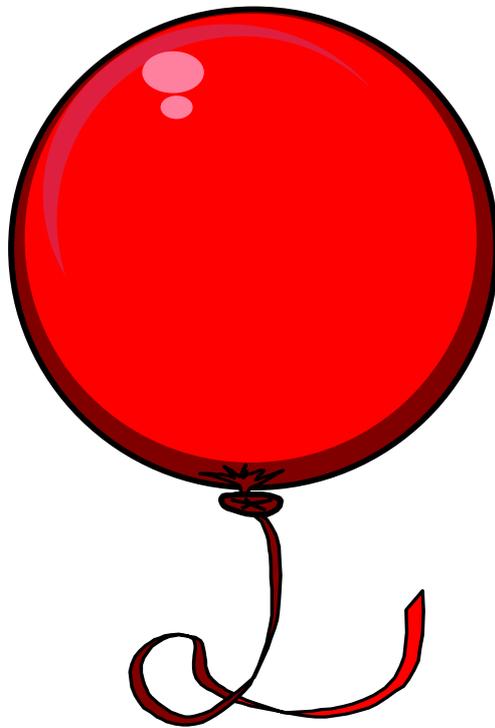


# APUNTES DE NEUMÁTICA BÁSICA



**PROFESOR** : *Juan Carlos Moscoso Marchant*

# 1. PROPIEDADES Y PRINCIPIOS FÍSICOS DEL AIRE COMPRIMIDO

## 1.1. GENERALIDADES

El **aire comprimido** es una de las formas de energía más antigua que conoce el hombre, aprovechándose de sus recursos físicos.

La **neumática** es el conjunto de las aplicaciones técnicas (transmisión y transformación de fuerzas y movimiento) que utilizan la energía acumulada en el aire comprimido.

Desde hace mucho tiempo se ha utilizado consciente o inconscientemente en distintas aplicaciones. El griego *Ktesibios* fue el primero que se sepa con seguridad utilizó aire comprimido como elemento de trabajo. Hace más de 2000 años construyó una catapulta de aire comprimido. Uno de los primeros libros que trató el empleo de aire comprimido como energía data del siglo I, describiendo mecanismos accionados por aire comprimido.

La propia palabra procede de la expresión griega "*pneuma*", que se refiere a la respiración, el viento y, en filosofía, al alma.

Hasta finales del siglo pasado no se comenzó a estudiar sistemáticamente su comportamiento y reglas, cuando el estudio de los gases es objeto de científicos como Torricelli, Pascal, Mariotte, Boyle, Gay Lussac, etc.

La verdadera irrupción de la neumática en la industria se dio a partir de 1950 con la introducción de la **automatización** en los procesos de trabajo, aunque al comienzo fue rechazada por su desconocimiento. Hoy en día no se concibe una explotación industrial sin aire comprimido. La automatización permite la eliminación total o parcial de la intervención humana. Asume pues algunas funciones intelectuales más o menos complejas de cálculo y de decisión.

La "neumática convencional" es la tecnología que emplea elementos neumáticos con partes mecánicas en movimiento. La energía estática contenida en un fluido bajo presión de 3 a 10 Kg/cm<sup>2</sup> es transformada en energía mecánica mediante los actuadores (cilindros o motores).

La utilización de la neumática está dividida en dos clases de aplicaciones:

1. *Trabajos de potencia*, mediante motores y cilindros neumáticos.
2. *Trabajos de mando*, mediante válvulas distribuidoras.

## 1.2. PROPIEDADES DEL AIRE COMPRIMIDO: VENTAJAS E INCONVENIENTES

Entre las principales ventajas del aire comprimido destacan:

- Abundante: el aire para su compresión está en cantidades ilimitadas.
- Transporte: se transporta fácilmente por tuberías sin necesitar retorno.
- Almacenable: se puede almacenar en depósitos y botellas y tomarse de éstos.
- Temperatura: no tiene peligro de explosión ni incendio, por lo que sus instalaciones son más baratas.
- Limpio: en caso de falta de estanqueidad, no produce ensuciamiento. Esto es importante por ejemplo para las industrias alimentarias, de madera, textiles, etc.
- Elementos: son simples y por lo tanto económicos con relación a otras tecnologías, además de una larga vida sin apenas averías.
- Velocidad: su desplazamiento es rápido, permitiendo velocidades de trabajo elevadas.

