

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

En esta presentación se incluye un listado de problemas en el orden en el que se pueden resolver siguiendo el desarrollo de la teoría. Es trabajo del alumno resolverlos y comprobar la solución

**Departamento:** Ingeniería Eléctrica y Energética  
**Area:** Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO [renedoc@unican.es](mailto:renedoc@unican.es)  
INMACULADA FERNANDEZ DIEGO [fernandei@unican.es](mailto:fernandei@unican.es)  
JUAN CARCEDO HAYA [juan.carcedo@unican.es](mailto:juan.carcedo@unican.es)  
FELIX ORTIZ FERNANDEZ [felix.ortiz@unican.es](mailto:felix.ortiz@unican.es)

## Introducción a la Neumática y la Hidráulica

### 1.- Neumática Industrial

- 1.1.- Tratamiento de Aire
- 1.2.- Generación y Distribución de Aire
- 1.3.- **Actuadores Neumáticos**
- 1.4.- Válvulas Distribuidoras
- 1.5.- Regulación, Control y Bloqueo
- 1.6.- Detectores de Señal
- 1.7.- Control de Actuadores
- 1.8.- Diseño de Circuitos
- 1.9.- Ciclos de Operación
- 1.10.- Marcha-Paro
- 1.11.- Eficiencia Energética
- 1.12.- Electro-Neumática
- 1.13.- Cilindros Eléctricos

### 2.- Hidráulica Industrial

### 0.- Simbología Neumática e Hidráulica

- **Introducción**
- **Construcción Básica**
- **Cilindros de Simple Efecto**
- **Cilindros de Doble Efecto**
- **Cilindros sin Vástago**
- **Cilindros Compactos**
- **Cilindros Elásticos y Músculos Neumáticos**
- **Cilindros de Membrana**
- **Cilindros de Dobles Vástago**
- **Cilindros Tándem**
- **Cilindros de Impacto**
- **Cilindros Telescópicos**
- **Cilindros de Vástago Hueco**
- **Cilindros Multiposicionales**

- **Actuadores Rotativos**
- **Pinzas Neumáticas**
- **Detectores Magnéticos**
- **Multiplicador de Presión**
- **Motores Neumáticos**
- **Fuerza y Potencia**
- **Consumo de Aire**
- **Reguladores de Caudal**
- **Control de la Velocidad**
- **Juntas**
- **Amortiguación**
- **Fijación del Actuador**
- **Pandeo del Vástago**
- **Normas**

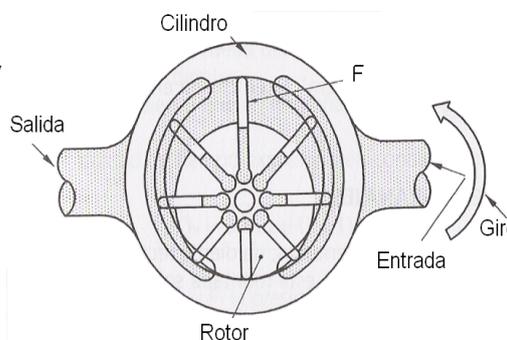
3

### **Motores Neumáticos (I)**

Transforman la energía del aire comprimido en energía mecánica de rotación

- **De paletas:** 3.000 a 9.000 rpm, hasta 20 CV

c = nº de cámaras  
n = r.p.m.  
 $P_1$  = presión relativa actuante ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )  
Pot = Potencia (CV)  
 $Q_N$  = Caudal normal  
r = radio (mm)  
S = Superficie máx de la paleta ( $\text{cm}^2$ )  
 $V_1$  = volumen de la cámara máxima ( $\text{cm}^3$ )  
v = velocidad (m/s)



$$\text{Par} = F \cdot r = [P_1 \cdot S_1] \cdot r$$

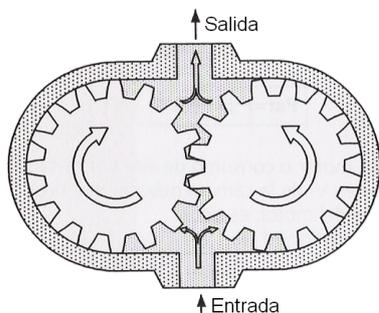
$$Q_N = V_1 \cdot c \cdot n \cdot (P_1 + 1)$$

$$\text{Pot} = \frac{\text{Trabajo}}{t} = \frac{F \cdot e}{t} = F \cdot v = [P_1 \cdot S_1] \cdot [w \cdot r] = \frac{P_1 \cdot S_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r}{60 \cdot 1000 \cdot 75}$$

4

Motores Neumáticos (II)

➤ De engranajes: baratos y de reducido rendimiento, hasta 60 CV



$$\text{Par} = P_1 \cdot S_1 \cdot r = P_1 \cdot S_1 \cdot \frac{m \cdot z}{2} = \frac{P_1 \cdot 2,25 \cdot m^2 \cdot b \cdot z}{2}$$

$$Q_N = 2 \cdot V_1 \cdot z \cdot n \cdot (P_1 + 1)$$

$$\text{Pot} = \frac{\text{Trabajo}}{t} = \text{Par} \cdot w = \text{Par} \cdot [2 \cdot \pi \cdot n] =$$

$$= \frac{P_1 \cdot 2,25 \cdot m^2 \cdot b \cdot z \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 1000 \cdot 75}$$

Neumática industrial  
Jesús Peláez vara- Esteban García Maté

- b = ancho del diente (mm)
- m = módulo de la rueda dentada (altura del diente, mm)
- n = r.p.m.
- z = nº de dientes de la rueda
- P<sub>1</sub> = presión relativa actuante (kgf/cm<sup>2</sup>)
- Pot = Potencia (CV)
- r = radio (mm)
- V<sub>1</sub> = volumen de la cámara máxima
- w = velocidad angular

