

1

# Tecnología Neumática



*Ministerio de Educación  
Ciencia y Tecnología*

**inet**  
Instituto Nacional de  
Educación Tecnológica

## ***Autoridades***

---

### **Presidente de la Nación**

Eduardo Duhalde

### **Ministra de Educación, Ciencia y Tecnología**

Graciela Giannettasio

### **Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Educación Tecnológica**

Horacio Galli

### **Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica**

Juan Manuel Kirschenbaum

### ***Especialista en contenido:***

- Graciela Pellegrino

### *serie/desarrollo de contenidos*

---

#### **Colecciones**

Autotrónica

Comunicación de señales y datos

Cultura tecnológica

Diseño gráfico industrial

Electrónica y sistemas de control

Fluidica y controladores lógicos programables

Gestión de la calidad

Empresa simulada

Informática

Invernadero computarizado

Laboratorio interactivo de idiomas

Procesos de producción integrada. CIM

Proyectos tecnológicos

Simulación por computadora



## Índice

---

El Centro Nacional de Educación Tecnológica

La colección Fluidica y controladores lógicos programables

### 1. El problema tecnológico y las primeras decisiones

### 2. Base teórica sobre técnica neumática

Ficha 1: Introducción.

Ficha 2: Estructura de sistemas neumáticos

Ficha 3: Fundamentos físicos del aire

Ficha 4: Fuente de energía. Alimentación

Ficha 5: Selección del compresor

Ficha 6: Acumulador

Ficha 7: Secadores de aire

Ficha 8: Unidad de mantenimiento

Ficha 9: Unidad de mantenimiento. Filtros de aire a presión

Ficha 10: Unidad de mantenimiento. Reguladores de presión

Ficha 11: Unidad de mantenimiento. Lubricación del aire a presión

Ficha 12: Dispositivos actuadores

Ficha 13: Dispositivos actuadores. Movimiento lineal

Ficha 14: Dispositivos actuadores. Movimiento giratorio

Ficha 15: Dispositivos actuadores. Indicadores

Ficha 16: Válvulas

Ficha 17: Válvulas. Válvulas de vías o distribuidoras

Ficha 18: Válvulas. Válvulas de bloqueo

Ficha 19: Válvulas. Válvulas de caudal

Ficha 20: Válvulas. Válvulas de presión

Ficha 21: Válvulas. Válvulas combinadas

### 3. Anexos

3.1. Diagrama para la determinación de la capacidad del acumulador

3.2. Características del punto de rocío

3.3. Diagrama de fuerzas desarrolladas

3.4. Diagrama de pandeo

3.5. Diagrama de consumo de aire

3.6. Diagrama para la determinación del caudal de una válvula



## ***El Centro Nacional de Educación Tecnológica***

El Centro Nacional de Educación Tecnológica –CeNET– es el ámbito del Instituto Nacional de Educación Tecnológica destinado a la investigación, la experimentación y el desarrollo de nuevas propuestas en la enseñanza del área en la escuela.

Desde el CeNET venimos trabajando en tres líneas de acción que convergen en el objetivo de reunir a profesores, a especialistas en tecnología y a representantes de la industria y de la empresa, en acciones compartidas que permitan que la Escuela Tecnológica se desarrolle de un modo sistemático, enriquecedor, profundo... auténticamente formativo, tanto para los alumnos como para los docentes que coordinan tareas en el área.

Una de nuestras líneas de acción es la de diseñar, implementar y difundir **trayectos de capacitación y de actualización**. En el CeNET contamos con quince laboratorios en los que se desarrollan cursos, talleres, pasantías, encuentros, destinados a cada educador y a cada miembro de la comunidad que lo desee.

- Autotrónica
- Centro multimedial de recursos educativos
- Comunicación de señales y datos
- Cultura tecnológica
- Diseño gráfico industrial
- Electrónica y sistemas de control
- Fluidica y controladores lógico-programables
- Gestión de la calidad
- Gestión de las organizaciones
- Informática
- Invernadero computarizado
- Laboratorio interactivo de idiomas
- Procesos de producción integrada. CIM
- Proyectos tecnológicos
- Simulación por computadora

La de la **conectividad** es otra de nuestras líneas de acción; su objetivo es generar y participar en redes que integren al Centro con organismos e instituciones educativas ocupados en la Educación Tecnológica, y con organismos, instituciones y empresas dedicados a la tecnología, en general. Entre estas redes, se encuentra la que conecta al CeNET con los Centros Regionales de Educación Tecnológica –CeRET– y con las Unidades de Cultura Tecnológica instalados en todo el país.

También nos ocupa la **producción de materiales**. Hemos desarrollado dos series de publicaciones: *Educación Tecnológica*, que abarca materiales (uni y multimedia) que intentan posibilitar al destinatario una definición curricular del área de la Tecnología en el ámbito escolar y que incluye marcos teóricos generales, de referencia, acerca del área en su conjunto y de sus contenidos, enfoques, procedimientos y estrategias didácticas más generales; y *Desarrollo de contenidos*, nuestra segunda serie de publicaciones, que nuclea fascículos de capacitación que pueden permitir una profundización en los campos de problemas y de contenidos de las distintas áreas del conocimiento tecnológico (los quince ámbitos que puntualizábamos y otros que se les vayan sumando) y que recopila, también, experiencias de capacitación docente desarrolladas en cada una de estas áreas.

A partir de estas líneas de trabajo, el CeNET intenta constituirse en un espacio en el que las escuelas, los docentes, los representantes del sistema técnico y científico, y las empresas puedan desarrollar proyectos de innovación que redunden en mejoras para la enseñanza y el aprendizaje de la Tecnología.



## ***La Colección Fluidica y Controladores Lógicos Programables***

Los grandes avances en la automatización en los procesos de producción exigen una integración de tecnologías de control y de accionamiento. Hoy en día, se combinan en esos simples procesos industriales, un sinnúmero de elementos que conforman el núcleo de acción de manipuladores, controles de acceso, accionamiento de maquinarias y prácticamente todos los conjuntos de automatismos que se encuentran, desde en una fábrica hasta en un edificio inteligente.

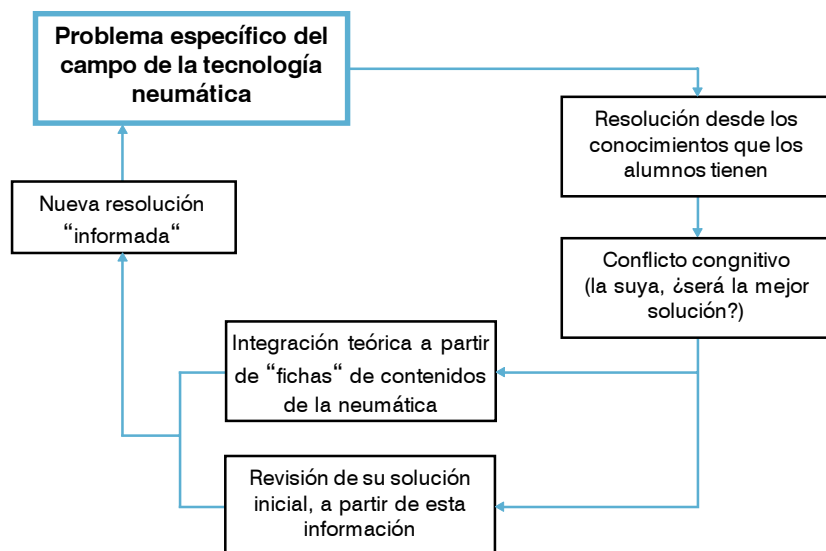
Un rol muy importante ha adquirido en la actualidad la técnica de mando; día a día aumentan las exigencias impuestas a la solución de diferentes problemas o proyectos. Estas demandas involucran entre otras, una mayor fiabilidad, mayor seguridad en el desarrollo de un trabajo, facilidad de instalación y, en ciertos casos también facilidad en el mantenimiento de los diversos equipos y elementos.

Además, los avances tecnológicos hacen que en el mercado aparezcan constantemente elementos nuevos para diferentes o múltiples aplicaciones; esto, generalmente, no es acompañado por la formación de aquellos profesionales o aprendices que deban o deseen trabajar con ellos.

El presente trabajo es parte de una colección que pretende introducirnos en una de las ramas de la técnica de mando, la del **mando neumático**. La intención es proveer un somero conocimiento sobre aquellos elementos y aparatos más comunes que intervienen en la aplicación de los mandos neumáticos; en primer lugar en forma independiente, analizando para cada uno sus características, su comportamiento, etc., para, luego, relacionarlos y comprobar cómo interactúan entre sí. También se realiza un breve análisis sobre las características del tipo de energía utilizada: el aire. Todo esto sobre la base de un eje conductor que es búsqueda de una de las posibles soluciones a un problema planteado en el comienzo.

Porque, además de presentarle contenidos disciplinares específicos de la tecnología neumática, nos interesa compartir con usted una metodología de trabajo.

Para encarar este componente metodológico, nuestro material está organizado en función de un circuito didáctico que podríamos esquematizar de este modo:



La metodología que estamos proponiéndole se activa a partir de un problema específico –que podría ser uno que usted mismo planteara a sus alumnos en una clase de Tecnología Neumática– y que le presentamos en las primeras páginas de nuestro material.

Para dar respuesta a ese problema inicial, seguramente va a ser necesario que usted –o que sus alumnos– cuenten con más información, proporcionada en forma gradual, a medida que los avances en la resolución vayan requiriéndola. Iremos encarando esa ampliación conceptual a través de “Fichas” de contenidos de la neumática.

Estas fichas, al mismo tiempo que intentan permitirle una definición más precisa de la situación inicial, propiciarán la revisión de las resoluciones que usted mismo se habrá planteado al comienzo de la tarea.

El trabajo se completa con distintos momentos de síntesis, que corresponden a vueltas al problema integrando los nuevos conceptos. Así, luego del desarrollo de cada ficha, usted encontrará en el texto una vinculación entre la teoría neumática presentada y el problema concreto, una vuelta a él, que recomienza cada vez que vamos incluyendo más información y que usted encara nuevas revisiones de la cuestión.

Este material puede ser de utilidad para aquellos docentes y alumnos del área de Tecnología de la Educación Polimodal y de Escuela Tecnológica; ya que les permitirá, entre otras cosas: determinar la tecnología más adecuada para una aplicación en particular, así como también evaluar los “pros” y “contras” que conlleva su uso; desarrollar y analizar el funcionamiento de un sistema neumático como un todo y también comprender qué función cumple cada uno de los componentes dentro de ese sistema; verificar cómo y con qué elementos se realiza la transmisión o flujo de señales dentro de ese sistema; etc. También puede aplicarse en la formación para el Trayecto Técnico Profesional: “Equipos e instalaciones electromecánicas”.

Le agradeceremos el envío de sugerencias y/o proposiciones que tiendan a introducir mejoras a este material, a: [grape@inet.edu.ar](mailto:grape@inet.edu.ar).

# **1. EL PROBLEMA TECNOLÓGICO Y LAS PRIMERAS DECISIONES**



Este problema nos acompañará a lo largo del material:

Nos han pedido realizar el estudio de un dispositivo que realice un estampado o marcado sobre una de las caras de una pieza, cuyas dimensiones son 90 mm x 120 mm x 35 mm. alguna de las condiciones planteadas es que el ciclo debe ser automático, de fácil manejo, seguro, confiable, etc.; y, además, disponemos de los siguientes datos: el material de la pieza es aluminio, la fuerza necesaria para realizar el estampado es de aproximadamente 900 N y se desean producir alrededor de 8000 piezas por día.

Naturalmente, existen diferentes soluciones. La elección del sistema adecuado, en la práctica no siempre resulta fácil y bien definido. A esto debería agregársele que, en función de la propia formación, el electricista propondrá una solución *eléctrica*; el especialista en hidráulica, una solución *hidráulica* y el especialista en neumática entenderá una solución *neumática*. La solución óptima de un problema exige el conocimiento de todas las alternativas que se ofrecen.

### **Actividad**

Para esto le proponemos que analice, brevemente, las principales fuentes de energía para los elementos de trabajo y de mando más usuales, los criterios de selección, así como las ventajas y desventajas.

La evaluación correspondiente deberá referirse al sistema completo, empezando por las señales de entrada (emisores de señal), pasando por la parte de mando (procesadores) y llegando hasta los órganos de maniobra y actuadores. Además, deberá tomar en cuenta los siguientes factores:

- Medios de control preferidos.
- Equipos ya instalados.
- Conocimientos técnicos disponibles.
- Sistemas ya instalados.

### **Energías para elementos de trabajo**

- Neumática.
- Hidráulica.
- Electricidad.

*Criterios de selección:*

Algunos de ellos pueden ser

- Producción de energía.
- Fuerza (lineal, rotativa).
- Movimiento (lineal, rotativo, etc.).
- Capacidad de regulación.
- Acumulación, transporte.
- Seguridad.
- Influencias ambientales.
- Costo de energía.
- Facilidad de manejo.

### Energías para elementos de mando

- Electricidad.
- Electrónica.
- Neumática a presión normal.
- Neumática a baja presión.

Éstas son sólo algunas de las energías posibles; también podría analizar cómo se comportan aquellos elementos de mando que utilicen por ejemplo “energía mecánica” o “energía hidráulica”.

#### *Criterios para la elección del sistema:*

- Fiabilidad de los elementos.
- Facilidad de conmutación de los elementos (tiempo de conmutación).
- Velocidad de transmisión de la señal.
- Distancias máximas.
- Dimensiones necesarias.
- Tratamiento principal de la señal.

Aquí también puede analizar cómo se comporta el sistema frente a las influencias ambientales, qué formación requiere el personal destinado al servicio y mantenimiento, o bien si ya se dispone de este personal.

Nuestra propuesta es que intente llegar a alguna conclusión usted mismo, ya sea a través de búsquedas bibliográficas, o en Internet (si dispone del recurso), de catálogos, del análisis de dispositivos con los que se encuentra en su vida cotidiana, de la integración de conocimientos previos, solicitando información en empresas o industrias que trabajen con alguna de estas tecnologías, etc. Luego le sugerimos que compare sus respuestas con la información que presentamos en los cuadros siguientes.

### ***Energía para los elementos de trabajo***

<b>Criterios</b>	<b>Neumática</b>	<b>Hidráulica</b>	<b>Electricidad</b>
Producción de energía	Por medio de compresores estacionarios o móviles, accionados con motores eléctricos o motores de combustión interna. Sistema de compresores a elegir según la presión y el caudal necesario. En todas partes existe aire en cantidades ilimitadas, para su compresión.	En grupos moto-bomba estacionarios o móviles, accionados con motores eléctricos, en casos excepcionales con motor de combustión interna. Pequeñas instalaciones también con accionamiento manual. Las instalaciones móviles son raras. Grupo moto-bomba a elección según caudal y presión necesarios.	A nivel nacional generalmente, dependiendo de la localización. La producción puede ser: hidráulica, térmica, atómica, etc.
Fuerza lineal	Fuerza limitada por la baja presión y el diámetro de los actuadores, a aproximadamente 35000 N - 40000 N ( $\approx$ 3500 kg - 4000 kg), en fuerzas de retención (parada) sin consumo de energía.	Grandes fuerzas por la alta presión.	Mal rendimiento, sin seguridad contra sobrecargas, gran consumo de energía en la marcha en vacío, poca fuerza.

Crterios	Neumática	Hidráulica	Electricidad
Fuerza rotativa	Par de giro total; en reposo, sin consumo de energía.	Par de giro total, también en reposo, en esto surge, sin embargo, el mayor consumo de energía.	Par de giro menor en reposo.
Movimiento lineal	Generación fácil, alta aceleración, alta velocidad (aproximadamente 1,5 m/seg).	Generación fácil por cilindros, buena regulación.	Complicado y caro, puesto que hace falta una conversión, a través de la mecánica o en recorridos cortos a través de electroimanes; y, para fuerzas pequeñas, precisa motores lineales.
Movimiento rotativo u oscilante	Motores neumáticos con muy alto número de revoluciones (500.000 min <sup>-1</sup> ), elevado costo de explotación, mal rendimiento, movimiento oscilatorio por conversión mediante cremallera y piñón.	Motores hidráulicos y cilindros oscilatorios con revoluciones más bajas que en la neumática, buen rendimiento.	Rendimiento más favorable tratándose de accionamientos rotatorios, número de revoluciones limitado.
Capacidad de regulación	Fácil regulación de la fuerza a través de la presión y de la velocidad a través del caudal, en el campo de velocidades menores.	Muy buena regulación de la fuerza y de la velocidad; también en el campo de baja velocidad es regulable con exactitud.	Posible sólo en forma limitada, siendo el gasto considerable.
Acumulación de energía, transporte	Posible hasta grandes cantidades sin mayor gasto, transporte fácil en conductos (hasta 1000 m aproximadamente) y en acumuladores de aire comprimido.	Acumulación posible sólo en forma limitada, con el gas como medio auxiliar o mediante acumulador de fuerza por resorte, transporte en conducto hasta 100 m.	Acumulación muy difícil y costosa; por lo general, sólo cantidades mínimas (acumulador, batería), fácil transporte por líneas a través de distancias muy largas.
Seguridad; fugas	Aparte de la pérdida de carga no existen otros inconvenientes; el aire comprimido una vez utilizado se expulsa a la atmósfera.	Pérdida de energía y contaminación ambiental debido al aceite (peligro de accidentes).	Sin conexión con otras piezas no hay pérdida de energía (por ejemplo: peligro de muerte por alta tensión).
Influencias ambientales	Insensible a las fluctuaciones de temperatura; ningún peligro de explosión; existe peligro de congelación con elevada humedad atmosférica a altas velocidades y bajas temperaturas ambientales.	Sensible a las fluctuaciones de temperatura; con fugas, existe peligro de incendio.	Insensible frente a fluctuaciones de temperatura; en ambiente con riesgo hacen falta dispositivos protectores contra incendios y explosión.
Costo de energía	Alto, en comparación con la electricidad, dependiendo de la instalación y grado de utilización.	Alto, en comparación con la electricidad.	Costo más reducido de energía.
Facilidad de manejo	No hacen falta muchos conocimientos de aplicación; la realización y puesta en marcha de los sistemas de distribución resulta relativamente sencilla y sin peligro.	Más difícil que en la neumática, puesto que hacen falta altas presiones, conductos de fuga y de retorno.	Sólo con conocimientos técnicos; por conexión errónea, a menudo se produce la destrucción de los aparatos y del mando.
En general	Los elementos son seguros contra sobrecargas; los ruidos del aire de escape son desagradables, por lo que habría que adicionarles silenciadores.	Con presiones altas, ruido de bombeo; los elementos son seguros contra sobrecargas.	Los elementos no son seguros contra sobrecargas y sólo con un elevado gasto es posible una seguridad contra sobrecargas; ruidos en la maniobra de los contactores y de los electroimanes.

### Energía para los elementos de mando

Crterios	Electricidad	Electrónica	Neumática de presión normal	Neumática de baja presión
<i>Fiabilidad de los elementos</i>	Insensible a las condiciones ambientales.	Muy sensible a las condiciones ambientales como polvo, humedad, campos perturbadores, golpes y vibraciones. Larga duración.	Insensible, en gran medida, a las influencias ambientales; con aire limpio está garantizada una larga duración.	Insensible a las influencias ambientales, sensible al aire sucio, larga duración.
<i>Tiempo de conmutación</i>	> 10 ms	<< 1 ms	> 5 ms	> 1 ms
<i>Velocidad de transmisión de la señal</i>	Muy alta, $\approx$ velocidad de la luz.	Muy alta, $\approx$ velocidad de la luz.	$\approx$ 10 - 14 m/s	$\approx$ 100 - 200 m/s
<i>Distancias máximas</i>	Prácticamente ilimitada.	Prácticamente ilimitada.	Limitada por la velocidad de la señal.	Limitada por la velocidad de la señal.
<i>Dimensiones necesarias</i>	Pequeñas.	Muy pequeñas.	Pequeñas.	Pequeñas.
<i>Tratamiento principal de la señal</i>	Digital.	Digital analógico.	Digital.	Digital analógico.

Una vez analizados los diferentes criterios de selección antes enumerados, decidimos optar por la utilización de la neumática como energía de trabajo y también para los elementos de mando; por lo tanto, no nos hará falta ningún convertidor, requeriremos sólo de una alimentación de energía hacia la máquina y, además, obtendremos una alta fiabilidad en el desarrollo, insensibilidad ambiental, etc.

Para ocuparnos un poco más acerca de qué es la neumática, cuáles y cómo son los elementos que producen energía neumática, cuáles y cómo son los elementos que utilizan la energía neumática, etc., vamos a desarrollar, a continuación, una base teórica sobre la tecnología de los elementos neumáticos de trabajo y de mando, dedicando un espacio a las características de la energía utilizada, y a la producción y preparación del aire comprimido, que suele ser, frecuentemente, la causa de funcionamiento incorrecto o dificultades en las instalaciones neumáticas; además, debemos tener en cuenta que la utilización práctica y correcta de los mandos neumáticos presupone el conocimiento de los elementos individuales y su funcionamiento, así como las posibilidades de unión o conexión entre sí.



## **2. BASE TEÓRICA SOBRE TÉCNICA NEUMÁTICA**



*Comencemos, pues, por introducirnos en las características generales de aplicación y en los conceptos básicos de la técnica neumática, para luego presentar los diferentes elementos componentes de un sistema neumático.*

*Hemos optado por presentarle la información con el formato de fichas temáticas, para que usted pueda optar por el orden de las mismas, la necesidad de consultar materiales intermedios o adicionales y la profundidad que considere conveniente para que sus alumnos resuelvan el problema que nos sirve como eje.*

## **Ficha 1 / Introducción**

La tecnología de la neumática juega un papel muy importante en la mecánica desde hace mucho tiempo y es cada vez más utilizada en el desarrollo de aplicaciones automatizadas. Las aplicaciones de la neumática figuran en casi todas las ramas de la industria, lo mismo en la industria relojera que en la técnica de reactores, en la agricultura, en las cervecerías e industrias lácteas, en la técnica médica y en la fabricación de prótesis, en la transformación de metales, madera y productos plásticos, etc.



*Transporte y llenado de botellas de cerveza, utilizando dispositivos neumáticos y eléctricos.*



*Almacenado de productos lácteos (quesos), utilizando actuadores neumáticos.*

La neumática se emplea para la ejecución, entre otras, de las siguientes funciones:

- Detección de estados mediante sensores.
- Tratamiento de informaciones mediante procesadores.
- Accionamiento de actuadores mediante elementos de control.
- Ejecución de trabajo mediante actuadores.

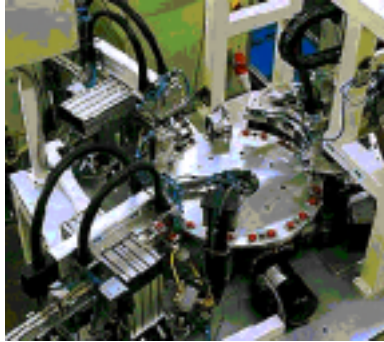
Para controlar máquinas y equipos suele ser necesario efectuar una concatenación lógica y compleja de estados y conexiones. Ello se logra mediante la actuación conjunta de sensores, procesadores, elementos de accionamiento y actuadores incluidos en un sistema neumático o parcialmente neumático.

El progreso experimentado en relación con materiales y métodos de montaje y fabricación ha tenido, como consecuencia, una mejora de la calidad y diversidad de elementos neumáticos, contribuyendo así a una mayor difusión de la neumática en el sector de la automatización.

