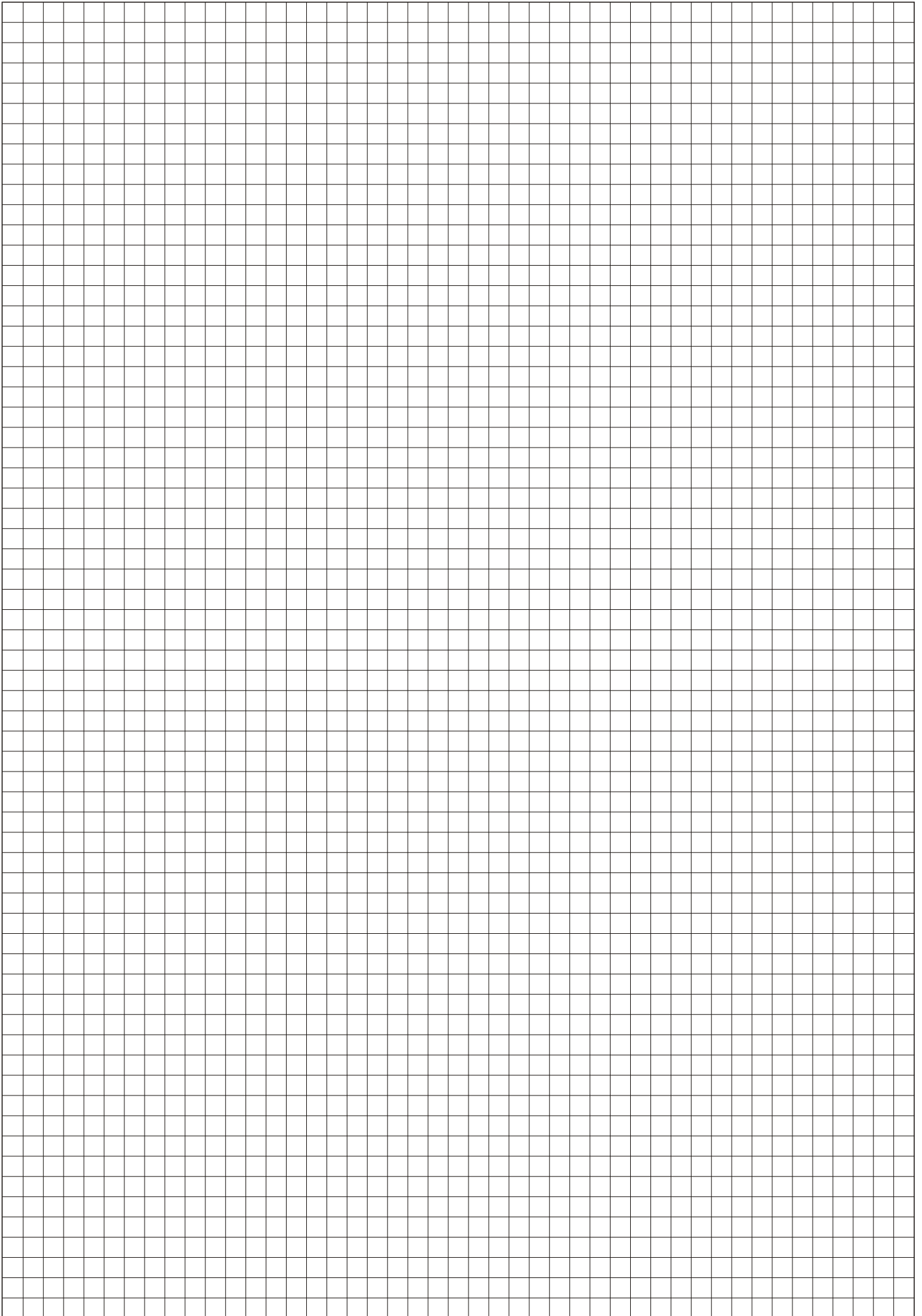




## 08 - Cilindros

- Informaciones básicas sobre cilindro
- Ciclos de trabajo del cilindro
- Consumos de aire
- Cargas en punta
- Capacidad de amortiguación de final de carrera
- Fuerza de empuje y tracción del cilindro
- Las cargas del muelle en los cilindros de simple efecto
- Par máximo de apriete tornillos de fijación cilindro



