

Bloque III: Sistemas neumáticos y oleohidráulicos

La **neumática** y la **hidráulica** son dos ciencias y técnicas que tratan de las leyes que rigen el comportamiento y el movimiento de los **gases** (aire comprimido) y de los **líquidos** (en general, aceites), respectivamente, así como los problemas que plantea su utilización. En una misma máquina pueden coexistir sistemas neumáticos e hidráulicos.

- La **neumática** se puede considerar adecuada para fuerzas no superiores a 3 toneladas (3000 kp), accionamiento de pequeños motores, herramientas portátiles, etc.
- La **hidráulica** es apropiada para grandes esfuerzos y permiten un control exacto de velocidad y parada. Su utilización se extiende a las industrias metalúrgicas, máquinas-herramientas, prensas, etc.

1. Propiedades del aire

A. Propiedades de los fluidos gaseosos

- Altamente compresible (es decir, se puede comprime un volumen de aire)
- La presión del aire se reparte dentro del recipiente por igual
- Reducida viscosidad
- Su volumen varía mucho cuando aumenta la temperatura

Cualquier fluido y, en particular el aire almacenado en un recipiente ejercerá una fuerza perpendicular sobre las paredes del mismo. La fuerza ejercida por unidad de superficie se denomina presión (p):

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

p = presión

F = Fuerza perpendicular a la superficie.

S = Área de la superficie en que actúa la fuerza

En el sistema internacional

p se mide en Pascales (Pa) $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

F se mide en Newtons (N)

S se mide en metros cuadrados (m²)

En el sistema técnico

p se mide en atmósferas (atm) o en $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$

En la siguiente tabla se puede observar la relación entre las diferentes unidades

Nombre	Símbolo	Equivalencia en Pa
Pascal	Pa ($\frac{N}{m^2}$)	1 Pa
Atmósfera	atm	$1,01325 \cdot 10^5$ Pa
bar	bar	100000 Pa = 10^5 Pa
Milímetro de mercurio	mm Hg	133
Kilopondio por centímetro cuadrado	$\frac{kp}{cm^2}$	98100 Pa
Torr	torr	133

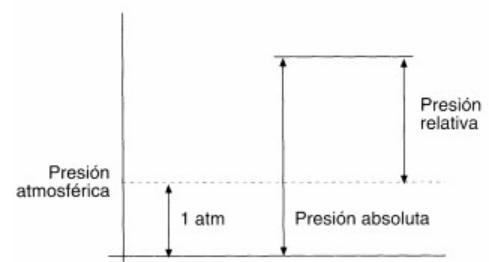
Otras equivalencias son:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 1013,25 \text{ mbar (milibares)} \quad 1000 \text{ mbar} = 1 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} \sim 1 \text{ bar} \sim 1 \frac{kp}{cm^2}$$

El aire existente en la atmósfera terrestre ejerce una determinada presión sobre la superficie terrestre, denominada **presión atmosférica**, la cual es variable, y de valor cercano a una atmósfera. La presión atmosférica se mide con **barómetros**.

Las presiones de los sistemas neumáticos e hidráulicos se consideran sin tener en cuenta el efecto de la presión atmosférica y se denomina **presión relativa**. Si se le suma la presión la presión atmosférica se denomina presión absoluta.



$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{atmosférica}} + P_{\text{relativa}}$$

La presión relativa se mide con **manómetros**.

Definición: Caudal. Es el volumen del fluido que atraviesa, por unidad de tiempo, una sección transversal de una conducción

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{S \cdot l}{t} = S \cdot v$$

siendo

Q = caudal, se mide en $\frac{m^3}{s}$ en el sistema internacional, aunque normalmente se emplea $\frac{\text{litros}}{\text{segundo}} = \frac{l}{s}$

V = volumen, normalmente en m^3 o l

S = Sección transversal del conducto, normalmente en m^2

l = longitud del conducto, en m

t = tiempo, en s

Definición: Humedad. La humedad atmosférica es el contenido de vapor de agua del aire, cuyo valor es variable. La proporción máxima (que aumenta con la temperatura) de vapor de agua que puede existir en el aire corresponde a la saturación.

