

EL MÚSCULO NEUMÁTICO

N.I. Imani*

RESUMEN

El artículo presenta un nuevo actuador que ha revolucionado la construcción de máquinas industriales, estructuras industriales y aplicaciones diversas incluida la ingeniería civil. El músculo neumático es un actuador de tracción que funciona como un músculo humano y es capaz de generar una fuerza de tracción inicial mas grande que la de los cilindros neumáticos convencional. Se destaca en el artículo, sus principios, sus utilidades, ventajas, aplicaciones y características técnicas.

Palabras clave: Músculo Neumático. Actuador. Diagramas fuerza/recorrido.

ABSTRACT

He articulates it presents a new actuator that has revolutionized the construction of industrial machines, you structure industrial and included diverse applications the civil engineering. The pneumatic muscle is a traction actuator that works as a human muscle and it is able to generate a force of initial but big traction that that of the conventional pneumatic cylinders. He/she stands out in the I articulate, their principles, their utilities, advantages, applications and technical characteristics.

Key words : Pneumatic muscle. Actuador. Diagrams force/journey.

INTRODUCCIÓN

Aunque a fin de cuentas, el músculo se parece a un tubo hidráulico absolutamente normal, este nuevo actuador ha hecho una revolución en la construcción de máquinas industriales así como de estructuras industriales y aún la ingeniería civil.

Un músculo neumático no tiene, en efecto, el aspecto de un cilindro normal, dotándolo de un correspondiente regulador de presión, dispone de una absoluta servo cualidad incluyendo posibilidades de posicionamiento en cualquier punto deseado - y esto con una sola conexión de aire comprimido, se trata prácticamente de una servo neumática "light" y "low-cost". Compensa grandes errores de alineación, e incluso, suponiendo situaciones de montaje extraordinariamente desfavorables, puede ser utilizado como actuador inverso. A veces uno puede imaginarse una combinación de dos músculos de efecto opuesto como una especie de cilindro neumático sin vástago. También se podría desarrollar, debido a la increíble generación de fuerzas, un sencillo servo pilotaje neumático para grandes válvulas neumáticas o hidráulicas. Contrariamente a estas últimas, aún trabajando muy baja

velocidad, en el músculo no se producen problemas 'stick-slip'. Posiblemente podría servir también como actuador para motores oscilantes.

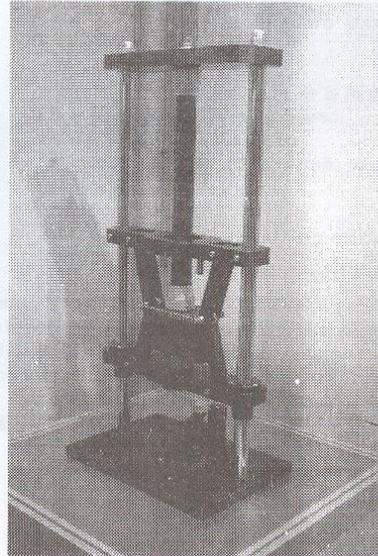


Figura 1. Músculo neumático utilizado en una guillotina neumática

* Compañía Festo Didactic GmbH
P.O.Box 624, 73707 Esslingen, Alemania
E-mail: didactic@festo.com



El Músculo Neumático

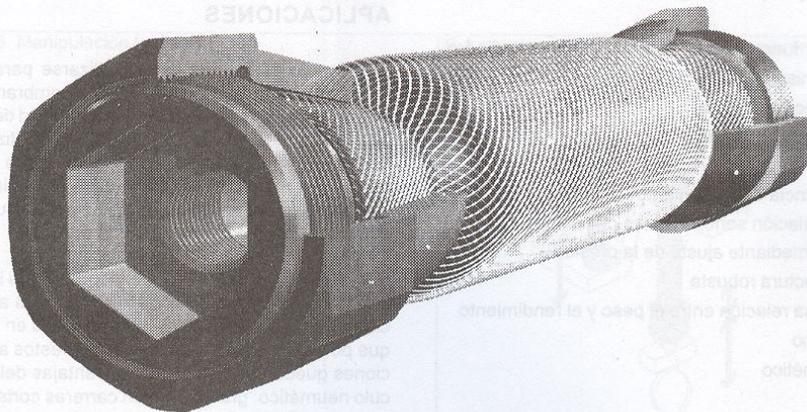


Figura 2. El músculo neumático tiene una estructura muy sencilla. Una membrana reforzada con fibra está sujeta en sus dos extremos.

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO

El Músculo Neumático es un actuador de tracción que funciona como un músculo humano.

