de diversas cadenas de mando. Números utilizados en el sistema de control mostrado aquí:

- Alimentación de energía e interruptor principal: número 0
- Cadena de mando "elevar": número de circuito 1
- Cadena de mando "doblar": número de circuito 2
- Cadena de mando "indexar": número de circuito 3

Identificación de componentes y número de componentes

Cada componente incluido en un sistema de control electrohidráulico consta en el esquema de distribución con su respectiva letra de identificación y su número de identificación. Si un circuito contiene componentes identificados con la misma letra, se numeran empezando desde abajo hacia arriba y desde la izquierda hacia la derecha.

Por lo tanto, las válvulas de la cadena de mando "elevar" deben identificarse de la siguiente manera:

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

Componentes	Identificación
Compresores	P
Actuadores	O
Motores de accionamiento	M
Recepción de señales	S
Válvulas	U
Bobinas	M
Otros componentes	Z (o cualquier otra letra que no se haya utilizado ya en la lista)

Tabla 16.1: código de identificación de componentes en el esquema de distribución hidráulico

16.1.4 Informaciones técnicas

Con el fin de facilitar el montaje de un sistema de control y para que la sustitución de componentes sea más sencilla, determinados componentes incluidos en el esquema de distribución hidráulico contienen informaciones adicionales.

Componente	Información	Valores (ejemplos)
Depósito	Volumen correspondiente al nivel de llenado máximo admisible	Máx. 120 l
	Tipo de fluido hidráulico	ISO VG 22 tipo HLP
Motor eléctrico	Potencia nominal	5,5 kW
	Velocidad de giro nominal	1420 min ⁻¹
Bomba constante y bomba regulable	Caudal volumétrico	Bomba de engranajes de 16 cm ³ /giro
Filtro	Grado de filtración	5 µm
Válvula reguladora de presión	Presión ajustada, o margen de presión admisible	Presión de funcionamiento de 80 bar (8 MPa)
Válvula antirretorno	Presión de respuesta	1 bar (0,1 MPa)

Tabla 16.2: informaciones técnicas sobre componentes incluidos en el esquema de distribución hidráulico

Componente	Información	Valores (ejemplos)
Válvula distribuidora	Tamaño nominal	NG 6
Cilindro	Diámetro interior del cilindro, diámetro del vástago – carrera	50/28-300 mm
	La función debe constar encima de cada cilindro	1A1 Elevar
Motor hidráulico	Volumen de admisión	12,9 cm ³
	Velocidad	1162 min ⁻¹
Tubos rígidos	Diámetro exterior y grosor de la pared del tubo	22x2 mm
Tubos flexibles	Diámetro nominal (diámetro interior)	20 mm

]Tabla 16.2: informaciones técnicas sobre componentes incluidos en el esquema de distribución hidráulico (continuación)

16.2 Esquema 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. Dependiendo de su función, se distingue entre los siguientes tipos de esquemas de distribución eléctricos según la norma EN 61082-1:

- Esquema general
- Esquema de circuitos eléctricos
- Esquema funcional

Esquema general

El esquema general permite apreciar las instalaciones eléctricas de un sistema grande (por ejemplo, una línea de montaje completa). Este esquema únicamente muestra lo más importante. Los sistemas parciales se representan mediante esquemas de distribución adicionales más detallados.

Esquema funcional

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

Esquema de circuitos eléctricos

El esquema de circuitos eléctricos muestra los detalles de la configuración de sistemas, instalaciones, etc. Este esquema contiene lo siguiente:

- Los símbolos 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 en varias partes del esquema. Estas funciones se distribuyen de tal manera que se obtenga una representación clara, con líneas rectas y con la menor cantidad posible de cruces de líneas. Por ejemplo, los contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos de un relé pueden distribuirse en todo el esquema.

Esquema de distribución hidráulico de un sistema de control electrohidráulico

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

En la práctica, cuando se habla de "esquema de distribución eléctrico de un sistema de control electrohidráulico", siempre se trata del esquema de circuitos eléctricos.

16.2.1 Esquema de circuitos eléctricos de un sistema de control electrohidráulico

En el esquema de circuitos eléctricos de un sistema de control electrohidráulico, los símbolos de los componentes necesarios para los enlaces y las secuencias se incluyen sucesivamente, desde arriba hacia abajo 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

Componentes	Identificación
Detector, interruptor Reed, detector de posición electrónico, presostato	B
Relé	K
Bobina de una válvula	M
Sistemas de aviso	P
Contactor	Q
Pulsadores de accionamiento manual	S

Tabla 16.3: denominación de componentes en el esquema de circuitos eléctricos (según 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 bombilla con P1

16.2.3 Tabla de elementos de conmutación

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.

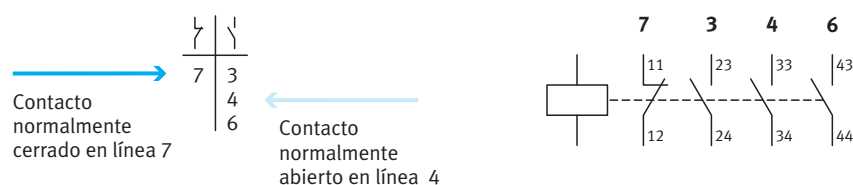


Fig. 16.5: tabla de elementos conmutadores de un relé. Izq.: forma simplificada. Der.: forma completa

Ejemplos de tablas de elementos de conmutación

En el ejemplo de esquema de circuitos eléctricos (Fig. 16.4) se incluyen, en total, cuatro tablas de elementos conmutadores:

- Línea 2: tabla de elementos conmutadores del relé K1
- Línea 4: tabla de elementos conmutadores del relé K2
- Línea 5: tabla de elementos conmutadores del relé K3
- Línea 7: tabla de elementos conmutadores del relé K4

16.2.4 Contactos y sensores activados



Fig. 16.6: representación de contactos activados en el esquema de circuitos eléctricos. Izq.: contacto normalmente cerrado, activo. Der.: contacto normalmente abierto, activo.

El esquema de distribución eléctrico se muestra con la alimentación de energía eléctrica desconectada. Los sensores (detectores de finales de carrera y detectores de proximidad) se identifican con una flecha. Adicionalmente se muestran los contactos correspondientes en posición activada.

16.3 Esquema de conexión de bornes

En un sistema de control electrohidráulico tienen que conectarse mediante cables los sensores, los elementos de mando, las unidades de procesamiento de señales y las bobinas. En ese contexto debe considerarse 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.
- 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 de accionamiento eléctrico se instalan juntas en bloques de mando, o bien se montan individualmente en la cercanía de los actuadores.

Considerando la gran cantidad de componentes y la distancia entre ellos, el cableado es un factor que incide considerablemente en el coste de un sistema de control electrohidráulico.

El cableado de un sistema de control electrohidráulico debe cumplir las siguientes condiciones:

- Instalación de coste reducido (utilización de componentes de buena relación precio/rendimiento que, a la vez, permitan la rápida conexión de los cables necesarios; optimización del esquema del circuito eléctrico considerando la cantidad de cables necesarios; utilización de componentes con la menor cantidad posible de conexiones)
- Posibilidad de localizar fallos de manera sencilla (cableado claramente dispuesto; disponibilidad de una documentación precisa del cableado)
- Reparación sencilla (sustitución sencilla de componentes mediante bornes o enchufes; ausencia de componentes que deben conectarse mediante soldadura)

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. 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 directamente en el equipo o en la máquina, los cables necesarios para conectar los componentes que se encuentran fuera del armario de maniobra pueden ser mucho más cortos. 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.