5

Motores Neumáticos (III)

➤ De pistones: hasta 4.000 rpm y 30 CV

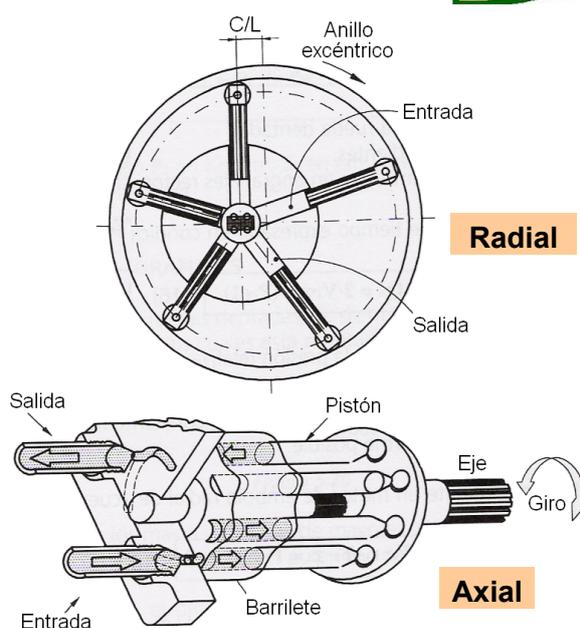
$$\text{Par} = F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 = P \cdot S \cdot (r_1 + r_2)$$

$$Q_N = S \cdot c \cdot Z \cdot n \cdot (P_1 + 1)$$

$$\text{Pot} = P \cdot S \cdot r \cdot \cos \alpha \cdot \text{sen} \alpha =$$

$$= \frac{P \cdot S \cdot r}{2} \cdot \text{sen}(2\alpha)$$

- S = sección del pistón (mm)
- c = carrera (mm)
- n = r.p.m.
- Z = nº de pistones del motor
- α = ángulo entre anillo excéntrico y concéntrico
- r<sub>1</sub> y r<sub>2</sub> = radios de ambos anillos

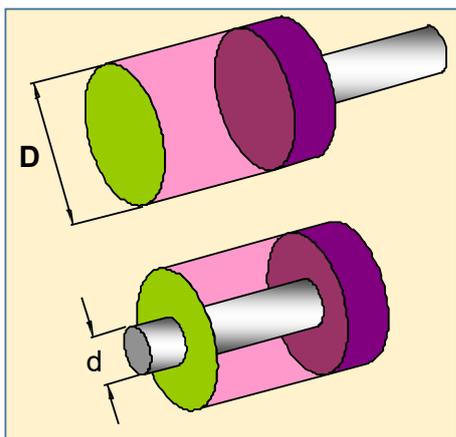


Neumática industrial  
Jesús Peláez vara- Esteban García Maté

6

### Fuerza y Potencia (I)

- La **Fuerza Teórica** del cilindro se calcula multiplicando el área efectiva del pistón por la presión de trabajo
  - El área efectiva para el cilindro “a más” (salida) es el área completa del diámetro “D” cilindro
  - El área efectiva del cilindro “a menos” (retorno) se reduce por el área que ocupa el vástago del pistón “d”



$$F_{\text{avance}} [\text{N}] = \pi \cdot \frac{D_{\text{cil}}^2}{4} [\text{mm}^2] \cdot \frac{P_{\text{man}} [\text{bar}]}{10}$$

$P_{\text{man}}$  es la presión manométrica o de trabajo

$$F_{\text{retorceso}} [\text{N}] = \pi \cdot \frac{D_{\text{cil}}^2 - d_{\text{vas}}^2}{4} [\text{mm}^2] \cdot \frac{P_{\text{man}} [\text{bar}]}{10}$$

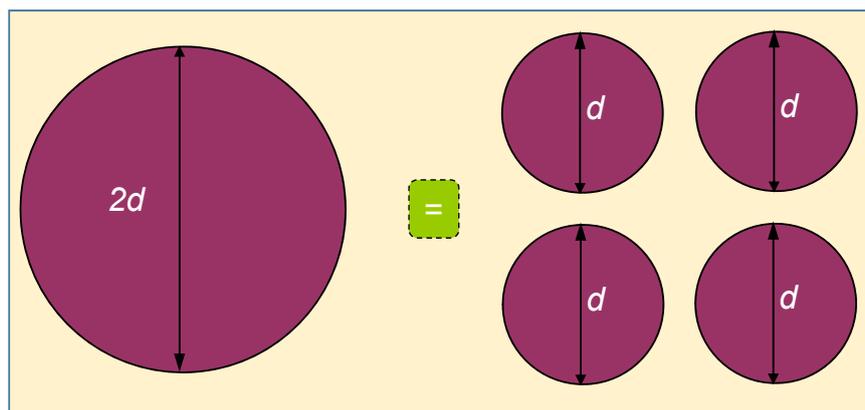
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \left[ \frac{\text{m}^2}{10^6 \text{ mm}^2} \right] = 0,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

7

### Fuerza y Potencia (II)

- Cuando se estima la **Fuerza Relativa** de un cilindro con diferentes diámetros, es útil recordar que la fuerza se incrementa con el cuadrado del diámetro