En comparación con un cilindro neumático, es capaz de generar una fuerza de tracción inicial más grande. Su fuerza disminuye en el transcurso del movimiento de contracción. Por lo tanto, tiene un gran poder de aceleración y, al mismo tiempo, es capaz de acercarse a la posición nominal suavemente.

Un músculo neumático no tiene partes mecánicas móviles, con lo que tampoco se produce fricción externa. El músculo neumático, también conocido como 'músculo fluido', puede utilizarse como actuador para las más diversas tareas.

PRINCIPIOS, UTILIDAD Y VENTAJAS

Dadas sus características, el músculo neumático no está pensado para sustituir a un cilindro convencional sin más ni más, pues en la mayoría de los casos no puede ser considerado una alternativa económica frente a un cilindro neumático. Más bien deberá utilizarse en los casos en que sus características ofrecen una clara ventaja en determinadas aplicaciones, por ejemplo en aquellas en las que es necesario disponer de un actuador de gran fuerza y carrera corta, sin movimientos a tiro, de gran dinamismo, para uso en zonas polvorientas o sucias y si, además, se necesita un actuador de poco peso.

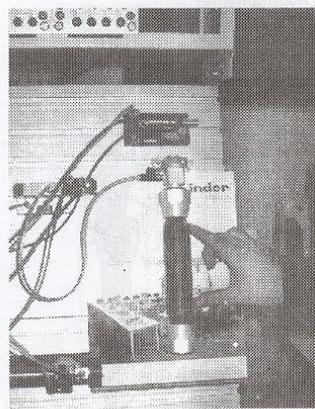
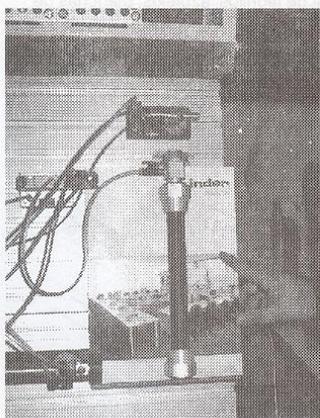


Figura 3. El músculo neumático (Cortesía de Konrad Linder S.A.).

Las ventajas que distinguen al músculo neumático:

- Gran fuerza (En comparación con un cilindro del mismo diámetro, la fuerza inicial es hasta 10 veces superior)
- Gran dinamismo
- Gran dinamismo
- Ausencia de movimientos a tirones (stick-slip)
- Regulación sencilla de las posiciones intermedias mediante ajuste de la presión
- Estructura robusta
- Buena relación entre el peso y el rendimiento
- Liviano
- Hermético

VERSATILIDAD PARA MÚLTIPLES APLICACIONES

El músculo neumático puede utilizarse para una gran cantidad de aplicaciones. Basta nombrar algunas ramas económicas para intuir la utilidad de este actuador: industria automovilística, de automatización de procesos industriales en general, técnicas médicas, técnicas de simulación, industria de la impre- sión, técnicas de edificaciones y, por supuesto, automatización industrial.

El interés por esta innovación en la ingeniería indus- trial y civil es enorme. Abajo listamos unas aplica- ciones que seguramente dará otras ideas en áreas que podrían necesitar el músculo. En estos aplica- ciones quedan demostradas las ventajas del mús- culo neumático: gran fuerza en carreras cortas.

