



Elementos básicos de las instalaciones de aire comprimido

Apellidos, nombre	Castelló Gómez, Marisa (mcasgo@upv.es) Barrera Puigdollers, Cristina (mbarpu@upv.es) Pérez Esteve, Édgar (edpees@upv.es) Betoret Valls, Noelia (noebeval@upv.es)
Departamento	Departamento de Tecnología de Alimentos
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen

En este artículo docente se detallan los elementos básicos (figura 1) requeridos en una instalación de aire comprimido industrial. Concretamente, se abordan las siguientes partes de este tipo de infraestructuras: **compresor**, **enfriador**, depósito de acumulación, **deshumidificador** y **puntos de consumo** con su regulador y filtro. Asimismo, se tendrán en cuenta otros elementos habituales como son: llaves de paso, purgadores, secadores y filtros.

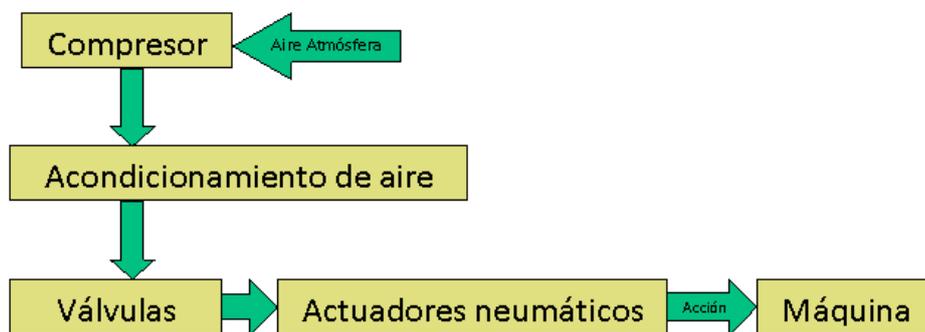


Figura 1. Esquema de los elementos básicos de una instalación de aire comprimido (Neumática, 2017a).

2 Introducción

El aire comprimido, muy habitual en todo tipo de instalación industrial, así como en el sector de la automoción, es una fuente de energía utilizable mediante su expansión, debiendo conseguir que la conserve hasta llegar a los elementos que la van a usar. Normalmente se emplea para obtener trabajo mecánico lineal o rotativo, asociado al desplazamiento de un pistón o de un motor neumático. En otras ocasiones, se utiliza para atomizar o aplicar sprays de barnices o pinturas, que de otra forma son difíciles de bombear. También se requiere para la apertura de puertas en autobuses, o el accionamiento del sistema de frenos o la suspensión de vehículos industriales o de gran tonelaje.

En condiciones normales de funcionamiento, la mayor parte de las herramientas y equipos neumáticos están contruidos para obtener su máximo rendimiento a una presión de trabajo comprendida entre **6 y 7 bar**.

¿Qué aspectos debemos tener en cuenta en el aire comprimido?

Considerando la ecuación de los gases ideales ($PV=nRT$), se deduce que si se aumenta la presión de un gas en mayor proporción a la que disminuye su volumen, como ocurre en la cámara de un compresor de aire, la temperatura de ese gas aumenta. Por eso, a la salida de un compresor el aire está más caliente.

Por otra parte, la capacidad del aire para contener agua depende de la temperatura, aumentando cuando ésta aumenta. Así, cuando un aire se enfría su capacidad para retener la humedad se hace menor produciéndose condensaciones de agua.

Además, son de utilidad las Leyes físicas que relacionan los cambios de presión, volumen y temperatura en estos casos. En la tabla 1 se presentan las más relevantes.

Tabla 1. Leyes físicas útiles en el manejo de aire comprimido (Neumática, 2017a)

Ley Física	Enunciado	Fórmula
Ley de Boyle-Mariotte	A $T=cte$, el volumen ocupado por una masa gaseosa invariable está en relación inversa de su presión	$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$
Ley de Gay-Lussac	A $P=cte$, el volumen ocupado por una masa dada de gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta	$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$
Ley de Charles	A $V=cte$, la presión absoluta de una masa de gas dada, es directamente proporcional a las temperaturas absolutas	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \dots = \frac{P_n}{T_n}$

3 Objetivos

Una vez leído con detenimiento este documento, se podrán determinar las características de los elementos básicos de una instalación de aire comprimido como son:

- El compresor
- El equipo refrigerador posterior
- El depósito acumulador
- Dispositivos auxiliares de acondicionamiento del aire: filtros, separadores, colectores de condensados
- Elementos de trabajo: actuadores
- Elementos de control, mando y regulación: válvulas

4 Desarrollo

¿Cómo vamos a abordar este tema?

