

4. ACTUADORES

4.1. Actuadores neumáticos e hidráulicos.

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas. Pueden ser hidráulicos, neumáticos o eléctricos.

Los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

El trabajo realizado por un actuador neumático puede ser lineal o rotativo. El movimiento lineal se obtiene por cilindros de émbolo (éstos también proporcionan movimiento rotativo con variedad de ángulos por medio de actuadores del tipo piñón-cremallera). También encontramos actuadores neumáticos de rotación continua (motores neumáticos), movimientos combinados e incluso alguna transformación mecánica de movimiento que lo hace parecer de un tipo especial.

Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots. Los servomotores CA sin escobillas se utilizarán en el futuro como actuadores de posicionamiento preciso debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento.

Los actuadores se dividen en 2 grandes grupos: cilindros y motores.

4.1.1. Clasificación

Aunque en esencia los actuadores neumáticos e hidráulicos son idénticos, los neumáticos tienen un mayor rango de compresión y además existen diferencias en cuanto al uso y estructura.

Se clasifican en actuadores lineales y giratorios.

- ACTUADORES NEUMÁTICOS LINEALES

El cilindro neumático consiste en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que desliza y que transmite su movimiento al exterior mediante un vástago. Se compone de las tapas trasera y delantera, de la camisa donde se mueve el pistón, del propio pistón, de las juntas estáticas y dinámicas del pistón y del anillo rascador que limpia el vástago de la suciedad.

Los cilindros neumáticos independientemente de su forma constructiva, representan los actuadores más comunes que se utilizan en los circuitos neumáticos. Existen dos tipos fundamentales de los cuales derivan construcciones especiales.

- Cilindros de simple efecto, con una entrada de aire para producir una carrera de trabajo en un sentido.

- Cilindros de doble efecto, con dos entradas de aire para producir carreras de trabajo de salida y retroceso.

Cilindros de simple efecto

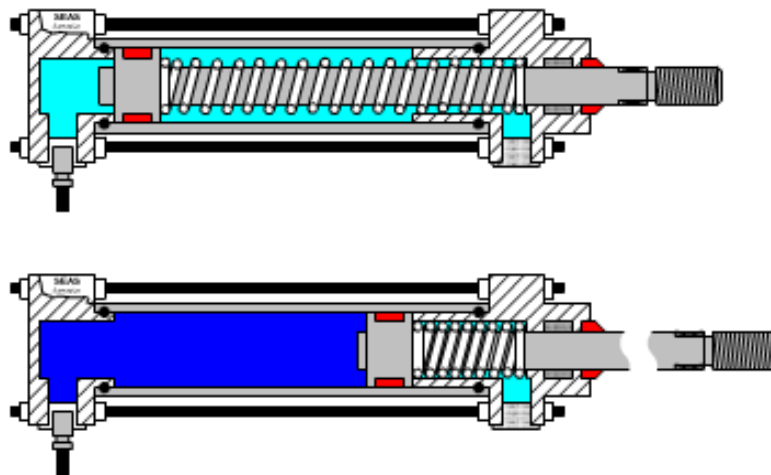
Un cilindro de simple efecto desarrolla un trabajo sólo en un sentido. El émbolo se hace retornar por medio de un resorte interno o por algún otro medio externo como cargas, movimientos mecánicos, etc. Puede ser de tipo “normalmente dentro” o “normalmente fuera”.

Los cilindros de simple efecto se utilizan para sujetar, marcar, expulsar, etc. Tienen un consumo de aire algo más bajo que un cilindro de doble efecto de igual tamaño. Sin embargo, hay una reducción de impulso debida a la fuerza contraria del resorte, así que puede ser necesario un diámetro interno algo más grande para conseguir una misma fuerza. También la adecuación del resorte tiene como consecuencia una longitud global más larga y una longitud de carrera limitada, debido a un espacio muerto.

Tipos de cilindros de simple efecto:

Cilindros de émbolo, cilindros de membrana, cilindros de membrana enrollable.