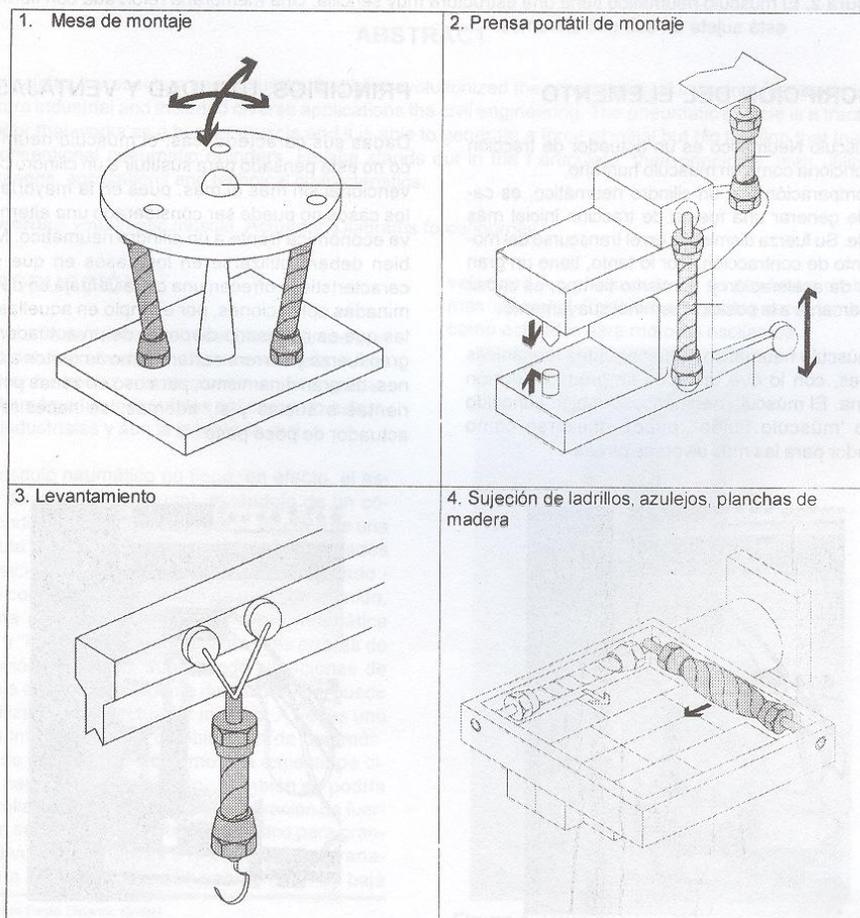


Figura 4.a Múltiples aplicaciones en la industria

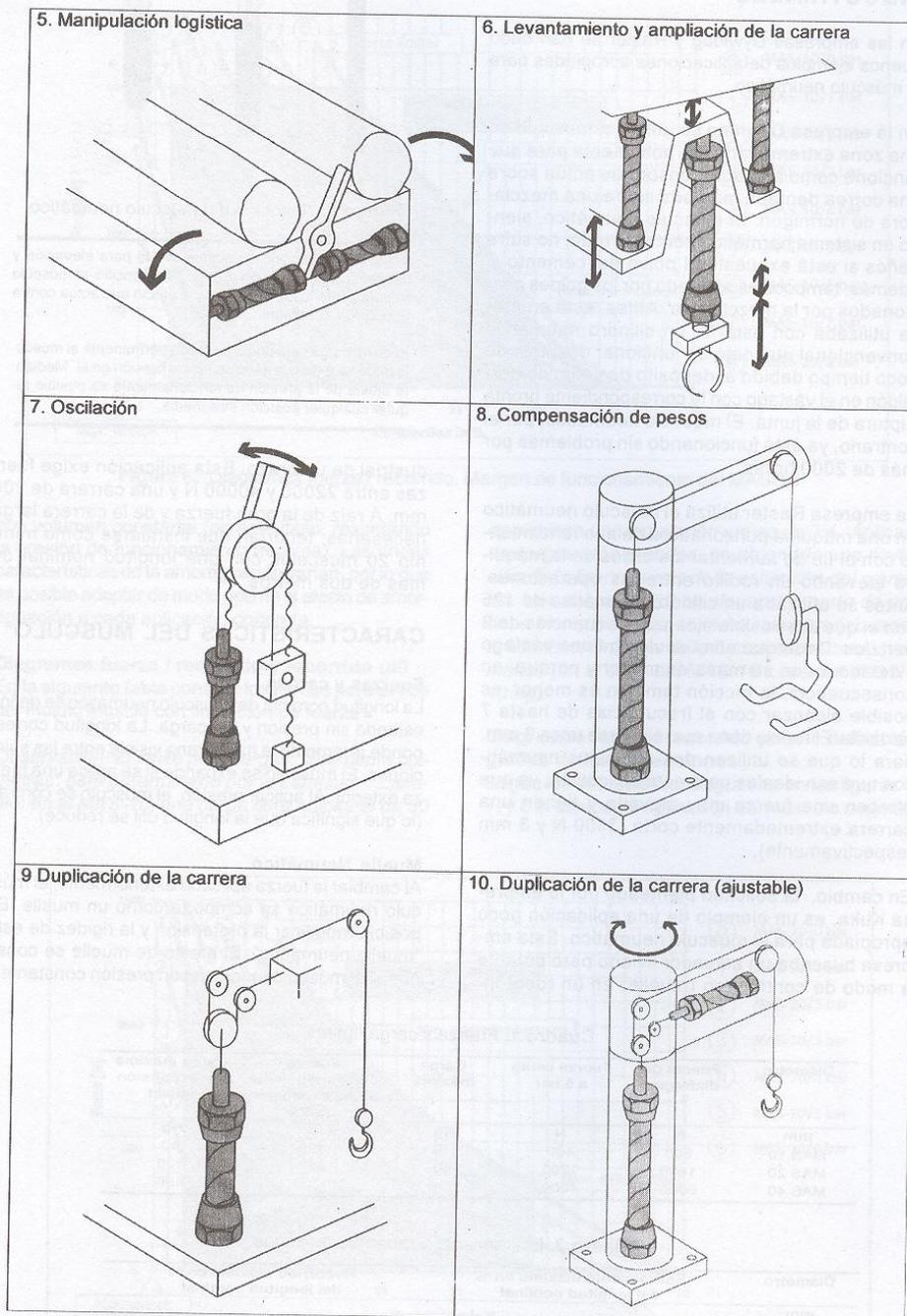


Figura 4.b Múltiples aplicaciones en la industria

CASOS DE APLICACIONES INDUSTRIALES

En las empresas Dywidag y Raster se han dado buenos ejemplos de aplicaciones apropiadas para el músculo neumático.

En la empresa Dywidag se utiliza el músculo en una zona extremadamente polvorienta para que funcione como actuador tensor que actúa sobre una correa dentada montada sobre una mezcladora de hormigón. El músculo neumático, siendo un sistema herméticamente cerrado, no sufre daños si está expuesto al polvo del cemento y, además, tampoco es afectado por los golpes ocasionados por la mezcladora. Antes, esta empresa utilizaba con este fin un cilindro neumático convencional que dejó de funcionar después de poco tiempo debido al depósito de polvo de hormigón en el vástago con la correspondiente pronta ruptura de la junta. El músculo neumático, por el contrario, ya está funcionando sin problemas por más de 2000 horas.

La empresa Raster utiliza el músculo neumático en una máquina punzonadora de alto rendimiento con el fin de aumentar los ciclos de la máquina elevando un rodillo entre las operaciones. Antes se utilizaba un cilindro neumático de 125 con el que era posible alcanzar frecuencias de 3 hertzios. Dado que el músculo no tiene vástago y debido a que su masa es menor y porque, en consecuencia, la fricción también es menor, es posible alcanzar con él frecuencias de hasta 7 hertzios. El rodillo tiene que elevarse unos 3 mm, para lo que se utilizan dos músculos neumáticos que son ideales para esta aplicación, ya que ofrecen una fuerza muy elevada y tienen una carrera extremadamente corta (3500 N y 3 mm respectivamente).