Nos vamos a familiarizar con los elementos más habituales que componen los circuitos neumáticos que son: **el compresor**, que capta el aire de la atmósfera y le confiere la

presión adecuada, los dispositivos para el **acondicionamiento del aire, el depósito acumulador y las aplicaciones neumáticas**, constituidas por los actuadores y los elementos de control.

4.1 Compresor

Los compresores son máquinas que aspiran el aire ambiente (a presión atmosférica) y lo comprimen hasta lograr una presión superior según las necesidades de consumo o de uso a que se destine este aire comprimido (ej. para el accionamiento de utillajes, mecanismos, o bien de control o medida, accionando válvulas y otros dispositivos).

Hay dos grandes familias de compresores de aire (Figura 2):

- **COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO**, donde el aire se confina en un volumen interior de la máquina que posteriormente se reduce de dimensión por el desplazamiento de alguna de sus paredes, con el consiguiente aumento de la presión del aire retenido en su interior. Este tipo de compresores ofrecen caudales de aire no demasiado altos, pero permiten obtener relaciones de presión más elevados. Dentro de este grupo se encuentran: los compresores de aire a pistón.
- **COMPRESORES DINÁMICOS O TURBOCOMPRESORES**, en este caso, los responsables de elevar la presión del aire son unos álabes que giran a gran velocidad, y que transmiten esta velocidad al aire que toman del exterior. Posteriormente, este aire pasa a otra cámara o difusor donde baja bruscamente su velocidad, transformándose toda la energía cinética adquirida en presión estática. Este tipo de compresores son capaces de proporcionar mucho caudal de aire, aunque a presiones más moderadas que el tipo anterior. En este grupo se encuentran los compresores de paletas, los de tornillos o los centrífugos.

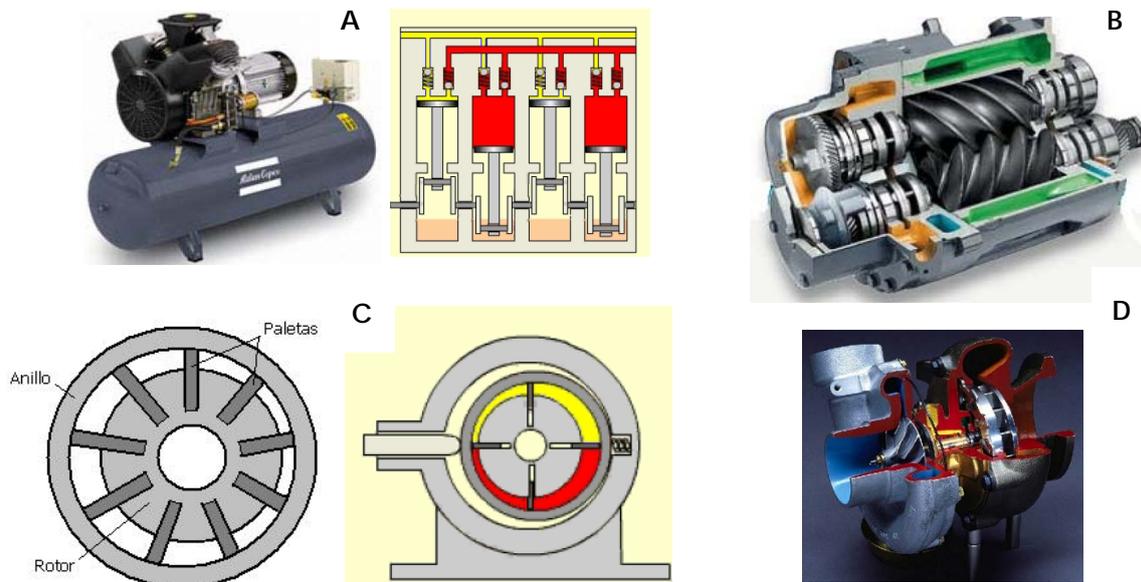


Figura 2. Diferentes ejemplos de compresores: A) Compresor de pistón de aire, B) Compresor de tornillo, C) Compresor de paletas rotativas, D) Compresor centrífugo (Fuente: Instalación de aire comprimido U. Oviedo (2006); Neumática, 2017a; Rodríguez-Galbarro, (2017))

4.2 Equipo refrigerador posterior

El flujo de aire, una vez sale del compresor, además de salir a mayor presión, también sale a mayor temperatura (oscila según el grado de compresión entre 70°C y los 200°C). El aire a mayor temperatura también aumenta su capacidad de contener agua, pero conforme se vaya enfriando toda esta agua irá condensando.

