

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)

1

## 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

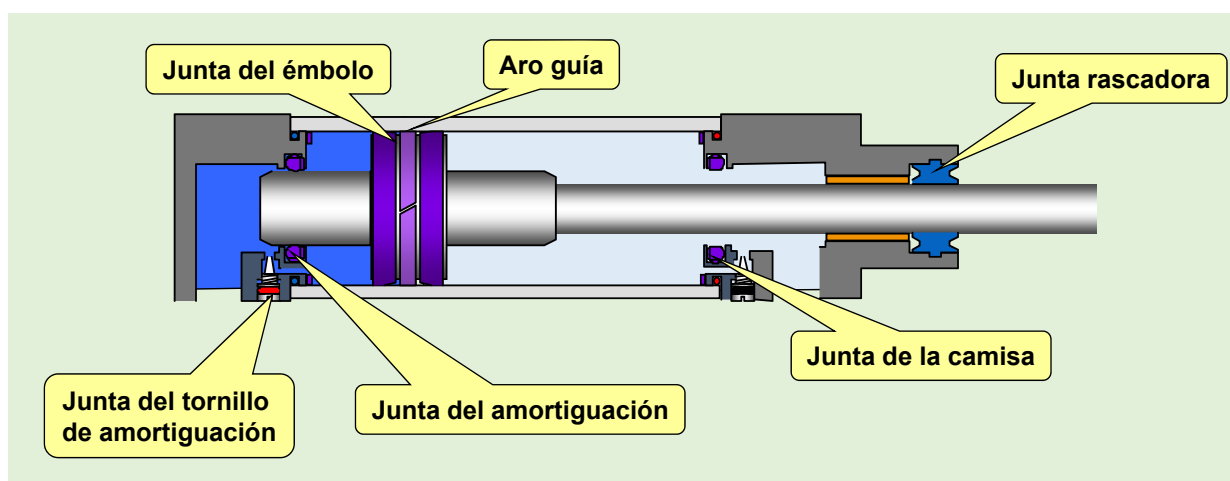
2

- 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

### Juntas (I)

- *Juntas que presenta un cilindro D.E. con amortiguación neumática*



4

### Juntas (II)

- Las juntas estandar son adecuadas para un funcionamiento continuo en un rango de + 2°C hasta + 80°C
- Temperaturas más altas hacen las juntas más blandas, por lo que se gastan antes y producen mayor fricción
- Temperaturas más bajas endurecen las juntas, lo que las hace más quebradizas y tienden a resquebrajarse y romperse por lo que aparecen fugas
- Para aplicaciones con alta temperatura con un funcionamiento continuo en ambientes de hasta 150°C, los cilindros han de solicitarse con juntas de "Viton"

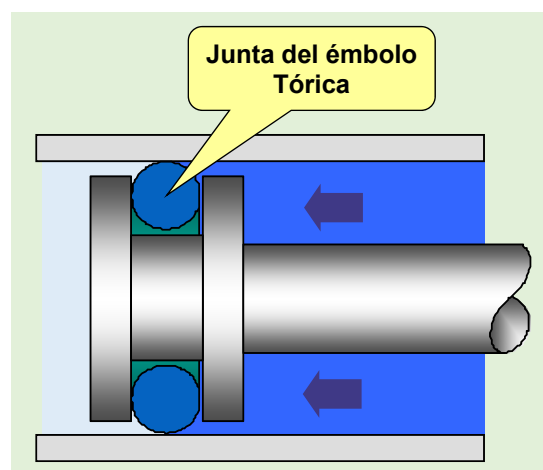
5

### Juntas (III)

#### ➤ Junta del émbolo (I)

Si es **tórica**, va suelta en una ranura del émbolo, con el diámetro exterior en contacto con el agujero

Cuando se aplica presión la junta tórica se deforma hacia un lado y hacia arriba para estanqueizar el espacio entre el diámetro exterior del pistón y la camisa



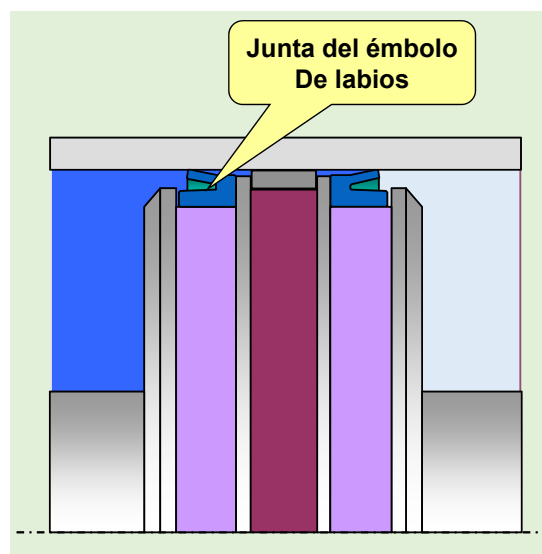
6

### Juntas (IV)

#### ➤ Junta del émbolo (II)

Las **de labios** se utilizan **en** cilindros de tamaño medio y grande

- Cierra solo en una dirección
- Una para cilindro simple efecto
- Dos para cilindro doble efecto
- Esfuerzo radial bajo para reducir el efecto de la fricción estática (favorecer el arranque)
- Alta adaptación



7

### Juntas (V)

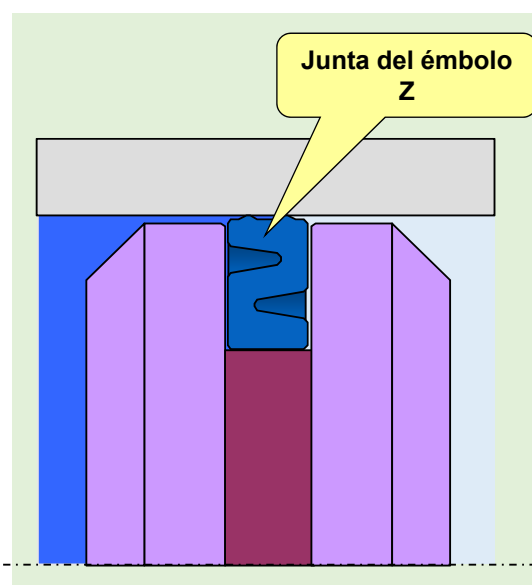
#### ➤ Junta del émbolo (III)