En cambio, la solicitud planteada por la empresa Kuka, es un ejemplo de una aplicación poco apropiada para el músculo neumático. Esta empresa buscaba un actuador liviano pero potente a modo de contrapeso (muelle) en un robot in-

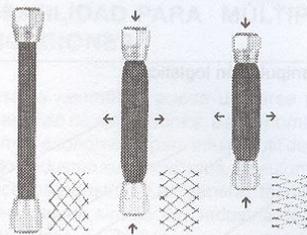


Figura 5. Tracción del músculo neumático.

Actuador de tracción de simple efecto para elevación y descenso de cargas. En el caso más sencillo, el músculo trabaja como actuador de simple efecto que actúa contra una carga constante.

Si dicha carga está unida de modo permanente al músculo, éste se expande si no se aplica presión en él. Mediante ajuste de la presión de funcionamiento es posible regular cualquier posición intermedia.

dustrial de un brazo. Esta aplicación exige fuerzas entre 22000 y 40000 N y una carrera de 200 mm. A raíz de la gran fuerza y de la carrera larga necesarias, tendrían que instalarse como mínimo 20 músculos con una longitud nominal de más de dos metros.

CARACTERÍSTICAS DEL MÚSCULO

Fuerzas y cargas

La longitud nominal del músculo neumático se define estando sin presión y sin carga. La longitud corresponde al largo de la membrana visible entre las sujeciones. El músculo se expande si se aplica una fuerza exterior. Al aplicar presión, el músculo se contrae (lo que significa que la longitud útil se reduce).

Muelle Neumático

Al cambiar la fuerza aplicada exteriormente, el músculo neumático se comporta como un muelle. Es posible modificar la pretensión y la rigidez de este "muelle neumático". El efecto de muelle se consigue si el músculo funciona con presión constante o

Cuadro 1. Fuerza y carga límites.

Diámetro	Fuerza del diafragma	Fuerza límite a 6 bar	Carga máxima	Fuerza correspondiente a una expansión de 3%	Carga máxima sin expansión inicial
mm	N	N	Kg.	N	Kg.
MAS 10	600	400	30	300	40
MAS 20	1800	1200	60	600	120
MAS 40	6000	4000	120	1200	400

Cuadro 2. Estiramiento y recorrido máximos.