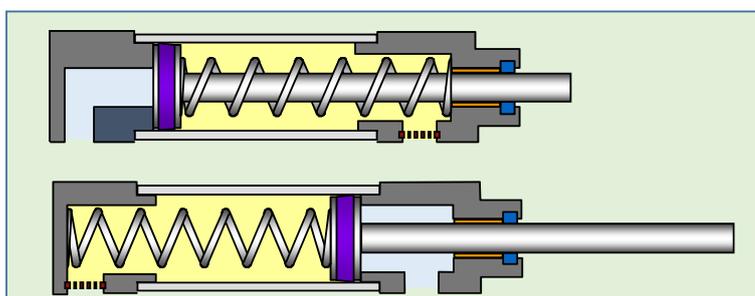
Si se dobla el diámetro se cuadruplicará la fuerza



8

### Fuerza y Potencia (III)

- En un **cilindro de S.E.** hay que tener en cuenta la **fuerza ejercida por el muelle** (la fuerza opositora del muelle se incrementa a medida que el muelle se comprime)
  - Si es normalmente dentro con retorno a por muelle
    - $F_{\text{muelle}}$  resta a la teórica en la salida del cilindro
    - $F_{\text{muelle}}$  es la fuerza de retorno
  - Si es normalmente fuera, salida por muelle
    - $F_{\text{muelle}}$  resta a la teórica en el retorno del cilindro
    - $F_{\text{muelle}}$  es la fuerza de salida

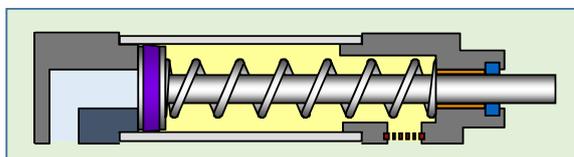


$$F_{\text{resorte}} \approx 10 \text{ al } 15\% F_{\text{cil}}$$

9

### Fuerza y Potencia (IV)

- **En un cilindro de S.E.**



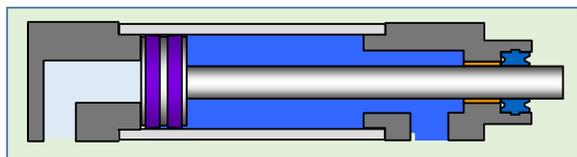
- Las tablas de las fuerzas se pueden encontrar en los catálogos
- Los valores mostrados son para presión de trabajo de 6 bar
- Para otras presiones multiplicar por la presión y dividir por 6

Diám. cilindro mm	A mas (N) a 6 bar	A menos (N) muelle
10	37	3
12	59	4
16	105	7
20	165	14
25	258	23
32	438	27
40	699	39
50	1.102	48
63	1.760	67
80	2.892	86
100	4.583	99

10

**Fuerza y Potencia (V)**

➤ **En un cilindro de D.E.**



- Los valores a menos son menores por el área que ocupa el vástago
- Los valores mostrados en la tabla son para presión de trabajo de 6 bar
- Para otras presiones multiplicar por la presión y dividir por 6

Diám. Cil. mm	Diám. Vas. mm	A mas (N) a 6 bar	A menos (N) a 6 bar
8	3	30	25
10	4	47	39
12	6	67	50
16	6	120	103
20	8	188	158
25	10	294	246
32	12	482	414
40	16	753	633
50	20	1.178	989
63	20	1.870	1.681
80	25	3.015	2.721
100	25	4.712	4.418
125	32	7.363	6.881
160	40	12.063	11.309
200	40	18.849	18.095
250	50	29.452	28.274
320	63	48.254	46.384

**Fuerza y Potencia (VI)**

➤ **Fuerza Útil**

Para seleccionar un cilindro y la presión de trabajo, se debe hacer una estimación de la fuerza real que se precisa

Se toma como % de la teórica que debe realizar el cilindro seleccionado

- En **aplicaciones estáticas** la fuerza se ejerce al final del movimiento (p.ej. para fijar), es decir cuando la presión alcanza su valor máximo. Las únicas **pérdidas** son causa del **rozamiento**, y como norma general, se puede tomar un **10%**  
(algo mayor en cilindros de diámetro pequeño y menor en los de mayor diámetro)

- En las **aplicaciones dinámicas** la fuerza se ejerce durante el movimiento para mover la carga (para aceleración, y vencer el rozamiento); y ayudar a expulsar el aire de la cámara del pistón (permite una regulación adecuada de la velocidad)

Como norma general, **el esfuerzo estimado** debe quedar **entre el 50 y el 75% del esfuerzo teórico** del cilindro escogido

**Fuerza y Potencia (VII)**

**La fuerza de un cilindro:** depende de la presión, la sección del émbolo y del rozamiento en las juntas dinámicas

	$F_{\text{avance}} \text{ [N]}$	$F_{\text{retorceso}} \text{ [N]}$
C. D.E.	$\pi \cdot \frac{D_{\text{cil}}^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \cdot \frac{P_{\text{man}} \text{ [bar]}}{10}$	$\pi \cdot \frac{D_{\text{cil}}^2 - d_{\text{vas}}^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \cdot \frac{P_{\text{man}} \text{ [bar]}}{10}$
C. S.E.	$\left( \pi \cdot \frac{D_{\text{cil}}^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \cdot \frac{P_{\text{man}} \text{ [bar]}}{10} \right) - F_{\text{resorte}} \text{ [N]}$	$F_{\text{resorte}} \text{ [N]}$