Las de **Z** se emplean para sellar pistones de cilindros de diámetro pequeño

La forma en Z actúa como si fuera un ligero resorte radial proporcionando esfuerzo radial bajo y alta adaptación

Cierra en ambas direcciones

Ocupan menos espacio



8

**Juntas (VI)**

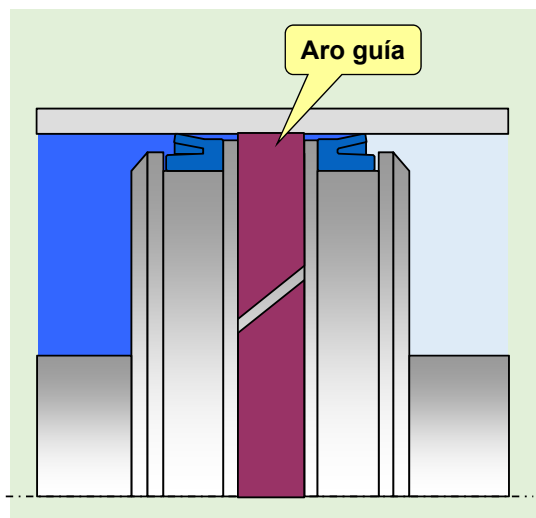
➤ **Aro guía**

Es una tira abierta colocada alrededor del pistón

Está hecho de material plástico resistente

Si hay una carga elevada por un lado, se convierte en un cojinete que evita una excesiva deformación de las juntas

Protege la camisa de muescas que puede hacer el pistón

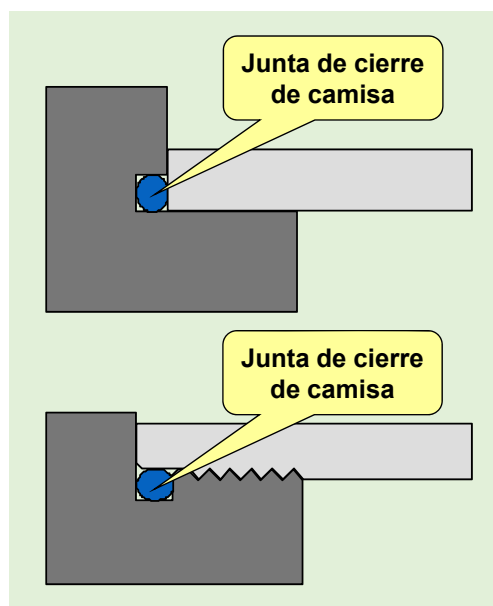


**Juntas (VII)**

➤ **Juntas de cierre de la camisa**

Son tóricas, y al ser estáticas han de ser ajustadas en el agujero que ocupan

Colocadas en la camisa roscada y entre camisa y culata



## Juntas (VIII)

### ➤ Juntas rascadoras (I)

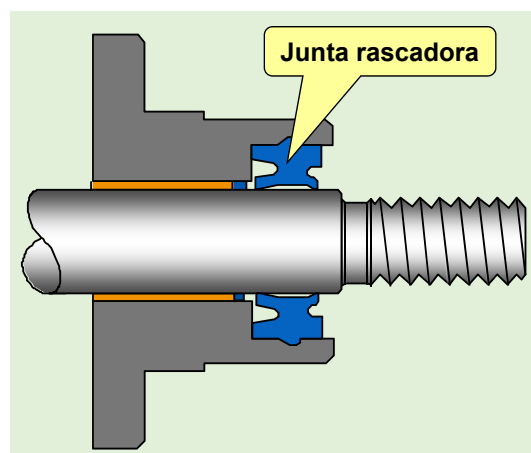
Una parte de la junta tiene dos funciones:

- estanqueizar
- limpiar

El otro lado de la junta hace un ajuste a presión adecuado para el alojamiento del cojinete

La acción limpiadora evita que las partículas abrasivas entren dentro cuando el vástago entra

Las hay especiales para ambientes agresivos



11

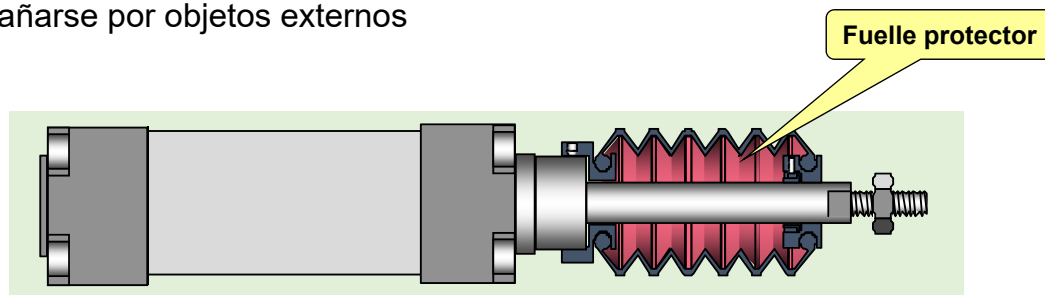
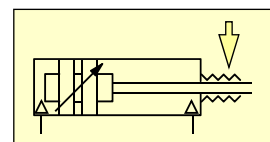
## Juntas (IX)

### ➤ Juntas rascadoras (I)

El **Fuelle Protector** es una alternativa a juntas limpiadoras especiales

Hay que especificarlo al demandar el cilindro, ya que requiere alargar el vástago

Es una solución ideal cuando el vástago puede desgastarse o arañarse por objetos externos



