



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

SELECCIÓN DE CILINDROS NEUMÁTICOS

PRESENTADO POR

BACHILLER JUAN CARLOS ILASACA CALLE

ASESOR: DR. ARTURO JESÚS COSI BLANCAS

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

MOQUEGUA – PERÚ

2018

CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	
Página de jurado	i
Contenido	ii
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de ecuaciones	vi
Índice de apéndices	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1.	Objetivos Generales	3
2.2.	Objetivos Específicos	3

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1.	Historia de la Neumática.....	4
3.2.	Propiedades del Aire.....	5

3.3.	Aire Neumático.....	6
3.4.	Aplicaciones Neumáticas.....	6
3.5.	Ventajas e Inconvenientes en el uso del Aire Neumático.....	7
3.6.	Generación de Aire Comprimido.....	8
3.7.	Compresor de Embolo	11
3.8.	Tratamiento Final del Aire.....	12
3.9.	Válvulas Distribuidoras	14
3.9.1.	Tipos de Válvulas.....	16
3.9.2.	Representación Esquemática.....	17
3.10.	Válvulas de Pilotaje Neumático.....	18
3.11.	Electroválvulas.....	19
3.12.	Cilindros Neumáticos	20
3.12.1.	Cilindros Estándar	21
3.12.2.	Cilindros Sin Vástago.....	22
3.12.3.	Cilindros Multiposición.....	23
3.12.4.	Cilindros Tándem.....	24
3.12.5.	Fuelles Neumáticos.	25
3.12.6.	Cilindros de Impacto	25
3.13.	Calculo de la Fuerza de un Cilindro Neumático.....	26
3.14.	Consumo de Aire en Cilindros Neumáticos	29
3.15.	Caso Práctico	31

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	Conclusiones.....	40
4.2.	Recomendaciones.	41
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
	APÉNDICES.....	43
	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición volumétrica del aire.	5
Tabla 2. Designación de vías a válvulas distribuidoras.	18

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de los compresores.	9
Figura 2. Elementos que constituyen elementos del compresor.	10
Figura 3. Representación de los dos tiempos de un compresor de aire.....	11
Figura 4. Compresor de émbolo de dos etapas.	12
Figura 5. Unidad FRL.	14
Figura 6. Representación de las posiciones de una válvula.	17
Figura 7. Tipos de conexiones y vías.	17
Figura 8. Localización de los distintos orificios.	18
Figura 9. Válvulas de pilotaje neumático biestable de 5/2 vías, (a) sin activar (b) activada.	19
Figura 10. Electroválvula servopilotada	20
Figura 11. Cilindros neumáticos estándar. a) De simple efecto con retorno por muelle b) De doble. efecto, amortiguado y magnético	21
Figura 12. Vista esquemática de un cilindro sin vástago del tipo carro – pistón..	22
Figura 13. Vista esquemática de un cilindro tipo cable.	23
Figura 14. Vista del corte de un cilindro tipo magnético.	23
Figura 15. Cilindro Multiposición.	24
Figura 16. Vista esquemática un cilindro tándem.	24
Figura 17. Vista de corte de un fuelle con dos circunvoluciones.....	25
Figura 18. Funcionamiento de un cilindro de impacto.	26
Figura 19. Consumo de aire en cilindros.	30
Figura 20. Esquema de desplazamiento de una carga.	31

Figura 21. Circuito neumático - Desplazamiento de una carga.	37
Figura 22. Control eléctrico de circuito neumático.....	38

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 01. Diámetro teórico de cilindro.	26
Ecuación 02. Fuerza aplicada.....	27
Ecuación 03. Fuerza debida a la gravedad (Peso).....	27
Ecuación 04. Presión.....	27
Ecuación 05. Área del cilindro, lado del émbolo.....	27
Ecuación 06. Área del cilindro, lado del vástago.....	28
Ecuación 07. Fuerza efectiva de avance.	28
Ecuación 08. Fuerza efectiva en el retroceso	28
Ecuación 09. Fuerza efectiva de trabajo	29
Ecuación 10. Cantidad volumétrica de aire necesario por cada ciclo completo de ida y vuelta a la presión de trabajo	29
Ecuación 11. Consumo de aire en un cilindro.....	30
Ecuación 12. Consumo de aire en condiciones normales	30

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Símbolos Neumáticos.....	44

RESUMEN

El presente trabajo tiene por finalidad determinar la adecuada “Selección de Cilindros Neumáticos”. En el principio se hace una breve descripción de las partes principales en las que se compone cualquier sistema neumático que se pueden encontrar en la industria pequeña, mediana o grande. Estas partes principales son el grupo compresor, válvulas, estranguladores, el filtro para el aire aspirado, depósito acumulador de aire comprimido, válvula de seguridad, refrigerador de aire, la unidad de mantenimiento (filtro, regulador de presión y un lubricador – FRL) y los actuadores neumáticos. Todo el sistema funciona con aire neumático que es un aire comprimido que pasó por un filtrado, enfriado, purgado y secado. Librándose de impurezas, partículas sólidas, vapor de agua que se eliminan para evitar la oxidación o desgaste de las piezas de todas las partes mecánicas. Nuestro objetivo principal es encontrar el dimensionamiento real de los cilindros que se necesitaría en un sistema neumático, pero para ello también es conveniente saber en qué situación se encontrará las máquinas, porque en el medio en que se encuentre expuesto cualquiera de las partes del sistema neumático variaría los tipos y cuidados que se tienen que hacer a estos. También se utilizó el programa FluidSim para simular el proceso de funcionamiento de todo el sistema neumático. Finalmente se concluye que es muy importante el adecuado cálculo de los parámetros, así como el tratamiento del aire y el medio en que se encontrará operando, estos determinarán el tipo de cilindro a seleccionar.

Palabras claves: Cilindro neumático, aire neumático, sistemas neumáticos, compresores de aire, cilindros de simple efecto.

ABSTRACT

The purpose of this work is to determine the appropriate "Selection of Pneumatic Cylinders". In the beginning a brief description is made of the main parts in which any pneumatic system that can be found in the small, medium or large industry is composed. These main parts are the compressor group, valves, throttles, filter for the suctioned air, compressed air storage tank, safety valve, air cooler, the maintenance unit (filter, pressure regulator and a lubricator - FRL) and the pneumatic actuators. The whole system works with pneumatic air that is a compressed air that went through a filtering, cooled, purged and dried. Getting rid of impurities, solid particles, water vapor that are removed to prevent oxidation or wear of parts of all mechanical parts. Our main objective is to find the actual dimensioning of the cylinders that would be needed in a pneumatic system, but for this it is also convenient to know in which situation the machines will be located, because in the medium in which any of the parts of the pneumatic system is exposed It would vary the types and cares that have to be done to them. The FluidSim program was also used to simulate the operation process of the entire pneumatic system. Finally, it is concluded that the proper calculation of the parameters is very important, as well as the treatment of the air and the medium in which it will be operating, these will determine the type of cylinder to be selected.

Keywords: Pneumatic cylinder, pneumatic air, pneumatic systems, air compressors, single effect cylinders.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La tecnología de la neumática ha tenido un gran desarrollo a gran escala, principalmente en el sector industrial, tomando en cuenta que su principal elemento para transmitir energía y de esta forma realizar el funcionamiento de los mecanismos es el aire comprimido.

Su principal desarrollo se debe a que la neumática emplea la energía del aire comprimido, en la cual su obtención y tratamiento es asequible debido a su abundancia. Por otra parte, si tomamos en consideración los costos y los riesgos laborales, el grado de peligrosidad en el uso de aire comprimido es muy bajo en comparación con otras energías (electricidad y combustibles), así mismo la obtención de este es barata.

Está comprobado que el aumento de la productividad se halla relacionado con la automatización en los procesos en la que se establezca el uso eficiente de los sistemas asociados.

Así mismo en esta monografía se presentará los conocimientos generales en los que se basa los sistemas neumáticos, la selección de los cilindros neumáticos, así como otros componentes que están integrados en un sistema neumático.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivos generales

Definir los fundamentos de la Neumática en la aplicación de sistemas neumáticos, identificando y describiendo los diferentes componentes involucrados en un sistema destinado a elevar una carga, y luego desplazarla en dos sentidos.

2.2. Objetivos específicos

Determinar y calcular los parámetros de los componentes principales del sistema neumático, cuya finalidad es mover una carga mediante el uso de cilindros neumáticos.

Seleccionar el cilindro neumático adecuado para cada proceso de movimiento al que estará sometido el objeto a desplazar.

Elaborar y analizar el esquema propuesto del sistema neumático mediante el uso de software FluidSIM.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Historia de la neumática

La neumática estudia los movimientos y procesos del aire a presión, depresión o vacío. Esta forma de energía que conoce el hombre en la antigüedad es el aire comprimido, que a lo largo de la historia aprovechó para reforzar sus recursos físicos. La palabra neumática se refiere al estudio del movimiento del aire. En un comienzo el hombre hizo uso del viento para la navegación, moler granos mediante molinos como también para el bombeo de agua. Es en el año 1868 cuando George Westinghouse fabrica un freno de aire revolucionando la seguridad en el transporte ferroviario.