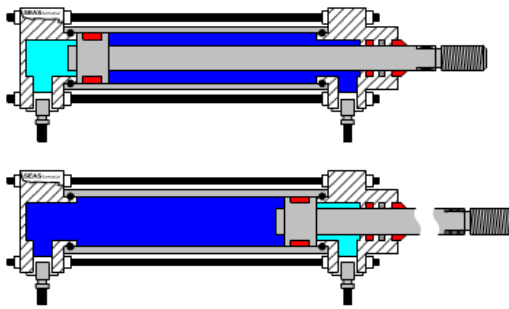
Cilindros de émbolo:



Cilindro de simple efecto tipo "dentro".

Cilindros de doble efecto

Los cilindros de doble efecto son aquellos que realizan tanto su carrera de avance como la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe a que emplean las dos caras del émbolo (aire en ambas cámaras), por lo que estos componentes sí pueden realizar trabajo en ambos sentidos. Sus componentes internos son prácticamente iguales a los de simple efecto, con pequeñas variaciones en su construcción. Algunas de las más notables las encontramos en la culata anterior, que ahora ha de tener un orificio roscado para poder realizar la inyección de aire comprimido (en la disposición de simple efecto este orificio no suele prestarse a ser conexionado, siendo su función la comunicación con la atmósfera con el fin de que no se produzcan contrapresiones en el interior de la cámara).



Cilindro de doble efecto.

El campo de aplicación de los cilindros de doble efecto es mucho más extenso que el de los de simple, incluso cuando no es necesaria la realización de esfuerzo en ambos sentidos. Esto es debido a que, por norma general (en función del tipo de válvula empleada para el control), los cilindros de doble efecto siempre contienen aire en una de sus dos cámaras, por lo que se asegura el posicionamiento.

Para poder realizar un determinado movimiento (avance o retroceso) en un actuador de doble efecto, es preciso que entre las cámaras exista una diferencia de presión. Por norma general, cuando una de las cámaras recibe aire a presión, la otra está comunicada con la atmósfera, y viceversa. Este proceso de conmutación de aire entre cámaras nos ha de preocupar poco, puesto que es realizado automáticamente por la válvula de control asociada.

En definitiva, podemos afirmar que los actuadores lineales de doble efecto son los componentes más habituales en el control neumático. Esto es debido a que:

- Se tiene la posibilidad de realizar trabajo en ambos sentidos (carreras de avance y retroceso).
- No se pierde fuerza en el accionamiento debido a la inexistencia de muelle en oposición.
- Para una misma longitud de cilindro, la carrera en doble efecto es mayor que en disposición de simple, al no existir volumen de alojamiento.

Otros tipos de cilindros:

Cilindro neumático de fuelle.

También conocido como motor neumático de fuelle, incorpora un cilindro de doble efecto, un sistema de accionamiento de válvula de control direccional y dos tornillos de regulación de velocidad de avance y retroceso.

Cilindro neumático de impacto

El vástago de este cilindro se mueve a una velocidad elevada del orden de los 10 m/s y esta energía se emplea para realizar trabajos de marcado de bancadas del motor, de perfiles de madera, de componentes electromecánicos y trabajos en presas de tiempo embutición, estampado, remachado, doblado, etc.

Cilindro neumático sin vástago

Cuando el espacio disponible para el cilindro es limitado, el cilindro neumático sin vástago es la elección. Puede tener una carrera relativamente larga de unos 800 mm y mayor.

Cilindro neumático guiado

Uno de los problemas que presentan los cilindros convencionales es el movimiento de giro que puede sufrir el vástago, ya que el pistón, el vástago y la camisa del cilindro son de sección circular, por lo que ninguno de ellos evita la rotación. En algunas aplicaciones la rotación libre no es tolerable por lo que es necesario algún sistema anti giro.

Uno de los sistemas que aparte de la función anti giro tiene otras ventajas es el cilindro neumático guiado que contiene dos o más pistones con sus vástagos, lo que da lugar a una fuerza doble de la de los cilindros convencionales.

Cilindros de doble efecto multiposición.

Consisten en dos o más cilindros de doble efecto acoplados en serie. Dos cilindros con carreras diferentes permiten obtener cuatro posiciones diferentes del vástago.

Cilindros tándem

Está constituido por dos cilindros de doble efecto que forman una unidad. Gracias a esta disposición, al aplicar simultáneamente presión sobre los dos émbolos se obtiene en el vástago una fuerza de casi el doble de la de un cilindro normal para el mismo diámetro.