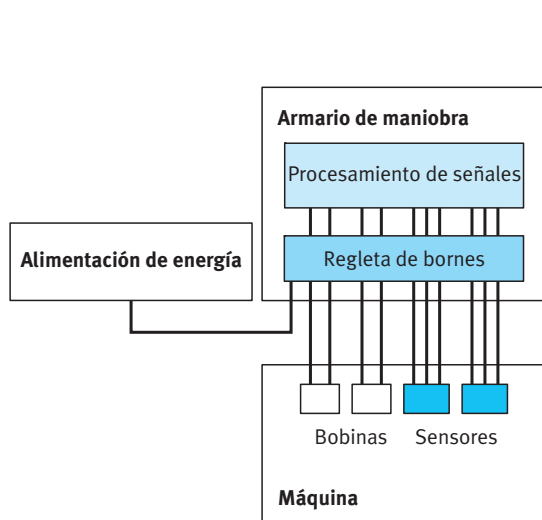


Fig. 16.7: estructura de un sistema de control electrohidráulico con regletas de bornes – regleta de bornes en el armario de maniobra

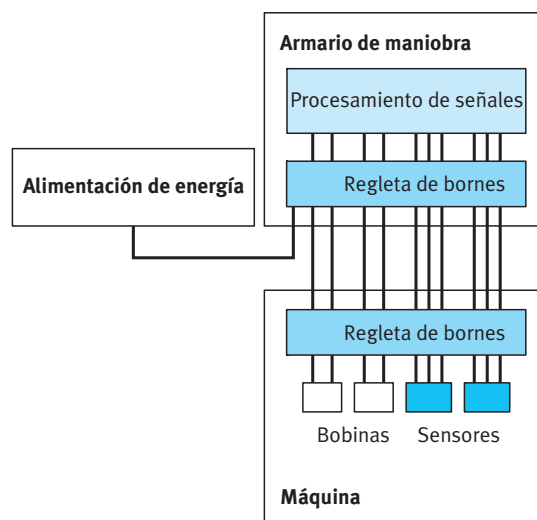
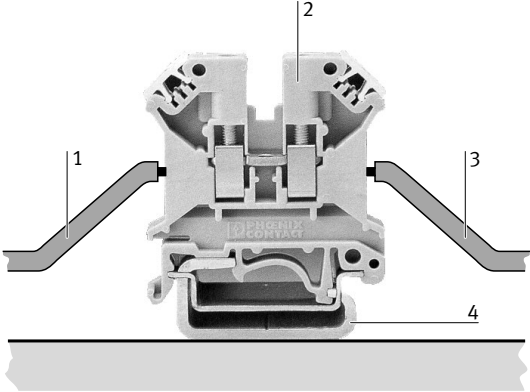


Fig. 16.8: estructura de un sistema de control electrohidráulico con regletas de bornes – regletas de bornes en el armario de maniobra y en la máquina

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 1 2 Borne 3 Cable 2 4 Perfil de montaje

Fig. 16.9: borne

Ocupación de los 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 sistemática de los bornes; sistema de clara configuración y sencillo mantenimiento
- Sistemas de control con mínima cantidad de bornes, de configuración poco clara
- Combinación de ambas soluciones

Importante

Bajo ninguna circunstancia debe ocuparse la conexión de un borne con varios cables.

	Ocupación de bornes con distribución clara	Mínima cantidad de bornes
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">- Rápida detección de fallos- Esquema claro, fácilmente entendible- Reparación sencilla	<ul style="list-style-type: none">- Ahorro (más espacio en el armario de maniobra, menor cantidad de bornes)- Menos cableado- Menor cantidad de errores al tender los cables
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none">- Necesidad de una mayor cantidad de material- Más tiempo para realizar el cableado	<ul style="list-style-type: none">- Distribución poco clara; dedicación de más tiempo, especialmente si el técnico no conoce el equipo

Tabla 16.4: ventajas y desventajas de diferentes formas de utilización de los bornes

16.3.1 Estructura de un esquema de conexiones mediante bornes

La ocupación de los bornes consta en el esquema de conexiones mediante bornes. El esquema consta de dos partes: el esquema de circuitos y el esquema de ocupación de bornes.

En el esquema de circuitos, cada borne figura como un círculo. Los bornes se identifican con X y se numeran sucesivamente 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 sucesivamente 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.

Confección de un esquema de conexiones mediante bornes

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. Atribución de números de bornes e inclusión de los bornes en el esquema de distribución eléctrico.
2. Confección 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 dispuesto. Para confeccionar el esquema de conexiones mediante bornes se utiliza lo siguiente:

- Esquema de circuitos eléctricos de un sistema de control, sin incluir los bornes
- Lista 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 de todas las líneas
(bornes X1.1 hasta X1.4 en el esquema de circuitos eléctricos)
2. Conexión a masa de todas las líneas (bornes X1.5 hasta X1.8 en el esquema de circuitos eléctricos)

3. Conexión de todos los componentes que se encuentran fuera del armario de maniobra, según los siguientes criterios:

- En el orden correspondiente a las líneas de contactos
- Dentro de una línea, desde arriba hacia abajo
- Los contactos, en el orden de las cifras de funciones
- Los componentes electrónicos, según el orden de las conexiones: tensión de alimentación, conexión de señales (si procede), conexión a masa

En el esquema, los componentes electrónicos ocupan los bornes X1.9 hasta X1.17.

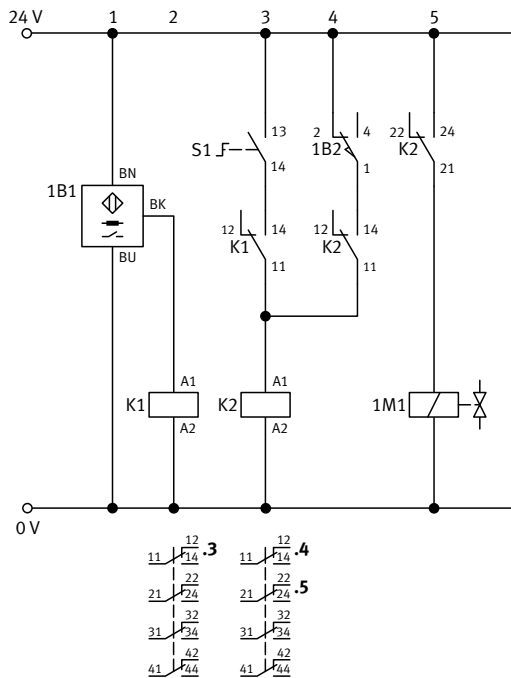


Fig. 16.10: esquema de circuitos eléctricos de un sistema de control electrohidráulico

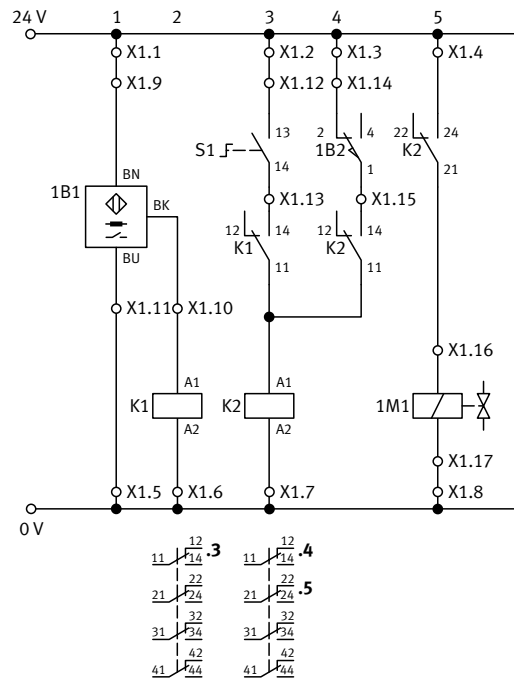


Fig. 16.11: esquema de circuitos eléctricos, incluyendo los bornes

Forma de rellenar una lista de ocupación de bornes (ejemplo)