12

## Juntas (X)

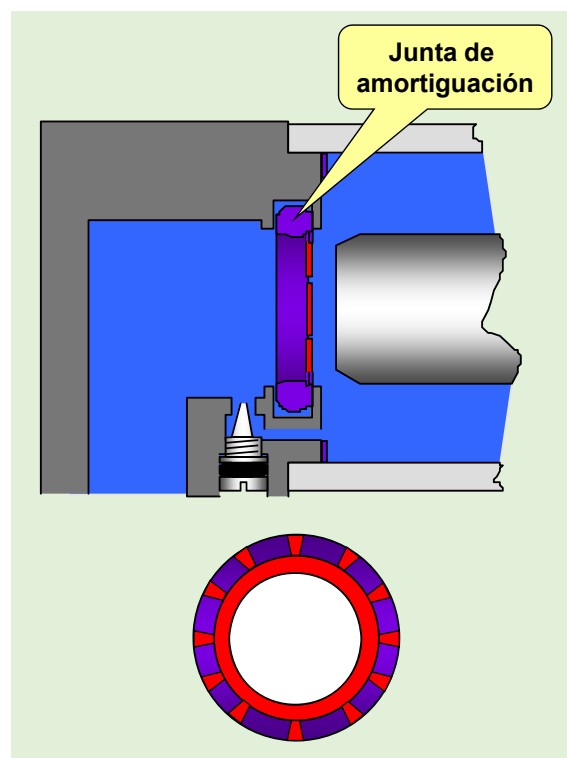
### ➤ Juntas de amortiguación

Estas juntas tienen dos funciones:

- junta
- válvula antiretorno

Cierran por la parte interior del diámetro cuando ha de haber amortiguación

El aire circula libre por el lado externo y penetra al otro lado cuando el pistón hace la carrera de avance



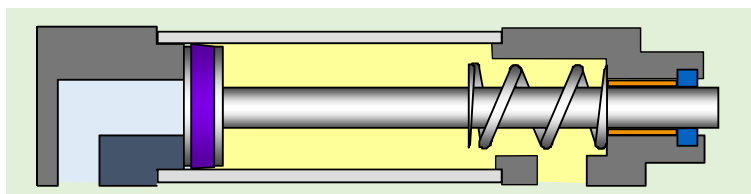
13

## Amortiguación (I)

La amortiguación protege el cilindro y la carga absorbiendo la energía cinética al final de la carrera. Esto se traduce en una progresiva deceleración y un contacto leve entre el pistón y la cabeza del cilindro

Hay dos variantes:

- Amortiguación fija, para cilindros pequeños y de baja carga, consiste en un muelle interior al final de la carrera del cilindro



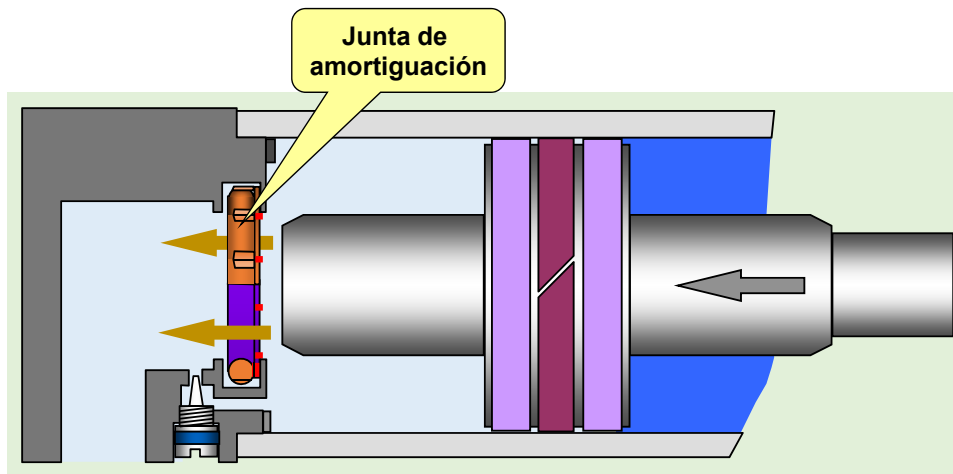
- Amortiguación neumática, para cilindros mas grandes; se disponen en aproximadamente los últimos 2 cm de la carrera

14

### Amortiguación (II)

#### ➤ Amortiguación regulable (I)

- El pistón se mueve con velocidad hacia la izquierda
- El aire se escapa a través del interior de la junta de amortiguación

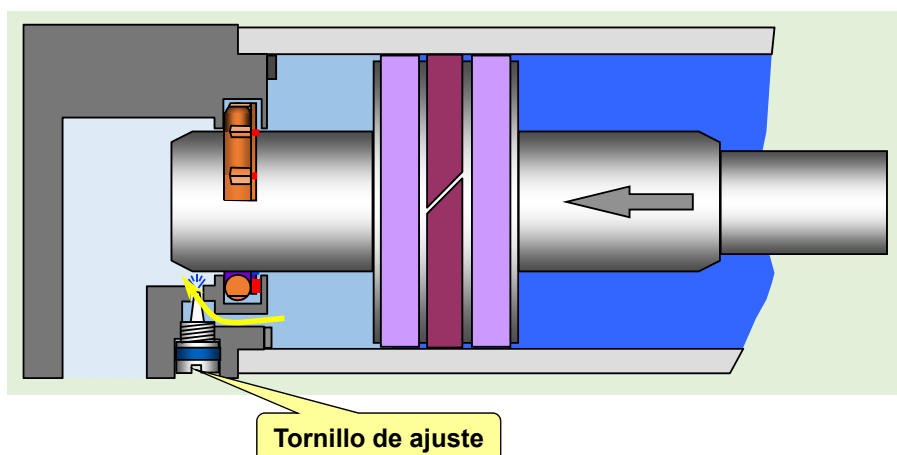


15

### Amortiguación (III)

#### ➤ Amortiguación regulable (II)

- La junta de amortiguación se desplaza hacia la izda empujada por el casquillo de amortiguación cerrando el paso del aire a través de ella.
- El aire solo puede salir a través del tornillo de amortiguación. La presión crece y amortigua al pistón. El ajuste del tornillo regula la amortiguación