- ACTUADORES NEUMÁTICOS GIRATORIOS.

Los actuadores rotativos o giratorios son los encargados de transformar la energía neumática en energía mecánica de rotación. Dependiendo de si el móvil de giro tiene un ángulo limitado o no, se forman los dos grandes grupos a analizar:

Actuadores de giro limitado

Son aquellos que proporcionan movimiento de giro pero no llegan a producir una revolución (exceptuando alguna mecánica particular como por ejemplo piñón – cremallera). Existen disposiciones de simple y doble efecto para ángulos de giro de 90°, 180°..., hasta un valor máximo de unos 300° (aproximadamente).

Motores neumáticos

Proporcionan un movimiento rotatorio constante. Se caracterizan por proporcionar un elevado número de revoluciones por minuto.

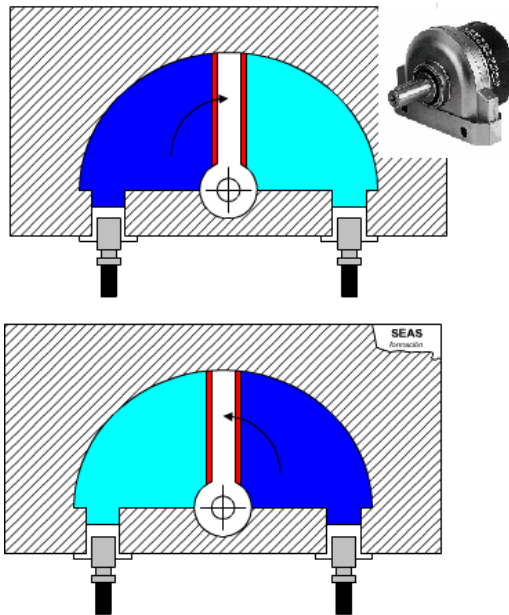
ACTUADORES DE GIRO LIMITADO

Actuador de paleta:

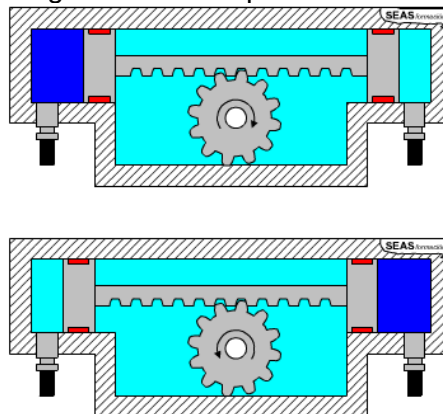
El actuador de giro de tipo paleta quizá sea el más representativo dentro del grupo que forman los actuadores de giro limitado. Estos actuadores realizan un movimiento de giro que rara vez supera los 270°, incorporando unos topes mecánicos que permiten la regulación de este giro. Están compuestos por una carcasa, en cuyo interior se encuentra una paleta que delimita las dos cámaras. Solidario a esta paleta, se encuentra el eje, que atraviesa la carcasa exterior. Es precisamente en este eje donde obtenemos el trabajo, en este caso en forma de

movimiento angular limitado. Tal y como podemos apreciar en la figura, el funcionamiento es similar al de los actuadores lineales de doble efecto. Al aplicar aire comprimido a una de sus cámaras, la paleta tiende a girar sobre el eje, siempre y cuando exista diferencia de presión con respecto a la cámara contraria (generalmente comunicada con la atmósfera). Si la posición es inversa, se consigue un movimiento de giro en sentido contrario.

Estos componentes presentan ventajas propias de los componentes de última generación, tal y como amortiguación en final de recorrido, posibilidad de detección magnética de la posición (mecánica o magnética), etc. La detección mecánica se ejecuta mediante elementos móviles exteriores ajustables en grado mediante nonio graduado.



Los cilindros que funcionan como actuadores giratorios, de giro limitado, son el *cilindro giratorio de pistón-cremallera-piñón* en el que el movimiento lineal del pistón es transformado en un movimiento giratorio mediante un conjunto de piñón y cremallera y el *Cilindro de aletas giratorias de doble efecto* para ángulos entre 0° y 270° . En la siguiente figura el cilindro pistón-cremallera-piñón:



Actuador piñón - cremallera.