A continuación se ofrece una lista de algunas de las aplicaciones de la neumática:

## Aplicaciones generales de la técnica de manipulación

- Sujeción de piezas
- Desplazamiento de piezas
- Posicionamiento de piezas
- Orientación de piezas
- Bifurcación de flujo de materiales



*Posicionamiento de unidades pre-armadas, utilizando cilindros y mesas giratorias neumáticas.*



*Traslado y ensamblado de elementos en la industria electrónica, mediante dispositivos neumáticos.*

## Aplicaciones generales en diversas técnicas especializadas

- Embalaje
- Llenado
- Dosificación
- Accionamiento de ejes
- Apertura y cierre de puertas
- Transporte de materiales
- Giro o rotación de piezas
- Separación de piezas
- Apilado de piezas
- Estampado de piezas



*Estampado de chapas en la industria automotriz, con actuadores neumáticos.*



*Empaquetado de alimentos realizado a través de cintas transportadoras y dispositivos actuadores neumáticos*

La neumática es empleada en las siguientes técnicas de fabricación:

- Perforado
- Torneado
- Fresado
- Corte
- Acabado
- Deformación
- Control

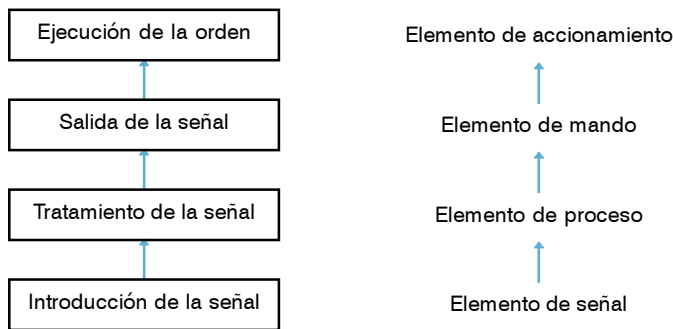


*Engrapado de paneles en la construcción de automóviles*

## Ficha 2 / Estructura de sistemas neumáticos

El diseño de un sistema neumático presupone el conocimiento de la estructura y función de los componentes que puedan intervenir en un equipo.

Un dispositivo de mando puede aparecer como un bloque cerrado; pero, teniendo en cuenta el sentido de fluencia de la señal, lo podríamos descomponer detalladamente mostrando el recorrido de la misma desde su introducción, pasando por su tratamiento, hasta la salida de la señal:



En un equipo sencillo puede que no lleguen a distinguirse todos estos estadios y que, por ejemplo, nos encontremos solamente con el elemento introductorio de señales y el elemento actuador. A este caso en particular, generalmente, se lo reconoce como mando directo y, si bien es muy sencillo, no permite hacer variaciones ni tener en consideración condiciones especiales.

Supongamos, para aclarar esto, que al presionar un pulsador debe cerrarse una puerta. Construyendo un dispositivo que realice esta acción a través de un mando directo, esto ocurrirá siempre que se presione el pulsador sin tener en cuenta, por ejemplo, en qué posición se encontraba la puerta, si no hay obstáculos en el recorrido de la misma, etc. (Más adelante, en la ficha 17 correspondiente a válvulas distribuidoras, veremos ejemplos constructivos de mandos directos e indirectos).

Realicemos una analogía del cuadro anterior con nuestro problema.

Podemos pensar, a grandes rasgos, que la producción de piezas estampadas comienza cuando una persona da la orden mediante el accionamiento del elemento correspondiente y siempre que haya piezas disponibles para ser estampadas (Introducción de la señal). Luego, una vez que la pieza esté en la posición de mecanizado (tratamiento de la señal), se dará la orden correspondiente (salida de la señal) para que se produzca el estampado y posterior expulsión de la pieza terminada (ejecución de la orden).

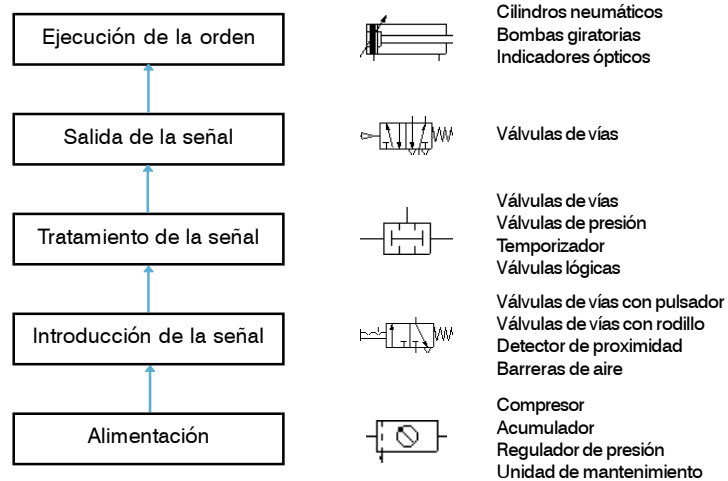
De aquí en adelante plantearemos sólo una de las posibles soluciones al problema, utilizando elementos de trabajo y de mando puramente neumáticos.

Veamos cuáles son las condiciones de trabajo que tendremos en consideración:

- En primer lugar necesitaremos de un lugar donde se almacenen las piezas a ser mecanizadas. La alimentación de las piezas se realizará a través de un depósito de caída.

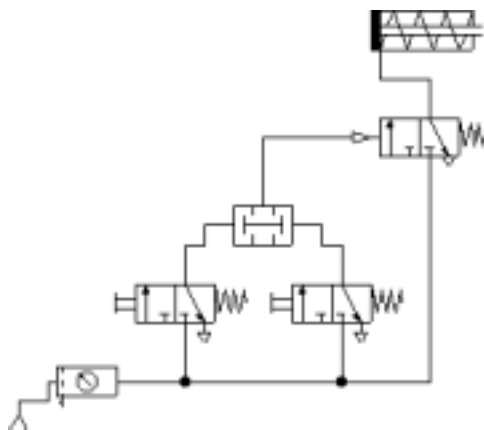
- Luego un actuador deberá empujar una de estas piezas contra un tope hacia la “zona” de mecanizado.
- Esta pieza deberá quedar sujeta firmemente.
- A continuación, otro actuador tendrá que producir el estampado o marca de la pieza.
- Por último, otro dispositivo se encargará de expulsar la pieza terminada.

Así, un sistema de control neumático está compuesto de los siguientes grupos de elementos, que conforman una vía para la transmisión de las señales de mando:

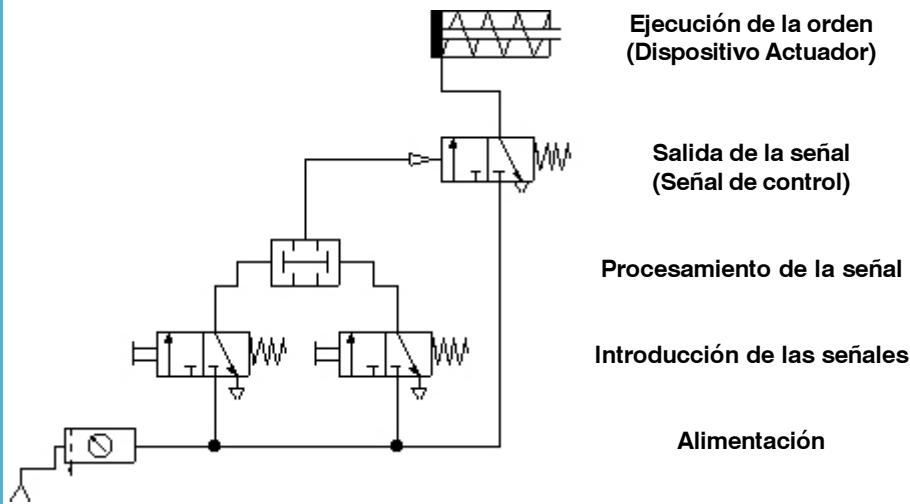


### Para los alumnos

¿Podrías identificar qué función cumple cada uno de los elementos del circuito neumático representado en la siguiente figura?.



Si nos orientamos por el esquema del flujo de señales analizado anteriormente, podríamos deducir que los elementos representados en el circuito corresponden a las siguientes etapas:

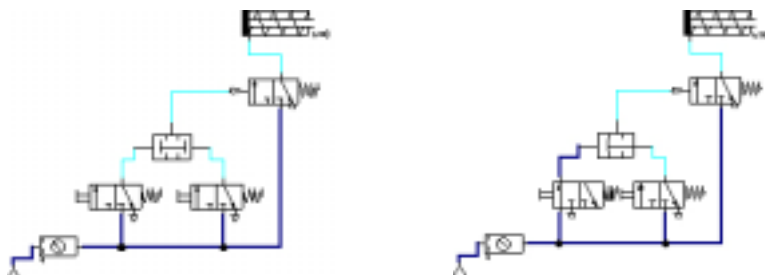


*NOTA: En todo circuito neumático, los componentes se representan según su correspondiente simbología (Normas ISO 1219) y siguiendo el flujo de señales; independientemente de su ubicación física real.*

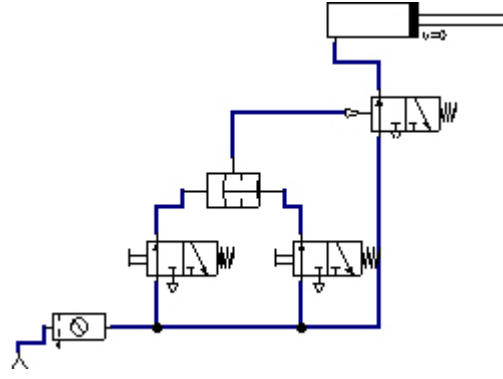
El circuito mostrado puede asociarse, por ejemplo, con el de una guillotina, en la cual es necesario que se accionen dos pulsadores a la vez para su funcionamiento, de modo tal que el operario tenga sus dos manos ocupadas y no se produzcan accidentes.

Tendremos, entonces, la alimentación de aire comprimido (representada en este caso por la fuente de alimentación –compresor- y la unidad de mantenimiento), luego los elementos introductorios de señal (los dos pulsadores), a continuación el procesamiento de esta señal (una válvula de simultaneidad o válvula lógica “Y”, que dejará pasar aire comprimido hacia su salida sólo si existe señal en ambas entradas). Por último, tendremos el elemento de control final (el que controla al dispositivo de accionamiento) y el elemento que ejecuta la orden (actuador neumático). (Podrá tener la descripción de estos elementos en fichas posteriores)

Abajo, se muestra este mismo esquema en diferentes etapas: en el primero de ellos el sistema estaría en reposo, indicándose con línea gruesa los conductos por los cuales circula aire comprimido. Luego, se muestra cómo se comporta el mismo si accionamos sólo uno de los pulsadores y, finalmente, accionando los dos pulsadores; el dispositivo actuador -en nuestro ejemplo la guillotina-, avanza produciendo el corte del material.







## Ficha 3 / Fundamentos físicos del aire

### Para los alumnos

Te proponemos buscar información sobre las características del aire y del aire comprimido.

Los sistemas neumáticos de mando consumen aire comprimido. El aire es una mezcla de gases que contiene aproximadamente el 78 % en volumen de nitrógeno y el 21% en volumen, aproximadamente, de oxígeno. El aire contiene, además, huellas de dióxido de carbono, argón, hidrógeno, neón, helio, criptón y xenón.

Para comprender mejor el comportamiento del aire a presión, debemos considerar las magnitudes físicas que rigen su comportamiento.

Para el estudio de la neumática son necesarias las siguientes magnitudes físicas: longitud, masa, tiempo, temperatura, a partir de las cuales se derivan las demás magnitudes físicas importantes para la neumática, como son la fuerza, superficie, volumen, caudal, presión y velocidad.

Se detalla a continuación una lista de unidades y magnitudes físicas fundamentales:

### Sistemas de unidades

Magnitud		Sistema Técnico	S.I. (SIMELA)
Longitud	L	m	m
Tiempo	t	s	s
Fuerza	F	kg	N
Masa	m	UTM	kg
Temperatura	T	°C	°K
Área	A	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Volumen	V	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Caudal	Q	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
Presión	P	kg/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup> = 1 Pascal 1 bar = 100000 Pa = 100 kPa

### Unidades prácticas de presión

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ TORR (mm Hg)} = 14.5 \text{ psi} = 100 \text{ kPa}$$

Un Pascal corresponde a la presión que ejerce una fuerza perpendicular de 1 N/m<sup>2</sup>.

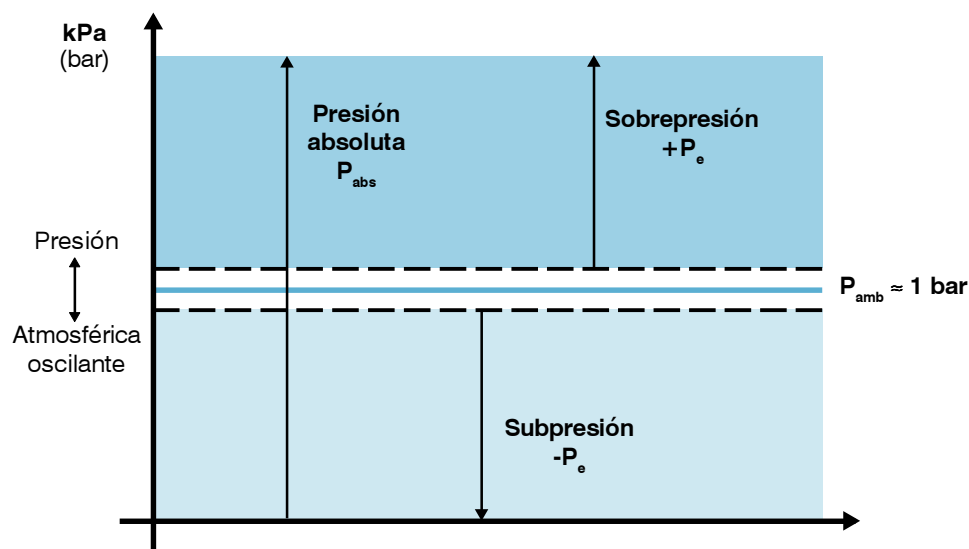
La combinación entre los sistemas internacional (SI) y técnico de medidas, está constituida por la **Ley de Newton**:

$$\text{FUERZA: } F = m \times a \quad \left[ \begin{array}{c} \text{Kilopondio} \\ \text{o} \\ \text{Kilogramo} \end{array} \right] = 9,81 \text{ NEWTON}$$

Tomando  $a$  como aceleración de la gravedad, es decir  $a = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$\text{Por lo tanto: } 1 \text{ Kilopondio} = 1 \text{ Kg} \cong 10 \text{ Newton}$$

La presión imperante en la superficie terrestre es denominada presión atmosférica ( $p_{\text{atm}}$ ). A esta presión también se la conoce como presión de referencia. A la presión superior a esta presión de referencia se la llama sobrepresión ( $+p_e$ ), mientras que a la presión inferior a ella se la denomina subpresión ( $-p_e$ ).



La presión atmosférica no es constante. Su valor cambia según la ubicación geográfica y las condiciones meteorológicas. La presión atmosférica en condiciones óptimas, es decir a  $45^\circ$  de latitud, a nivel del mar y a  $15,6^\circ\text{C}$  es de 760 mm de Hg, o 1 bar.

La presión absoluta  $p_{\text{abs}}$  es el valor relacionado a la presión cero (en vacío); y es la suma de la presión atmosférica más la sobrepresión o la subpresión. En la práctica, suelen utilizarse sistemas de medición de la presión que sólo indican el valor de la sobrepresión  $+p_e$ . El valor de la presión absoluta  $p_{\text{abs}}$  es aproximadamente 1 bar (100 kPa) más elevado.

### Para los alumnos

¿Con cuál o cuáles instrumentos podemos medir estas presiones?.



Por lo general, se denomina “manómetros” a aquellos instrumentos utilizados para medir presiones.

Manómetro: del griego “manós”: poco denso y “metrón”: medida; es decir aparato con que se mide la tensión de los fluidos.

Pero, en la realidad, los manómetros miden la diferencia entre la presión de un fluido y la presión atmosférica local. Luego, los manómetros indican lo que se denomina presión relativa. Ésta puede ser positiva o negativa. Por lo tanto, para obtener la presión absoluta habría que sumar a la indicación del manómetro, el valor de la presión atmosférica local. Una lectura negativa del manómetro (es decir, un valor de presión por debajo de la presión atmosférica) corresponde a un vacío parcial. A aquellos instrumentos que sólo miden presiones negativas se los reconoce como “vacuómetros”.

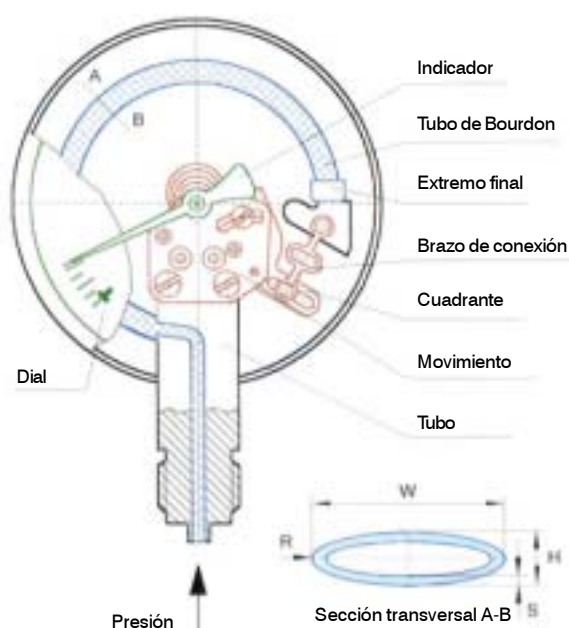
Por último, cabe mencionar que la presión atmosférica se mide con un “barómetro”, (del griego “barós”: presión y “metrón” : medida), que es el instrumento que señala la fuerza por unidad de superficie ejercida por el peso de la atmósfera.

Existen tres categorías de medidores de presión. Aquellos en los que la medición de presión se realiza:

1. Por el equilibrio en una columna de líquido de densidad conocida (por ejemplo: Barómetro mercurio de Torricelli);
2. equilibrando la fuerza producida sobre un área conocida, con una fuerza mensurable; o bien por comparación entre el volumen ocupado por una masa de gas cuya presión se desea hallar y el volumen que ocupa esa misma masa gaseosa cuando se lo comprime a una presión determinada, manteniendo la temperatura constante (por ejemplo: Dispositivo de McLeod);
3. por el equilibrio de la fuerza producida sobre una superficie conocida con la tensión actuante en un medio elástico (por ejemplo: Manómetro de diafragma –aneroide–; manómetro de Bourdon).

Analicemos a continuación alguno de ellos para ver cuáles son sus partes principales y su principio de funcionamiento.

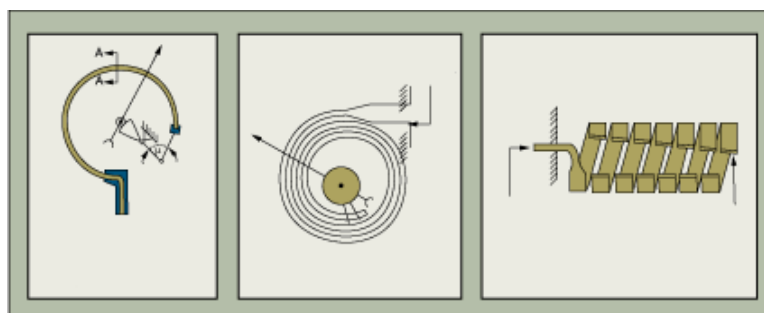
El representado en la figura es un manómetro de Bourdon. El tubo de Bourdon es uno de los elementos de sensado que se encuentra en la mayoría de los manómetros mecánicos de dial. Fue inventado en 1832 por el ingeniero francés Eugene Bourdon. Consta simplemente de un tubo curvado de sección elíptica, con un extremo sellado, el cual tiende a enderezarse cuando se aplica presión en el extremo abierto. El puntero o indicador gira



como resultado del movimiento del piñón y cremallera conectado con el extremo final sellado, que se defleca bajo la acción de la presión.

El éxito de un manómetro de Bourdon depende de su habilidad para alcanzar un movimiento lineal y repetir esa posición para un valor específico de presión, tanto cuando la presión aumenta como cuando disminuye.

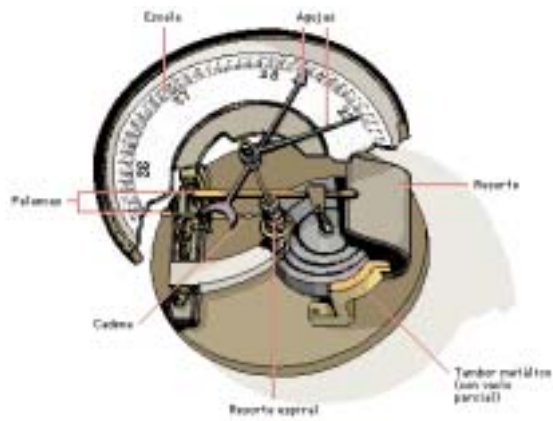
Los tubos de Bourdon pueden ser realizados en formas variadas (forma de C, helicoidal o espiral) y pueden ser construidos en varios metales (cobre, cobre-berilio, acero inoxidable, etc.) y también en cuarzo.



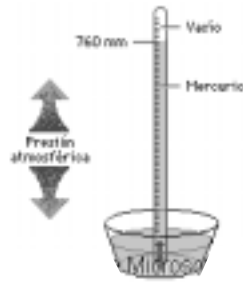
La configuración y elección de materiales en conjunto con las técnicas de fabricación empleadas son factores determinantes, en cuanto al grado de exactitud que el tubo será capaz de alcanzar.

(Un artículo de cotillón conocido como "espantasuegras" utiliza el mismo principio que el tubo de Bourdon para su movimiento: cuando uno sopla el "espantasuegras" tiende a desenrollarse).

La siguiente figura muestra un barómetro aneroide, en este caso, consta de una cápsula sellada en la cual se ha efectuado un vacío parcial. La presión del fluido que se desee medir actúa ejerciendo una fuerza externa sobre la cápsula. Un aumento o disminución de la presión hará que la misma tienda a contraerse o a extenderse. Estos movimientos se transmiten hacia un indicador, a través de un mecanismo de resortes y palanca



Un barómetro de Torricelli se puede construir fácilmente: "Si llenamos un tubo de vidrio de algo así como un metro de largo, cerrado por un extremo, con mercurio y lo damos vuelta colocando el extremo abierto en un recipiente con mercurio, veremos que el líquido baja hasta que la diferencia de nivel entre el mercurio del tubo y el del recipiente alcance unos 76 cm. No baja más porque la presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie del mercurio en el recipiente se lo impide. Habremos construido un *manómetro* de mercurio, que permitirá medir la presión atmosférica como la diferencia de nivel que mencionamos. Estos son instrumentos muy precisos que se pueden comprar...si uno tiene el dinero (y el interés!) suficientes. Tampoco es cuestión de ponerse a manejar mercurio, que es caro y venenoso.



Y, ¿si en lugar de mercurio usamos agua? El problema es que el agua es 13,6 veces menos densa que el mercurio y en consecuencia esa diferencia de 76 cm de la que hablamos, se convierte en algo más de 10 metros!. Realmente un poco incómodo para trabajar.

Pero es muy fácil fabricar un manómetro sin pretensiones de precisión llenando una botella (preferentemente de paredes lisas) hasta la mitad con agua e invirtiéndola, sumergiendo el gollete en un recipiente cualquiera (un vaso, un frasco vacío de mermelada, etc.) también con agua. De esa manera, el nivel del líquido variará al modificarse la presión atmosférica. Conviene pegar una tira de papel a lo largo de la botella para registrar con lápiz las variaciones de nivel. Y, si en casa o en la casa de algún amigo hay un manómetro de esos de pared, podemos "calibrar" nuestro "manómetro hidráulico" poniéndole números a las marcas. Otra posibilidad para la calibración es telefonar a algún aeródromo cercano y preguntar cuál es la presión atmosférica en ese momento.

Y recuerden que la presión atmosférica que se considera normal es la equivalente a esos 76 cm de mercurio de los que hablamos, que en unidades modernas es de 1013 milibares (o 1013 hectopascales, según convención internacional)." (de: *Experiencias de física* <http://www.quimica.unlp.edu.ar>).

O tal vez se animen a realizar un barómetro como el de la foto que se muestra a la derecha...



### Propiedades del aire

En el aire, la falta de cohesión es característica; es decir, la ausencia de una fuerza entre las moléculas.

El aire, al igual que todos los gases, no tiene una forma definida. Su forma cambia a la más mínima fuerza, y, además, ocupa el volumen máximo disponible. El aire puede ser comprimido.

Esta característica es descrita por la ley de Boyle-Mariotte: *A temperatura constante los volúmenes de una misma masa gaseosa son inversamente proporcionales a las presiones a que se halla sometida.* El producto de presión absoluta y volumen para una determinada masa de gas es constante:

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2 = p_3 \times V_3 = \text{cte.}$$

#### Ejercicio

Un volumen de aire  $V_1 = 1 \text{ m}^3$ , a presión atmosférica  $p_1 = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$  se comprime hasta lograr un  $V_2 = 0.05 \text{ m}^3$ ; manteniendo la temperatura constante. ¿Cuál es la presión que se alcanza?