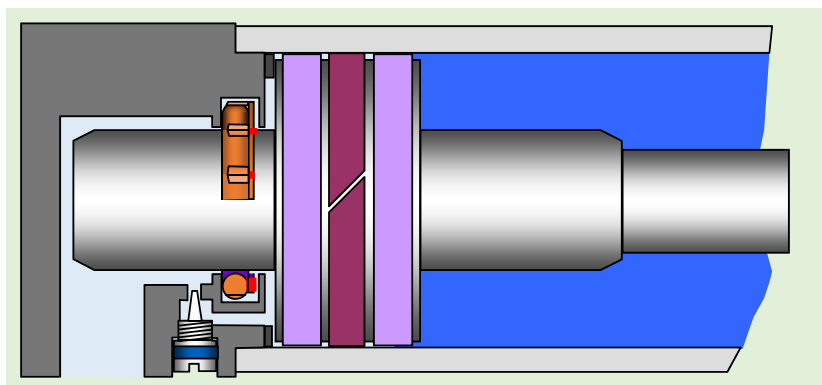
16



### Amortiguación (IV)

#### ➤ Amortiguación regulable (III)

- El sistema está diseñado para que el golpe del pistón, vástago y carga con la cabeza del cilindro sea suave

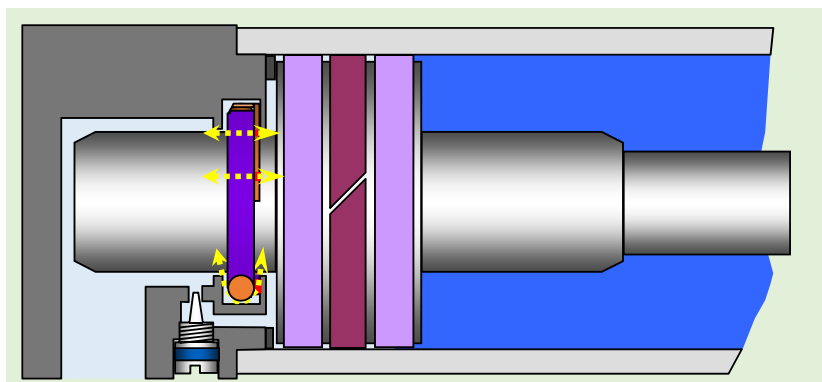


17

### Amortiguación (V)

#### ➤ Amortiguación regulable (IV)

- La válvula se ha actuado para hacer ir el cilindro a mas
- La junta de amortiguación se desplaza hacia la derecha. El aire puede atacar a todo el diámetro del pistón

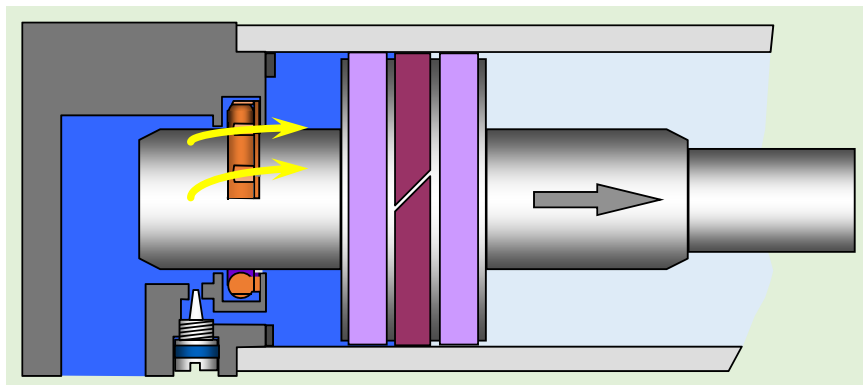


18

**Amortiguación (VI)**

➤ **Amortiguación regulable (V)**

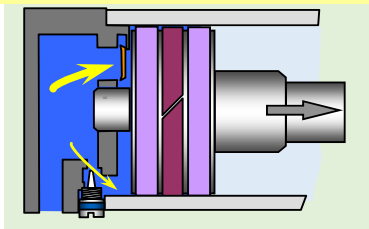
- El pistón se mueve hacia la derecha sin ningún tipo de restricción



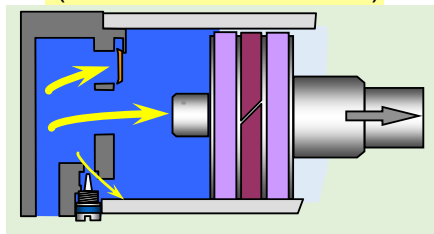
**Amortiguación (VII)**

➤ **Amortiguación regulable (VI)**

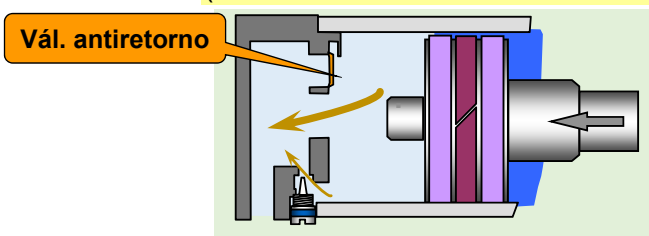
Inicia la salida casi sin restricción  
( la válvula antiretorno está abierta)



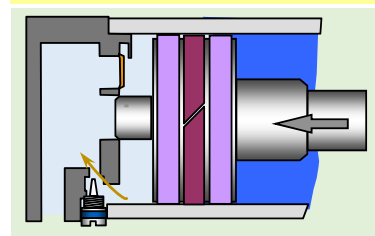
Sale sin restricción  
( la vál. ant. está abierta)



Inicia el retorno casi sin restricción  
(la válvula antiretorno está cerrada)



Al final del retorno aparece  
la restricción



**Amortiguación (VIII)**

➤ **Amortiguadores**

- Para desacelerar suavemente cargas muy pesadas y velocidades altas
- Complementa o reemplaza el interior del cilindro al amortiguar
- Modelos autocompensados no regulables
- Modelos regulables, en dos tamaños