Es a partir de 1950 que se da la irrupción de la neumática en la industria, introduciendo la automatización en los procesos de trabajo.

En todo sistema neumático el aire comprimido es el elemento que causa el movimiento de cilindros y motores neumáticos. Todo esto es controlado para la elaboración de procesos de sistemas de empaquetado, elevadores, herramientas de impactado, frenos neumáticos, prensas neumáticas, robots industriales, etc.

En la actualidad el mercado ofrece una cantidad grande de elementos neumáticos, ya que el bajo coste en la producción de aire comprimido y en el de sus componentes, facilita una ventaja grande en el uso en la industria.

3.2. Propiedades del aire

El aire es un gas que resulta de una mezcla de gases, cuyas moléculas se mueven libremente por el espacio produciendo colisiones y rebotes; sí el gas se encuentra confinado en un contorno cerrado, se tiene un efecto macroscópico promediado que se puede considerar como la representación del estado global del conjunto de moléculas en las que se compone el aire.

En la siguiente tabla se describe los elementos en las que se constituye el aire atmosférico.

Tabla 1

Composición volumétrica del aire.

Elemento	Composición Volumétrica (%)	Símbolo
Nitrógeno	78,09	N ₂
Oxígeno	20,95	O ₂
Argón	0,93	Ar
Otros	0,03	

Fuente: Berrío y Ochoa, 2007

Para fines ordinarios, se tomará la composición volumétrica como Nitrógeno (N₂ - 79 %) y Oxígeno (O₂ - 21 %).

3.3. Aire neumático

El aire neumático debe pasar por un proceso que lo deje en un estado seco, sin vapor de agua, desprovisto de todo agente agresivo y contaminante. En el curso del proceso de compresión que se le hace al aire se va generando condensados de agua, estos se pueden agravar cuando la temperatura es baja.

La concepción que se tiene sobre el aire neumático según como indica Roldán (2012), el cual señala que: El aire neumático tiene que ser limpio, lo que se consigue al hacerlo pasar por filtros de entre 4 y 40 micras. El aire neumático comprimido no sobrepasa en su utilización los 10 bar (145 psi) y en su uso generalizado la presión está comprendida entre 6 y 8 bar (87 y 116 psi). El aire debe estar seco, sin humedad, lo que se consigue con separadores de agua o secadores de aire instalados en la red de distribución y en los inicios de las instalaciones (p.06).

Cuando se utiliza el aire esta puede ser seco o engrasado. El aceite comprendido en el aire neumático tendrá que ser neutro respecto a las juntas y otros elementos con los que están fabricados los dispositivos neumáticos que yacen en contacto directo con el aire neumático.

3.4. Aplicaciones neumáticas

Actualmente en la industria está presente en una gran cantidad de procesos, debido a la simplicidad de su aplicación y a sus bajos costos de instalación. La concepción que se tiene sobre las aplicaciones neumáticas según como afirma Berrío y Ochoa (2007): Sus aplicaciones van desde la apertura y cierre de puertas en transporte de servicio público hasta automatizaciones de varios procesos industriales. Algunas de las principales aplicaciones son manipuladores industriales, máquinas de taladro,

máquinas de perforación, posicionamiento de piezas, máquinas para el etiquetado, prensas para madera, pistolas para pintura industrial, estampadoras, empaquetado de productos, sujeción de piezas, envasadoras, apertura y cierre de puertas, robots industriales (p.24).

3.5. Ventajas e inconvenientes en el uso del aire neumático

La concepción que se tiene sobre las aplicaciones neumáticas según como afirma Roldán (2012), el cual señala:

a) Ventajas

- Se adapta a las formas del recipiente que lo contiene.
- Es un fluido elástico.
- Presiona en todas las direcciones.
- Puede variar su presión y volumen por la aportación de frío o calor.
- Tiene fácil control y regulación.
- Es fácil de almacenar y transportar.
- Genera movimientos rápidos.
- Se transporta a gran velocidad (10 veces más rápido que un fluido hidráulico)
- La red de distribución es muy simple (una tubería), no precisando de retorno, ya que los retornos se envían a la atmósfera.
- Los retornos a la atmósfera son bastante limpios.
- Los aparatos de maniobra son relativamente sencillos.
- No hay consumo de energía cuando no hay consumo de aire.
- Es un fluido seguro en su utilización y no representa riesgo de explosión.

b) Desventajas

- Tiene el inconveniente de las fugas (estanqueidad)
- No es adecuado para trabajar con presiones elevadas, ya que el rendimiento disminuye.
- La presión de utilización está comprendida entre 0,1 y 10 bar.
- Los aparatos y circuitos tienen dificultad en su regulación, debido a la compresibilidad del aire y a las inercias de los órganos en movimiento.
- Para un mismo esfuerzo a realizar, los elementos neumáticos precisan 10 a 30 veces más volumen que los circuitos hidráulicos.
- La humedad en el aire neumático es otro de los problemas a resolver (p. 7).

3.6. Generación de aire comprimido

Estas máquinas están destinadas a incrementar la presión de una cantidad de volumen de aire recibido en condiciones atmosféricas hasta cierta presión determinada. Según Berrío y Ochoa (2007) se tiene la concepción siguiente: El objetivo del compresor es aumentar la presión del aire atmosférico aspirado hasta la presión de trabajo. Existen compresores de diferentes características de acuerdo con su funcionamiento, además, varían según el caudal y la presión que entregan. Los compresores más utilizados en la industria son los de pistones y tornillos. En algunos tipos de industria también se encuentran los compresores centrífugos (p.25).

a. Clasificación de los compresores

Se clasifican en dos grupos básicos de compresores:

- 1. Desplazamiento positivo:** La compresión se obtiene mediante la reducción de volumen del gas dentro del dispositivo. Entre estos están:

- Pistones
- Paletas
- Lóbulos
- Tornillo

2. Dinámicos: La aspiración del aire en estos dispositivos se realiza por un lado y es comprimido mediante la aceleración de la masa o el cambio de energía cinética (como el funcionamiento de las turbinas). Aquí encontramos los compresores:

- Axiales
- Centrífugos

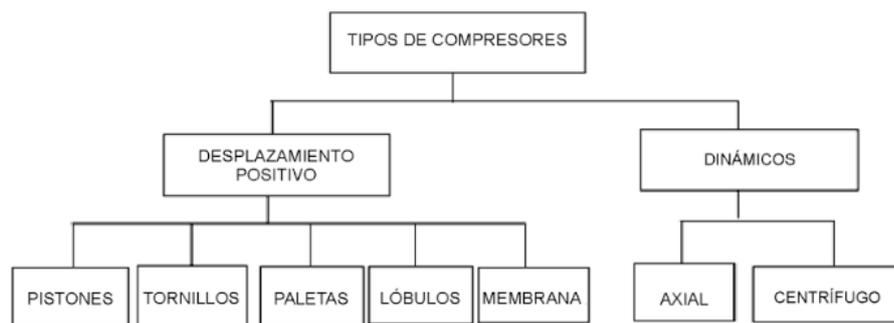


Figura 1. Clasificación de los compresores.

Fuente: Berrío y Ochoa, 2007

En la Figura 3 se aprecia el esquema de una instalación que produce aire neumático con las mejores características, estos elementos que lo constituyen son los siguientes:

1. Grupo compresor constituido por motor eléctrico y compresor de aire
2. Válvula antirretorno
3. Filtro para el aire aspirado

4. Depósito acumulador de aire a presión
5. Válvula de seguridad, convenientemente regulada
6. Refrigerador del aire por intercambiador de agua
7. Separador de agua condensada
8. Válvulas manuales de aislamiento
9. Secador de aire neumático
10. Tubería que se dirige hacia la aplicación
11. Tubería encaminada por ejemplo hacia secadores de aire, para suministrar aire seco.