“Cambian” si es normalmente fuera

$F_{\text{resorte}} \approx 10 \text{ al } 15\% F_{\text{cil}}$

$F_{\text{rozamiento}} \approx 5 \text{ al } 10\% F_{\text{cil}}$

$F_{\text{real}} < F_{\text{teórica}}$

$F_{\text{real}} \approx [0,5 \text{ a } 0,75] \cdot F_{\text{teórica}}$

13

**Fuerza y Potencia (VIII)**

**Movimiento Lineal:**

Potencia desarrollada:  $= \frac{F \text{ [N]} \cdot v \text{ [m/s]}}{1.000} \text{ [kW]}$

$= \frac{F \text{ [k}_f\text{]} \cdot v \text{ [m/s]}}{735} \text{ [CV]}$

**Movimiento Circular:**

Potencia desarrollada:  $= \frac{M \text{ [N} \cdot \text{m]} \cdot v \text{ [rpm]}}{9.550} \text{ [kW]}$

$= \frac{M \text{ [k}_f\text{} \cdot \text{m]} \cdot v \text{ [rpm]}}{716,2} \text{ [CV]}$

**Potencia Necesitada:**

$= \frac{P_{\text{man}} \text{ [bar]} \cdot Q \text{ [l/min]}}{612 \cdot \eta} \text{ [kW]}$

$= \frac{P_{\text{man}} \text{ [bar]} \cdot Q \text{ [l/min]}}{450 \cdot \eta} \text{ [CV]}$

$\eta = \eta_{\text{actuador}} \cdot \eta_{\text{instalación}} \cdot \eta_{\text{grupo presión}}$

14

### Consumo de Aire de un Cilindro (I)

Hay dos factores a considerar en el consumo de aire de un cilindro:

- El volumen desplazado por pistón multiplicado por la presión absoluta
- El volumen de todo circuito neumático (cavidades en culatas y pistón, puertos del cilindro, tubos de alimentación y cavidades en la válvula, etc), todos ellos multiplicados por la presión manométrica. Este volumen, que va a escape, varía según la instalación y se considera entre el 5-10% del volumen del cilindro
- En los cilindros de D.E. hay que considerar las dos cámaras en cada carrera del cilindro (con sus diferentes volúmenes)
- En los cilindros de S.E. sólo se llena una de las cámaras (depende si el cilindro es normalmente dentro o fuera)

15

### Consumo de Aire de un Cilindro (II)

En un cilindro de D.E. el volumen consumido por ciclo de trabajo (salida + retorno) es la suma de:

- En la carrera a más (salida)

$$Vol_{avance} [\text{litros}] = \pi \cdot \frac{D_{cil}^2}{4} [\text{mm}^2] \cdot Carrera [\text{mm}] \cdot \frac{(P_{man} + P_{atm}) [\text{bar}]}{10^6}$$

- En la carrera a menos (retorno)

$$Vol_{retorceso} [\text{litros}] = \pi \cdot \frac{D_{cil}^2 - d_{vas}^2}{4} [\text{mm}^2] \cdot Carrera [\text{mm}] \cdot \frac{(P_{man} + P_{atm}) [\text{bar}]}{10^6}$$

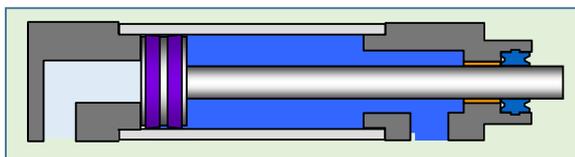
**Volúmenes por ciclo de trabajo**

16

**Consumo de Aire de un Cilindro (III)**

➤ **En un Cilindro de D.E.**

Consumo en litros a 6 bar por mm de carrera del cilindro



- Multiplicar cada valor por la carrera en mm
- Para presiones manométricas diferentes de 6 bar multiplicar por la presión absoluta y dividir por 7

Diám. mm	Vás. mm	a mas	a menos	ciclo
10	4	0.00054	0.00046	0.00100
12	6	0.00079	0.00065	0.00144
16	6	0.00141	0.00121	0.00262
20	8	0.00220	0.00185	0.00405
25	10	0.00344	0.00289	0.00633
32	12	0.00563	0.00484	0.01047
40	16	0.00880	0.00739	0.01619
50	20	0.01374	0.01155	0.02529
63	20	0.02182	0.01962	0.04144
80	25	0.03519	0.03175	0.06694
100	25	0.05498	0.05154	0.10652
125	32	0.0859	0.08027	0.16617
160	40	0.14074	0.13195	0.27269
200	40	0.21991	0.21112	0.43103
250	50	0.34361	0.32987	0.67348

7

**Consumo de Aire de un Cilindro (IV)**

Para estimar la media total de consumo de aire en un sistema neumático hacer el cálculo para cada cilindro, sumarlos todos y añadir un 10%

Es importante entender que las necesidades de caudal instantáneo para un circuito serán mayores que la media y en algunos casos mucho mayores

	$Q_{\text{ciclo}} = Q_{\text{avance}} + Q_{\text{retroceso}} \text{ (litros/ciclo)}$
C.D.E.	$\pi \cdot \frac{2 \cdot D_{\text{cil}}^2 - d_{\text{vas}}^2}{4} [\text{mm}^2] \cdot \text{Carrera} [\text{mm}] \cdot \frac{(P_{\text{man}} + P_{\text{atm}}) [\text{bar}]}{10^6}$
C.S.E.	$\pi \cdot \frac{D_{\text{cil}}^2}{4} [\text{mm}^2] \cdot \text{Carrera} [\text{mm}] \cdot \frac{(P_{\text{man}} + P_{\text{atm}}) [\text{bar}]}{10^6}$

Para el normalmente dentro

Tanto para el cálculo de la F como para el del Q hay que tener en cuenta el tipo de cilindro ...