¿Qué problemas genera un exceso de agua condensada en la una instalación?

- Riesgo de oxidación de las tuberías y equipos
- Peligro de crecimiento de microorganismos y el consiguiente riesgo de enfermedades.

Para evitarlos, nada más salir del compresor, se coloca un **enfriador** (aftercooler) que no es más que un intercambiador de calor. En la figura 3, se muestra un esquema de este dispositivo con un deshumidificador incorporado.

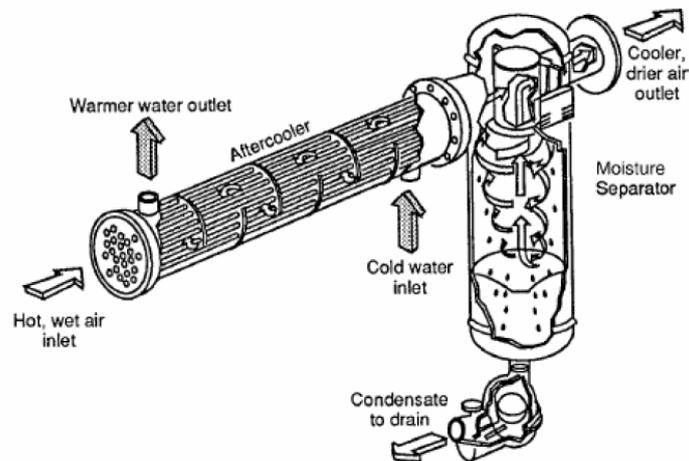


Figura 3. Esquema de un enfriador dotado de un deshumidificador, encargado de drenar el agua de condensación que se extrae de la corriente de aire comprimido. (Fuente: Instalación de aire comprimido U. Oviedo (2006), Rodríguez-Galbarro, 2017)

4.3 Depósito de acumulación

En las instalaciones de aire comprimido es habitual la colocación de un depósito de acumulación de aire que alimente a las unidades de consumo, procurando evitar las distancias largas entre el compresor y el depósito. La función de los depósitos de aire es:

- Amortiguar las pulsaciones del caudal de aire salido de los compresores alternativos
- Actuar de distanciador de los periodos de regulación
- Hacer frente a las demandas puntas de caudal sin que se provoquen caídas de presión
- Adaptar el caudal de salida del compresor al consumo de aire de la red.

Para el cálculo del Volumen (V) del depósito de acumulación es habitual el empleo de la siguiente expresión que relaciona las condiciones de funcionamiento del compresor con el consumo de aire de la instalación:

$$t = \frac{V \cdot (P_1 - P_2)}{C \cdot P_{atm}}$$

Siendo t el tiempo (min) que transcurre entre arranques consecutivos del compresor, es decir, desde que pasa de la presión máxima (P_1) a la mínima (P_2) y C el consumo de aire en condiciones normales de la instalación (m^3/min).

Debe cumplir varios requisitos; entre ellos: disponer de una puerta para inspección interior, un grifo de purga, un manómetro, válvula de seguridad, válvula de cierre, e indicador de temperatura. Puede colocarse horizontal o verticalmente (Figura 4), pero a ser posible alejado de toda fuente calorífica, para facilitar la condensación del vapor de agua procedente del compresor

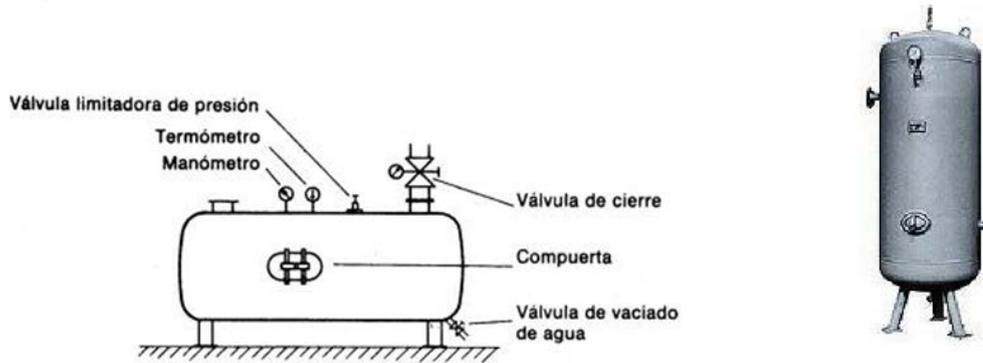


Figura 4. Ejemplos de depósitos acumuladores de aire (Neumática, 2017a; Rodríguez-Galbarro, 2017;)