## INFORMACIONES BÁSICAS SOBRE EL CILINDRO

### -Función

Los cilindros neumáticos son los componentes finales de un sistema automático que transforman la energía neumática en trabajo.

$$T = F \times d$$

(Trabajo= Fuerza x desplazamiento)

La **fuerza teórica** del cilindro es directamente proporcional a la presión de alimentación y a la superficie sobre la que actúa (es decir la superficie del pistón).

$$F = P \times S$$

(Fuerza= Presión x superficie)

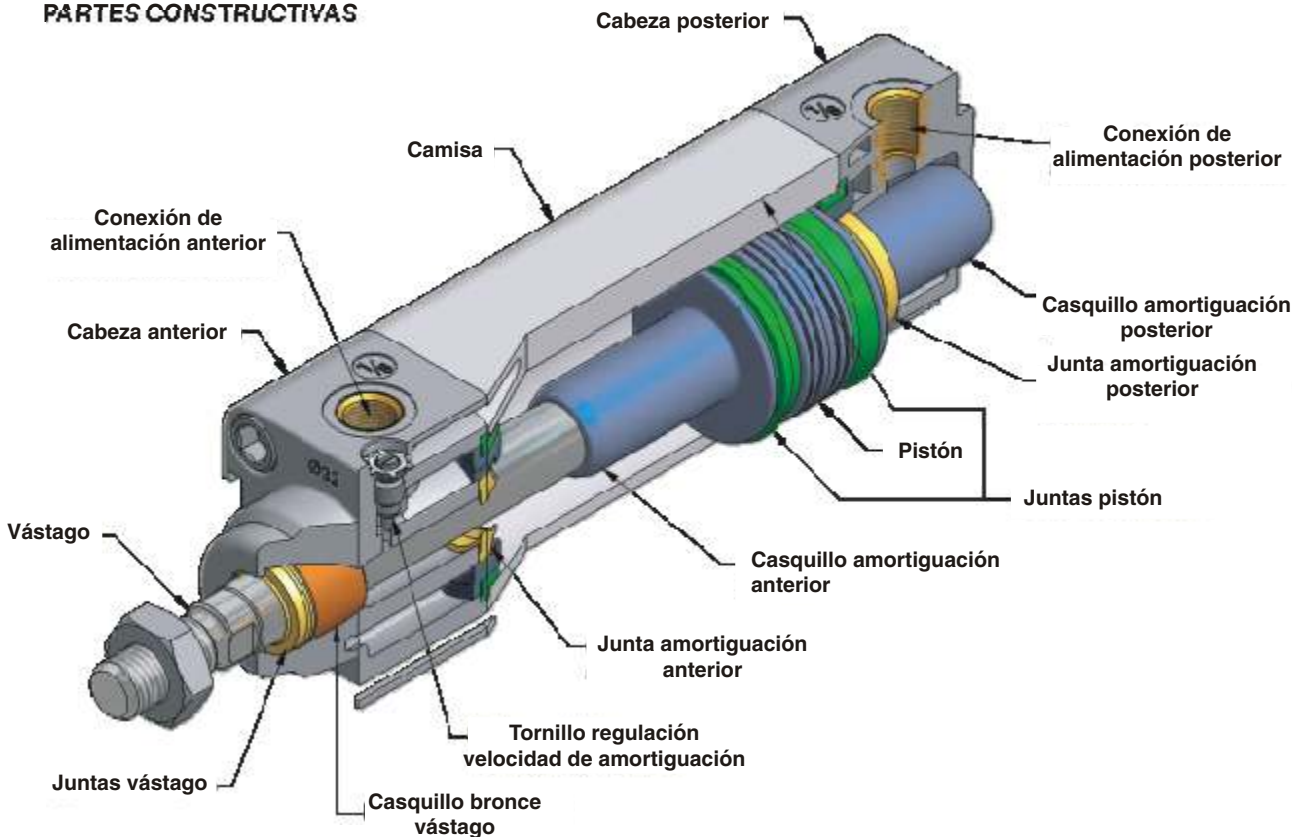
(es evidente que en la fase de retroceso del vástago, la sección de empuje disminuye tanto como sea la sección del vástago).

