

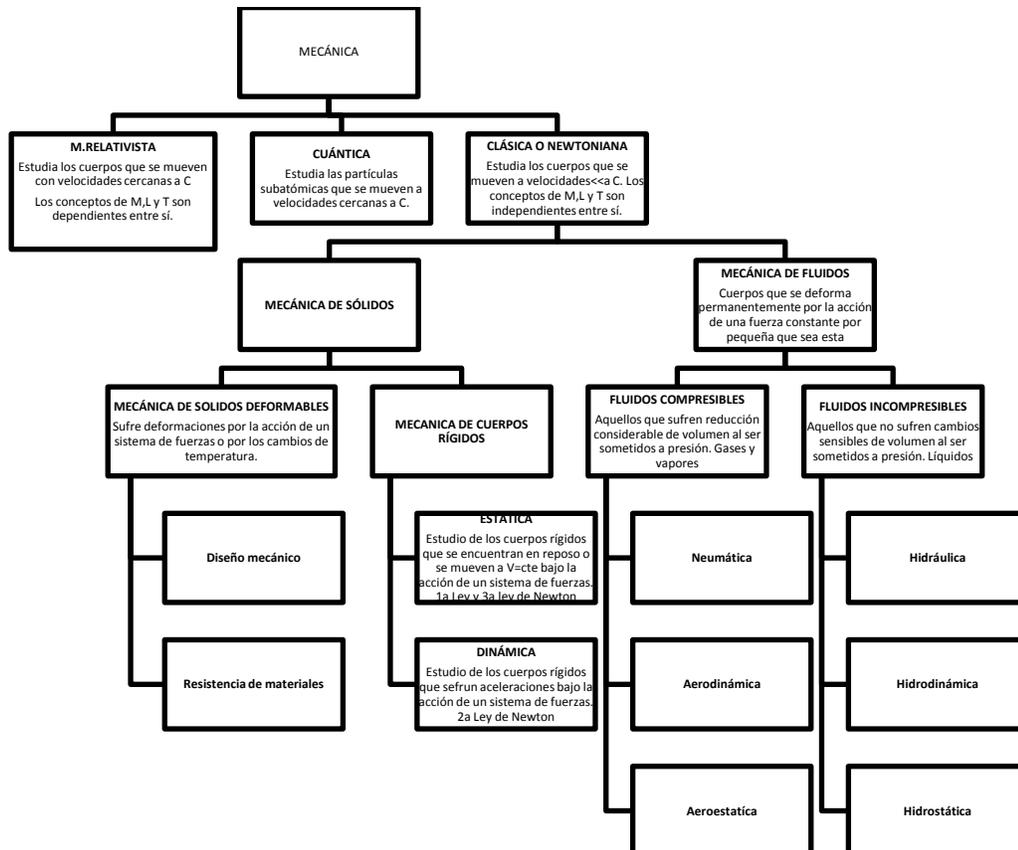
## CAPITULO 2.

### FUNDAMENTOS DE NEUMÁTICA, SENSORES Y ACTUADORES

## 2. FUNDAMENTOS DE NEUMÁTICA

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.

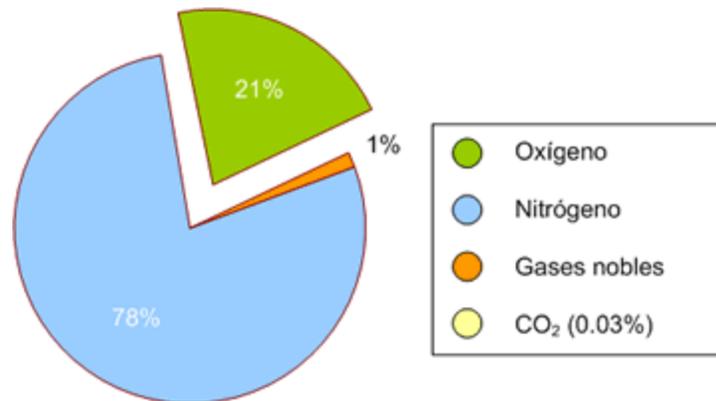
Figura 1. División de la mecánica (Fuente: autor)



## 2.1 EL AIRE Y SUS PROPIEDADES.

Se denomina aire a la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor de la Tierra por la acción de la fuerza de gravedad

Figura 2. Composición del aire



### Propiedades

- **Fluidez:** no ofrecen ningún tipo de resistencia al desplazamiento, el flujo de aire de un lugar de mayor a menor concentración sin gasto de energía
- **Compresibilidad:** un gas se puede comprimir en un recipiente cerrado aumentando la presión, Reducción de volumen del aire al verse presionado por una fuerza, pero este llega a un límite y el aire tiende a expandirse después de ese límite.
- **Elasticidad:** la presión ejercida en un gas se transmite con igual intensidad en todas las direcciones ocupando todo el volumen que lo **engloba**.
- **Expansión:** Aumento de volumen de una masa de aire al verse reducida la presión ejercida por una fuerza o debido a la incorporación de calor.
- **Volumen:** Es el espacio que ocupa el aire.
- **Masa (Presión atmosférica)**
- **Densidad:** Es de 1,18 kg/m<sup>3</sup> (a 25 °C)
- **Viscosidad:** Es de 0,018 cP (a 20 °C)
- **Propiedades de la mezcla Psicrometría**

## **APLICACIONES**

Manejo de herramientas: Pulidoras, taladros, martillos, cinceles, llaves de impacto, remachadoras.

Transferencia (carruseles, conveyors).

Atomizado y mezclado de sustancias.

Elevación de cargas.

Accionamiento de frenos.

Control de procesos (automatización).

## **VENTAJAS**

Abundante.

Almacenable.

Antideflagrante.

Fácil transporte.

Soporta temperaturas de trabajo.

Reversibilidad.

Alta velocidad (hasta 60 m/min).

A prueba de sobrecarga en los actuadores.

## **DESVENTAJAS**

Requiere preparación.

Fuerza limitada.

Presión de trabajo máxima de 7 bar.

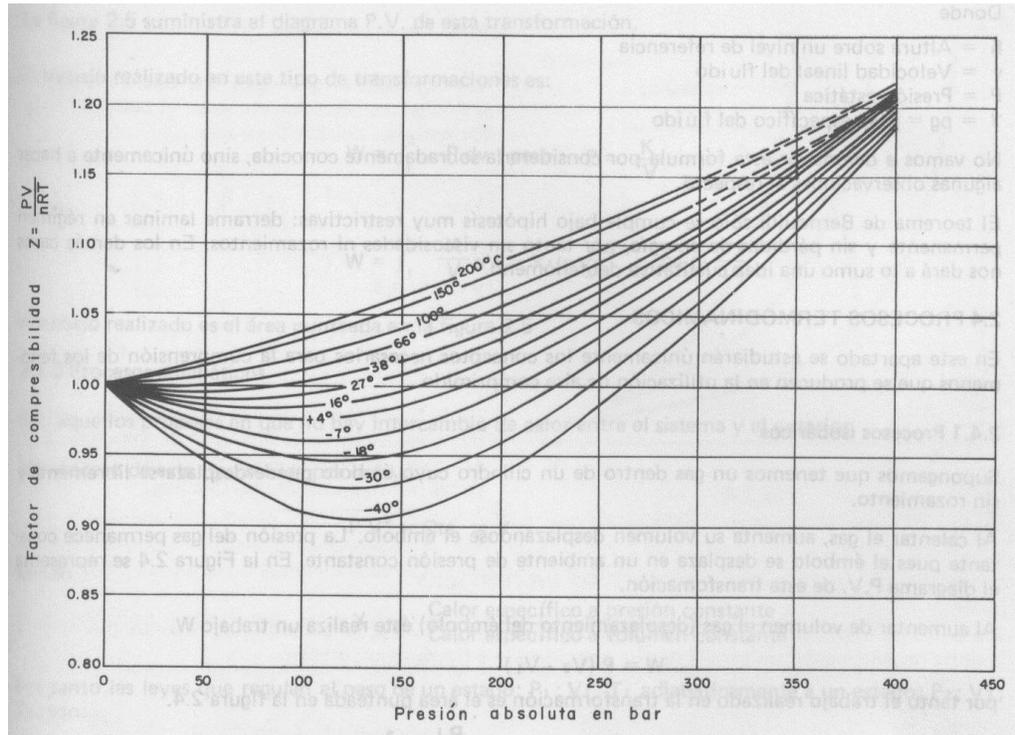
Produce ruido en el escape.

Es compresible, no soporta velocidades bajas.

Tiene costos asociados (Instalación, operación y mantenimiento).

## El aire como gas ideal.

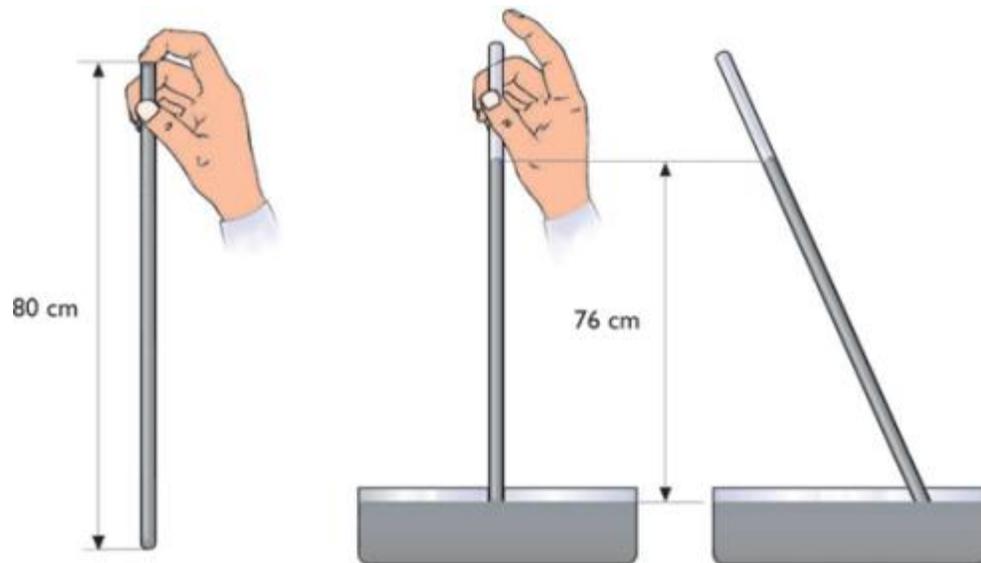
El aire a las temperaturas y presiones a las que se usan en aplicaciones industriales puede ser considerado como un gas perfecto cometiendo un error máximo de un 3%.



$$PV = znRT$$

**Presión atmosférica:** Fuerza que ejerce la columna de aire sobre todos los cuerpos. Su valor depende del lugar donde se mida.

**Experimento de Torricelli (1643).** Experimento realizado por E. Torricelli al introducir verticalmente un tubo de vidrio, cerrado por uno de sus extremos y de longitud superior a 76 cm, completamente lleno de mercurio y por el extremo abierto en el mercurio contenido en una cubeta. La diferencia de niveles de mercurio en el tubo y en la cubeta permite calcular la presión atmosférica. Para poder seguir las variaciones de presión atmosférica, se coloca una regla graduada al lado del tubo, cuyo cero coincida exactamente con el nivel que tenga el mercurio en la cubeta. En un lugar determinado la presión atmosférica experimenta variaciones que, en parte, están relacionadas con los cambios que sufre el estado del tiempo. El valor medio de la presión atmosférica al nivel del mar corresponde a una columna de mercurio de 76 cm de altura (presión normal).



$$P = \gamma \cdot h = \rho \cdot g \cdot h = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 760 \times 10^{-3} \text{m de Hg} = 101292 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Figura 3. Presión atmosférica con referencias.

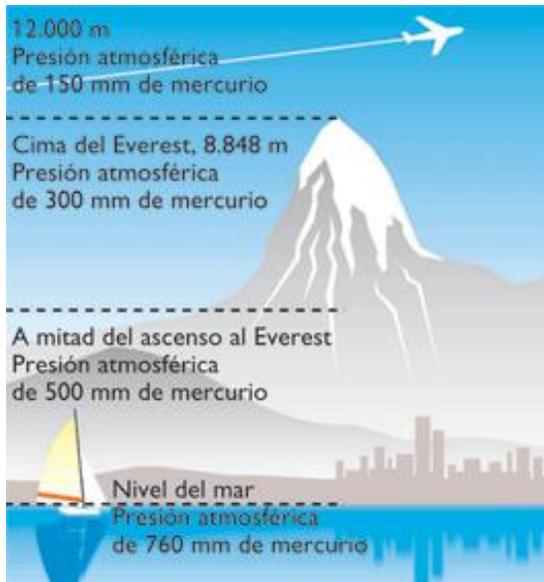
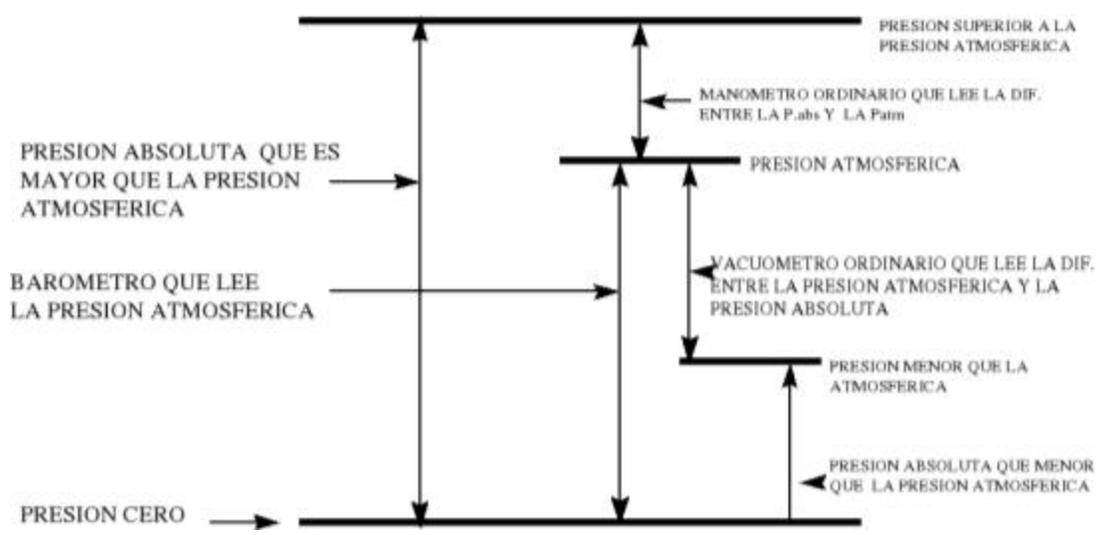


Figura 4. Referencias de presiones positivas y negativas



Atmósfera estándar:

$$1\text{atm} = 760\text{mmHg} = 1,033\text{bar} = 101,325\text{kPa} = 14,7\text{psi} = 1\text{kgf/cm}^2$$

## PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN CUALQUIER PUNTO, TOMANDO UNO COMO REFERENCIA

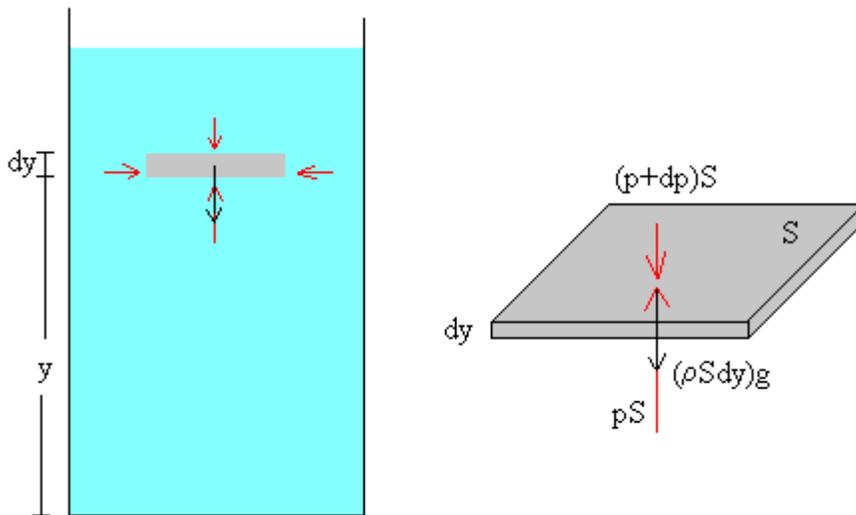
La presión atmosférica varía según la altura en la cual estamos ubicados y se puede establecer mediante la siguiente ecuación.

$$PV = mRT$$

$$P = \frac{mRT}{V} = \rho RT$$

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{P}{\frac{RT}{M}} = \frac{PM}{RT}$$

Consideremos una porción de fluido en equilibrio de altura  $dy$  y de sección  $S$ , situada a una distancia  $y$  del fondo del recipiente que se toma como origen.



Las fuerzas que mantienen en equilibrio a dicha porción de fluido son las siguientes:

- El peso, que es igual al producto de la densidad del fluido, por su volumen y por la intensidad de la gravedad,  $(\rho S \cdot dy)g$ .
- La fuerza que ejerce el fluido sobre su cara inferior,  $pS$
- La fuerza que ejerce el fluido sobre su cara superior,  $(p+dp)S$

La condición de equilibrio establece que

$$(\rho S \cdot dy)g + (p + dp)S = pS$$

$$dp = -\rho \cdot g \cdot dy$$

$$\frac{dP}{dy} = -\rho g = -\frac{PM}{RT} g$$

Despejando

$$dP \cdot \frac{1}{P} = -\frac{Mg}{RT} dy$$

Ahora integrando a ambos lados y evaluando

$$\int \frac{1}{P} dP = \int -\frac{Mg}{RT} dy$$

Y aplicando logaritmo natural a ambos lados tenemos que

$$\ln \frac{P}{P_0} = -\frac{Mgy}{RT}$$

Y aplicando exponencial para despejar la presión.

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{Mgy}{RT}}$$

Ejercicio.

Calcular la presión atmosférica para la ciudad de Pereira, sabiendo que la ciudad está ubicada a 1411 m.s.n.m. y tiene una temperatura promedio de 20°C.

## 2.2. LEYES Y PRINCIPIOS QUE LA RIGEN.

El aire es un material elástico y por tanto, al aplicarle una fuerza, se comprime, mantiene esta compresión y devolverá la energía acumulada cuando se le permita expandirse, según la ley de los gases ideales.

2.2.1. Definición de presión. Es la magnitud que relaciona la fuerza con la superficie sobre la que actúa, es decir, equivale a la fuerza que actúa sobre la unidad de superficie.

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

2.2.2. Ecuación de los gases ideales. A partir de observaciones experimentales se ha establecido el comportamiento de P, v y T de los gases a baja densidad mediante la siguiente ecuación.

$$PV = mRT$$

De donde:

P: presión

V: volumen

m: masa

R: constante del aire

T: temperatura

R del aire:

$$R = \frac{\bar{R}}{M}$$

De donde:

$$\bar{R} = \text{constante universal de los gases} = 8,3145 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

$$M \text{ aire} = 28,97 \text{kg/kmol}$$

$$M \text{ aire aprox según la comp.} = \left( \frac{2 \times 16 \text{kg}}{\text{kmol}} \right) \left( \frac{0,21}{21\%} \right) + \left( \frac{2 \times 14 \text{kg}}{\text{kmol}} \right) \left( \frac{0,78}{78\%} \right) = 28,56 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

Existen ecuaciones que nos definen los estados en un proceso, para los estados 1 y 2.

Estado 1.  $P_1 V_1 = mRT_1$

Estado 2.  $P_2 V_2 = mRT_2$

Despejando  $mR$  e igualando las ecuaciones podemos llegar a la conocida ecuación general de los gases.

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$$

**2.3. Ley de Boyle-Mariotte.** El volumen de un gas es inversamente proporcional a su presión para un proceso a  $T$  constante.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

**2.4. Leyes de Charles y Gay-Lussac.**

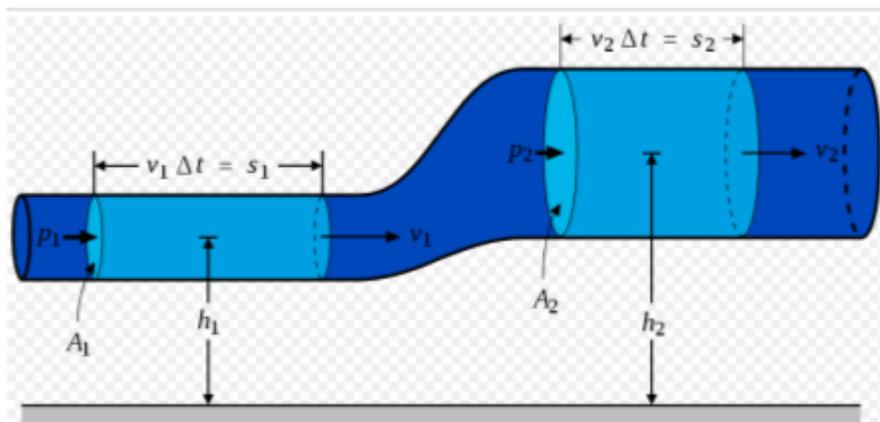
- Proceso a presión constante o proceso isobárico

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

- Proceso a volumen constante o proceso isócoro.

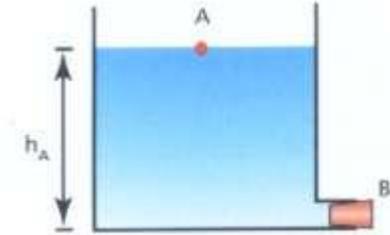
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

**2.5 Ecuación de Bernoulli.** Describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Se supone que el fluido es incompresible, flujo estable y el fluido no es viscoso o sea no tiene fricción.



$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

Velocidad de salida del fluido en un orificio. Aplicamos Bernoulli entre los puntos A y B.



$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

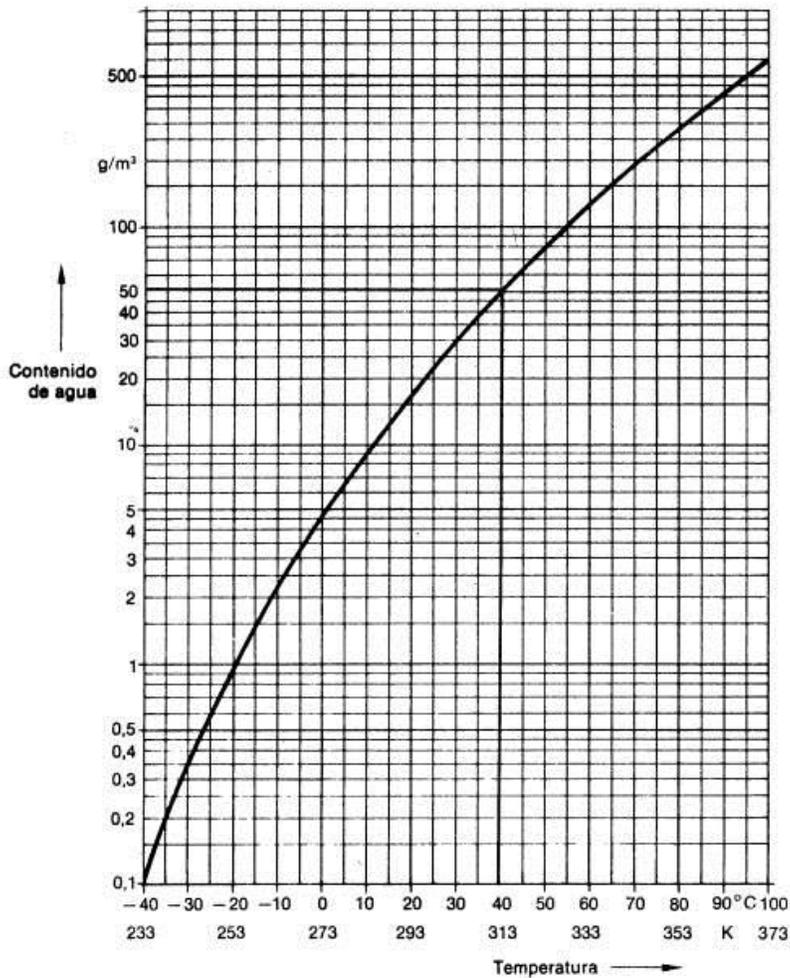
Suponiendo que la velocidad en el punto A es aproximadamente cero y que la presión atmosférica actúa tanto en el punto A y el punto B, la ecuación se reduce quedando:

$$v_2^2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_A}$$

### Humedad en el aire.

**Humedad de saturación:** máxima cantidad de vapor que contiene un metro cúbico de aire a una presión y temperatura dadas.