4.4 Dispositivos auxiliares de acondicionamiento del aire

El aire utilizado para las instalaciones neumáticas es atmosférico, por lo que lleva en suspensión partículas de diferentes tipos y tamaños que podrían influir en el funcionamiento del circuito. Así, un mal acondicionamiento del aire provoca en las instalaciones fallos del tipo:

- Válvulas agarrotadas por el aceite depositado
- Silenciadores taponados
- Exceso de agua condensada en el filtro de aire
- Desgaste rápido de juntas
- Envejecimiento prematuro de los equipos

Para que todos los elementos de un circuito neumático funcionen de forma correcta, hay que eliminar estas impurezas total o parcialmente. Por ello, es necesario utilizar una serie de dispositivos auxiliares:

- **Secador:** encargado de eliminar la humedad residual del aire.
- **Filtros:** se colocan en puntos estratégicos del circuito neumático, y también a la entrada del compresor, para eliminar las impurezas del aire. Éstas, al chocar contra las paredes del filtro, caen a la parte inferior y se eliminan con el purgador. Los filtros son los grandes aliados en las instalaciones de aire comprimido o gases. Con ellos se adapta la calidad del aire/gas a los requisitos de cada planta. Habitualmente, la forma de estimar el nivel de calidad de aire se realiza siguiendo los parámetros de la **norma ISO 8573-1** (Tabla 2). Esta normativa regula el nivel máximo de contaminantes en el aire comprimido, en lo referido a la cantidad de humedad, partículas y residual de aceite.

- **Separadores:** eliminan las partículas de aceite provenientes del circuito de lubricación.
- **Colectores de condensación:** su misión es eliminar las partículas de agua que lleva el aire. Este proceso es posible llevarse a cabo con diferentes técnicas y puede llegar a dejar un contenido de agua en el aire de tan solo 0,001 g/m³.

Tabla 2. Calidad del aire comprimido, según ISO 8573-1 (Adaptada de Rodríguez-Galbarro, 2017)

CLASE	PARTÍCULAS SÓLIDAS Nº máximo de partículas por m ³			HUMEDAD Punto de rocío a presión (°C)	ACEITE Concentración total mg/m ³ (aerosoles, líquidos o vapores)
	0,1-0,5 µm	0,5-1,0 µm	1,0-5,0 µm		
1	100	1	0	-70	0,01
2	10000	1000	10	-40	0,1
3	-	10000	500	-20	1
4	-	-	1000	3	5
5	-	-	20000	7	-
6	-	-	-	10	-

En la figura 5 se presenta un detalle de la simbología neumática empleada para este tipo de dispositivos, así como un ejemplo de los mismos.

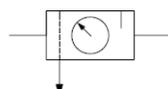
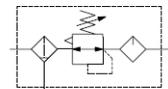
Símbolo	Descripción
	Unidad de servicio (gráfico simplificado)
	Combinación de filtro, regulador y lubricador



Figura 5. Ejemplos de dispositivos auxiliares: combinación de filtro, regulador y lubricador, junto a la simbología utilizada según el sistema DIN ISO1219-1, 03-96 (SMC Catálogo Pneumatic, 2017).

4.5 Elementos de trabajo: Actuadores

El trabajo realizado por un actuador neumático puede ser lineal o rotativo. El movimiento lineal se obtiene por cilindros de émbolo (éstos también proporcionan movimiento rotativo con variedad de ángulos por medio de actuadores del tipo piñón cremallera). También encontramos actuadores neumáticos de rotación continua (motores neumáticos), de movimientos combinados e incluso alguna transformación mecánica de movimiento que lo hace parecer de un tipo especial.