*Por la ley de Boyle – Mariotte, el producto de la presión por el volumen que ocupa una masa gaseosa debe mantenerse constante si no varía la temperatura, por lo tanto:*

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2 = \text{cte.}$$

$$100 \text{ kPa} \times 1 \text{ m}^3 = p_2 \times 0.05 \text{ m}^3$$

$$p_2 = 100 \text{ kPa} \times 1 \text{ m}^3 / 0.05 \text{ m}^3 = \mathbf{2000 \text{ kPa} = 20 \text{ bar}}$$

Por otra parte, la Ley de Gay Lussac menciona lo siguiente: *A presión constante, los volúmenes de una determinada masa gaseosa son directamente proporcionales a las temperaturas a las que se halla sometida:*

$$V_1/T_1 = V_2/T_2 = V_3/T_3 = \text{cte.}$$

#### Ejercicio

Un metro cúbico ( $1 \text{ m}^3$ ) de aire a una temperatura de  $293 \text{ K}$  ( $20^\circ\text{C}$ ) se calienta hasta  $323 \text{ K}$  ( $50^\circ\text{C}$ ) ¿Cuál será el volumen final?

*Si consideramos que la presión se mantiene constante durante el calentamiento, podremos aplicar la ley de Gay Lussac:*

$$V_1/T_1 = V_2/T_2 = V_3/T_3 = \text{cte.}$$

$$1 \text{ m}^3 / 293 \text{ K} = V_2 / 323 \text{ K}$$

$$V_2 = 1 \text{ m}^3 \times 323 \text{ K} / 293 \text{ K} \cong \mathbf{1.10 \text{ m}^3} \text{ (el aire se ha dilatado)}$$

### **Capacidad del aire para absorber agua**

El aire puede absorber cierta cantidad de agua en forma de vapor. Esta cantidad será mayor cuanto más caliente esté el aire. Si este aire saturado de vapor de agua es enfriado, el agua se precipita en forma de gotitas y chorrea por las paredes del depósito. La capacidad del aire de absorber agua depende solamente del volumen y de la temperatura del aire, pero no de la presión. Esto significa que, en una instalación con presión absoluta de 6 bar (600 kPa.), se halla comprimida una cantidad de aire siete veces mayor que en otra del mismo volumen pero a presión atmosférica; sin embargo, la cantidad de agua en ambas instalaciones es la misma.

### **Influencia de la velocidad de flujo y de la presión del aire**

Si hacemos circular aire a través de un tubo que posee una estrangulación en forma de embudo y medimos el valor de la presión en diferentes puntos del mismo, observaremos que la menor presión se encuentra en el punto más estrecho del tubo.

Esto podemos explicarlo de la siguiente forma: en cada punto del tubo debe circular el mismo caudal (en  $\text{dm}^3$  o en litros); es decir, todo el aire que ingresa al tubo debe de salir de él independientemente de la sección del mismo; por lo tanto, para que esto sea posible, en un estrechamiento el aire debe pasar más rápido, o sea aumentará su velocidad.

Por otra parte, y no teniendo en cuenta las pérdidas por rozamiento, el aire debe tener la misma energía al principio que al final del conducto. Esta energía está compuesta de la energía potencial, que depende de la presión y de la energía cinética, que depende de la velocidad. La velocidad del aire, y consecuentemente la energía cinética aumenta en el lugar de estrangulación; por lo tanto, para mantener la energía total constante debe disminuir la energía potencial, es decir la presión. La presión vuelve a aumentar una vez que el aire ha atravesado la estrangulación. No obstante, como consecuencia del rozamiento entre las moléculas del aire comprimido y del roce con las paredes del conducto, cada vez que el aire pasa por una estrangulación se produce una pérdida irrecuperable de presión.

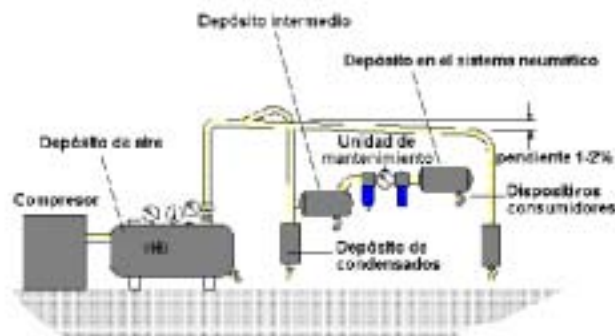
De estos dos últimos puntos podemos concluir lo siguiente:

- En primer lugar, el aire que se utiliza para ser comprimido se toma de la atmósfera y por lo tanto contiene no sólo humedad sino también partículas de polvo y/o partículas abrasivas. Éstas deben evitarse con el fin de no dañar los componentes neumáticos y de evitar la corrosión de los mismos. Parte de esta humedad se condensará dentro de las tuberías de circulación de aire, lo cual hace necesario introducir recipientes para acumular y evacuar la condensación producida; el resto deberá eliminarse utilizando elementos destinados a tal fin.
- Además, y referido al segundo punto, los puntos de estrangulación en la red de aire comprimido se originan por la inclusión de tubos, codos, accesorios, curvaturas o derivaciones y deben ser cuidadosamente calculados, de modo tal de reducir al máximo las pérdidas de presión.



## Ficha 4 / Fuente de energía. Alimentación

La generación de aire a presión comienza por la compresión del aire. El aire pasa a través de una serie de elementos antes de llegar al punto de su consumo.

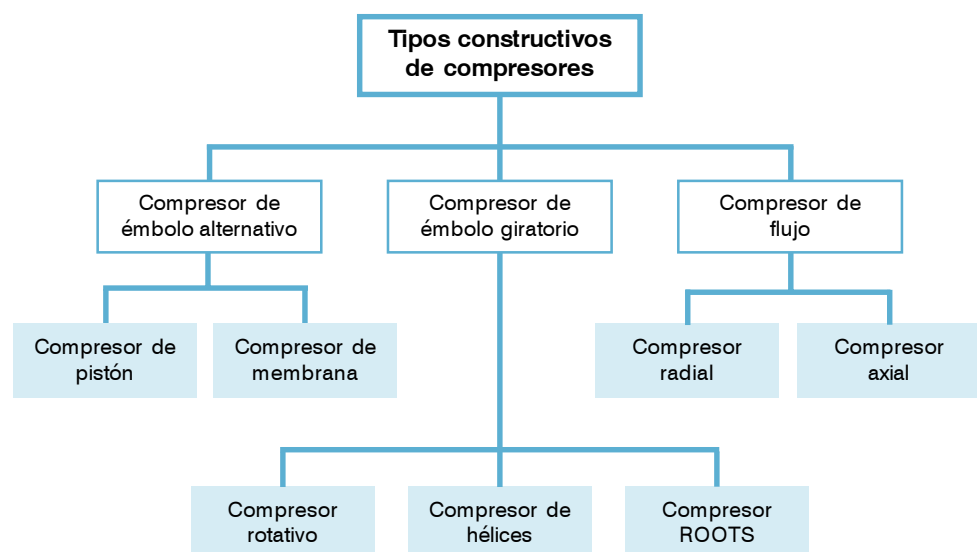


Para producir aire comprimido se utilizan compresores, que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado.

Los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central que abastece a las instalaciones a través de tuberías. El grado de pureza del aire aspirado es decisivo para la duración del compresor; dependiendo de las condiciones climáticas imperantes, la aspiración de aire caliente y húmedo conduce a una mayor producción de humedad luego de la compresión. El tipo de compresor y su ubicación en el sistema inciden, en mayor o menor medida, en la cantidad de partículas, aceite y agua incluidos en el sistema neumático.

### **Tipos de compresores**

La elección del compresor depende de la presión de trabajo y de la cantidad de aire necesaria. Los compresores son clasificados, según su tipo constructivo, en:



## 1. Compresor de émbolo alternativo



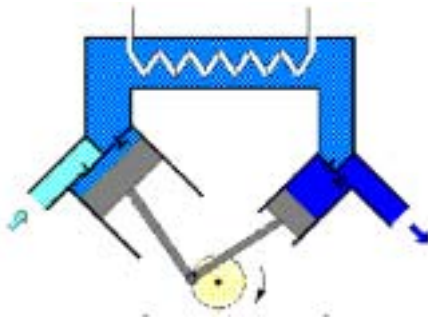
Compresor de pistón

### Compresor de pistón

Comprime el aire que entra, a través de una válvula de aspiración. A continuación, el aire pasa al sistema a través de una válvula de escape.

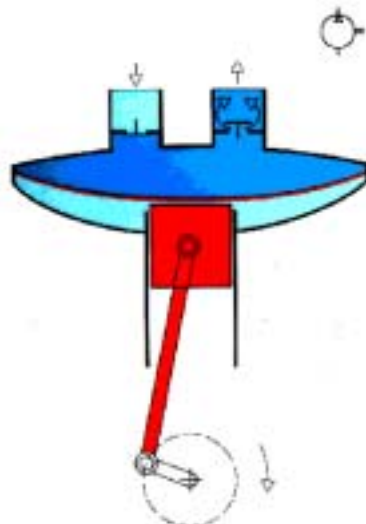
Los compresores de pistón son utilizados con frecuencia porque su gama cubre un amplio margen de presiones.

Para generar presiones elevadas se recurre a un sistema escalonado de estos compresores. En ese caso, el aire es enfriado entre cada una de las etapas de compresión.



### Compresor de membrana

El compresor de membrana también pertenece al grupo de compresores de émbolo alternativo. En este caso, la cámara de compresión está separada del émbolo mediante una membrana. Esta solución ofrece la ventaja de no dejar pasar aceite del compresor al aire. Por esta razón, los compresores de membrana suelen utilizarse en la industria de los alimentos, en la industria farmacéutica y química.



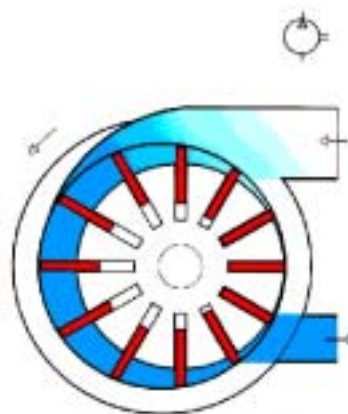
## 2. Compresor de émbolo giratorio



Compresor de hélices o de tornillo

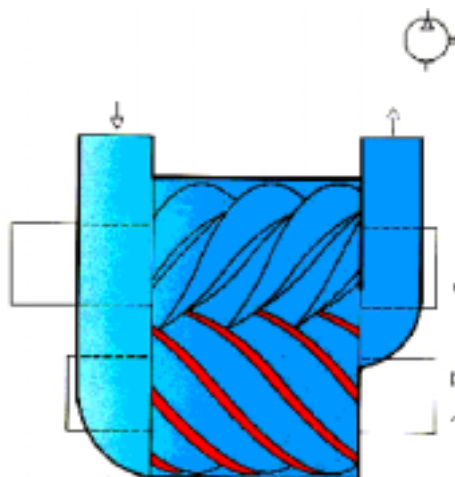
### *Compresor rotativo multicelular*

Comprime el aire mediante un émbolo que gira. Durante el proceso de compresión, se reduce continuamente la cámara de compresión.



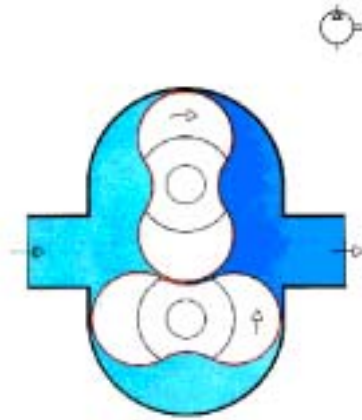
### *Compresor de hélices bicelular*

En este compresor, dos árboles de perfil helicoidal giran en sentido contrario. El perfil de ambos árboles engrana y, así, se transporta y comprime el aire.



### Compresor ROOTS

Dos álabes que giran en sentido inverso encierran, cada vuelta, un volumen de aire entre la pared y su perfil respectivo. Este volumen de aire es llevado al fin del giro a la presión deseada.



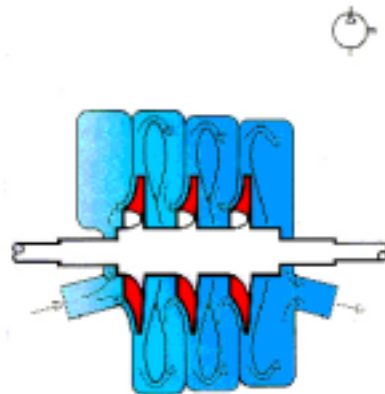
### 3. Compresor de flujo



Turbocompresores

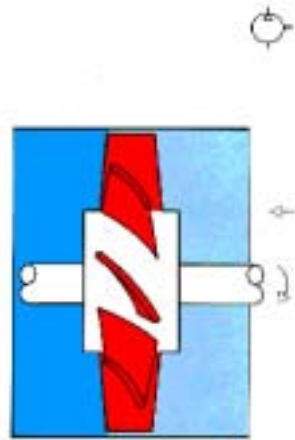
#### Turbo compresor radial

El aire aspirado axialmente es introducido a una velocidad muy alta. La compresión tiene lugar radialmente. Este tipo de compresor es recomendable cuando se necesitan grandes caudales. Entre las diferentes etapas se prevén las cámaras de enfriamiento.



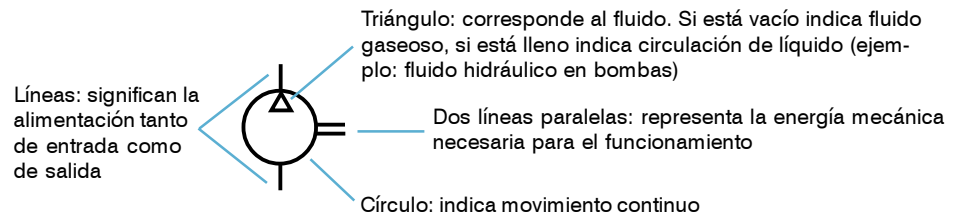
### Turbo compresor axial

Este tipo funciona con el principio del ventilador: el aire es aspirado e impulsado simultáneamente. Las presiones son muy bajas pero los caudales pueden ser muy elevados.



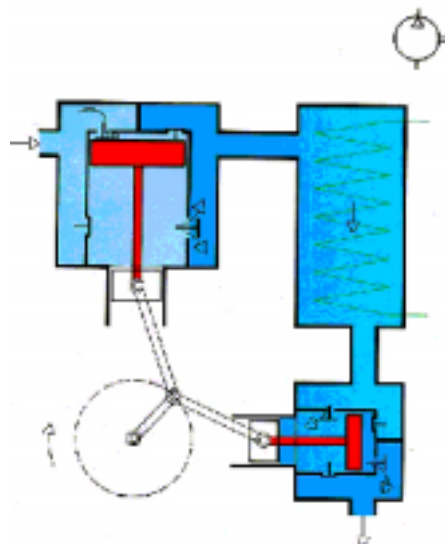
NOTA: En todos los casos, el símbolo correspondiente al compresor es el mismo, independientemente de sus características constructivas, ya que la simbología identifica sólo la función del elemento.

Respecto del significado del símbolo, podríamos aclarar lo siguiente:



### Para los alumnos

Te proponemos identificar a qué tipo constructivo pertenece el compresor de la figura e intentar describir su funcionamiento.



*Pertenece al grupo de compresores de émbolo alternativo y, dentro de éste, al de compresores de pistón. En este caso, si bien tiene dos etapas como en el mostrado anteriormente, también es de doble acción; es decir, el aire es aspirado comprimido y posteriormente enfriado tanto en la carrera de avance como en la de retroceso del émbolo, obteniendo una compresión y rendimiento superior.*

## Ficha 5 / Selección del compresor

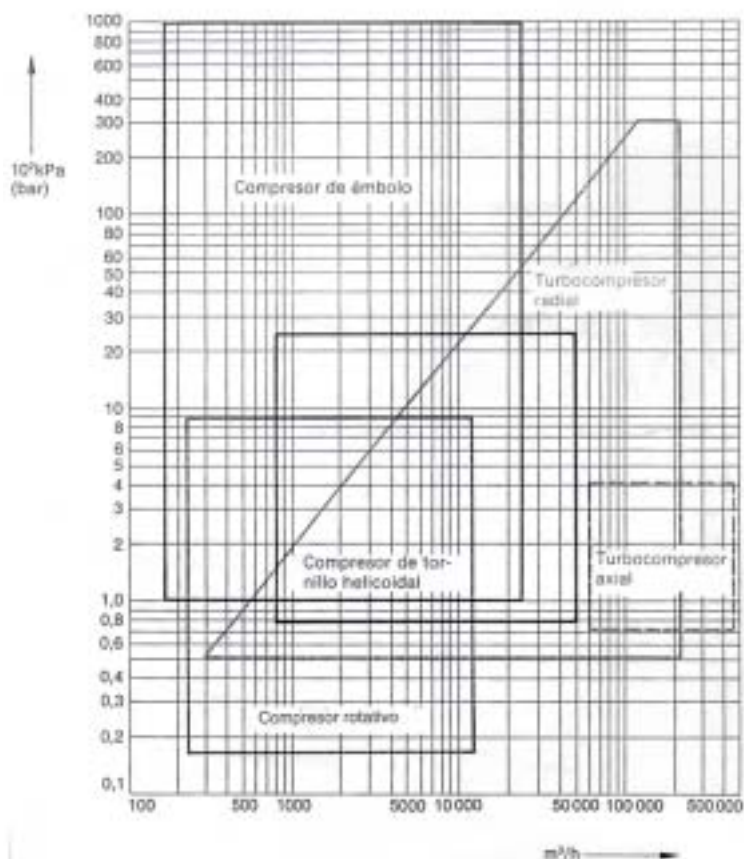
Elegir el compresor más adecuado no es muy sencillo; es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- **El tamaño de un equipo de aire comprimido:** Está determinado por el consumo de todos los equipos o sistemas neumáticos de mando conectados, con una reserva adicional para una futura ampliación de la instalación, más un suplemento del orden del 10 al 30% para las pérdidas por fugas. En casos de grandes consumos de aire es conveniente instalar más de un compresor, de modo tal que si uno de ellos falla no queda toda la instalación sin la provisión de aire comprimido (teniendo en cuenta que la reserva del acumulador sólo sirve para abastecer aire comprimido durante unos pocos minutos de trabajo).
- **La presión final del compresor:** No debe ser mucho más alta que la presión de trabajo para los dispositivos neumáticos, ya que una mayor compresión implica un mayor costo y, además, plantea la posibilidad de mayores pérdidas por fugas. Asimismo, es necesario que la presión tenga un valor constante, pues de ello dependen: la velocidad, las fuerzas, y el desarrollo secuencial de las fases de los elementos de trabajo.
- **El accionamiento del compresor:** Puede ser realizado a través de un motor eléctrico o de explosión. Este último es más utilizado como medio de accionamiento de compresores móviles.
- **La regulación del compresor:** Es necesaria para adecuar el caudal suministrado por el compresor al consumo fluctuante de los dispositivos neumáticos. Existen diferentes clases de regulaciones:

- Regulación de marcha en vacío. (Indicada para compresores de émbolo). Puede realizarse a través de:
  - Apertura de la aspiración
  - Aislamiento o cierre de la aspiración
  - Apertura del escape a la atmósfera
- Regulación de carga parcial. (Indicada para compresores rotativos y turbocompresores). Puede efectuarse de las siguientes formas:
  - Regulación de la velocidad de rotación
  - Regulación por estrangulación de la aspiración
- Regulación por intermitencias. (Indicada para compresores de baja potencia). El compresor tiene dos estados de servicio o funciona a plena carga o está desconectado (parada del motor).

Por otra parte, es necesario tener en cuenta que si el compresor es fijo, debe situarse en un local cerrado e insonorizado. El recinto debe estar bien ventilado y el aire aspirado debe ser lo más fresco, limpio de polvo y seco posible.

El diagrama nos da una aproximación bastante buena en cuanto a la selección del tipo de compresor, adecuado para cada necesidad, teniendo en cuenta solamente, el caudal y la presión de trabajo. Los dos tipos de compresores más utilizados para aplicaciones en sistemas neumáticos son: el de émbolo o pistón y el de tornillo helicoidal o de hélices bicelular. Sin embargo, a la hora de decidir la compra de alguno de ellos siempre es conveniente la consulta con fabricantes o proveedores, ya que los valores dados en el diagrama pueden variar sensiblemente.



Refiriendo a nuestro problema la información del diagrama, advertimos que necesitaremos, en primer lugar, averiguar cuál va a ser el consumo del dispositivo que diseñemos para estampar la pieza. Además, debemos tener siempre en cuenta que el consumo de una máquina es la suma de los consumos de todos sus dispositivos actuadores y que el consumo de una instalación se calcula como la suma del consumo de todas sus máquinas, independientemente de que funcionen o no todas al mismo tiempo.

### Para los alumnos

¿Podrías obtener datos de diferentes compresores, ya sea consultando a fabricantes o proveedores, en algunos sitios o páginas Web, o bien en *shoppings* o supermercados, y realizar algún tipo de comparación entre ellos?

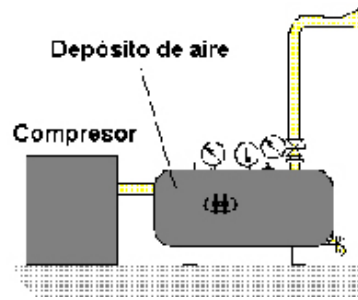
Las características a tener en cuenta podrían ser: Tipo de compresor, presión máxima, potencia, consumo, dimensiones, caudal, si tienen acumulador la capacidad de este, precio, etc.

También podrías averiguar qué tipo de compresores se utilizan, por ejemplo, en gomerías, en los juegos infantiles de los peloteros, en las mangas de las canchas de fútbol, en el consultorio de un odontólogo, etc.



Compresor de pistón

## Ficha 6 / Acumulador



El acumulador se encarga de almacenar el aire comprimido proveniente del compresor. Su función consiste en estabilizar la alimentación de aire a presión al sistema y procurar que las oscilaciones de presión se mantengan en los niveles mínimos.

La superficie relativamente grande del acumulador provoca un enfriamiento del aire contenido en él. Durante este proceso de enfriamiento, se condensa agua que debe ser evacuada regularmente a través de un grifo.

El tamaño del acumulador depende de los siguientes criterios:

- Caudal del compresor.
- Cantidad de aire requerida en el sistema.
- Red de tuberías (posible necesidad de volumen de aire adicional).
- Regulación del compresor.
- Oscilación permisible de la presión en el sistema.

### Ejercicio

¿Cuál debe ser el tamaño de un acumulador cuando el compresor funciona intermitentemente? Tengamos en cuenta lo siguiente:

Caudal:  $Q = 20 \text{ m}^3/\text{min}$

Frecuencia de conmutación/h:  $z = 20$

Diferencia de presión:  $\Delta p = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$

Capacidad del acumulador  $V_B = ?$

El tamaño del acumulador necesario puede calcularse utilizando el "Diagrama para la determinación de la capacidad del acumulador", del Anexo. Del mismo puede deducirse que el resultado es:  $V_B = 15 \text{ m}^3$



## Ficha 7 / Secadores de aire

Como hemos mencionado anteriormente, el aire que respiramos está contaminado por el vapor de agua y las partículas suspendidas en el aire.

Durante el proceso de compresión, el compresor de aire concentra los contaminantes y, en función del diseño y la antigüedad del aparato, incluso puede aumentar el grado de contaminación agregando partículas de aceite.

Por regla general, los compresores de aire modernos incorporan posrefrigeradores que reducen la temperatura de descarga del aire comprimido y, con la ayuda de separadores de agua, eliminan la mayor parte de agua líquida.