Para rellenar 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. Inclusión de los puentes necesarios (en este ejemplo: 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	
Destino		Puente de conexión	Nº de borne. Nº X1...	Destino	
Denominación del componente	Denominación de la conexión			Denominación del componente	Denominación de la conexión
	24 V	○	1	X1	9
		○	2	X1	12
		○	3	X1	14
		○	4	K2	24
	0 V	○	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	13	○	12	X1	2
S1	14	○	13	K1	14
1B2	2	○	14	X1	3
1B2	1	○	15	K2	14
1M1		○	16	K2	21
1M1		○	17	X1	8
		○	18		
		○	19		
		○	20		

Fig. 16.12: lista de ocupación de bornes, correspondiente al sistema de control utilizado como ejemplo

16.3.2 Cableado de un sistema de control electrohidráulico

La estructura de una lista de ocupación de bornes depende de la configuración de las regletas de bornes. Por lo tanto, buena parte del cableado de un sistema de control electrohidráulico puede realizarse según 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.

17 Medidas de seguridad en los mandos electrohidráulicos

17.1 Peligros y medidas de protección

Para que los sistemas de control electrohidráulicos funcionen de manera segura, es necesario prever numerosas medidas de seguridad.

Cualquier máquina o equipo que ejecuta movimientos, es una posible fuente de peligros. Por ejemplo, en el caso de una prensa hidráulica debe ponerse cuidado en que no sea posible que queden aprisionadas las manos del operario. La Fig. 17.1 muestra un cuadro general de posibles fuentes de peligro y de las medidas de seguridad apropiadas correspondientes.

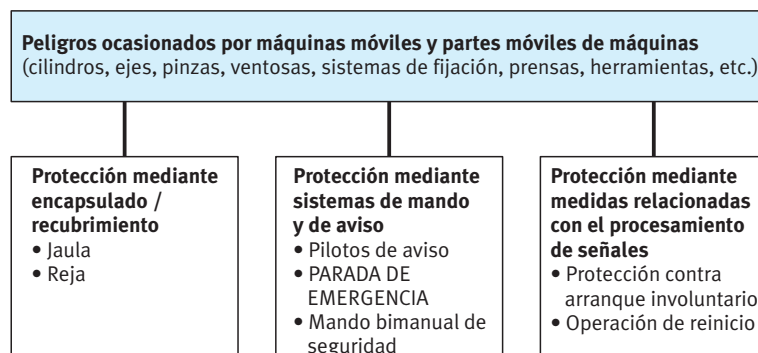


Fig. 17.1: máquinas y partes de máquinas móviles. Fuentes de peligro y medidas de seguridad

También la corriente eléctrica alberga peligros. En la Fig. 17.2 se muestran los peligros ocasionados por la corriente eléctrica y las medidas que deben adoptarse para evitarlos.

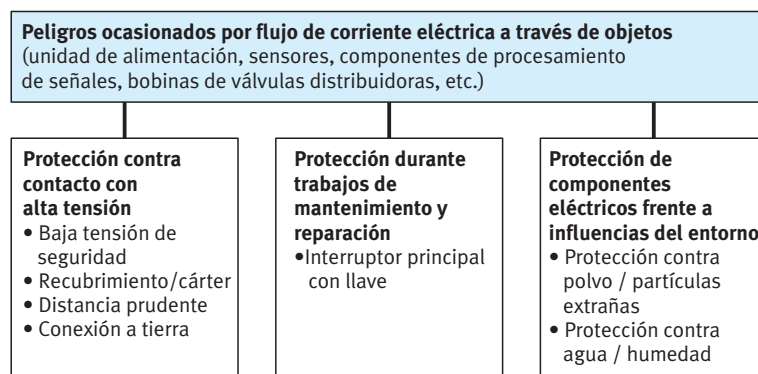


Fig. 17.2: corriente eléctrica. Fuentes de peligro y medidas de seguridad

Indicaciones de seguridad

Con el fin de evitar, en la medida de lo posible, peligros en sistemas de control electrohidráulicos, deben respetarse numerosas 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 sistemas de corriente de alta intensidad de hasta 1000 V(IEC 60364-1)
- Disposiciones sobre equipos eléctricos y seguridad en máquinas (EN 60204)
- Tipos de protección en componentes eléctricos (EN 60529)

En la hidráulica deben respetarse las siguientes normas:

- Normas de prevención de accidentes; directivas, reglamentos de seguridad y criterios de control definidos por los organismos profesionales del sector industrial
- Ley de seguridad de aparatos GSG 89/391/CE, válida en toda Europa
- Directiva de aparatos de presión DGRL 97/23/CE, válido en toda Europa

17.2 El efecto de la corriente eléctrica en seres humanos

Al establecer contacto con piezas que están bajo tensión, se cierra un circuito eléctrico. Por lo tanto, fluye una corriente eléctrica I a través del cuerpo humano.

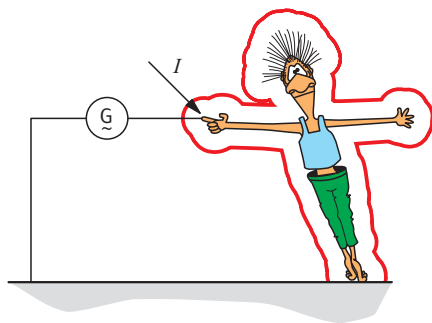


Fig. 17.3: contacto con piezas que están bajo tensión

17.2.1 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 gráfica constan los umbrales de percepción, de posibilidad de soltarse y de fibrilación cardíaca correspondientes a 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.

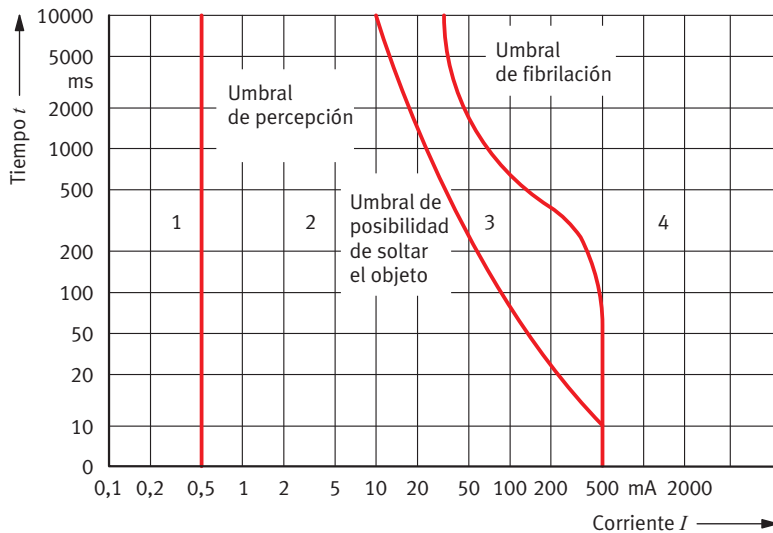


Fig. 17.4: márgenes de peligro con tensión alterna (frecuencia de 50 Hz/60 Hz)

17.2.2 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).

Por lo tanto, la resistencia eléctrica R_M (resistencia total) del ser humano es el resultado de la conexión en serie de la resistencia de entrada R_{paso1} , de la resistencia intrínseca R_I y de la resistencia de salida R_{paso2} .