Autocompensados

0.9 a 10 kg  
2.3 a 25 kg  
9 a 136 kg  
105 a 1.130 kg

Regulables

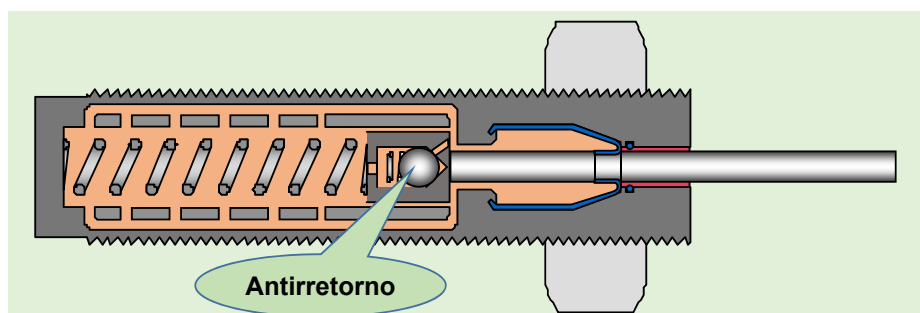
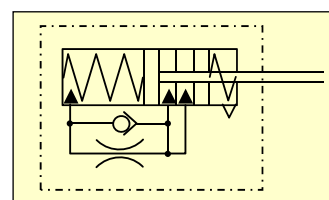
5 a 450 kg  
10 a 810 kg

21

**Amortiguación (IX)**

➤ **Amortiguadores autocompensados**

- El principio de operación se basa en una restricción progresiva del caudal
- Inicialmente el pistón se empuja fácilmente. El aceite se desplaza a través de varios orificios métricos
- A medida que la carrera avanza se dispone cada vez de menos de orificios métricos
- Una válvula antirretorno interior dificulta uno de los movimientos

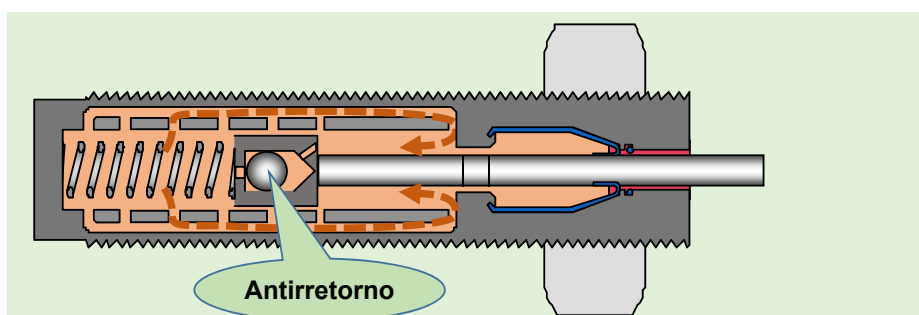
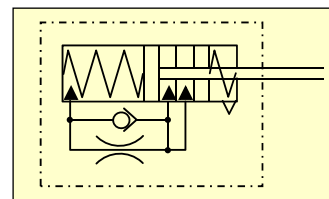


22

### Amortiguación (IX)

#### ➤ Amortiguadores autocompensados

- El principio de operación se basa en una restricción progresiva del caudal
- Inicialmente el pistón se empuja fácilmente. El aceite se desplaza a través de varios orificios métricos
- A medida que la carrera avanza se dispone cada vez de menos de orificios métricos
- Una válvula antirretorno interior dificulta uno de los

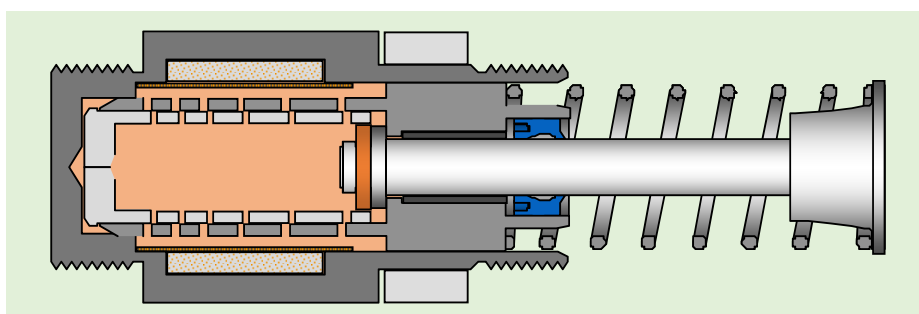
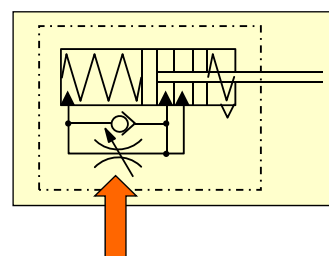


23

### Amortiguación (X)

#### ➤ Amortiguadores regulables (I)

- Acumulador interno que contiene una celda cerrada de espuma de elastómero para reserva de desplazamiento de fluido
- El tamaño de los orificios se puede regular actuando sobre una tuerca; esto permite una deceleración precisa para alcanzar un amplio rango de masas y velocidades características

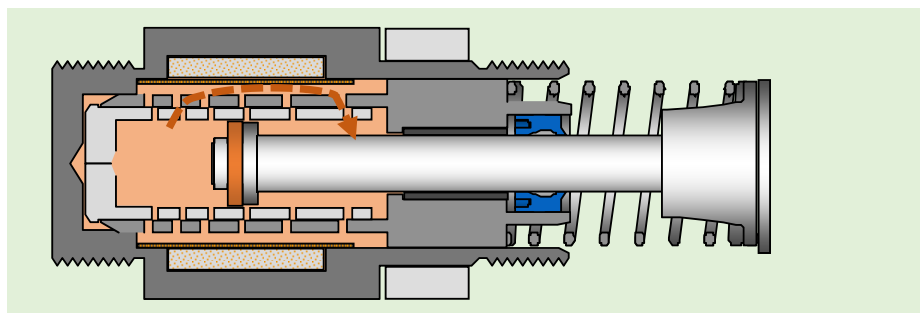
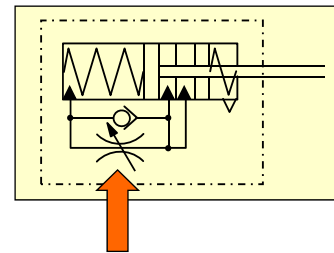