Entre las principales limitaciones destacan:

- Preparación: el aire debe ser preparado antes de su utilización, limpiando las impurezas y humedad.
- Compresible: no se puede obtener en los émbolos velocidades constantes y uniformes. Esto se mejora con elementos electrónicos de control que encarecen la instalación (Neumática Proporcional).
- Fuerza: a la presión normal de trabajo (7 bar), el límite de la fuerza está entre 20000 y 30000 N (Sistema Internacional -SI-).
- Escape: el escape del aire produce ruido, necesitándose elementos insonorizantes (silenciadores).
- Costos: se compensa el coste de preparación del aire con el coste relativamente económico de los elementos y su buen rendimiento.

### 1.3. EL AIRE: CONSTANTES Y PROPIEDADES FÍSICAS

El *aire* (como todos los aeriformes) no tiene forma ni volumen, pues llena en todo momento el recipiente en que está contenido. Su volumen puede variar de forma y también de valor, pues cuando el volumen  $V$  se vuelve  $V_1 > V$  el fenómeno se llama de *expansión*, mientras que si  $V_1 < V$  el fenómeno se llama de *compresión*. Vamos a aplicar nosotros el segundo caso.

La composición volumétrica del aire es aproximadamente de:

- 78% de nitrógeno
- 21% de oxígeno
- resto de argón, helio, hidrógeno, xenón, criptón, bióxido de carbono, vapor de agua, polvo, etc.

Su *densidad* es de  $1,293 \text{ Kg/m}^3$  a  $0^\circ \text{ C}$  y 1 atmósfera de presión.

### 1.4. CONCEPTO DE PRESIÓN: ABSOLUTA, RELATIVA Y ATMOSFÉRICA

La **presión** ejercida por un fluido sobre una superficie (y viceversa) es el cociente entre la fuerza y la superficie que recibe la acción:

$$P = \frac{F \text{ (Kg)}}{S \text{ (cm}^2\text{)}}$$

La **presión atmosférica** es el peso de la columna de aire comprendido entre una superficie y el límite de la atmósfera. Esto significa que varía con la altura, además de las condiciones meteorológicas. Se suele tomar como normal 1013 mbar ( $\cong 1 \text{ bar}$ ) a nivel de mar. La presión atmosférica también se llama *barométrica* y la miden los **barómetros**.

El valor resultante de dividir toda la fuerza ejercida sobre una superficie por dicha superficie, se denomina **presión absoluta**.

En neumática industrial se trabaja con **presión relativa**, es decir, la diferencia entre la presión absoluta y atmosférica, pues todos los cuerpos están sometidos a la presión atmosférica. También se llama *manométrica*, y se mide con el **manómetro**.

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

### 1.4.1. UNIDADES DE PRESIÓN

En el Sistema Internacional Giorgi (MKS) la unidad de presión es el N/m<sup>2</sup>, llamado *Pascal* (Pa). Al ser pequeño, se utiliza como múltiplo el *bar*.

$$\text{Pa} = \text{N/m}^2 \quad \Rightarrow \quad 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa.}$$

En neumática se suele hablar de bar, atmósferas o Kg/cm<sup>2</sup> indistintamente, aunque no son exactamente lo mismo:

EQUIVALENCIAS	1 bar	1 atmósfera	1 Kg/cm <sup>2</sup>
1 bar	1	0'987	1'02
1 atmósfera	1'013	1	1'033
1 Kg/cm <sup>2</sup>	0'981	0'968	1

### 1.5. COMPRESIBILIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO

Consideremos el volumen definido **V** de un recipiente (figura a) en el cual hay aire en las mismas condiciones que en el exterior.

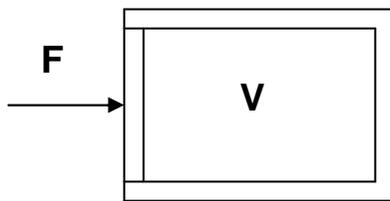


Figura a

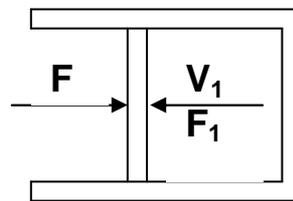


Figura b

Si aplicamos una fuerza **F** a una pared móvil, ésta se sitúa en otra posición reduciendo el volumen  $V_1 < V$ . Sobre la pared móvil se crea otra fuerza **F<sub>1</sub>** contraria e igual a **F** (figura b). Si cesa la fuerza **F**, la pared móvil retorna a su posición inicial. Este fenómeno es debido únicamente a la **compresión** del aire.