Diámetro	Estiramiento máximo en % del longitud nominal	Recorrido máximo en % del longitud nominal
mm		
MAS 10	3	20
MAS 20	3	20
MAS 40	3	25



El Músculo Neumático

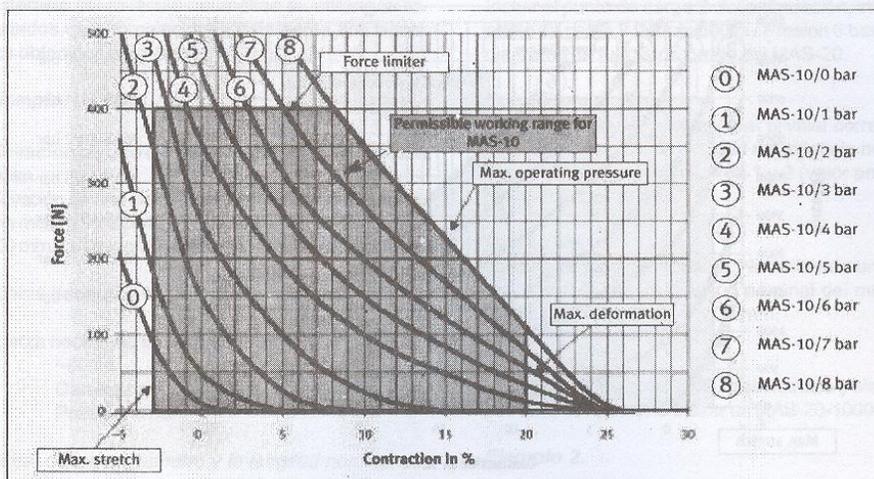


Figura 6. Diagramas fuerza / recorrido. Margen de funcionamiento del MAS-10

con volumen constante (en este caso, respetando la presión de funcionamiento máxima). Las líneas características de la amortiguación varían, por lo que es posible adaptar de modo óptimo el efecto de amortiguación a cada aplicación concreta.

Diagramas fuerza / recorrido y recorrido útil

En la siguiente tabla constan los límites para el uso del Fluidic Muscle con limitación de fuerza.

Observación: El límite para cargas "libremente colgantes" está determinado por la estricción. Ejemplo: en el MAS-10, una carga libre adicional de 30

kg provoca una expansión previa de 3%. Aplicando cargas más grandes, se obtendría una limitación de la fuerza a raíz de la estricción del diámetro. Una carga que debe elevarse a partir de una base bien puede ser superior, siempre y cuando lo admita el limitador de la fuerza del músculo neumático (en el caso del MAS-10... serían 400 N o 40 kg).

Diagramas fuerza / recorrido para la definición gráfica de las dimensiones

Según los datos de los diagramas en las figuras 6, 7, y 8 el campo de aplicación del músculo neumático