24

### Amortiguación (X)

#### ➤ Amortiguadores regulables (I)

- Acumulador interno que contiene una celda cerrada de espuma de elastómero para reserva de desplazamiento de fluido
- El tamaño de los orificios se puede regular actuando sobre una tuerca; esto permite una deceleración precisa para alcanzar un amplio rango de masas y velocidades características



25

### Amortiguación (XI)

#### ➤ Amortiguadores regulables (II)

La masa equivalente se calcula usando la fórmula:

$$m_e = \frac{2 \cdot W_3}{U^2}$$

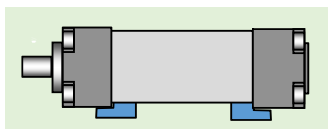
En la que:

- $m_e$  = masa equivalente (kg)
- $U$  = velocidad (m/s)
- $W_3$  = energía total,  $W_1 + W_2$  (N.m)
  - $W_1$  = energía cinética =  $\frac{1}{2} m \cdot v^2$  (N.m)
  - $W_2$  = energía asociada a la fuerza =  $F \cdot s$  (N.m)
    - $m$  = masa (kg)
    - $F$  = fuerza de impulso (N)
    - $s$  = carrera del amortiguador (m)

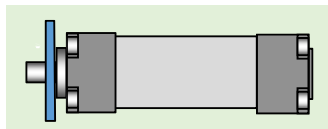
26

### Fijación del Actuador

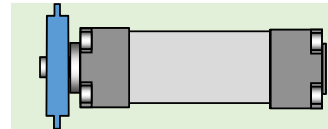
- Para no dañar el cilindro, hay que asegurar que los esfuerzos son totalmente axiales



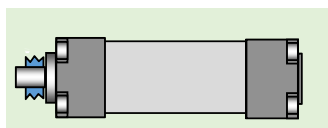
Por pies



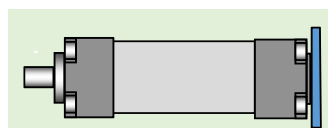
Por brida anterior



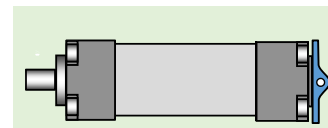
Por brida anterior oscilante



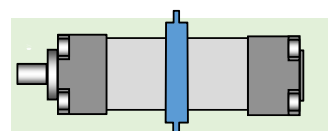
Por rosca



Por brida posterior



Por brida posterior oscilante



Por brida central oscilante

27

### Cálculo del Cilindro (IV)

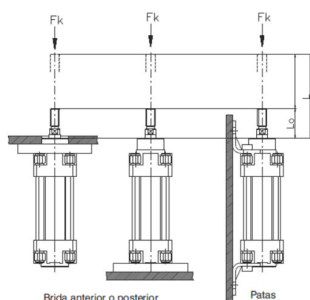
- **Carga de Punta Admisible** (carga de límite de flexión)

Es la carga máxima aplicable axialmente al vástago de los cilindros a partir de la cual podría producirse la flexión del vástago por compresión

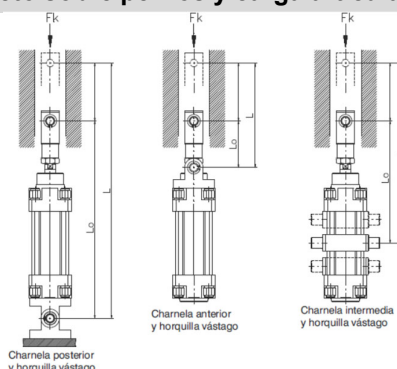
Influyen: la entidad de la carga, el diámetro del vástago, la longitud máxima sobre la que se aplica la carga (longitud de límite de flexión) y las condiciones de trabajo exigidas al vástago (tipo de fijación cilindro)

Los casos más significativos son: **Caso 2: Cilindro sujeto sobre pernos y carga articulada**

#### Caso 1: Cilindro fijo y carga libre



Para otros sistemas de fijación del cilindro, la carga admisible será seguramente mayor



28

**Cálculo del Cilindro (V)**

➤ **Carga de Punta Admisible** (carga de límite de flexión)

Los controles ligados a la carga de punta se pueden hacer mediante fórmulas o con ayuda de un gráfico (Caso 1 y 2)

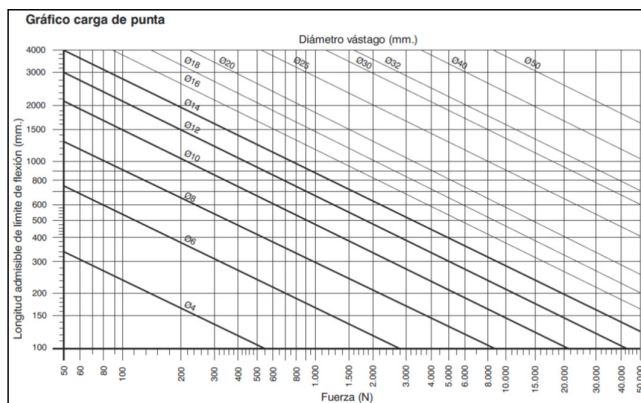
$$Fk = \frac{\pi^3 \times E \times d^4}{64 \times L^2 \times C} \text{ (N.)}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{Fk \times 64 \times L^2 \times C}{\pi^3 \times E}} \text{ (Cm.)}$$

$$L = \sqrt{\frac{\pi^3 \times E \times d^4}{Fk \times 64 \times C}} \text{ (Cm.)}$$