Motores de aire comprimido

Su ángulo de giro no está limitado, hoy es uno de los elementos de trabajo más empleados que trabajan con aire comprimido.

Tipos de motores

- embolo
- aletas
- engranajes

Motores de émbolo

Su accionamiento se realiza por medio de cilindros de movimiento alternativo, el aire comprimido acciona a través de una biela el cigüeñal del motor.

La potencia de estos motores depende:

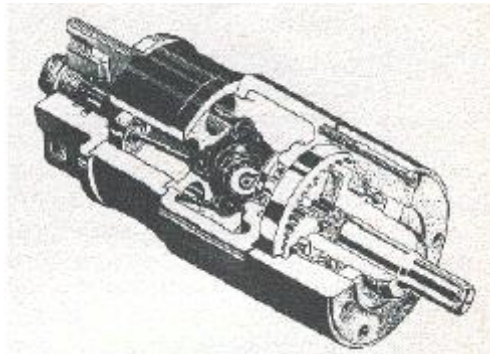
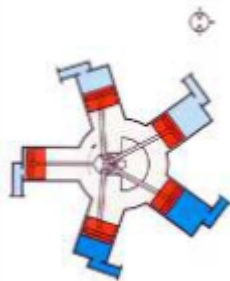
- a.- de la presión de entrada
- b.- del número de émbolos
- c.- de la superficie y velocidad de los émbolos.

Existen dos tipos de motores de émbolos

- a.- Motor de émbolo axial
- b.- Motor de émbolo radial

El funcionamiento de ambos es idéntico.

Constan de cinco cilindros dispuestos axialmente, la fuerza se transforma por medio de un plato oscilante en un movimiento rotativo. El aire lo reciben dos cilindros simultáneamente al objeto de equilibrar el par y obtener un funcionamiento normal. Estos motores se ofrecen para giro a derechas y a izquierdas.

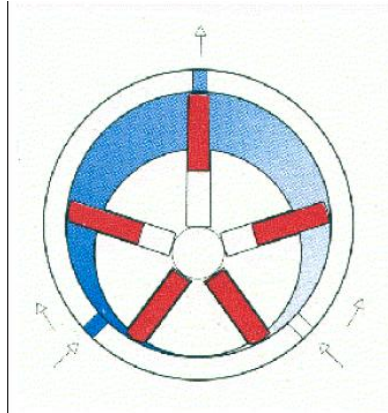


Motores de aletas

Son de construcción sencilla y por tanto de reducido peso, constan de un rotor excéntrico dotado de ranuras, el cual gira en una cámara cilíndrica.

En las ranuras se deslizan unas aletas, que son empujadas contra la pared interior del cilindro por el efecto de la fuerza centrífuga, y en otros casos por medio de resortes o muelles, garantizándose así la estanqueidad de las diversas cámaras.

Es suficiente una pequeña cantidad de aire para empujar las aletas, y se va dilatando a medida que el volumen de la cámara aumenta



Motor de engranajes

En estos motores, el par de rotación es generado por la presión que ejerce el aire sobre los flancos de los dientes de los piñones engranados, uno de los piñones es solidario con el eje del motor.

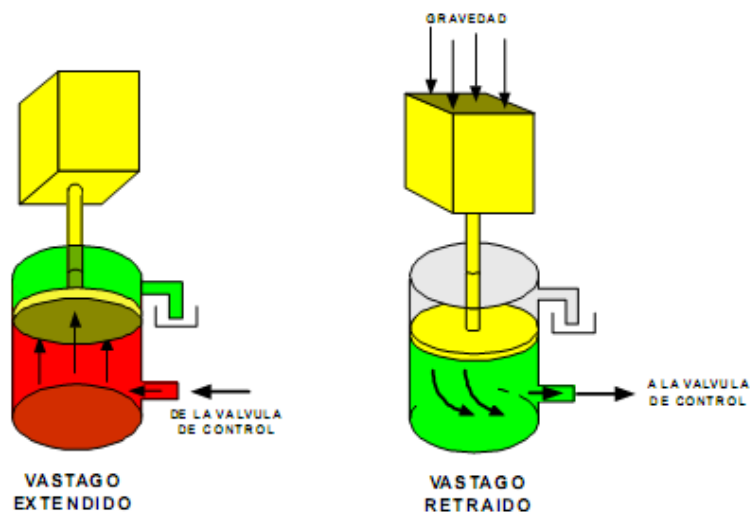
Estos motores se utilizan generalmente en máquinas propulsores de gran potencia, su sentido de rotación es reversible.