La **Ley de Boyle Mariotte** dice que, a temperatura constante, el volumen de un gas encerrado en un recipiente es inversamente proporcional a la presión absoluta (isoterma):

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = \text{Cte.}$$

La **Ley de Gay Lussac** dice que, a presión constante, el volumen de un gas varía proporcionalmente a la temperatura absoluta (isobara):

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{Cte.}$$

La **Ley de Charles** dice que, a volumen constante, la presión absoluta de una masa de gas es directamente proporcional a la temperatura (isócara):

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \text{Cte.}$$

Combinando las ecuaciones anteriores, se obtiene la **ecuación de los gases perfectos**, útil para el cálculo de instalaciones neumáticas en que hay que tener en cuenta variaciones de temperatura:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{Cte.}$$

## 2. OBTENCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

### 2.1. COMPRESORES

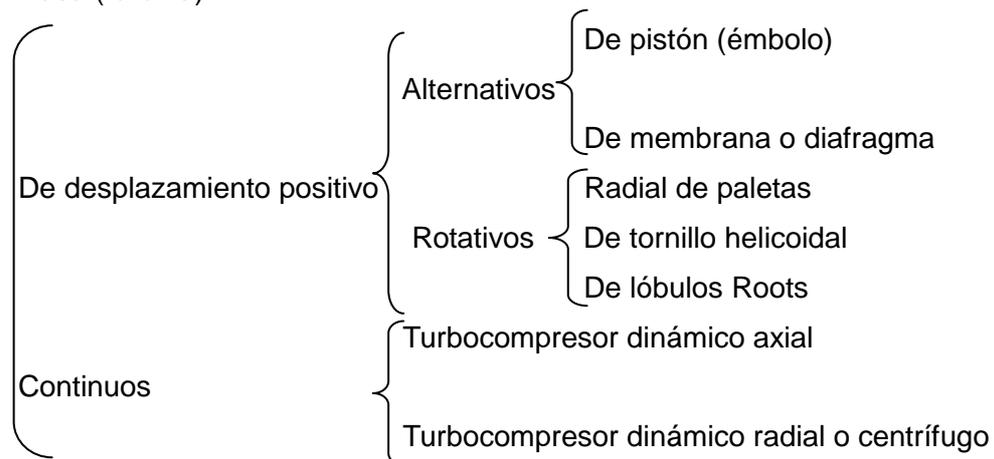
Para producir aire comprimido se utilizan los **compresores**, que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado. Por tanto, *aspiran el aire del ambiente y lo comprimen mediante la disminución del volumen*. Se puede decir que los compresores transforman en energía potencial de aire comprimido otro tipo de energía mecánica aportada desde el exterior, en general por medio de un motor eléctrico o de combustión interna.

El aire viene comprimido de la estación compresora a los mecanismos por medio de tuberías. La capacidad de los compresores debe ser superior al tamaño de la red, pues de lo contrario sería insuficiente y no funcionarían los mecanismos correctamente.

### 2.2. TIPOS DE COMPRESORES

Hay dos tipos básicos de compresores:

1. Los que trabajan según el principio de desplazamiento, obteniéndose la compresión en un lugar hermético por reducción del volumen (émbolo).
2. Los que trabajan según el principio de la dinámica de los fluidos, al entrar el aire aspirado por un sitio y comprimido como consecuencia de la aceleración de la masa (turbina).



#### 2.2.1. COMPRESOR DE ÉMBOLO OSCILANTE DE DOS ETAPAS

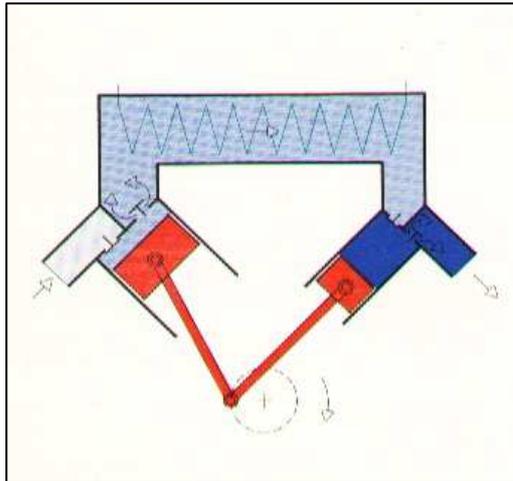
Todos los *compresores de émbolos* están movidos por un mecanismo de biela-manivela que transforma el movimiento rotativo del motor de arrastre en movimiento alternativo. Van equipados, al menos, con válvula de seguridad y un presostato.