En los sistemas neumáticos se debe proceder al secado del aire antes de su utilización y luego a un filtrado conveniente. La humedad se puede expresar como

a) **Humedad absoluta (m_v):** masa de vapor de agua que existe por cada unidad de volumen (en $\frac{g}{cm^3}$)

b) **Humedad relativa:** Cociente entre la masa de vapor de agua que existe en un volumen de aire (m_v) y la que habría si ese volumen de aire estuviese saturado (m_s).

$$H_r = \frac{m_v}{m_s} \cdot 100 \quad (\text{en } \%)$$

normalmente se expresa en tanto por ciento.

¿Qué es el **aire saturado**? Es aquel cargado con una cantidad de vapor de agua máxima en un volumen de aire determinado. Si se añadiese más vapor del saturado, automáticamente esa cantidad extra de vapor pasa a fase líquida.

La humedad relativa se puede poner en función de la presión

$$H_r = \frac{p_v}{p_s} \cdot 100$$

siendo

p_v = presión parcial del vapor de agua del recipiente.

p_s = presión parcial del vapor de agua saturado

La relación presión-masa de vapor será

$$m = \frac{290 \cdot p}{T}$$

siendo m = masa de vapor

p = presión parcial del vapor

T = temperatura (en K)

2. Elementos de sistemas neumáticos

A. Compresores

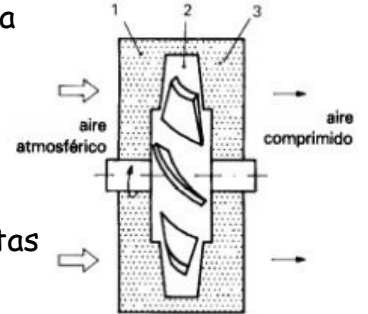
El aire comprimido se obtiene por medio de compresores que son máquinas capaces de elevar la presión de una masa de aire hasta el valor conveniente. Aspiran el aire existente en la atmósfera y elevan su presión. El accionamiento de un compresor se realiza indistintamente por medio de un motor eléctrico o de un motor de



símbolo

combustión interna, según las exigencias de cada caso. Los hay de dos tipos

- **Volumétricos:** Elevan la presión del aire reduciendo el volumen del aire. Estos, a su vez, pueden ser
 - **Alternativos (de émbolo):** Basados en el mecanismo biela manivela.
 - **Rotativos:** Una rueda de paletas empuja el aire hacia una cámara.
- **Dinámicos o turbocompresores:** Proporcionan presiones bastante reducidas, aunque manejan gran caudal. El aire, aspirado por el propio sistema, aumenta su velocidad de circulación a través de varias cámaras, impulsado por paletas giratorias. La energía cinética de éstas se transforma en energía de compresión.



Turbocompresor axial.

Los compresores volumétricos alternativos (o de émbolos) pueden ser

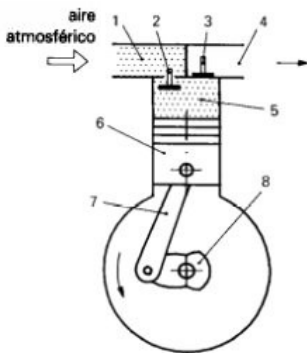


Fig. 1 Compresor de émbolo de una etapa.

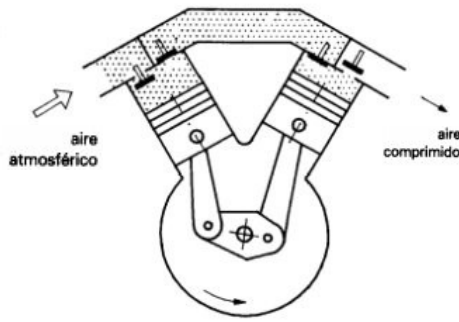


Fig. 2 Compresor de émbolo de dos etapas

- **De una etapa:** constan de un cilindro cuyos émbolos se mueven de forma alternativa por medio de un mecanismo biela-manivela similar al de un motor de explosión de un automóvil. Contiene una válvula de entrada o de aspiración y una de escape o salida que entrega aire.