E = módulo de elasticidad del vástago (N/cm<sup>2</sup>); (acero ≈ 2,1 · 10<sup>6</sup> k<sub>F</sub>/cm<sup>2</sup>)  
 d = diámetro vástago (cm.)  
 L = longitud de límite de flexión (cm.)  
 C = factor de seguridad (de 2,5 a 5)

**1 k<sub>F</sub> = 9.8 N**  
**k<sub>F</sub> acero ≈ 20,6 · 10<sup>6</sup> N/cm<sup>2</sup>**



**Cálculo del Cilindro (V)**

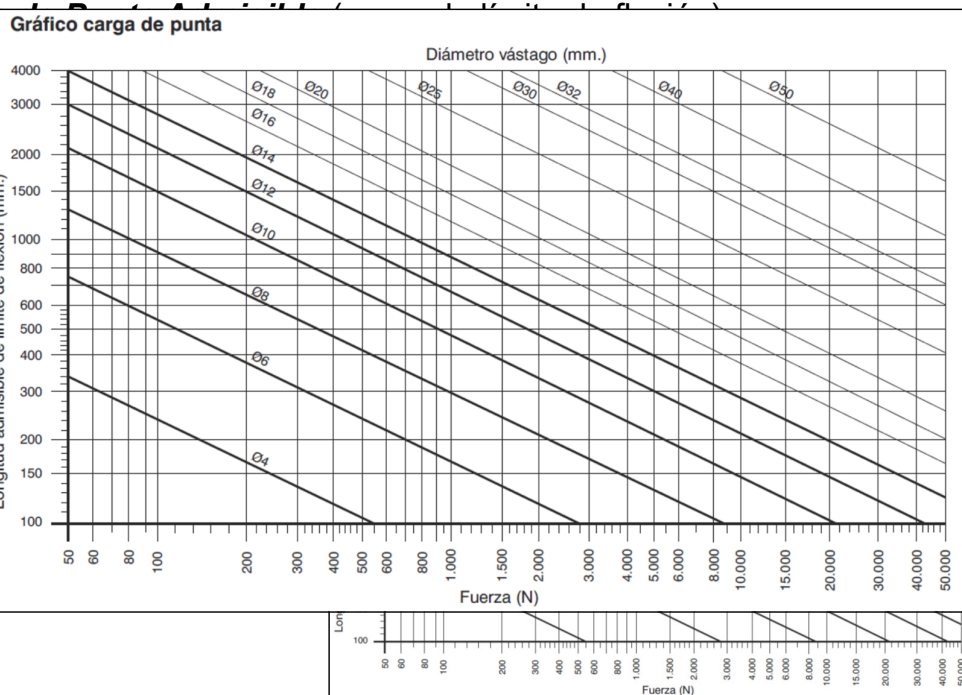
➤ **Carga de Punta Admisible** (carga de límite de flexión)

Los controles ligados a la carga de punta se pueden hacer mediante fórmulas o con ayuda de un gráfico (Caso 1 y 2)

$$Fk = \frac{\pi^3 \times E \times d^4}{64 \times L^2 \times C} \text{ (N.)}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{Fk \times 64 \times L^2 \times C}{\pi^3 \times E}} \text{ (Cm.)}$$

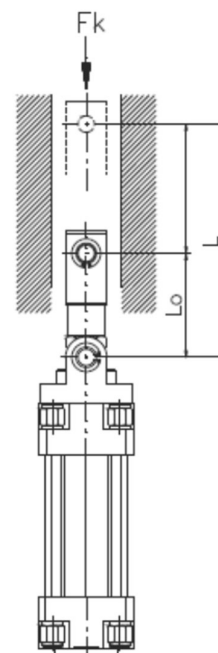
$$L = \sqrt{\frac{\pi^3 \times E \times d^4}{Fk \times 64 \times C}} \text{ (Cm.)}$$



ante  
 10<sup>6</sup> k<sub>F</sub>/cm<sup>2</sup>)  
 N  
 10<sup>6</sup> N/cm<sup>2</sup>

**Verificar la carga de punta de:**

Cilindro: ø80 mm  
Diámetro vástago: ø20 mm  
Carrera: 600 mm  
Carga: 2.000 N.  
Fijación: CASO 2  
Charnela intermedia:  $L_0 = 290$  mm



Charnela anterior  
y horquilla vástago

31

### Pandeo del Vástago (I)

Algunas aplicaciones requieren carreras de cilindros muy largas

Si hay una fuerza de apriete axial en el vástago, hay que vigilar que los parámetros del vástago, longitud, diámetro y carga, estén dentro de los límites adecuados que eviten el pandeo

La ecuación de Euler para la inestabilidad elástica es:

$$F_{\text{pandeo}} = \frac{\pi^2 \cdot E \text{ [kg/cm}^2\text{]} \cdot I}{L_p^2}$$

Donde:

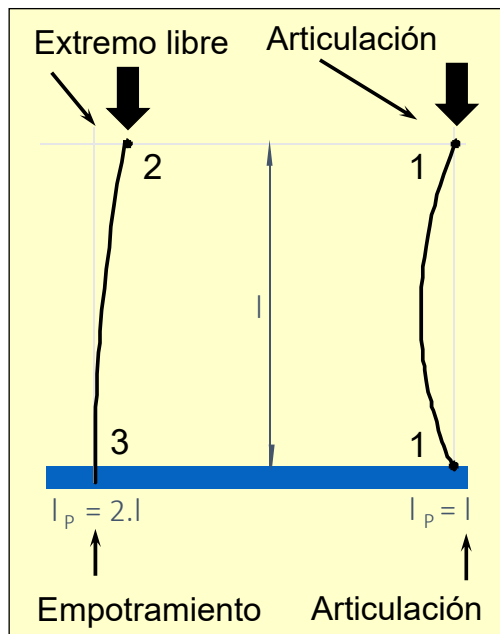
- $F_p$  = Fuerza de pandeo (carga límite)
- $E$  = Módulo de elasticidad del material de la barra (kg/cm<sup>2</sup>)
- $I$  = Momento de inercia de la barra
- $L_p$  = Longitud de pandeo de la barra