T(°C)	g/m <sup>3</sup>
-20	0,89
-10	2,16
0	4,85
10	9,4
20	17,3
30	30,37
40	51,17



**Humedad absoluta:** cantidad de vapor de agua por metro cúbico del aire que estamos analizando

**Humedad relativa:** es el cociente de la humedad absoluta entre la humedad de saturación, por lo general se expresa en porcentaje.

$$HR = \frac{\text{Humedad absoluta}}{\text{Humedad de saturación}}$$

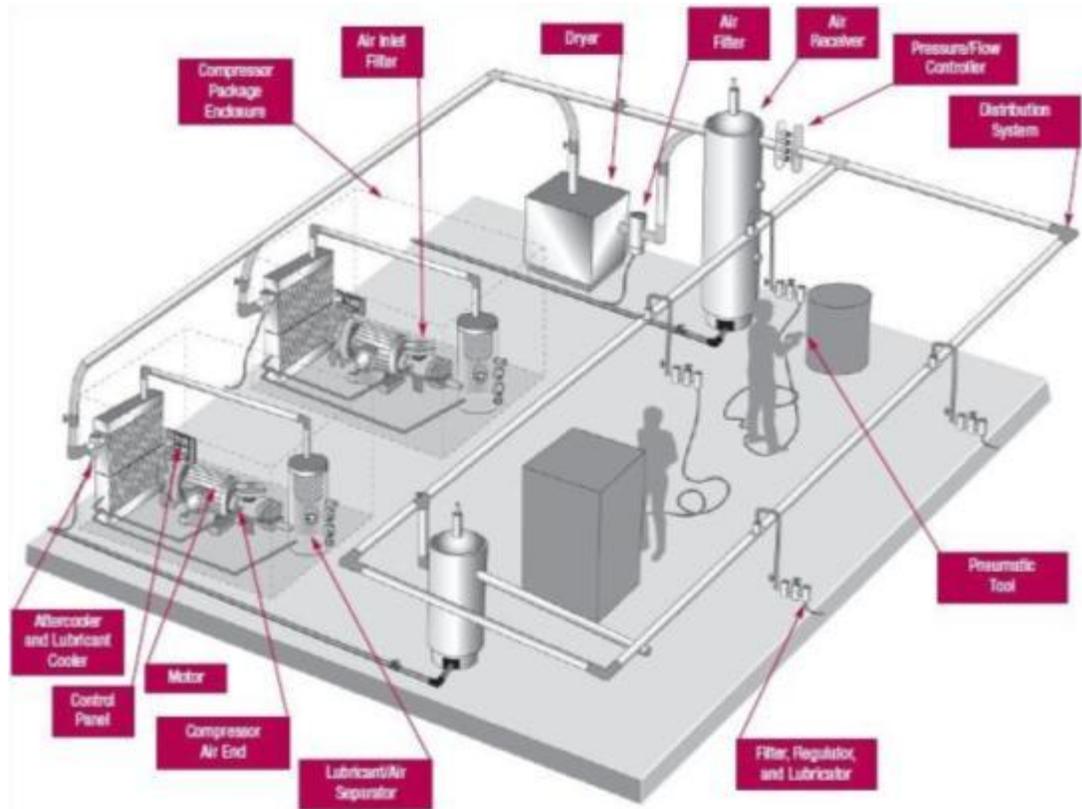
**Ejercicio.** 3,5 m<sup>3</sup> de aire atmosférico a 20°C y 65% de humedad relativa se comprimen con un compresor de 400l. Qué cantidad de agua se condensará si la temperatura dentro del tanque es de 40°C y cuál será su presión final?

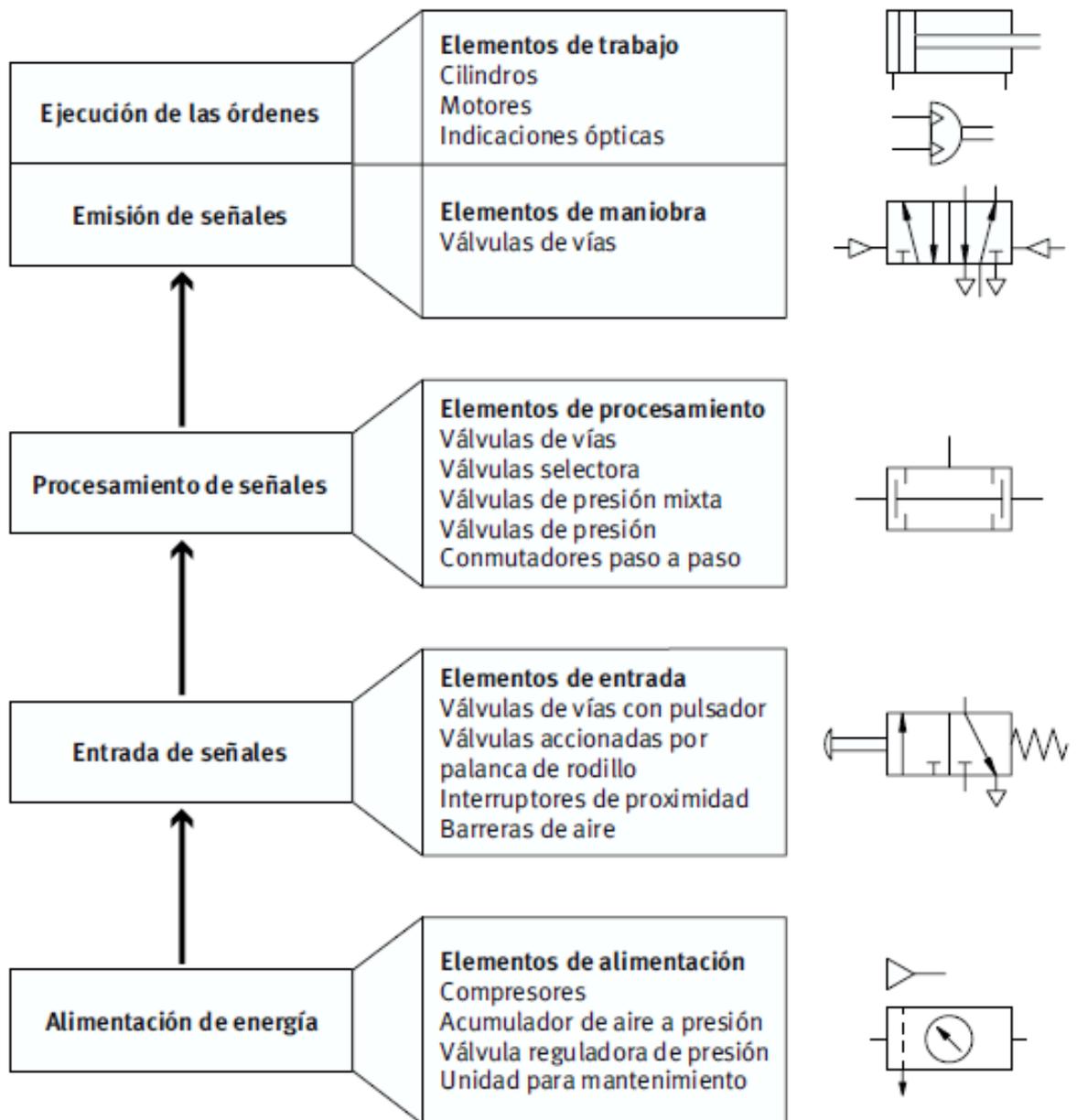
**Densidad del aire.** La densidad del aire es una propiedad que varia con las condiciones externas y a las cuales este sometido, la densidad está definida como la masa sobre la unidad de volumen y se denota comúnmente por la letra del alfabeto griego  $\rho$ .

**Ejercicio.** Hallar la densidad del aire para la ciudad de Bogotá sabiendo que la presión atmosférica es de 560mm de Hg y la temperatura promedio es de 20°C.

### 2.3. COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA NEUMÁTICO Y SU REPRESENTACIÓN.

La figura introduce el esquema básico de una instalación de aire comprimido para una nave industrial. Los elementos principales que la componen son el compresor (que incluye normalmente un depósito de almacenamiento de aire comprimido), el enfriador (aftercooler), un deshumidificador (moisture separator), las líneas de suministro, y los puntos de consumo con su regulador y filtro.





### 2.3.1. COMPRESORES Y TIPOS DE COMPRESORES

La producción y consumo de aire comprimido se especifican en N l/min o N mm<sup>3</sup>/min es decir en aire libre (atmosférico) cuando no es así se debe emplear la siguiente fórmula para la conversión.

$$Q = Q1 \left( \frac{P + 1,033}{1,033} \right)$$

Donde:

Q: litros de aire libre por minuto

Q1: litros de aire comprimido por minuto

P: presión del aire comprimido en kgf/cm<sup>2</sup>

Existen diversas denominaciones utilizadas por los fabricantes para indicar la cantidad de aire que proporciona el compresor, tales como desplazamiento volumétrico volumen engendrado, etc. Bajo estos nombres genéricos se considera un caudal de aire expresado en cifras teóricas que no responde al verdadero caudal de aire suministrado por el compresor, mientras que el consumo de los equipos neumáticos se da en cifras efectivas.

Es evidente que si adquirimos un compresor basándonos en alguna de las citadas especificaciones, nos encontraremos con que la cantidad de aire realmente suministrada es de un 20 a un 25% inferior a la indicada, pues ningún compresor rinde una prestación del 100 %.

Para evitar estas ambigüedades solamente se deben adquirir compresores que garanticen el caudal de aire en consonancia con las condiciones de temperatura y presión de la aspiración, es decir, en litros o m<sup>3</sup> de aire libre.

Como sea que el clima es variable y responde a las características propias de cada lugar, sería dificultoso establecer unas tablas de consumos que correspondieran a los diferentes estados cismáticos; por ello, se va imponiendo el establecimiento de una normativa sobre la base de considerar unas condiciones normales de temperatura y presión del aire aspirado, independientemente de las condiciones atmosféricas en las cuales trabaje el compresor y que sirven de referencia comparativa, aire que llamaremos "aire normal o "aire normalizado"

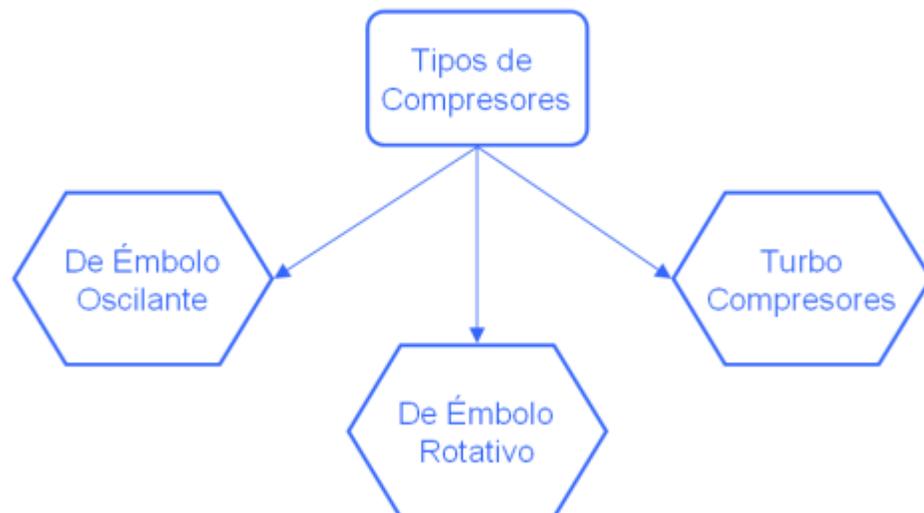
distinguiéndolo con una N (Mayúscula) que situaremos después de las cifras y antes del volumen expresado. Por ejemplo: 600 N m<sup>3</sup>/h, equivale a un sistema que proporciona 600 m<sup>3</sup>/h expresados en condiciones normales.

Las condiciones normales varían según el área de influencia tecnológica . Los que siguen las indicaciones del "Compressed Air & Gas Institute" de U.S.A. 1 N m<sup>3</sup>/h es un m<sup>3</sup> de aire por hora a la temperatura de 20° C a la presión de 1.033 kg/cm<sup>2</sup> y con una humedad relativa del 36 por ciento.

En la zona europea, la norma C.E.T.O.P. RP-44P, propone como condiciones atmosféricas normales las que están especificadas en la ISO R 554, y que corresponden a la temperatura de 20° C a la presión de 101.3 mbar y con una humedad relativa del 65%.

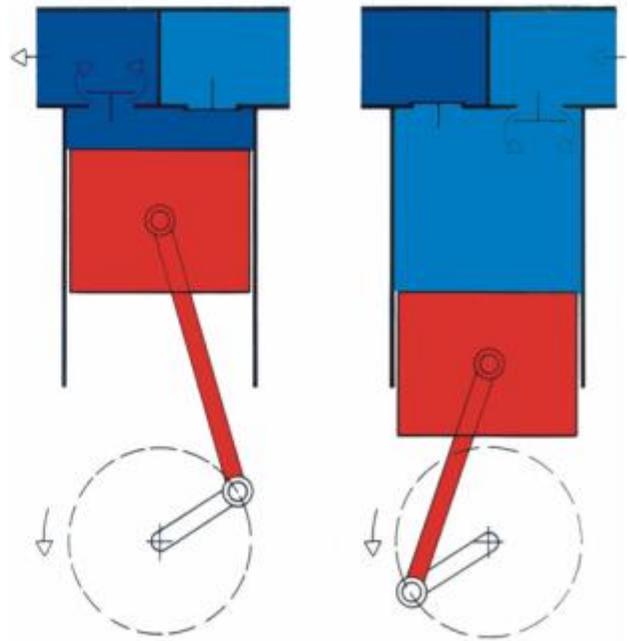
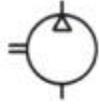
El compresor es uno de los elementos primordiales en un sistema de aire comprimido, ya que es el encargado de la reducción del volumen y en algunos casos el almacenamiento. Gracias a este se pueden llevar a cabo la transmisión de la energía a lo largo de la tubería hasta sitios remotos donde se tienen los actuadores.

### Producción del aire comprimido

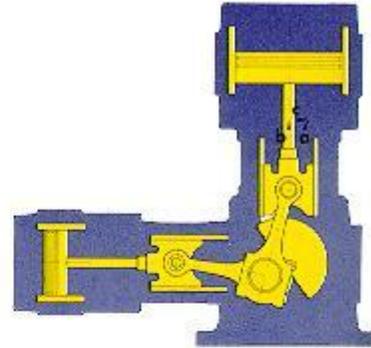
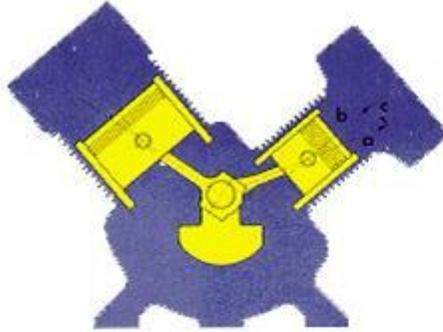
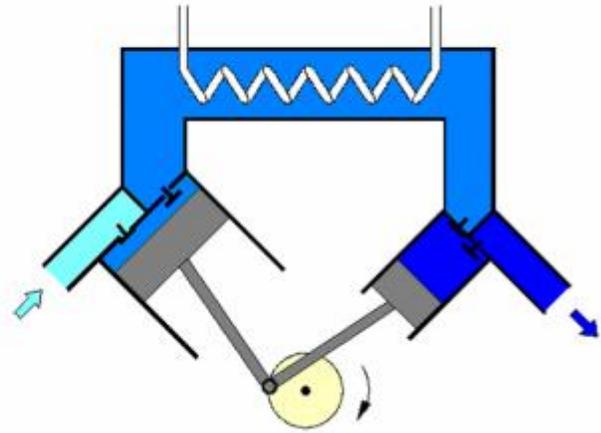


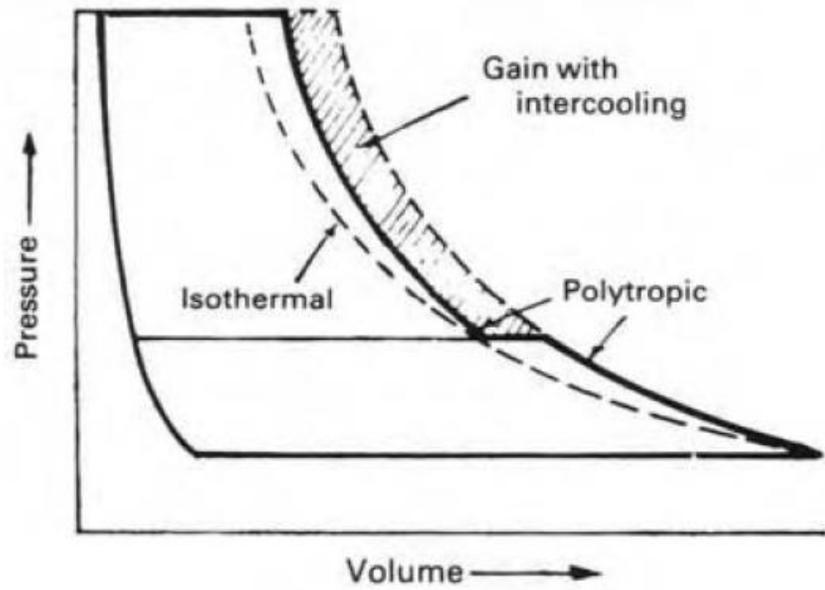
## Compresores de émbolo oscilante

### Compresor de pistón

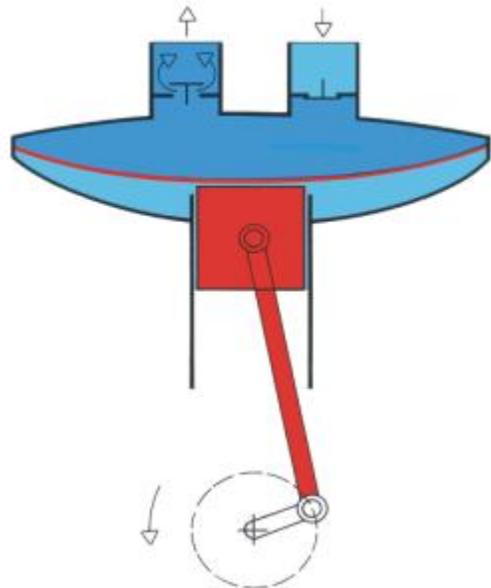


## Compresor de doble pistón



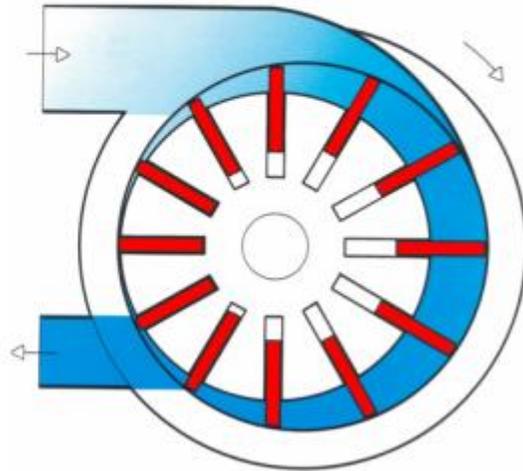


**Compresor de membrana**

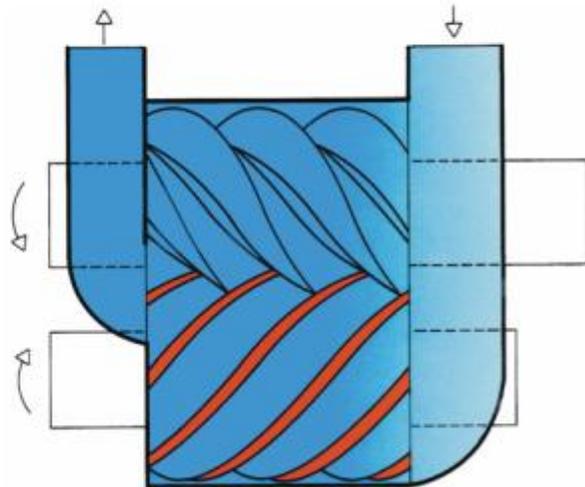
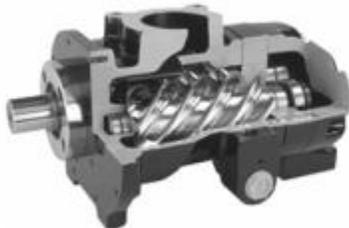


## Compresores de émbolo rotativo

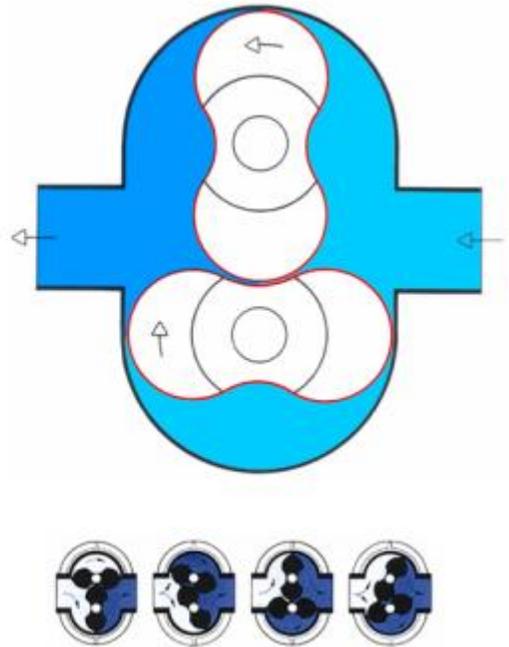
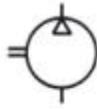
### Compresor rotativo multicelular



### Compresor de tornillo helicoidal

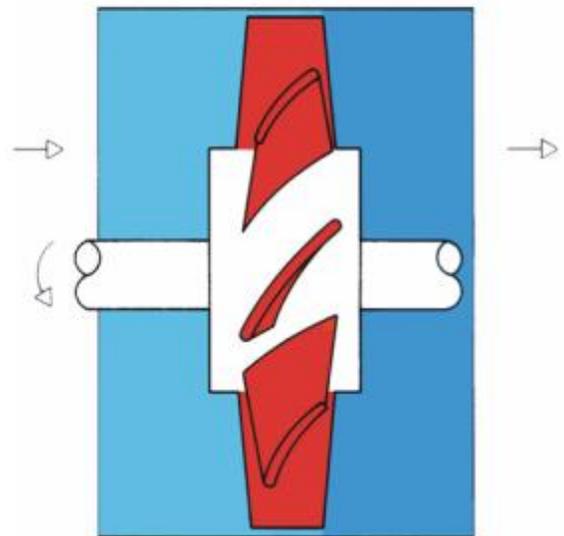


## Compresor Roots

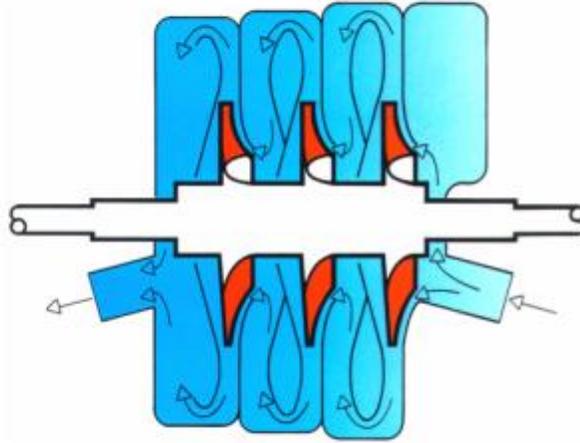
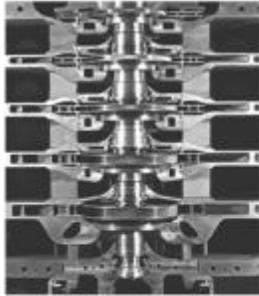


## Turbocompresores

### Compresor Axial



## Turbocompresor Radial



### SELECCIÓN DEL COMPRESOR

La selección del tipo de compresor y de su capacidad son parámetros críticos en el diseño de una instalación de aire comprimido. Una acertada elección supone un gran ahorro energético durante el funcionamiento normal de la instalación.