Los hay de una, dos o más etapas (con uno, dos o más cilindros), dependiendo del caudal o presión que se desea.

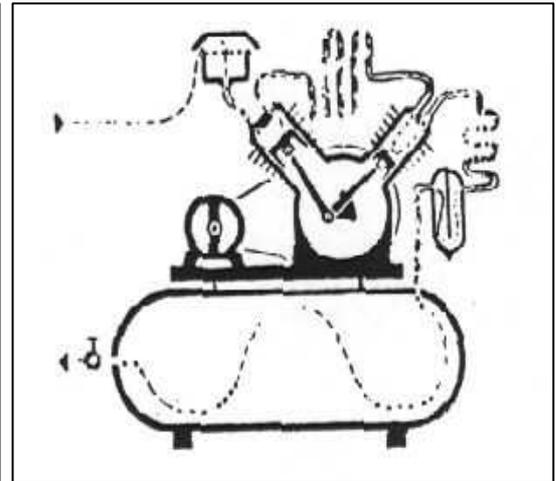
En el de dos etapas, el movimiento molecular, después de la primera compresión, provoca una elevación de la temperatura (*Ley de transformación de la energía*). Se debe refrigerar el aire antes de la segunda compresión para evacuar el calor.

El movimiento hacia abajo del *émbolo* aumenta el volumen para crear una presión más baja que la atmosférica, lo que hace entrar el aire en el cilindro por la *válvula de admisión*. Al final de la carrera, el émbolo se mueve hacia arriba, la *válvula de admisión* se cierra cuando el aire se comprime, obligando a la *válvula de escape* a abrirse para descargar el aire. Si es de dos etapas, el aire pasa

refrigerado a una segunda etapa en que lo comprime a la presión de trabajo deseada.

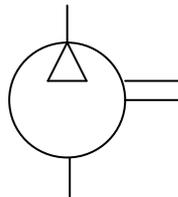


*Compresor de émbolo oscilante de dos etapas*



*Compresor de doble émbolo dos etapas*

El símbolo neumático para todos los compresores es el mismo, utilizándose normas DIN/ISO y las recomendaciones internacionales CTOP (Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques).



El *compresor de diafragma* suministra aire comprimido seco a menores presiones pero libre de aceite, por lo que se emplea en la industria alimenticia, farmacéutica o similar.

Existen gráficas que, atendiendo a la presión y caudal necesario, recomiendan un tipo u otro de compresor. Así por ejemplo, los compresores de émbolo de 2 etapas se utilizan para presiones de hasta 15 bar, y los turbocompresores para grandes caudales. El caudal se expresa en  $\text{m}^3/\text{min}$  ó  $\text{m}^3/\text{h}$ .

### 2.2.2. DEPÓSITOS

El complemento del compresor es el **depósito**, **calderín** o **acumulador** y tiene las siguientes funciones:

1. Amortiguar las pulsaciones del caudal de salida de los compresores alternativos.
2. Permitir que los motores de arrastre de los compresores no tengan que trabajar de manera continua, sino intermitentemente.
3. Hacer frente a las demandas puntuales de caudal sin provocar caídas en la presión.

En general son cilíndricos, de chapa de acero y van provistos de varios accesorios tales como un manómetro, válvula de seguridad, válvula de cierre, grifo de purga de condensados, así como un presostato (en los pequeños) para arranque y paro del motor.

Los depósitos para pequeños compresores suelen ir montados debajo del mismo compresor y en sentido horizontal. Para grandes caudales suelen ir

separados y en sentido vertical, disponiendo de otros accesorios como termómetro y trampilla de acceso.

Su tamaño depende de varios factores como el caudal de suministro del compresor, de la demanda de aire, del volumen suplementario de las tuberías, del tipo de refrigeración para determinar los periodos aconsejables de paro, etc.