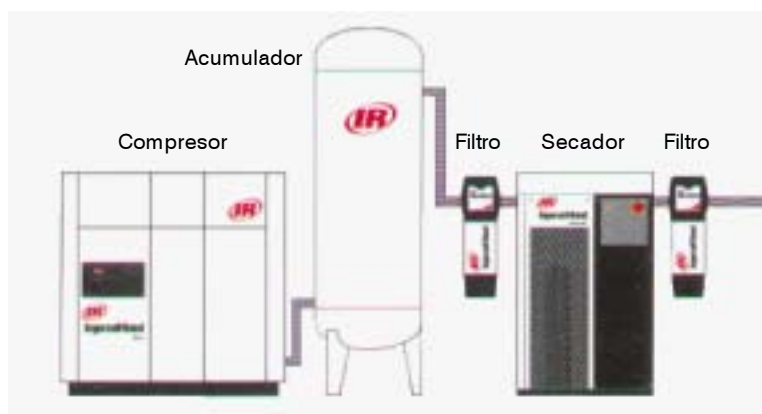
Este proceso es suficiente para algunas aplicaciones; pero, la suciedad y la humedad restantes que permanecen suspendidas en forma de aerosol pueden –si no se eliminan– dañar el sistema de aire comprimido y deteriorar el producto.

El resultado, un mayor costo de funcionamiento debido a:

- Un aumento del tiempo de parada del sistema por avería.
- Una reducción de la eficacia de producción.

Estos problemas pueden evitarse mediante la selección y aplicación correctas de los filtros y secadores de aire comprimido.

En la figura se muestra una correcta instalación de la sala de compresor.



El agua (humedad) llega al interior de la red con el aire que aspira el compresor. La cantidad de humedad depende, en primer lugar, de la humedad relativa del aire que, a su vez depende de la temperatura del aire y de las condiciones climáticas.

La **humedad absoluta** es la cantidad de agua contenida en un m<sup>3</sup> de aire.

El **grado de saturación** es la cantidad de agua que un m<sup>3</sup> de aire puede absorber, como máximo, a la temperatura considerada.

La humedad es entonces del 100%, como máximo (temperatura del punto de rocío).

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

### Ejercicio

Un compresor aspira una cantidad de aire de  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  de aire con una humedad relativa del 60%. Luego de la compresión, la presión  $p_e = 8 \text{ bar}$ ; la temperatura  $T = 323 \text{ K}$  ( $50^\circ\text{C}$ ). ¿Qué cantidad de agua se obtiene?

*Del diagrama del punto de rocío del Anexo se obtiene para una temperatura de  $323 \text{ K}$  ( $50^\circ\text{C}$ ) un contenido de agua de  $80 \text{ g/m}^3$ , para una humedad relativa del 100%. Pero, para una humedad relativa del 60% tendremos:*

*Humedad absoluta = humedad relativa x grado de saturación / 100% = 60% x  $80 \text{ g/m}^3$  / 100%*

*Humedad absoluta =  $48 \text{ g/m}^3$*

*Para una cantidad de aire de  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  se obtendría:  $400 \text{ m}^3/\text{h} \times 48 \text{ g/m}^3 = 19200 \text{ g/h} = 19.2 \text{ kg/h}$*

El aire comprimido con un contenido demasiado elevado de humedad reduce la vida útil de los sistemas neumáticos. En consecuencia, es necesario instalar secadores de aire con el fin de reducir el contenido de humedad del aire hasta alcanzar los niveles deseados.

Para secar el aire puede recurrirse a algunos de los siguientes métodos:

- Secado por enfriamiento.
- Secado por adsorción.
- Secado por absorción.

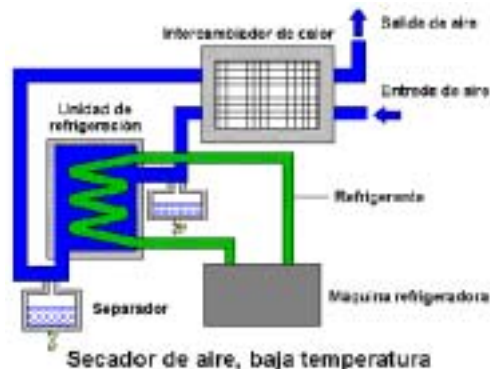
Los costos adicionales ocasionados por la instalación de un secador de aire son rápidamente amortizados debido a la disminución de los costos de mantenimiento por tiempo de inactividad menores y por la mayor fiabilidad del sistema.

### Secado por enfriamiento

El secador usado con más frecuencia es el **secador por enfriamiento**. En él, el aire es enfriado hasta temperaturas inferiores al punto de condensación. La humedad contenida en el aire es segregada y recogida en un recipiente.



El aire que penetra en el secador por enfriamiento pasa, antes, por un proceso de enfriamiento previo en el que se recurre al aire frío que sale de un intercambiador térmico. A continuación, el aire es enfriado en el secador hasta alcanzar una temperatura inferior al punto de condensación.



La temperatura de punto de condensación es aquella que tiene que alcanzar el aire para que pueda condensar el agua.

Cuanto menor sea la temperatura en relación con el punto de condensación, tanta más agua condensará. El secado por enfriamiento permite alcanzar temperaturas entre los 2°C y 5°C.

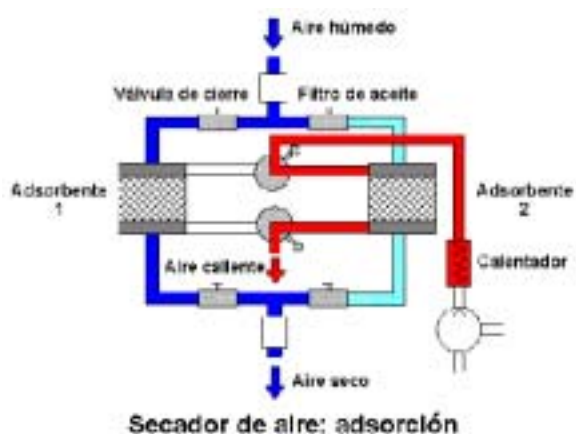
### **Secado por adsorción**

Entendemos por adsorción, el depósito de materias en las superficies de cuerpos sólidos.

El agente secador, también denominado gel secador, es un granulado compuesto principalmente de óxido de silicio. El método de secado por adsorción permite obtener los puntos de condensación más bajos (hasta -90°C).



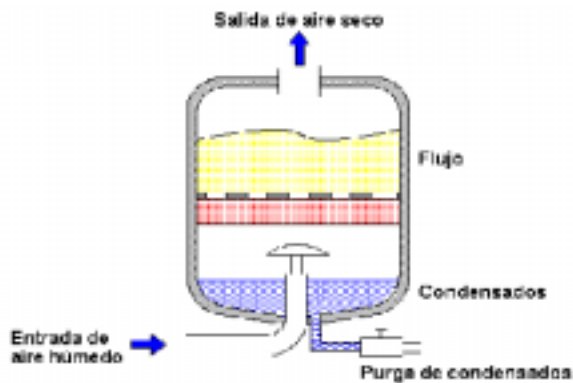
Siempre se utilizan dos unidades de adsorción. Si el gel de la primera unidad de adsorción está saturado, el equipo conmuta a la segunda unidad. Entretanto, la primera unidad es regenerada mediante un proceso de secado con aire caliente.



## Secado por absorción



El proceso de secado por absorción es un método puramente químico que es utilizado muy pocas veces, a raíz de los elevados costos de servicio.



**Secador de aire: absorción**

Una materia gasiforme es fijada por una materia sólida o líquida. Primero el aire a presión es guiado a través de un filtro para retirar la mayor cantidad de gotas de agua y de aceite posible. Cuando el aire entra en el secador, es sometido a un movimiento rotativo al atravesar la cámara de secado, la cual contiene una masa de secado. La humedad se une a dicha masa de secado y la disuelve. El líquido obtenido de este modo pasa al depósito inferior. Este depósito tiene que ser vaciado regularmente y, además, la masa de secado deberá sustituirse también con regularidad.

Este método de secado no es muy utilizado en aplicaciones industriales debido a que el efluente es algo corrosivo y, por lo tanto, deben adoptarse medidas adecuadas para su disposición, que deberían estar de acuerdo con las normas y regulaciones locales vigentes.

### Características del método de absorción:

- Instalación sencilla del equipo.
- Poco desgaste mecánico (por no incluir piezas móviles).
- No hay necesidad de recurrir a fuentes de energía externas.

### Para los alumnos

Te proponemos identificar a qué tipo de secador corresponde el que está esquematizado más abajo.



Se trata de un secador que funciona según el principio químico de absorción. El aire húmedo ingresa por la parte inferior del secador y se dirige hacia arriba, pasando a través de una "cama" de desecante que absorbe la humedad a medida que se disuelve en forma gradual. El líquido, compuesto por el desecante disuelto y la humedad condensada, cae hacia la parte inferior y puede drenarse en forma automática o manual. El aire seco sale por la parte superior.

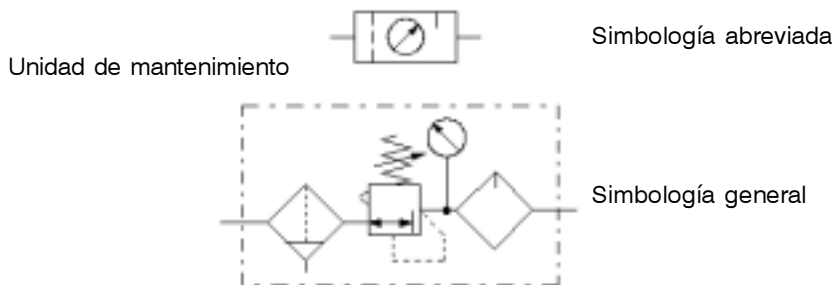
## Ficha 8 / Unidad de mantenimiento



La unidad de mantenimiento tiene la función de acondicionar el aire a presión. Dicha unidad es antepuesta al mando neumático.

Está formada por tres o cuatro elementos:

- Filtro de aire.
- Regulador de presión.
- Manómetro o indicador de presión.
- Lubricador.



El aire comprimido, al circular por las tuberías, arrastra impurezas; algunas pueden provenir del propio compresor (sobre todo si no se han instalado filtros y secadores a la salida de éste) y otras son propias de la red, como por ejemplo: polvo, cascarillas, residuos de óxido. Si la red ha sido tendida adecuadamente, una gran parte de estos residuos deberían separarse en los recipientes para la condensación, pero los más pequeños son arrastrados por la corriente de aire y de no separarse actuarían como abrasivo en los elementos neumáticos.

Además, debe garantizarse un suministro de aire en forma constante a una presión determinada, independientemente de las fluctuaciones u oscilaciones que se produzcan ya sea, en la parte de consumo como en la que proviene del compresor. También debe tenerse en cuenta que algunos elementos neumáticos necesitan de una lubricación adicional para su correcto funcionamiento.

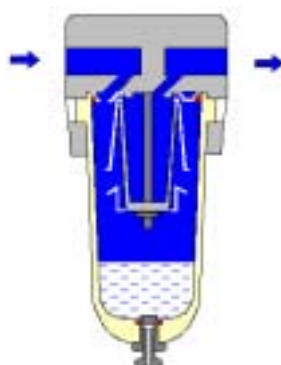
## Ficha 9 / Unidad de mantenimiento. Filtro de aire a presión

El condensado, las impurezas y demasiada cantidad de aceite pueden ser motivo de desgaste de piezas móviles y de juntas de elementos neumáticos. Dichas sustancias pueden contaminar el medio ambiente a través de fugas en el sistema. Si no se utilizan filtros, es posible que los productos que se produzcan en la fábrica queden inutilizados por efecto de la suciedad (por ejemplo, en el caso de alimentos o de productos farmacéuticos o químicos).



El abastecimiento de aire a presión de buena calidad en un sistema neumático depende, en gran medida, del filtro que se elija. El parámetro característico de los filtros es la amplitud de los poros. Dicho parámetro determina el tamaño mínimo de las partículas que pueden ser retenidas en el filtro.

El abastecimiento de aire a presión de buena calidad en un sistema neumático depende, en gran medida, del filtro que se elija. El parámetro característico de los filtros es la amplitud de los poros. Dicho parámetro determina el tamaño mínimo de las partículas que pueden ser retenidas en el filtro.



Filtro de aire comprimido

Determinados filtros de aire a presión también son apropiados para filtrar el condensado. El agua condensada deberá ser evacuada antes de que su volumen llegue al nivel máximo ya que, de lo contrario, volvería a mezclarse con el aire.

Si el condensado es cuantioso, es recomendable instalar un sistema de evacuación automático, en vez de recurrir a un grifo manual. La unidad de evacuación automática tiene un flotador que, al llegar a la marca de máximo, actúa sobre una palanca que abre una tobera dejando pasar aire a presión. El aire a presión actúa sobre una membrana la que, por su parte, abre una salida de evacuación. Una vez que el flotador llega a un nivel mínimo de condensado en el depósito, cierra la tobera y se interrumpe la operación de evacuación. Además, existe la posibilidad de evacuar el depósito manualmente.

**Funcionamiento:** El aire a presión que entra en el filtro choca con un disco en espiral, por lo que se produce un movimiento rotativo. La fuerza centrífuga tiene como consecuencia la separación de partículas de agua y de sustancias sólidas, que se depositan en la pared interior del filtro, desde donde son evacuadas hacia un depósito. El aire acondicionado de esta manera atraviesa el filtro, en el que son separadas las partículas de suciedad restantes que tienen dimensiones superiores a los tamaños de los poros. Los filtros normales tienen poros con dimensiones que oscilan entre 5  $\mu\text{m}$  y 40  $\mu\text{m}$ .

Con el concepto de grado de filtración de un filtro, se entiende el porcentaje de partículas que son separadas de la corriente de aire. Si los poros son de 5  $\mu\text{m}$ , normalmente se obtiene un grado de filtración del 99,99%.

Los filtros tienen que ser sustituidos después de cierto tiempo, ya que las partículas de suciedad pueden obturarlos. Si bien es cierto que el efecto de filtrado se mantiene incluso si el filtro está sucio, cabe tomar en cuenta que un filtro sucio significa una resistencia mayor al flujo de aire. En consecuencia, se produce una mayor caída de presión en el filtro.

Para determinar el momento oportuno de cambiar el filtro, deberá efectuarse un control visual o una medición de la diferencia de presiones. Si dicha diferencia es superior a valores comprendidos entre 0,4 y 0,6 bar, es recomendable proceder al cambio de filtro correspondiente.



## Ficha 10 / Unidad de mantenimiento. Reguladores de presión

El nivel de la presión del aire comprimido generado por el compresor no es constante. Las oscilaciones de presión en las cañerías pueden incidir negativamente en las características de conmutación de las válvulas, en la velocidad de los cilindros, y en la regulación del tiempo de válvulas de estrangulación y de retardo.

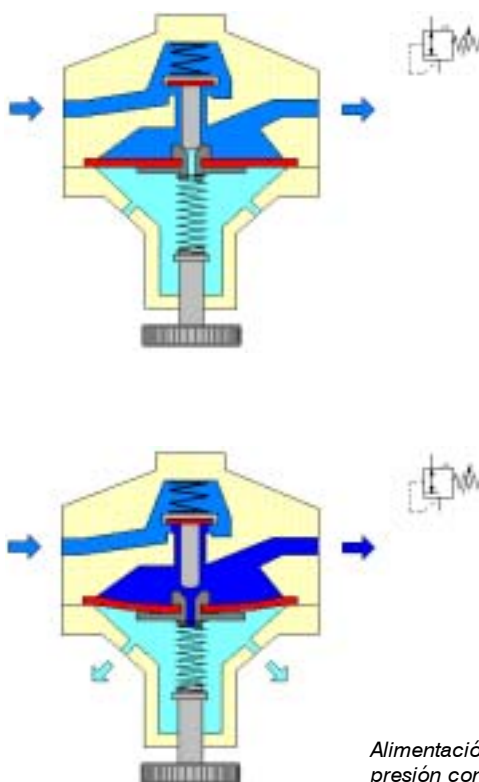


En consecuencia, es importante que la presión del aire sea constante para que el equipo neumático no ocasione problemas.

Para obtener un valor constante de la presión se instalan reguladores en la red de aire con el fin de procurar la uniformidad de la presión en el sistema de alimentación de aire comprimido (presión secundaria), independientemente de las oscilaciones que surjan en el circuito principal (presión primaria). El reductor o regulador de presión es instalado detrás del filtro de aire, con el fin de mantener un nivel constante de la presión de trabajo. El nivel de la presión siempre deberá regirse por las exigencias que plantee la parte correspondiente del sistema.

- 6 bar en la sección de operación, y
- 4 bar en la sección de mando.

Éstas son las presiones que, en la práctica, han demostrado ser la mejor solución para satisfacer los criterios de generación de aire a presión y los del rendimiento de los sistemas neumáticos.



Alimentación: Regulador de presión con escape

**Funcionamiento:** La presión de entrada (presión primaria) tiene que ser siempre mayor que la presión de salida (presión secundaria) en la válvula reguladora de presión. La presión es regulada mediante una membrana. La presión de salida actúa sobre uno de los lados de la membrana, mientras que por el otro lado actúa un muelle. La fuerza del muelle puede ser ajustada mediante un tornillo.

Si la presión aumenta en el circuito secundario, la membrana es presionada contra el muelle con lo que disminuye o se cierra el diámetro de escape en el asiento de la válvula. El asiento de la válvula abre y el aire a presión puede salir a través de los taladros de evacuación.

Si disminuye la presión en el circuito secundario, el muelle se encarga de abrir la válvula. En consecuencia, la regulación de la presión de aire en función de una presión de servicio ajustada con antelación, significa que el asiento de la válvula abre y cierra constantemente por efecto del volumen de aire que pasa a través de ella. La presión de trabajo es indicada en un instrumento de medición.

## Ficha 11 / Unidad de mantenimiento. Lubricación del aire a presión

En términos generales, no debería lubricarse el aire a presión. No obstante, si las partes móviles de las válvulas y cilindros requiriesen de lubricación, deberá enriquecerse el aire a presión constantemente con una cantidad suficiente de aceite. La lubricación del aire a presión debería siempre limitarse tan sólo a los segmentos del sistema que necesiten lubricación. El aceite que pasa del compresor al aire a presión no es apropiado para la lubricación de elementos neumáticos.



Los cilindros provistos de juntas resistentes al calor no deberían recibir aire a presión lubricado, ya que el aceite contenido en el aire podría producir un lavado de la grasa especial que llevan los cilindros.

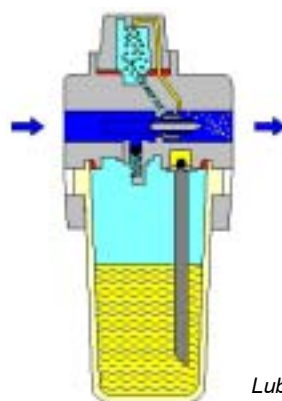
Si se opta por usar aire a presión no lubricado en sistemas que antes sí lo usaban, será necesario renovar la lubricación original de fábrica de las válvulas y de los cilindros, ya que es posible que dicha lubricación original, entretanto, haya desaparecido.

El aire a presión debería contener aceite de lubricación en los siguientes casos:

- Necesidad de operar con movimientos extremadamente veloces.
- Uso de cilindros de grandes diámetros (en este caso, es recomendable instalar la unidad de lubricación inmediatamente antes del cilindro).

Si la lubricación es demasiado copiosa, pueden surgir los siguientes problemas:

- Funcionamiento deficiente de los elementos.
- Mayor contaminación del medio ambiente.
- Agarrotamiento de los elementos después de períodos prolongados sin ser utilizados.



Lubricador de aire

**Funcionamiento:** El aire a presión pasa a través de la unidad de lubricación. Al atravesar una zona de estrangulación en dicha unidad se produce un vacío. Este vacío provoca la succión del aceite a través de una tubería conectada a un depósito. El aceite pasa a una cámara de goteo donde es pulverizado y mezclado con el aire.

### Para los alumnos

#### ¿Qué decisiones tomarías con respecto de la unidad de mantenimiento, en nuestro problema del estampado?

- La selección de un tipo determinado de unidad de mantenimiento, también conocida como FRL (Filtro, Regulador y Lubricador), depende de los caudales de aire y de la presión de servicio. Estos valores son dados por el fabricante, y deberían ser acordes a las necesidades del sistema.
- Por otra parte, si la unidad de mantenimiento tiene lubricador, no debería alimentar con aire a un consumidor que se encuentre a una distancia mayor a los 5 metros, ya que a distancias mayores la niebla de aceite precipitaría dentro de la tubería.
- Los materiales que se utilicen en la construcción de los componentes de una FRL dependerán, en gran parte, de las presiones de trabajo y temperatura ambiente. En general, para presiones superiores a los 10 bar y temperaturas que excedan los 50°C aproximadamente, se optará por carcasas metálicas, en lugar de las de plástico transparente conocidas comúnmente.

De lo visto hasta ahora, podríamos concluir lo siguiente:

Para trabajar con dispositivos neumáticos necesitamos disponer de aire comprimido, limpio y seco, de modo tal de no deteriorar los elementos de trabajo. Para comprimir el aire debemos disponer de un compresor, el cual tomará aire de la atmósfera. Dependiendo del tipo de compresor empleado, tendremos que alimentarlo ya sea con energía eléctrica o con combustible.

A las partículas de agua y de polvo en suspensión que contiene el aire atmosférico, a veces se le agregan partículas de aceite provenientes de la lubricación del compresor y partículas propias del desgaste del mismo; además, el aire se calienta luego del proceso de compresión. Todo esto hace que tengamos que utilizar refrigeradores o secadores y filtros.

Por otra parte, y dependiendo del consumo de aire comprimido, podríamos llegar a necesitar uno o más acumuladores para disponer de aire comprimido en todo momento, sin fluctuaciones de presión.

Como parte final de este sistema de generación y alimentación de aire es recomendable la instalación de una unidad de mantenimiento, para garantizar la llegada de aire -con la preparación y la presión adecuadas- a los consumidores.

En consecuencia, de lo expresado anteriormente podríamos realizar el siguiente esquema:



## Ficha 12 / Dispositivos actuadores



Los **actuadores** transforman la energía en trabajo. La señal de salida es controlada por el mando y el actuador reacciona a dicha señal por los elementos de maniobra. Otros tipos de emisión de señal son los elementos que indican el estado del sistema de mando o de los actuadores, como pueden ser, por ejemplo, los indicadores ópticos de accionamiento neumático.

Los actuadores neumáticos pueden clasificarse en dos grupos, según el movimiento sea lineal o giratorio:

- Movimiento rectilíneo (lineal)
  - Cilindros de simple efecto
  - Cilindros de doble efecto
  
- Movimiento giratorio
  - Motor neumático
  - Actuador giratorio



Los cilindros neumáticos son utilizados con frecuencia como elementos de accionamiento lineal, porque, entre otras razones, se trata de unidades de precio relativamente bajo, de fácil instalación, simples y robustas y, además, están disponibles en los tamaños más diversos.



*La figura muestra dos actuadores lineales de doble efecto. Uno de ellos es el que se encarga de posicionar y sujetar la lata mientras que el segundo imprime los controles de elaboración y fecha de vencimiento*

La lista que se incluye a continuación ofrece una noción general sobre los datos característicos de los cilindros neumáticos:

- Diámetro desde 5 hasta 320 mm
- Carrera desde 1 hasta 2000 mm
- Fuerza desde 2 hasta 50000 N
- Velocidad del émbolo desde 0,2 hasta 1 m/seg

Los elementos neumáticos de accionamiento permiten realizar los siguientes tipos de movimientos:

- Movimiento lineal
- Movimiento giratorio
- Movimiento rotativo

## Ficha 13 / Dispositivos actuadores. Movimiento lineal

### Cilindros de simple efecto

Los cilindros de simple efecto reciben aire a presión de un solo lado. Sólo pueden ejecutar trabajo en un sentido. El retroceso está a cargo de un muelle incluido en el cilindro o se produce por una fuerza externa.



La fuerza del muelle hace retroceder el vástago del cilindro a una determinada velocidad pero sin que el cilindro pueda soportar una carga.

En los **cilindros de simple efecto** con muelle de reposición, la carrera está definida por la longitud del muelle. En consecuencia, este tipo de cilindros tiene una longitud máxima de aproximadamente 80 mm.