**Consumo de Aire de un Cilindro (V)**

➤ **Relación entre el Caudal y la Velocidad del Vástago**

	$Q [m^3 / s] = S [m^2] \cdot U [m / s]$
Avance	$U_{avance} = \frac{Q}{\pi \cdot R^2}$
Retroceso	$U_{retroceso} = \frac{Q}{\pi \cdot (R - r)^2}$

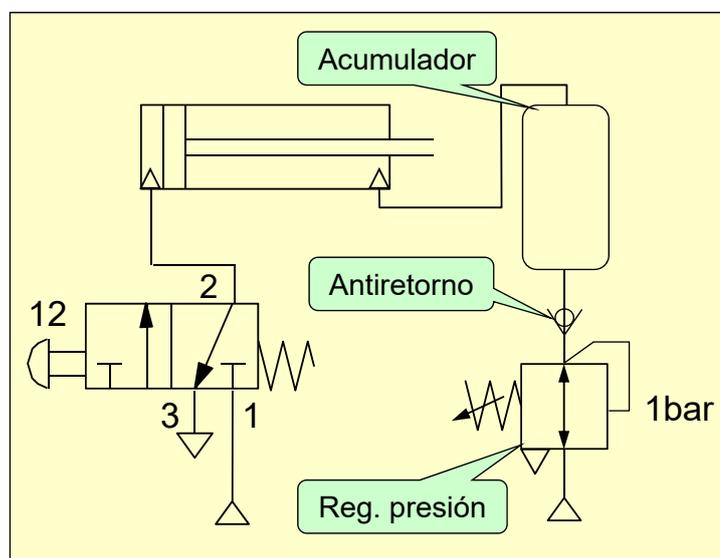
Siendo:

- Q el caudal [m<sup>3</sup>/s]
- S la sección de la cámara trasera del cilindro [m<sup>2</sup>]
- R radio interior del cilindro [m]
- R radio del vástago [m]
- U la velocidad del vástago [m/s]

**Consumo de Aire de un Cilindro (VI)**

Siempre que el cilindro tenga que realizar el esfuerzo en un solo movimiento (avance o retroceso), interesa colocar C.S.E. ya que tiene menor consumo de aire; pero los C.S.E. son de carreras cortas

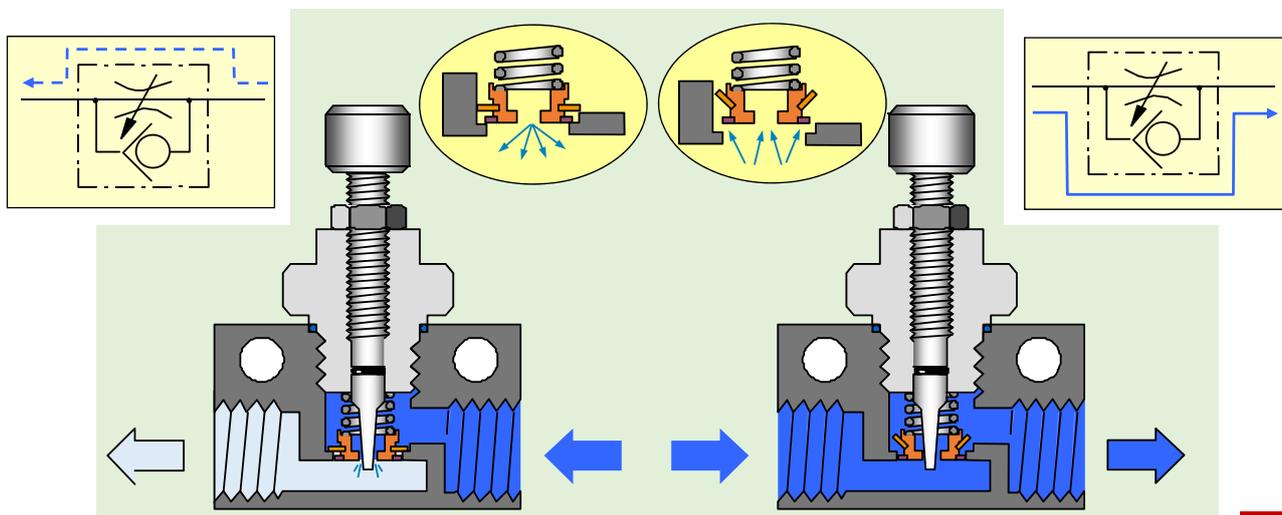
Un posible esquema para "convertir" un C.D.E. en S.E.



**Regulador de Caudal (I)**

➤ **Regulador de caudal regulable, uni-direccional, montado en línea**

- Caudal libre en una dirección
- En la dirección opuesta caudal restringido y regulable



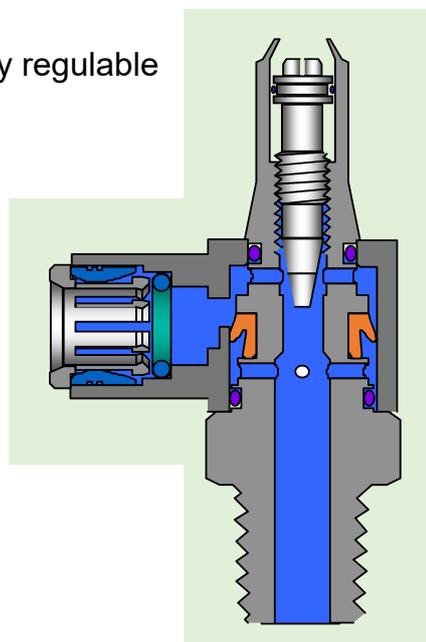
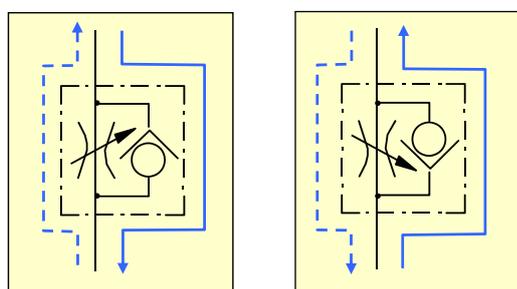
21