- **ACTUADORES HIDRÁULICOS LINEALES**

Los cilindros hidráulicos de movimiento lineal son utilizados comúnmente en aplicaciones donde la fuerza de empuje del pistón y su desplazamiento son elevados.

Los cilindros hidráulicos pueden ser de simple efecto, de doble efecto y telescópicos.

- En el primer tipo, el fluido hidráulico empuja en un sentido el pistón del cilindro y una fuerza externa (resorte o gravedad) lo retrae en sentido contrario. El cuerpo del cilindro es la caja externa tubular y contiene el pistón, el sello del pistón y el vástago. “Calibre” es el término usado para indicar el diámetro del pistón. El extremo del pistón del cilindro (algunas veces llamado “extremo ciego”) se conoce como el extremo de la cabeza. El extremo desde el cual el vástago se extiende y se retrae se conoce como el extremo del vástago.

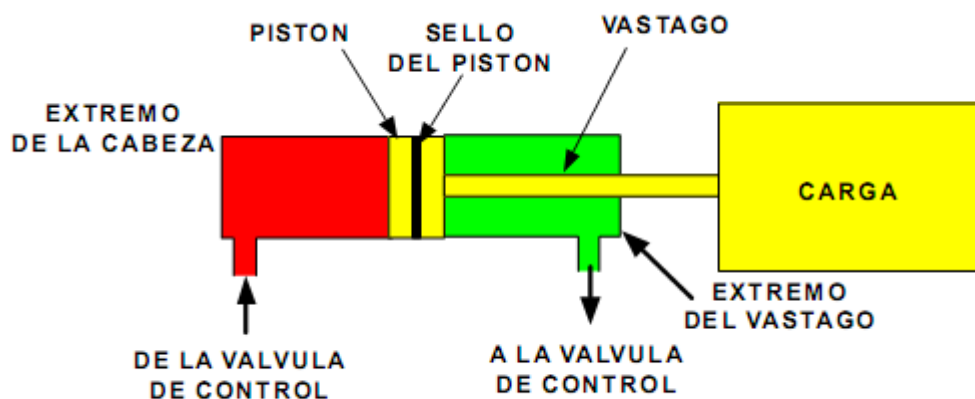


- El cilindro de acción doble utiliza la fuerza generada por el fluido hidráulico para mover el pistón en los dos sentidos, mediante una válvula de solenoide. El cilindro de acción doble es el accionador hidráulico más común utilizado actualmente y se usa en los sistemas del implemento, la dirección y otros sistemas donde se requiera que el cilindro funcione en ambas direcciones. Puesto que los cilindros con vástago de acoplamiento son los cilindros de acción doble más comunes, se tiene en cuenta las pautas de la National Fluid Power Association (NFPA) para fijar las normas de calibre, tipo de montaje y dimensiones generales del cilindro. Esto permite usar los cilindros con vástago de acoplamiento de diferentes fabricantes, si tienen la misma descripción de diseño. Sin embargo, recuerde que aunque los cilindros pueden tener el mismo calibre, su calidad puede ser diferente.

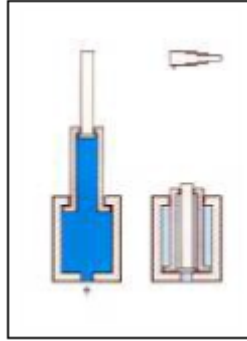
El calibre del cilindro es el término que indica el diámetro interno del cilindro. Un cilindro de calibre grande produce un mayor volumen por unidad de longitud que un cilindro de calibre pequeño. Para mover un pistón la misma distancia, un cilindro de calibre grande necesita más aceite que un cilindro de calibre menor. Por tanto, para un régimen de flujo dado, un cilindro de calibre grande se mueve más lentamente que un cilindro de calibre pequeño.