Los cilindros de simple efecto se utilizan, generalmente, para:

- Entregar
- Bifurcar
- Juntar
- Accionar
- Fijar
- Expulsar

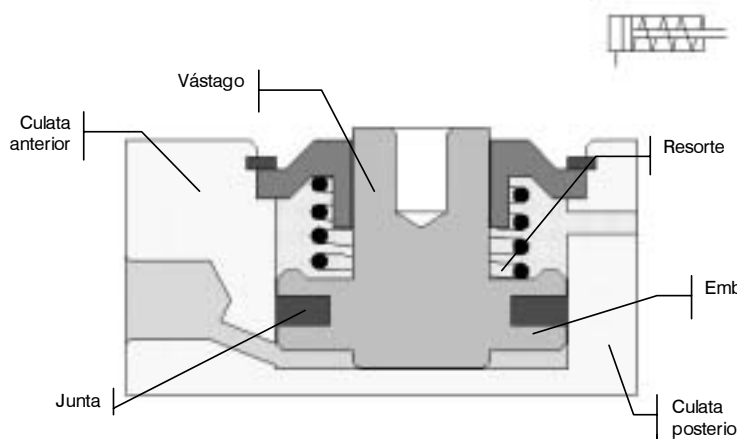


*Morza neumática*

Pueden encontrarse cilindros de simple efecto de los siguientes tipos:

- Cilindros de membrana
- Cilindros de membrana enrollable.

En los cilindros de membrana, una membrana de plástico, de goma o de metal hace las veces de émbolo. El vástago está fijado en el centro de la membrana. Estos cilindros no llevan juntas deslizantes. La única fricción se produce por la dilatación del material. Estos cilindros de carrera corta, pueden utilizarse para ejecutar trabajos de fijación, prensado y elevación.

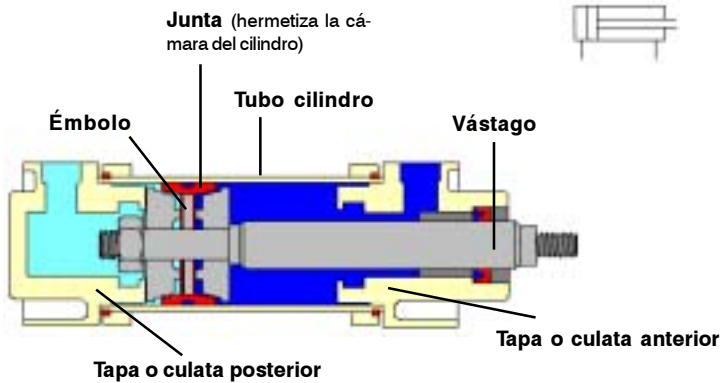


### Cilindros de doble efecto

Su diseño es similar al de los de simple efecto. No obstante, los cilindros de doble efecto no llevan muelle de reposición y, además, las dos conexiones son utilizadas correspondientemente para la alimentación y la evacuación del aire a presión. Los cilindros de doble efecto ofrecen la ventaja de poder ejecutar trabajos en ambos sentidos. Se trata, por lo tanto, de cilindros sumamente versátiles.

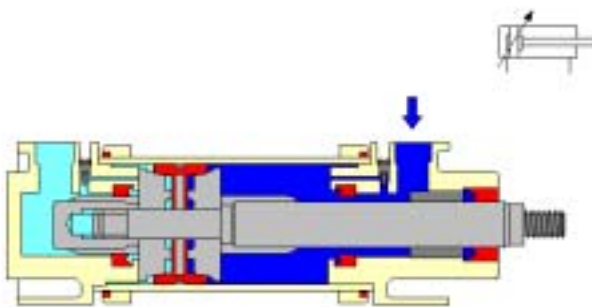


La fuerza ejercida sobre el vástago es algo mayor en el movimiento de avance que en el de retroceso porque la superficie en el lado del émbolo es más grande que en el lado del vástago.



### Cilindros de doble efecto con amortiguación en posiciones finales

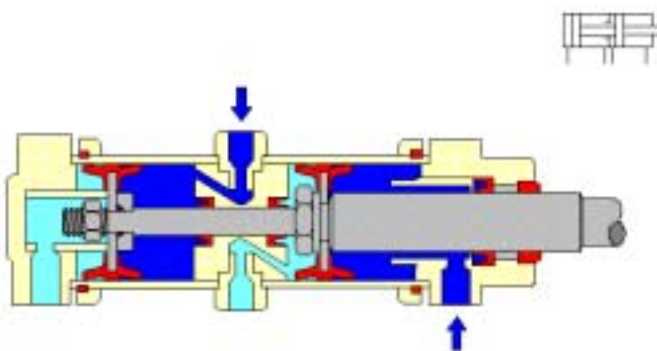
Si un cilindro tiene la función de mover grandes masas, los amortiguadores de final de carrera se encargan de evitar un golpe seco y, por lo tanto, un daño de los cilindros. Un émbolo amortiguador interrumpe el paso de aire directo hacia fuera, antes de que el cilindro llegue a su posición de final de carrera. En vez de ello, queda abierta una salida pequeña de aire que, por lo general, es regulable. La velocidad del cilindro es reducida en la última parte del movimiento de retroceso.



### Cilindros Tandem

Se trata de un conjunto de dos cilindros de doble efecto. Su diseño y aplicación simultánea de presión en ambos émbolos permite casi duplicar la fuerza del vástago. Este tipo de cilindro es utilizado en todos los casos en que sea necesario disponer de una gran fuerza, sin importar el diámetro del cilindro.





### **Cilindros sin vástago**

Este cilindro neumático de doble efecto está compuesto de una camisa, un émbolo y un carro exterior montado sobre el cilindro.

El émbolo puede moverse libremente dentro del cilindro, en concordancia con las respectivas señales neumáticas. El émbolo y el carro exterior están provistos de imanes permanentes. La transmisión de movimientos desde el émbolo hacia el carro se efectúa con la misma fuerza, mediante el acoplamiento magnético. En el momento en que es sometido a presión, el carro se desplaza en forma sincronizada en relación con el émbolo. Este tipo de cilindro es utilizado, principalmente, para carreras extremadamente largas de hasta 10 m. En la superficie del carro pueden colocarse directamente diversos equipos o montarse cargas. La camisa del cilindro está herméticamente cerrada en relación con el carro, puesto que entre los dos no existe conexión mecánica alguna. En consecuencia, tampoco es posible que se produzcan fugas.



Abajo se muestran algunos ejemplos de aplicación de cilindros en diversas máquinas:



*Marcadora por impacto*

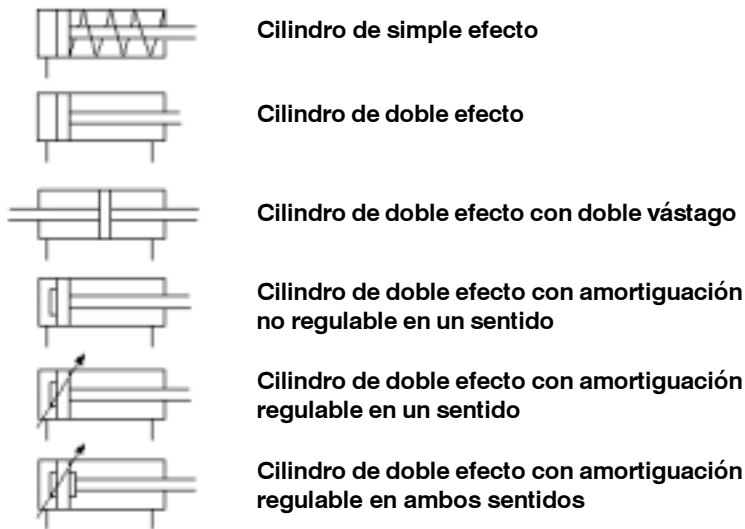


*Martillo neumático*



*Prensa neumática*

Los símbolos para actuadores neumáticos son:



### Ejercicio

Si disponemos de un cilindro con un émbolo de 50 mm, un vástago de 12 mm; la presión de trabajo es de 6 bar (600 kPa) y el cilindro realiza 10 ciclos por minuto.

1. ¿Cuál es la fuerza que puede ejercer?
2. ¿Cuál es la carrera máxima?
3. ¿Cuál es el consumo de aire?

1. La fuerza ejercida por el cilindro depende de la presión del aire, del diámetro del cilindro y del rozamiento de las juntas. La fuerza teórica del émbolo se calcula :  $F_{teór.} = A \times p$ ; en la práctica es necesario conocer la fuerza real. Para determinarla hay que tener en cuenta los rozamientos. En condiciones normales de servicio (presiones de 4 bar a 8 bar) se puede suponer que las fuerzas de rozamiento representan entre un 5 y un 20% de la fuerza calculada. Por lo tanto tendremos:

#### Cilindro de simple efecto

$$F_{real} = F_{teór} - F_{roz} - F_{resorte}$$

Si tomáramos como un valor medio para las fuerzas resistentes ( $F_{roz} + F_{resorte}$ ) un 15% de la fuerza teórica, entonces:

$$F_{real} = 0.85 \times F_{teór} = 0.85 \times p \times \pi \times D^2 / 4$$

$$F_{real} \cong 1000.87 \text{ N} \cong 100.087 \text{ kg}$$

#### Cilindro de doble efecto

*Fuerza real de empuje en el avance*

$$F_{real} = F_{teór} - F_{roz}$$

Si tomáramos también en este caso un valor medio para las fuerzas de rozamiento del 15% de la fuerza teórica, tendríamos:

$$F_{real} = 0.85 \times F_{teór} = 0.85 \times p \times \pi \times D^2 / 4$$

$$F_{real} \cong 1000.87 \text{ N} \cong 100.087 \text{ kg}$$

*Fuerza real de empuje en el retroceso*

En este caso, la superficie donde se aplica la presión es menor debido a la presencia del vástago; por lo tanto:

$$F_{real} = 0.85 \times F_{teór} = 0.85 \times p \times \pi \times (D^2 - d^2) / 4$$

$$F_{real} \cong 943.22 \text{ N} \cong 94.322 \text{ kg}$$

Podríamos haber obtenido valores similares consultando el Diagrama de fuerzas desarrolladas del Anexo

2. La longitud de carrera en cilindros neumáticos no debería ser superior a los 2000 mm. Cuando la carrera es muy larga, el esfuerzo mecánico del vástago y de los cojinetes de guía es demasiado grande. Para evitar el riesgo de pandeo, si las carreras son grandes deben adoptarse vástagos de diámetro superior a lo normal o vástagos reforzados.

Del Diagrama de pandeo del Anexo tenemos que, para una fuerza de aproximadamente 1000 N y disponiendo de un vástago de 12 mm de diámetro; la carrera máxima del cilindro puede llegar a aproximadamente:  $S_{\max} = 330 \text{ mm}$ .

3. Para disponer de aire y conocer el gasto de energía, es importante conocer el consumo de la instalación:

$$Q = S \times A \times n \times R$$

La relación de compresión **R** es el cociente entre la presión absoluta inicial (Presión de trabajo + presión atmosférica) y la presión absoluta final (presión atmosférica) o sea (tomando como valor aproximado de la presión atmosférica 1 bar):

$$R = (6 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) / 1 \text{ bar} = 7$$

#### Cilindro de simple efecto

$$Q = S \times A \times n \times R$$

$$Q = 330 \text{ mm} \times [\pi \times (50 \text{ mm})^2 / 4] \times 10 \text{ mov/min} \times 7$$

$$Q = 45333.75 \text{ cm}^3/\text{min} = \mathbf{45.3 \text{ l/min}}$$

#### Cilindro de doble efecto

El cilindro de doble efecto consume aire tanto en su carrera de avance como en la de retroceso.

$$Q = S \times A \times n \times R + S_{\max} \times A' \times n \times R$$

$$Q = 330 \text{ mm} \times 10 \text{ mov./min} \times 7 \times \pi \times [2 \times (50 \text{ mm})^2 - (12 \text{ mm})^2] / 4$$

$$Q = 88056.276 \text{ cm}^3/\text{min} = \mathbf{88 \text{ l/min}}$$

Luego:

Con la ayuda del Diagrama de consumo de aire del Anexo, se pueden establecer estos datos de una manera más sencilla y rápida. Los valores están expresados en litros por cm de carrera (consumo específico: q) para los diámetros más corrientes de cilindros y para las presiones de 2 a 15 bar, entonces:

#### Cilindro de simple efecto

Del gráfico y para un diámetro del émbolo de 50 mm, trabajando a una presión de trabajo de 6 bar:

$$q \cong 0.14 \text{ l/cm}$$

$$Q = S \times n \times q = 33 \text{ cm} \times 10 \text{ mov/min} \times 0.14 \text{ l/min}$$

$$Q = 46.2 \text{ l/min}$$

#### Cilindro de doble efecto

Para el cilindro de doble efecto se toma, sin incurrir en mucho error, el doble del consumo de un cilindro de simple efecto con el mismo diámetro:

$$Q = 2 \times S \times n \times q$$

$$Q = 92.4 \text{ l/min.}$$

En el consumo total de aire de un cilindro figura también el llenado con aire comprimido de los llamados "espacios muertos" (por ej: cámaras secundarias, anterior y posterior, que se rellenan en cada carrera; tuberías de alimentación de aire comprimido al propio cilindro) ya que estos últimos pueden alcanzar hasta un 20% del consumo de aire de trabajo propiamente dicho.

## Ejercicio

Para el problema que nos planteamos al comienzo, necesitábamos ejercer una fuerza no menor a 900N, y si de los actuadores vistos anteriormente eligiéramos uno de acción lineal de simple o de doble efecto ¿Cuáles deberían ser sus dimensiones si trabajáramos con una presión de 6 bar?

En el ejercicio anterior 6.1. habíamos visto que  $F_{\text{real}} = 0.85 \times F_{\text{teór}}$  (considerando a las fuerzas resistentes como un 15% de la fuerza teórica)

$$F_{\text{real}} = 0.85 \times p \times \pi \times D^2 / 4$$

Por lo tanto y haciendo un cálculo rápido para una fuerza de 900 N:

$$D = \sqrt{\frac{F_{\text{real}} \times 4}{0,85 \times 3,14 \times p}}$$

**D = 47.4 cm** Valor aproximado al que también hubiéramos llegado utilizando el Diagrama de fuerzas desarrolladas del Anexo.

En la práctica no existe una gama suficientemente amplia de diferentes diámetros ya que por razones técnicas y económicas se han estandarizado diferentes diámetros de émbolo. Por lo tanto, de requerir una fuerza determinada la solución más viable es la de regular la presión de aire de trabajo. Esto también puede aplicarse para aquellos trabajos que exigen fuerzas ajustables lo cual trae aparejada la necesidad de intercalar válvulas reguladoras de presión o válvulas reductoras de presión. (\*)

(\*)En nuestro problema del estampado, seguramente nos convendrá utilizar un actuador con las dimensiones del ejercicio anterior –se aproxima bastante al resultado obtenido y es la de un cilindro estándar– que, si bien nos brinda la posibilidad de ejercer una fuerza algo superior a la que necesitamos, ésta, de ser necesario, puede regularse con los elementos ya mencionados.

Por lo visto hasta ahora y retomando nuestro problema del estampado, observamos que todas las operaciones necesarias pueden realizarse con actuadores de movimiento lineal. Necesitaremos, por lo menos tres cilindros neumáticos:

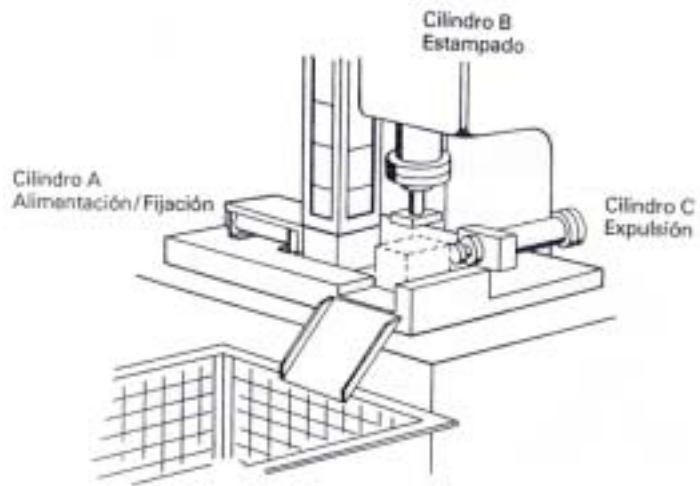
- Un cilindro se encargará de alimentar y sujetar la pieza (Cilindro A)
- Otro, tendrá que realizar la operación de marcado (Cilindro B)
- Un tercer actuador deberá expulsar la pieza (Cilindro C)

Para evitar realizar nuevos cálculos de dimensiones, utilizaremos los tres actuadores de doble efecto, iguales al que habíamos calculado anteriormente, es decir:  $\varnothing_{\text{EMB}} = 50 \text{ mm}$ ;  $\varnothing_{\text{VAS}} = 12 \text{ mm}$ ;  $Q = 9 \text{ l/ciclo}$  (si bien los cilindros A y C pueden ser más pequeños, y de simple efecto); la presión de trabajo  $p = 6 \text{ bar}$  (600 kPa); etc.

Además, si suponemos que la máquina estará trabajando 10 horas por día, en ciclo continuo, por ejemplo, deberá tardar no más de 4,5 seg. por cada pieza.

### ***Croquis de situación***

Partiendo del planteo del problema, es conveniente realizar este tipo de dibujos, aunque sea de manera muy esquemática. Esto nos ayudará para comprender mejor la acción de los elementos de trabajo y el funcionamiento del mando.



## Ficha 14 / Dispositivos actuadores. Movimiento giratorio

### Actuadores giratorios

Se diferencian de los actuadores lineales porque con ellos se obtiene un movimiento de rotación alternativo. Este giro, generalmente, no sobrepasa los 300°; es decir, los actuadores giratorios no llegan a realizar una vuelta completa. Algunos de ellos vienen con topes que permiten limitar el ángulo de giro.



Generalmente se los utiliza para trasladar piezas (por ejemplo desde una cinta transportadora a otra, sin que la pieza tenga contacto con superficie alguna), para voltear piezas (por ejemplo aquellas unidades que deban ser mecanizadas en otra de sus superficies), para doblar tubos, accionar compuertas, etc.

Las propiedades de los actuadores giratorios son las siguientes:

- Pequeños y resistentes
- De acabado fino y por lo tanto de alto rendimiento
- Disponibles con sensores sin contacto
- Angulo de giro ajustable
- Fabricados en metal ligero
- De fácil instalación.

Existen varios tipos de actuadores giratorios, abajo se muestran algunos ejemplos:



Actuadores giratorios de paleta



Actuadores giratorios con piñón - cremallera



### Motores neumáticos

Los equipos que transforman energía neumática en movimientos giratorios mecánicos (que pueden ser continuos), se llaman motores neumáticos. El motor sin limitación de ángulo de giro es uno de los elementos de trabajo más utilizados en sistemas neumáticos.

Los motores neumáticos son clasificados en función de su diseño:

- Motores de émbolos
- Motores de aletas
- Motores de engranajes
- Turbinas



### ***Motores de émbolos***

El aire a presión origina el movimiento del émbolo que, solidario a una biela, actúa a su vez sobre el cigüeñal. Para que el motor trabaje de modo homogéneo es necesario que conste de varios cilindros. La potencia de los motores depende de la presión de entrada, de la cantidad de cilindros, de la superficie de los émbolos y de la velocidad de éstos.

Este tipo de motores se clasifican en:

- motores de émbolos radiales
- motores de émbolos axiales.

Los motores axiales funcionan de modo parecido a los de émbolos radiales. Cinco cilindros en disposición axial se encargan de transformar la fuerza en un movimiento giratorio a través de un disco. Dos émbolos reciben, simultáneamente, presión con el fin de conseguir un par de giro equilibrado para que el motor trabaje homogéneamente.

Estos motores neumáticos pueden girar en ambos sentidos. El régimen de revoluciones máximo es de, aproximadamente, 5000 rpm, siendo el campo de potencias de 1,5 a 19 kW (de 2 hasta 25 CV) a presión normal.



*Motor de émbolos radiales*



*Motor de émbolos axiales*



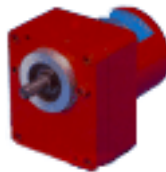
### **Motores de aletas**

Este tipo de motores es muy utilizado porque pesan poco y su diseño es sencillo. En una cámara cilíndrica se encuentra un rotor excéntrico. Dicho rotor está provisto de ranuras. Las aletas son guiadas por las ranuras y presionadas hacia la camisa del cilindro por efecto de la fuerza centrífuga. De este modo, las cámaras quedan separadas herméticamente. El régimen de revoluciones del rotor oscila entre 3000 y 8500 rpm.. Estos motores también pueden ser de giro a derecha o a izquierda, y su potencia es regulable entre 0,1 y 17 kW (0,1 hasta 24 CV).



### **Motores de engranajes**

El par de giro de estos motores es el resultado de la presión que ejerce el aire contra los flancos de dos dientes engranados. Una de las ruedas dentadas está fijamente montada en el árbol del motor. Estos motores de engranajes pueden ofrecer importantes cotas de potencia (44kW/60CV). La dirección de giro puede también variar en estos motores que son fabricados con engranajes rectos o helicoidales.



### **Turbinas**

Sólo pueden utilizarse si la potencia requerida es baja. No obstante, el régimen de revoluciones es muy elevado. (Por ejemplo, una taladradora o torno del dentista puede girar hasta 500.000 rpm.)





Los símbolos para actuadores de movimiento circular son:



**Motor neumático, rotación en un sentido, capacidad fija**



**Motor neumático, rotación en un sentido, capacidad variable**



**Motor neumático, rotación en ambos sentidos, capacidad variable**



**Actuador rotativo de recorrido limitado, giro en ambos sentidos**

*Para la resolución de nuestro problema no es necesario el uso de actuadores giratorios o motores ya que todos los movimientos que se realizan durante el ciclo de trabajo son lineales, razón por la cual no ahondaremos en el cálculo de dimensiones, esfuerzos, consumo, etc., realizables por este tipo de dispositivos.*

## **Ficha 15 / Dispositivos actuadores. Indicadores**

Los indicadores luminosos informan el estado de servicio de un sistema neumático y son utilizados para efectuar el diagnóstico de fallos. Los diversos colores de los transmisores de señales ópticas tienen un significado específico relacionado al estado operativo de un mando. Los indicadores ópticos están montados en el panel de mandos e indican el estado de las funciones de mando, informando sobre los pasos que están activados en un momento dado.

Los colores más utilizados y sus correspondientes significados, son los siguientes:

**Rojo:** Parada, desconexión o emergencia.

**Amarillo:** Máquina o dispositivo en servicio, pero al que le están realizando o a punto de realizar alguna modificación o intervención.

**Verde:** Funcionamiento normal.

**Azul, blanco:** Se utilizan para cualquier situación no definida por los colores anteriores o donde no puedan utilizarse rojo, verde o amarillo.

## Ficha 16 / Válvulas



Las válvulas utilizadas en neumática sirven principalmente para controlar un proceso, actuando sobre las magnitudes que intervienen en él. Para poder controlar se necesita de una energía de control, con la que debe intentarse conseguir el mayor efecto posible con el gasto mínimo. La energía de control viene determinada por la forma de accionamiento de una válvula y puede conseguirse manualmente o por medios mecánicos, eléctricos, hidráulicos o neumáticos.

*Para analizar, la necesidad del uso de válvulas en nuestro problema, podríamos mencionar los siguientes factores:*

- a) *Necesitamos alimentar a los cilindros o actuadores neumáticos en momentos precisos y con el suficiente caudal a una presión determinada, para que produzcan el efecto deseado.*
- b) *Necesitamos tener el control sobre toda la máquina. Es decir, arrancarla o pararla a voluntad.*
- c) *Necesitamos disponer de la o las informaciones o señales que le indiquen a cada uno de los actuadores cuándo debe avanzar y cuándo retroceder. Tengamos en cuenta que para que el ciclo sea eficiente, y según lo analizado anteriormente, los cilindros deben moverse en forma automática y secuencial. La intervención humana, en este caso, debe limitarse a la Marcha / Parada, al suministro de piezas en el cargador y a la observación.*

*Todo esto -entre otros factores- hace que sea necesario contar con elementos que nos ayuden a realizar el desarrollo de la secuencia de movimientos en forma precisa y controlada. Para ello utilizaremos las válvulas que serán las encargadas de comandar, según su función y ubicación en el circuito, la dirección, el sentido, la alimentación o la interrupción del aire comprimido.*

Según la función que realizan, las válvulas neumáticas se clasifican en los siguientes grupos principales:

- Válvulas de vías o distribuidoras (El chofer de colectivo utiliza una válvula de este tipo para la apertura y cierre de las puertas).
- Válvulas de bloqueo (La válvula -óvulo- de los neumáticos, que impide que el aire escape a la atmósfera y mantiene la presión dentro de los mismos)

- Válvulas de caudal (Aunque utilizando otro fluido, una canilla o grifo doméstico es una válvula de caudal ya que regula la mayor o menor cantidad de agua que circula a través de ella)
- Válvulas de presión (Las que “alivian” la presión del gas contenido en un recipiente; por ejemplo, en las estaciones de GNC)

## Ficha 17 / Válvulas de vías o distribuidoras

Las válvulas de vías (también conocidas como distribuidoras) son dispositivos que influyen en el “paso”, el bloqueo y la dirección del flujo de aire. El símbolo de las válvulas informa sobre la cantidad de conexiones, las posiciones de conmutación y sobre el tipo de accionamiento.