**Regulador de Caudal (II)**

➤ **Regulador de caudal regulable, uni-direccional, montado en línea**

- Caudal libre en una dirección
- En la dirección opuesta caudal restringido y regulable

- ✓ Diseño para ir montado directamente sobre la cabeza del cilindro
  - Versiones alimentación y descarga

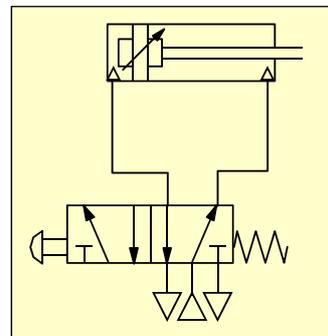


22

### Control de Velocidad (I)

La velocidad “natural” máxima de un cilindro viene determinada por:

- la dimensión del cilindro
- la dimensión de las conexiones
- la entrada y escape de la válvula
- la presión de aire
- el diámetro y la longitud de las tuberías
- la carga que está actuando el cilindro



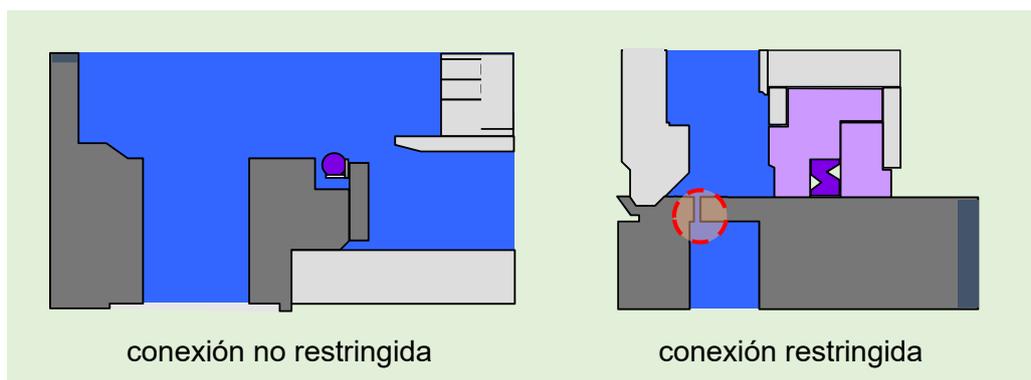
23

### Control de Velocidad (II)

La velocidad natural del cilindro se puede incrementar o reducir

- Normalmente una válvula menor reduce la velocidad
- Una válvula mayor suele incrementar la velocidad