El área efectiva de un cilindro es el área del pistón y de sello de pistón sobre la cual actúa el aceite. Debido a que uno de los extremos del vástago está unido al pistón y el extremo opuesto se extiende fuera del cilindro, el área efectiva del extremo del vástago es menor que el área efectiva del extremo de la cabeza. El aceite no actúa contra el área del pistón cubierta por la unión del vástago.

El volumen de aceite necesario para llenar el extremo del vástago del cilindro es menor que el volumen de aceite necesario para cubrir el extremo de la cabeza del cilindro. Por tanto, para un régimen de flujo dado, el vástago del cilindro se retrae más rápido que el tiempo que tarda en extenderse.



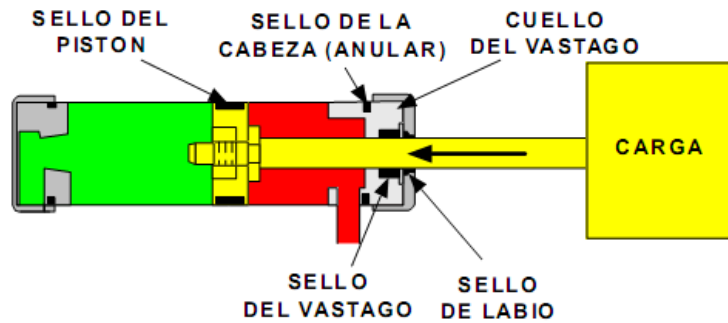
- El cilindro telescópico contiene otros de menos diámetro en su interior y se expanden en etapas, son muy utilizados en grúas. Está constituido por los tubos cilíndricos y vástago de émbolo. En el avance sale primero el émbolo interior, siguiendo desde dentro hacia fuera los siguientes vástagos o tubos. La reposición de las barras telescópicas se realiza por fuerzas externas. La fuerza de aplicación está determinada por la superficie del émbolo menor.



- Otros elementos en los cilindros son:

Sellos

Los sellos se usan en diferentes partes del cilindro, como se muestra en la figura. El sello del pistón se usa entre el pistón y la pared del cilindro.



Su diseño permite que la presión de aceite extienda el sello contra la pared del cilindro, de manera que, a mayor presión, mayor fuerza sellante.

El sello del extremo de la cabeza (sello anular) evita que el aceite escape por entre el cuello del vástago y la pared del cilindro.

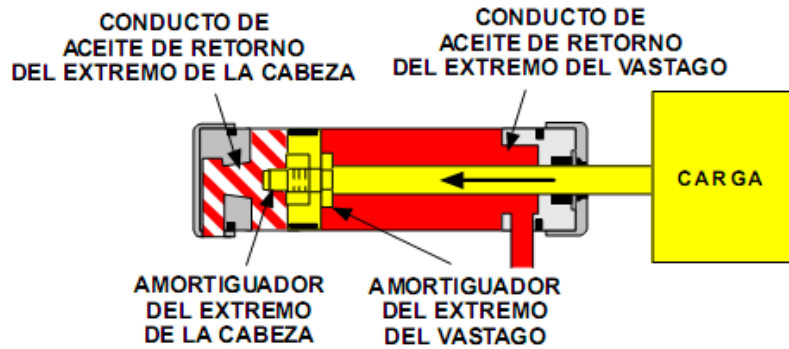
El sello de vástago es un sello en forma de "U" que limpia el aceite del vástago a medida que el vástago se extiende por el cilindro.

El sello de labio se ajusta al cilindro e impide que la suciedad o el polvo entren al cilindro cuando se retrae el vástago del cilindro.

Los sellos se fabrican en poliuretano, nitrilo o vitón. El material debe ser compatible con los fluidos usados y las condiciones de operación.

Amortiguadores

La figura muestra un cilindro con amortiguadores.



Cuando un cilindro en movimiento llega a un extremo muerto (como sucede al final de la carrera del cilindro), la acción que experimenta se conoce como “carga de choque”. Cuando un cilindro está sujeto a una carga de choque, se usan amortiguadores para minimizar el efecto.