Los símbolos de las válvulas de vías o distribuidoras son:



Los símbolos no informan sobre la composición de las válvulas, limitándose a indicar su función.

La posición inicial de una válvula equipada con un sistema de reposición (que puede ser, por ejemplo, un resorte), se refiere a la posición que ocupan las piezas móviles de la válvula cuando no está conectada.

La posición normal de una válvula es aquella que se refiere al estado en que se encuentran las piezas móviles de la válvula montada en un sistema neumático, cuando se conecta la alimentación de presión de la red neumática o, cuando corresponda, eléctrica. Es decir, se trata de la posición a partir de la cual empieza a ejecutarse el mando.

El diseño de la válvula es un criterio importante para su vida útil, sus tiempos de conmutación, su tipo de accionamiento, su sistema de conexión y su tamaño.

### Tipos de diseño de válvulas de vías:

- Válvulas de asiento
  - Válvulas de asiento de bola
  - Válvulas de asiento de plato

- Válvulas de corredera
  - Válvulas de corredera longitudinal
  - Válvulas de corredera plana
  - Válvulas de plato giratorio

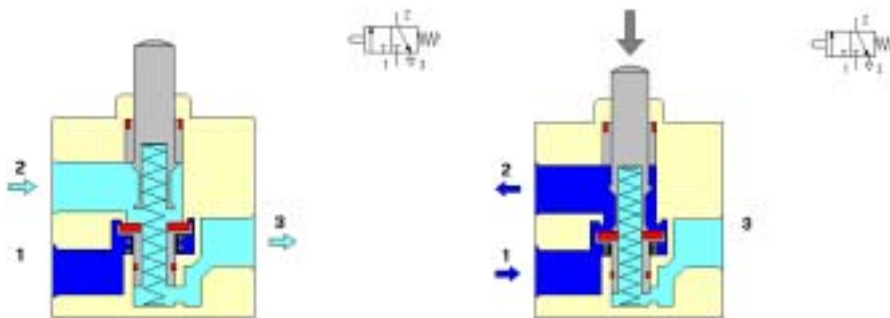
### Válvulas de asiento

En el caso de las válvulas de asiento, los pasos son abiertos o cerrados mediante bolas, platos, discos o conos. Las válvulas de asiento suelen llevar juntas de goma que hacen las veces de asiento. Estas válvulas apenas tienen piezas que puedan desgastarse y, en consecuencia, tienen una vida útil larga. No son sensibles a la suciedad y son muy resistentes. No obstante, requieren de una fuerza de accionamiento relativamente grande, ya que tienen que superar la fuerza del muelle de recuperación y de la presión del aire.

En la figura se muestra una válvula de 3 vías (conexiones indicadas con los números 1, 2 y 3) y 2 posiciones (sin accionar y accionada). Esta válvula es del tipo de asiento plano. En la posición de reposo (sin accionar) el asiento impide la circulación del aire a presión, que ingresa por la conexión "1"; a la vez que mantiene la conexión de utilización "2" comunicada con el escape "3". Esta posición se corresponde con el cuadradito de la derecha en la simbología.

Cuando una fuerza externa actúa sobre la leva, tal como se indica en la figura de la derecha, se desplaza al plato de su asiento. Esto permite, en primer lugar, que se cierre el orificio que comunica con el escape y, luego, que el aire comprimido circule hacia la conexión de utilización. (cuadradito de la izquierda en la simbología). En este caso, la fuerza necesaria para conmutar la válvula debe superar a la fuerza del resorte que mantiene al plato contra su asiento, más la fuerza ejercida sobre el mismo por el aire comprimido. Cuando esta fuerza cesa, el resorte hace que la válvula retorne a su posición de reposo.

De acuerdo con lo expresado y, además, teniendo en cuenta lo mostrado por las ilustraciones, la identificación completa de esta válvula sería: Válvula de 3/2 vías (o válvula distribuidora 3/2) cerrada en reposo (ya que el pasaje de aire comprimido está obturado en esa posición), con accionamiento por leva y retroceso por resorte, de asiento plano.



## Válvulas de corredera

En el caso de las válvulas de corredera, las conexiones son unidas o cerradas mediante correderas cilíndricas, planas o circulares

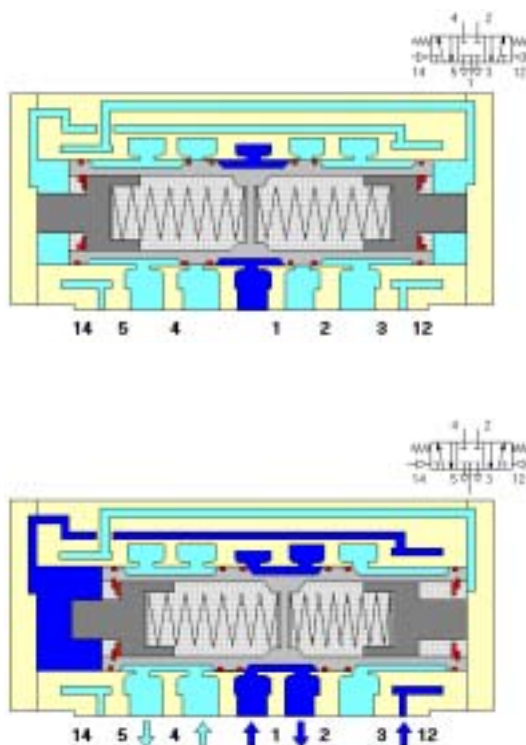
En la figura se muestra una válvula de 5 vías (conexiones indicadas con los números 1, 2, 3, 4 y 5) y 3 posiciones (accionada a derecha, centrada y accionada a izquierda). Esta válvula es del tipo de corredera.

La posición de reposo de esta válvula es la posición central. El centrado se consigue por la acción conjunta de los dos resortes cuando no existe ninguna señal en las entradas "12" y "14". La conmutación de la válvula se logra cuando disponemos de una señal de aire comprimido en alguna de estas dos entradas.

Si analizamos la figura y/o la simbología de esta válvula: en reposo, el aire comprimido que ingresa por "1" no puede circular hacia ninguna otra conexión. En este caso, tanto las utilidades "2" y "4" como las vías de escape "3" y "5" están cerradas (esto se indica con una especie de "T" en la simbología). Supongamos que alimentamos la entrada "12" con aire a presión (figura de abajo), la corredera se desplazará hacia la derecha y posibilitará que el aire circule hacia el conducto "2"; el escape "3" permanecerá sin conexión y la utilización "4" se descargará a la atmósfera a través del escape "5".

En la mayoría de las válvulas de corredera, para producir su conmutación, sólo es necesario vencer las fuerzas de rozamiento de las juntas contra el cuerpo de la válvula. En esta válvula en particular también tenemos la acción de los resortes utilizados para centrar a la válvula en la posición de reposo. El tiempo de conmutación de estas válvulas es superior al de las válvulas de asiento, en parte debido al mayor recorrido para su conmutación.

Nuevamente, si tuviéramos que realizar una denominación completa de esta válvula, ésta sería: válvula distribuidora de 5/3 vías, centro cerrado (porque en la posición central todos los conductos están cerrados), accionamiento y retroceso por aire comprimido (también suele llamarse doble pilotaje neumático), centrada por resortes.



Los símbolos para los métodos de accionamiento son:

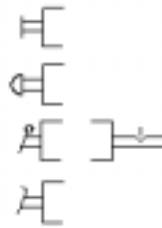
### Manual

Accionamiento en general

Pulsador

Palanca con enclavamiento

Pedal



### Mecánico

Retorno por muelle

Centrado por muelle

Accionado por rodillo

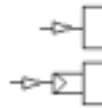
Rodillo abatible



### Neumático

Accionamiento neumático directo

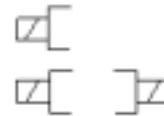
Accionamiento neumático indirecto (servopilotado)



### Eléctrico

Accionamiento con simple bobina

Accionamiento con doble bobina

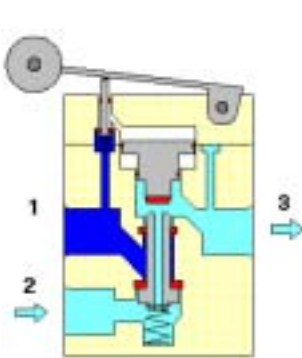


### Combinado

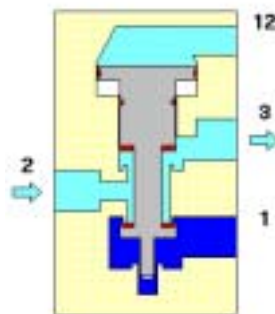
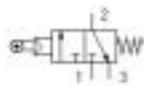
Funcionamiento con doble pilotaje y accionamiento manual auxiliar



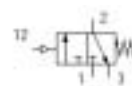
A continuación presentamos algunos ejemplos constructivos de válvulas de vías.



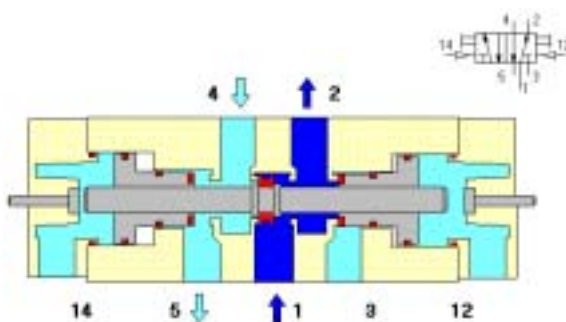
Válvula de 3/2 vías servopilotada,  
normalmente cerrada



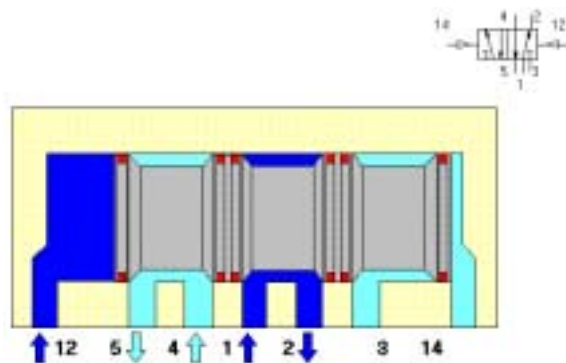
Válvula de 3/2 vías pilotaje simple,  
cerrada en reposo



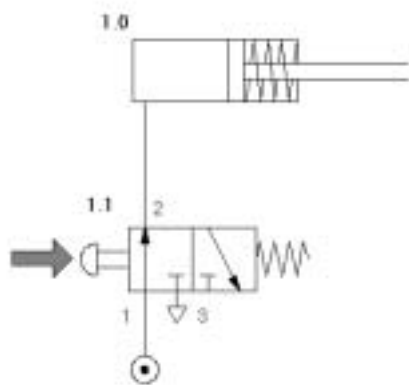




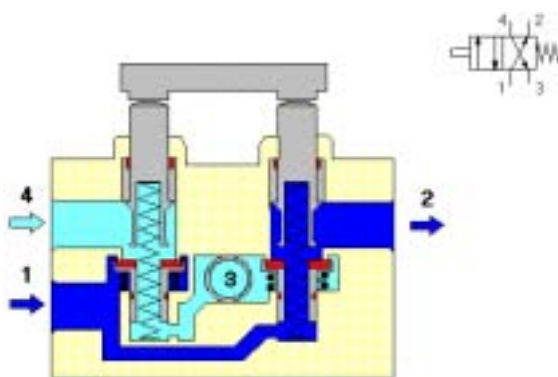
Válvula de 5/2 vías, de disco flotante



Válvula de 5/2 vías, de corredera longitudinal

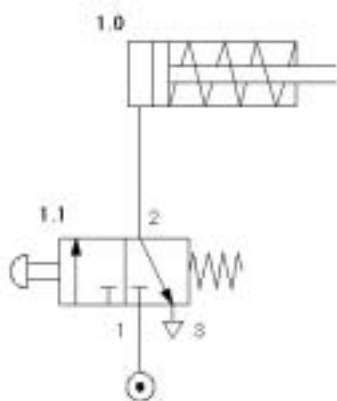


Control directo, accionado

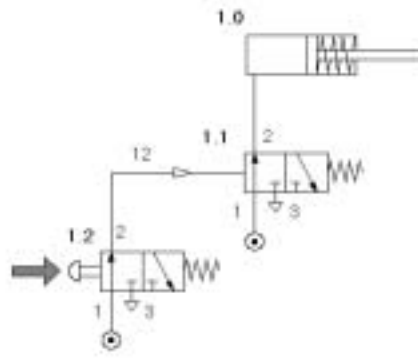


Válvula de 4/2 vías, asiento de disco

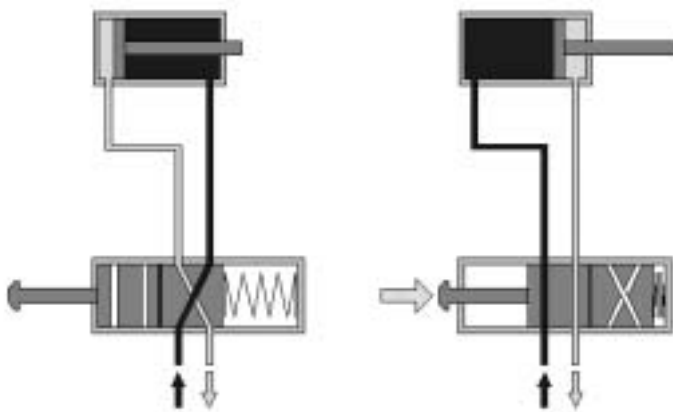
mos algunos ejemplos de aplicación de las válvulas distribuidoras



Control directo, en reposo



Control indirecto, accionado



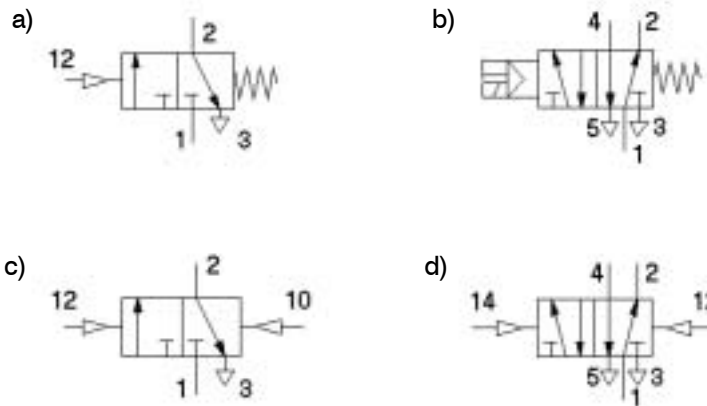
Control de un cilindro de doble efecto

Hablamos de **control directo** cuando el elemento de mando o de control (válvula distribuidora de accionamiento por pulsador y retroceso por resorte) actúa directamente sobre el dispositivo de trabajo (actuador neumático).

En el **control indirecto** el elemento de mando gobierna al elemento de trabajo en forma indirecta a través de otra válvula u otras válvulas; estas últimas son las que “controlan” o “mandan” directamente al actuador.

### Ejercicio

¿A qué válvulas corresponden estos símbolos?



- a) Válvula de 3 vías 2 posiciones (3/2 vías) normal cerrada, con accionamiento neumático y retroceso por resorte o muelle; o memoria monoestable neumática de 3/2 vías normal cerrada.
- b) Válvula de 5/2 vías con accionamiento indirecto (servopilotado) eléctrico o manual, y retroceso por resorte.
- c) Memoria biestable neumática de 3/2 vías; o válvula de 3/2 vías normal cerrada con doble accionamiento (pilotaje) neumático.
- d) Memoria biestable neumática de 5/2 vías; o válvula distribuidora 5/2 con doble accionamiento (pilotaje) neumático.

### Ejercicio

¿Qué caudal nominal debe tener la válvula de mando para el cilindro y las condiciones planteadas en el ejercicio de la Ficha 13, si admitimos una caída de presión en la misma de 0.2 bar?

Los datos de pérdida de presión y de caudal de aire en las válvulas, deben ser considerados. En la medición del caudal de una válvula, el aire fluye a través de la misma en un solo sentido; se conoce la presión de aire a la entrada y puede medirse la presión a la salida.

La diferencia entre estos dos valores es igual a la presión diferencial  $\Delta p$ . Con un caudalímetro puede medirse la cantidad de aire que pasa a través de la válvula.

Las válvulas vienen identificadas con un valor de caudal denominado "Caudal nominal -  $Q_N$ ". Éste es un valor de calibración, referido a una presión de 6 bar (600 kPa), una caída de presión de 1 bar (100 kPa) y una temperatura de 293 K (20°C). Si se trabaja con otras presiones, caídas de presión y temperaturas, hay que calcular el valor  $Q$  del caudal de aire.

Al objeto de evitar pesadas operaciones de cálculo, los datos pueden tomarse del Diagrama para la determinación del caudal de una válvula del Anexo.

Recordemos los datos obtenidos:

Caudal que consume el cilindro:  $Q = 88$  litros/min (método analítico) ó  $92,4$  litros/min (método gráfico); tomaremos  $Q = 90$  l/min

Presión de trabajo del cilindro  $\cong$  presión de aire a la salida de la válvula:  $p_2 = 6$  bar

Si consideramos una caída de presión del aire comprimido al atravesar la válvula:

$\Delta p = 0.2$  bar =  $p_1 - p_2$ , luego  $p_1 = 6.2$  bar.

#### Aplicación del diagrama para el cálculo del caudal:

*Paso 1:* Uniendo los ejes A y C por los valores indicados ( $\Delta p$  y  $p_2$  absoluta, respectivamente), se obtiene en el eje B un punto de intersección, necesario para determinar el caudal Q.

*Paso 2:* Establecer la unión entre el valor  $Z = 1$  en el eje B y el valor correspondiente del caudal nominal  $Q_N$  sobre el eje D. ( $Z$  es 1 para las condiciones ideales del ensayo de la válvula en fábrica)

*Paso 3:* Trazar una paralela a esta línea por el punto antes determinado sobre el eje B. Se obtiene sobre el eje D el caudal para las condiciones de operación.

Si optáramos por una válvula cuyo caudal nominal fuera, por ejemplo, de  $100$  l/min., que a simple vista alcanza para abastecer los  $90$  l/min. que necesita el cilindro, y realizáramos los tres pasos anteriores, obtendríamos un caudal Q de aproximadamente  $55$  l/min.

Para que la válvula seleccionada pueda realmente controlar al cilindro debe realizarse el recorrido inverso. Los valores de  $\Delta p$  y  $p_2$  son fijos, ya que son los valores admisibles determinados por las condiciones iniciales de trabajo; por lo tanto, el punto de corte sobre el eje B se mantiene. Luego nos resta unir este punto con el valor del caudal que necesito, en nuestro caso  $90$  l/min., en el eje D y trazar una paralela a esta línea que pase por  $Z = 1$ .

El resultado de esto es que, con una válvula cuyo caudal nominal fuera aproximadamente de  $Q_N = 172$  l/min. o superior, tendríamos garantizados los  $90$  l/min necesarios.

## Ficha 18 / Válvulas de bloqueo

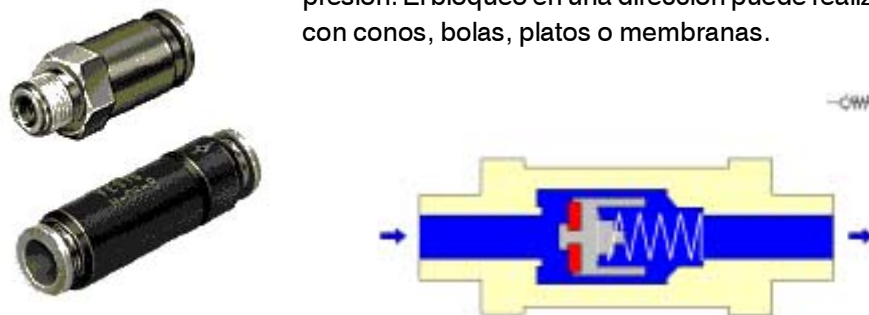
Las válvulas de bloqueo cortan el paso de aire comprimido en una dirección y lo abren en la dirección contraria. La presión en el lado de la salida ejerce una fuerza sobre el lado que bloquea y, por lo tanto, apoya el efecto de estanqueidad de la válvula.

Analizaremos cuatro tipos de válvulas de bloqueo:

- Válvulas antirretorno
- Válvulas de simultaneidad
- Válvulas selectoras
- Válvulas de escape rápido

### Válvulas antirretorno

Pueden bloquear totalmente el paso en una dirección mientras que en la dirección contraria, pasa el aire con un mínimo de pérdida de presión. El bloqueo en una dirección puede realizarse con conos, bolas, platos o membranas.



*Este tipo de válvulas tiene muchas aplicaciones. Una de ellas puede encontrarse en los juguetes infables (tipo pelotas, "punching balls", etc.), y es la que impide la salida del aire durante y a posteriori del inflado.*

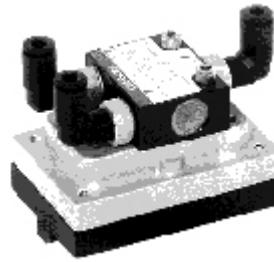
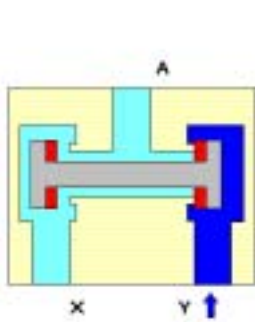
Los elementos que tienen las mismas propiedades que una válvula de antirretorno pueden ser utilizados como uniones entre dos conductos transmisores de señales, con el fin de controlarlas.

Las dos válvulas que pueden ser clasificadas de elementos de unión, son utilizadas para el procesamiento lógico de señales de entrada y para la transmisión de la señal resultante: **La válvula de simultaneidad** emite una señal solamente si recibe una señal en ambas entradas (función Y), la **válvula selectora** de circuito transmite una señal si la recibe en, por lo menos, una entrada (función O).

### Válvulas de simultaneidad

Función lógica Y. Tiene dos entradas (X e Y) y una salida (A). El paso solamente está abierto si recibe una señal en ambas entradas. Una señal de entrada en X o en Y bloquea el paso a raíz de la diferencia de fuerzas en la corredera del cilindro. Si las señales de entrada no son recibidas simultáneamente, la última señal que llega pasa a la salida. Si las señales de entrada tienen una presión diferente, la presión más

grande cierra la válvula, con lo que la presión más pequeña pasa a la salida A.



*Podemos ubicar una válvula de simultaneidad en todos aquellos casos en que necesitemos la presencia de dos señales para realizar alguna acción. Por ejemplo: en prensas o en guillotinas donde ambas manos del operario deban estar accionando algún pulsador (enviando una señal), para evitar accidentes.*

La válvula de simultaneidad es utilizada, principalmente, en mandos de bloqueo, funciones de control o enlaces lógicos.

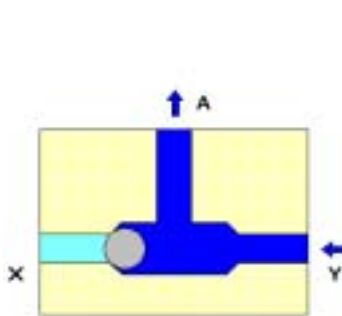
### Válvulas selectoras

Función lógica O. Estas válvulas tienen dos entradas (X e Y) y una salida (A). Si la entrada X recibe presión, el émbolo cierra la entrada Y, con lo que el aire pasa desde X hacia A. Si el aire pasa desde Y hacia A, queda bloqueada la entrada X.



Cuando se produce un reflujo del aire al ser evacuado el aire del cilindro o de la válvula instalada detrás, el émbolo mantiene su posición anterior debido a las presiones existentes en ese caso. Esta válvula también es denominada elemento "O".