La resistencia se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$R_M = R_{U1} + R_l + R_{U2}$$

La resistencia de entrada R_{pas01} y la resistencia de salida R_{pas02} (resistencias de paso) varían considerablemente en función de la superficie de contacto, la humedad de la piel y el grosor de la piel. Esta variación incide en la resistencia total R_M . La resistencia total puede variar entre los siguientes valores extremos:

- Menos de $1000 \, \Omega$ (grandes superficies de contacto, piel húmeda o sudorosa)
- Varios millones de Ω (superficie de contacto muy pequeña, piel muy seca y gruesa)

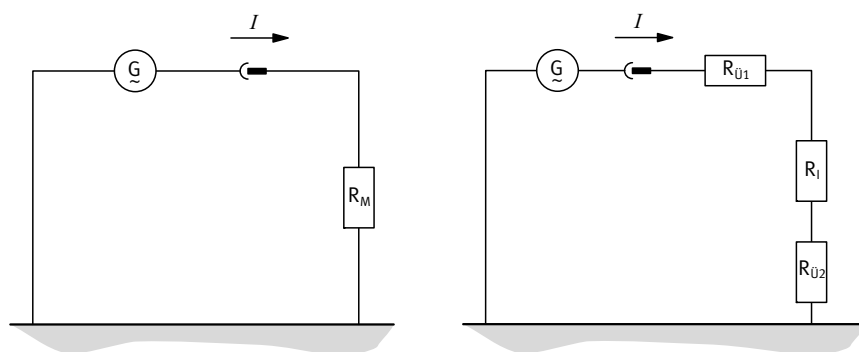
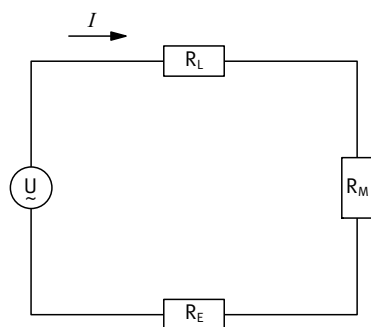


Fig. 17.5: resistencia eléctrica del cuerpo humano

17.2.3 Factores que inciden en el peligro de accidentes

La corriente I que fluye a través del cuerpo del ser humano depende de la tensión de la fuente U , la resistencia R_L del conducto eléctrico, la resistencia R_M del cuerpo humano y de la resistencia R_E de la conexión a tierra.



La corriente que fluye a través del ser humano se calcula con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{U}{R_L + R_M + R_E}$$

Fig. 17.6: corriente que fluye a través del cuerpo humano

De acuerdo con esta fórmula, se obtiene una alta intensidad de la corriente, lo que significa que existe un gran peligro en las siguientes circunstancias:

- Al establecer contacto con un conductor eléctrico de alta tensión U (por ejemplo, cable de la red eléctrica pública, tensión alterna de 230 V)
- Al establecer contacto siendo baja la resistencia de paso R_{paso} y, por lo tanto, siendo baja la resistencia total del ser humano R_M (por ejemplo, grandes superficies de contacto, piel sudorosa, vestimenta mojada)

17.3 Medidas de protección contra accidentes ocasionados por corriente eléctrica

Numerosas medidas de protección tienen la finalidad de evitar que el operario a cargo de un sistema de control electrohidráulico sufra un accidente causado por corriente eléctrica.

17.3.1 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. Mediante

- aislamiento,
- suficiente distancia es posible ofrecer una protección apropiada.
- recubrimiento y

17.3.2 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)

17.3.3 Bajo voltaje de protección

Al establecer contacto con un conductor eléctrico con tensión inferior a 30 V, no pelagra la vida ya que la corriente que fluye a través del cuerpo humano es muy baja.

Esta es la razón por la que los sistemas de control electrohidráulicos por lo general no funcionan con la tensión de la red eléctrica pública (por ejemplo, tensión alterna de 230 V), sino más bien con corriente continua de 24 V. La tensión de alimentación se reduce mediante una fuente de alimentación con transformador de seguridad. ¡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!

17.4 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.

17.4.1 Interruptor de red

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. El accionamiento del interruptor principal (interruptor maestro) obligatoriamente debe ser manual y, además, únicamente debe tener dos posiciones de conmutación: 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.

17.4.2 Parada de emergencia

La parada de emergencia debe accionarse manualmente mediante un pulsador saliente o de seta. Las normas también admiten sistemas de accionamiento indirecto, mediante cuerdas o barras accionadas con el pie. Si un sistema consta de varios puestos de trabajo o puestos de mando, es obligatorio que cada uno de ellos disponga de su propia unidad de accionamiento de la parada de emergencia. El pulsador de parada de emergencia debe ser de un color rojo muy llamativo. 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 parada de emergencia, los actuadores deben paralizarse lo más rápidamente posible. En la medida de lo posible, el sistema de control debería separarse además de los sistemas de alimentación de energía eléctrica e hidráulica. 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.
- En la medida en que sea necesaria la ejecución de movimientos de retroceso, deberán activarse al presionar el pulsador de parada de emergencia. Sin embargo, estos movimientos únicamente deberán activarse, si no albergan peligro.

Diferenciación entre desconexión de emergencia y parada de emergencia

La desconexión de emergencia es una función que tiene la finalidad principal de evitar peligros directos ocasionados por corriente o tensión eléctrica. Por ejemplo, en centros de pruebas, laboratorios, sistemas de conmutación y distribución. La parada de emergencia es una función que tiene la finalidad principal de detener un movimiento, con el fin de evitar los peligros que dicho movimiento ocasiona. Por ejemplo, paralización de los movimientos que ejecuta una máquina.

17.4.3 Elementos de mando de un sistema de control electrohidráulico

Además del interruptor maestro y el pulsador de parada de emergencia, el panel de mando de un sistema de control electrohidráulico incluye algunos elementos de mando adicionales. A continuación, un ejemplo de panel de mando:

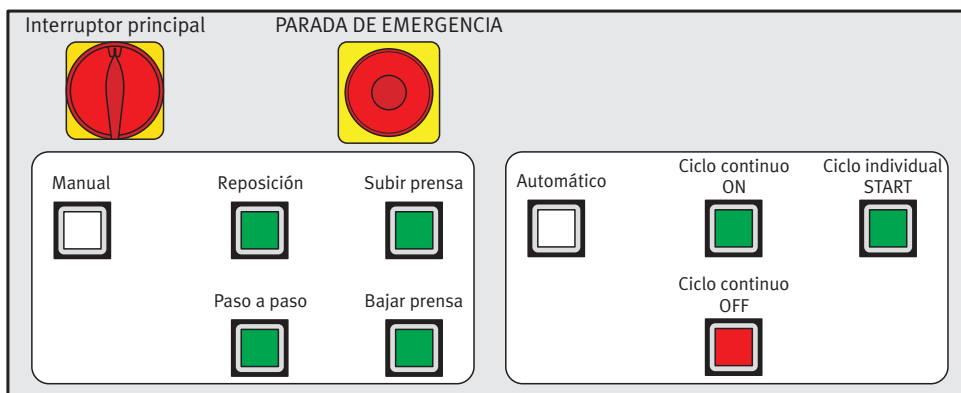


Fig. 17.7: panel de mando de un sistema de control electrohidráulico (ejemplo)

Modos de funcionamiento de un sistema de control electrohidráulico:

- 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:

- "Reposición": recuperación de la posición inicial
- "Paso a paso": cada vez que se pulsa esta tecla, el sistema secuencial avanza un paso
- Movimientos individuales: pulsando la tecla o el conmutador correspondiente, se activa un actuador para ejecutar una tarea determinada (por ejemplo: "Subir prensa" o "Bajar prensa")

Funcionamiento automático

Las siguientes funciones únicamente son posibles en modo de funcionamiento automático:

- Ciclo individual: ejecución de la secuencia una sola vez
- Ciclo continuo: repetición continua de la secuencia

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 surten efecto en cualquier modalidad de funcionamiento. Deben estar presentes obligatoriamente en los paneles de mando de sistemas de control electrohidráulicos, junto con los mandos "Manual", "Automático", "Start", "Stop" y "Reposición". Dependiendo de las funciones de la aplicación, es posible que el panel de mando incluya otros elementos de mando adicionales.