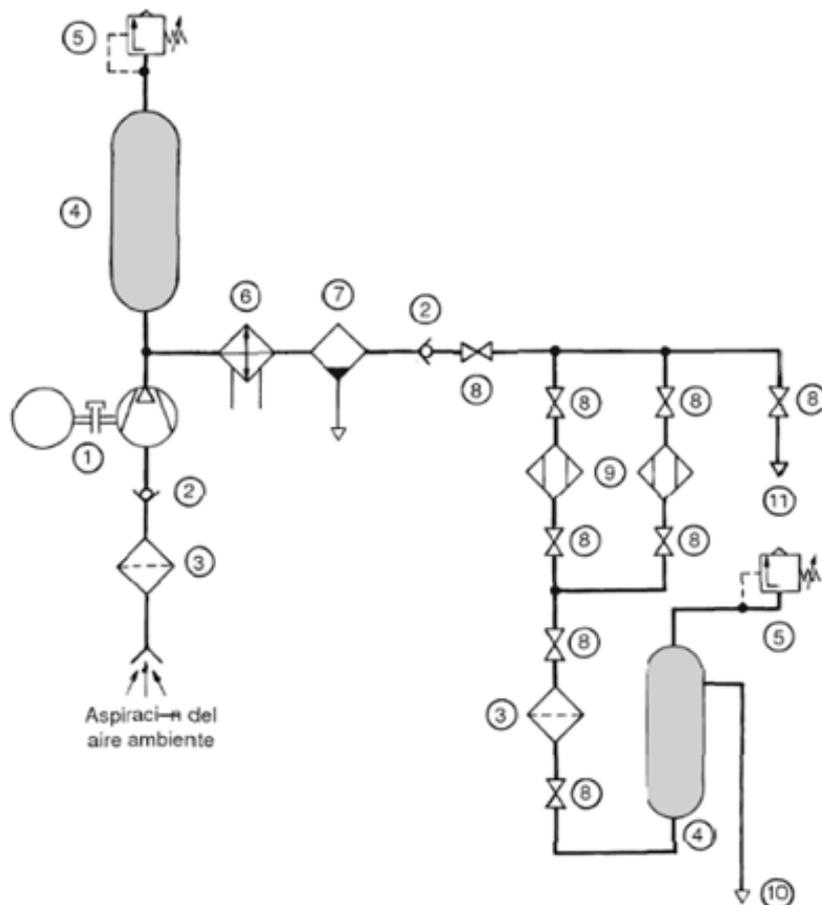


Figura 2. Elementos que constituyen elementos del compresor.

Fuente: Roldán, 2012

3.7. Compresor de émbolo

Los compresores de embolo tienen se asemejan al funcionamiento de un motor de combustión interna, sin embargo, no generan ninguna explosión, y también son los más utilizados en la industria debido a sus bajos costos.

Este tipo de compresor es el más utilizado en la industria, debido al bajo costo y así como también a su robustez. Sin embargo, se necesita lubricación para el correcto funcionamiento por otro parte estos compresores llegan a producir un elevado calentamiento de aire comprimido.

Los compresores de embolo se pueden utilizar tanto para equipos móviles como para estacionarios, que pueden ser de diversos tamaños.

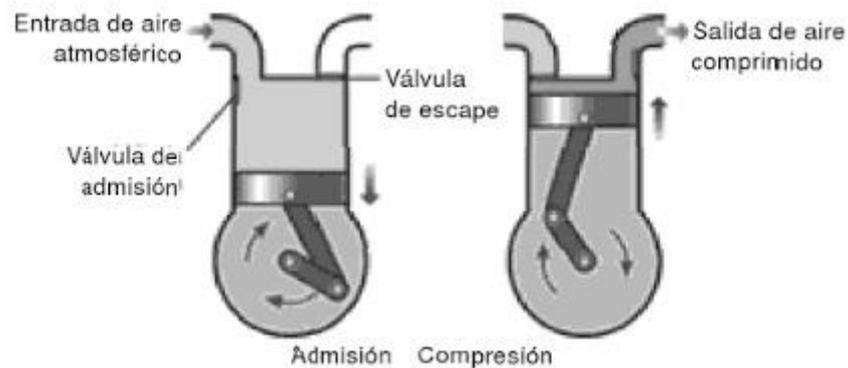


Figura 3. Representación de los dos tiempos de un compresor de aire.

Fuente: Roldán, 2012

El principio de funcionamiento del compresor de émbolo es sencillo. El eje comienza con el desplazamiento del émbolo, seguido de movimientos alternativos. Ahora en la fase en que se aspira el aire, este llena la cavidad del pistón. Luego, en

la fase de compresión, el émbolo al desplazarse hacia la parte superior, reduce el volumen del gas, para luego impulsarlo hacia la vía de distribución.

En los casos que se quiera llegar a tener mayores presiones y también aumentar el rendimiento, existen compresores que disponen de varios pistones (compresores multi-etapas) dispuestos en serie. El aire que sale de una etapa se vuelve a comprimir en la siguiente, hasta llegar a alcanzar presiones altísimas.

Por otro lado, el aire comprimido normalmente es suministrado entre los 4 y 8 bar. Así mismo se puede hacer uso de otras presiones inferiores mediante el uso de reguladores de presión.

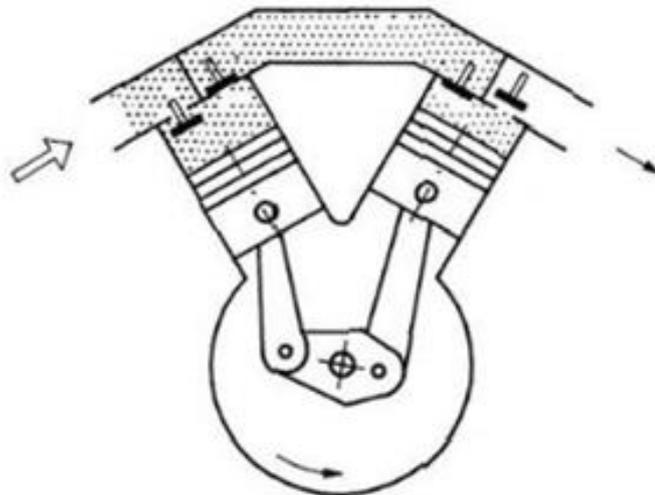


Figura 4. Compresor de émbolo de dos etapas.

Fuente: Serrano, 2009.

3.8. Tratamiento final del aire

El aire comprimido pasa por diferentes procesos como son la producción, el tratamiento y distribución, pero este debe sufrir un último acondicionamiento, con

el fin de producir mejores desempeños. El aire pasó por varios procesos en los cuales, según Antonio Serrano (2009) añade:

El aire idóneo sería la que este exento en su totalidad de impurezas y de agua, y que tenga una ligera dosis de lubricante que suavizaría los movimientos interiores de correderas de válvulas, vástagos de cilindros y émbolos. Normalmente en una instalación convencional no sería posible cumplir en su totalidad con los requisitos, ya que el aire llevaría consigo algunas impurezas de pequeñísimo tamaño, que no han sido filtradas en el origen; como por ejemplo las partículas metálicas que se desprendieron al montar los racones de unión y válvulas de paso, restos de aceite de la lubricación que no han podido eliminarse en el proceso de decantación junto al compresor y restos de oxidaciones interiores de las tuberías. Por todo lo mencionado líneas atrás, es preciso someter al aire a un tratamiento final que sea apto para su utilización.

Entonces se procede a la instalación de pequeños grupos conocidos como unidades de mantenimiento, que cumplen la función de filtrar el aire, decantan la humedad, lubrican el aire mediante aceite limpio, finamente disperso en el gas y regulan la presión.

En la figura 6 visualizamos esquemáticamente aquellas unidades de filtraje, regulación y lubricación en un solo conjunto.

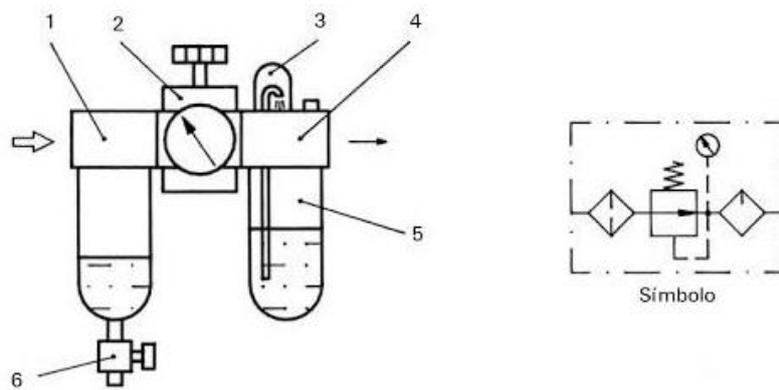


Figura 5. Unidad FRL.
Fuente: Norgren, 2016

Las unidades FRL, está constituido de un filtro, de un regulador de presión y de un lubricador. Toda esta unidad es indispensable para el adecuado funcionamiento de un sistema neumático. La instalación se realiza en la línea de alimentación del circuito suministrando un aire limpio, lubricado y regulado a la presión demandada.

3.9. Válvulas distribuidoras

En las instalaciones neumáticas los distribuidores cumplen la función de dirigir y seleccionar el camino del aire a presión, como también el aire que se pone a escape

de las maniobras realizadas por los actuadores neumáticos. La concepción que se tiene de las válvulas distribuidoras, tal como indica MICRO Automación, el cual señala que:

Genéricamente, se denomina válvula a una pieza que sirve para cerrar o abrir un orificio o conducto, o para interrumpir la comunicación entre dos órganos. En neumática, la válvula es el elemento de mando que determina las características del circuito, debiendo poseer cualidades decisivas para actuar sobre los elementos o parámetros que intervienen en el proceso operativo del circuito neumático.