Su símbolo neumático es el siguiente:



### 2.3. DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO: TUBERÍAS

Las máquinas y mecanismos neumáticos se abastecen del aire comprimido proporcionado por un compresor a través de las tuberías. Su cálculo debe ser riguroso teniendo en cuenta una serie de elementos como:

- a) El caudal.
- b) La longitud de las tuberías.
- c) La pérdida de presión admisible.
- d) La presión de servicio.
- e) La cantidad de estrangulamientos de la red (suponen una longitud supletoria).

En la práctica existen *nomogramas* que facilitan el cálculo del diámetro de una tubería de forma rápida y sencilla.

Los materiales de que están hechos varían con su aplicación. La tubería de gas estándar suelen ser de acero al carbono (SPG), para grandes diámetros en líneas de conductos largos se utiliza acero inoxidable, y cobre cuando requiere una resistencia a la corrosión o al calor. Debe tener un descenso en el sentido de la corriente del 1 al 2%, para evitar que el agua condensada que pueda haber en la tubería principal llegue a los elementos, colocándose las derivaciones en la parte superior del tubo.

Las mangueras de goma o plástico reforzado se utilizan en herramientas neumáticas manuales en las que el tubo está expuesto a desgaste mecánico, debido a su flexibilidad. Los tubos de PVC, nylon, poliuretano o poliamida se utilizan principalmente en la interconexión de componentes neumáticos.

### 3. TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO

#### 3.1. PREPARACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido contiene impurezas que pueden causar interrupciones y averías en las instalaciones neumáticas, incluida la destrucción de los elementos neumáticos. Estas impurezas son en general, gotas de agua, polvo, restos de aceite de los compresores, cascarillas, etc. Mediante la preparación del aire se aumenta la duración de los elementos, reduciendo los tiempos de avería de los mandos.

Los aparatos con los que se consigue mejorar la calidad del aire son típicamente los siguientes:

- *Filtros en la aspiración*, para evitar la entrada de abrasivos que contiene el aire al compresor.
- *Refrigeradores del compresor*, para separar los condensados del aire húmedo absorbidos por el compresor.
- *Purgas intermedias*, para eliminar los condensados del aire que ha pasado aún sin enfriarse completamente.
- *Secadores*, utilizados en las grandes instalaciones y reduciendo el contenido de agua hasta un  $0'001\text{g/m}^3$ .
- *Desoleadores*, capaces de no dejar pasar agua líquida en suspensión, aceite o partículas sólidas.

Vamos a tratar solamente los elementos que componen una *unidad de mantenimiento (filtro, regulador de presión y lubricador)* de una pequeña instalación, colocada delante de las utilizaciones.

#### 3.2. FILTRO CON REGULADOR DE PRESIÓN

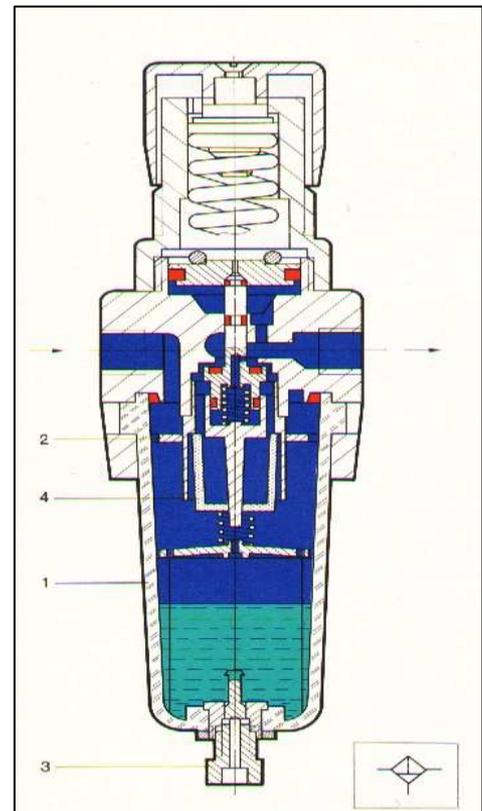
El **filtro** tiene como misión extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada.

Hay diferentes tipos: con o sin regulador de presión y purga. Además suelen llevar incorporado, los que poseen el regulador de presión, un manómetro.

Vamos a ver el funcionamiento de un *filtro con regulador de presión y purga*.