Si un cilindro o una válvula ha de accionarse desde dos o más lugares, siempre deberán utilizarse una o varias válvulas selectoras.

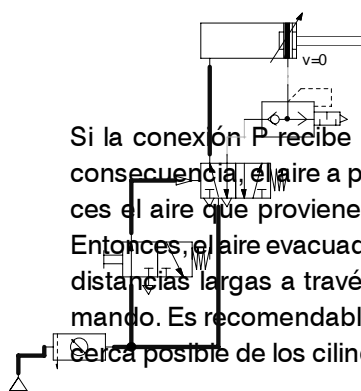
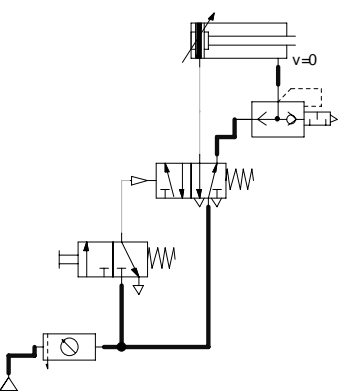
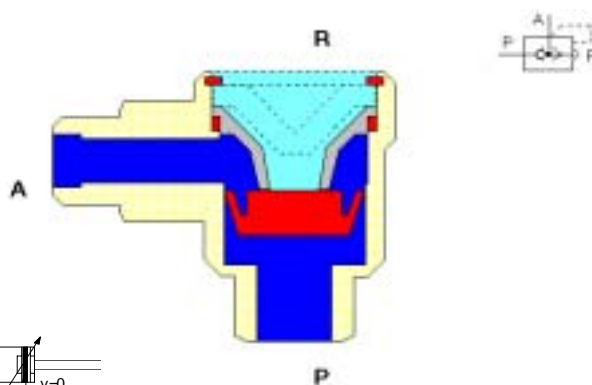


*Si necesitáramos que alguna máquina pueda ser activada desde dos puntos diferentes, deberíamos utilizar una válvula selectoras de circuito. Ya sea que la señal provenga desde un pulsador hacia la entrada X, como desde otro hacia la entrada Y, obtendremos una salida, de esa señal, a través de A hacia el mando de la máquina.*

### Válvulas de escape rápido

Tienen la finalidad de aumentar la velocidad de los cilindros. Con ellas se puede reducir el tiempo de retroceso demasiado prolongado, especialmente tratándose de cilindros de simple efecto. De esta manera, es posible que el vástago del cilindro

retroceda casi a velocidad máxima, ya que la resistencia al aire desplazado es disminuida porque dicho aire es evacuado a través de la válvula de escape rápido. El aire es evacuado a través de una abertura relativamente grande. La válvula tiene una conexión bloqueable de presión (P), una conexión bloqueable de escape (R) y una salida (A).



Si la conexión P recibe presión, el plato cubre la salida de escape de aire R. En consecuencia, el aire a presión pasa de P hacia A. Si en P ya no hay presión, entonces el aire que proviene de A desplazará el plato hacia la conexión P, cerrándola. Entonces, el aire evacuado puede salir de inmediato hacia fuera sin tener que recorrer distancias largas a través de los conductos de mando hasta llegar a la válvula de mando. Es recomendable que las válvulas de escape rápido sean instaladas lo más cerca posible de los cilindros respectivos.

En el esquema que se muestra a continuación, puede observarse la forma correcta de utilización de esta válvula

Cuando la válvula de 3/2 vías, cerrada en reposo y accionada con pulsador se encuentra sin accionar, el aire comprimido circula hacia la cámara del lado del vástago del cilindro pasando por la válvula de escape rápido desde la conexión P hacia la A de esta válvula, mientras que el escape R es obturado por la esfera. Este puede ser el momento de reposo del sistema o bien de retroceso del cilindro.

Cuando el pulsador es accionado, el aire circula hacia la válvula de mando del cilindro de doble efecto (válvula 5/2 de accionamiento neumático y retroceso por resorte), produciendo su conmutación y permitiendo el llenado de la cámara del lado del émbolo del actuador. La fuerza ejercida sobre el émbolo hace salir al cilindro; además, el aire a presión que se encontraba en la cámara del vástago es impulsado hacia el exterior, ingresando por la conexión A de la válvula de escape rápido. Por la acción del aire comprimido, la esfera es empujada contra la conexión P y el aire escapa por R. De esta forma, se evita que el aire de escape tenga que atravesar la válvula de mando del cilindro y, por lo tanto, se incrementa la velocidad de salida del vástago.

Si la válvula de escape rápido hubiera estado conectada en el orificio de alimentación del lado del émbolo, se hubiera logrado un aumento en la velocidad de ingreso o retroceso del vástago.



## Ficha 19 / Válvulas de caudal

Regulan el caudal del aire a presión en ambas direcciones. Si, además de la válvula de estrangulación, también se instala una válvula de antirretorno, la velocidad es regulada sólo en una dirección.

Las **válvulas de estrangulación** suelen ser regulables. El ajuste correspondiente puede ser fijado.

Son utilizadas para controlar la velocidad de los cilindros y debe ponerse cuidado en que la válvula de estrangulación nunca esté cerrada del todo.



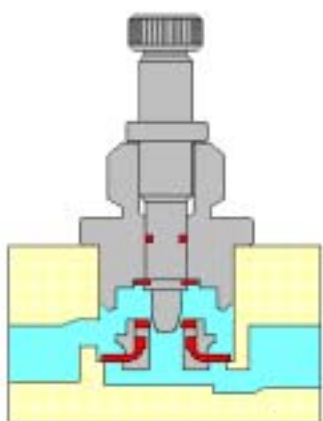
### Para los alumnos

¿Qué sucedería en el caso que esta válvula se cerrara por completo?

*Se impediría la circulación de fluido en ambos sentidos. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, cuando cerramos en nuestra casa la llave de paso del gas.*

## Válvulas de estrangulación y antirretorno

Reduce el caudal de aire solamente en una dirección. La válvula de antirretorno cierra el paso de aire en una dirección y el aire sólo puede pasar a través de la sección regulada. El aire puede pasar libremente en la dirección contraria a través de la válvula de antirretorno abierta.



Son utilizadas para regular la velocidad de los cilindros neumáticos. Es recomendable instalarlas lo más cercanas posible a los cilindros. Tratándose de cilindros de doble efecto, puede realizarse la estrangulación tanto de la entrada como de la salida del aire.



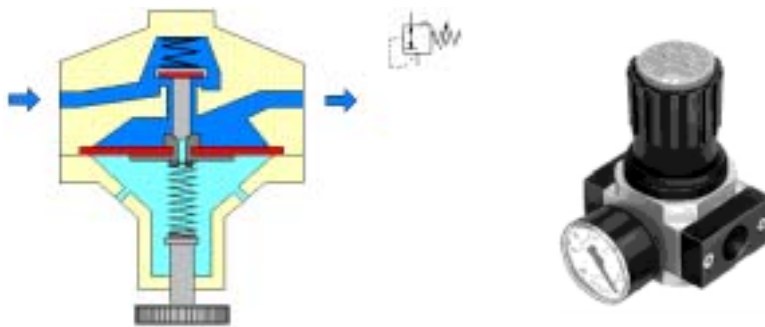
## Ficha 20 / Válvulas de presión

Son elementos que se encargan de regular la presión o que son controladas por la presión. Pueden diferenciarse los siguientes tres grupos:

- Válvulas reguladoras de presión
- Válvulas limitadoras de presión
- Válvulas de secuencia (que trataremos en la próxima Ficha teórica como “Válvulas combinadas”)

### Válvulas reguladoras de presión

Mencionadas anteriormente, en la ficha correspondiente a la Unidad de Mantenimiento, son utilizadas para mantener una presión constante, incluso si oscilase la presión en la red neumática. La presión mínima de entrada tiene que ser mayor que la presión de salida.



#### Para los alumnos

¿Por qué se pone como condición que la presión de entrada a esta válvula sea mayor que la de salida?

Porque de ser así, el aire de la salida con mayor presión tendería a pasar hacia la entrada (menor presión), disminuyendo de esta forma la presión en el circuito. La presión a la salida sería igual a la de entrada, es decir menor a la requerida por el sistema. Siempre deberíamos tener una presión mayor que la necesaria para el funcionamiento del sistema, a la entrada de esta válvula, de modo tal de ejercer algún tipo de regulación sobre la misma.

*Por otra parte, debe tenerse en cuenta que generalmente el consumo de aire no es constante y esta válvula debe poder soportar las fluctuaciones en el consumo, ya sea cuando éste es mínimo como cuando es máximo.*

### Válvulas limitadoras de presión

Son utilizadas principalmente como válvulas de seguridad (válvulas de sobrepresión), ya que evitan que la presión en el sistema sea mayor que la presión máxima admisible. Una vez que la presión puesta en la entrada de la válvula de seguridad llega a la presión máxima que se ha ajustado en dicha válvula, se abre la salida, con lo que el aire es evacuado hacia fuera. La válvula se mantiene abierta hasta que el muelle vuelve a cerrar, una vez que la presión alcanza nuevamente el nivel de presión que se haya ajustado en función de la curva característica del muelle.

## Ficha 21 / Válvulas combinadas

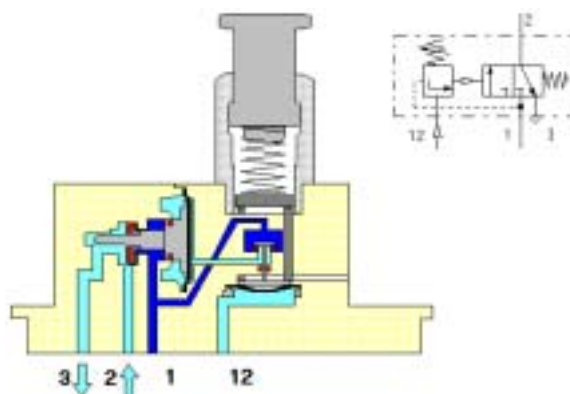
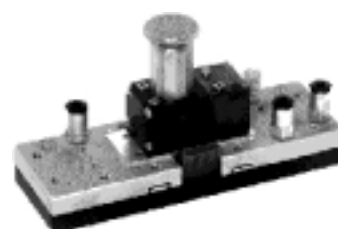
Los elementos que pertenecen a diversos grupos de mando pueden conformar una unidad compacta que reúne las características funcionales y constructivas de una combinación de válvulas.

Nos referiremos a:

- Válvulas de secuencia
- Válvulas temporizadoras

### Válvulas de secuencia

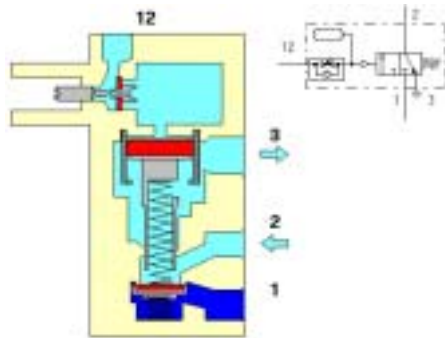
Funcionan según el mismo principio que las válvulas limitadoras de presión. La válvula abre el paso si la presión es mayor que el valor que se ha ajustado en el muelle. El aire pasa de 1 hacia 2. La salida 2 abre solamente cuando la presión en el conducto de mando 12 alcanza el valor de presión ajustado previamente. Un émbolo de mando se encarga de abrir el paso de 1 hacia 2. Son utilizadas en mandos neumáticos cuando es necesario disponer de una presión determinada para ejecutar una operación de conmutación (mandos en función de la presión).



### Válvulas temporizadoras



Están compuestas de una válvula neumática de 3/2 vías, una válvula de estrangulación con antirretorno y de un pequeño acumulador de aire a presión. La válvula de 3/2 vías puede tener posición normal de bloqueo o de paso abierto. El tiempo de retardo conseguido con los dos tipos de válvulas de retardo cubre normalmente un margen desde 0 hasta 30 segundos. El pequeño acumulador auxiliar permite aumentar el tiempo de retardo. El tiempo previsto para la conmutación puede ajustarse con gran precisión, siempre y cuando el aire esté limpio y la presión sea constante.



**Funcionamiento de una válvula temporizadora, con válvula de 3/2 vías cerrada en reposo:** El aire a presión llega a la conexión 1 de la válvula. El aire del circuito de mando entra en la válvula por la entrada 12 y atraviesa la válvula de estrangulación y antirretorno. Con el tornillo regulador se determina la cantidad de aire que por unidad de tiempo pasa hacia el pequeño acumulador. Una vez que en éste el nivel de la presión de mando es suficiente, el émbolo de la válvula de 3/2 vías es desplazado hacia abajo, con lo que bloquea de 2 hacia 3. El plato es separado del asiento, con lo que el aire puede pasar de 1 hacia 2. El punto de conmutación es determinado por el tiempo necesario para generar la presión respectiva en el acumulador.

Para que la válvula temporizadora vuelva a su posición normal, tiene que evacuarse el conducto de mando 12. El aire proveniente del acumulador fluye a través de la válvula de estrangulación y antirretorno y, por el conducto de evacuación de la válvula procesadora de señales hasta llegar al exterior. El muelle de la válvula se encarga de colocar el émbolo y el plato en sus respectivas posiciones normales. El conducto de trabajo 2 es evacuado por 3 y la conexión 1 queda bloqueada.

Si la válvula de 3/2 vías tiene abierto el paso en posición normal, entonces la salida 2 recibe una señal. Si la válvula conmuta por recibir una señal en la entrada 10, se evacua el conducto de trabajo 2 por 3. Ello tiene como consecuencia que la señal de salida es cancelada una vez que ha transcurrido el tiempo que se ha ajustado. El tiempo de retardo corresponde también, en este caso, al tiempo necesario para la generación de la presión correspondiente en el acumulador. Si se retira el aire de la conexión 10, la válvula 3/2 vuelve a su posición normal.

### **Para los Alumnos**

¿Qué decisiones tomarías respecto de las válvulas a utilizar en el sistema neumático que estás diseñando?. ¿Por qué?

Volvamos a nuestro problema.

En sucesivos momentos, establecimos:

- el tipo de energía a utilizar, ya sea para los elementos de mando como para los de trabajo,

- algunas de las características de los mismos,
- las fases a realizar, y
- el croquis de situación.

Deberíamos considerar también:

1. las condiciones preliminares con las que operará el sistema,
2. algún tipo de representación de la secuencia y, finalmente,
3. el esquema de conexiones o esquema de circuito.

## 1. Condiciones preliminares

Supongamos que decidimos fijar las siguientes condiciones de funcionamiento para esta máquina:

- Dispondremos de un pulsador de “Arranque” o “Marcha”, para el inicio de la secuencia.
- Si bien se nos solicitó el funcionamiento de la máquina en forma continua “Ciclo continuo”, también podremos optar por realizar un solo ciclo “Ciclo único” y que luego de realizar el ciclo de trabajo completo, la máquina se detenga en la posición de partida. Esto lo seleccionaremos utilizando un “Selector” de “Ciclo único/Ciclo continuo”. El ciclo continuo se detendrá una vez que el selector se ubique en la posición de “Ciclo único”.
- Cuando el depósito de piezas se encuentre vacío, la máquina se detendrá (permaneciendo en la posición de partida) hasta que éste sea llenado nuevamente con piezas.

## 2. Representación de las secuencias de movimientos y los estados de conmutación

Acá necesitaremos definir el desarrollo del ciclo. Para establecerlo, podríamos recurrir, por ejemplo, a: representación de las fases en orden cronológico, representación en escritura abreviada, diagramas de funcionamiento, diagramas de movimientos, etc.

Esto nos va a servir para poder controlar y correlacionar el desarrollo secuencial del movimiento de los elementos de trabajo y los estados de conmutación de los elementos de mando.

Una representación sencilla facilita, además, una comprensión en un marco más amplio.

Describiremos brevemente algún tipo de representación:

### a) Representación de fases en orden cronológico

Podemos establecer la siguiente secuencia:

- Alimentar (cilindro A)
- Sujetar (cilindro A)
- Marcar (cilindro B)
- Soltar (cilindro A)
- Expulsar (cilindro C)

### b) Representación en escritura abreviada

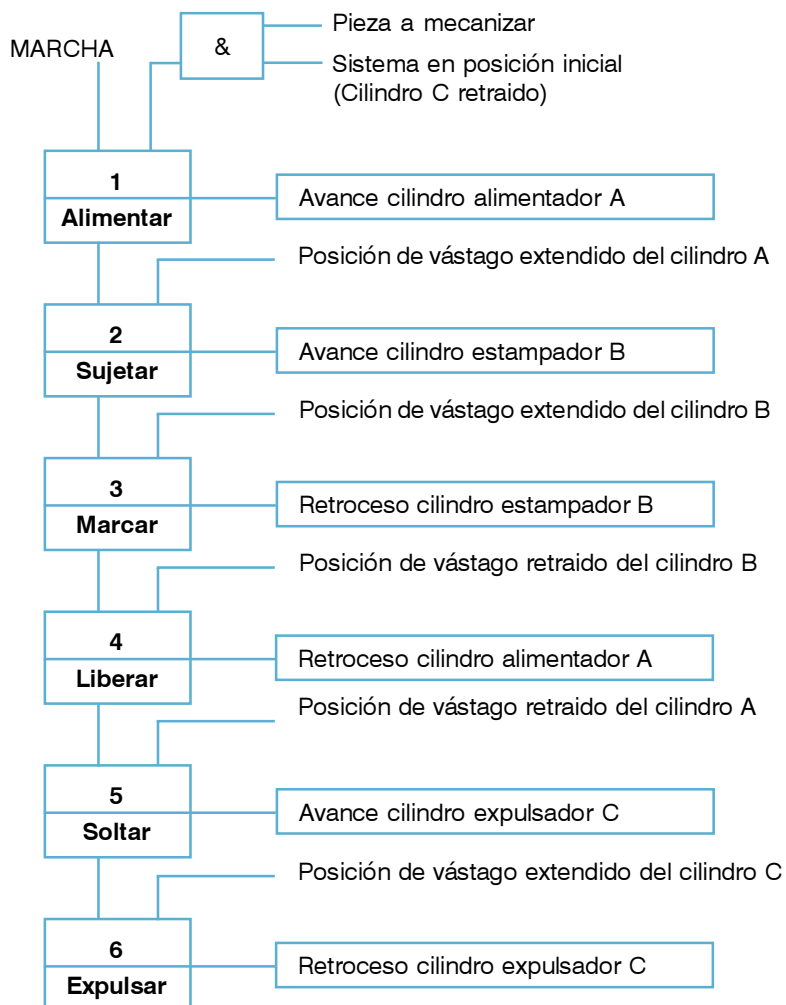
Si optamos por la designación con “+” para la salida del vástago del cilindro y con “-”, para el retroceso, tendremos lo siguiente:

A<sup>+</sup>, B<sup>+</sup>, B<sup>-</sup>, A<sup>-</sup>, C<sup>+</sup>, C<sup>-</sup>

### c) Diagrama de funcionamiento

El diagrama de funcionamiento es una representación gráfica y sintética de la tarea o función del mando. Puede realizarse mostrando sólo las características esenciales (estructura ordinaria) o con detalles precisos de aplicación (estructura pormenorizada).

Una forma simplificada de representación de este diagrama podría ser la siguiente:



### d) Diagramas de movimientos

En los diagramas de movimientos se representan los estados de los movimientos de trabajo y las unidades operatorias.

Existen tres tipos de diagramas de movimientos:

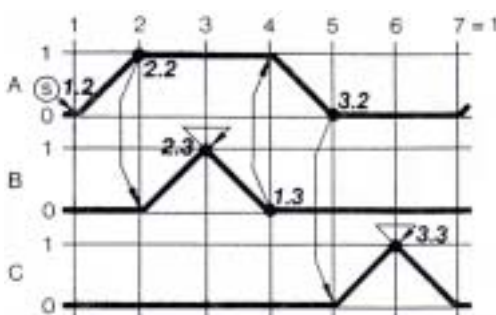
- el Diagrama Espacio–Fase,
- el Diagrama Espacio–Tiempo y
- el Diagrama de Mando.

**Diagrama Espacio–Fase:** En este diagrama se representa el ciclo de un elemento de trabajo, quedando en función de las fases respectivas el espacio recorrido (fase: cambio de estado de cualquier unidad operatoria). De existir más de un elemento de trabajo, debe dibujarse un diagrama para cada uno de ellos y presentarlos uno debajo del otro. La relación entre ellos queda establecida por las fases.

**Diagrama Espacio–Tiempo:** En éste, el espacio de una unidad operatoria es representado en función del tiempo. En contraposición, al diagrama espacio–fase, aquí se aplica el tiempo  $t$  a escala, representando la unión entre las distintas unidades. Mientras que el diagrama espacio–fase ofrece una orientación más fácil, en el espacio–tiempo se observan con más claridad las interferencias y las diferentes velocidades de trabajo.

**Diagrama de mando:** Representa el estado de conmutación de un elemento de control, en función de la fase o del tiempo.

*Para nuestro problema del estampado, realizaremos sólo el diagrama espacio–fase, teniendo en cuenta que “0” identifica posición de vástago retraído y “1” posición de vástago extendido.*



Explicación del diagrama:

**Fase 1-2:** El ciclo comienza cuando el pulsador de “Marcha” es accionado y se produce la salida del cilindro A; mientras tanto, los otros dos cilindros B y C permanecen en la posición de vástago retraído. Cuando el cilindro A llega a su posición extrema (vástago extendido), concluye esta primera fase y comienza la siguiente.

**Fase 2-3:** Esta fase comienza cuando se tiene la certeza que el cilindro A ha terminado su avance, para lo cual necesitaré de algún elemento que me dé esa señal, es decir un final de carrera –por ejemplo, una válvula neumática accionada por rodillo-. Esta válvula estará ubicada al final del recorrido del cilindro A, pero va a ser la que “posibilite” el próximo movimiento-avance del cilindro B. Cuando el cilindro B finalice su carrera de avance, activará otro final de carrera que dará comienzo al siguiente movimiento (fase)

**Fase 3-4:** En esta fase, retrocede el cilindro B mientras que el A y el C permanecen en la posición en que estaban. Cuando el cilindro B llega a posición de vástago retraído,

da la orden (acciona un fin de carrera) para el siguiente paso.

**Fase 4-5:** En esta fase, retrocede el cilindro A hasta su posición inicial.

**Fase 5-6:** Avance del cilindro C para expulsar la pieza.

**Fase 6-7:** Retroceso del cilindro C hasta posición inicial. La fase 7 es “fin de ciclo” y coincide con la primera; por lo tanto, como el ciclo es continuo, los tres cilindros deben encontrarse en las mismas posiciones que en la fase 1. La fase 1 no debe volver a comenzar un ciclo nuevo si el anterior no ha finalizado, es decir si el cilindro C no ha retrocedido completamente.

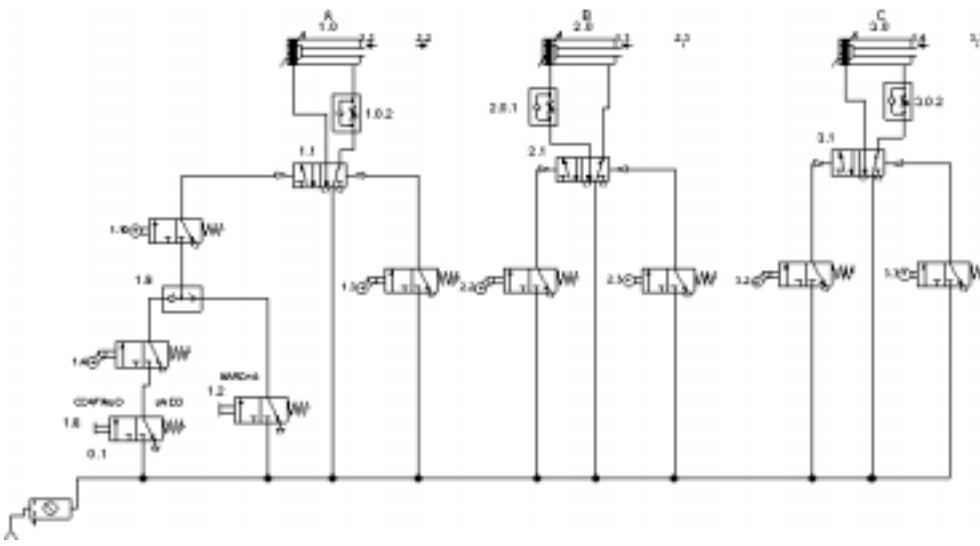
### 3. Esquema de conexiones

Del análisis del diagrama se desprende que vamos a tener problemas de señales simultáneas en las válvulas de mando de los cilindros. Para anular estas señales, utilizaremos válvulas accionadas por rodillos escamoteables o abatibles<sup>1</sup> que, si bien introducen un desfase en el desarrollo de la secuencia, éste no trae aparejado ningún inconveniente para el funcionamiento del sistema.