Las válvulas neumáticas son los dispositivos que dirigen y regulan el aire comprimido; gobiernan la salida y la entrada, el cierre o habilitación, la dirección, la presión y el caudal de aire comprimido. Pudiendo en general clasificarse como válvulas direccionales o auxiliares. Según sus propiedades y la función que realiza dentro del sistema, las válvulas neumáticas se clasifican en los siguientes grupos (p.69):

- Válvulas de control de dirección
- Válvulas de control de caudal
- Válvulas de control de presión

a. Aspectos de selección

En la selección de una válvula neumática es conveniente recurrir a los siguientes criterios:

- Número de Vías: Número de orificios controlados en la válvula, exceptuando los de pilotaje.
- Posiciones: Número de posiciones estables del elemento de distribución.

- Caudal: Volumen de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.
- Sistemas de accionamiento: El accionamiento se puede realizar de forma manual, mecánico, neumático y eléctrico.

Líneas atrás se dijo que las válvulas direccionales se designan en razón al número de vías y al número posiciones, con la se tiene lo siguiente:

N° de vías / N° de posiciones

3.9.1. Tipos de válvulas

En cuanto la concepción que se tiene del tipo de válvulas, Serrano (2010) redacta:

“Las válvulas direccionales pueden dividirse según su forma constructiva, según la función que cumplen y según el tipo de mando que se utiliza para ser accionadas” (p.126).

En lo que se refiere a la forma constructiva pueden hacerse dos divisiones claramente diferenciadas:

- Válvulas de corredera.
- Válvulas de asiento.

En lo que se refiere a la función que cumplen pueden clasificarse en tres tipos:

- Distribuidoras de Flujo a los actuadores
- De mando a otras válvulas por accionamiento manual
- Captadoras o detectoras de señal de posición

En lo que se refiere al tipo de mando tenemos:

- Accionamiento manual
- Accionamiento mecánico
- Accionamiento neumático

- Accionamiento eléctrico

3.9.2. Representación esquemática

Las válvulas de mando y distribución pueden ser de dos o tres posiciones, así mismo de dos o más vías.



Figura 6. Representación de las posiciones de una válvula.

Fuente: Serrano, 2009

En la figura 9 - (a) Se representa una válvula de 4 conexiones con el exterior y 2 posiciones. En (b) se tiene la representación de una conexión general; en (c) tenemos una conexión que tiene toma de presión; en (d) posee escape con tubo conectable al exterior, y en (e) el mismo se tiene un escape directo a la atmósfera.

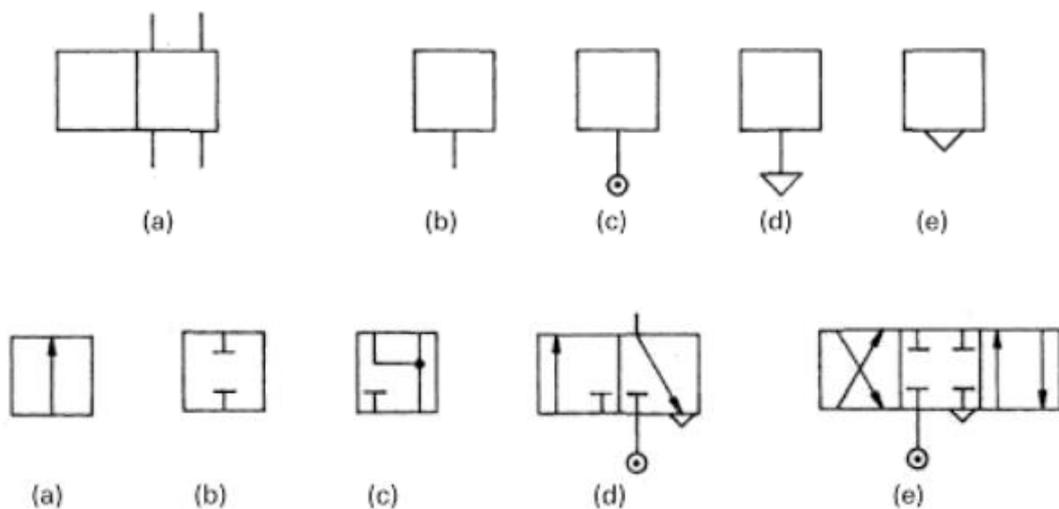


Figura 7. Tipos de conexiones y vías.

Fuente: Serrano, 2009

La disposición de cada uno de los orificios de un distribuidor se realiza según un código que utiliza letras o números. Con lo cual se tiene la siguiente tabla:

Tabla 2

Designación de vías a válvulas distribuidoras.

Función	Números	Letras
Alimentación de presión	1	P
Orificios de trabajo	2 - 4	A, B,...
Orificios de escape	3 - 5	R, S,...
Orificios de pilotaje donde la presión en 1 se comunica con la salida 2	12	x, y,...
Orificios de pilotaje donde la presión en 1 se comunica con la salida 4	14	x, y,...

Fuente: Serrano, 2009

Siguiendo el criterio anterior, en la figura 10 se muestra una válvula de 4 vías y 2 posiciones con la localización de los distintos orificios según las especificaciones anteriores.



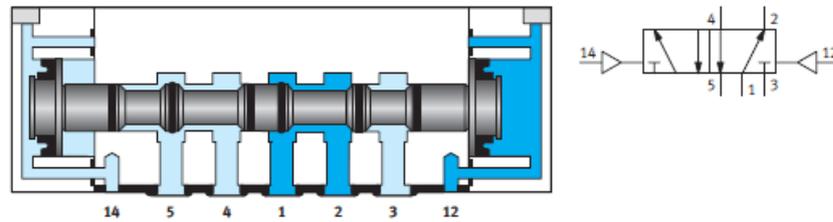
Figura 8. Localización de los distintos orificios.

Fuente: Serrano, 2009

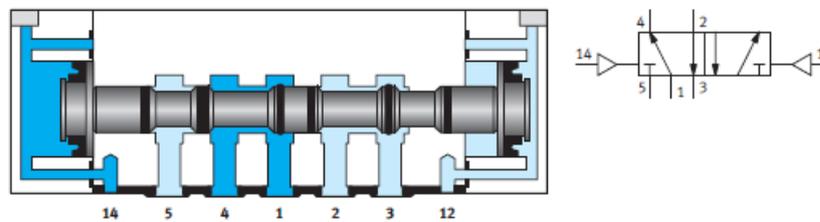
3.10. Válvulas de pilotaje neumático

Serrano (2009) indica que las válvulas de pilotaje neumático: “Consiste en accionar una válvula a distancia aprovechando la fuerza que produce el aire a presión. Esta

fuerza se utiliza para desplazar el núcleo de la válvula y producir la conmutación de las vías” (p.150).



(a)



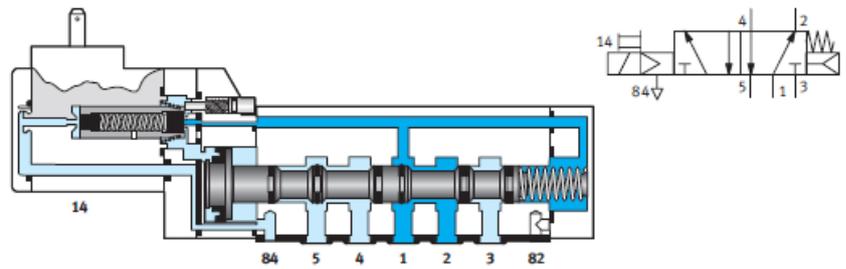
(b)

Figura 9. Válvulas de pilotaje neumático biestable de 5/2 vías, (a) sin activar (b) activada.

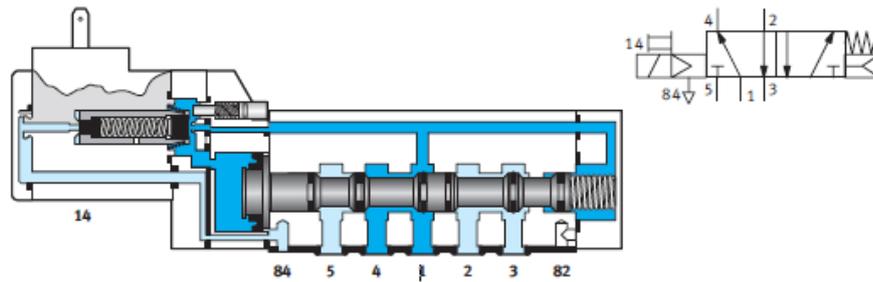
Fuente: Festo, 2010

3.11. Electroválvulas

Antonio Serrano (2009) afirma que: “El mando electromagnético de una válvula, se utiliza cuando la señal procede un final de carrera eléctrico, de un presostato o de un dispositivo eléctrico. A través de este tipo de mando la señal eléctrica es transformada en una señal neumática destinada a accionar el mecanismo de cierre o apertura de las distintas vías de las válvulas. Pueden ser de asiento o de corredera indistintamente y, también, de mando directo o indirecto, o servopilotadas.” (p.153).