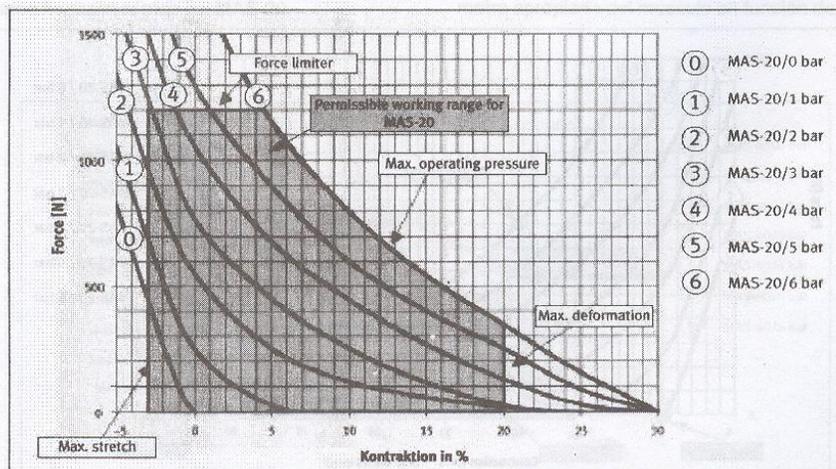


Figura 7. Diagramas fuerza / recorrido. Margen de funcionamiento del MAS-20

CARGOS DE APLICACIONES

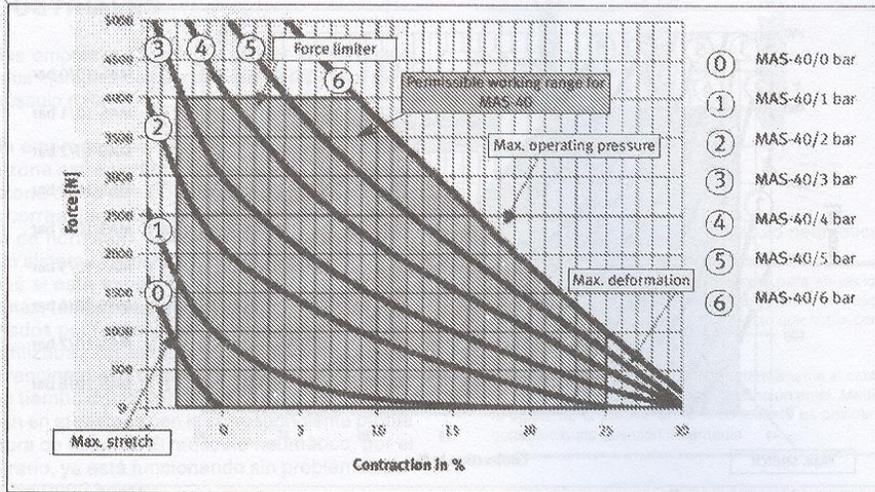


Figura 8. Diagramas fuerza /recorrido. Margen de funcionamiento del MAS-40

co, se obtiene en función del diámetro y expresado en superficie dentro de los siguientes límites:

- a. En la izquierda del diagrama, la limitación determinada por la expansión máxima.
- b. Arriba, limitación determinada por la fuerza máxima posible (limitación de la fuerza).
- c. Derecha, arriba: limitación por la presión de funcionamiento máxima admisible.
- d. Derecha, limitación determinada por la contracción máxima admisible.

Las curvas expresan el aumento de las fuerzas (hacia la derecha, arriba) a la vez que aumenta la presión de funcionamiento.

ELECCIÓN DEL MÚSCULO

Software de cálculo

Para configurar el músculo neumático, es recomendable utilizar el software de cálculo correspondiente (www.festo.com/download). Al configurar el músculo neumático deberá tenerse en cuenta el margen funcional (ver Figura 8 diagramas fuerza / recorrido).

Definición de la longitud

Además de emplear el software, también es posible determinar la longitud del músculo neumático mediante los diagramas fuerza / recorrido. A continuación se comentarán dos ejemplos que explican el uso de las gráficas.

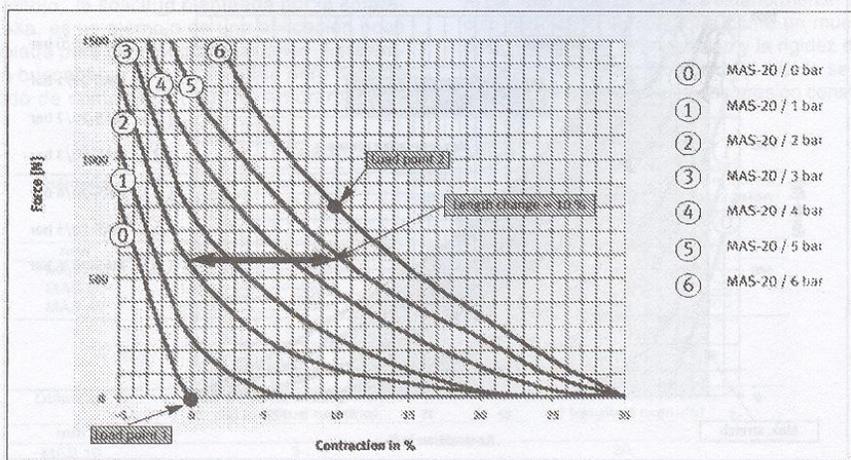


Figura 9. Diagrama fuerza / recorrido MAS 20



El Músculo Neumático

Al utilizar las gráficas es posible que a raíz de la histéresis del músculo neumático se obtengan resultados que no coinciden plenamente con aquellos obtenidos mediante el software.

Ejemplo 1.

Elevación de una carga constante a partir de una mesa.

Elevación de una carga constante de 80 kg a partir de una mesa y transporte de dicha carga en un trayecto de 100 mm. La presión de funcionamiento es de 6 bar.

Fuerza necesaria en posición de reposo 0 kg / 0 N

Fuerza necesaria en estado de contracción: 80 kg / ~800N

Carrera necesaria: 100 mm

Presión: 6 bar

Tarea: definir el diámetro y la longitud nominal del músculo neumático.

Primer paso:

Definir el diámetro del músculo. Determinación del diámetro apropiado en función de la fuerza máxima (MAS-10: 400 N, MAS-20: 1200 N, MAS-40: 4000 N). En el ejemplo, la fuerza máxima es de 800 N, por lo que se elegirá un MAS-20.