El aire entra y pasa por una chapa deflectora (2) con ranuras directrices al recipiente (1). De esa forma se somete al aire a un movimiento de rotación. Los componentes líquidos y partículas grandes de suciedad se desprenden por efecto de la fuerza centrífuga y caen a la parte inferior del recipiente. Este recipiente o taza suele ser de plástico transparente para su control visual. Estos se extraen al exterior por medio de la purga (3) que puede ser manual o automática.

A continuación pasa el aire por otro filtro sinterizado de cobre o espuma poliuretánica (4) que separa otras partículas más finas. Debe ser sustituido o limpiado cada cierto tiempo.

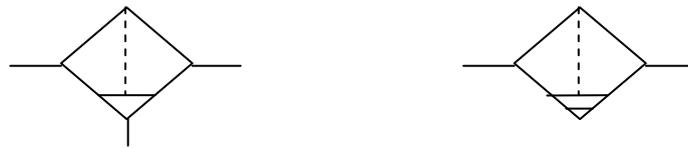


El aire limpio pasa entonces por el regulador de presión. **La función del regulador de presión es mantener la presión de trabajo constante, aunque la presión de la red varíe o lo haga el consumo de aire.** La presión primaria debe ser siempre mayor a la secundaria o de trabajo.

Con el tornillo superior regulamos la fuerza del muelle que se opone a otra fuerza por el otro lado, originada por la presión de trabajo.

Si la presión de trabajo aumenta, aumenta la fuerza contraria al muelle. Esto hace disminuir el caudal de aire que pasa, bajando la presión en el secundario. La sobrepresión suele eliminarse por medio de unos orificios de escape. Si por el contrario la presión de trabajo disminuye, disminuye la fuerza contraria al muelle. Esto origina una entrada mayor de caudal, restableciendo la presión de trabajo.

Los símbolos CETOP del filtro con purga manual y automática son los siguientes:



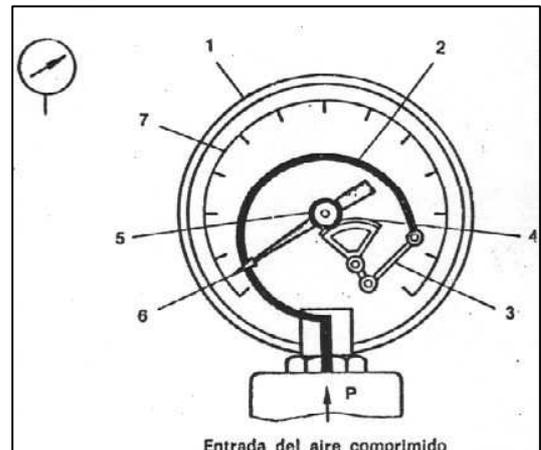
Los símbolo CETOP del regulador de presión con y sin escape son los siguientes:



### 3.3. MANÓMETRO

A la salida del secundario del regulador se coloca un **manómetro** que nos dirá en cada momento la presión de trabajo que tenemos.

Se basa en la deformación que sufre un tubo de metal de paredes delgadas, con la combinación de la presión del aire en su interior y la atmosférica en el exterior. Al aumentar la presión interior (2) del tubo, aumenta su radio y transmite a través de una biela (3) y sector dentado (4) movimiento a un indicador (6) a través de un piñón (5). En una escala (7) se mide la presión.