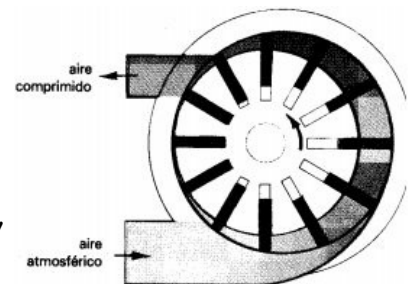
- **De dos etapas:** Consta de dos cilindros de forma que el aire comprimido que entrega el primer cilindro pasa al segundo como de entrada, una vez refrigerado. Estos compresores obtienen aire a elevada presión, aunque son ruidosos.

Ventaja principal de los compresores alternativos: Son muy baratos

Desventaja principal: Son muy ruidosos

Los compresores rotativos pueden ser:

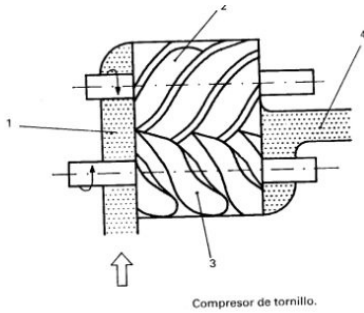
a) **De paletas:** un rotor excéntrico (que no gira alrededor del centro) provisto de paletas gira en el interior de un cilindro dotado de dos orificios: uno de aspiración de aire y otro de salida del aire comprimido.



Compresor rotativo de paletas

b) **De tornillo:** son dos tornillos helicoidales que engranan entre sí. Son caros, pero eficaces y muy silenciosos. Tienen un orificio de entrada y otro de salida.

El aire comprimido generado por el compresor no es consumido directamente por el



Compresor de tornillo.

órgano de trabajo. Las instalaciones industriales están provistas también de elementos de almacenamiento, distribución y tratamiento del aire para que éste alcance las condiciones óptimas de empleo. Veamos algunos:

B. Depósitos

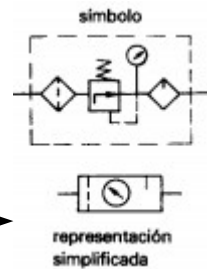
Tienen como misión mantener aire comprimido en el circuito neumático. Sirven como elemento de seguridad, pues si el circuito neumático falla, puede funcionar gracias al aire acumulado en el depósito.

C. Acumulador

Similares a los depósitos, pero de menor tamaño, sirven para almacenar aire comprimido y mantener la presión en unos niveles similares en todos los elementos del circuito.

D. Elementos de tratamiento del aire comprimido

Antes de la conexión a máquina se somete al aire comprimido a una operación de acondicionamiento o preparación, realizada por una unidad acondicionadora compuesta por un filtro, regulador de presión y lubricador. Juntos forman la **unidad de mantenimiento**.



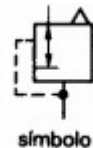
I) Filtro

Tiene como misión depurar el aire comprimido, eliminando partículas de polvo y de vapor de agua que si no se eliminan, deterioran todos los elementos, desde el compresor hasta las tuberías.



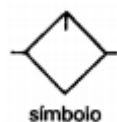
II) Regulador de presión

El nivel de presión del aire comprimido que genera el compresor no se mantiene constante y, por lo tanto, las oscilaciones de presión en las tuberías, y en los aparatos de consumo de aire pueden incidir negativamente. El regulador de presión mantiene constante la presión en el proceso de trabajo para obtener el máximo rendimiento del equipo o de la instalación neumática. Su funcionamiento se basa en bloquear o dejar pasar el aire comprimido según la variación de presión.



III) Lubricador

Es necesario para lubricar elementos o mecanismos móviles. Para conseguirlo se realiza la lubricación del aire comprimido.



E. Redes de distribución

La red de distribución propiamente dicha está compuesta por diversas tuberías de diámetro adecuado que conducen el aire comprimido, con las menores pérdidas posibles, hasta los puntos de consumo. El material de los tubos suele ser el cobre, latón, acero y plástico.

Las tuberías de una red común suelen ser de acero y las uniones entre ellas se realizan por soldadura.

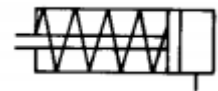
F. Elementos de trabajo

I) Cilindro

Convierte la energía del aire comprimido en un movimiento lineal que puede ser de avance o retroceso. Hay dos tipos fundamentales

a) Cilindro de simple efecto

- Tienen una sola conexión de aire comprimido
- Sólo realizan trabajo en un sentido (desplazamiento útil)
- El retroceso se produce cuando se les deja de aplicarles aire



Usos: Para levantar, expulsar, apretar, etc. En general para trabajos de carrera corta.