Para elegir correctamente el tipo de compresor más apropiado para las necesidades de diseño, es preciso conocer el consumo total de aire comprimido.

En general, el consumo total de aire comprimido es aquel que resulta de sumar el consumo de todos los equipos neumáticos y accesorios conectados en la planta, trabajando a pleno rendimiento.

Puesto que todos los elementos neumáticos de una instalación no trabajan generalmente a toda su capacidad al mismo tiempo durante las 24 horas del día, es habitual definir un factor de carga como:

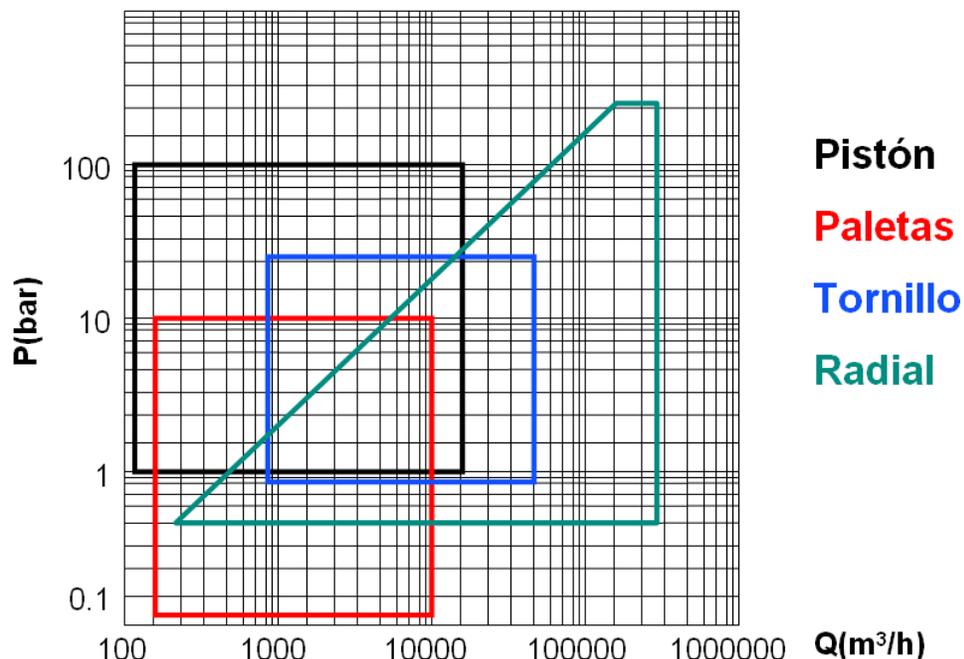
$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Consumo de aire en 24 horas}}{\text{Máximo consumo continuado en 24 horas}}$$

Este factor de carga trata de tener en cuenta los consumos intermitentes de aire, para optimizar al máximo los tiempos de arranque del compresor que rellenan de aire comprimido los depósitos.

En general, se establecen cinco pasos básicos para fijar correctamente la capacidad del compresor. A saber:

1. Estimar el total de consumos de todos los dispositivos que emplean aire.
  2. Determinar la presión más elevada que requieran estos elementos.
  3. Revisar los ciclos de trabajo y determinar los factores de carga de los elementos.
  4. Estimar un valor típico de fugas.
  5. Fijar las máximas caídas de presión admitidas tanto para los diversos elementos como para las conducciones.
  6. Otras consideraciones que afecten al diseño: condiciones medioambientales del entorno, altura sobre el nivel del mar.
- Una vez determinado el consumo necesario y la presión demandada al compresor, se ha de elegir el tipo más adecuado para dicha aplicación de acuerdo al consumo y la presión necesaria.

### Diagrama de Caudal



Especificaciones a tener en cuenta en la selección de un compresor.

- **Caudal.** Cantidad de aire que suministra el compresor. Existen dos tipos. Caudal teórico el cual es propio de los compresores oscilantes. El caudal teórico es igual al producto de la cilindrada x velocidad.  
Y existe el caudal efectivo o real, el cual depende del tipo de compresor, de la presión y del rendimiento volumétrico.
- **Presión.** Fuerza que ejerce un fluido sobre las paredes de un depósito. Existen dos tipos de presión a tener en cuenta, la presión de servicio, la cual es suministrada por el compresor o acumulador y existe en las tuberías que alimentan a los consumidores y la presión del puesto de trabajo, la cual es la necesaria en el puesto de trabajo considerado.
- **Accionamiento.** El compresor puede ser accionado por un motor eléctrico o por un MCI.
- **Regulación.** Existen diferentes tipos de regulación en los cuales la presión varía entre dos valores límites ajustados (Presión máxima y mínima)
  - Regulación de marcha en vacío:
    - a. Regulación por escape a la atmósfera, trabaja con una válvula reguladora de presión a la salida del compresor
    - b. Regulación por aislamiento de la aspiración, se bloquea el lado de aspiración del motor.
    - c. Regulación por apertura de la aspiración. Por medio de mordazas se mantiene abierta la válvula de aspiración y el aire circula sin que el compresor comprima.
  - Regulación de carga parcial:
    - a. Regulación de velocidad de rotación, este puede ser un elemento de control que acciona la apertura de la mariposa del carburador o los inyectores del motor de combustión interna. Si el accionamiento es por motor eléctrico se puede hacer por medio de polos conmutables.
    - b. Regulación del caudal aspirado, se obtiene por medio de estrangulación del caudal de aspiración en compresores rotativos o turbo compresores.
  - Regulación por intermitencia:
 

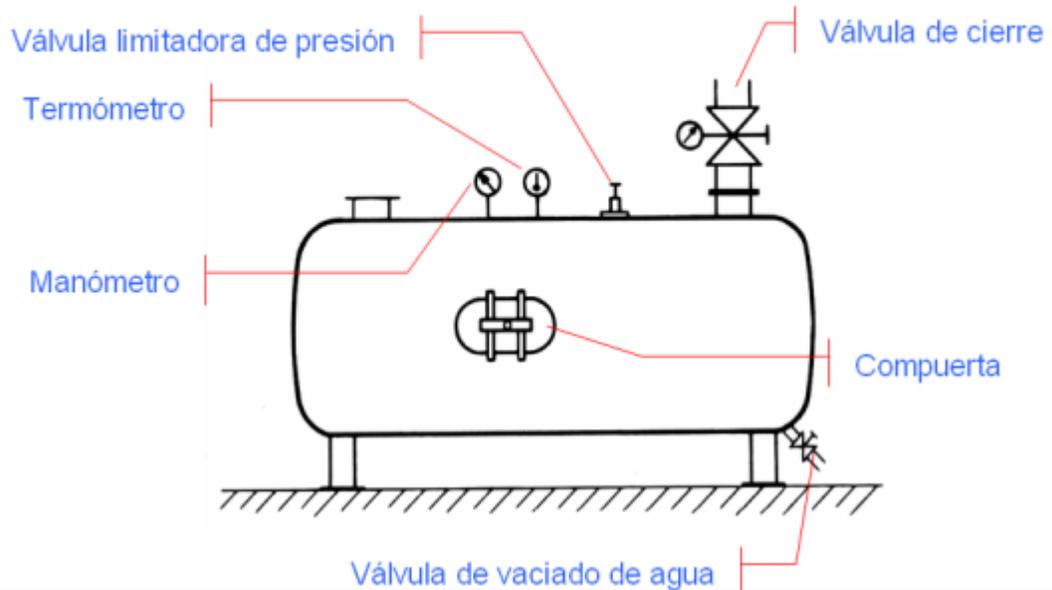
Este se caracteriza por que el compresor funciona a plena a carga o está desconectado. Esto se puede hacer por medio de un presóstato.
- **Refrigeración.** la presión genera calor y este debe evacuarse, esta refrigeración puede ser por aire, aletas y en algunos casos ventilador, o por

agua cuando consta de un sistema de refrigeración por circulación de agua en sistema cerrado o abierto.

- **Emplazamiento.** La estación del compresor debe situarse en un local cerrado e insonorizado, debe estar bien ventilado y el aire aspirado debe ser fresco, seco y libre de partículas.

**ACUMULADOR O RESERVORIO.** Este sirve para estabilizar el suministro de aire comprimido, compensar las oscilaciones en la red y enfriar el aire y condensar el agua debido a la superficie

**Acumulador:** 





Aunque no existe una norma general para dimensionar depósitos, estos se deben diseñar teniendo en cuenta la demanda y el tamaño del compresor, utilizando los arranques por hora y los tiempos máximos de funcionamiento del compresor como parámetros de diseño.

Normalmente suele ir integrado dentro del compresor, como una parte más de la unidad que proporciona aire comprimido. De hecho, los compresores suelen trabajar de forma discontinua, arrancando cuando la cantidad de aire que queda almacenada en el compresor es baja. Además, el depósito sirve para amortiguar las fluctuaciones de caudal que vienen del compresor (especialmente en los CDP) y evitar que se transmitan a los puntos de consumo.

Por tanto, el compresor se regula para que arranque y pare y almacene el aire a presión en el depósito, tratando de espaciar al máximo sus ciclos de trabajo. Como norma general se acepta que los compresores alternativos trabajen durante unas 10 veces a la hora, con un máximo de funcionamiento del 70%. Por el contrario, compresores centrífugos, de husillo y de paletas deslizantes, pueden trabajar el 100% del tiempo

Si el compresor no funciona de modo continuo, poniéndose en marcha únicamente si la presión en un depósito disminuye hasta un nivel de presión previamente definido, entonces debe tenerse en cuenta la cantidad de operaciones de conexión y desconexión del motor. Para evitar un desgaste prematuro, el motor en cuestión sólo debe ponerse en marcha entre 6 y 10 veces por hora.

## Selección del depósito en función de la frecuencia de conexión

Para calcular el volumen necesario del depósito ( $V_{dep}$ ) en  $m^3$ , deberá aplicarse la siguiente fórmula

$$V_{dep} = \frac{15 * V_{ef} * p_1}{Z_s * \Delta p}$$

De donde:

$p_1$ : presión del entorno en bar

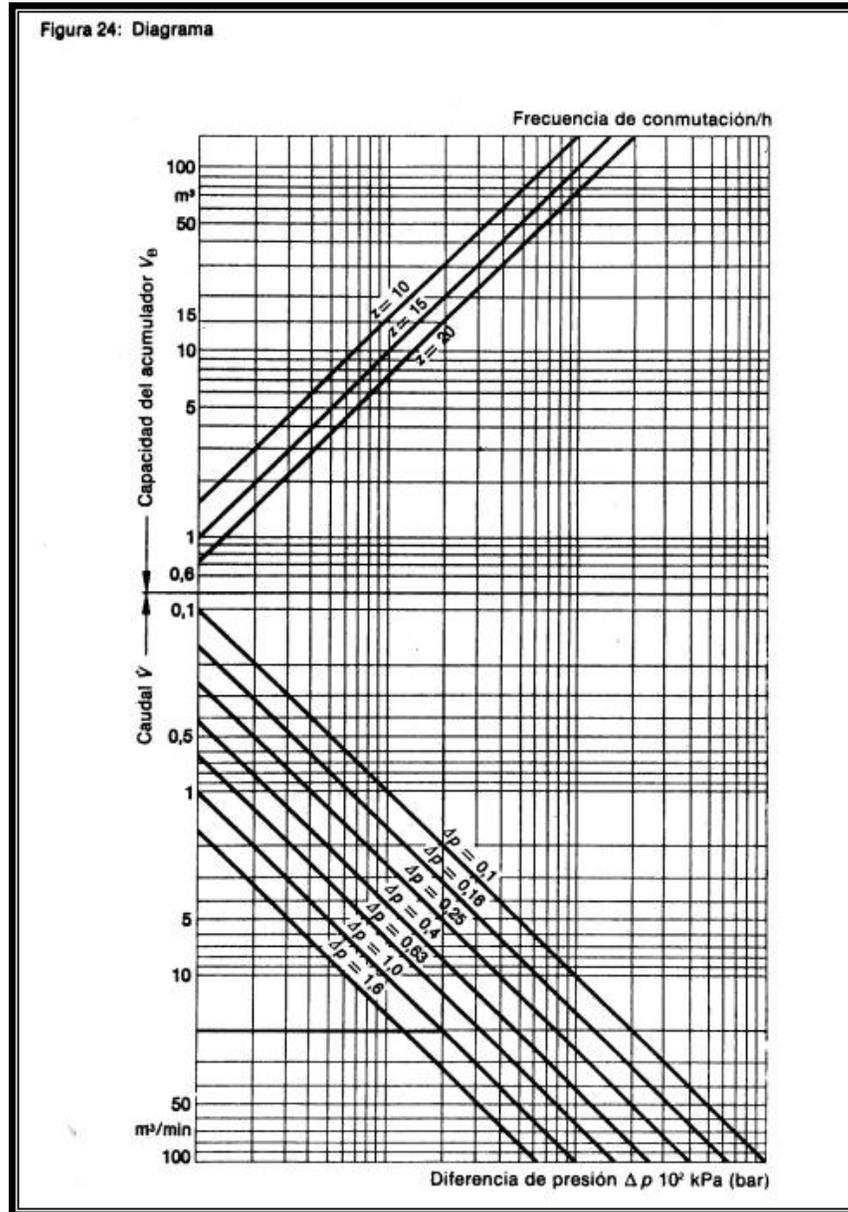
$Z_s$ : frecuencia de conexión en  $h^{-1}$ .

$\Delta p$ : diferencia de presión de conexión en bar

$V_{ef}$ : cantidad efectiva en  $m^3/min$

$V_{dep}$ : volumen del depósito en  $m^3$

Otra forma es usar el siguiente diagrama:

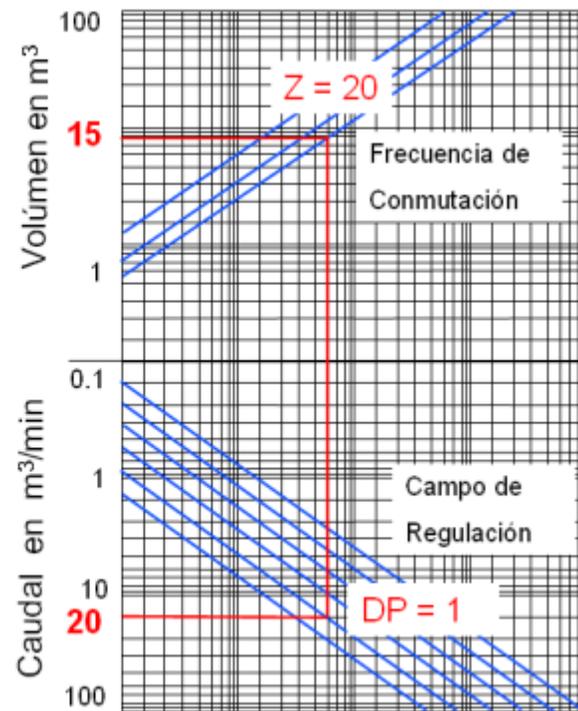


Ejemplo:

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

$DP=1 \text{ bar}$

$Z=20 \text{ 1/h}$



**2.4.1. CÁLCULO DE TUBERÍAS Y CAÍDAS DE PRESIÓN.** La red de aire comprimido, se encarga de transportar el aire hasta los diferentes puntos donde se requiere. Su configuración o tendido puede adoptar varias formas según la necesidad.

### **DIÁMETRO DE LA TUBERÍA**

Una influencia directa en el rendimiento de los compresores, de los consumidores y por lo tanto en los costos de la generación de aire comprimido implica naturalmente también el correcto dimensionamiento de la red de aire comprimido.

Los criterios más importantes para el dimensionamiento de la red de aire comprimido son:

- El flujo volumétrico,
- La presión de servicio,
- El largo de la tubería,
- La caída de presión.

Bajo consideración de estos criterios puede determinarse el diámetro correcto de la tubería de aire comprimido. El dimensionamiento del diámetro de tubería se define de las siguientes maneras:

### **1. Sobre la base de los diagramas / nomogramas convencionales de dimensionamiento**

Ejemplo:

Cálculo de una tubería:

El consumo de aire en una industria es de  $4 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $240 \text{ m}^3/\text{h}$ ). En 3 años aumentará un 300%, lo que representa  $12 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $720 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

El consumo global asciende a  $16 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $960 \text{ m}^3/\text{h}$ ) La red tiene una longitud de 280 m; comprende 6 piezas en T, 5 codos normales, 1 válvula de cierre. La pérdida admisible de presión es de  $\Delta p = 10 \text{ kPa}$  (0,1 bar). La presión de servicio es de 800 kPa (8 bar).

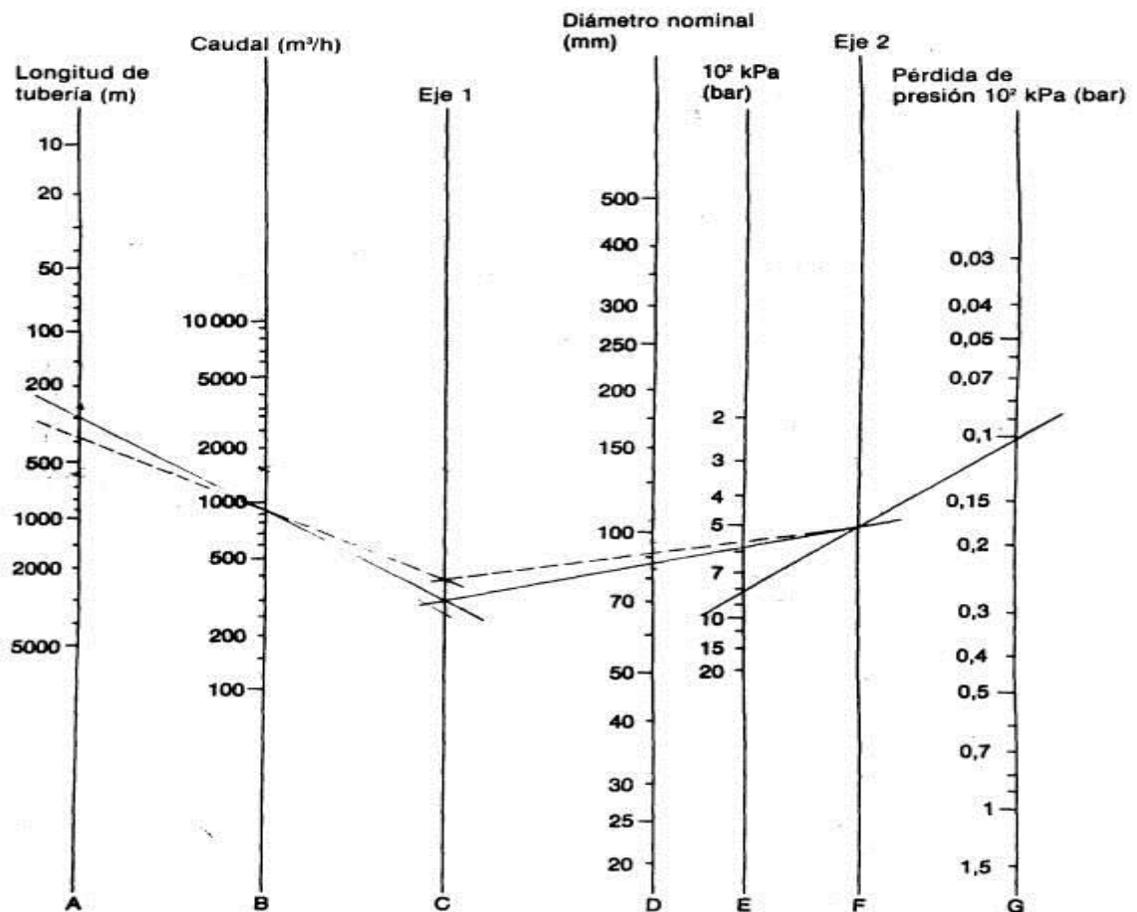
Se busca: El diámetro de la tubería

El nomograma de la figura 25, con los datos dados, permite determinar el diámetro provisional de las tuberías.

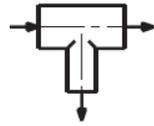
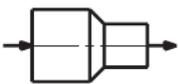
Solución:

En el nomograma, unir la línea A (longitud M tubo) con la B (cantidad de aire aspirado) y prolongar el trazo hasta C (eje I). Unir la línea E, (presión). En la línea F (eje 2) se obtiene una intersección. Unir los puntos de intersección de los ejes 1 y 2. Esta línea corta la D (diámetro nominal de la tubería) en un punto que proporciona el diámetro deseado.

En este caso, se obtiene para el diámetro un valor de 90 mm.