(a)



(b)

Figura 10. Electroválvula servopilotada de 5/2 vías retorno por muelle, (a) sin activar, (b) activada.

Fuente: Festo, 2010

3.12. Cilindros neumáticos

Los cilindros neumáticos son las unidades que tienen como función principal de transformar esa energía del aire comprimido en fuerzas prensoras. Según el concepto de Serrano (2009) se tiene que:

Los cilindros son componentes neumáticos que, mediante el uso del aire comprimido, generan un movimiento rectilíneo de avance y retroceso de un mecanismo. Son los elementos de trabajo de más frecuente uso en neumática, muy por encima de los accionadores rotativos, motores, pinzas y otros. Generalmente se dividen en cilindros de simple efecto y cilindros de doble efecto. Los de doble efecto son los más utilizados.

Los de simple efecto reciben aire a presión por una de sus cámaras, que suele ser la que produce el trabajo, desplazando al vástago. El retroceso se produce de forma mecánica, bien por la acción de un resorte, o bien por la acción de la gravedad sobre masas solidarias al vástago. Con la utilización del aire comprimido se consiguen en cilindros velocidades de hasta 1.5 m/s en los convencionales, y hasta 10 m/s, en los cilindros de impacto (pág. 91).

Se puede hacer uso de válvulas reguladores de presión y de caudal para los casos que correspondan, como por ejemplo disminuir la fuerza de empuje o retroceso que se quiera obtener.

3.12.1. Cilindros estándar

Los cilindros neumáticos pueden ser de simple o doble efecto. Los de simple efecto se da cuando una de las maniobras se realiza por el empuje del aire y la otra por efecto de algún empuje exterior (resorte), y los de doble efecto cuando los dos movimientos se realizan por la fuerza del aire neumático.

En la Figura 12 podemos observar dos ejemplos de las variantes que están en este grupo.

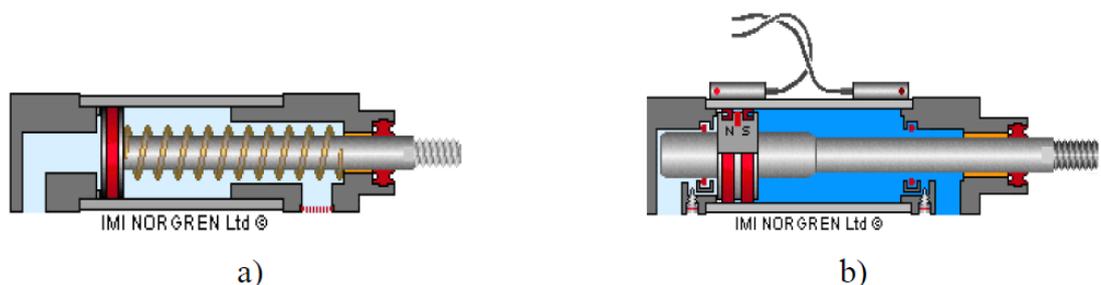


Figura 11. Cilindros neumáticos estándar. a) De simple efecto con retorno por muelle b) De doble efecto, amortiguado y magnético

Fuente: Norgren, 2016

3.12.2. Cilindros sin vástago

Son actuadores lineales, estos cilindros sin vástagos transmiten el movimiento del vástago a la carga por medio de un carro conectado mecánicamente al pistón, en donde el movimiento generado por el actuador está comprendido por la misma longitud que es ocupada por el cuerpo del cilindro.

Es necesario redefinir la concepción que se tiene Sobre los cilindros sin vástago, tal como indica Valdivieso (2011), en donde señala que se dividen en:

- a) **Tipo carro – pistón:** Estos cilindros cuentan con una ranura a lo largo de toda su longitud de carrera, la misma que permite que el carro y la carga estén rígidamente conectados al pistón a través de pernos.

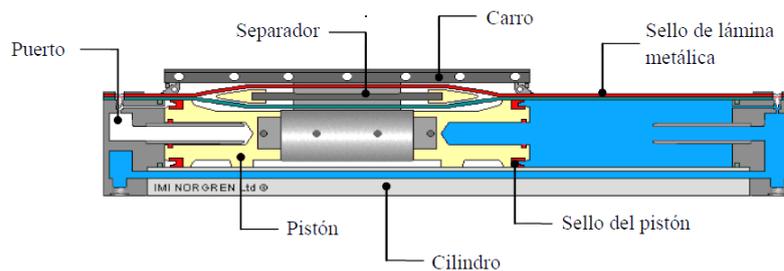


Figura 12. Vista esquemática de un cilindro sin vástago del tipo carro – pistón.

Fuente: Norgren, 2016

- b) **Tipo cable:** En este tipo de cilindro el pistón va halar un cable mientras se mueve; por lo tanto, el cable pasa por unas poleas que conectan a un yugo sobre el cual se ensambla la carga a mover. A medida que el pistón se mueve en un sentido, el yugo se mueve en la dirección opuesta debido a la disposición de las poleas.

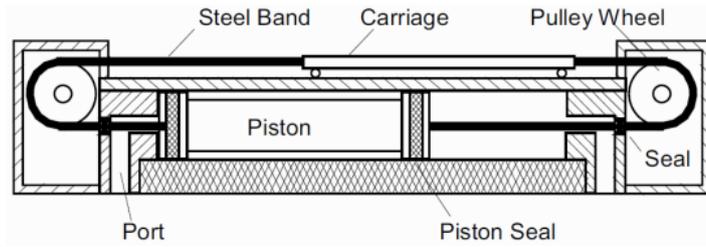


Figura 13. Vista esquemática de un cilindro tipo cable.

Fuente: Valdivieso (2011)

- c) **Tipo magnético:** Estos cilindros usan la fuerza de un acople magnético por anillos para transmitir fuerza mecánica y movimiento del pistón al carro. Su ventaja es la completa hermeticidad que presentan debido a que no se hace necesario un orificio entre el cilindro y el carro (p.34).

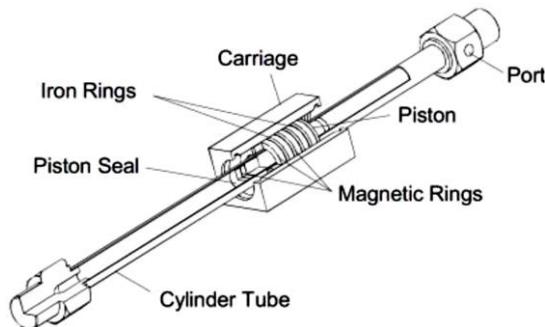


Figura 14. Vista del corte de un cilindro tipo magnético.

Fuente: Valdivieso (2011)

3.12.3. Cilindros multiposición

Los cilindros multiposición está compuestos de dos cilindros o más, que están seguidos por otro de carrera mayor, con lo cual la suma de carreras proporciona una mayor longitud de operación. Por ejemplo, en la siguiente figura observamos un esquema de un cilindro multiposición, en lo cual cada cilindro tiene que ser seguido por otro de carrera mayor.

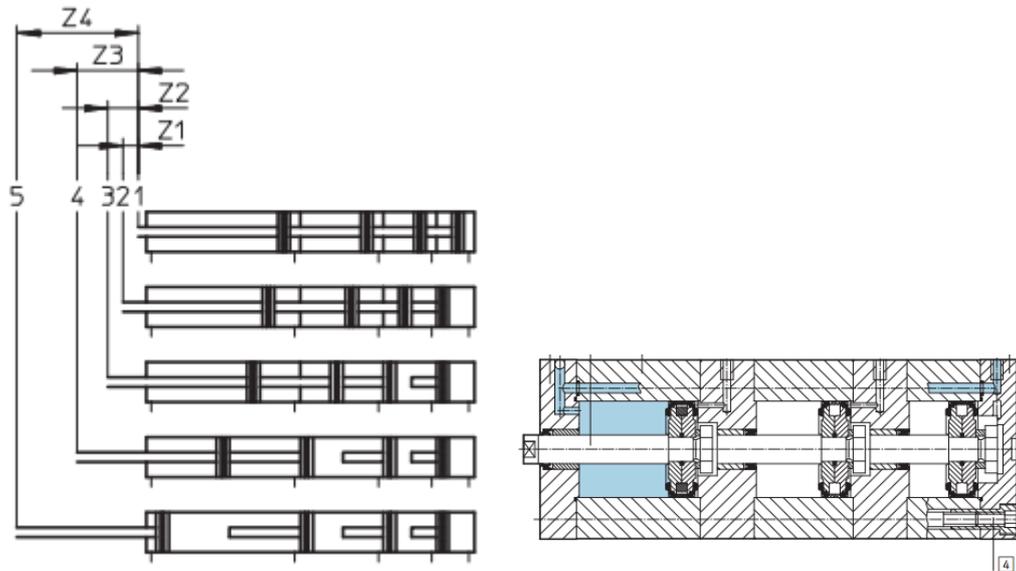


Figura 15. Cilindro Multiposición.