El aire comprimido alimenta la cámara posterior, lo que hace avanzar el pistón, venciendo la resistencia del muelle. El retroceso se verifica al evacuar el aire a presión de la parte posterior, lo que permite al muelle comprimido devolver libremente el vástago a su posición de partida.

b) Cilindro de doble efecto



Disponen de dos tomas de aire comprimido situadas a ambos lados del émbolo (elemento móvil que está en el interior del cilindro).

Pueden realizar la carrera de trabajo en ambos sentidos del movimiento (desplazamiento bidireccional). Al dar aire a la cámara posterior del cilindro y evacuar simultáneamente el aire de la cámara anterior, el vástago del cilindro avanza y, cuando se realiza la función inversa, el vástago retrocede. Es decir, según por donde penetre el aire, el avance del émbolo sigue un sentido determinado. Desaparece el muelle.

c) Cálculo de la fuerza de accionamiento

La fuerza ejercida por un elemento de trabajo depende de

1. La presión del aire comprimido
2. El diámetro del cilindro
3. El rozamiento de las juntas

Las fuerzas serán $F_t = S \cdot p$, siendo

F_t = fuerza teórica de trabajo (kp)

S = superficie del émbolo (cm^2)

p = presión de trabajo ($\frac{kp}{cm^2}$)

Al ser el émbolo una superficie circular

En el avance $S = \pi \cdot R^2$

En el retroceso $S = \pi \cdot (R^2 - r^2) = \pi \cdot R^2 - \pi \cdot r^2$

siendo R el radio del émbolo y r el radio del vástago.

Hay que tener en cuenta los rozamientos que suelen representar un 10% de la fuerza

En un cilindro de simple efecto

$$F_n = S \cdot p - (F_r + F_m) \quad \text{siendo}$$

F_n = Fuerza efectiva o real del émbolo

S = Superficie del émbolo

p = Presión

F_r = Fuerza de rozamiento

F_m = Fuerza del muelle de recuperación

d) Consumo de aire

Es la cantidad de aire comprimido que necesita un cilindro neumático para funcionar correctamente.

Se calcula bajo una condiciones normales o estándar, que son:

temperatura 20°C

presión 1013 mbar

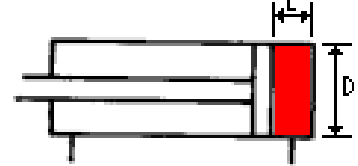
Humedad relativa 65%

Para calcular el consumo de aire seguiremos los siguientes pasos:

a) En primer lugar, calculamos, si se trata de un cilindro de doble efecto, el volumen en ambas cámaras.

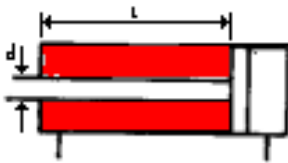
En la cámara posterior el volumen será: (en rojo)

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L$$



donde **L** es la carrera del pistón y **D** el diámetro del pistón.

Análogamente, calculamos el volumen en la cámara anterior (en rojo):



$$V' = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot L \quad \text{donde } d \text{ es el diámetro del vástago.}$$

Si sumamos las dos expresiones anteriores obtendremos el volumen del cilindro completo:

$$V_{cil} = \frac{\pi}{4} \cdot (2D^2 - d^2) \cdot L$$

b) Una vez calculada esta expresión, ya conocemos el consumo de aire a una determinada presión de trabajo. Para transformar este volumen a condiciones normales habrá que aplicar la ley de Boyle - Mariotte.

Como recordarás, la presión absoluta es la indicada por el manómetro más la presión atmosférica, es decir:

$$P_{absol} = P_{rel} + P_{atm}$$

Aplicando la ley de Boyle - Mariotte para gases cuya temperatura se mantiene constante

$$P_{absol} \cdot V_{cil} = P_{atm} \cdot V_{aire}$$

despejamos el volumen de aire y nos queda

$$V_{aire} = \frac{P_{absol} \cdot V_{cil}}{P_{atm}}$$

3. Suponemos que la presión atmosférica es de 1

$$\frac{Kp}{cm^2}$$

Así

$$V_{aire} = \frac{(P_{rel} + 1) \cdot V_{cil}}{P_{atm}}$$

Si queremos el volumen en litros, la expresión será

$$V_{\text{aire}} = \frac{(P_{\text{rel}} + 1) \cdot V_{\text{cil}}}{1000 \cdot 1}$$

Así pues, esta última expresión nos da el volumen de aire que se extrae en la atmósfera al trabajar con un cilindro de doble efecto.