Tomado del manual de neumática de FMA Pokorny, Francfort

Denominación	Accesorio	Longitudes equivalentes en metros									
		Diámetro interior d del tubo en milímetros									
		9	12	14	18	23	40	50	80	100	
Válvula esférica		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	1,0	1,3	
Codo		0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	2,5	3,5	4,5	6,5	
Pieza en T		0,7	0,85	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	7,0	10	
Reductor de 2d a d		0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,9	1,0	2,0	2,5	

2. Utilizando las tablas convencionales en las cuales se puede consultar el diámetro directamente

*Figura 5. Caudal máximo recomendado en tuberías de aire a presión para longitudes no superiores a 15m (Fuente: Neumática, hidráulica y electricidad aplicada de Roldan Vilorio)*

Presión inicial kg/cm <sup>2</sup>	DIAMETRO NOMINAL EN ROSCA GAS DE LAS TUBERIAS STANDARD								
	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
	CAUDAL MAXIMO RECOMENDADO (Litros minuto de aire libre)								
0,7	14	65	156	340	708	1133	2548	3539	7079
1,4	25	108	255	566	1133	1840	4247	5946	12743
2,1	34	142	340	849	1557	2831	5663	9061	16990
2,8	42	198	453	1048	1982	3539	7079	10619	21238
3,5	57	241	566	1274	2407	4248	9203	12742	25483
4,2	65	269	651	1557	2831	4814	9911	15574	29783
4,9	76	325	765	1699	3398	5380	12743	18406	32564
5,6	85	368	849	1840	3681	6513	13450	19822	36812
6,3	93	396	963	1982	4247	7079	14158	22653	42475
7,-	105	425	1048	2124	4814	8495	15854	25845	50970
8,7	119	510	1274	2973	5663	9911	20388	28317	59465
10,5	142	651	1416	3398	6513	11326	24069	31148	67960
12,3	173	708	1699	3828	7362	12742	26901	36812	76456
14,0	190	793	1982	4247	9061	14442	29732	42475	84950
18	232	1098	2664	5814	11651	20388	33495	58252	116504
20	256	1300	3000	6460	12960	23100	37400	66600	132540
25	317	1725	3850	8075	16250	28875	47000	85125	169500

### 3. Mediante cálculos y usando una fórmula de aproximación

$$d = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times \dot{V}^{1,85} \times L}{\Delta p \times p_1}}$$

$d$  = Internal diameter of the pipeline [m]

$\dot{V}$  = Total volumetric flow rate [m<sup>3</sup>/s]

$L$  = Nominal length of the pipeline [m]

$\Delta p$  = Pressure drop [bar]

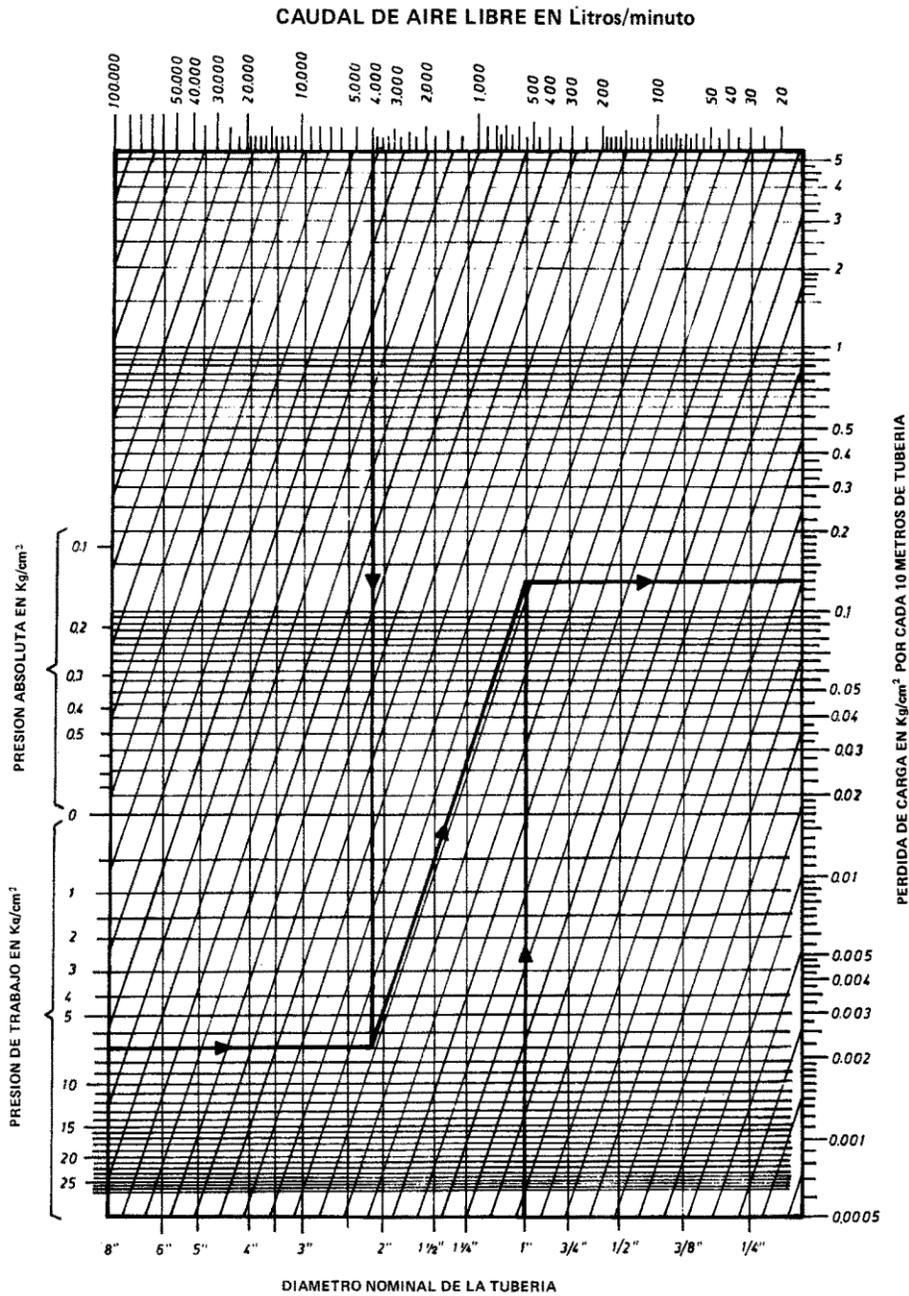
$p_1$  = Operating pressure [bar]

## CÁLCULO CAIDA DE PRESIÓN

Figura 6. Tabla pérdidas en  $\text{kgf/cm}^2$  por rozamientos en accesorios usados en tuberías (Fuente: Neumática, hidráulica y electricidad aplicada de Roldan Vilorio)

Elemento de la instalación	DIAMETRO DE LA TUBERIA							
	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Válvula de compuesta	0,009	0,009	0,010	0,013	0,017	0,022	0,026	0,033
Válvula en ángulo	0,240	0,240	0,286	0,352	0,450	0,590	0,690	0,880
Válvula cónica	0,427	0,427	0,568	0,706	0,900	0,875	1,380	1,795
Codo a 45°	0,015	0,015	0,023	0,029	0,037	0,048	0,057	0,073
Codo a 90°	0,042	0,042	0,051	0,064	0,079	0,107	0,125	0,158
Te (recta en el interior)	0,015	0,015	0,021	0,033	0,046	0,055	0,067	0,090
Te (salida lateral)	0,076	0,096	0,100	0,128	0,162	0,214	0,246	0,317

Figura 7. Cálculo de pérdida de carga y diámetro de tuberías en función de la presión y el caudal de aire libre. (Fuente: Neumática, hidráulica y electricidad aplicada de Roldan Viloria)



## CONVERSIÓN DE LITROS DE AIRE A PRESIÓN EN LITROS DE AIRE LIBRE

$$Q = Q_1 \left( \frac{P + 1,033}{1,033} \right)$$

De donde:

Q<sub>1</sub> : litros de aire comprimido a presión P

Q : litros de aire libre

P : presión de aire comprimido en kgf/cm<sup>2</sup>

Ejercicio.

Calcular la pérdida de presión en una tubería conociendo los siguientes datos:

Longitud de la tubería:	30m
Diámetro:	½"
Presión del aire:	7kgf/cm <sup>2</sup>
Caudal de aire libre:	2000l/min

## **DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO**

El diseño de cualquier instalación de aire comprimido sigue una serie de pasos secuenciales básicos. En general, se pueden describir de la siguiente manera:

- 1.- Localizar e identificar cada proceso, estación de trabajo, máquina o equipamiento que utiliza aire comprimido dentro de la nave o recinto industrial sobre el que se proyecta la ejecución de una red de suministro de aire comprimido. Esta es la carga total que va a soportar la instalación a diseñar. Es recomendable situarlos en un plano y hacer un listado detallado de los mismos.
- 2.- Determinar el consumo de aire que se necesita en cada uno de esos elementos.
- 3.- Determinar el valor de presión necesaria en cada uno de esos puntos de consumo.
- 4.- Determinar los requisitos de cada elemento con respecto al máximo nivel de humedad, de partículas y de contenido en aceite que pueden admitir.
- 5.- Establecer el porcentaje de tiempo que estará operativo cada uno de esos elementos en un periodo de tiempo específico. Esto se conoce como el tiempo de funcionamiento (duty cycle).
- 6.- Establecer el máximo número de puntos de consumo que pueden ser empleados de forma simultánea en cada línea de suministro, en la principal y en todo el proyecto. Esto se conoce como factor de carga (use factor or load factor).
- 7.- Estime un valor permisible de fugas.
- 8.- Incorpore un margen en caso de una ampliación futura de la instalación (30% cuando aplique).
- 9.- Realice una distribución en planta preliminar (preliminar piping) y calcule caídas de presión y pérdidas.
- 10.- Seleccione el tipo de compresor, equipos de acondicionamiento, etc, asegurándose de que se utilizan unidades consistentes.
- 11.- Ejecute el piping final y el tamaño de la red.

## Características técnicas de tubos para redes de Aire Comprimido

	<b>Tubos de Acero sin Costura</b>	<b>Tubos Roscados</b>	<b>Tubos de Acero Inoxidable</b>	<b>Tubos Cobre</b>	<b>Tubos de Aluminio</b>	<b>Tubos de material sintético</b>
<b>Ejecución</b>	Negro o cincado	Semipesado hasta pesado. Negro o cincado	Sin costura o soldado	Suave en tuberías circulares, duro en tubos rectos	Recubierto o pintados	Material flexible enrollable hasta 100 metros. Material rígido en unidades de hasta 3 metros
<b>Material</b>	Ejemplo, St 35	Sin costura St 00 Soldadura St 33	Ej: W.S.T. 4301, 4541, 4571	Cobre	Aluminio, Ej: resistente al agua salada	Poliamida, Poliuretano, Polietileno.
<b>Dimensiones</b>	10,2 hasta 558,8 mm	1/8 hasta 6 pulgadas	6 hasta 273 mm	6 hasta 22 mm suave 6 hasta 54 mm duro 54 hasta 131 mm duro	12 hasta 40 mm	12 hasta 63 mm
<b>Presiones</b>	12,5 hasta 25 bar	10 hasta 80 bar	Hasta 80 bar	Según ejecución 16 hasta 140 bar	14 bar (a -30 °C hasta +30° C)	14 bar (a -25°C hasta + 30°C)
<b>Extremos del tubo</b>	Liso	Cónico, liso o roscado	Liso	Liso	Liso	Liso
<b>Uniones</b>	Soldadura	Conexiones, soldadura	Soldadura (con gas protector)	Roscas, soldaduras, conexiones	Conexiones enchufables	Conexiones enchufables

<b>Tubos de Acero sin Costura</b>	Uniones estancas; posibilidad de doblar	Corrosión (tubos negros) Montaje por operarios experimentados. Gran masa en comparación con tubos de plástico o de aluminio
<b>Tubos Roscados</b>	Disponibilidad de numerosos accesorios; posibilidad de doblar	Corrosión, en parte también en tubos cincados, grandes resistencias al flujo y resistencias por fricción; fugas después de uso prolongado; montaje difícil debido a la necesidad de cortar roscas y de soldar; montaje por operarios experimentados
<b>Tubos de Acero Inoxidable</b>	Uniones estancas, ausencia de corrosión, posibilidad de doblar, para máximas calidades de aire (Ej. en aplicaciones de laboratorios)	Montaje únicamente por operarios experimentados; oferta limitada de conexiones y accesorios, piezas costosas
<b>Tubos Cobre</b>	Ausencia de corrosión, paredes interiores lisas, posibilidad de doblar	Montaje por operarios experimentados y especializados. Posibilidad de formación de calcantita.
<b>Tubos de aluminio</b>	Resistente a roturas, ausencia de corrosión, Pared interior lisa, liviano	Menor distancia entre apoyos en comparación con tubos de acero
<b>Tubos de material sintético</b>	Ausencia de corrosión, flexibles, livianos, resistentes a golpes, exento de mantenimiento, instalación sencilla, conexiones sencillas entre tubos flexibles	Poca longitud, menor distancia entre apoyos en comparación con tubos de acero. Al aumentar la temperatura disminuye la resistencia a la presión. Posibilidad de cargas electroestáticas. Gran coeficiente de dilatación térmica (0,2 mm/°C)

Consumos típicos en herramientas.

**TABLE C15.9** General Air Requirements for Tools

Tools or equipment	Size or type <sup>a</sup>	Air pressure, psi	Air consumed, scfm <sup>b</sup>
Hoists	1 ton	70–100	1
Blow guns		70–90	3
Bus or truck lifts	14,000-lb cap	70–90	10
Car lifts	8,000-lb cap	70–90	6
Car rockers		70–90	6
Drills, rotary	¼-in cap	70–90	20–90
Engine, cleaning		70–90	5
Grease guns		70–90	4
Grinders	8'-in wheel	70–90	50
Grinders	6'-in wheel	70–90	20
Paint sprayers	Production gun	40–70	20
Spring oilers		40–70	4
Paint sprayers	Small hand	70–90	2–7
Riveters	Small to large	70–90	10–35
Drills, piston	½-in cap, 3-in cap	70–90	50–110
Spark plug cleaners	Reach 36–45	70–90	5
Carving tools		70–90	10–15
Rotary sanders		70–90	50
Rotary sanders		70–90	30
Tire changers		70–90	1
Tire inflaters		70–90	1½
Tire spreaders		70–90	1
Valve grinders		70–90	2
Air hammers	Light to heavy	70–90	30–40
Sand hammers		70–90	25–40
Nut setters and runners	¼-in cap to ¾-in cap	70–90	20–30
Impact wrenches/screwdrivers	Small to large	70–90	4–10
Air bushings	Small to large	80–90	4–10
Pneumatic doors		40–90	2
File and burr tools		70–90	20
Wood borers	1–2 in	70–90	40–80
Rim strippers		100–120	6
Body polishers		70–90	2
Vacuum cleaners		100–120	6
Carbon removers		70–100	3
Sand blasters	Wide variation	90	6–400

<sup>a</sup> 1 inch = 24.5 mm<sup>b</sup> 1 cubic foot = 0.0283 m<sup>3</sup>

## FUGAS PERMISIBLES EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO.

Puesto que las fugas dependen del número y tipo de conexiones, de la calidad de la instalación, de los años de la misma y de la presión de trabajo, es difícil determinar un valor esperado de fugas en la instalación. Como regla general, es de esperar que muchos puntos de consumo con necesidades bajas tendrán muchas más fugas que pocos puntos de consumo con necesidades de caudal altas.

Instalaciones bien conservadas presentan normalmente fugas que rondan entre el 2 y el 5%. Instalaciones con varios años de servicio pueden llegar a tener fugas del orden del 10%. Si además, las condiciones de mantenimiento son malas, éstas pueden llegar a alcanzar valores del 25%.

Se debe tratar de tener el siguiente rango de valores en las velocidades del aire:

Líneas de distribución de 6 a 10m/s

Líneas secundarias de 15 a 20 m/s

Mangueras hasta 30m/s

**TABLE 7 – Discharge of air through an orifice**

Gauge pressure before orifice in bar	Diameter of orifice (mm)										
	Discharge of air in litres per second at 1 bar abs, and 15°C										
	0.5	1	2	3	4	5	7	10	15	20	25
0.5	0.054	0.217	0.869	1.956	3.477	5.433	10.65	21.73	48.90	86.83	135.8
1.0	0.076	0.303	0.213	2.729	4.851	7.579	14.86	30.32	68.21	121.3	189.5
2.0	0.114	0.455	1.819	4.093	7.276	11.37	22.28	45.48	102.3	181.9	284.2
3.0	0.152	0.606	2.425	5.457	9.702	15.16	29.71	60.64	136.4	242.5	379.0
4.0	0.189	0.758	3.032	6.821	12.13	18.95	37.14	75.79	170.5	303.2	475.7
5.0	0.227	0.910	3.638	8.186	14.55	22.73	44.57	90.59	204.6	363.8	568.5
6.0	0.265	1.061	4.244	9.550	19.98	26.53	51.99	106.1	238.8	424.4	663.2
7.0	0.303	1.213	4.851	10.91	19.40	30.32	59.42	121.3	272.9	485.1	757.9
8.0	0.341	1.364	5.457	12.28	21.83	34.11	66.85	136.4	307.0	545.7	852.7
9.0	0.379	1.516	6.063	13.64	24.25	37.90	74.28	151.6	341.1	606.3	947.4
10.0	0.417	1.667	6.670	15.01	26.68	41.69	81.71	166.7	375.2	667.0	1042.0
12.0	0.493	1.971	7.882	17.74	31.53	49.27	96.56	197.1	443.4	788.2	1232.0
15.0	0.606	2.426	9.702	21.83	38.81	60.64	118.8	242.6	545.7	970.2	1516.0
20.0	0.796	3.183	12.73	28.65	50.93	79.58	156.0	318.3	716.3	1273.0	1990.0

Cálculo de pérdidas de presión por fuga, se puede realizar por el monitoreo de la caída de presión en el tanque almacenador.

$$\dot{V}_L = \frac{V_R \times (p_i - p_f)}{t \times 109}$$

- $\dot{V}_L$  = Volumen de fuga
- $V_R$  = Volumen del tanque
- $p_i$  = Presión inicial en el tanque
- $p_f$  = Presión final en el tanque
- $t$  = Tiempo

Ejemplo:  
 $V_R = 240$  gal  
 $p_i = 145$  PSIG  
 $p_f = 115$  PSIG  
 $t = 3$  min.

Cierre de alimentación de tubería

Volumen de fuga

Herramientas (sin usar)

Pérdidas por fuga en el sistema de aire comprimido: 12 CFM

$$\dot{V}_L = \frac{240 \text{ gal} \times (145 - 115)}{3 \text{ min.} \times 109} = 12 \text{ CFM}$$

## EJERCICIO

CUANTO CUESTA TENER UN ORIFICIO DE 1/8" EN UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN LA INDUSTRIA AL AÑO?

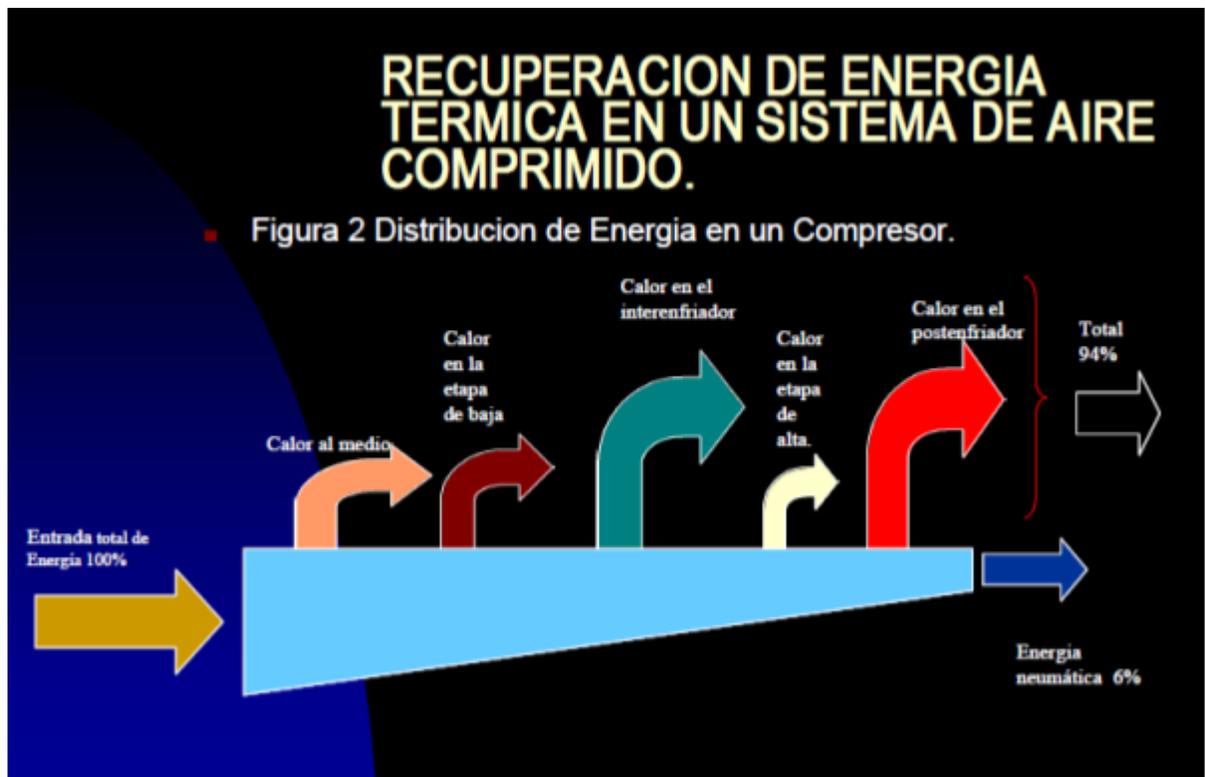
ASUMIR TODOS LOS VALORES QUE CREA CONVENIENTES

## OTRAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA

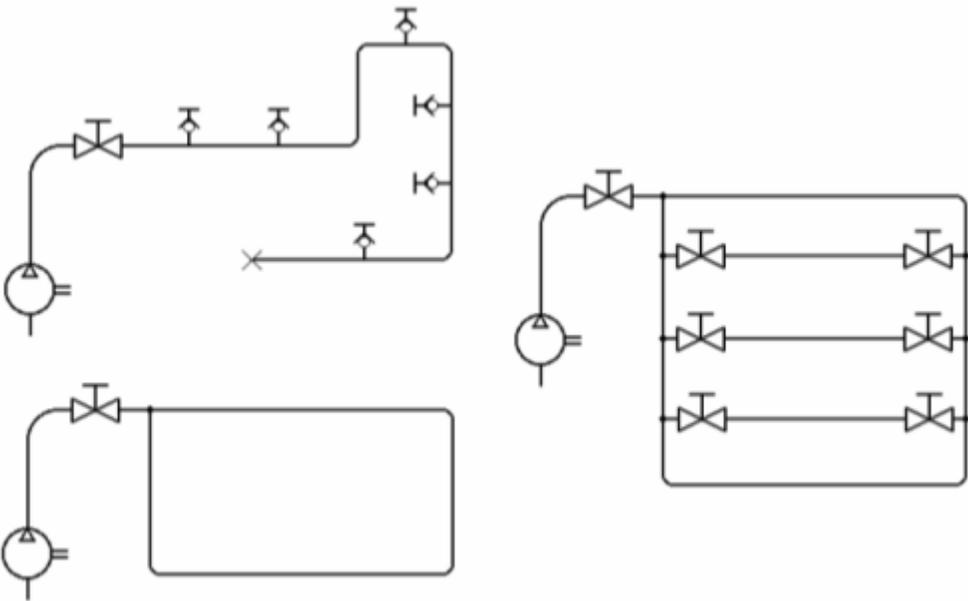
El uso racional de la energía, requiere del uso de dispositivos que permitan la recuperación de esta en los sistemas diseñados e implementados.

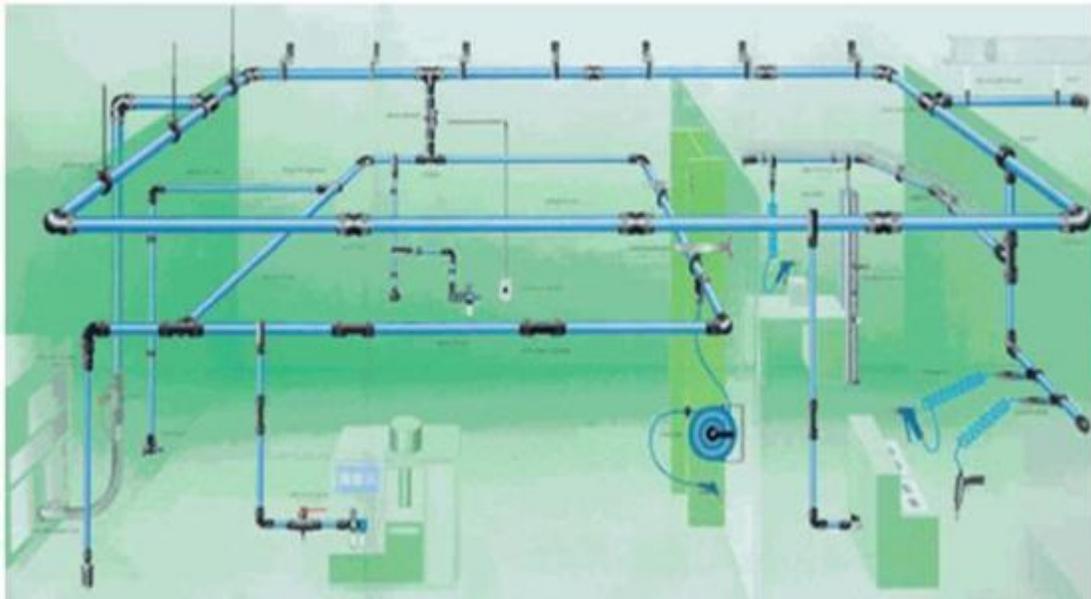
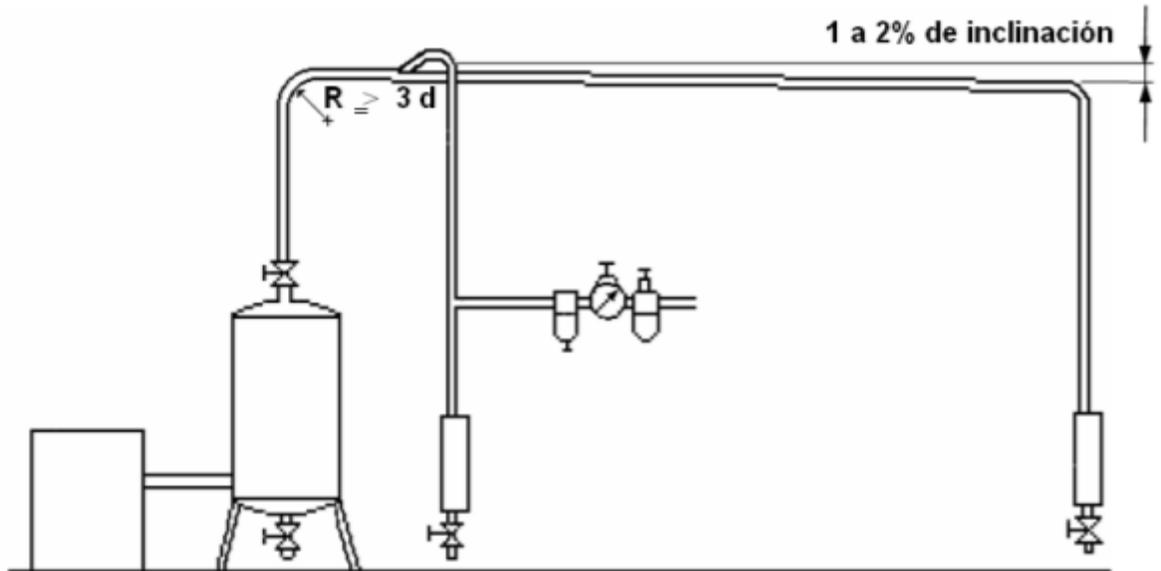
A continuación se muestra una gráfica en la que se establece las posibles pérdidas de energía para un compresor de dos etapas.