4.5.1 Cilindros de simple efecto

Estos cilindros tienen una sola conexión de aire comprimido. No pueden realizar trabajo más que en un sentido. Por esta razón, solo necesitan aire para un movimiento de traslación. El retroceso de estos cilindros se produce cuando se les deja de aplicar aire (Figura 7). Se utilizan principalmente para realizar operaciones de sujeción, expulsión, apretado, levantamiento, alimentación, etc.

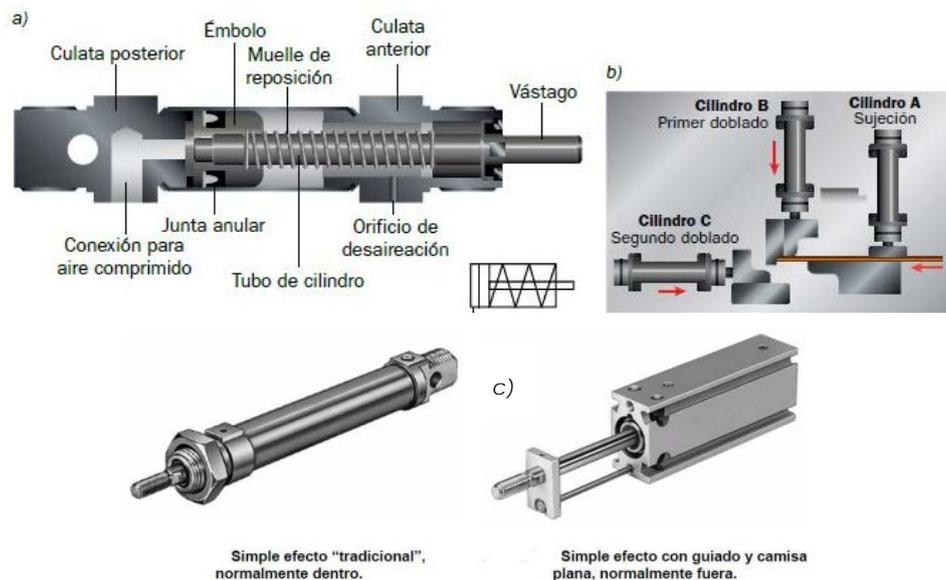


Figura 7. Cilindro de simple efecto: a) partes; b) máquina que utiliza tres cilindros de simple efecto para sujetar una pieza (Demo automatización neumática, 2017); c) Detalle de cilindros de simple efecto (Escalera y Rodríguez, 2017)

4.5.2 Cilindros de doble efecto

Estos cilindros tienen dos tomas de aire, una a cada lado del émbolo. pueden producir movimiento en dos sentidos: avance y retroceso (Figura 8). Se utilizan, por ejemplo, en la apertura y cierre de las puertas de autobús.

La presión ejercida por el aire comprimido en cada una de las cámaras empuja al émbolo a desplazarse en los dos sentidos de forma alternativa. Se dispone así de una fuerza útil tanto en el avance como en el retroceso.

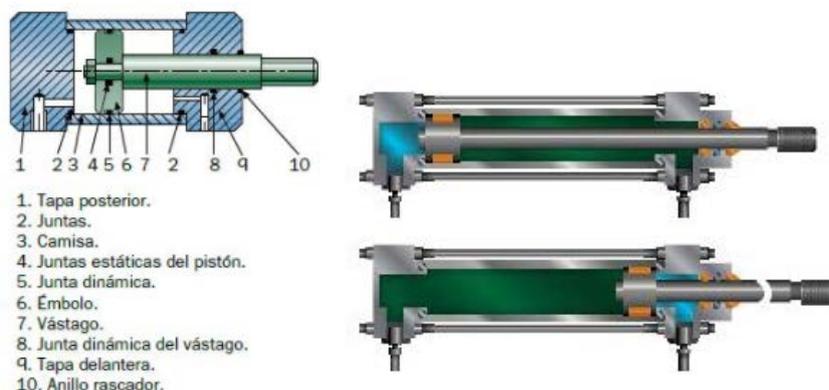


Figura 8. Partes de un cilindro de doble efecto. Detalle del avance y el retroceso.

4.5.3 Cálculo de la fuerza de accionamiento

La fuerza ejercida por un elemento de trabajo depende de la **presión** del aire comprimido, del **diámetro** del cilindro y del **rozamiento** de las juntas:

$$F_t = S \cdot P$$

Donde: F_t es la fuerza teórica del émbolo, S = superficie útil del émbolo (cm^2). P = presión de trabajo (kp/cm^2).