G. Elementos de control de sistema neumáticos

Para el control de los órganos de trabajo (cilindros) es preciso disponer de otros elementos que realicen funciones de mando (puesta en marcha, paro, retroceso, avance rápido...), de acuerdo con el trabajo que aquellos deban efectuar. Estos elementos de control son las válvulas. Estos elementos ejercen influencia sobre el fluido comprimido (aire) controlando la energía que se transmite por el circuito neumático hacia los elementos de consumo. Haciendo un símil, las válvulas son a un circuito neumático lo que interruptores, pulsadores, conmutadores... a un circuito eléctrico.

Las válvulas se clasifican por grupos:

- a) Válvulas de control de **dirección** o válvulas **distribuidoras**: Con ellas se seleccionan los elementos hacia los que se dirige el fluido. Interrumpen, dejan pasar o desvían el flujo con una presión y caudal fijos.
- b) Válvulas de control de **caudal**: Regulan la cantidad y sentido de circulación del fluido que las atraviesa.
- c) Válvulas de control de **presión**: Mantienen constante la presión del fluido a partir del punto en que se encuentran colocadas.

I) Válvulas de control de dirección

Externamente, las válvulas de control de dirección se pueden considerar como una caja negra con una serie de orificios que sirven para la entrada y salida de aire. Se caracterizan por dos números:

1. Las **posiciones**: indica el número de formas de conexión de las conducciones que llegan a la válvula, del aire. Las vías se representan por pequeños trazos sobre las bases superiores e inferiores de los cuadrados que indican la posición de reposo. La salida de aire se representa por un triángulo equilátero.

Normalmente son dos. Las posiciones que adopta el órgano distribuidor (abierto, cerrado, en reposo...) se representan por cuadrados; tantos como posiciones existan (ver figura), dibujados uno a continuación de otro.

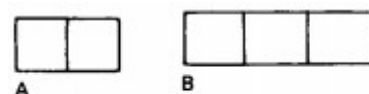


Fig. Válvula: A, de dos posiciones; B, de tres posiciones.

2. Las **vías**: es decir, el número de orificios practicados en la válvula o conducciones que llegan a la misma. Las vías se representan por pequeños trazos sobre las bases superiores e inferiores de los cuadrados que indican la posición de reposo.

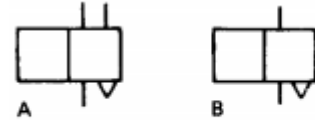
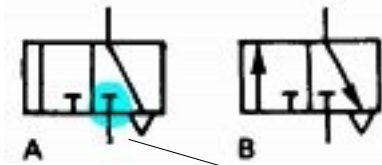
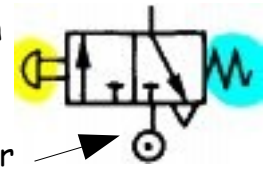


Fig. Válvula: A, de cuatro vías; B, de tres vías.

Las vías se unen mediante líneas rectas que representan las conducciones interiores que se establecen y el sentido de circulación del aire se define por flechas. **Un pequeño trazo perpendicular a una vía indica que ésta se encuentra cerrada**



El **órgano de accionamiento** de la válvula suele indicarse en la posición de trabajo y el **órgano de recuperación (muelle)** en la de reposo