Por que usar en compresor de dos etapas?



**TENDIDOS TÍPICOS DE RED.**





## **PREPARACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO**

AIRE=AIRE+POLVO+VAPOR DE AGUA+ACEITE

Objetivo: retirar el agua, sólidos y el aceite

### **Por qué se debe preparar el aire?**

Las impurezas contenidas en el aire son por lo general

- Gotas de agua
- Polvo
- Rastros de aceite del compresor
- Óxido
- Cascarillas y similares
- Gomas

### **Importancia de la preparación del aire comprimido**

- Mediante la preparación del aire comprimido se aumenta la duración de los elementos.
- Los tiempos de avería de los mandos y las reparaciones de los elementos se reducen

### **Clasificación de las impurezas**

El aire comprimido queda en contacto con diversos elementos de trabajo, mando y señal, por consiguiente se debe eliminar

Según el origen se pueden clasificar en tres tipos de impurezas

- Partículas sólidas (proviene de corrosión en tanques de almacenamiento y tuberías)
- Humedad (esta depende de las condiciones atmosféricas donde se encuentra instalado el compresor)
- Residuos de aceite (del compresor)

## FILTRADO:

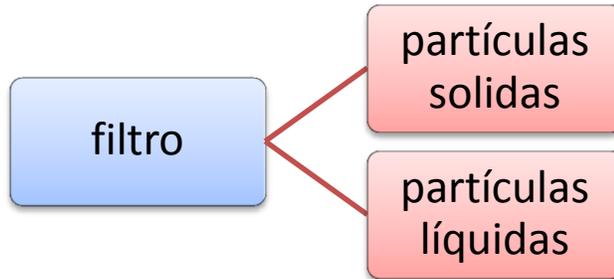


Fig. 3-9  
Principio de funcionamiento  
de un filtro ciclónico

- 1 Entrada de aire
- 2 Salida de aire
- 3 Junta tórica
- 4 Recipiente
- 5 Deflector
- 6 Separador
- 7 Tornillo de fijación
- 8 Elemento filtrador
- 9 Botón para purga manual del condensado
- 10 Condensado
- 11 Purga del condensado

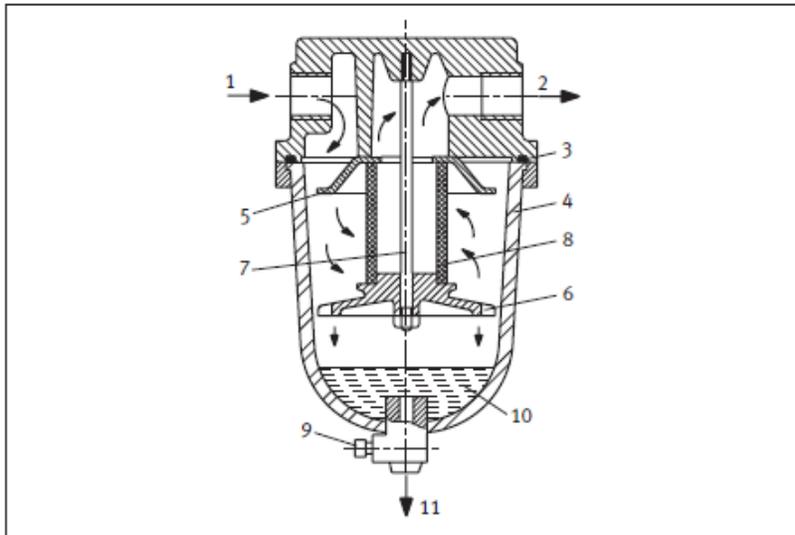
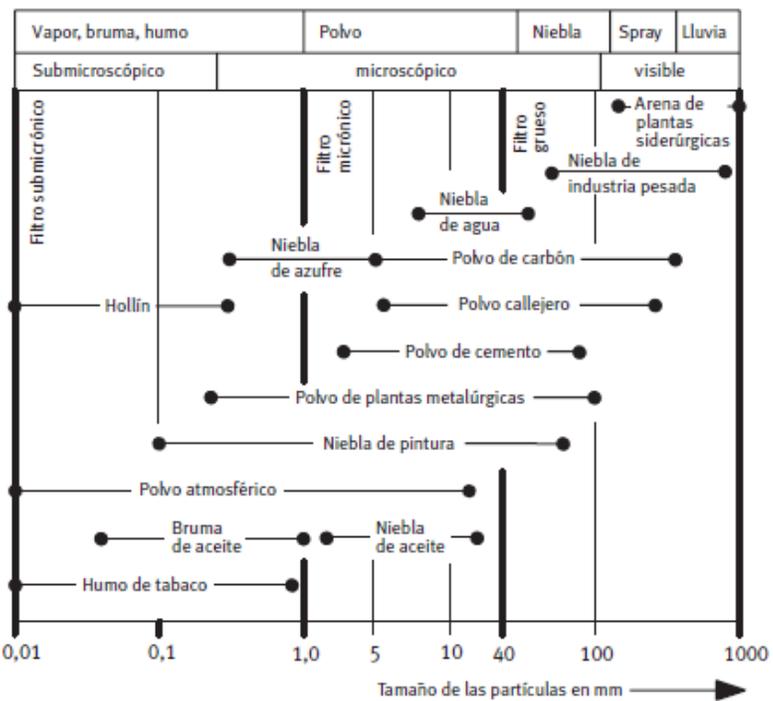
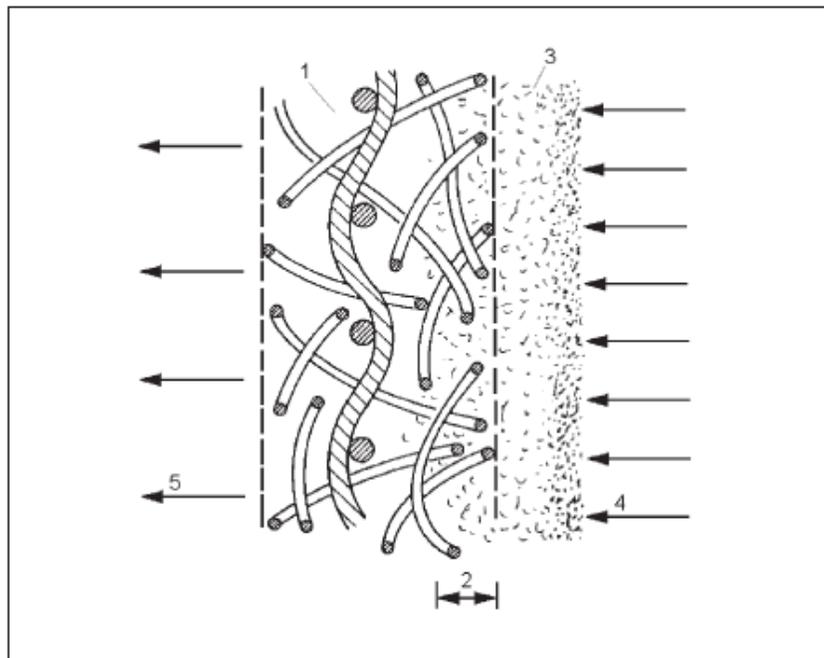


Fig. 3-10  
Retención de partículas  
de polvo en un filtro textil

- 1 Filtro textil
- 2 Depósito de polvo
- 3 Retención de polvo
- 4 Lado del gas antes de la filtración
- 5 Lado del gas filtrado



Tipos y tamaños de las impurezas más comunes contenidas en el aire (1  $\mu\text{m}$  = 0,001 mm)

Aplicaciones	Cuerpos sólidos ( $\mu\text{m}$ )	Punto de condensación del agua ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	Contenido máx. de aceite ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Clase de filtración recomendada
Minería	40	–	25	40 $\mu\text{m}$
Lavandería	40	+10	5	40 $\mu\text{m}$
Máquinas soldadoras	40	+10	25	40 $\mu\text{m}$
Máquinas herramienta	40	+3	25	40 $\mu\text{m}$
Cilindros neumáticos	40	+3	25	40 $\mu\text{m}$
Válvulas neumáticas	40 o bien 50	+3	25	40 o bien 50 $\mu\text{m}$
Máquinas de embalaje	40	+3	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Reguladores finos de presión	5	+3	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire de medición	1	+3	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire en almacén	1	–20	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire para aplicación de pintura	1	+3	0,1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Técnica de detectores	1	–20 o bien –40	0,1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire puro para respirar	0,01	–	–	–0,01 $\mu\text{m}$

Clase	Tamaño máx. de las partículas en $\mu\text{m}$	Densidad máxima de las partículas en $\text{mg}/\text{m}^3$	Punto máx. de condensación bajo presión en $^{\circ}\text{C}$	Contenido máx. de aceite residual en $\text{mg}/\text{m}^3$
1	0,1	0,1	–70	0,01
2	1	1	–40	0,1
3	5	5	–20	1,0
4	15	8	+3	5
5	40	10	+7	25
6	–	–	+10	–
7	–	–	sin definir	–

## REGULACION DE LA PRESIÓN

regulación

presión de trabajo de las herramientas

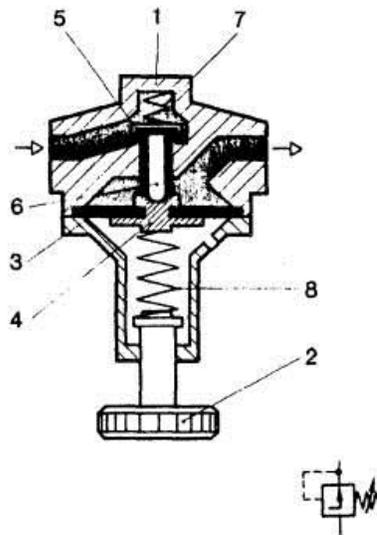
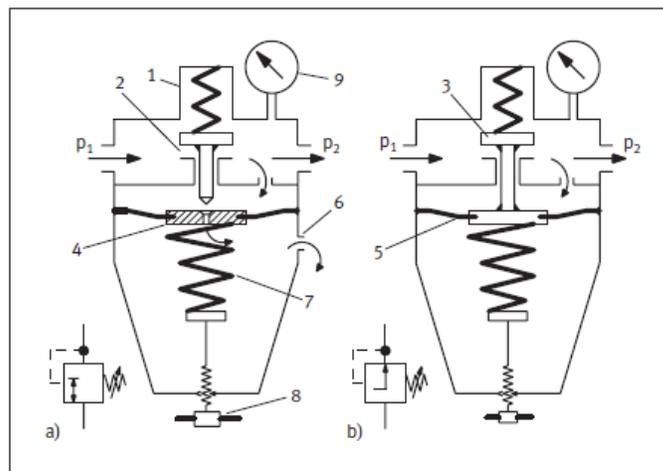


Fig. 3-21  
Funcionamiento  
de reguladores de presión

- a) Regulador con taladro de escape
- b) Regulador sin taladro de escape

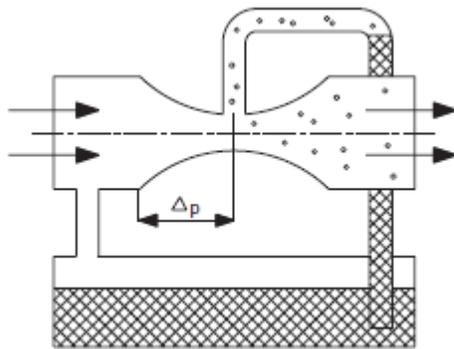
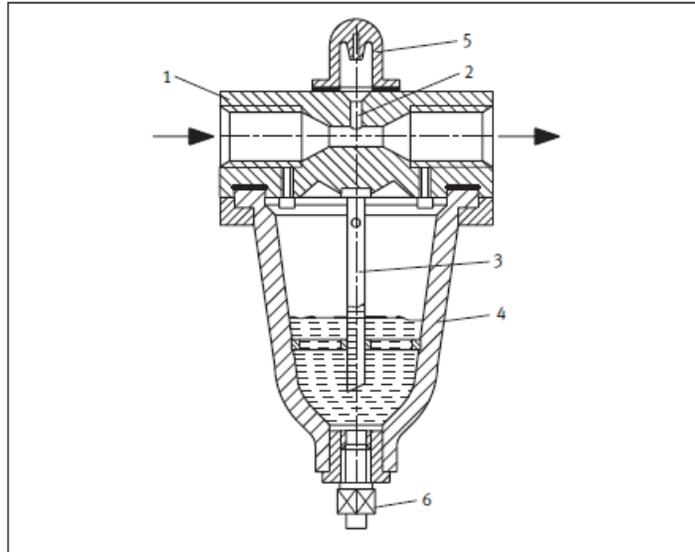
- 1 Cuerpo
- 2 Asiento de la válvula
- 3 Plato de la válvula
- 4 Membrana con taladro
- 5 Membrana unida fijamente al émbolo de la válvula
- 6 Taladro de escape
- 7 Muelle de compresión
- 8 Pomo roscado para ajustar la fuerza del muelle
- 9 Manómetro



## LUBRICADORES

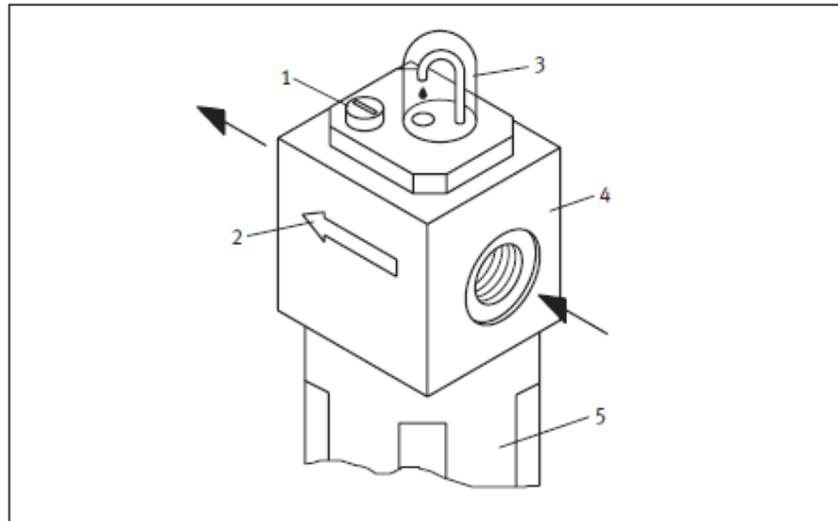
Fig. 3-16  
Lubricador  
de aire comprimido

- 1 Cabezal del lubricador
- 2 Tobera de aspiración
- 3 Tubo ascendente
- 4 Depósito
- 5 Boquilla cuentagotas
- 6 Tuerca de vaciado



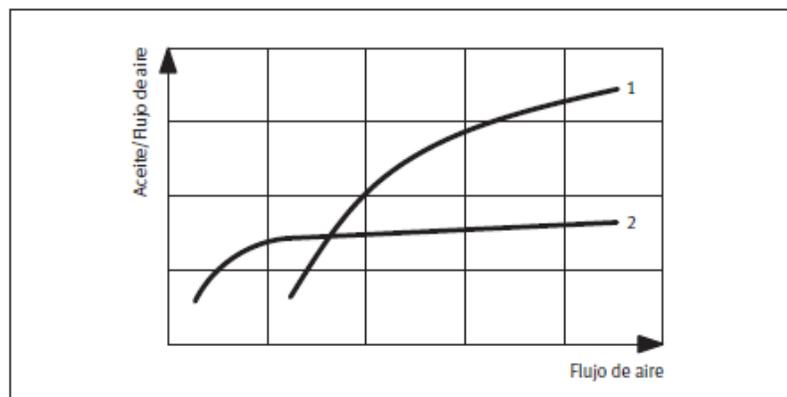
**Fig. 3-19**  
**Lubricador de niebla de aceite**

- 1 Tornillo de regulación
- 2 Dirección del flujo
- 3 Dosificador de gotas
- 4 Cuerpo
- 5 Funda protectora

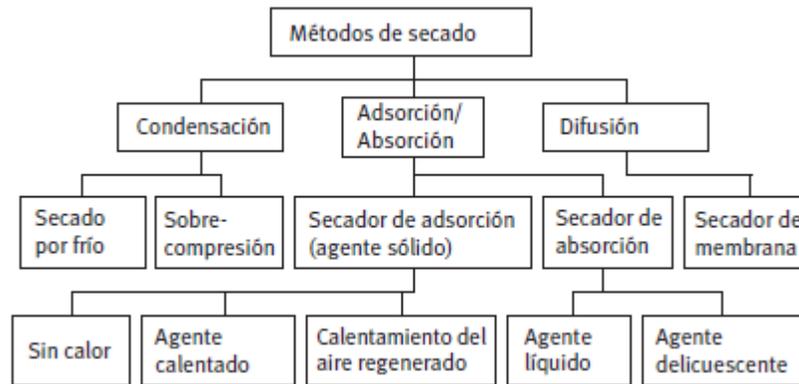


**Fig. 3-18**  
**Aportación de aceite al aire comprimido**

- 1 Lubricador estándar
- 2 Lubricador proporcional (micronebla de aceite)

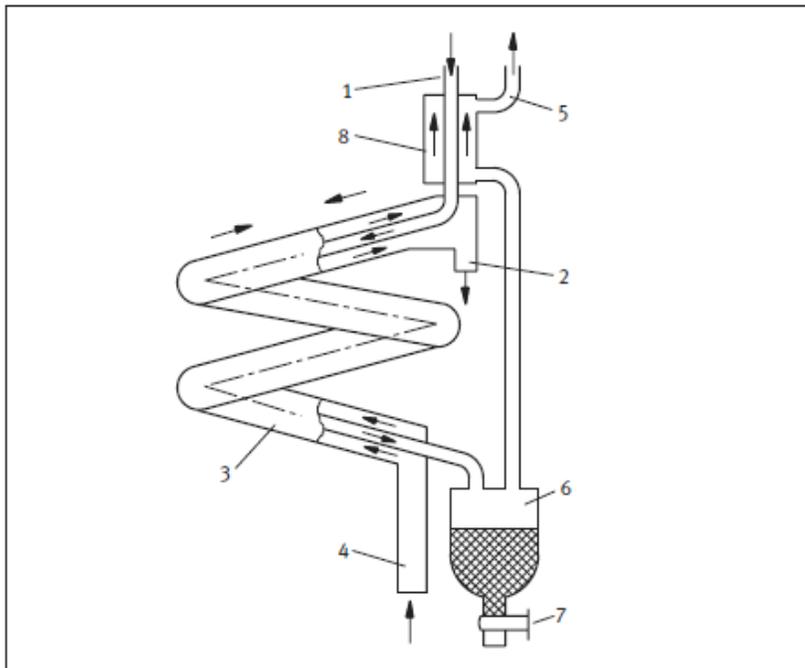


**SECADO DEL AIRE:** su objetivo es retirar la humedad



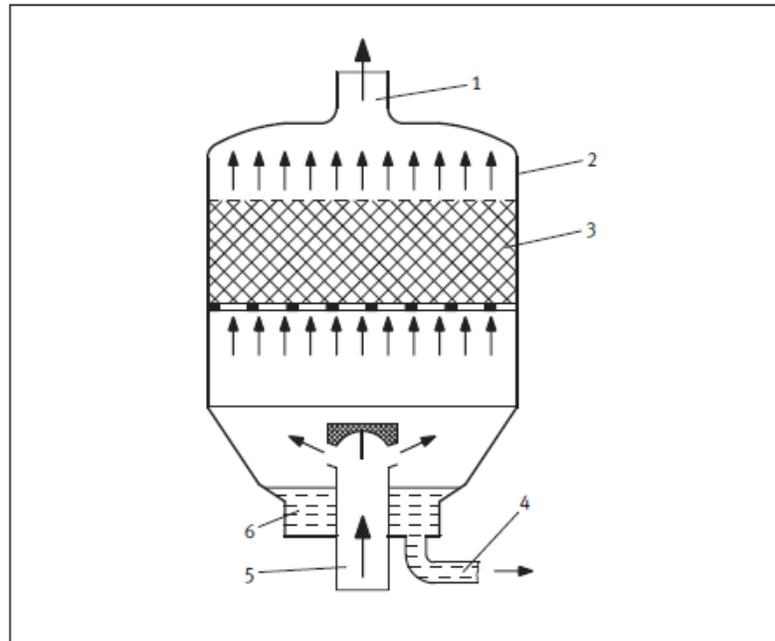
**Fig. 3-4**  
Principio de funcionamiento del secador por frío

- 1 Toma de aire comprimido a 25 °C
- 2 Salida del agente refrigerante
- 3 Intercambiador de calor
- 4 Entrada del agente refrigerante
- 5 Salida de aire comprimido con 15 °C
- 6 Separador de condensado
- 7 Salida de agua
- 8 Secador previo



**Fig. 3-5**  
Principio de funcionamiento  
del secador por adsorción

- 1 Aire comprimido seco
- 2 Contenedor
- 3 Substancia salina
- 4 Salida del condensado
- 5 Aire (húmedo) proveniente del compresor
- 6 Depósito de condensado