También sería posible utilizar un MAS-40. Es más fuerte y con 6 bar y 800 N alcanza una contracción relativa superior y, en consecuencia, una longitud nominal menor. Además, la menor contracción permitiría aumentar la duración del músculo neumático.

Segundo paso:

Incluir el punto de carga 1. A continuación, incluir el punto de carga 2 (fuerza 800 N / Presión 6 bar) en el diagrama fuerza/recorrido del MAS-20.

Tercer paso:

Incluir el punto de carga 2. A continuación, incluir el punto de carga 2 (fuerza 800 N / Presión 6 bar) en el diagrama de fuerza/recorrido del MAS-20.

Cuarto paso:

Leer el cambio de longitud. Leer el valor correspondiente al cambio de la longitud del músculo neumático entre los puntos de carga 1 y 2 (valor en el eje X). Resultado: 10%

Quinto paso:

Calcular la longitud nominal. Necesitando un recorrido de 100 mm, la longitud nominal del músculo es de 100 mm / 10% = 1000 mm.

Sexto paso:

Resultado. Para acoplar 80 kg sin fuerzas y elevarlos 100 mm, es necesario utilizar un MAS-20-1000-AA-...

Ejemplo 2.

Muelle de tracción.

En este caso, el músculo neumático deberá hacer las veces de muelle de tracción. Características:

Fuerza necesaria en estado de expansión: 2000 N

Fuerza necesaria en estado de contracción: 0 N

Carrera necesaria (=recorrido del muelle): 50 mm

Presión: 2 bar

Tarea: buscar el diámetro y la longitud nominal del músculo neumático.

Primer paso:

Definir el diámetro del músculo. Determinar el diámetro apropiado del músculo en función de la fuer-

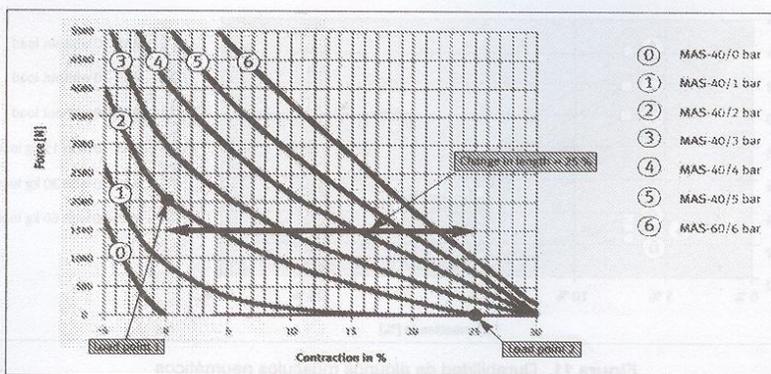


Figura 7: Diagrama fuerza/recorrido MAS 40 y 60



za máxima (MAS-10: 400 N, MAS-20: 1200 N, MAS-40: 4000 N). En el ejemplo, la fuerza máxima es de 2000 N, por lo que se elegirá un MAS-40.

Segundo paso:

Incluir el punto de carga 1 (fuerza 2000 N / Presión 2 bar) en el diagrama del MAS-40.

Tercer paso:

Incluir el punto de carga 2 (fuerza 0 N / presión 2 bar) en el diagrama fuerza/recorrido del MAS-40.

Cuarto paso:

Leer el cambio de longitud. Leer en el eje X el cambio de la longitud del músculo entre los puntos de carga 1 y 2 (contracción). Resultado: 25%.

Quinto paso:

Calcular la longitud nominal. Siendo necesaria una carrera de 50 mm, la longitud nominal del músculo es de $50 \text{ mm} / 25\% = 200 \text{ mm}$.

Sexto paso:

Resultado. Para usar un músculo neumático como muelle de tracción con una fuerza de 2000 N y una carrera de 50 mm, deberá elegirse un MAS-40-200-AA...

AMPLIACIÓN DEL DIÁMETRO

Al aplicar presión, el diámetro exterior aumenta máximo aproximadamente un 80%. Las medidas concretas son las siguientes:

MAS-10 aprox. 25,2 mm a 8 bar

MAS-20 aprox. 43,2 mm a 6 bar

MAS-40 aprox. 79,2 mm a 6 bar

Observación

A expansión del perímetro no se puede aprovechar, ya que el movimiento de contracción podría dañar al músculo neumático debido a la fricción.