La **fuerza real** del cilindro se calcula teniendo en cuenta que:

- existen pérdidas por el rozamiento de las juntas de estanqueidad durante el movimiento.
- en la partida el cilindro debe vencer el rozamiento estático del primer despegue, superado el cual el cilindro comienza a moverse.
- cuando el pistón se estaciona por un cierto período de tiempo en la misma posición, la compresión de las juntas de estanqueidad contra la pared de la camisa, desplaza el velo de lubricante interpuesto entre sí y la superficie de deslizamiento. En ese punto la lubricación cesa y el pistón, al partir, debe superar una superficie "seca".

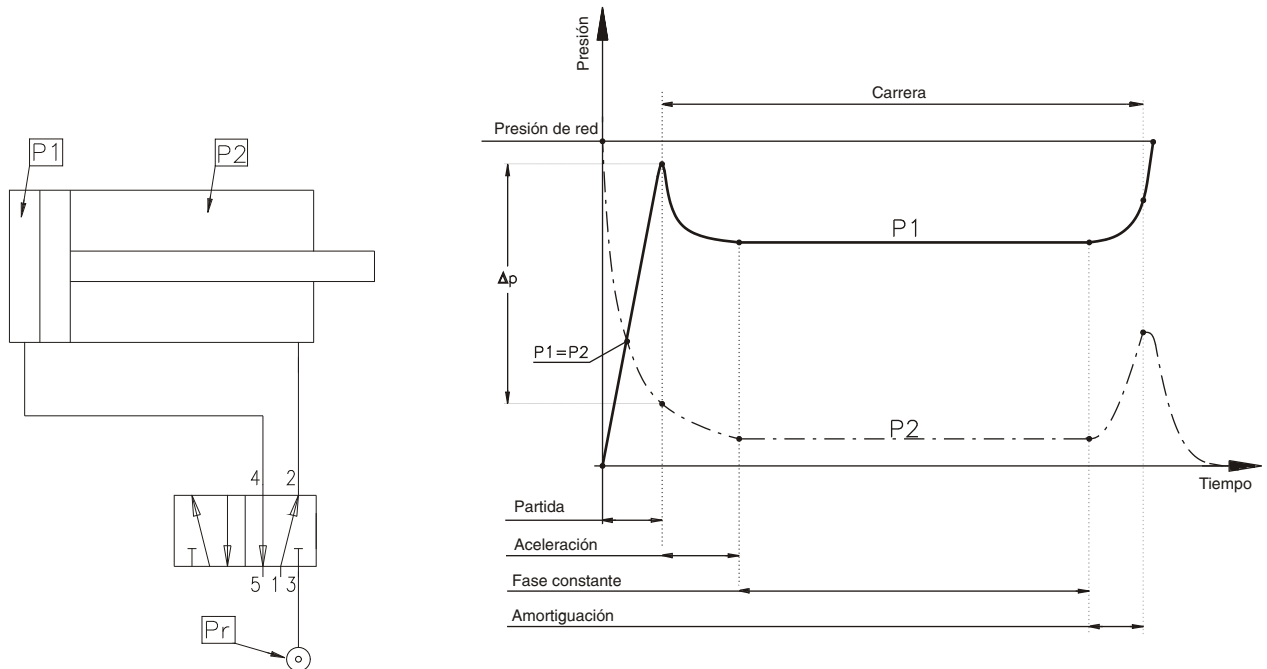
Por todos estos motivos, la fuerza real del cilindro es igual a la fuerza teórica reducida en un 10-15%.

### PARTES CONSTRUCTIVAS



## EL CICLO DEL TRABAJO DEL CILINDRO

El ciclo del trabajo de un cilindro está compuesto de 4 fases: partida, aceleración, fase constante y amortiguación. Consideremos el circuito abajo indicado con el cilindro en posición de reposo (vástago todo adentro) conectado a un  $P_1$  = presión atmosférica  $P_2$  = presión de red (Pr).



### Partida:

- accionando el distribuidor 5/2, el aire del 2 pasa al 4, presurizando la cámara posterior del cilindro;  $P_1$  hace salir el vástago mientras que la cámara anterior evacua la presión a través de las conexiones 2->3 con  $P_2$  que baja.  
 - tan pronto como la  $P_1$  supere el punto de equilibrio entre las dos presiones, el cilindro podría partir pero necesita una presión suficiente para vencer los rozamientos y la carga aplicada al cilindro. Cuando esta  $\Delta p$  es mayor que los rozamientos y las cargas aplicadas, el cilindro comienza a moverse.