**Fig. 3-7**  
Principio de funcionamiento  
del secador de membrana

- 1 Fibra hueca
- 2 Aire de enjuague
- 3 Entrada de aire húmedo
- 4 Membrana

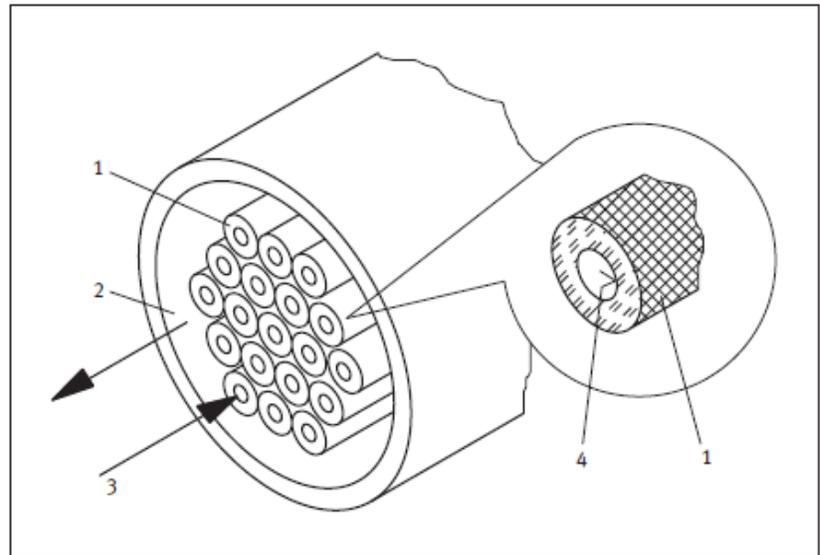
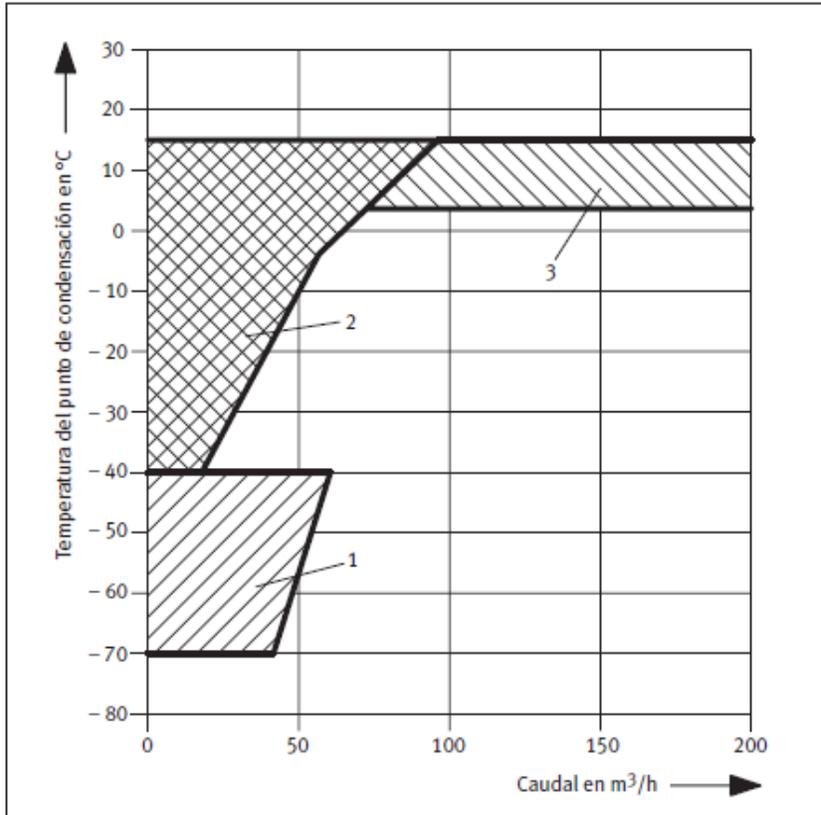
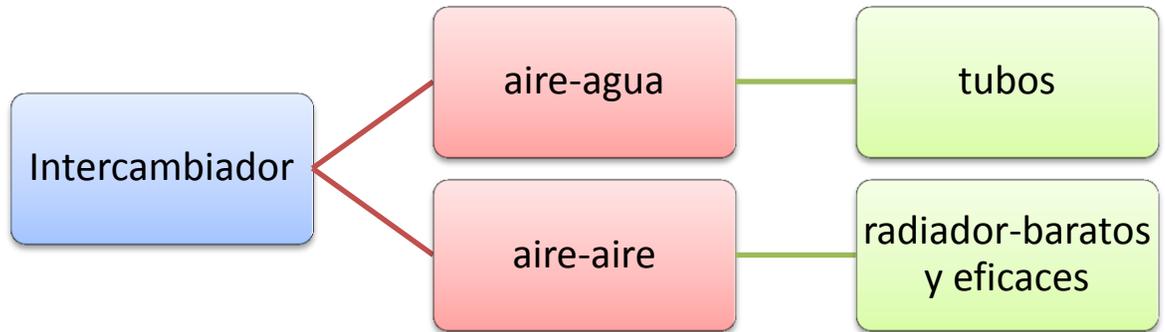


Fig. 3-8  
Campos de aplicación de  
diversos tipos de secadores  
(según Hoerbiger-Origa)

- 1 Secador por adsorción
- 2 Secador de membrana
- 3 Secador por frío hasta  
1 000 m<sup>3</sup>/h



## REFRIGERADOR FINAL:



## PURGAS DE AGUA

**Colector de condensado con flotador.** La purga se controla mediante el nivel del líquido. Un flotador abre la válvula de purga con lo que puede salir el condensado.

### **Colector de condensado con regulación electrónica del nivel**

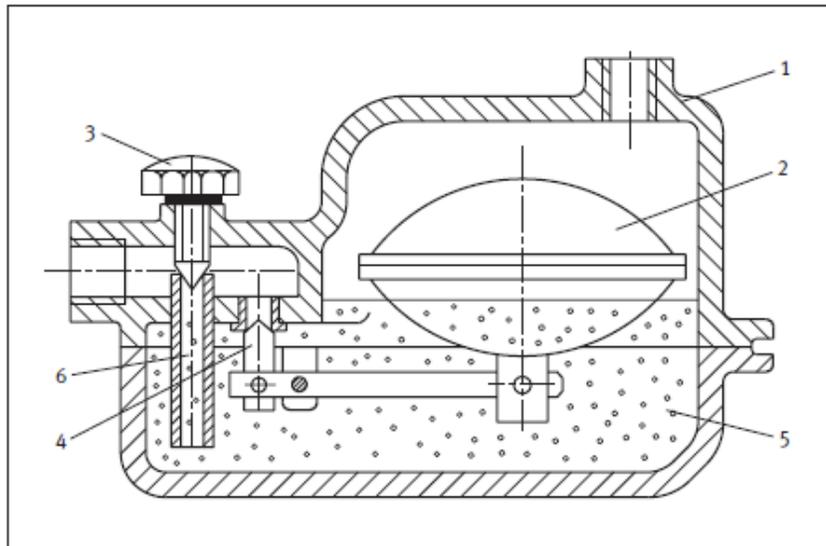
Un detector capacitivo de nivel emite una señal si el condensado alcanza un nivel máximo. Esta señal abre electrónicamente una válvula de membrana. A continuación, el líquido es vaciado por el conducto de salida.

### **Colector de condensado con purga temporizada y electroválvula**

Por experiencia se sabe con que frecuencia es necesario purgar el condensado. Este tiempo se programa en un sistema de control que abre y vuelve a cerrar la válvula de purga periódicamente.

Fig. 3-12  
Colector de condensado  
con flotador

- 1 Cuerpo
- 2 Flotador
- 3 Válvula manual
- 4 Válvula de bloqueo  
(de asiento cónico)
- 5 Condensado
- 6 Tubo de salida



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

**Identificar los elementos básicos de una instalación neumática.**

**Condición del problema:**

- La identificación de los elementos se debe hacer de forma genérica y particular tomando como referente las instalaciones neumáticas dentro de la institución.
- El estudiante realizará un recorrido por la instalación neumática del Laboratorio de Sistemas Dinámicos (Postgrado Mecánica UTP), identificando cada uno de los elementos que componen la red y hará énfasis en los aspectos de generación, tratamiento, y transporte del aire comprimido hasta los sitios de uso en los laboratorios y talleres.

## **BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN**

Esta fase debe abordar temas relacionados con:

- Física
- Electricidad
- Instrumentación
- Neumática

## **DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN**

Para el desarrollo de la solución se debe trabajar en equipo, haciendo una adecuada distribución de roles entre los integrantes.

## **IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

- Obtener las características de cada uno de los elementos.
- Realizar una tabla con las posibles fallas de cada uno de los elementos y su posible mantenimiento.

## EVALUACIÓN

<b>EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE</b>	<b>CRITERIOS DE EVALUACION</b>	<b>TECNICAS E INSTRUMENTOS DE EVALUACION</b>
<b>Evidencias de conocimientos</b>	<b>Reconoce los diferentes elementos que conforman una instalación neumática básica.</b>	<b>Prueba de conocimiento</b>
<b>Evidencias de Desempeño</b>	<b>Planea las actividades a realizar.</b>	<b>Lista de chequeo</b>

# **SIMBOLOGIA NEUMATICA SEGÚN NORMA ISO1219-1**

## CIRCUITOS NEUMÁTICOS

### ANULACIÓN DE SEÑALES PERMANENTES

En la solución de algunos circuitos neumáticos y electroneumáticos existe una coincidencia de señales sobre los pilotajes de una misma válvula de potencia el cual impide su funcionamiento.

Este problema se puede solucionar mediante dos formas

#### POR ANULACIÓN DEL EFECTO DE LA SEÑAL

La anulación de la señal no consiste en eliminar la señal por completo, si no en dominarla por otra señal de mayor fuerza de accionamiento. Esto se puede lograr usando los siguientes elementos:

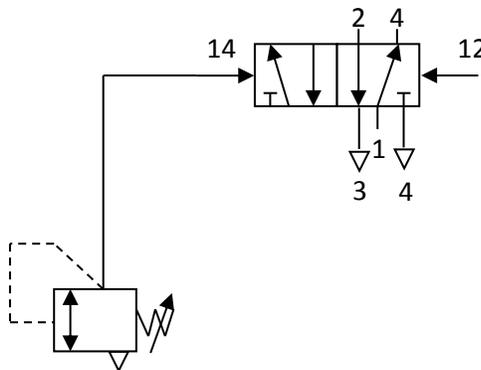
##### 1. Válvula diferencial con accionamiento neumático.

Usando una válvula diferencial al cual tiene dos pilotajes de distinto diámetro, de forma que con una misma presión aplicada a ambos lados la fuerza es mayor en el pilotaje de mayor diámetro.



##### 2. Reductor de presión

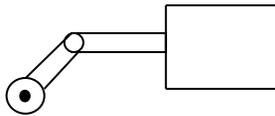
Otra forma de anular los efectos de la señal permanente usando un regulador de presión en uno de los pilotajes de una válvula normal.



## ELIMINACIÓN DE LA SEÑAL

Se puede eliminar la señal de las siguientes maneras:

- **Con válvula de accionamiento mecánicos unidireccional**  
Consiste en emplear una válvula con accionamiento mecánico unidireccional, las cuales son llamadas con frecuencia válvulas escamoteables.

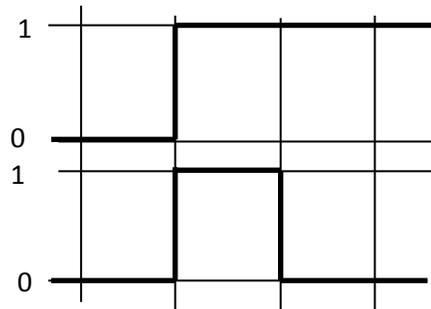
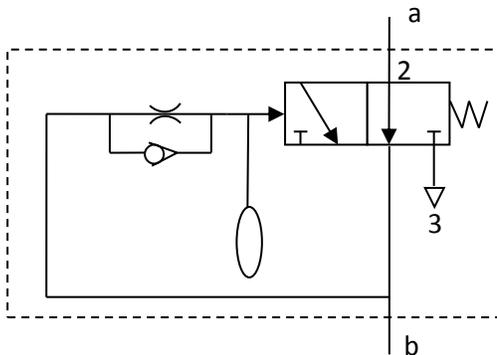


Se trata de una solución mecánica que presenta algunos inconvenientes, entre ellos:

- a) Se debe considerar el sentido de ataque
- b) La palanca con rodillo debe abatirse por completo
- c) Dificultad en la aplicación en cilindros con carrera corta
- d) La velocidad de ataque no puede ser elevada ya que la señal sería muy corta
- e) La señal proporcionada por la válvula en el sentido de accionamiento no puede ser reutilizada puesto que desaparece al sobrepasar la leva de la válvula.

- **Con temporizador de impulso**

Consiste en emplear un temporizador de impulso del tipo normalmente abierto en la posición de reposo.

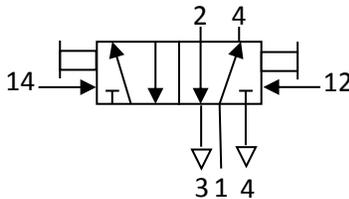


Se trata de un método seguro de eliminar una señal permanente, pero tiene algunos inconvenientes

- a) El temporizador queda cerrado al final de su temporización y no es posible utilizar la señal que en su momento ha proporcionado, para operaciones posteriores.
- b) Se trata de un sistema caro, en especial si deben eliminarse varias señales.
- c) Ocupan mucho espacio

- **Con válvula biestable**

Consiste en utilizar una válvula con accionamiento neumático del tipo biestable la cual tiene la propiedad de usar la señal sólo en el momento que se necesita.



Con las señales se pueden realizar además muchas combinaciones, entre ellas puede anularse varias señales al mismo tiempo ahorrando componentes en el sistema.

## TÉCNICAS AVANZADAS DE CONTROL EN SISTEMAS DE MANDO NEUMÁTICOS

Una vez realizado el esquema neumático de forma intuitiva pueden aparecer en ciertos instantes del ciclo una coincidencia de señales sobre los pilotajes opuestos de una misma válvula que impedirían el desarrollo correcto del diagrama de funcionamiento. Debido a esto se requiere utilizar técnicas avanzadas de control electroneumático. Dentro de las técnicas más conocidas tenemos el método cascada Y el paso a paso.

### 1. MÉTODO CASCADA SISTEMA NEUMÁTICOS

Es utilizado para diseñar circuitos neumáticos o electroneumáticos de una forma metódica y eliminar con ello las condiciones de bloqueo que se presentan en el diagrama de funcionamiento, y que se producen cuando es necesario ordenar el movimiento del vástago de un cilindro mientras todavía persiste la orden del movimiento opuesto del mismo cilindro.

#### REGLAS GENERALES

##### IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE TRABAJO.

Se identifican de una manera ordenada los elementos de trabajo que tienen movimiento (cilindros y motores) con letras mayúsculas, iniciando la relación por la letra A y siguiendo con las demás B, C, etc.

##### IDENTIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE LOS ELEMENTOS DE TRABAJO

Se realiza el diagrama espacio-fase para los movimientos de los elementos de trabajo tomando como referencia su posición inicial o de reposo y teniendo en cuenta lo siguiente:

**Cilindros:** si su vástago sale se identifica con el signo más (+), por ejemplo 1A+, mientras que si su vástago entra se identifica con el signo (-), por ejemplo 1A-.

**Motores:** La identificación de los motores se realiza según su giro, de forma que si su eje gira en sentido horario se identifica con el signo más (+), por ejemplo 2A+, y si su eje gira en sentido antihorario se identifica con el signo menos (-), por ejemplo 2A-.

##### RELACIÓN FASE SECUENCIA

A partir del diagrama espacio-fase se hace una relación escrita de los movimientos a la que se designa relación fase-secuencia. Seguidamente se escriben uno a continuación de otros separándolos por una coma, denominándose a esta disposición escritura abreviada

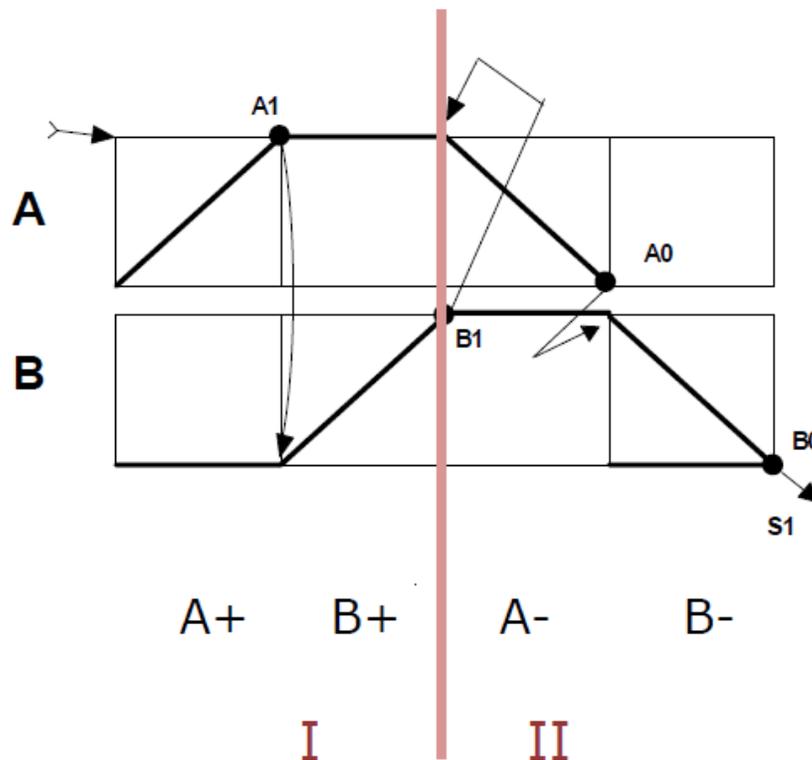
Cascada Electroneumática, Métodos más usuales

## Cascada Electroneumática

Es utilizado para diseñar circuitos electroneumáticos

### 1.- Método dos grupos Un relé

Es uno de los métodos más utilizados, comprende el empleo de un único relé que manejará una función memoria, de tal manera que cuando está activo da señal a un grupo y cuando no da señal al otro.



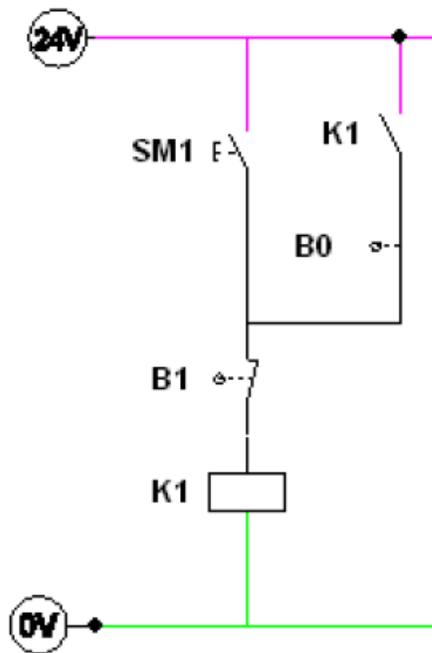
Si analizamos el espacio fase, y agrupamos los movimientos de este ejemplo, vemos que se forman dos grupos. (A+,B+) y (A-,B-)

El primer paso será asignar un solo relé "K1". donde, según su estado:

- 1.- Excitado: Habilita el Grupo I
- 2.- Desexcitado: Habilita el grupo II.

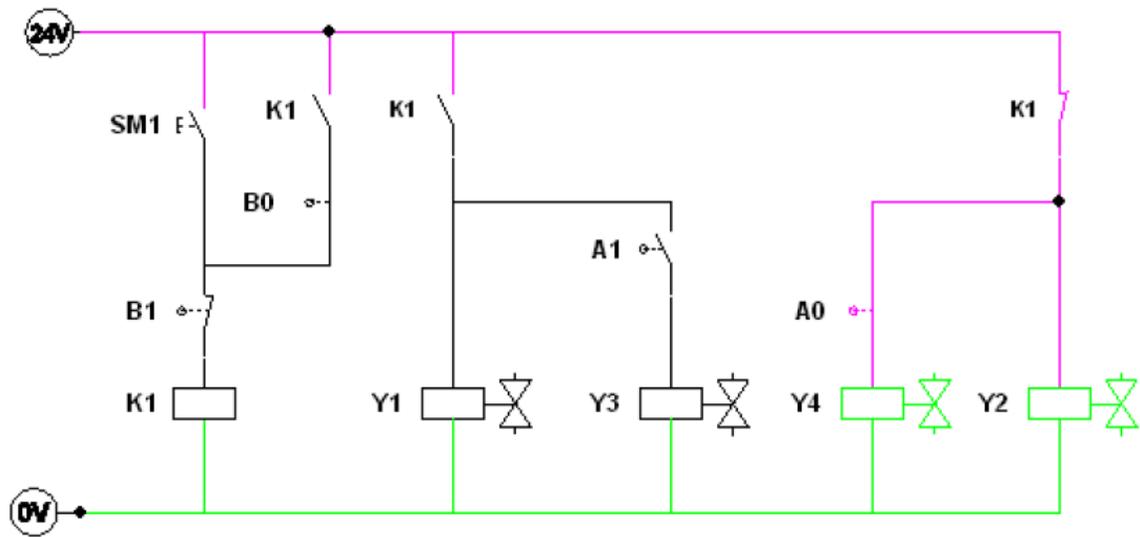
Para que comience la secuencia, es decir se excite "K1", deberá accionarse el pulsador de marcha, (S1) y además estar pulsado el último final de carrera de la secuencia anterior. (B0), se trata de una memoria realimentada por medio de un contacto NA de K1

El relé se desactivará cuando termine el grupo, es decir, con el final de carrera (B1).



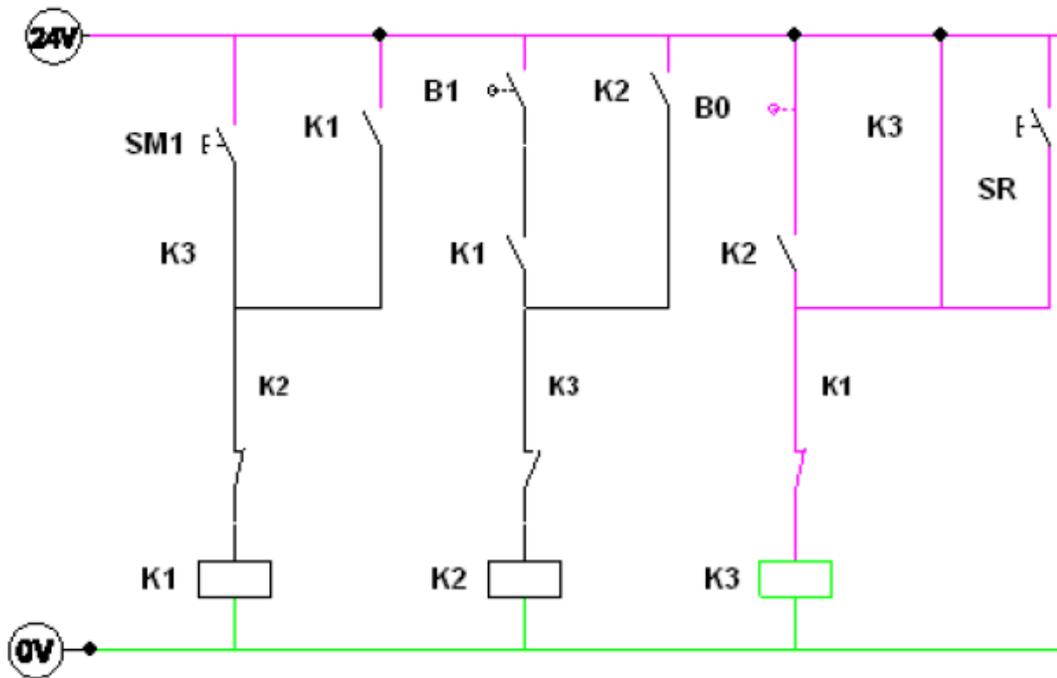
El relé dará directamente señal al primer movimiento del grupo I, y al segundo a través del final de carrera correspondiente.

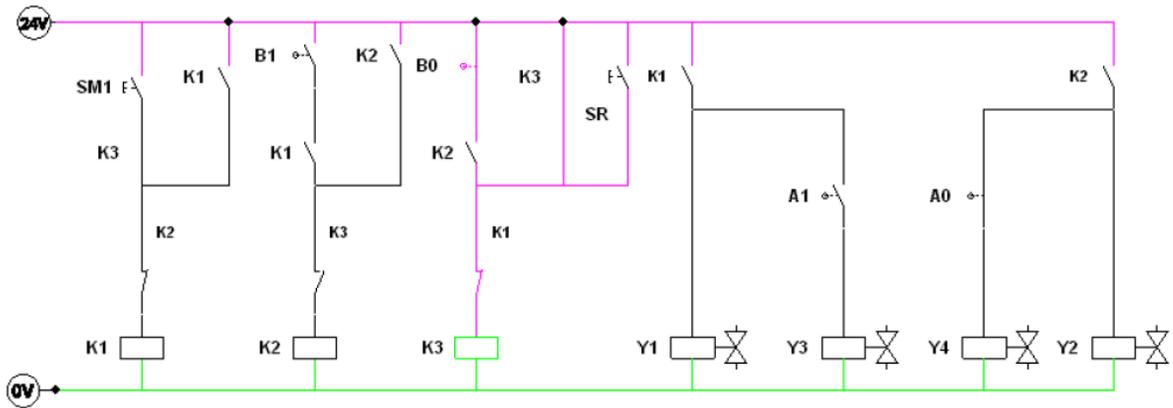
El relé sin excitación dará señal directa al primer movimiento del grupo, y al segundo a través del final de carrera que corresponda.