Identificación mediante colores de los elementos de mando

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	Comando	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, mando por actuación sucesiva	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 (pulsar al iniciar).
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 que no están relacionadas directamente con el ciclo de trabajo.

17.1: Identificación mediante colores de los elementos de mando de máquinas

Colores de indicadores luminosos

Los pilotos de aviso están identificados 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	Indicación que la máquina fue detenida por un sistema de protección (por ejemplo, debido a sobrecarga, sobrepaso indebido de una posición u otro error. O bien: indicación que debe detenerse la máquina (por ejemplo, debido a sobrecarga)
Amarillo	¡Atención! o ¡Cuidado!	Un determinado valor (corriente, temperatura) se acerca al límite admisible. O bien, señal correspondiente a ciclo automático.
Verde	La máquina está lista para funcionar.	La máquina está lista para funcionar, todos los sistemas de ayuda funcionan correctamente. Todos los módulos se encuentran en sus respectivas posiciones iniciales y la presión hidráulica o la tensión de un convertidor tienen los valores correctos. El ciclo ha concluido, y la máquina está lista para iniciar el siguiente ciclo o repetir el anterior.
Blanco (transparente)	Los circuitos están conectados a tensión Funcionamiento normal	El interruptor principal se encuentra 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.	

17.2: Identificación mediante pilotos de color de sistemas de control de máquinas

17.5 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.

17.5.1 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 a la entrada 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 referencia	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 partes interiores móviles con herramientas, cables o piezas similares con un grosor superior a 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.

17.3: Protección contra contacto directo, polvo y cuerpos extraños

Segundo número de referencia	Alcance de la protección	
	Denominación	Explicación
0	Sin protección	No ofrece protección especial.
1	Goteo de agua	Las gotas que caen perpendicularmente no deben ocasionar daños.
2	Goteo de agua sobre un plano inclinado 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	Rociado con agua	El agua que cae sobre cualquiera de los lados de un plano vertical en un ángulo de hasta 60° no debe ocasionar daño alguno.
4	Salpicaduras de agua	El agua que salpica desde cualquier ángulo contra el cuerpo no tiene efectos dañinos.
5	Chorro de agua	Un chorro de agua dirigido desde cualquier sentido hacia el cuerpo, no debe ocasionar daño alguno.
6	Chorro fuerte de agua	Un potente chorro de agua dirigido con fuerza desde cualquier ángulo contra el elemento operativo no debe tener efectos dañinos.
7	Inmersión pasajera	El agua no debe penetrar en cantidades que puedan ocasionar un daño si el cuerpo se sumerge en agua sometiéndose a una presión normalizada durante un tiempo determinado.
8	Inmersión 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 deben ser más difíciles que aquellas explicadas en 7.

17.4: Protección contra humedad y agua

17.6 Principios de seguridad para instalaciones electrohidráulicas

17.6.1 Configuración de un sistema de control electrohidráulico

- Instalar el pulsador de **parada de emergencia** en un lugar de fácil acceso.
- Utilizar únicamente componentes normalizados.
- Incluir cualquier cambio de inmediato en el **esquema de distribución**.
- Posibilidad de consultar la **presión nominal** en todo momento y de manera sencilla.
- Comprobar si todos los componentes instalados admiten la **presión máxima de funcionamiento**.
- Configurar los **conductos de aspiración** de tal manera que no pueda aspirarse aire.
- Revisar la **temperatura del aceite** contenido en el conducto de aspiración que lleva hacia la bomba. Esta temperatura no debe superar los 60 °C.
- Los **vástagos de los cilindros** no deben estar sometidos a esfuerzos de flexión. Tampoco deben estar expuestos a fuerzas laterales. Proteger los vástagos para evitar que se dañen o ensucien.

17.6.2 Puesta en funcionamiento de un sistema electrohidráulico

- Nunca utilizar o activar funciones que se desconocen.
- Deben conocerse todos los **valores de ajuste**.
- Conectar la **alimentación de energía** únicamente si están conectados todos los circuitos. Importante: comprobar si todos los conductos de retorno y conductos de aceite de fugas llevan hacia el depósito.
- Primera puesta en funcionamiento: abrir primero casi completamente la **válvula limitadora de la presión del sistema** y cerrar lentamente hasta alcanzar la presión de funcionamiento. Las válvulas limitadoras de presión deben instalarse de tal manera que su funcionamiento siempre esté garantizado.
- Antes de la puesta en funcionamiento, **enjuagar** minuciosamente y, a continuación, sustituir los cartuchos filtrantes.
- **Descargar** el aire del sistema y de los cilindros.
- Especialmente deben descargarse completamente los **conductos hidráulicos que llevan hacia el acumulador**. La descarga por lo general puede hacerse con el bloque de seguridad o el bloque de cierre del acumulador.
- Cualquier manipulación del **acumulador hidráulico** deberá hacerse con especial cuidado. Antes de poner en funcionamiento los acumuladores, deberán consultarse y respetarse las indicaciones hechas por el fabricante.

17.6.3 Mantenimiento y reparación de un sistema electrohidráulico

- Cualquier trabajo de mantenimiento o reparación en un sistema hidráulico deberá hacerse únicamente después de **descargar la presión contenida en los acumuladores**. Si es posible, es recomendable separar los acumuladores del sistema (mediante válvula). ¡Nunca descargar el contenido de un acumulador sin estrangulación! La instalación y el funcionamiento de los acumuladores deben regirse por las normas técnicas correspondientes.
- Una vez concluido el trabajo de reparación, la **nueva puesta en funcionamiento** debe realizarse de acuerdo con las disposiciones de seguridad antes descritas.
- Todos los **acumuladores hidráulicos** están sujetos al reglamento de depósitos de presión. Por lo tanto, deben revisarse regularmente.

18 Símbolos

18.1 Símbolos de componentes hidráulicos

Para que los esquemas gráficos de sistemas hidráulicos tengan una disposición clara y fácil de entender, se utilizan símbolos que representan a los componentes. El símbolo identifica al componente y permite apreciar su funcionamiento, aunque no indica nada sobre su construcción. Los símbolos están definidos en la norma ISO 1219-1.

Importante

Una flecha que atraviesa diagonalmente el símbolo significa que ese componente admite un ajuste.

18.1.1 Símbolos de bombas y motores hidráulicos

El símbolo de un motor hidráulico únicamente se diferencia del símbolo de una bomba hidráulica por las flechas de sentido de flujo opuestas entre sí.