La dimensión de las conexiones limita la velocidad



conexión no restringida

conexión restringida

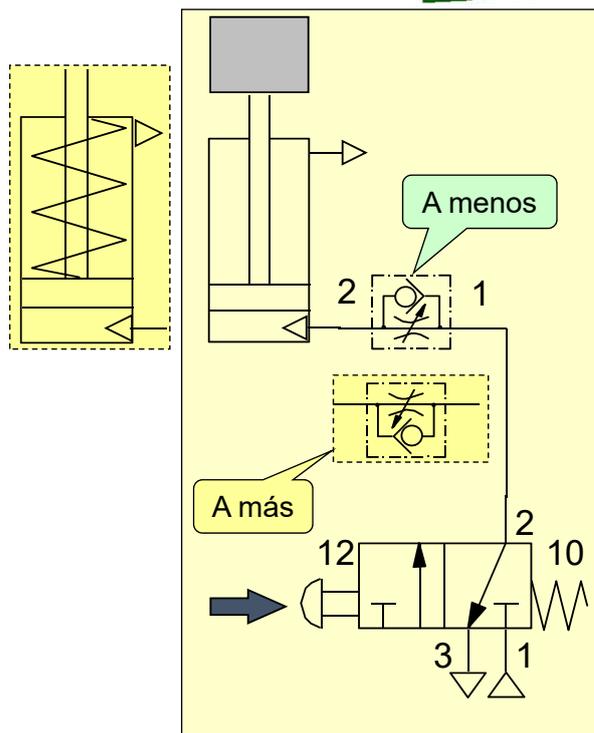
24

**Control de Velocidad (III)**

➤ **En un cilindro de S.E.**

- Se regula la velocidad de retorno del cilindro s/e

Ver el efecto del regulador conexasionado al revés

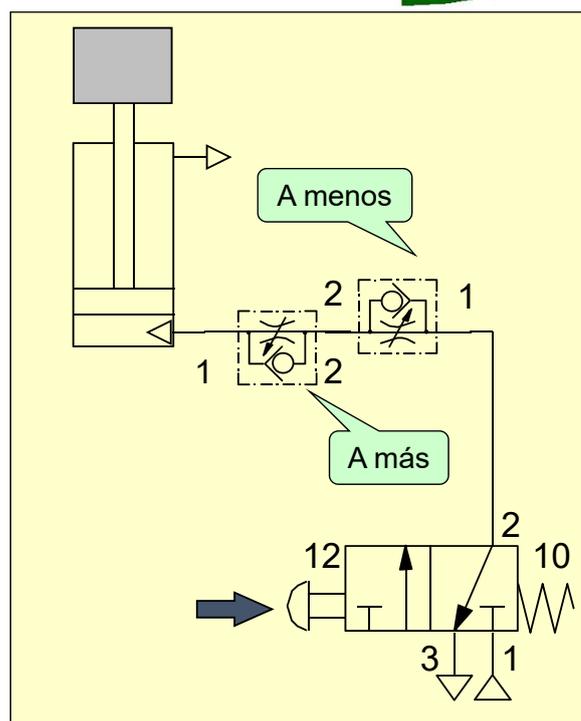


**Control de Velocidad (IV)**

➤ **En un cilindro de S.E.**

- Regula la velocidad del cilindro en ambos sentidos

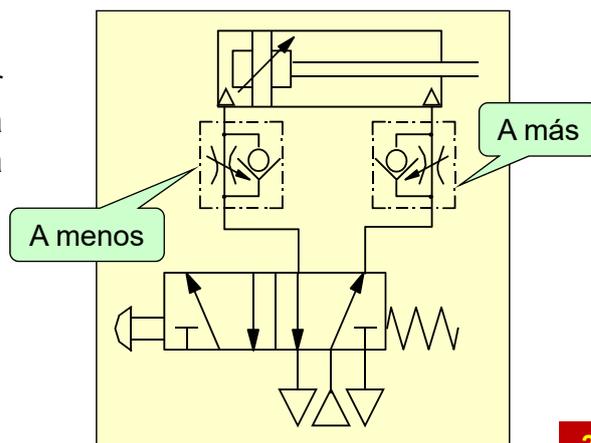
La velocidad en ambos sentidos puede ser diferente



### Control de Velocidad (V)

#### ➤ En un cilindro de D.E.

- Seleccionados el cilindro, la presión, la carga y la válvula, el control de la velocidad se ajusta con reguladores de caudal
- La velocidad se regula controlando el caudal de aire hacia los escapes
- El regulador de la cabeza anterior controla la velocidad del cilindro “a mas” y el de la cabeza posterior la velocidad del cilindro “a menos”

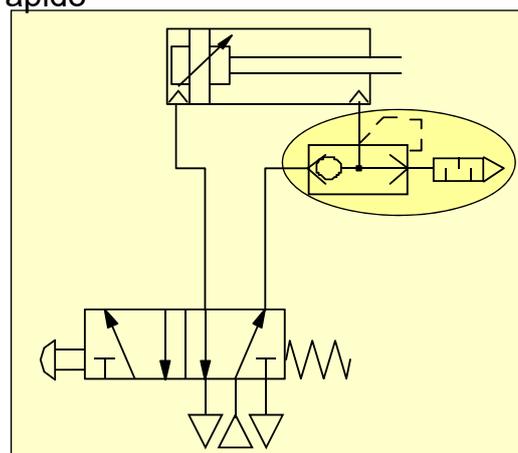


27

### Control de Velocidad (VI)

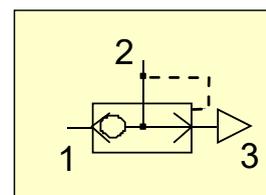
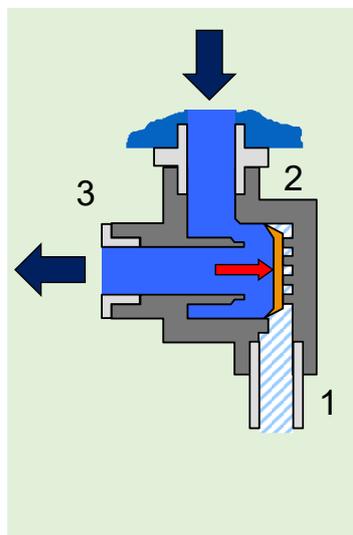
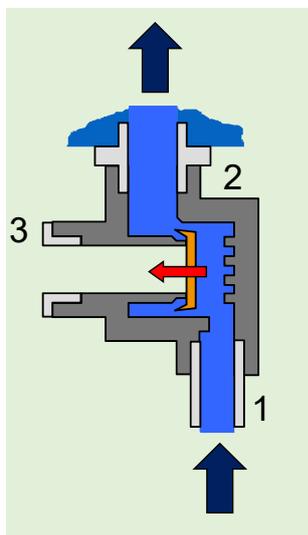
#### ➤ Aumento de la velocidad en un cilindro de D.E.

- En algunas aplicaciones la velocidad se puede incrementar en un 50% utilizando válvulas de escape rápido
- Cuando actúa, el aire de escape del cilindro pasa directamente al escape a través de la válvula de escape rápido
- La amortiguación será menos efectiva



Control de Velocidad (VII)

➤ *Válvula de escape rápido*

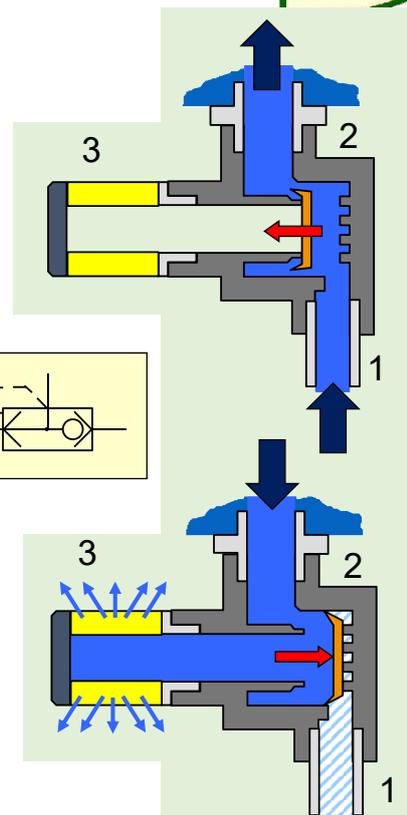
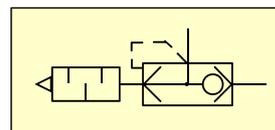