### Aceleración:

La máxima velocidad del cilindro se alcanza en torno al 15-30% de la carrera y es directamente proporcional al volumen de la cámara en escape y por tanto a la carrera. De ello se desprende que, a igualdad de diámetro de cilindro, mayor será la aceleración cuanto menor sea la carrera.

### Fase constante:

Una vez alcanzado un equilibrio entre las dos cámaras, el pistón corre hasta la siguiente fase. La velocidad de translación no es siempre constante y depende de muchos factores entre los cuales se encuentran los rozamientos internos, la carga aplicada, la posición de montaje del cilindro, el caudal del distribuidor, etc... Regulando el caudal en escape es posible controlar la velocidad del cilindro, teniendo en cuenta utilizar un distribuidor con máximo caudal posible (ver "Dimensionamiento / elección del cilindro y de la válvula" sección 09) en cuanto que la regulación de la velocidad será para valores inferiores a la máxima velocidad del distribuidor.

### Amortiguación:

Es la fase final de la carrera con el escape de la cámara anterior estrangulado haciendo así que la  $P_2$  salga oponiéndose a la  $P_1$  y ralentizando la carrera del pistón hasta el fin de la carrera cuando  $P_1$  sale al valor máximo suministrado por la red y  $P_2$  = presión atmosférica.

## CONSUMO DE AIRE DE LOS CILINDROS

El consumo de aire del cilindro es el volumen de aire que el cilindro consume por cada ciclo completo de trabajo ejecutado (salida y entrada del vástago), en proporción a la presión de alimentación.

$$\text{Consumo} = P_a \times C \times (A+b)$$

- P<sub>a</sub>**= Presión absoluta (bar)  
**C**= Carrera cilindro (dm)  
**A**= ver tabla 1 (dm<sup>2</sup>)  
**b**= ver tabla 2 (dm<sup>2</sup>)

El consumo se mide en Normal-Litros (NI) que corresponde al volumen que ocuparía una determinada cantidad (masa) de gas si fuera insuflado a la presión atmosférica.

Ejemplo de cálculo:

Consideremos un cilindro ISO 15552 serie 1319:  
 Alimentación a 6 bar (P<sub>a</sub> = 7 bar)  
 Carrera 50 mm. (C = 0,5 dm)  
 Ø 63 (A = 0,31157 dm<sup>2</sup>)  
 Ø vástago = 20 mm. (b = 0,28017 dm<sup>2</sup>)

Consumo = 7 (bar) x 0,5 (dm) x (0,31157+0,28017) = 2,072 NI  
 (para conocer el consumo en un determinado número de ciclos del cilindro bastará multiplicar el consumo obtenido de la fórmula por el número de ciclos ejecutados).