Cuando el pistón se aproxima al final de la carrera, el amortiguador se mueve dentro del conducto de aceite de retorno y restringe el flujo de aceite de retorno del cilindro. La restricción produce un aumento de la presión de aceite de retorno entre el conducto del aceite de retorno y el pistón. El aumento de la presión de aceite produce un “efecto de amortiguación” que reduce el movimiento del pistón y minimiza el choque que ocurre al final de la carrera.

Algunos cilindros pueden requerir un amortiguador en el extremo de la cabeza, mientras otros pueden requerir amortiguadores tanto en el extremo de la cabeza como en el extremo del vástago.

- ACTUADORES HIDRÁULICOS ROTATIVOS

Motor hidráulico

El motor hidráulico convierte la energía hidráulica en energía mecánica. El motor hidráulico usa el flujo de aceite enviado por la bomba y lo convierte en un movimiento rotatorio para impulsar otro dispositivo (por ejemplo, mandos finales, diferencial, transmisión, rueda, ventilador, otra bomba, etc.).

Varios tipos de motores hidráulicos se usan en la industria. Proporcionan una velocidad determinada relativamente constante a través de su variada gama de presiones. Cuando alcanzan su máximo par, su velocidad cae rápidamente debido a que el fluido hidráulico se escapa a través de una válvula de alivio dejando el motor sin alimentar. Entre los tipos de motores hidráulicos se encuentran: los motores de paletas, de pistón axial o radial, de engranajes y gerotor.

4.1.2. Partes principales

El cilindro actuador se compone de las tapas trasera y delantera, de la camisa donde se mueve el pistón, del propio pistón, de las juntas estáticas y dinámicas del pistón y del anillo rascador que limpia el vástago de la suciedad.

4.1.3. Materiales de construcción.

Cilindros:

1.- Tubo: se fabrica de tubo de acero embutido sin costuras.

2 y 3.- Tapa anterior y/o posterior: en ambas para su fabricación se emplea preferentemente material de fundición o maleables, como por ejemplo el aluminio.

4.- Vástago: se fabrica preferentemente de acero bonificado, conteniendo un determinado porcentaje de cromo, para protegerlo de la corrosión.

5.- Collarín obturador: se emplea para hermetizar el vástago

6.- Casquillo de cojinete: puede ser de bronce o metálico revestido. Su misión es servir de guía al vástago de plástico.

7.- Anillo rascador: impide que entren partículas de polvo y suciedad en el interior del cilindro se encuentra situado delante del casquillo (6).

8.- Mango doble de copa: su misión es hermetizar la cámara del cilindro, se fabrican de diferentes materiales dependiendo de la temperatura. (Vitón para temperaturas de -20 c y +80 c, teflón para temperaturas de -80 c y +200c)

4.2. Cálculo de de las dimensiones principales del cilindro.

Las principales dimensiones de un cilindro son:

- El diámetro
- La carrera

4.2 1. Cálculo del diámetro del cilindro y su carrera.

Diámetro interno

La selección del área interior o diámetro interno del cilindro depende de:

- a) La fuerza requerida del cilindro
- b) La presión suministrada al cilindro

Sabemos que:

$$p[\text{bar}] \cdot A[\text{mm}]^2 = F_{\text{resistente}} [\text{N}]$$

De donde:

$$A[\text{mm}]^2 = \frac{F_{\text{resistente}} [\text{N}]}{p[\text{bar}]}$$

Además:

$$A[mm]^2 = \frac{\pi}{4} D^2$$

Por lo tanto:

$$D[mm] = \sqrt[2]{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{F_{resistente} [N]}{p[bar]}}$$

El diámetro del cilindro hidráulico se calcula con la siguiente fórmula:

$$D [mm] = \sqrt[2]{\frac{4 \cdot F_{extensión} [N]}{0,9 \cdot \pi \cdot P [MPa]}}$$

Donde:

P = presión de operación.

Carrera

Existen algunas desventajas en el uso del muelle interno:

- En la posición comprimida, el muelle ocupa una parte de la longitud del cilindro por lo que este ha de construirse más largo de lo que sería necesario por su carrera real.
- Cuanto más larga es la carrera, más largo debe de ser el muelle, con lo que se aumenta la probabilidad de que este se hunda enganchándose alrededor del vástago.