32



### Pandeo del Vástago (II)

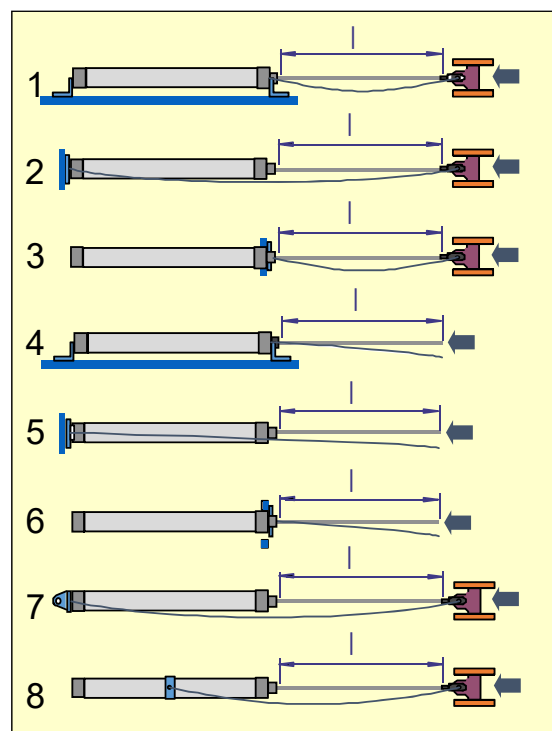
- La longitud de pandeo de la barra comprimida depende de la instalación
  - de la longitud real
  - de la disposición de sus extremos (articulados, empotrados o libres)
- Para una columna delgada, fija por un extremo y con el otro extremo libre (caso Euler 1)  $l_p = 2.l$
- Para una columna delgada articulada por ambos extremos (caso Euler 2), la longitud libre de pandeo  $l_p$  es la misma que la longitud  $l$  entre articulaciones.



33

### Pandeo del Vástago (III)

- 1, 2 y 3: un vástago gastado con cojinete permitirá un pandeo inicial si el vástago está articulado
  - Asumir  $l_p = l$  (caso Euler 2)
- 4, 5 y 6: el extremo del vástago está libre lateralmente
  - Asumir  $l_p = 2.l$  (caso Euler 1)
- 7: caso especial.  $l_p < 2.l$
- 8: caso especial.  $l_p < 1,5 . l$



34

### Pandeo del Vástago (IV)

#### Tabla guía para la máx. Long. de carrera en mm

El factor de seguridad “s” = 5 por la carga del cilindro, da la fuerza de pandeo admisible a una presión determinada

Cilindro	Bar	casos 1,2,3	casos 4,5,6	caso 7	caso 8
8032	2	1.000	450	960	1.100
	6	860	390	530	610
	10	650	290	390	450
	16	500	210	290	340
8040	2	1.200	500	1.370	1.580
	6	1.200	500	760	880
	10	950	430	570	660
	16	730	320	430	500

Cilindro	Bar	casos 1,2,3	casos 4,5,6	caso 7	caso 8
8050	2	1.300	450	1.740	1.990
	6	1.300	450	960	1.110
	10	1.100	450	720	840
	16	920	410	550	640
8063	2	1.300	500	1.360	1.550
	6	1.200	500	750	860
	10	920	410	560	640
	16	700	300	420	490
8080	2	1.600	600	1.680	1.930
	6	1.500	600	920	1.060
	10	1.100	510	690	800
	16	880	380	520	600
8100	2	1.500	600	1.320	1.500
	6	1.010	530	710	810
	10	890	380	520	600
	16	670	280	390	450

### Normas (I)

- La **ISO 6431** y la **ISO 6432** estandarizan las dimensiones de la instalación de un tipo de cilindros y sus fijaciones. Sin embargo las fijaciones de un fabricante pueden no coincidir con el cilindro de otro
- La **VDMA 24562** es una modificación de las arriba indicadas que incluye más dimensiones, en particular las del vástago y las medidas para las fijaciones que se adaptan a él
- La **ISO 6009** estandariza la nomenclatura a utilizar para las dimensiones en las hojas técnicas de los fabricantes
- Existen fijaciones adicionales fuera del ámbito de esta norma
- Existen muchos tipos de diseño de cilindros no cubiertos por las restricciones en medidas de las normas
- Estos cilindros incorporan las últimas innovaciones en técnicas constructivas para proporcionar diseños limpios y compactos y medidas más pequeñas

### Normas (II)

- Las ventajas de la estandarización son:
  - Fácil sustitución de componentes
  - Menores precios de los componentes
  
- La principal ventaja de los elementos no normalizados es el ajuste de consumo, presión, dimensiones, etc, a las necesidades de la máquina, esto produce:
  - Menores costes de funcionamiento (menos gasto de aire)
  - Menores dimensiones de las máquinas

Calcular la fuerza teórica que puede ejercer un cilindro a mas, de diámetro 50 mm a una presión de trabajo de 8 bar

Calcular la fuerza teórica que puede ejercer un cilindro a menos, de diámetro 50 mm y vástago diámetro 20 mm a una presión de trabajo de 8 bar

Calcular el consumo de aire por minuto en un cilindro de D.E. de dimensiones:

- Diámetros cilindro / vástago: 80 mm / 30 mm
- Carrera 1.000 mm
- Presión 6 bar
- 10 ciclos por minuto

Dado un cilindro de doble efecto, diámetros de pistón y vástago 125 mm y 30 mm, carrera de 200 mm, presión de trabajo de 6 bar y el rendimiento del cilindro del 90%, calcular:

- las fuerzas de avance y retroceso
- consumo de aire para 150 ciclos / hora

Con un cilindro de doble efecto y radio de vástago de 22 mm trabajando a 6 bar se tiene que realizar una fuerza al avance de 40 kg, y 140 kg al retroceso, suponiendo un rendimiento del 90%, calcular:

- el diámetro del cilindro
- las fuerzas máximas que puede ejercer
- consumo si la carrera es de 700 mm y realiza ciclos de 5 min