Otra posible solución sería anular estas señales simultáneas, utilizando temporizadores neumáticos o memorias neumáticas. Con cualquiera de ambos no tendríamos desfase, pero traería aparejado la incorporación de uno o más elementos al circuito.

También puede utilizarse alguno de los métodos sistemáticos para la resolución de circuitos. (Cascada o Paso a Paso).

En el esquema de circuito presentado arriba, la válvula de rodillo 1.10 tiene la función de controlar la existencia de piezas en el depósito. De no haber piezas, ésta no estaría accionada y, por lo tanto, la máquina se pararía en la posición inicial; además bloquearía la señal de marcha. Un inconveniente que presenta este circuito es que si, accidentalmente, se presiona el pulsador de **marcha** en cualquier momento mientras la máquina esté trabajando, se produciría la salida del cilindro A. Esto podría



<sup>1</sup> La válvula con palanca y rodillo abatible se acciona cuando el rodillo es actuado en un determinado sentido por una leva unida al vástago de un cilindro. Una vez liberada la leva, la válvula regresa a su posición inicial por medio de un muelle de retorno. Cuando el rodillo es accionado en sentido contrario, la válvula no conmuta.



solucionarse, por ejemplo, utilizando memorias neumáticas (válvulas 3/2 ó 5/2 con doble accionamiento o pilotaje neumático) en lugar de rodillos abatibles y por otra parte, colocando la condición de fin de ciclo (señal del rodillo 1.4 –que para este caso no debería ser abatible-), en serie, es decir, realizando una función “Y” con este pulsador.

También podemos incorporarle un pulsador del tipo retentivo para “Parada de Emergencia”. Una vez accionado, todos los cilindros deben, inmediatamente, retornar a sus posiciones de partida (rutina del Paro de Emergencia) y la máquina sólo podrá volver a arrancar una vez que éste se haya liberado.

Entre otras cosas, nos queda aún por averiguar cuánto va a consumir esta máquina en las 10 horas de trabajo.

Habíamos visto que cada actuador consume 9 litros en cada ciclo y que para cada ciclo se debe emplear un tiempo no superior a los 4.5 seg. Si bien no todos los actuadores van a estar consumiendo aire al mismo tiempo, lo consideraremos así; en parte, para compensar el aire necesario para llenar los espacios muertos. Por lo tanto, deberemos disponer de un caudal total de aire comprimido que consume la instalación igual a 360 l/min. En consecuencia, el compresor que utilicemos debe poder abastecernos ese caudal como mínimo. (tal como lo planteamos al encarar la selección del compresor). El consumo de aire es una magnitud decisiva para la determinación del diámetro interior de las tuberías de una red de aire comprimido.

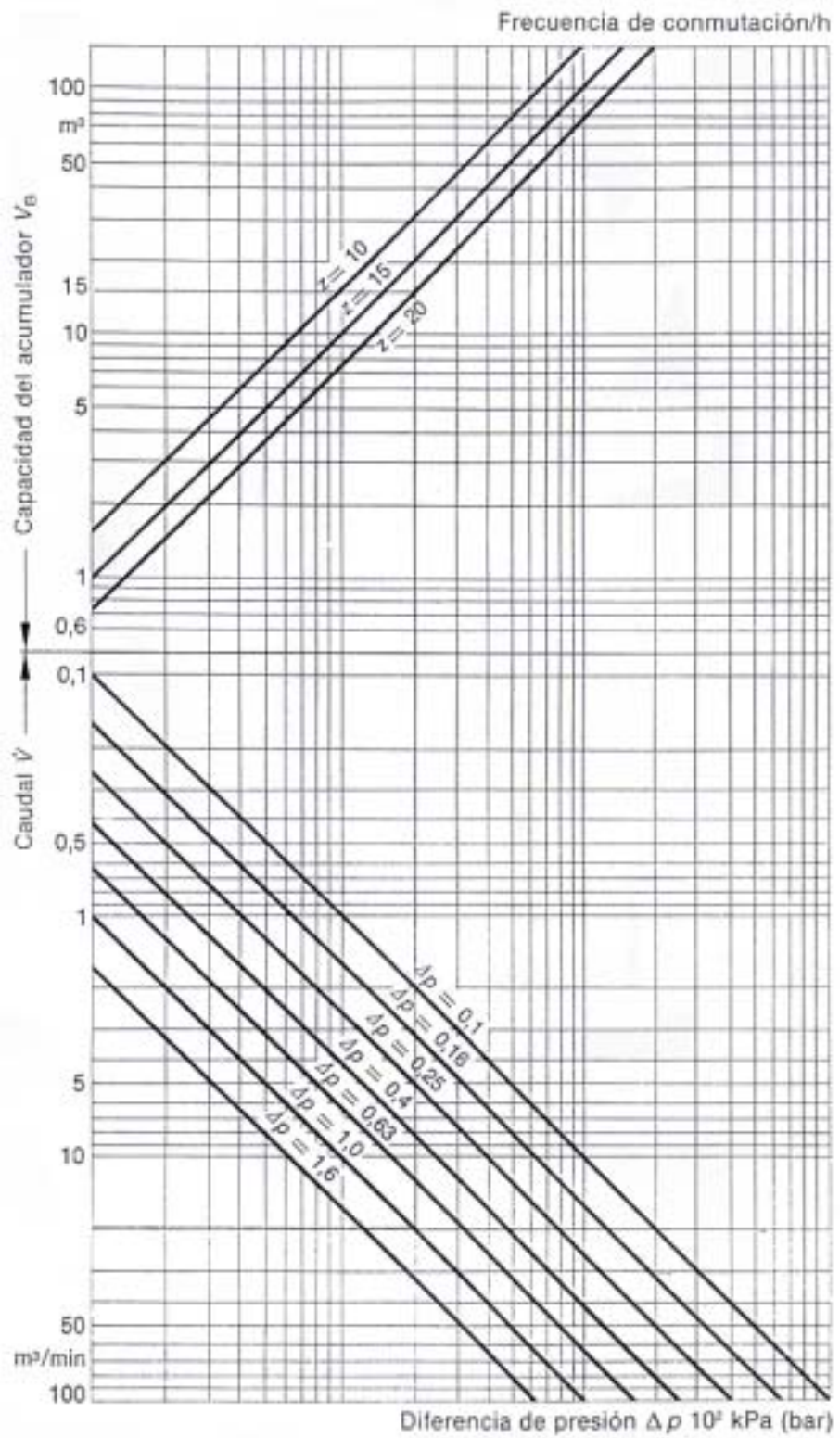


### **3. ANEXOS**

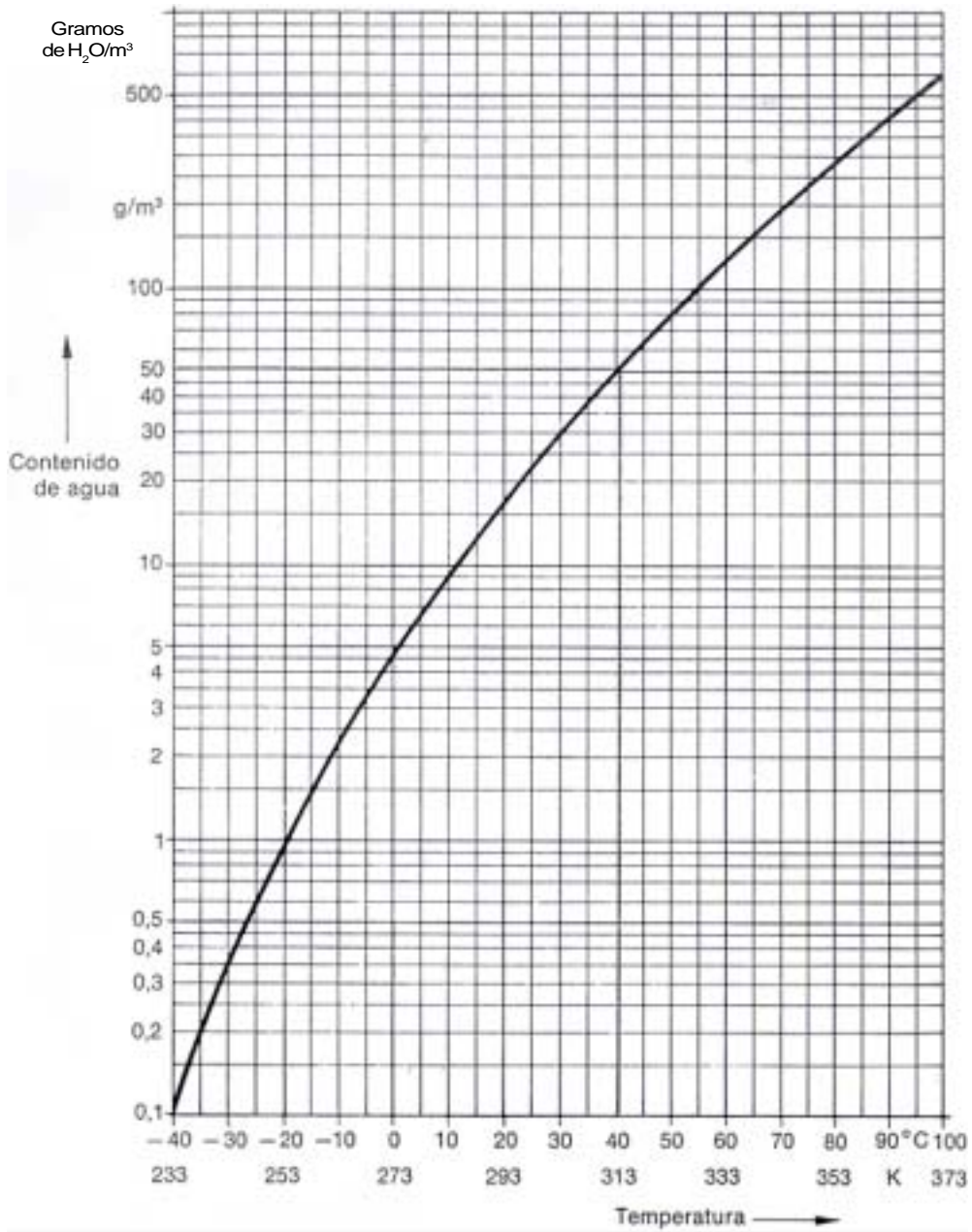
---



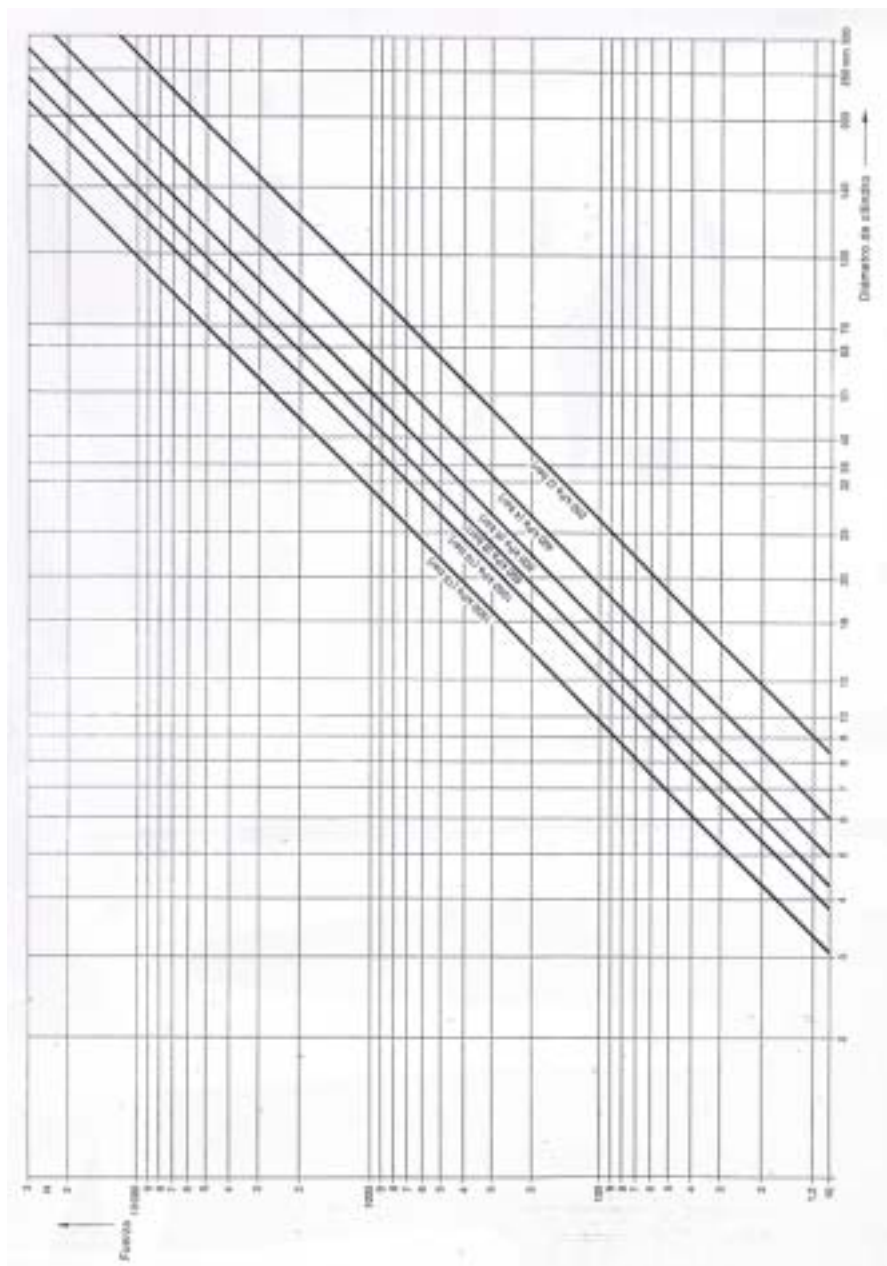
### 3.1. Diagrama para la determinación de la capacidad del acumulador



### 3.2. Diagrama para la determinación del punto de vacío



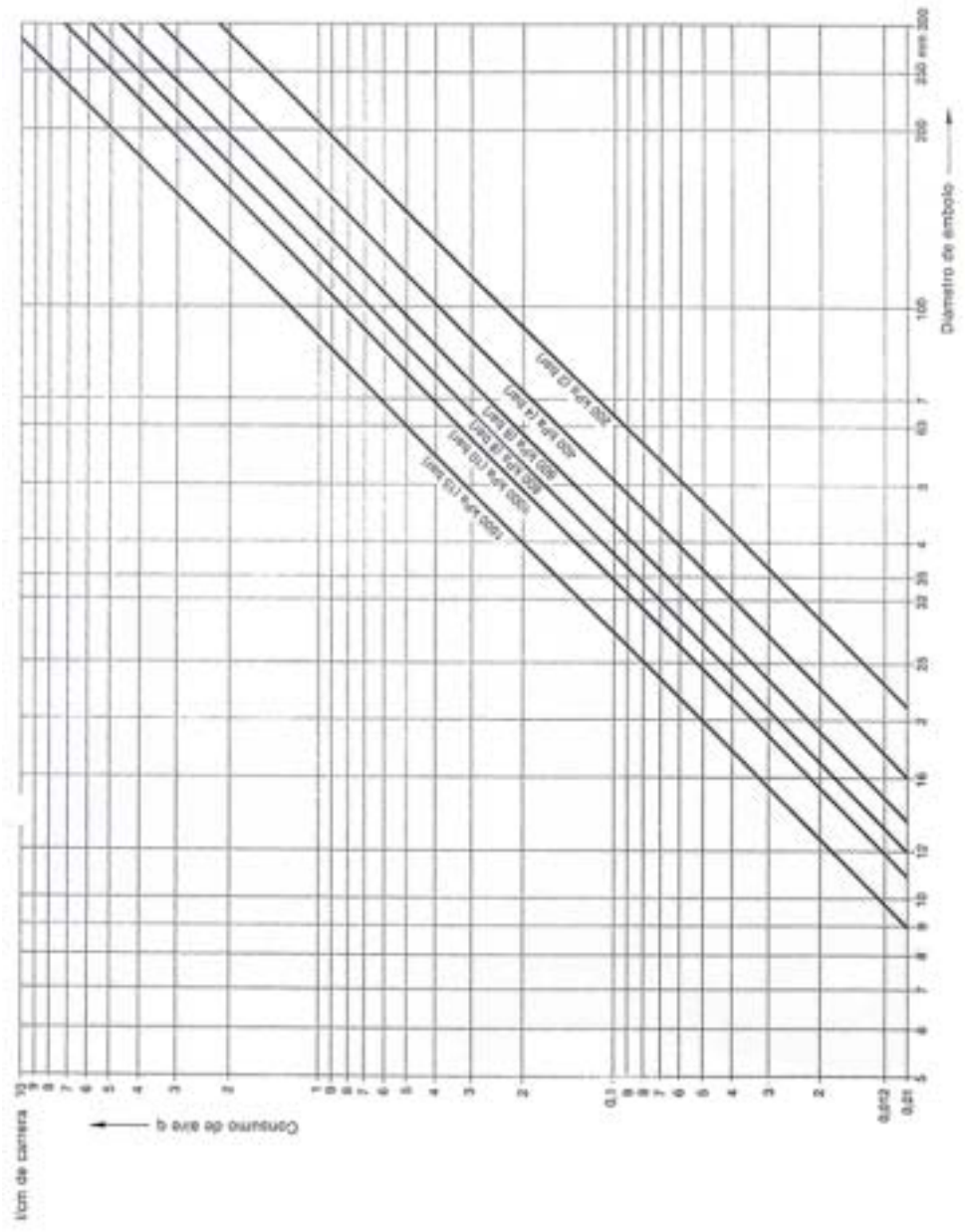
### 3.3. Diagrama de fuerzas desarrolladas



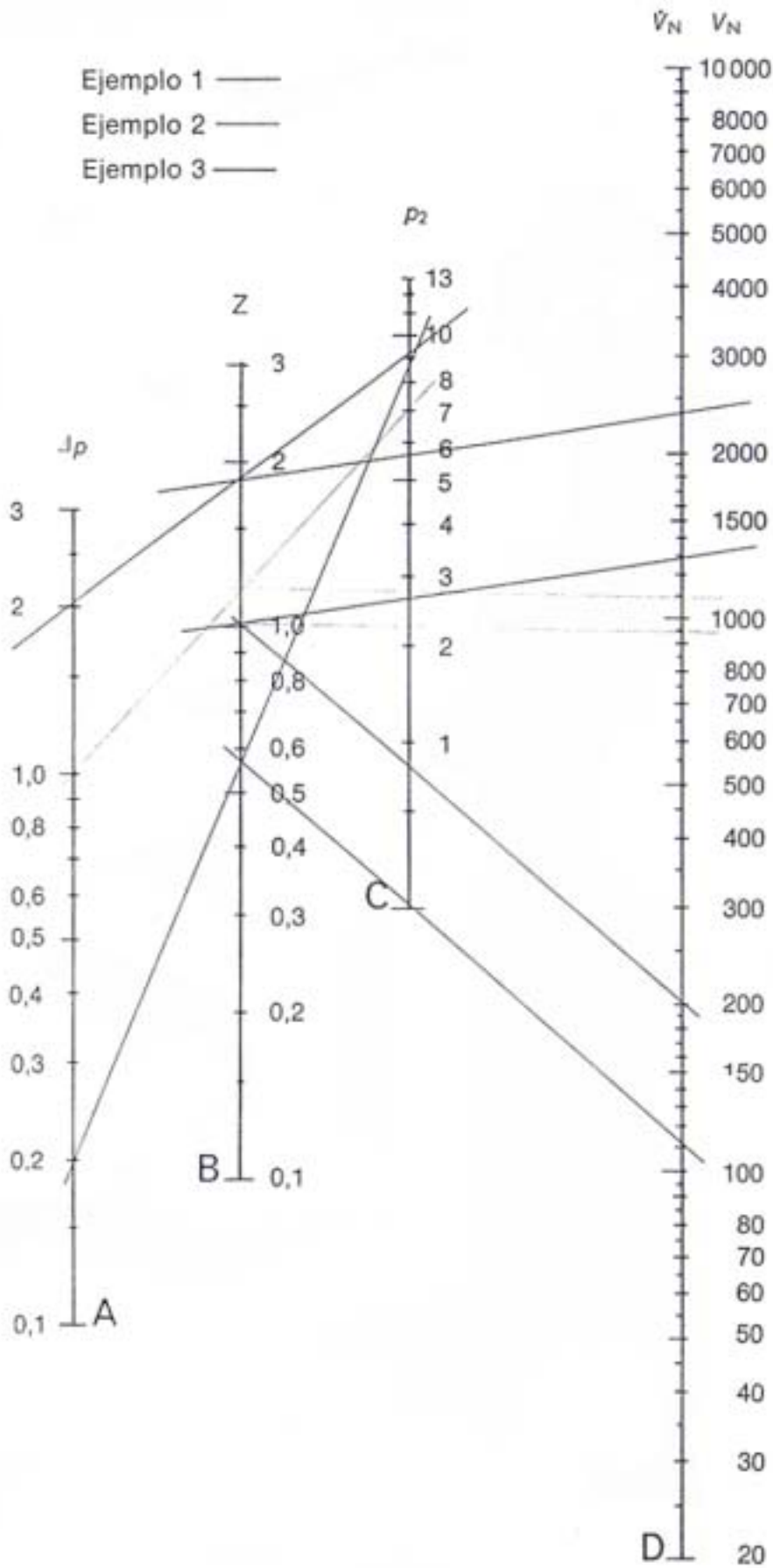




### 3.5. Diagrama de consumo de aire



### 3.6. Diagrama para la determinación del caudal de válvulas



## **Bibliografía**

- CROSER, P (1992) *Neumática. Nivel Básico TP 101. Manual de estudio*. Festo Didactic KG, D-7300 Esslingen 1.
- HASEBRINK J.P. y KOBLER R.(1992). *Introducción a la técnica neumática de mando*. Manual de estudio. Festo Didactic, S.L.,7300 Esslingen.
- DEPERT W. y STOLL K. (1982). *Dispositivos neumáticos*. Marcombo.
- DEPERT W. y STOLL K. (1980). *Aplicaciones de la neumática*. Marcombo.
- MEIXNER H. Y KOBLER R. (1980). *Introducción en la Neumática*. Manual de estudio. Festo Didactic, D-7300 Esslingen.
- MICRO. Departamento de Capacitación. *Introducción a la neumática y sus componentes*. Curso 021. Manual de aplicación. Automación Micromecánica S.A.I.C.

## **Páginas WEB**

Algunas de las consultadas son:

### **WIKA: Instrumentos de medición de presión**

[http://www.wika.com/web/ProductInformation/03\\_PressureMeasurement](http://www.wika.com/web/ProductInformation/03_PressureMeasurement)

### **OMEGA: Instrumentos de medición de presión**

<http://www.omega.com/literature/transactions/volume3/pressure.html>

### **AVP. Air & Vacuum Process, Inc.: Secadores de aire comprimido.**

<http://www.airvacuumprocess.com>

### **NASA NEUMATICA: Compresores, secadores**

<http://www.nasaneumatica.com>

### **KAESER: Compresores**

<http://www.kaeser.com>

### **FESTO PNEUMATICS: Aplicaciones y componentes para la automatización neumática**

<http://www.festo.com>

### **NORGREN: Componentes para la automatización neumática**

<http://www.usa-norgren.com>

### **PARKER HANNIFIN CORPORATION: Componentes para la automatización neumática**

<http://www.parker.com>

### **AUTOMACIÓN MICROMECAÁNICA S.A.I.C.: Componentes para la automatización neumática**

<http://www.micro.com.ar>

### **SPIRAX SARCO: Válvulas**

<http://www.spiraxsarco-usa.com>