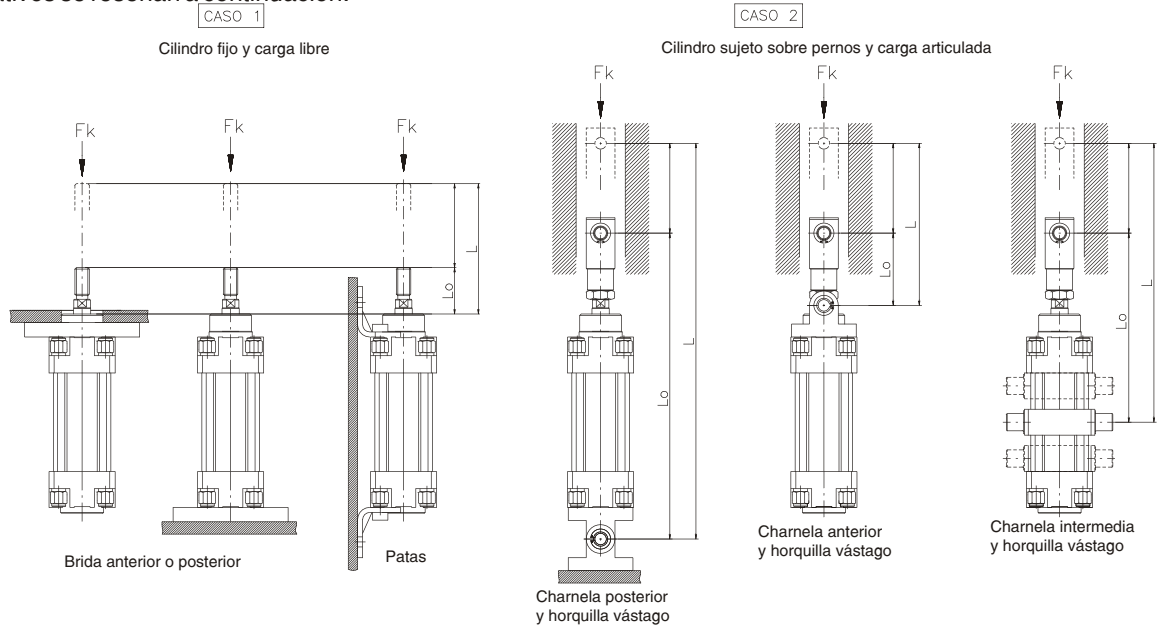
Area pistón cilindro		Diferencia area pistón cilindro / Ø vástago	
Ø cilindro	A	Ø cilindro - Ø vástago	b
Ø 8	0,00502 dm <sup>2</sup>	Ø 8 - Ø 4	0,00377 dm <sup>2</sup>
Ø 10	0,00785 dm <sup>2</sup>	Ø 10 - Ø 4	0,00659 dm <sup>2</sup>
Ø 12	0,01130 dm <sup>2</sup>	Ø 12 - Ø 6	0,00848 dm <sup>2</sup>
Ø 16	0,02010 dm <sup>2</sup>	Ø 16 - Ø 6	0,01727 dm <sup>2</sup>
Ø 20	0,03140 dm <sup>2</sup>	Ø 20 - Ø 8	0,02638 dm <sup>2</sup>
Ø 25	0,04906 dm <sup>2</sup>	Ø 25 - Ø 10	0,04121 dm <sup>2</sup>
Ø 32	0,08038 dm <sup>2</sup>	Ø 32 - Ø 12	0,06908 dm <sup>2</sup>
Ø 40	0,12560 dm <sup>2</sup>	Ø 40 - Ø 14	0,11021 dm <sup>2</sup>
Ø 50	0,19625 dm <sup>2</sup>	Ø 40 - Ø 16	0,10550 dm <sup>2</sup>
Ø 63	0,31157 dm <sup>2</sup>	Ø 40 - Ø 18	0,10017 dm <sup>2</sup>
Ø 80	0,50240 dm <sup>2</sup>	Ø 50 - Ø 14	0,18086 dm <sup>2</sup>
Ø 100	0,78500 dm <sup>2</sup>	Ø 50 - Ø 18	0,17082 dm <sup>2</sup>
Ø 125	1,22656 dm <sup>2</sup>	Ø 50 - Ø 20	0,16485 dm <sup>2</sup>
Ø 160	2,00960 dm <sup>2</sup>	Ø 63 - Ø 20	0,28017 dm <sup>2</sup>
Ø 200	3,14000 dm <sup>2</sup>	Ø 63 - Ø 22	0,27357 dm <sup>2</sup>
		Ø 80 - Ø 22	0,46441 dm <sup>2</sup>
		Ø 80 - Ø 25	0,45334 dm <sup>2</sup>
		Ø 100 - Ø 25	0,73594 dm <sup>2</sup>
		Ø 100 - Ø 30	0,71435 dm <sup>2</sup>
		Ø 125 - Ø 30	1,15591 dm <sup>2</sup>
		Ø 125 - Ø 32	1,14618 dm <sup>2</sup>
		Ø 160 - Ø 40	1,88400 dm <sup>2</sup>
		Ø 200 - Ø 40	3,01440 dm <sup>2</sup>

tabla 1

tabla 2

## CARGA DE PUNTA ADMISIBLE (carga de límite de flexión)

La carga de punta es la carga máxima aplicable axialmente al vástago de los cilindros a partir de la cual podría producirse la flexión del vástago por compresión. Los factores que influyen sobre la carga de punta son 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). Entre los distintos casos de exigencias, los más significativos se reseñan a continuación.