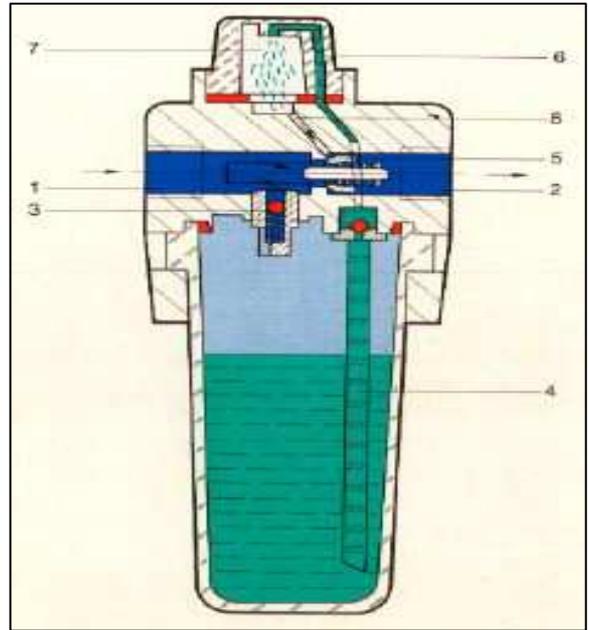
### 3.4. LUBRICADOR

El **lubricador** tiene como misión reducir el rozamiento de los elementos móviles de los aparatos neumáticos y protegerlos contra la corrosión. Se basan en el efecto Venturi, derivado del Teorema de Bernuilli. Se aprovecha la depresión que se produce entre la entrada de la “tobera” y la zona más estrecha para aspirar líquido (aceite) de un depósito y mezclarlo con el aire. Al existir un estrechamiento en la tubería, la presión en esa zona disminuye y si colocamos un tubo con aceite, la diferencia de presión aspira el líquido, las gotas de éste son pulverizadas por el aire y quedan mezcladas con él.

El lubricador no trabaja hasta que la velocidad del flujo es suficientemente grande. Si se consume poco aire, la velocidad de flujo en la tobera no alcanza para producir una depresión suficiente y aspirar el aceite del depósito.

Al entrar el aire (1) al lubricador, pasa por un estrechamiento (5). En el canal (8) y la cámara de goteo (7) se produce una depresión, aspirando a través de un canal (6) y tubo elevador (4) gotas de aceite. Finalmente sale (2) el aire con aceite pulverizado hasta el elemento consumidor.

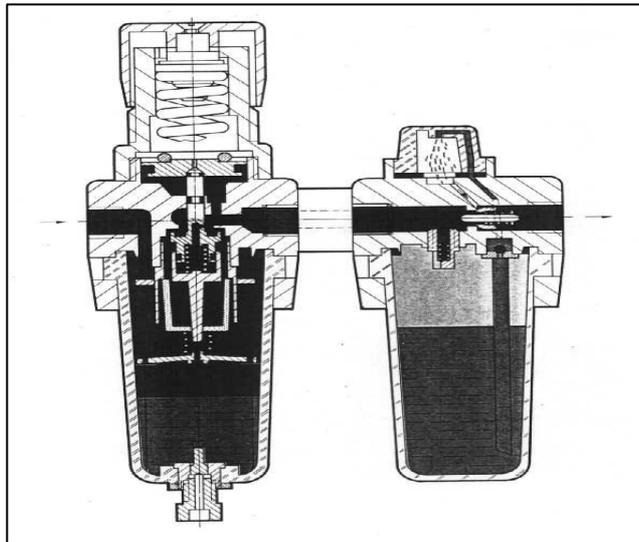
La elección correcta del aceite es importante, pues una mala elección puede tener consecuencias desastrosas para los elementos neumáticos. Siempre es conveniente consultar al distribuidor de los elementos por el aceite ideal y seguir todas las instrucciones en cuanto a la cantidad y tiempo de reposición.



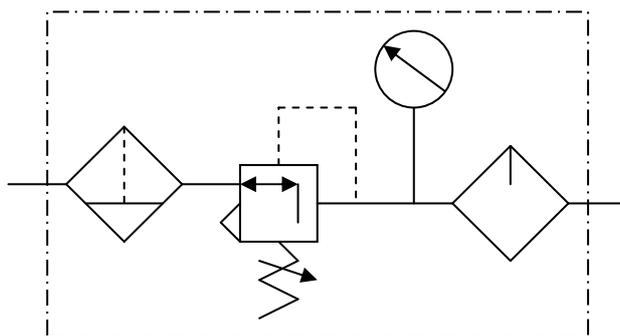
### 3.5. UNIDAD DE MANTENIMIENTO

Se denomina **unidad de mantenimiento** a la combinación de los elementos siguientes:

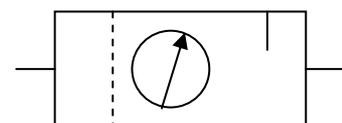
1. Filtro de aire comprimido.
2. Regulador de presión (generalmente con manómetro).
3. Lubricador de aire comprimido.