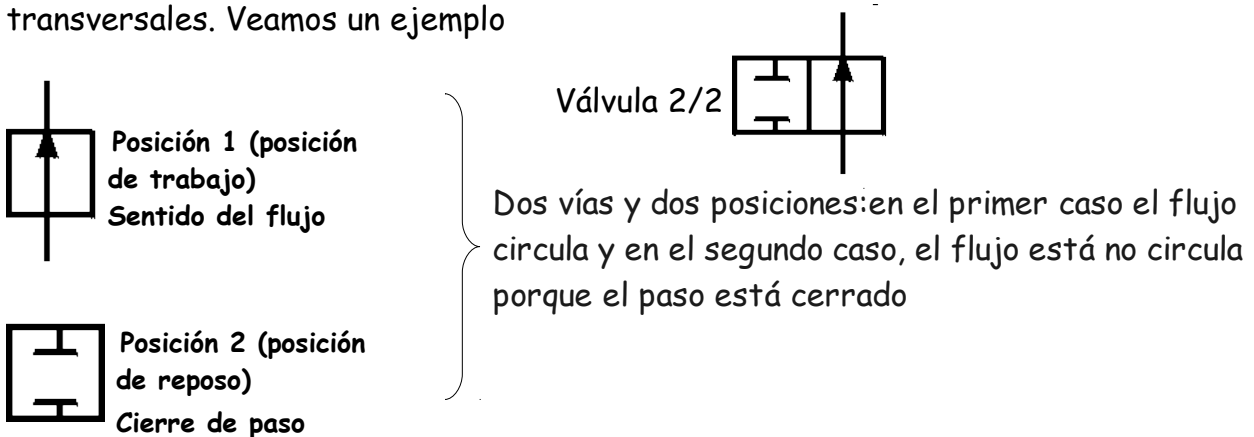


Compresor

La válvula representada en la figura anterior es una **válvula 3/2** puesto que tiene tres vías y dos posiciones.

En general, una **válvula n/m** indica que tiene n vías y m posiciones.

El funcionamiento de una válvula se representa esquemáticamente en el interior de los cuadrados. La circulación del aire se simboliza por flechas cuya punta indica el sentido de circulación, mientras que las posiciones de cierre se representan por líneas transversales. Veamos un ejemplo



Como se puede observar hay dos tipos de posiciones básicas:

- Posición de trabajo, es decir, al pulsar el botón de la válvula.
- Posición de reposo, es decir, en su estado normal inactivo.

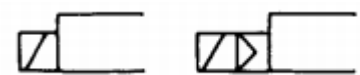
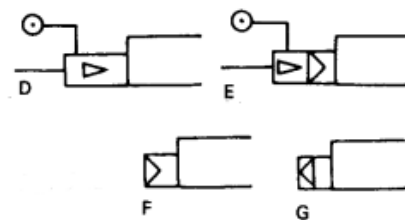
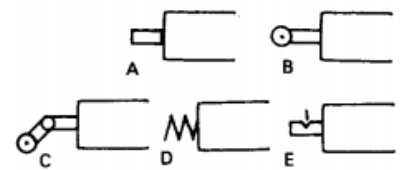
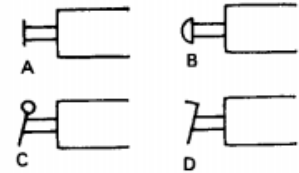
La **primera** posición siempre representa a la **posición de trabajo**, mientras que la

segunda posición es la que representa a la **posición de reposo**.

a) Accionamiento de las válvulas de dirección

Los elementos de accionamiento permite activar la válvula para cambiar la posición de reposo por la posición de trabajo. El accionamiento de las válvulas se puede descomponer en cuatro grupos, según la naturaleza del sistema:

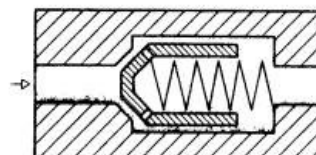
- Accionamiento **manual**: El mando de estas válvulas se realiza por la acción directa y voluntaria del operador (trabajador). Evita la automatización de los procesos industriales y por ello no son muy utilizados.
- Accionamiento **mecánico**: Se activan con la ayuda del movimiento de un mecanismo, como un árbol de levas o el émbolo de un cilindro.
- Accionamiento **neumático**: La válvula se acciona o controla mediante una señal neumática de pilotaje. Al aplicar una presión por el orificio de pilotaje se acciona un pistón que desplaza un vástago de accionamiento. La conducciones que se utilizan para el pilotaje neumático de válvulas se representan por líneas discontinuas.
- Accionamiento **eléctrico o electroválvulas**: Implican la instalación paralela de un circuito eléctrico que las active. Normalmente, el circuito se controla por ordenador con la ayuda de un programa. El desplazamiento del elemento móvil se logra con la ayuda de un electroimán.