Los controles ligados a la carga de punta se pueden hacer de modo empírico (ver fórmulas) o leyendo el gráfico siguiente referido a las peores exigencias de prestaciones (caso 1 y 2). Para todos los demás sistemas de fijación del cilindro, la carga admisible será seguramente mayor.

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

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

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

### Ejemplo: Verificación carga de punta

Cilindro  $\varnothing 80$  mm.  
Diámetro vástago  $\varnothing 20$  mm.  
Carrera 600 mm.  
Fijación CASO 2 charnela intermedia:  $L_0 = 290$  mm.  
Carga 2000 N.  
 $L$  (longitud de límite de flexión) =  $29 + 60 = 89$  cm.  
 $F_k = (\pi^3 \times 2,1 \times 10^7 \times 2^4) : (64 \times 89^2 \times 5) = 4104$  N  
(por encima de los 2000 N aplicados)

Consultado el gráfico a continuación reseñado, se podrá obtener el mismo resultado: siguiendo la línea horizontal de la longitud de límite de flexión de 900 mm. hasta cruzarse con la línea del  $\varnothing 20$  del vástago y bajando verticalmente se obtiene una carga máxima de casi 4000 N.

$E$  = módulo de elasticidad material Vástago ( $N/cm^2$ )  
(acero =  $2,1 \times 10^7$   $N/cm^2$ .)

$d$  = diámetro vástago (cm.)

$L$  = longitud de límite de flexión (cm.)

$C$  = factor de seguridad (de 2,5 a 5)

### Ejemplo: Determinación del diámetro vástago

Considerando el mismo cilindro del caso anterior, buscar el diámetro del vástago apropiado para soportar la carga de 4000 N.

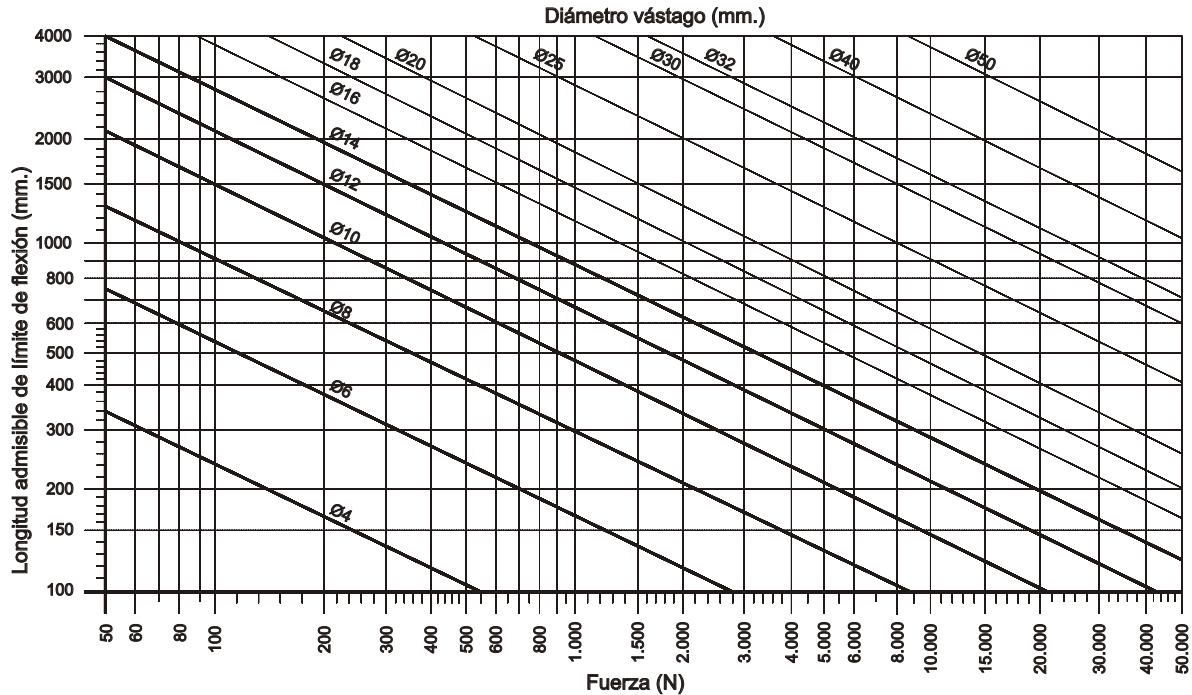
$$d = \sqrt[4]{\frac{4000 \times 64 \times 89^2 \times 5}{\pi^3 \times 2,1 \times 10^7}} = 2 \text{ cm}$$

Por tanto se utilizará el diámetro inmediatamente superior:  $\varnothing 25$  mm.