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

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

Donde R es el radio del émbolo y r el del vástago, expresados ambos en centímetros. En la práctica, para calcular correctamente la fuerza, hay que tener en cuenta los rozamientos. Así, la fuerza generada en estos actuadores es:

a) Cilindro de simple efecto: $F_n = S \cdot P - (F_r + F_m)$

b) Cilindro de doble efecto:

Avance: $F_n = S \cdot P - F_r$

Retroceso: $F_n = S' \cdot P - F_r$

Donde:

F_n = fuerza efectiva o real del émbolo.

S = superficie útil del émbolo

P = presión de trabajo.

F_r = fuerza de rozamiento (10% F_t).

F_m = fuerza de recuperación del muelle.

$S' = \pi \cdot (R^2 - r^2)$, es decir, la superficie útil.

4.5.4 Consumo de aire

Por consumo de aire se entiende la cantidad de aire comprimido que necesita un cilindro neumático para funcionar correctamente. Se calcula referido a condiciones normales que, según la norma ISO R554, son 20°C, 1,013 bar y 65% de humedad relativa. Para este cálculo, seguiremos los siguientes pasos:

1. Calcular el volumen de las cámaras del cilindro (si es de doble efecto)

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

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

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

Donde V es el volumen de la cámara posterior, V' es el volumen de la cámara anterior, D es el diámetro del pistón y L la carrera del pistón, d es el diámetro del vástago, V_{cil} es el volumen del cilindro completo.

Si se trata de un cilindro simple, su volumen será sólo V .

2. Transformar este volumen a condiciones normales mediante la ley de Boyle-Mariotte (Tabla 1): $P_{\text{abs}} \cdot V_{\text{cil}} = P_{\text{atm}} \cdot V_{\text{aire}}$, sabiendo que $P_{\text{abs}} = P_{\text{man}} + P_{\text{atm}}$
3. La cantidad total de aire será el volumen de aire multiplicado por el número de ciclos por minuto (f) que realice el cilindro.

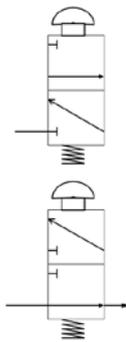
$$Q_{\text{aire}} = V_{\text{aire}} \cdot f$$

4.6 Elementos de control, mando y regulación: válvulas

¿Cómo se controlan los actuadores? Mediante válvulas

Las encargadas de distribuir el aire para gobernar el avance y retroceso de los cilindros se denominan válvulas distribuidoras, aunque también hay válvulas de regulación y control. Externamente, las válvulas pueden considerarse como una caja con una serie de orificios que sirven para la entrada y salida del aire comprimido. La forma en que se conectan dichos orificios en una posición estable constituye un estado de la válvula, lo que habitualmente se denomina posición. Los orificios se denominan vías. Las válvulas se componen de dos o más posiciones, esto es, dos o más formas de conectar las vías. Para cambiar de una posición a otra se dispone de unos mandos en la propia válvula. El número de vías y de posiciones de la válvula identifica su funcionamiento.

¿Cómo se nombran las válvulas?



1º N^o de VÍAS, es decir, de orificios que presenta la válvula. En este ejemplo **3 VÍAS**

2º N^o de POSICIONES. En este caso **2 POSICIONES**.

3º Accionamiento. En el ejemplo por **BOTÓN**

4º RETROCESO. En este caso por **MUELLE**

5º Nombre: Válvula 3/2 Botón/Muelle

6º En ocasiones también se indica la posición normal, es decir aquella en la que se encuentra la válvula cuando la hemos accionado. En la de arriba, cuando está sin accionar, el aire no pasa, por lo que se llama Normalmente Cerrada, N/C. En la de abajo, pasa lo contrario, por tanto, es Normalmente Abierta, N/A.

Según el accionamiento o elemento de pilotaje, las válvulas distribuidoras se pueden gobernar por diferentes medios, como se muestra en la figura 9.