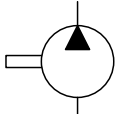
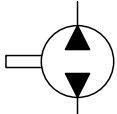
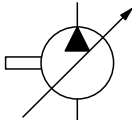
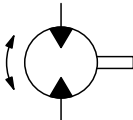
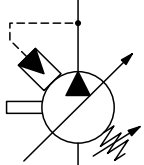
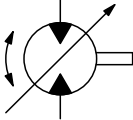
Función	Símbolo	Función	Símbolo
Bomba hidráulica		Bomba hidráulica con volumen de expulsión constante y dos sentidos de flujo	
Bomba con posibilidad de ajuste (general)		Motor hidráulico con volumen de expulsión constante y dos sentidos de giro	
Bomba con ajuste de la presión		Motor hidráulico con volumen de expulsión regulable y dos sentidos de giro	

Tabla 18.1: símbolos válidos en la parte de alimentación de energía

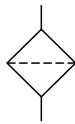
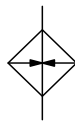
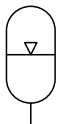
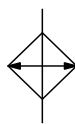
Función	Símbolo	Función	Símbolo
Filtro		Calefacción	
Acumulador hidráulico (de membrana)		Refrigeración	

Tabla 18.1: símbolos válidos en la parte de alimentación de energía (continuación)

18.1.2 Símbolos de válvulas

Los símbolos de válvulas hidráulicas constan de varios cuadrados.



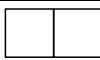

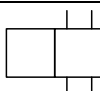
Función	Símbolo	Función	Símbolo
Las posiciones de conmutación se representan mediante cuadrados.		Las conexiones bloqueadas se representan mediante dos líneas en ángulo recto	
La cantidad de cuadrados corresponde a la cantidad de posiciones de conmutación			
Las líneas representan las vías de flujo, mientras que las flechas indican el sentido de flujo		Los conductos de alimentación y de descarga se indican en la parte exterior de un cuadrado	

Tabla 18.2: partes de símbolos de válvulas

18.1.3 Símbolos de válvulas distribuidoras

En el símbolo de una válvula distribuidora se muestran las conexiones, las posiciones de conmutación y el 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
Primer número: cantidad de conexiones o vías Segundo número: cantidad de posiciones de conmutación	
Válvula de 2/2 vías, normalmente cerrada	
Válvula de 3/2 vías, normalmente cerrada	
Válvula de 3/2 vías, normalmente abierta	
Válvula de 4/2 vías, flujo desde P hacia A y desde B hacia T	
Válvula de 4/3 vías, centro cerrado	

Tabla 18.3: válvulas distribuidoras, conexiones y posiciones de conmutación

Identificación de las conexiones y del accionamiento de válvulas distribuidoras

	Función	Denominación
Líneas de utilización (todos los tipos de válvulas)	Conexión de presión Conexiones de utilización Conexión de retorno Aceite de fuga	P A, B T L
Pilotaje		X Y

Tabla 18.4: identificación de las líneas de utilización y de mando de válvulas distribuidoras

Las indicaciones siempre se refiere a la posición normal de la válvula. Si una válvula no tiene posición normal, la indicación se refiere a la posición inicial que asume la válvula.

18.1.4 Símbolos de tipos de accionamiento

La posición de conmutación de una válvula distribuidora puede cambiarse mediante diversos tipos de accionamiento. A continuación se muestran los símbolos correspondientes a los tipos de accionamiento más importantes. Si desea obtener informaciones más detalladas sobre tipos de accionamiento, consulte la norma ISO 1219-1.



Accionamiento	Símbolo	Accionamiento	Símbolo
Mediante compresión		Mediante tracción	

Tabla 18.5: tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras. Accionamiento manual





Accionamiento	Símbolo	Accionamiento	Símbolo
Mediante leva		Mediante muelle	
Mediante leva con rodillo		Centrado por muelle	

Tabla 18.6: tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras. Accionamiento mecánico o reposición




Accionamiento	Símbolo
Por efecto de un electroimán	
Por efecto de dos electroimanes	
Válvula servopilotada, accionamiento electromagnético en ambos lados, con accionamiento manual auxiliar	

Tabla 18.7: tipos de accionamiento de válvulas distribuidoras. Accionamiento eléctrico, accionamiento combinado

18.1.5 Símbolos de válvulas de presión

Las válvulas de presión pueden ser válvulas limitadoras de presión o válvulas reductoras de presión.

- Válvulas limitadoras de presión
Con estas válvulas se ajusta y se limita la presión en instalaciones hidráulicas. La presión de funcionamiento se determina en la entrada P de la válvula.
- Válvulas reductoras de presión
Con estas válvulas se reduce la presión de salida, siendo variable la presión de entrada. La presión de mando se consulta en la salida de la válvula.

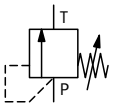
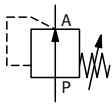
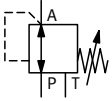
Función	Símbolo	Función	Símbolo
Válvula limitadora de presión, regulable		Válvula de 2 vías, reductora de presión, regulable	
		Válvula de 3 vías, reductora de presión, regulable	

Tabla 18.8: símbolos de válvulas de presión

18.1.6 Símbolos de válvulas de caudal

Las válvulas de caudal pueden ser válvulas de control de caudal y válvulas reguladoras de caudal.


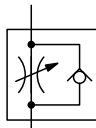

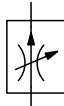
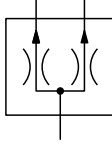
Función	Símbolo	Función	Símbolo
Válvula de diafragma		Válvula de estrangulación y antirretorno	
Válvula de estrangulación, regulable		Válvula de 2 vías, reguladora de caudal	
		Divisor de caudal	

Tabla 18.9: símbolos de válvulas de caudal

18.1.7 Símbolos de válvulas de antirretorno y cierre

Las válvulas de antirretorno bloquean el caudal en un sentido y abren el paso en el sentido opuesto. En las válvulas de antirretorno desbloqueables es posible anular el bloqueo mediante una conexión de mando.

Las válvulas de cierre se utilizan para descargar manualmente la presión en un sistema, o para descargar acumuladores.


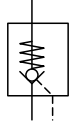


Función	Símbolo	Función	Símbolo
Válvula antirretorno		Válvula de antirretorno desbloqueable	
Válvula de antirretorno, con muelle		Válvula de cierre	

Tabla 18.10: símbolos de válvulas de cierre

18.1.8 Símbolos de cilindros

Los cilindros de simple efecto tienen una sola conexión. Es decir, únicamente es posible aplicar presión en la superficie del émbolo.

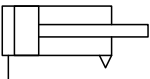
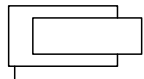
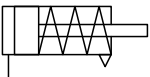

Función	Símbolo	Función	Símbolo
Cilindro de simple efecto Avance mediante energía hidráulica. Retroceso mediante fuerza externa.		Cilindro de simple efecto, cilindro de émbolo buzo	
Cilindro de simple efecto Avance mediante energía hidráulica. Retroceso mediante muelle de reposición.		Cilindro telescópico de simple efecto	

Tabla 18.11: símbolos de cilindros de simple efecto

Un cilindro de doble efecto tiene dos conexiones que permiten aplicar presión en ambas cámaras del cilindro.

Función	Símbolo	Función	Símbolo
Cilindro de doble efecto		Cilindro de doble efecto Cilindro con doble vástago (cilindro de baja fricción)	
Cilindro de doble efecto Amortiguación regulable en ambas posiciones finales.		Cilindro telescópico de doble efecto	

Tabla 18.12: símbolos de cilindros de doble efecto

18.1.9 Símbolos de otros componentes

Función	Símbolo	Función	Símbolo
Fuente de energía hidráulica		Conducto flexible	
Motor eléctrico		Depósito	
Unión de líneas		Escape continuo	
Cruce de líneas		Acoplamiento rápido, conectado, con válvulas de antirretorno mecánicas	

Tabla 18.13: símbolos de otros componentes

18.1.10 Aparatos de medición

Los aparatos de medición incluidos en esquemas de distribución se identifican mediante los símbolos que se indican a continuación.