## 2.- Método dos grupos, relé auxiliar

Si ahora resolvemos el mismo ejercicio pero a través de este método debemos añadir otro grupo y trabajar como si fuesen tres grupos. Tomando en cuenta que el tercer grupo no activara ninguno de los solenoides

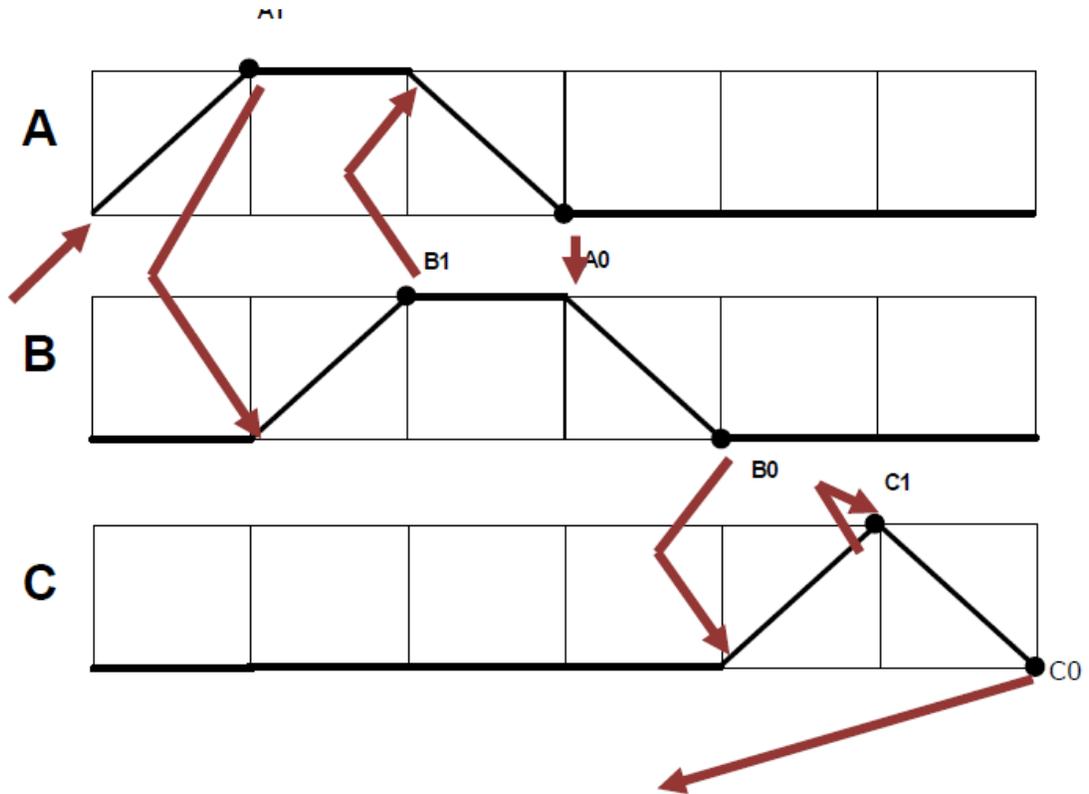




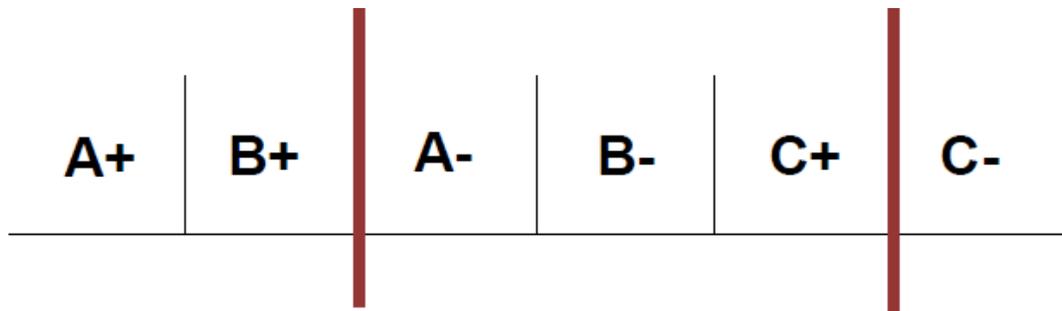
### 3.- Mas de Dos grupos, Secuencia Larga

Se va a explicar este método con una secuencia larga, de más de dos grupos, ya que en el caso de que únicamente haya dos grupos se actuará de otra manera.

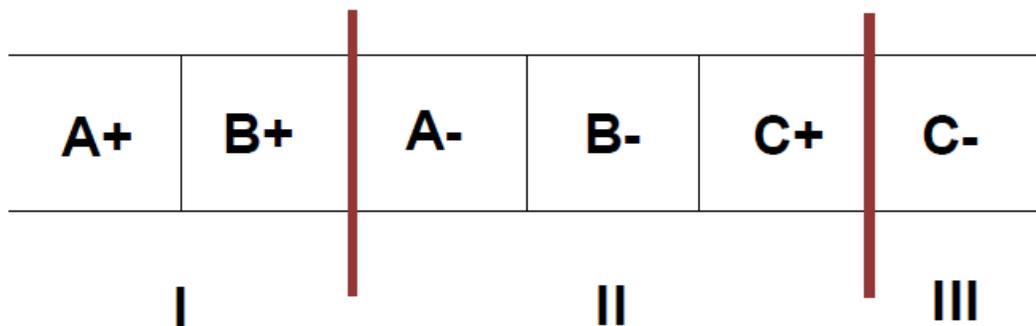
1. Suponemos conocida la secuencia como ejemplo, la del siguiente diagrama de espacio-Fase.



2. Se separa la secuencia en grupos de la misma manera que se hacía para ejercicios con maniobra neumática.



3. Designar cada uno de los grupos con cifras romanas.



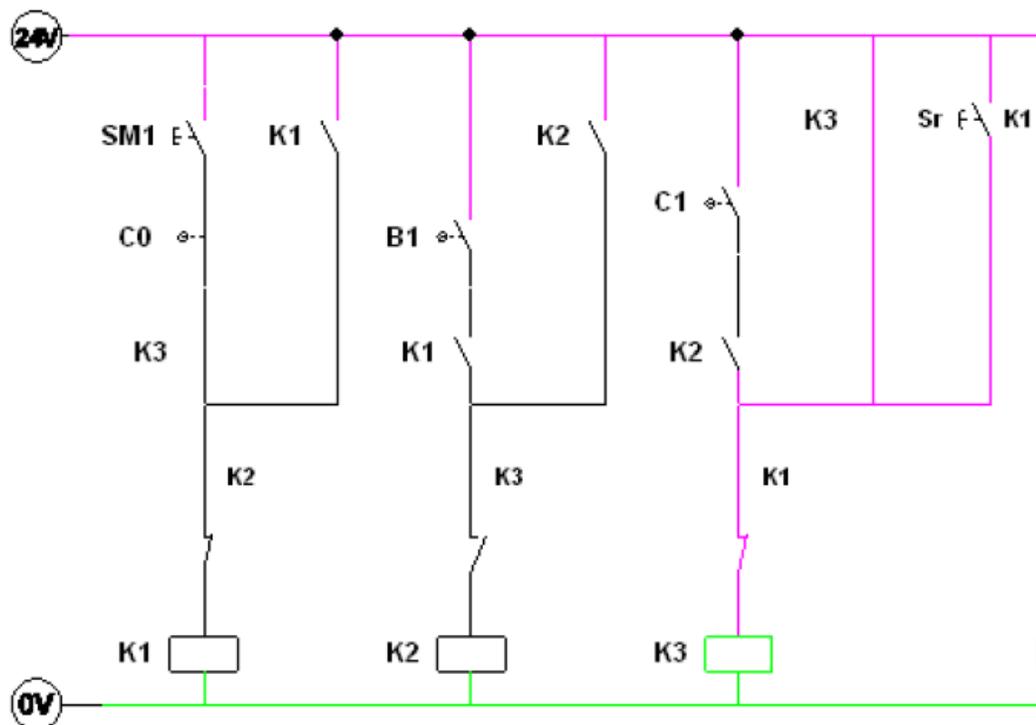
4. Como en los circuitos con maniobra neumática, hay dos partes en el circuito, una encargada de activar y desactivar cada grupo, asegurando que únicamente haya en cada momento un grupo activo.

Grupo	¿Quién Activa?	¿Quién Desactiva?
Nº de Grupo	Grupo Anterior y el ultimo final de carrera del grupo anterior	Grupo Siguiente
Grupo I	Grupo III y c0	Grupo II
Grupo II	Grupo I y b1	Grupo III
Grupo III	Grupo II y c1	Grupo I

La parte de fuerza sigue siendo neumática y la única diferencia con los circuitos neumáticos son los pilotajes de las válvulas, que son eléctricos. Los detectores finales de carrera son detectores de posición mecánicos.

Con los datos de la tabla anterior debemos realizar un circuito eléctrico, donde deberá tenerse en cuenta:

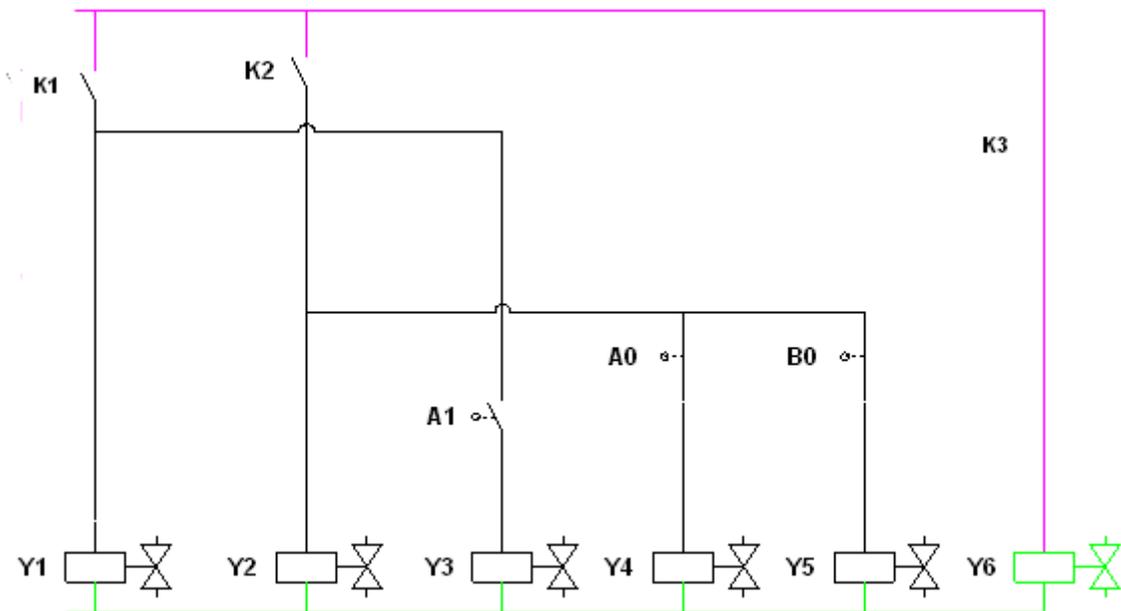
- Hay un relé por grupo, de tal manera que activar un grupo significa que se excita la bobina de dicho relé.
- Cuando un relé se activa, sus contactos cambian, los cerrados se abren y los abiertos se cierran.
- Para activar cada grupo se pone un contacto del relé del grupo anterior, en serie con el contacto del emisor de señal que activa cada grupo
- Para desactivar un grupo se pone un contacto del relé del grupo siguiente, en serie y normalmente cerrado.
- Si se sigue al pié de la letra este método, es necesario realimentar cada relé con un contacto normalmente abierto de sí mismo.
- Es necesario dar señal al último grupo la primera vez que se da corriente, ya que en caso contrario nunca se activará el grupo uno. Suele hacerse con un pulsador de RESET.
- El primer relé llevará en serie el pulsador de marcha, aunque éste también podría colocarse en todos los relés
- Si hay señales de activación que deben aparecer a la vez “Y” son conectadas en serie.



Falta por realizar la última parte del circuito en la que se activarán los solenoides que pilotarán las distribuidoras.

Solenoide	Como se Activa
No pueden Repetirse	SI es Primer Movimiento del Grupo. El rele del grupo, si es el segundo o siguientes, el rele del grupo y el final de carrera anterior
A +	Grupo I
B+	Grupo I /a1
A-	Grupo II
B -	Grupo II / a0
C +	Grupo II / b0
C -	Grupo III

6. Como cada solenoide se activará cuando se cumpla una de las condiciones, "O", es decir conexiones en paralelo.



## SENSORES

**Un sensor** es un aparato capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Hay sensores que no solo sirven para medir la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable sensada dentro de un rango (span), para fines de control de dicha variable en un proceso.[cita requerida]

Puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Áreas de aplicación de los sensores: Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina , Industria de manufactura, Robótica , etc.

Entre las características técnicas de un sensor destacan las siguientes:

**Rango de medida:** dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.

**Precisión:** es el error de medida máximo esperado.

**Offset o desviación de cero:** valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.

**Linealidad o correlación lineal.**

**Sensibilidad de un sensor:** relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.

**Resolución:** mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.

**Rapidez de respuesta:** puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.

**Derivas:** son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.

**Repetitividad:** error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (e.g. un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería

Magnitud	Transductor	Característica
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógica
	Encoder	Digital
Desplazamiento y deformación	Transformador diferencial de variación lineal	Analógica
	Galga extensiométrica	Analógica
	Magnetoestrictivos	A/D
	Magnetorresistivos	Analógica
	LVDT	Analógica
Velocidad lineal y angular	Dinamo tacométrica	Analógica
	Encoder	Digital
	Detector inductivo	Digital

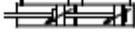
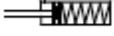
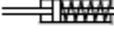
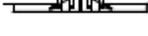
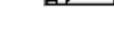
	Servo-inclinómetros	A/D
	RVDT	Analógica
	Giróscopo	
Aceleración	Acelerómetro	Analógico
	Servo-accelerómetros	
Fuerza y par (deformación)	Galga extensiométrica	Analógico
	Triaxiales	A/D
Presión	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
	Manómetros Digitales	Digital
Caudal	Turbina	Analógica
	Magnético	Analógica
Temperatura	Termopar	Analógica

	RTD	Analógica
	Termistor NTC	Analógica
	Termistor PTC	Analógica
	Bimetal	I/O
Sensores de presencia	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O y Analógica
Sensores táctiles	Matriz de contactos	I/O
	Piel artificial	Analógica
Visión artificial	Cámaras de video	Procesamiento digital
	Cámaras CCD o CMOS	Procesamiento digital
Sensor de proximidad	Sensor final de carrera	

	Sensor capacitivo	
	Sensor inductivo	
	Sensor fotoeléctrico	
Sensor acústico (presión sonora)	micrófono	
Sensores de acidez	IsFET	
Sensor de luz	fotodiodo	
	Fotorresistencia	
	Fototransistor	
	Célula fotoeléctrica	
Sensores captura de movimiento	Sensores inerciales	

## **ACTUADORES**

**Cilindros.** Los cilindros neumáticos son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Básicamente consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón.

	Cilindros de simple efecto		Cilindros doble efecto con doble pistón (tandem)
	Cilindros de simple efecto con imán		Cilindros doble efecto con doble pistón (tandem) e imán
	Cilindros de simple efecto con resorte trasero		Cilindros doble efecto con doble pistón (tandem) y amortiguación
	Cilindros de simple efecto con resorte trasero e imán		Cilindros doble efecto con doble pistón (tandem), amortiguación e imán
	Cilindros de simple efecto con doble vástago		Cilindros doble efecto acoplados
	Cilindros de simple efecto con doble vástago e imán		Cilindros doble efecto con imán acoplados
	Cilindros de doble efecto		Cilindros doble efecto con doble amortiguación acoplados
	Cilindros de doble efecto con imán		Cilindros doble efecto con doble amortiguación e imán acoplados
	Cilindros de doble efecto con doble amortiguación		Cilindros sin vástago de doble efecto
	Cilindros de doble efecto con doble amortiguación e imán		Cilindros de impacto
	Cilindros de doble efecto con doble vástago		Actuadores rotantes neumáticos
	Cilindros de doble efecto con doble vástago e imán		
	Cilindros de doble efecto con doble vástago y amortiguación		
	Cilindros de doble efecto con doble vástago, amortiguación e imán		

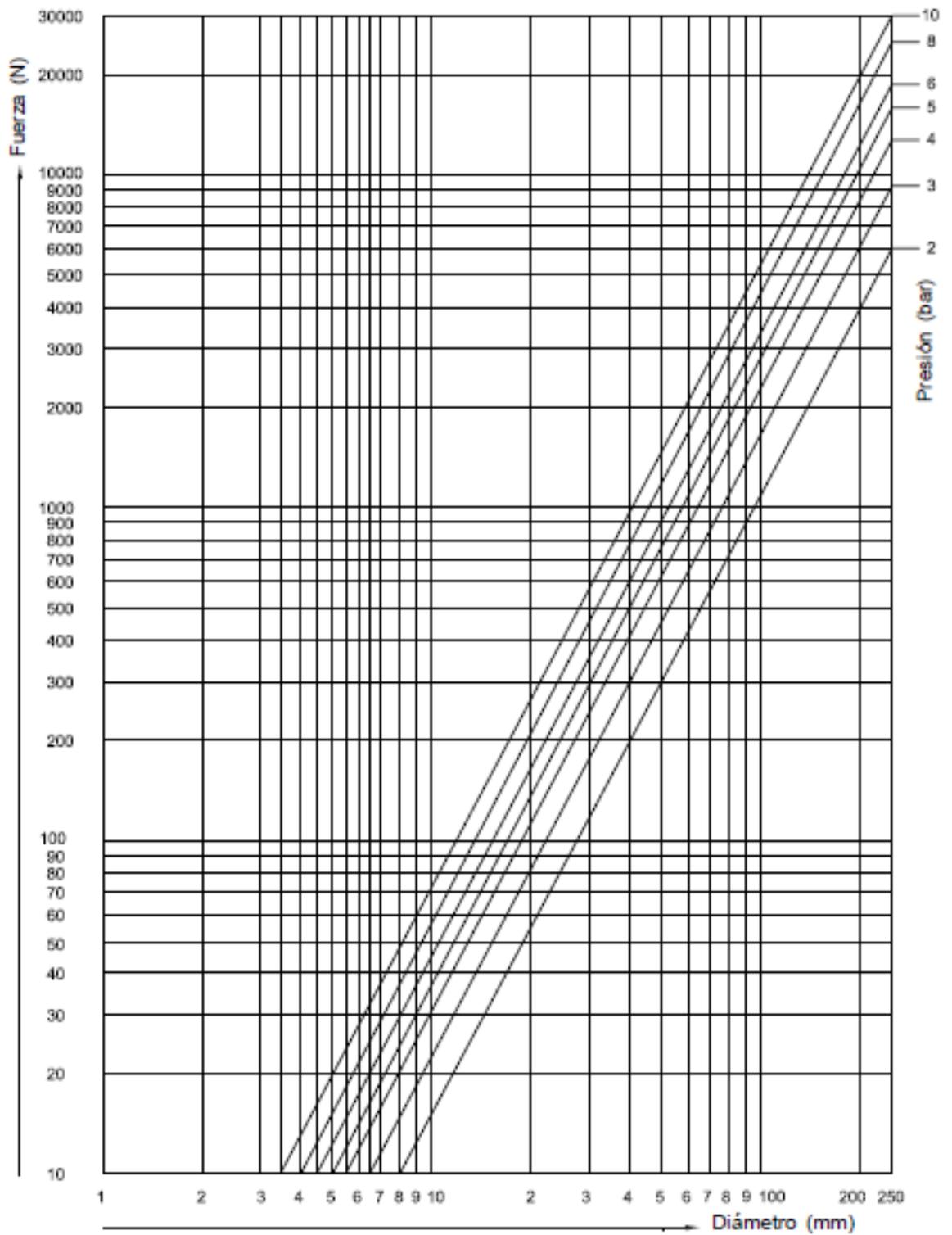
Al introducir un determinado caudal de aire comprimido, éste se expande dentro de la cámara y provoca un desplazamiento lineal. Si se acopla al embolo un vástago rígido, este mecanismo es capaz de empujar algún elemento, o simplemente sujetarlo. La fuerza de empuje es proporcional a la presión del aire y a la superficie del pistón:

**Fuerza en cilindro.** La fuerza disponible de un cilindro crece con mayor presión y con mayor diámetro. La determinación de la fuerza estática en los cilindros está sustentada por la siguiente fórmula, o el ábaco adjunto:

$$F = 10 \cdot p \cdot \Pi \cdot (d^2/4)$$

ó bien  $F = 7,85 \cdot p \cdot d^2$

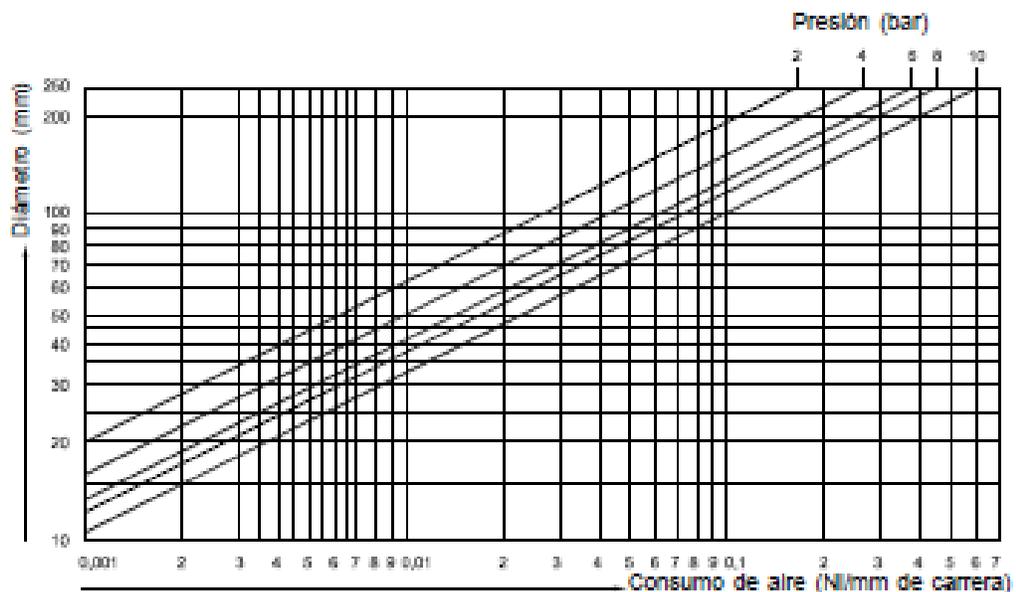
donde: F: Fuerza (N)  
p: Presión (bar)  
d: Diámetro de la cámara del cilindro (cm)



**Consumo de aire en cilindros.** El cálculo del consumo de aire en cilindros neumáticos es muy importante cuando se requiere conocer la capacidad del compresor necesario para abastecer a la demanda de una instalación. Puede calcularse con la siguiente fórmula, o mediante el ábaco adjunto:

$$Q = (\pi/4) \cdot d^2 \cdot c \cdot n \cdot P \cdot N \cdot 10^{-6}$$

donde: Q = Consumo de aire (NI/min)  
d = Diámetro del cilindro (mm)  
c = Carrera del cilindro (mm)  
n = Número de ciclos completos por minuto  
P = Presión absoluta=Presión relativa de trabajo + 1 bar  
N = Número de efectos del cilindro  
(N=1 para simple efecto, N=2 para doble efecto)



**Pandeo.** El pandeo es un factor limitativo en la elección de cilindros cuyos vástagos estén sometidos a compresión, ya que sólo bajo dicha sollicitación es cuando aparece este fenómeno. Éste se manifiesta por una flexión lateral del

vástago que genera esfuerzos radiales sobre bujes y camisa de los cilindros, acortando su vida útil y hasta produciendo la rotura. El vástago de un cilindro puede sufrir pandeo cuando está sometido a compresión, por lo que debe tener el diámetro adecuado para evitarlo. El cálculo de dicho diámetro se realiza mediante la teoría de Euler. Según esta teoría, la máxima fuerza que el vástago puede soportar sin pandeo es:

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

siendo: K: carga de pandeo (kg)  $K = \frac{\pi^2 E J}{L^2}$

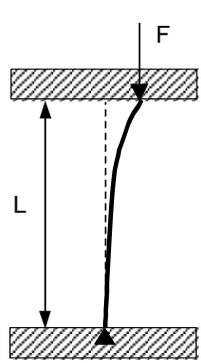
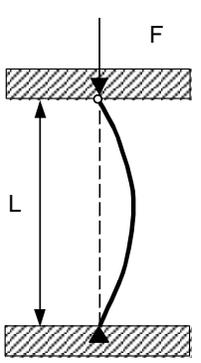
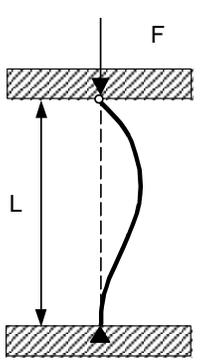
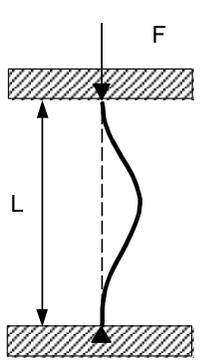
S: factor de seguridad (3.5)

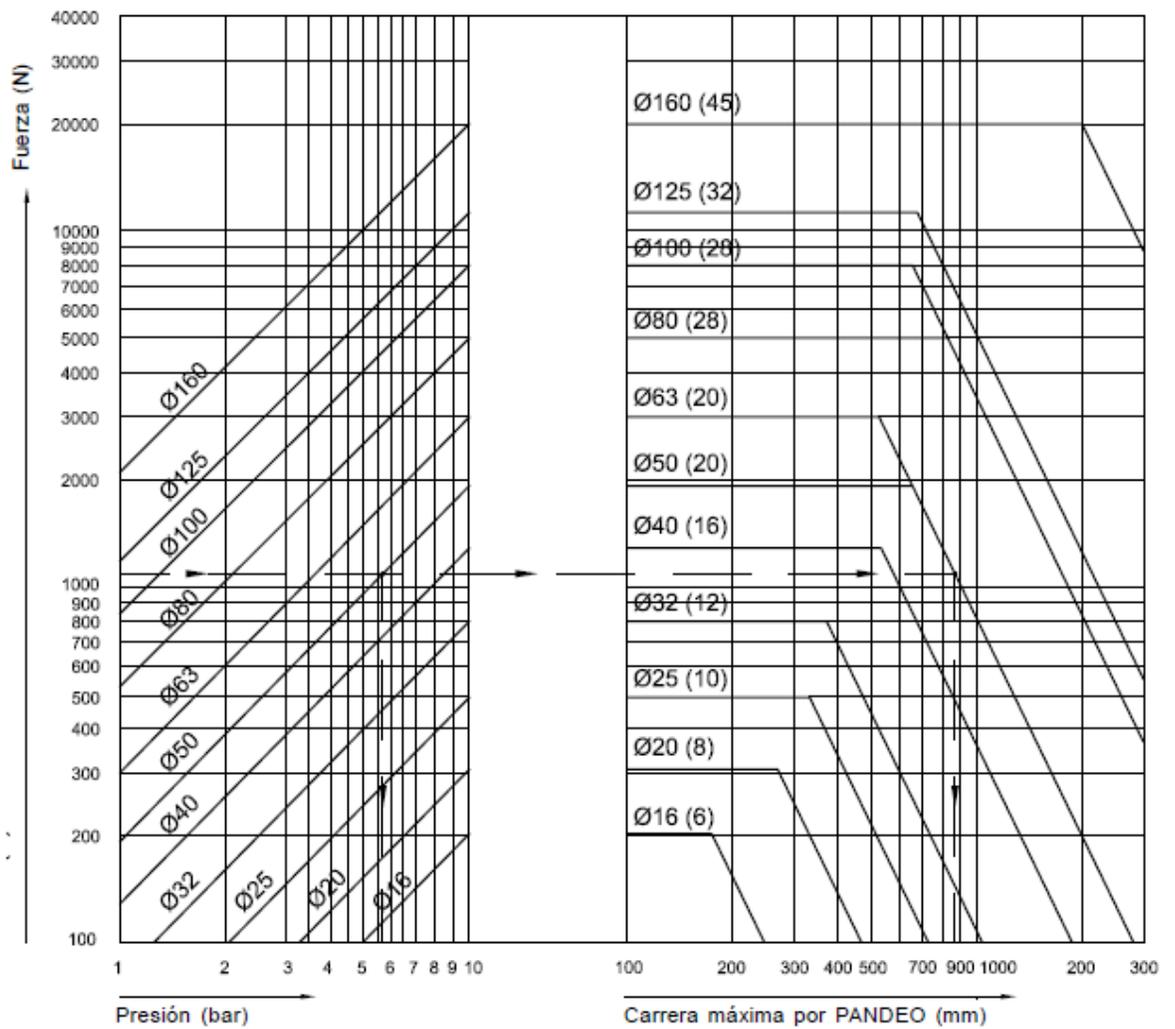
E: módulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>) (2.1 10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup> para el acero)

J: momento de inercia de la sección transversal del vástago (cm<sup>4</sup>)

$J = \pi d^2 / 64$  para un vástago de sección circular de diámetro d

L: longitud de pandeo (cm), que depende del método de sujeción:

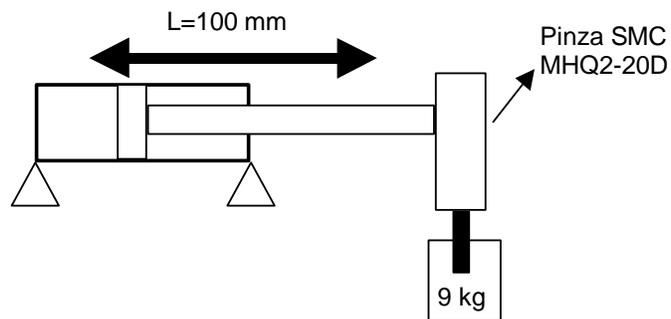
Un extremo libre, un extremo empotrado	Dos extremos articulados	Un extremo articulado y otro empotrado	Dos extremos empotrados
			
$L_p = 2 \cdot L$	$L_p = L$	$L_p = \frac{L}{\sqrt{2}}$	$L_p = \frac{L}{2}$
$m = 1/4$	$m = 1$	$m = 2$	$m = 4$



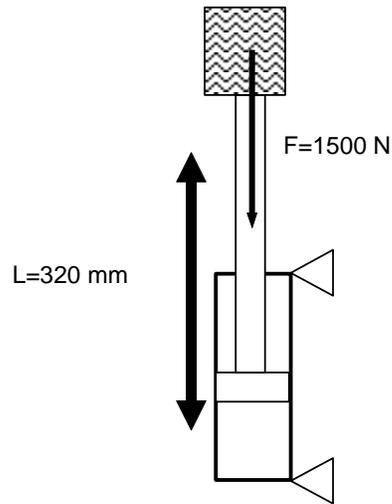
## PRÁCTICA 1: NEUMÁTICA CONVENCIONAL: Consulta de catálogos comerciales

En primer término la práctica consiste simplemente en observar con cierto detenimiento la parte de los catálogos comerciales dedicados a actuadores neumáticos y sus accesorios. En la segunda se habrá de seleccionar en los catálogos comerciales aquellos actuadores que cumplan las siguientes solicitudes:

1.- En este caso el cilindro de doble efecto ha de conducir en el aire y en ambos sentidos el peso de una pinza de la marca SMC de referencia MHQ2-20D además de una masa de 9 kg con una carrera de 100 mm. Elíjase un cilindro sin guías y otro con guías. Presión de trabajo 6 bar.



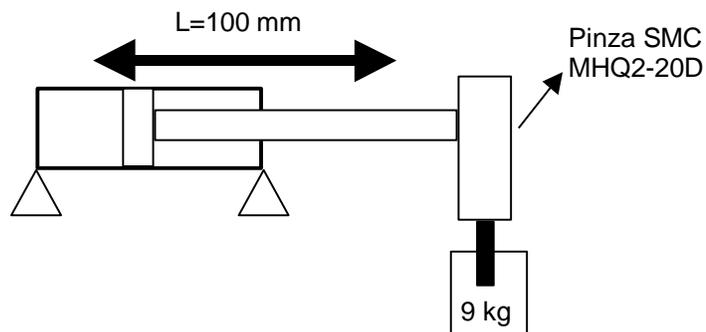
2. Seleccione el cilindro necesario en el caso en que se desee levantar y descender verticalmente un objeto frágil cuyo peso sea de  $1.500\text{ N}$ , con una carrera de  $320\text{ mm}$ . Presión de trabajo  $5\text{ bar}$ .

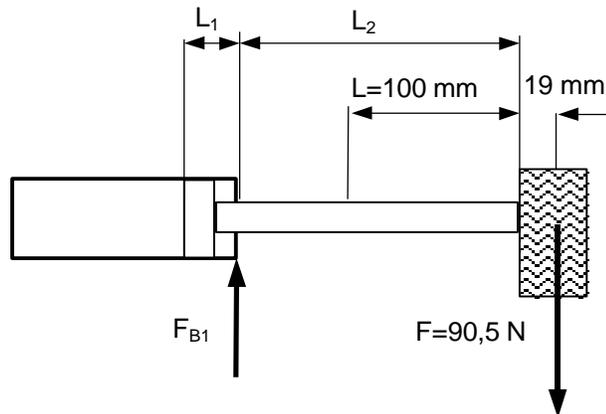


En cada caso se indicará el tipo y dimensiones del cilindro, la referencia del catálogo y los elementos auxiliares necesarios (elementos de fijación, racores y accesorios del vástago). Así mismo se calculará el volumen de aire necesario en una hora y el caudal que debería proporcionar el compresor.

La velocidad deseable en el vástago del cilindro es de  $0,4\text{ m/s}$  y se realizan 15 ciclos por minuto.

1.- En este caso el cilindro de doble efecto ha de conducir en el aire y en ambos sentidos un peso de  $100\text{ N}$  con una carrera de  $100\text{ mm}$ . Elijase un cilindro sin guías y otro con guías. Presión de trabajo  $6\text{ bar}$ .





### Selección del diámetro

El peso de la pinza referida de SMC es de 237 g que sumados a los 9 kg de la masa de la pieza a desplazar nos dan un peso de:

$$F = (0,237 + 9) \cdot 9,8 = 90,5 \text{ N}$$

Para la distancia del centro de gravedad de las pinzas más la masa hemos tomado como simplificación que está a más o menos la mitad de la dimensión correspondiente de las pinzas más 5 mm de una supuesta pieza de unión cilindro - pinza. Es decir 19 mm aproximadamente.

Siguiendo el catálogo de SMC en la página 5-15 se dispone de una tabla en la que se nos da la carga máxima soportable por el casquillo guía del cilindro ( $F_B$ ) en función del diámetro.

En el caso problema:

$$F \cdot (19 + L_2 + L_1) = F_{B1} \cdot L_1$$

$$F_{B1} = \frac{F \cdot (19 + L_2 + L_1)}{L_1}$$

De esta forma:

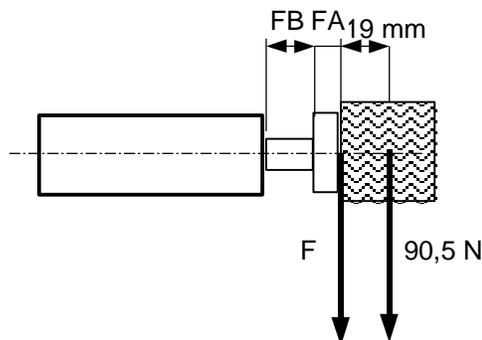
$\varnothing$ cilindro	$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	$F_B$ (N)	$F_{B1}$ (N)

(mm)				
50	39	168	10 0	524
63	43	171	15 5	490
80	52	179	25 0	435
100	56	185	39 5	420
125	91	218	61 5	326

Por lo tanto el diámetro a elegir será de 125 mm.

En el caso de colocarle unas guías con cojinetes debemos usar el gráfico de la página 5-597 viendo que con un diámetro de 32 mm es suficiente.

Si usamos por contra un cilindro con guías del tipo MGP (catálogo de SMC página 5-519).



Como la tabla nos da la carga máxima aplicable en la placa del final del vástago y la carga la tenemos en un punto a 19 mm de allí, se toma momentos respecto el casquillo guía teniendo que:

$$90.5 \cdot (FA + FB + 19 + 100) = F (FA + FB + 100)$$

En la tabla del catálogo para un cilindro de carrera 100:

Tipo guía	Ø cilindro (mm)	FA (mm)	FB (mm)	F admisible (N)	F (N)
Fricción	25	10	6	100	105,3
A bolas	25	10	6	77	105,3
Fricción	32	12	10	159	104,6
A bolas	32	12	10	144	104,6

Como se vé el diámetro de 32 mm es el elegido.

### Consumo de aire comprimido

Considerando una velocidad media de 0,4 m/s.

#### Caudal a la salida del vástago

$$Q_s = v \cdot A_1 = 0,4 \cdot \frac{\pi \cdot (0,032)^2}{4} = 19,3 \text{ l/min}$$

$$Q_s = v \cdot A_1 = 0,4 \cdot \frac{\pi \cdot (0,04)^2}{4} = 30,16 \text{ l/min}$$

$$Q_s = v \cdot A_1 = 0,4 \cdot \frac{\pi \cdot (0,125)^2}{4} = 294 \text{ l/min}$$

#### Caudal a la entrada del vástago

$$Q_e = v \cdot A_2 = 0,4 \cdot \frac{\pi \cdot (0,032^2 - 0,012^2)}{4} = 16,6 \text{ l/min}$$

$$Q_e = v \cdot A_2 = 0,4 \cdot \frac{\pi \cdot (0,04^2 - 0,016^2)}{4} = 25,3 \text{ l/min}$$

$$Q_e = v \cdot A_2 = 0,4 \cdot \frac{\pi \cdot (0,125^2 - 0,032^2)}{4} = 270 \text{ l/min}$$

De forma que en condiciones normales:

$$\text{Ø}32 \text{ mm} \rightarrow Q_s = 19,3 \cdot 7 = 135,1 \text{ IN/min} \quad | \quad Q_e = 16,6 \cdot 7 = 116,2 \text{ IN/min}$$

$$\varnothing 40 \text{ mm} \rightarrow Q_s = 30,16 \cdot 7 = 211,12 \text{ IN/min} \mid Q_e = 16,6 \cdot 7 = 177,1 \text{ IN/min}$$

$$\varnothing 125 \text{ mm} \rightarrow Q_s = 294 \cdot 7 = 2.058 \text{ IN/min} \mid Q_e = 270 \cdot 7 = 1.890 \text{ IN/min}$$

Como se dice que realizan 15 ciclos por minuto la frecuencia será:

$$f = \frac{15}{60} = 0,25 s^{-1}$$

Es decir trabajan el 25% del tiempo mientras que el 75% está parado.

### Amortiguamiento

Si elegimos un cilindro SMC del tipo MGPL32 (cilindro con guías), la energía cinética a amortiguar será:

$$E_c = \frac{(m+M)}{2} \cdot v^2 \quad \mid \quad v = 1,4 \cdot \bar{v}$$

$E_c$ : energía cinética (J)

M: masa del cuerpo desplazado (kg)

m: masa móvil del cilindro (kg)

v: velocidad máxima (m/s)

$\bar{v}$ : velocidad media (m/s)

De esta forma:  $v = 1,4 \cdot 0,4 = 0,56 \text{ m/s}$

M= 9,237 kg

m (según tablas de catálogo para un cilindro de  $\varnothing 32$  y carrera 100)= 1,23 kg

$E_c = 1,64 \text{ J}$

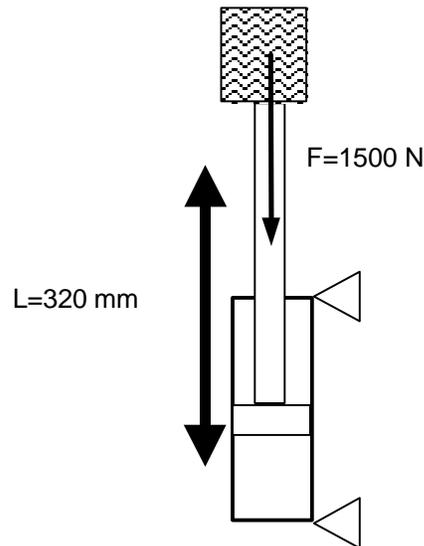
Este resultado no es admisible porque el máximo permitido es de 0,29J para ese diámetro y amortiguación elástica y 1 J con amortiguación neumática.

En el caso de elegir un cilindro CP95  $\varnothing$ 40 + guías GUM40-200 la energía cinética admisible es de 3,4J por lo que no hay problemas.

Precio CP95SDB40-200 = 12.140 pts

Estimación MGPL32-200 = 42.000 pts

2. Selecciónese el cilindro necesario en el caso en que se desee levantar y descender verticalmente un objeto frágil cuyo peso sea de 1.500 N, con una carrera de 320 mm. Presión de trabajo 5 bar.



$$F_T = \frac{F}{\mu \cdot \lambda} = A \cdot p = \frac{1500}{0,7 \cdot 0,85} = 2521 \text{ N}$$

Por lo tanto se tiene que:

$$D \geq \sqrt{\frac{F_T \cdot 4}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{2521 \cdot 4}{\pi \cdot 5 \cdot 10^5}} \quad D \geq 80,12 \text{ mm} \rightarrow D = 80 \text{ mm}$$

Realmente según los cálculos se debería optar por un diámetro de émbolo mayor que 80 mm y el siguiente diámetro normalizado es de 100 mm pero hemos usado un coeficiente bastante pequeño como se puede ver en el gráfico del catálogo de SMC de la página 5-12 por lo que optamos por un diámetro de 80 porque el de 100 no sería muy económico. Además al trabajar con 5 bar siempre se tiene un margen para ampliar la presión, en caso de problemas. El diámetro del vástago será de 25 mm. En el retorno como la carga va en el mismo sentido que el movimiento no hay problemas en principio.

### Comprobación a pandeo

Según la fórmula de Euler para el pandeo:

$$F_p = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_p^2}$$

donde:

$F_p$ : Fuerza en N a la que se produce pandeo

$E$ : Módulo de elasticidad del material con el que esté construido el vástago, en el caso del acero  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>, es decir, en Pa.

$I$ : Momento de inercia en m<sup>4</sup>. Para secciones transversales circulares vale:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

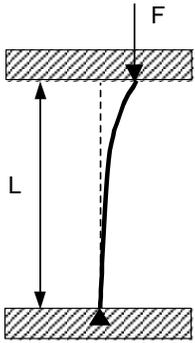
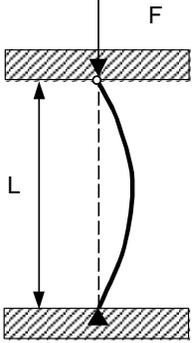
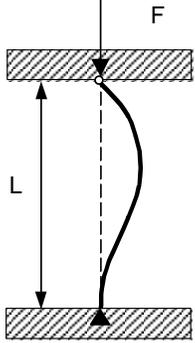
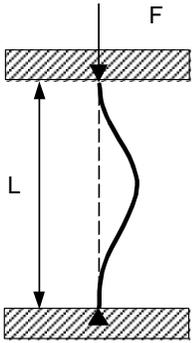
siendo  $d$  el diámetro del vástago en m.

$L_p$ : longitud libre al pandeo en m. Depende del tipo de fijación que lleve el cilindro. Su valor se indica en la tabla siguiente.

En el catálogo de SMC la expresión viene representada como:

$$F_p = m \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Siendo  $m$  el coeficiente a aplicar según la fijación del cilindro tal y como se describe en la tabla siguiente.

Un extremo libre, un extremo empotrado	Dos extremos articulados	Un extremo articulado y otro empotrado	Dos extremos empotrados
			
$L_p = 2 \cdot L$	$L_p = L$	$L_p = \frac{L}{\sqrt{2}}$	$L_p = \frac{L}{2}$

$m = 1/4$	$m = 1$	$m = 2$	$m = 4$
-----------	---------	---------	---------

Con una fuerza  $F = F_p$  se producirá pandeo, luego la fuerza de servicio deberá de ser menor que  $F_p$ . Normalmente se toma como coeficiente de seguridad 3,5 de forma que:

$$F = \frac{F_p}{3,5}$$

Nuestros datos son:

$$F_p = 1500 \text{ N}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2, \text{ es decir, en Pa.}$$

$$L = 0,32 \text{ m}$$

$$m = 1/4$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \text{ siendo } d \text{ el diámetro del vástago en m.}$$

$$I = \frac{F_p \cdot L^2}{\pi^2 \cdot E \cdot m} = \frac{4 \cdot 1500 \cdot 0,32^2}{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} = 2,96 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 2,96 \cdot 10^{-10}}{\pi}} = 8,82 \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx 9 \text{ mm}$$

Como  $d=25 \text{ mm}$  no hay problemas de pandeo.

### Consumo de aire comprimido

Considerando una velocidad media de  $0,5 \text{ m/s}$ .

#### Caudal a la salida del vástago

$$Q_s = v \cdot A_1 = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot (0,080)^2}{4} = 0,0025 \text{ m}^3 / \text{s} = 150,8 \text{ l/min}$$

#### Caudal a la entrada del vástago

$$Q_e = v \cdot A_2 = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot (0,080^2 - 0,025^2)}{4} = 0,0022 \text{ m}^3 / \text{s} = 136 \text{ l/min}$$

Eso serían los caudales de aire a una presión relativa de 6 bar así que en condiciones normales:

$$Q_s = 150,8 \cdot 7 = 1055,6 \text{ IN/min}$$

$$Q_e = 136 \cdot 7 = 952 \text{ IN/min}$$

### **Amortiguamiento**

La energía cinética que hay que amortiguar en el final de carrera es:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 150 \cdot 0,5^2 = 18,75 \text{ J}$$

En el catálogo de SMC página 5-101 correspondiente a un cilindro serie CP95 da como energía cinética admisible para un cilindro de diámetro 80 con amortiguación neumática un valor de 20 J por lo que estamos dentro del rango admisible.

# SIMBOLOGÍA

	Cilindro de simple efecto con retorno por muelle		Motor de caudal constante no reversible		Medidor de caudal
	Cilindro de doble efecto		Motor de caudal variable no reversible		Toma de aire
	Válvulas antirretorno A - No regulada B - Regulada		Motor de caudal variable reversible		Escape sin rosca
	Válvulas antirretorno pilotadas A - Al cierre B - A la apertura		Selector de circuitos		Escape con rosca
	Válvula de escape rápido		Válvula de simultaneidad		Mando manual
	Regulador de caudal		Grupo de acondicionamiento		Mando manual con retención
	Regulador de caudal en un solo sentido		Engrasador		Mando manual por pulsador
	Válvula distribuidora (2/2) 2 vías - 2 posiciones Normalmente cerrada		Manómetro		Mando manual por palanca
	Válvula distribuidora (2/2) 2 vías - 2 posiciones Normalmente abierta		Termómetro		Mando manual por pedal
	Válvula distribuidora (3/2) 3 vías - 2 posiciones Normalmente cerrada		Acumulador		Mando por resorte
	Válvula distribuidora (3/2) 3 vías - 2 posiciones Normalmente abierta		Reductor de presión		Mando por rodillo
	Válvula distribuidora (4/2) 4 vías - 2 posiciones		Limitador de presión		Mando eléctrico
	Válvula distribuidora (5/2) 5 vías - 2 posiciones		Filtro		Mando directo por fluido
	Válvula distribuidora (5/3) 5 vías - 3 posiciones		Presostato		Mando indirecto por fluido
			Bomba de caudal constante no reversible		
			Purgador		
			Válvula de cierre		