Fuente: Festo, 2010

3.12.4. Cilindros tándem

Los cilindros tándem son la unión de 2, 3 o 4 cilindros de igual diámetro y carrera que permite duplicar, triplicar o cuadruplicar la fuerza de avance en comparación si se utilizara un solo cilindro.

La utilización de este tipo de cilindro se da cuando las dimensiones y la presión que se tiene no son lo suficientemente capaces para alcanzar la fuerza demandada durante la operación, con lo cual se dos pistones se ensamblan en un vástago común para casi duplicar la fuerza generada por el actuador.



Figura 16. Vista esquemática un cilindro tándem.

Fuente: Festo, 2010

3.12.5. Fuelles neumáticos

Los cilindros de fuelle se utilizan como actuadores y como amortiguadores neumáticos. Estos son apropiados para la utilización en condiciones ambientales difíciles y polvorrientas, así mismo tienen la característica para utilizarse bajo el agua.

La fabricación de estos actuadores neumáticos consta de hule reforzado con fibras textiles. El diseño es relativamente simple, necesitan muy poco espacio para su instalación y además producen poderosos desplazamiento de corta longitud.

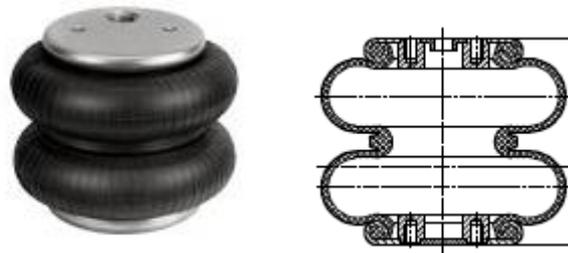


Figura 17. Vista de corte de un fuelle con dos circunvoluciones.

Fuente: Festo, 2010

3.12.6. Cilindros de impacto

Los cilindros de impacto están diseñados para proporcionar una gran cantidad de energía de impacto a partir de la liberación instantánea de una cantidad de volumen de aire comprimido, generando un golpe de martillo a una velocidad altísima. El rápido movimiento se produce por el diferencial en la configuración del área, que, expone el total del área del émbolo al aire a alta presión que hay en el depósito en la parte posterior del cilindro. Éste nunca debe alcanzar el final de su carrera.

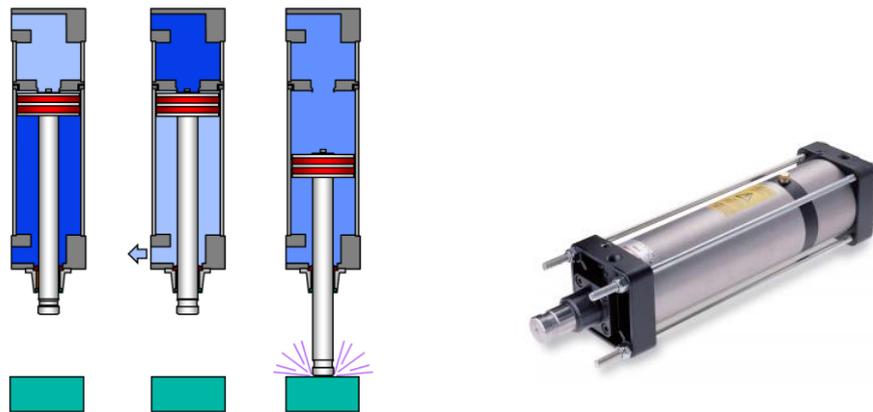


Figura 18. Funcionamiento de un cilindro de impacto.

Fuente: Norgren, 2016

3.13. Cálculo de la fuerza de un cilindro neumático

La fuerza desarrollada de empuje del vástago de un cilindro de doble efecto, depende directamente de la presión del aire comprimido, sección o área del émbolo y como también el rendimiento o pérdidas por rozamiento en las juntas dinámicas.

Ahora para la selección de nuestro cilindro neumático se necesita en primera instancia el cálculo del diámetro teórico, y de esta manera realizamos la búsqueda en nuestro catálogo el diámetro del cilindro neumático más cercano al calculado.

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * P}} \dots\dots\dots[\text{Ecuación 01}]$$

Donde:

D_t = Diámetro teórico (m)

F= Fuerza (N)

P = Presión (Pa)

Sabemos que la fuerza es una influencia externa sobre un cuerpo, que tiene como objeto el movimiento de cierta masa, y también la modificación de su aspecto físico de este.

$$F = m * a \dots \dots \dots [\text{Ecuación 02}]$$

Donde:

F= Fuerza aplicada (N)

m = Masa (kg)

a = Aceleración (m/s²)

Fuerza debida a la gravedad: el peso

$$W = F = m * g \dots \dots \dots [\text{Ecuación 03}]$$

Siendo:

W = Peso (N)

g = Gravedad (9,81 m/s²)

Es importante tener en cuenta que la presión es la relación entre fuerza aplicada y el área sobre la cual actúa, así pues, se tiene:

$$P = \frac{F}{A} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 04}]$$

Donde:

P = Presión (Pascal)

F = Fuerza aplicada (N)

A = Área del émbolo (m²)

Ahora para el caso de cilindros de doble se tiene lo siguiente:

Área de cilindro, lado del émbolo:

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 05}]$$

Siendo:

A = Área del embolo (m²)

D = Diámetro del embolo (m)

Área de cilindro, lado del vástago:

$$A = \pi * \frac{D^2 - d^2}{4} \dots\dots\dots[\text{Ecuación 06}]$$

Donde:

A= Área del embolo en el lado del vástago (m²)

D= Diámetro del embolo (m)

d = Diámetro del vástago (m)

Para el cálculo de la fuerza efectiva según Antonio Serrano (2009) tenemos que:

En cilindros de doble efecto, la fuerza efectiva de avance será (p.94):

$$F_a = \frac{\pi}{4} * D^2 * p * R \dots\dots\dots[\text{Ecuación 07}]$$

Siendo:

F_a= Fuerza del cilindro (N)

D= Diámetro del cilindro (m)

p= Presión del aire (Pascal)

R= Rendimiento del cilindro

Si no se dispone de datos más precisos su puede tomar:

Para cilindros de hasta D= 40 mm R=0,85

Para cilindros superiores a D=40 mm R=0,95

La fuerza en el retroceso para estos mismos cilindros será:

$$F_r = \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) * p * R \dots\dots\dots[\text{Ecuación 08}]$$

Donde:

F_r= Fuerza de retorno (N)

D= Diámetro del cilindro (m)

d= diámetro del vástago (m)

p = Presión (Pa)

R = Rendimiento del cilindro

En cuanto a los cilindros de simple efecto con retorno por muelle, la fuerza de avance o fuerza efectiva de trabajo será:

$$Fa = \frac{\pi}{4} * D^2 * p * R - Fm.....[Ecuación 09]$$

Siendo:

Fa= Fuerza efectiva (N)

D= Diámetro del cilindro (m)

P = Presión (Pa)

R = Rendimiento del cilindro

Fm= Fuerza de resorte (N)

3.14. Consumo de aire en cilindros neumáticos

Según Antonio Serrano (2009) se tiene que: En los cilindros de doble efecto será preciso considerar el ciclo completo, es decir, avance y retroceso del émbolo; en cambio, en los de simple efecto bastará con tener en cuenta el consumo en el avance, que es cuando se alimenta de aire a la presión de trabajo (p. 96).

En los cilindros de doble efecto la cantidad volumétrica de aire necesario por cada ciclo completo de ida y vuelta a la presión de trabajo es:

$$V = \frac{\pi}{4} * (2D^2 - d^2) * C.....[Ecuación 10]$$

Siendo:

V = Volumen de aire (m³)

D = Diámetro del cilindro (m)

d = Diámetro del vástago (m)

C = Carrera del vástago (m)

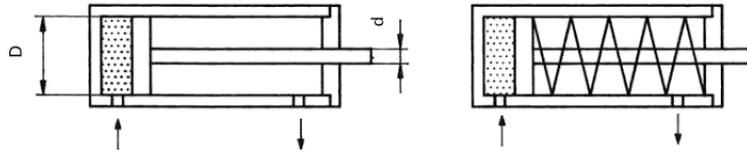


Figura 19. Consumo de aire en cilindros.