También en este caso, el gráfico siguiente, se obtendrá el mismo resultado: la línea horizontal de la longitud de límite de flexión de 900 mm. y la línea vertical de la carga máxima de casi 4000 N. se cruzan justamente sobre la línea del  $\varnothing 20$  mm.

Del mismo modo se puede calcular la longitud del límite de flexión con la tercera fórmula o utilizando el gráfico.

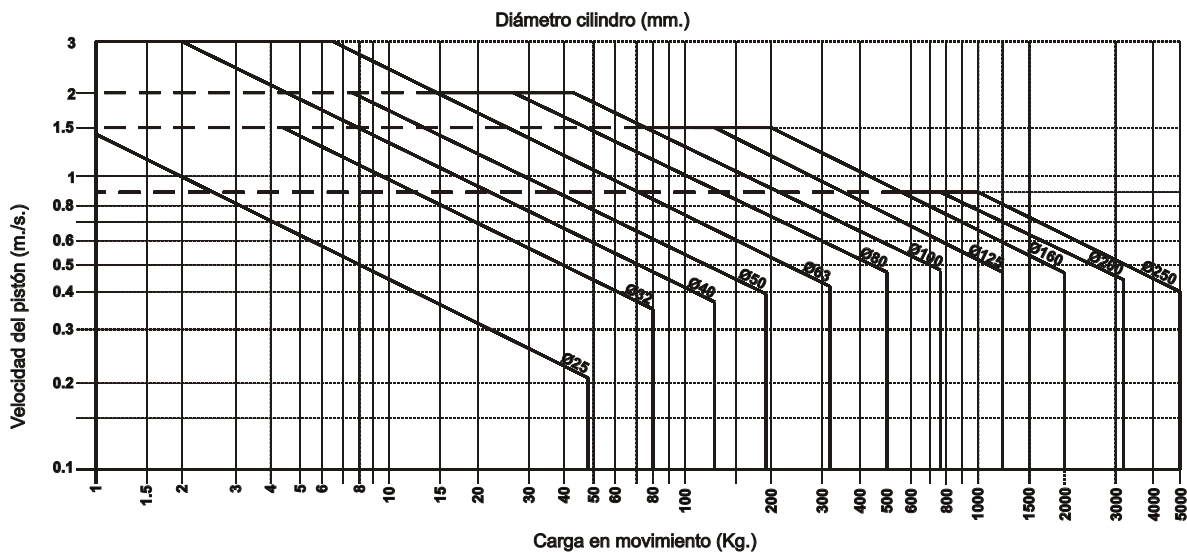
Gráfico carga de punta



## CAPACIDAD DE AMORTIGUACIÓN DE FIN DE CARRERA

Retrayéndonos al diagrama del ciclo de trabajo del cilindro, la última fase, la amortiguación, tiene la función expresa de reducir al mínimo la energía cinética de la carga en movimiento evitando golpes del pistón contra la cabeza al final de la carrera comprometiendo el funcionamiento y la gobernabilidad del actuador. En efecto, los cilindros desprovistos de un sistema de amortiguación neumático, no se aconsejan para empleos con alta velocidad (a menos que se adopten paragolpes o amortiguadores externos).

La carga máxima amortiguable depende de la velocidad de traslación de la carga y de la capacidad de amortiguación del cilindro. En el gráfico siguiente se indican las líneas para cada diámetro del cilindro ISO 15552 bajo las cuales se deben encontrar los valores de carga y velocidad de funcionamiento del cilindro elegido (el diagrama se refiere al movimiento en salida del vástago, alimentación a 6 bar).