Función	Símbolo	Función	Símbolo
Aparato de medición de presión (manómetro)		Aparato de medición de caudal (caudalómetro)	
Aparato de medición de temperatura (termómetro)		Indicador de nivel de llenado de líquidos (mirilla)	

Tabla 18.14: símbolos de otros componentes

18.2 Símbolos de componentes eléctricos

Los componentes incluidos en un esquema de distribución eléctrico se identifican con símbolos. Estos símbolos están normalizados en la norma EN 60617. En las siguientes tablas se muestran los símbolos que representan componentes eléctricos utilizados con frecuencia en sistemas de control electrohidráulicos.

18.2.1 Símbolos correspondientes a funciones básicas










Función	Símbolo	Función	Símbolo
Tensión continua, corriente continua		Imán permanente	
Tensión alterna, corriente alterna		Resistencia, general	
Rectificador (unidad de alimentación eléctrica)		Bobina (inducción)	
Conexión a tierra (general)		Condensador	
		Lámpara indicadora	

Tabla 18.15: símbolos eléctricos. Funciones básicas.

	Símbolo Función básica	Símbolo Función con reposición automática	Símbolo Función sin reposición automática
Contacto normalmente abierto			
Contacto normalmente cerrado			
Contacto de conmutación			

Tabla 18.16: símbolos de elementos de conmutación. Funciones básicas.

Función	Símbolo Accionamiento con retardo	Símbolo Reposición con retardo	Símbolo de accionamiento y reposición retardados
Contacto normalmente abierto			
Contacto normalmente cerrado			

Tabla 18.17: símbolos de elementos de conmutación. Accionamiento con retardo.

Función	Símbolo Pulsador	Símbolo Selector
Contacto normalmente abierto, accionamiento manual		
Contacto normalmente abierto, accionamiento manual presionando		

Tabla 18.18: símbolo de elementos de conmutación de accionamiento manual

Función	Símbolo Pulsador	Símbolo Selector
Contacto normalmente cerrado, accionamiento manual con tracción		
Contacto normalmente abierto, accionamiento manual girando		

Tabla 18.19: símbolo de elementos de conmutación de accionamiento manual (continuación)

18.2.2 Símbolos de actuadores electromecánicos

Función	Símbolo	Función	Símbolo
Actuador electromecánico (general)		Actuador electromecánico con desconexión retardada	
Actuador electromecánico con dos bobinados de efecto en el mismo sentido		Actuador electromecánico de un relé de corriente continua	
Actuador electromecánico con dos bobinados en sentidos opuestos		Actuador electromecánico de un relé de remanencia	
Actuador electromecánico con activación retardada		Actuador electromecánico de una válvula distribuidora	

Tabla 18.20: símbolos de actuadores electromecánicos

18.2.3 Símbolos de relés y contactores

Función	Símbolo	Función	Símbolo
Relé con tres contactos normalmente abiertos y un contacto normalmente cerrado		Relé de remanencia Si se aplica tensión en la conexión de la bobina identificada con *, el contacto se indica en los lugares de los elementos de conmutación identificados con *	
Relé con retardo de desconexión		Relé intermitente	
Relés con retardo de conexión		Contactor con un contacto normalmente cerrado y un contacto normalmente abierto	

Tabla 18.21: símbolos de relés y contactores (representación conjunta)

18.2.4 Símbolos de sensores

Función	Símbolo	Función	Símbolo
Detector de proximidad, accionamiento mediante imán		Detector de posición capacitivo	
Detector de posición inductivo		Presostato electromecánico	
Detector óptico		Presostato electrónico	

Tabla 18.22: símbolos de sensores

Normas

DIN 1343

Estado de referencia, estado normalizado, volumen normalizado: conceptos y valores; enero de 1990
(q.v. 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. Criterios generales. Junio de 2007

EN 60529

Tipos de protección mediante cuerpos envolventes (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, equipos, instalaciones y máquinas industriales, así como productos industriales. Criterios de estructuración e identificación de referencia. Clasificación de objetos y codificación de clases. Mayo 2010

IEC 60364-1

Instalación de sistemas de baja tensión. Parte 1: principios generales, reglamento de características generales, conceptos. Noviembre de 2005

ISO 1219, parte 1

Técnica de fluidos: símbolos gráficos y esquemas de distribución. Símbolos gráficos; junio de 2012

ISO 1219, parte 2

Técnica de fluidos: símbolos gráficos y esquemas de distribución. Esquemas de distribución; noviembre de 1996

Índice de conceptos

Accionamiento _____	47	Calefacción _____	66
Accionamiento manual auxiliar _____	105	Calor _____	27
Aceites hidráulicos _____	40	Caudal _____	22
denominaciones _____	41	Caudalímetro _____	153
propiedades _____	42	Caudalímetros _____	153
requisitos _____	42	Cavitación _____	37
Acumulador de diafragma _____	70	Cilindro _____	74
valores característicos _____	70	de doble efecto _____	75
Acumulador de émbolo _____	69	de simple efecto _____	74
valores característicos _____	69	Cilindro hidráulico _____	74
Acumulador de vejiga _____	71	Cilindros _____	
valores característicos _____	71	amortiguación en posiciones finales _____	78
Acumulador hidráulico _____	67	datos característicos _____	80
acumulador de diafragma _____	70	escape de aire _____	80
acumulador de émbolo _____	69	juntas _____	79
acumulador de vejiga _____	71	resistencia al pandeo _____	82
construcción _____	67	selección (ejemplo) _____	84
funcionamiento _____	67	tipos de fijación _____	80
normas de seguridad _____	72	Clases de viscosidad _____	43
presión de gas de precarga _____	68	Código de identificación _____	191
presión de transporte _____	68	Coefficiente de resistencia en el tubo _____	29
sistemas de seguridad _____	73	Compresibilidad _____	32
Alimentador de energía _____	47	Concatenación en altura _____	149
componentes _____	47	Condensador _____	159
Amortiguación en las posiciones finales _____	78	Conductor _____	156
Autoencendido _____	37	Conexión a tierra _____	208
Baja voltaje de protección _____	208	Contacto Reed _____	168
Barrera de luz de reflexión _____	171	Contactador _____	174
Barrera de luz unidireccional _____	170	Control lógico programable (PLC) _____	175
Bifurcación paralela _____	187	Corriente alterna _____	155
Bifurcación, alternativa _____	187	Corriente continua _____	155
Bomba _____	48	Depósito _____	55
bomba ajustable _____	52	Desconexión de emergencia _____	210
bomba constante _____	52	Descripción de secuencias _____	180
bomba de engranajes _____	53	Detector de reflexión directa _____	171
bomba regulable _____	52	Detectores de posición _____	
tipos básicos _____	52	ópticos _____	170
valores característicos _____	49	Detectores de proximidad _____	167
valores característicos de		capacitivos _____	170
bombas constantes _____	54	inductivos _____	169
Bomba de engranajes _____	53	Diagrama de funciones _____	180
Caída de presión _____	27	Diagrama espacio-pasos _____	181
por desvíos _____	29	Diodo _____	160