29

Control de Velocidad (VIII)

➤ *Válvula de escape rápido*

- El aire fluye desde la válvula de control hacia el cilindro a través de una junta de labios
- Cuando se actúa sobre la válvula de control la caída de la presión en la válvula permite a la junta de labios cambiar su posición y conectar directamente con el exterior
- El aire del cilindro escapa hacia el exterior rápidamente a través del silenciador

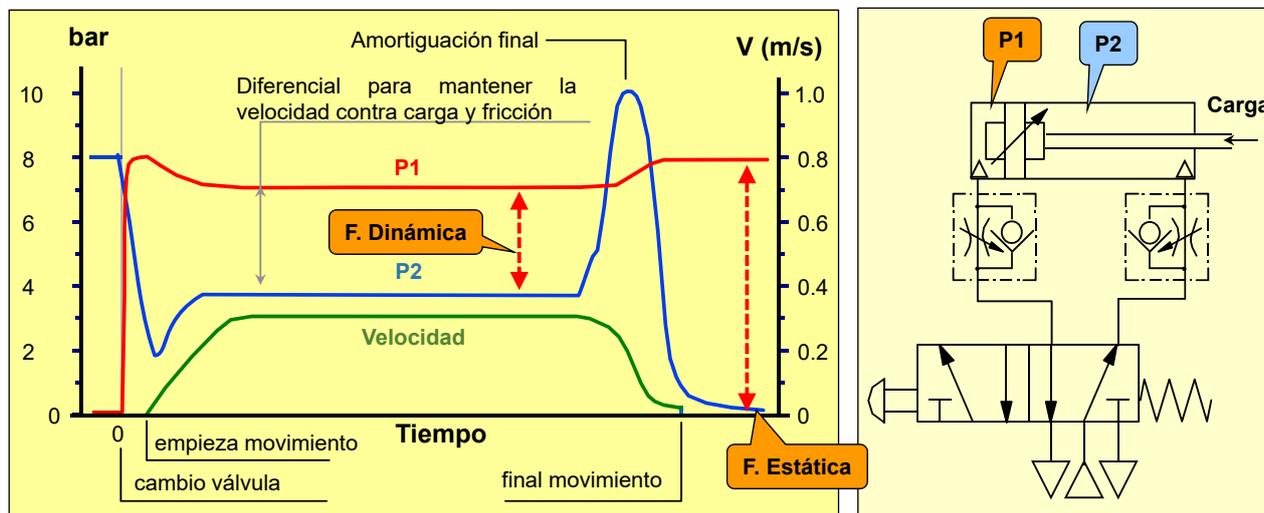


30

**Control de Velocidad (IX)**

➤ **Gráfico Velocidad /Presión en un cilindro de D.E.**

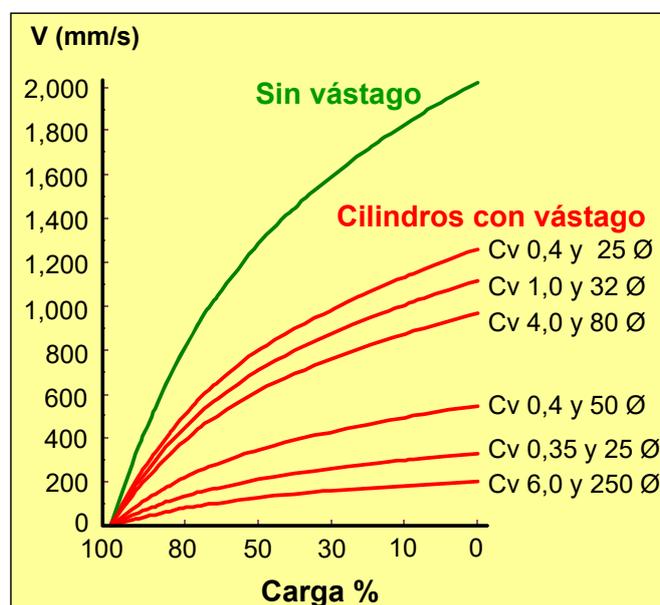
Curva característica de presión velocidad durante la carrera de salida de un cilindro típico con amortiguación y reguladores de caudal



**Control de Velocidad (X)**

➤ **Guía velocidad cilindros**

A modo de guía, el gráfico muestra la velocidad máxima que alcanzan los cilindros en combinación de los Cv típicos de las válvulas, y del tanto por ciento de carga



## Control de Velocidad (XI)

### ➤ *Tiempo de respuesta*

- Tiempo aproximado de un ciclo  
Valores para válvula y cilindro
- Tabla de tiempos orientativos para cilindros D.E.
  - 150 mm de carrera
  - Un ciclo de ida y vuelta
  - Válvula 5/2 bobina - muelle
  - 6 bar de presión de suministro
  - 1m de tubo entre válvula y cilindro
  - Sin carga en el vástago

Diámetro (mm)	Tamaño válvula	Cv	Tiempo (ms)
20	1/8	0,3	225
50	1/8	0,4	700
63	1/4	1,0	525
100	1/4	1,0	1.100
160	1/2	3,5	950
200	1/2	3,5	1.560
200	1	7,8	650
320	1	7,8	1.280