## FUERZA TEÓRICA DE EMPUJE DE LOS CILINDROS (N) fase salida de vástago

Diámetro (mm.)	Sección de empuje (mm <sup>2</sup> .)	Presión de ejercicio en bar									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	28	2,5	5,5	8	11	13,5	16,5	19	22	24,5	27,5
8	50	4,5	9,5	14,5	19,5	24,5	29,5	34	39	44	49
10	79	7,5	15	23	30,5	38	46	53,5	61,5	69	76,5
12	113	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
16	201	19	39	59	78	98	118	137	157	177	197
20	314	30	61	92	123	153	184	215	246	277	307
25	491	48	96	144	192	240	288	336	384	433	481
32	804	78	157	236	315	394	472	551	630	709	788
40	1.256	123	246	369	492	615	739	862	985	1.108	1.231
50	1.963	192	384	577	769	962	1.154	1.347	1.539	1.732	1.924
63	3.116	305	611	916	1.222	1.527	1.933	2.138	3.444	2.749	3.055
80	5.024	492	985	1.478	1.970	2.463	2.956	3.448	3.941	4.434	4.926
100	7.850	769	1.539	2.309	3.079	3.849	4.618	5.388	6.158	6.928	7.698
125	12.266	1.202	2.405	3.608	4.811	6.014	7.217	8.419	9.622	10.825	12.028
160	20.096	1.970	3.941	5.912	7.882	9.853	11.824	13.795	15.764	17.736	19.707
200	31.400	3.079	6.158	9.237	12.317	15.396	18.475	21.555	24.634	27.713	30.792
250	49.063	7.811	9.622	14.434	19.245	24.056	28.868	33.679	38.491	43.302	48.113

Para el cálculo de la fuerza en la fase de entrada del vástago, seguir la siguiente fórmula:

$$F = (\text{sección Cilindro} - \text{sección Vástago}) \times \text{Presión} \quad (\text{sección en cm}^2 \text{ y presión en bar})$$

Para la fuerza real del cilindro quitar 10-15% del valor teórico.



## CARGA INICIAL Y FINAL DE LOS MUELLES DE LOS CILINDROS DE SIMPLE EFECTO

Microcilindros ISO 6431 serie 1260			Diámetro						
	muelle anterior	muelle posterior	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32	Ø40	Ø50
Carga inicial (N) muelle extendido			9,9	10,8	10,8	7,9	19,7	39,3	39,3
Carga final (N) muelle comprimido			26,5	22,6	22,6	49,1	53	106	106

(carrera 0 ÷ 40 mm.)

Microcilindros ISO 6431 serie 1280			Diámetro						
	muelle anterior	muelle posterior	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32
Carga inicial (N) muelle extendido			2,2	2,2	4	7,5	11	16,5	23
Carga final (N) muelle comprimido			4,2	4,2	8,7	21	22	30,7	52,5

(carrera 0 ÷ 50 mm.)

Cilindros ISO 1552 serie 1319-20-21			Diámetro					
	muelle anterior	muelle posterior	Ø32	Ø40	Ø50	Ø63	Ø80	Ø100
Carga inicial (N) muelle extendido			17,2	24,6	51	51	98,1	98,1
Carga final (N) muelle comprimido			41,7	83,4	118,8	114,8	194,2	194,2

(carrera 0 ÷ 50 mm.)

Cilindros compactos de carrera corta			Diámetro							
	muelle anterior	muelle posterior	Ø20	Ø25	Ø32	Ø40	Ø50	Ø63	Ø80	Ø100
Carga inicial (N) muelle extendido			7,9	9,9	34,4	34,4	50,1	54	117,7	108,9
Carga final (N) muelle comprimido			27,5	26,5	59,9	63,8	79,5	85,4	157	134,4

(carrera 0 ÷ 10 mm.)

Cilindros compactos serie "EUROPE"			Diámetro									
	muelle anterior	muelle posterior	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32	Ø40	Ø50	Ø63	Ø80	Ø100
Carga inicial (N) muelle extendido			3,9	4,4	4,9	9,8	12,3	16,7	27,5	37,3	59,4	101,3
Carga final (N) muelle comprimido			9,3	17,7	18,1	25,5	34,3	44,1	51	63,8	99,4	141,9

(Ø12 carrera 0 ÷ 10 mm. - Ø16 ÷ Ø100 carrera 0 ÷ 25 mm.)

### PAR DE APRIETE PARA TORNILLOS DE FIJACIÓN CILINDROS

Diámetro	Par (Nm)
Ø32	8
Ø40	8
Ø50	16
Ø63	16
Ø80	22
Ø100	22
Ø125	30
Ø160	85
Ø200	85