Mientras que la longitud de otras partes (cilindro, vástago y tirantes) puede adecuarse fácilmente a la longitud deseada, la desventaja del muelle mencionada en b limita grandemente la carrera. En términos generales, puede decirse que lo que fija el límite de la longitud del muelle es la proporción entre su longitud y el diámetro de sus espiras.

La carrera máxima de los cilindros con muelle interior varia de 60 [mm] para cilindros con un diámetro de hasta 20 [mm], a 300 [mm] para cilindros con un diámetro de hasta unos 300 [mm].

Si la acción del muelle interior puede sustituirse por ejemplo:

- muelles externo, o

- b) una carga externa sobre el vástago,
La máxima longitud del cilindro viene determinada por factores similares a aquellos que se aplicarían a los cilindros de doble efecto.

4.2.2 Cálculo del diámetro del vástago

El diámetro del vástago hidráulico se puede calcular de la siguiente manera:

$$d [mm] = \sqrt[2]{D^2 - \frac{4 \cdot F_{retracción} [N]}{0,9 \cdot \pi \cdot P [MPa]}}$$

Donde:

D = diámetro del cilindro.

4.3. Determinación de la potencia y rendimiento en motores hidráulicos y neumáticos.

SELECCIÓN DEL MOTOR NEUMÁTICO

Para calcular un motor de aire se precisan dos datos de los tres siguientes:

- 1- Potencia requerida
- 2- Velocidad en RPM necesaria para arrastrar la carga determinada
- 3- Par de trabajo expresado en Newton metro [Nm]

Asimismo, deben considerarse los siguientes factores:

- 1- Presión del aire en bar (o psig). Como la presión del sistema de alimentación de aire puede variar durante el día debido a consumos intermitentes de otros puntos, los cálculos deben hacerse con la presión más baja prevista y asegurar la alimentación del motor con un regulador de presión, cuya presión de salida es la presión que se tomara.
- 2- Alimentación de aire suficiente para el motor, es decir, mínima pérdida de carga en la tubería de alimentación.

La potencia requerida viene determinada por la fórmula:

$$P[Kw] = \frac{\pi \cdot Par [N \cdot m] \cdot RPM}{30} = \frac{0,1046 \cdot Par [N \cdot m] \cdot RPM}{1.000}$$

Una vez calculada la potencia, se consultan las curvas de rendimiento de cada motor y se selecciona el motor cuya potencia de salida esta próxima al punto de trabajo.

CALCULO DE LA POTENCIA DE LOS MOTORES HIDRÁULICOS

Las variables que permiten calcular cuales han de ser las características del motor son:

- Par. Par de rotación generado por el motor para convertir la potencia del motor en fuerza mecánica por medio de la rotación del eje.
- Desplazamiento. Caudal del fluido necesario para alcanzar una determinada velocidad de rotación.
- Presión de operación. Presión a la que trabaja el motor.
- Velocidad de operación. Velocidad a la que giran los componentes del motor.
- Temperatura de operación. Temperatura a la cual el motor trabaja en forma segura y eficiente.
- Viscosidad del fluido. Viscosidad del fluido de trabajo utilizado en el motor.

El volumen del fluido que es bombeado en cada revolución viene calculado por la geometría de las cámaras que transportan el aceite. Una bomba nunca desarrolla el volumen calculado o teórico del fluido. De modo que se usa un factor llamado rendimiento volumétrico que es la relación entre el caudal calculado con relación al real. Este rendimiento varía con la velocidad, la presión y la forma de construcción de la bomba.

Asimismo, el rendimiento mecánico tampoco es del 100% debido básicamente a la energía gastada en los rozamientos. De modo que se considera que el rendimiento global de una bomba hidráulica es el producto de su rendimiento volumétrico y el rendimiento mecánico.

Formulas:

$$P[HP] = \frac{\text{Caudal [gpm]} \cdot (\text{Alta presión} - \text{Baja presión})[\text{bar}] \cdot \text{Rendimiento global}}{1.714}$$

$$P[kW] = \frac{Q [l/min] \cdot (\text{Alta presión} - \text{Baja presión})[\text{bar}] \cdot \text{Rendimiento global}}{600}$$