Fuente: Serrano, 2009

Cálculo del consumo de aire en un cilindro de doble efecto:

$$V_t = \frac{\pi * C * n}{4} * (2D^2 - d^2) \dots \dots \dots [\text{Ecuación 11}]$$

Donde:

V_t = Consumo de aire (m^3/min)

C = Carrera del vástago (m)

n = Número de ciclos/minuto

D = Diámetro del cilindro (m)

d = Diámetro del vástago (m)

Consumo de aire en condiciones normales:

$$V_{CN} = \frac{P_o + P_t}{P_o} * V_t \dots \dots \dots [\text{Ecuación 12}]$$

Donde:

V_{CN} = Consumo de aire en condiciones normales (m^3/min)

P_o = Presión atmosférica (Pascal)

P_t = Presión de trabajo (Pascal)

V_t = Consumo de aire (m^3/min)

3.15. Caso práctico

En la industria alimentaria son muchos los casos en que se utiliza un sistema neumático para el cambio de sentido en el proceso de transporte de una carga que utiliza bandas transportadoras.

En este caso práctico la carga tendrá que ser trasladada de una banda transportadora a otra, en donde se tendrá que elevar y desplazar horizontalmente 2 cajas de 48 unidades de leche evaporada en lata, donde el peso de cada lata es de 400 gramos, con lo cual se tiene una carga total de 38,4 kg.

El siguiente esquema simula el proceso descrito líneas atrás, en el cual se usará 3 cilindros neumáticos. Tomaremos como valor máximo una carga de 40 kg a una presión de 6 bar, y tendrá un funcionamiento de 5 ciclos por minuto. En lo que respecta a los Cilindros C1 y C2, estos tienen la misma carrera de 600 mm, y el cilindro C3 realizara una carrera de 300 mm.

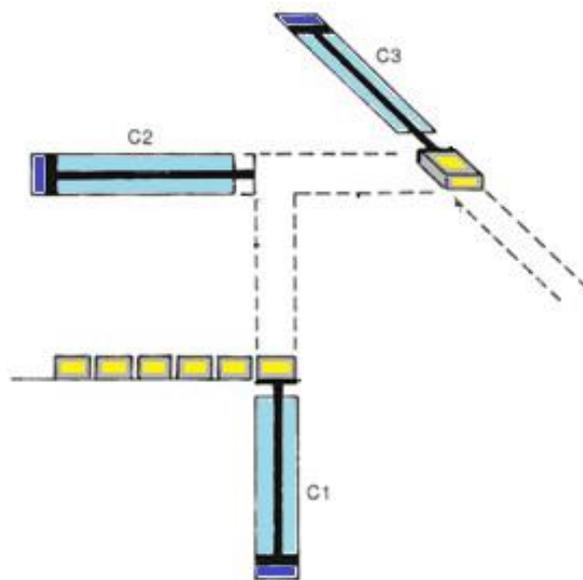


Figura 20. Esquema de desplazamiento de una carga.

Fuente: Elaboración Propia

3.15.1. Selección de cilindro neumático

Se procederá a la selección de los actuadores adecuados para cada proceso.

En el primer paso que realizaremos será determinar el diámetro teórico que se necesitaría para nuestro cilindro.

Calculamos el peso de la carga (Ecuación 03):

$$W = m * g$$
$$W = 40 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$W = 392,4 \text{ N}$$

En este caso la carga se moverá en sentido vertical ascendente donde la fuerza aplicada para mover la carga (F_{ca}) será igual al peso de la carga a desplazar.

Calculamos el diámetro teórico, sabiendo que $F=F_{ca}=W$, entonces se tiene que (Ecuación 01):

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * P}}$$
$$D_t = \sqrt{\frac{4 * 392,4 \text{ N}}{\pi * 6 * 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}}$$
$$D_t = 0,02886 \text{ m}$$
$$D_t = 28,86 \text{ mm}$$

Seleccionamos en nuestro catálogo el cilindro con el diámetro de embolo más cercano. En este caso sería el de 32 mm.

a) Cálculo de la fuerza teórica

Teniendo el diámetro calculamos la fuerza teórica (Ecuación 04):

$$F_t = P * A$$

$$F_t = 6 * 10^5 \frac{N}{m^2} * \frac{\pi}{4} * (0,032m)^2$$

$$F_t = 482,55 N$$

Ahora nos damos cuenta que F_{ca} equivale al 81 % de F_t .

El dimensionamiento de los cilindros neumáticos, por recomendación del fabricante (en este caso FESTO), este recomienda únicamente el 50 % de las fuerzas teóricas, por lo que usaremos un cilindro con diámetro de 40 mm (Ecuación 04).

$$F_t = P * A$$

$$F_t = 6 * 10^5 \frac{N}{m^2} * \frac{\pi}{4} * (0,040m)^2$$

$$F_t = 753,98 N$$

Como se puede apreciar $F_{ca} = 52 \% F_t$.

Entonces para nuestros actuadores neumáticos (C1 y C2) seleccionamos los cilindros normalizados FESTO de la serie DSBC, el cual es el siguiente:

DSBC-U-40-600-D3-PPS-A-N3

Descripción:

U – Movimiento lento y constante.

40 – Diámetro del émbolo (mm).

600 – Carrera del vástago (mm).

D3 – Ranura para sensores en tres lados.

PPS – Amortiguación neumática autoregurable en ambos lados.

A - Para sensores de proximidad.

N3 – ISO 15552.

b) Cálculo de la fuerza efectiva

Ahora procedemos a calcular la fuerza efectiva de empuje y la fuerza de retorno para los cilindros C1 y C2 con las siguientes ecuaciones:

Fuerza de empuje ($F_e = F_{ca}$), donde (Ecuación 07):

$$F_{ca} = \pi * \frac{D^2}{4} * P * R$$

Como el diámetro del émbolo es de 40 mm, entonces $R = 0,95$

$$F_e = F_{ca} = \pi * \frac{(0,040m)^2}{4} * 6 * 10^5 \frac{N}{m^2} * 0,95$$

$$F_e = 716,28 N$$

Fuerza de retorno (Ecuación 08):

$$F_r = \pi * \frac{(D^2 - d^2)}{4} * P * R$$

$$F_r = \pi * \frac{(0,040m)^2 - (0,016m)^2}{4} * 6 * 10^5 \frac{N}{m^2} * 0,95$$

$$F_r = 601,68 N$$

Para el Cilindro C3 usaremos un diámetro de 40 mm, debido a que la carga que moverá será la misma en todo el sistema. Entonces tenemos que la fuerza efectiva calculada de empuje y retorno será:

$$F_e = 716,28 N \quad y \quad F_r = 601,68 N$$

En la cual se seleccionó la serie ADN, ISO 21287:

ADN-40-300-A-PPS-A-S10

Descripción:

ADN – Cilindros compacto.

40 – Diámetro del émbolo (mm).

300 – Carrera del vástago (mm).

A – Rosca exterior.

PPS – Amortiguación neumática autoregurable en ambos lados.

S10 – Baja velocidad, movimientos homogéneos.

c) Cálculo de consumo de aire para el cilindro C1 y C2

Nuestro sistema trabajará a 5 ciclos por minuto, de manera que nuestro consumo será (Ecuación 11):

$$V_t = \frac{\pi}{4} * C * n * (2 * D^2 - d^2)$$

$$V_t = \frac{\pi}{4} * (0,6m) * \left(5 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}}\right) * (2 * (0,040)^2 - (0,016m)^2)$$

$$V_t = 6,94 * 10^{-3} \frac{m^3}{\text{min}}$$

$$V_t = 6,94 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

Ahora calculamos el consumo de aire en condiciones normales usando la Ley de Boyle, en la cual la presión de un gas dentro de un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente, siempre y cuando la temperatura sea constante. Por lo cual tenemos que (Ecuación 12):

$$V_{CN} * P_o = (P_o + P_t) * V_t$$

$$V_{CN} = \frac{P_o + P_t}{P_o} * V_t$$

$$V_{CN} = \frac{10^5 Pa + 6 * 10^5 Pa}{10^5 Pa} * 6,94 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

$$V_{CN} = 48,58 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

d) Cálculo de consumo de aire para el cilindro C3

Para el cilindro C3 el consumo de aire será (Ecuación 11):

$$V_t = \frac{\pi}{4} * C * n * (2 * D^2 - d^2)$$

$$V_t = \frac{\pi}{4} * (0,3m) * \left(5 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}}\right) * (2 * (0,040)^2 - (0,016m)^2)$$

$$V_t = 3,47 * 10^{-3} \frac{m^3}{\text{min}}$$

$$V_t = 3,47 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

Consumo de aire en condiciones normales (Ecuación 12):

$$V_{CN} = \frac{P_o + P_t}{P_o} * V_t$$

$$V_{CN} = \frac{10^5 Pa + 6 * 10^5 Pa}{10^5 Pa} * 3,47 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

$$V_{CN} = 24,29 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

e) Electroválvulas que usará el sistema

En nuestro sistema se usarán 3 electroválvulas 5/2 monoestable, el cual soporta un caudal hasta 730 litros/min, y es el siguiente:

VUVG-L14-M52-MT-G18-1R8L

Características:

VUVG – Electroválvula

L14 – Con conexión roscada, tamaño de la válvula 14 mm.