Se suelen emplear en conjunto, determinando el siguiente símbolo específico que se puede simplificar:



*Símbolo completo*



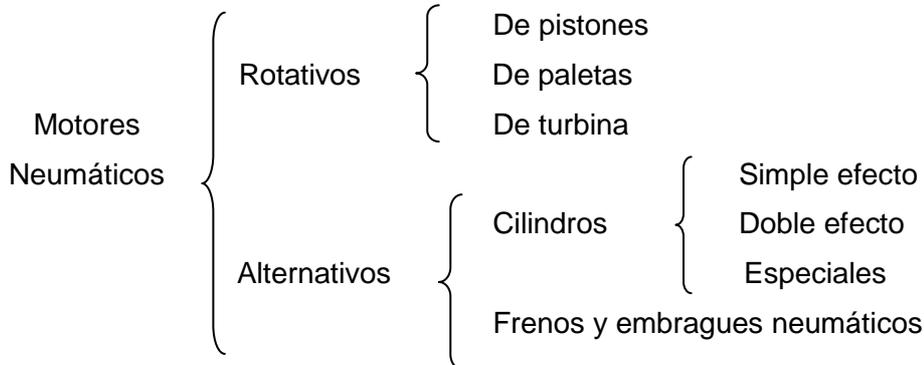
*Símbolo simplificado*

## 4. ELEMENTOS DE TRABAJO

### 4.1. MOTORES NEUMÁTICOS: CLASIFICACIÓN

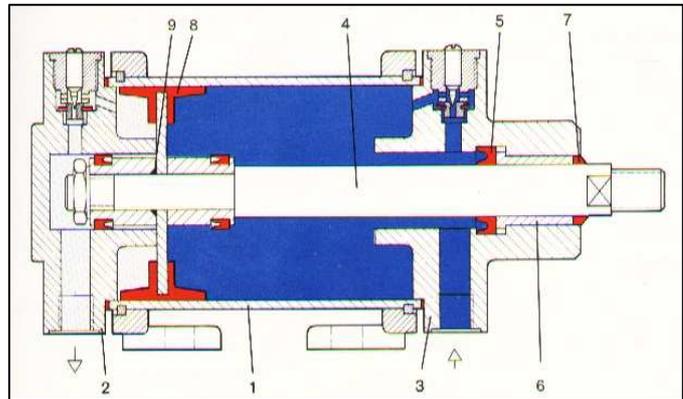
Los **motores neumáticos** convierten la energía del aire comprimido en un movimiento de giro (rotativo) o lineal de vaivén (lineal-alternativo).

Podemos clasificarlos en:



### 4.2. CILINDROS NEUMÁTICOS

Un **cilindro neumático** consta principalmente de un tubo cilíndrico (*camisa 1*) de acero embutido sin costuras con un gran acabado interno (bruñido) para minimizar el desgaste; una tapa generalmente de fundición de aluminio (*cabezal anterior 3*) en la parte del vástago y otra (*cabezal posterior 2*) en el otro extremo; *émbolo* generalmente de aleación ligera o acero bonificado con *manguito de doble copa (8)*; y *vástago (4)* de acero bonificado al cromo para evitar su corrosión con *juntas tóricas (9)*. Entre el vástago y el cabezal anterior llevan un *cojinete (6)* generalmente de bronce sinterizado que sirve de guía al vástago, y un *collarín obturador (5)* para hermetizar el vástago. Delante del casquillo del cojinete se encuentra un *aro rascador (7)* que impide la entrada de suciedad en el interior del cilindro.



El tipo de fijación depende del modo en que el cilindro se coloque en el dispositivo o máquina, fijándose por bridas, rosca, pies, etc.

Las acciones que realiza un cilindro son “tirar” y “empujar”. El mayor esfuerzo se realiza al empujar, esto es, cuando la presión actúa sobre la cara del émbolo sin el vástago por ser la superficie mayor.

#### 4.2.1. CILINDROS DE SIMPLE EFECTO

Tienen una sola conexión de aire, trabajando solo en un sentido. Generalmente, la carrera activa es la de “vástago saliente”, realizándose el retorno bien por muelle o por una fuerza externa. Suelen ser de diámetro pequeño y carrera corta (hasta 100 mm), debido al muelle. Se utilizan para sujetar, expulsar, apretar, alimentar, levantar, etc.

Al entrar aire proveniente del distribuidor por el orificio de la izquierda el vástago avanza (carrera de avance o trabajo), mientras que al dejar de entrar aire el vástago retrocede (carrera de retroceso o retorno).