Orientación del movimiento del músculo

El músculo es un actuador de tracción, por lo que únicamente fue concebido para soportar fuerzas longitudinales. Si entre los puntos de su sujeción aparecen errores de alineación o de ángulo, deberán utilizarse los accesorios correspondientes (cabez de rótula, etc.).

DATOS TÉCNICOS GENERALES

Errores de alineación máximos admisibles:

- a. Desviación angular de $\pm 1^\circ$ en función de los ejes de dos sujeciones fijas
- b. Error de paralelismo de 2 mm por 100 mm de longitud nominal

Duración

La duración del músculo neumático depende en gran medida de la carga al que se somete (carga térmica a raíz de la deformación y de la carga adicional). Las pruebas de larga duración han tenido como resultado las siguientes líneas características:

Observación

Aplicando aire en ambos lados (enjuague) es posible disminuir significativamente la carga (térmica), con lo que aumenta la duración del músculo neumático. Si en la aplicación el músculo tiene que ser especialmente durable, deberá elegirse una configuración en la que la con tracción no pase de 5 hasta 10 %, ya que de esta manera el material se somete a esfuerzos mínimos. Ello puede lograrse, por ejem-

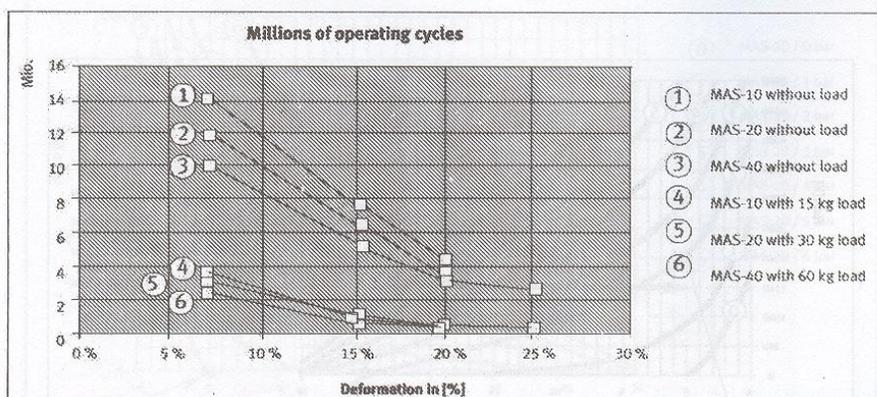


Figura 11. Durabilidad de algunos músculos neumáticos MAS 10/20 y 40 con y sin cargas



plo, eligiendo una mayor longitud nominal con el fin de reducir la contracción, eligiendo un músculo de diámetro mayor, utilizando varios músculos. Si se utiliza el músculo con frecuencias superiores a los 2 Hz, es recomendable elegir una configuración abierta en ambos lados (MAS-...-MO..). Aplicando aire en ambos lados aumenta la durabilidad del músculo al reducirse su temperatura.

CONCLUSIONES

El músculo neumático ofrece claras ventajas en donde sea necesario disponer de un gran actuador de carrera corta, sin movimientos a tirones de gran dinamismo y para uso en zonas polvorientas o sucias además de ser liviano hermético y robusto.

Las ventajas señaladas en el párrafo anterior hacen que el músculo neumático sea muy versátil en cuanto a sus aplicaciones siendo útil entre otras en la industria automovilística, automotivación de procesos industriales diversos, técnicas médicas, técnicas de simulación, técnicas de construcción y edificación, etc.

El músculo neumático puede utilizarse para una gran cantidad de aplicaciones. Basta nombrar algunas ramas económicas para intuir la utilidad de este actuador: industria automovilística, de automatización

de procesos industriales en general, técnicas médicas, técnicas de simulación, industria de la impresión, técnicas de edificaciones y, por supuesto, automatización industrial.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Dehli , Thomas. FIS 81/2001**, Fluidic Muscle MAS, Informaciones sobre la configuración del músculo neumático, pp 85-86, Festo AG & Co. Alemania.
2. **Dehli, Thomas. FIS 80/2001** Músculo neumático MAS, Versalidad para múltiples aplicaciones, pp 69 Festo AG & Co. Alemania.
3. **Dehli, Thomas. FIS 60/99**, Visión retrospectiva de la feria HM'99, GP innovaciones – el músculo fluidico, pp25, Festo AG & Co. Alemania.
4. **Kriwert , Ansgar. FIS 62/2000**, Festo flexes ist muscles, PM Innovations, pp25, Festo AG & Co. Alemania.
5. **Kriwert , Ansgar. FIS 66/1999**, Músculo neumático, Idea de aplicación: Almohada neumática, pp 101-103, Festo AG & Co. Alemania.