Ecuación de continuidad _____	22	determinación de la presión diferencial ____	64
Efecto de motor diésel _____	37	filtro de aspiración _____	59
Electroimán _____	158	filtro de presión _____	60
construcción _____	158	filtro de retorno _____	59
funcionamiento _____	158	filtros hondos _____	62
húmedo _____	178	filtros planos _____	62
seco _____	178	lugar de montaje _____	60
utilización _____	158	Filtros hondos _____	62
Electroimán húmedo _____	178	Filtros planos _____	62
Electroimán proporcional		Flancos de mando _____	94
construcción _____	132	Fluido a presión	
funcionamiento _____	132	funciones _____	40
Electroimán seco _____	178	Fluidos a presión _____	40
Electroimanes _____	177	tipos _____	41
Electrotécnica _____	155	Flujo laminar _____	25
fundamentos _____	155	Flujo turbulento _____	25
Electroválvula biestable de 4/2 vías ____	111	Fricción _____	27
Electroválvula de 3/2 vías _____	108	Fuerza de accionamiento _____	89
Electroválvula de 4/3 vías _____	113	Funcionamiento automático _____	211
con servopilotaje _____	116	Funcionamiento manual _____	210
Electroválvulas		Grado de filtración _____	58
supresión de arco voltaico _____	179	Grado de rendimiento _____	35
Elementos de mando _____	211	GRAF CET _____	182
identificación mediante colores ____	211	acciones _____	184
Encadenamiento horizontal _____	150	condición de transición _____	183
Energía _____	31	pasos _____	182
cinética _____	33	retorno _____	188
potencial _____	31	selección de secuencias _____	187
Energía de presión _____	32	Hidráulica	
Energía térmica _____	34	desventajas _____	13
Esquema		fundamentos físicos _____	15
distribución de los símbolos _____	189	ventajas _____	13
eléctrico _____	194	Identificación de los componentes _____	192
Esquema de circuitos eléctricos _____	194	Indicaciones de seguridad _____	161
sistema de control electrohidráulico ____	195	Indicadores de saturación _____	63
Esquema de conexión de bornes _____	198	Indicadores luminosos _____	212
Esquema de distribución _____	189	identificación mediante colores _____	212
hidráulico _____	189	Interrupción de red _____	209
Esquema funcional _____	194	La resistencia eléctrica del ser humano ____	206
Esquema general _____	194	Ley	
Filtración en caudal secundario _____	60, 63	de Ohm _____	156
Filtración en el caudal principal _____	60	Ley de Hagen-Poiseuille _____	39
Filtro _____	57	Ley de Ohm _____	156
Filtro de aspiración _____	59	Ley de Pascal _____	18
Filtro de presión _____	60	Líneas de contactos _____	196
Filtro de retorno _____	59	Longitud de pandeo _____	82
Filtros		Longitud de pandeo según Euler _____	83

Manómetros _____	151	Relés	
Medición		denominación de conexiones _____	174
fuentes de error _____	164	ejemplos de aplicaciones _____	173
intensidad _____	163	Rendimiento	
resistencia _____	163	mecánico-hidráulico _____	36
tensión _____	162	volumétrico _____	36
Medición de intensidad _____	163	Reparto del caudal _____	124
Medición de la presión _____	23	Resistencia _____	156
Medición de resistencia _____	163	Resistencia inductiva _____	159
Medición de temperatura _____	24	con tensión alterna _____	159
Medición de tensión _____	162	con tensión continua _____	159
Medición del caudal _____	24	Sensores	
Mediciones en un circuito eléctrico _____	161	símbolos _____	226
Medidas de protección _____	208	Sentido de flujo de la corriente _____	156
Medidas de seguridad _____	204	Sentido técnico del flujo de la corriente _____	156
Medir _____	161	Servopilotaje _____	116
Modo de funcionamiento		Símbolo _____	216
manual _____	210	Símbolos	
Modos de funcionamiento		actuadores electromecánicos _____	225
automático _____	211	componentes eléctricos _____	223
Motores hidráulicos _____	85	componentes hidráulicos _____	216
cuadro general _____	86	funciones básicas _____	223
Multiplicador de presión _____	21	relés y contactores _____	226
Multiplicador de recorrido _____	20	sensores _____	226
Número de circuito _____	192	Símbolos de componentes eléctricos _____	223
Número de Reynolds _____	25	Sistemas de aviso _____	209
crítico _____	26	Sistemas hidráulicos estacionarios _____	11
Número del equipo _____	192	aplicaciones _____	11
Ocupación de los bornes _____	200	Sistemas hidráulicos móviles _____	12
Panel de control _____	209	aplicaciones _____	12
Parada de emergencia _____	209	Solapamiento de conmutación _____	92
Pascal, ley de _____	18	supresión del arco (voltaico) _____	179
Picos de presión _____	37	Tabla de elementos de conmutación _____	197
Pieza _____	192	Técnica de cartuchos _____	150
Placas base _____	149	Tensión alterna	
Posición central _____	115	peligros _____	206
Posición inicial _____	191	Tensión en la fuente _____	157
Posición normal _____	191, 218	Tipo de protección _____	213
Posiciones intermedias _____	110	Tipos de accionamiento _____	103
Potencia _____	34, 157	Tipos de flujo _____	25
Presión _____	15	laminar _____	25
Presostato _____	171	turbulento _____	25
Propagación de la fuerza _____	19	Tuberías	
Propagación de la presión _____	18	resistencias al flujo _____	28
Protección contra contacto directo _____	208	Tubos flexibles _____	142
Regulación de la posición _____	134	montaje _____	144
Relé _____	173	Tubos rígidos _____	147

Unidad de refrigeración _____	65	Válvulas de caudal _____	123
válvula de 4/2 vías _____	109	Válvulas de contrapresión _____	96
válvula de 4/3 vías _____	112	Válvulas de corredera _____	91
Válvula de 4/3 vías		características _____	92
significado de la posición central _____	115	Válvulas de escape _____	150
Válvula de antirretorno		Válvulas de freno _____	96
desbloqueable _____	120	Válvulas de secuencia _____	96
Válvula de antirretorno doble _____	122	Válvulas de seguridad _____	96
Válvula de antirretorno simple _____	119	Válvulas distribuidoras _____	100
Válvula de estrangulación y antirretorno _____	126	corte de energía y rotura de cable _____	105
Válvula de leva de 2/2 vías _____	106	datos de rendimiento _____	103
Válvula limitadora de presión		funciones _____	100
proporcional _____	135	identificación de conexiones y del	
Válvula posicionadora _____	137	accionamiento _____	218
accionamiento directo _____	137	servopilotaje _____	116
servopilotada _____	138	tipos _____	100
Válvula reductora de presión		tipos de accionamiento _____	103
proporcional _____	136	tipos de conexiones _____	102
Válvula reductora de presión de 2 vías _____	97	válvulas de accionamiento eléctrico _____	105
Válvula reductora de presión de 3 vías _____	99	Válvulas limitadoras de presión _____	95
Válvulas _____	88	válvulas de contrapresión _____	96
flancos de mando _____	94	válvulas de freno _____	96
fuerza de accionamiento _____	89	válvulas de secuencia _____	96
solapamiento de conmutación _____	92	válvulas de seguridad _____	96
tipo de construcción _____	89	Válvulas proporcionales _____	132
tipos _____	88	tipos _____	140
valores característicos _____	88	Válvulas proporcionales reguladoras	
válvulas de asiento _____	90	de caudal _____	137
válvulas de corredera _____	91	de presión _____	135
Válvulas con punto de estrangulación _____	123	Válvulas reductoras de presión _____	97
Válvulas con tramo de estrangulación _____	123	Válvulas reguladoras de caudal _____	127
Válvulas de 2/2 vías _____	106	Válvulas reguladoras de presión _____	95
Válvulas de 3/2 vías _____	107	Velocidad de flujo	
Válvulas de antirretorno _____	119	valores de referencia _____	141
Válvulas de asiento _____	90	Viscosidad _____	43
características _____	92	Zonas de estrangulación _____	38