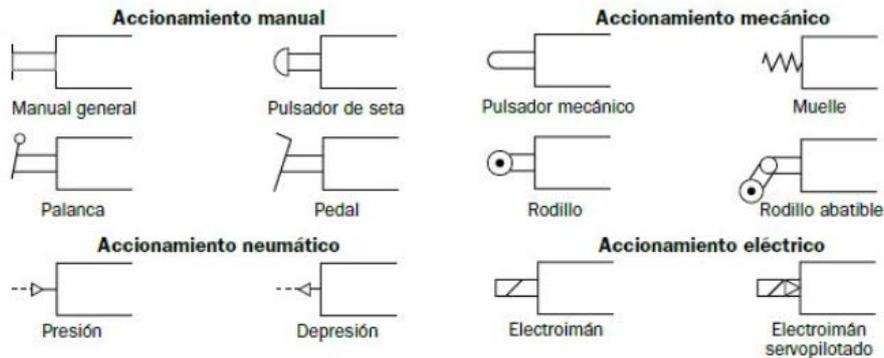


Figura 9. Principales accionamientos de las válvulas (Demo automatización neumática, 2017)

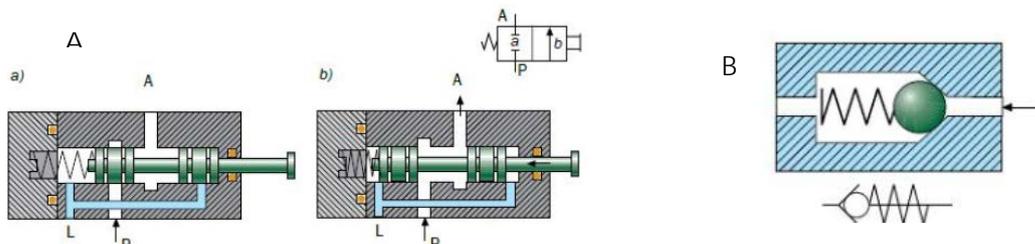


Figura 10. A) Válvula distribuidora 2/2: a) posición de reposo, b) abierta. B) Válvula de bloque antirretorno (Demo automatización neumática, 2017).

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto qué particularidades tienen los principales elementos de una instalación de aire comprimido industrial. Para ello, se han comentado los diferentes tipos de compresores utilizados en sistemas neumáticos, señalando que como consecuencia del aumento de temperatura que sufre el aire en esta etapa de compresión, es necesario el uso de un sistema refrigeración del mismo. Además, para poder garantizar el caudal de aire comprimido en la instalación, se precisa de un depósito acumulador de aire. A su vez, que para que este aire reúna los requisitos de calidad establecidos por la norma ISO 8573-1 tiene que atravesar una serie de dispositivos de acondicionamiento para reducir su humedad, el tamaño de partículas y en algunas ocasiones el contenido en aceite. Hemos visto también los diferentes tipos de actuadores neumáticos encargados de aportar la energía inherente del aire comprimido para realizar movimientos de vaivén o de giro en las máquinas industriales. Por último, se han explicado las válvulas, que son los elementos que ejercen funciones de mando para controlar los distintos actuadores neumáticos.

6 Bibliografía

- [1] Demo automatización neumática. (2017). Mc Graw Hill Education. <https://www.blinklearning.com/coursePlayer/clases2.php?editar=0&idcurso=1186409&idclase=66248629&modo=0>
- [2] Escalera, M.J., Rodríguez, A.J. (2017). Actuadores neumáticos. <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Trabajos%20IM%202009-10/Manuel%20Jesus%20Esacalera-Antonio%20Rodriguez-Actuadores%20Neumaticos.pdf>
- [3] Ingersoll Rand Industrial Technologies (2007). La importancia de la calidad del aire. <http://www.irastur.com/pdfs/Tratamiento-aire-Calidad-aire-comprimido.pdf>
- [4] Instalación de aire comprimido U. Oviedo (2006). Seminarios de Instalaciones de Fluidos. Universidad de Oviedo. E.P.S. Ingeniería de Gijón Ingenieros Industriales. kimerius.com/app/download/5793843517/Instalación+de+aire+comprimido.pdf
- [5] Rodríguez-Galbarro, H. (2017). Diseño de sistemas de aire comprimido. Tutorial nº 201. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>.
- [5] Neumática (2017a). Conceptos básicos Plataforma e-educativa aragonesa. Tema 1. Neumática. Conceptos básicos http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//4750/4915/html/3_ciclulo_de_fuerza_potencia_y_consumo_de_aire.html
- [6] Neumática (2017b). Plataforma e-educativa aragonesa. Tema 3. Neumática. http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1108/html/21_el_compresor.html
- [7] SMC Catálogo Pneumatic (2017). Simbología neumática según el sistema DIN ISO1219-1, 03-96. http://isa.uniovi.es/docencia/ra_marina/cuatrim2/Temas/simbolosneumaticos.pdf