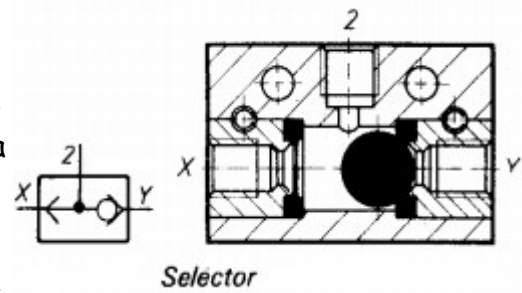
II) Válvulas de bloqueo

Su misión es cortar el paso del aire comprimido con ayuda de una pieza de bloqueo. Pueden ser de varios tipos:

- a) Válvulas antirretorno:** Su misión es impedir el paso del aire comprimido en un sentido determinado y garantizar su libre circulación en el opuesto. La obturación del paso puede lograrse con una bola, disco, cono, etc., impulsada por la propia presión de trabajo o bien con la ayuda complementaria de un muelle.
- La válvula antirretorno de la figura permite el flujo de aire en el sentido que indican las flechas y bloquea el paso en sentido opuesto.

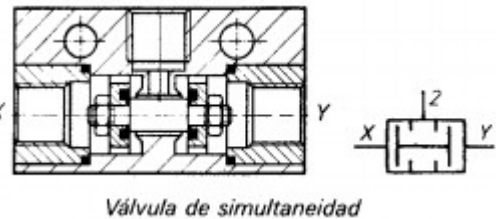


b) Válvula selector: Estas válvulas permiten la circulación de aire desde dos entradas opuestas a una sola salida común. En la figura se puede ver que el aire que entra por el conducto Y desplaza la bola hacia X bloquea esta salida y se va a través de la utilización (2). En caso de que se dé la entrada de aire por la vía X la bola se desplazará bloqueando la vía Y y el aire circulará hacia la utilización (2).



Esta válvula se coloca cuando se debe mandar una señal desde dos puntos distintos. Eléctricamente se le conoce como montaje en paralelo.

c) Válvula de simultaneidad: También posee dos entradas y una salida. Para que exista una señal a la salida, debe haber presión necesariamente en las dos entradas. Suele utilizarse por motivos de seguridad, es decir, sólo se activa el elemento de trabajo si el operario mantiene activados dos válvulas a la vez.



III) Válvulas reguladoras de flujo o caudal

Muchas veces es necesario el control de la velocidad de un cilindro para sincronizarlo con otros movimientos que se verifican en un sistema. Para conseguirlo se controla el caudal de fluido mediante las válvulas reguladores de caudal. Ajustan el caudal circundante a un valor fijo o constante. Su principio de funcionamiento es la estrangulación del aire, es decir, reduce la sección del aire.

Existen dos tipos:

a) Válvulas unidireccionales: El caudal es regulado en un sólo sentido. Se utilizan para regular la velocidad de desplazamiento de los cilindros y para obtener retardo en los circuitos de mando. El aire penetra en el regulador por el orificio de alimentación (1) y no encuentra obstáculos para circular a través del dispositivo antirretorno hacia el orificio de salida (2); en cambio, no puede hacerlo en sentido contrario. Esta

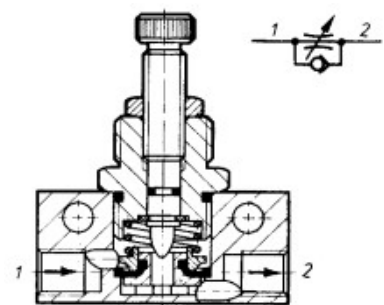


Fig. 6.49 Regulador de caudal unidireccional.

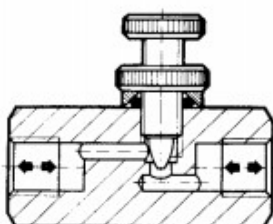
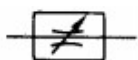


Fig. 6.50 Regulador de caudal.

válvula incluye un tornillo diseñado de forma que, a medida que se aprieta o afloja, realiza una variación lineal del caudal. Es la más utilizada.

b) Válvulas bidireccionales: Que actúan sobre el caudal en cualquiera de los dos sentidos.