M52 – Tipo 5 vías y 2 posiciones.

MT - Muelle mecánico

G18 – Rosca G1/8

1R8L – Tensión de funcionamiento de 24 V DC, con conector individual tipo clavija, e indicación LED.

f) Circuito electroneumático

Con los datos obtenidos procedemos a elaborar el circuito en el software

FluidSIM, de esta manera se tiene una amplia visión del funcionamiento del sistema. Así mismo se elaboró el mando eléctrico.

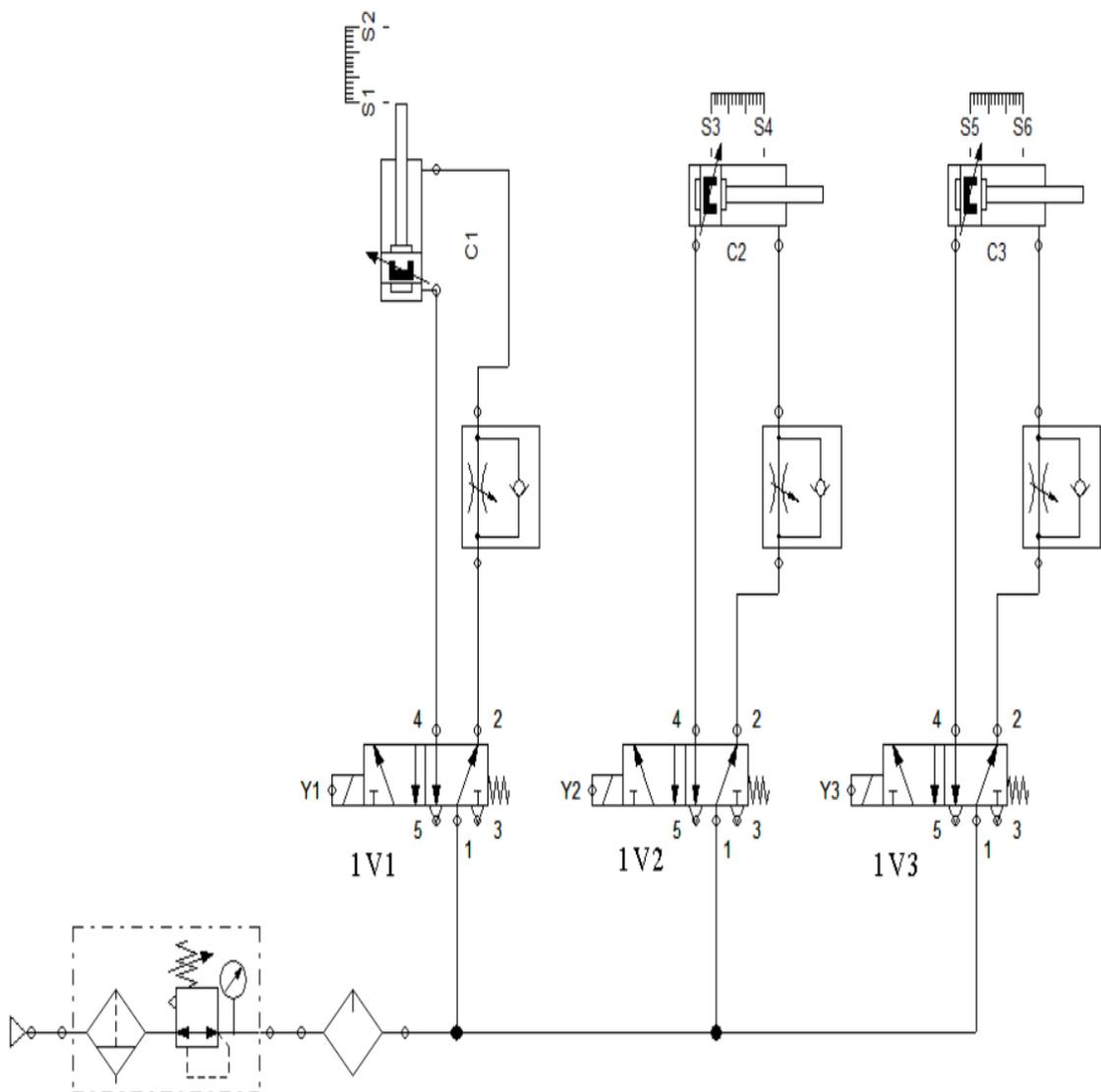


Figura 21. Circuito neumático - Desplazamiento de una carga.

Fuente: Elaboración propia

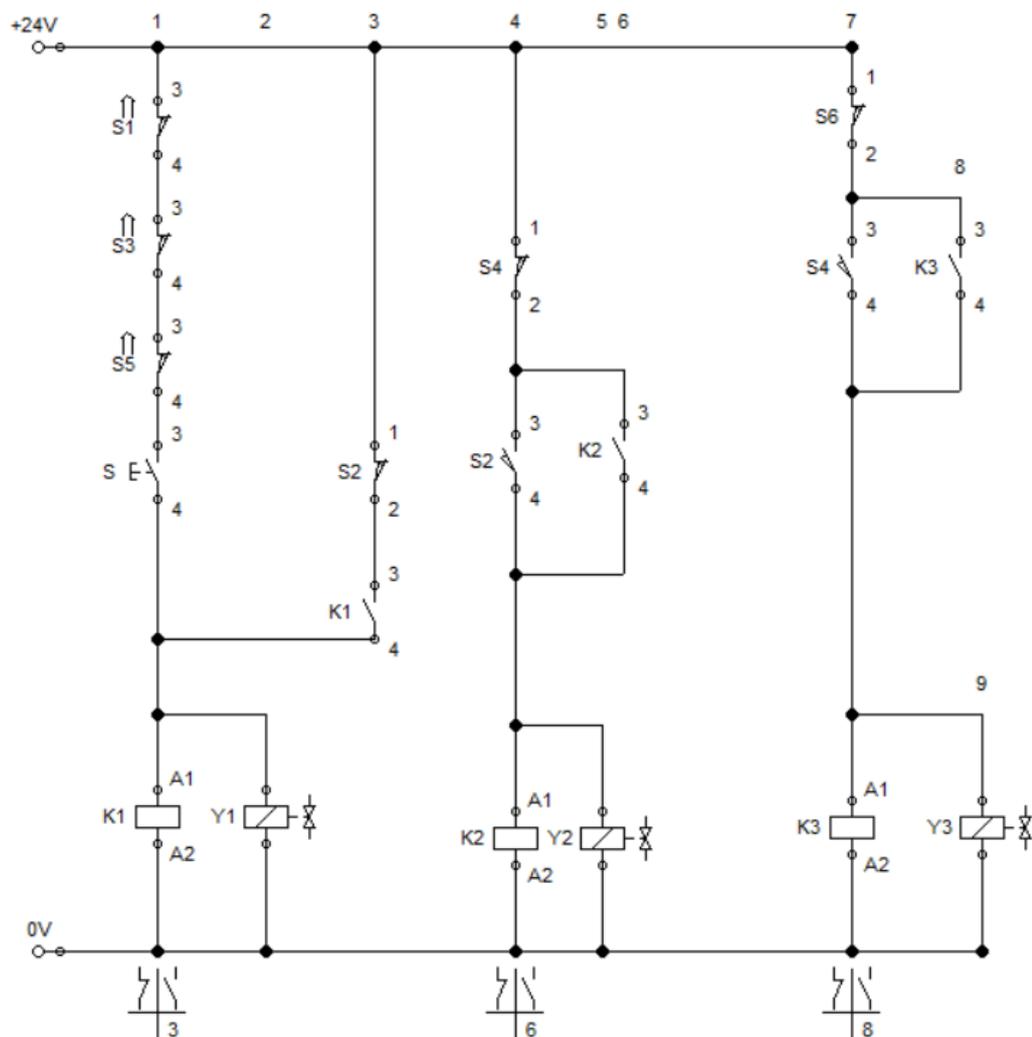


Figura 22. Control eléctrico de circuito neumático - Desplazamiento de una carga.

Fuente: Elaboración Propia.

g) Descripción del circuito

Iniciamos el sistema al pulsar S, el cual conecta al relé K1 y solenoide Y1 del distribuidor 1V1, iniciando la salida del vástago de C1, de esta manera se eleva la carga.

Terminada la extensión total del vástago del cilindro C1, se acciona S2 que conecta el relé K2, y también el solenoide Y2 del distribuidor 1V2. Al mismo

tiempo S2 desconecta relé K1 y el solenoide Y1, con lo cual el vástago de C1 realiza su retracción.

Luego, cuando el vástago de C2 completa su carrera, acciona S4, conectando el relé K3 y el solenoide Y3 del distribuidor 1V3. Al mismo tiempo se desactiva el relé K2 y el solenoide Y2, con lo cual el vástago de C2 realiza su retracción.

Al terminar la carrera del cilindro C3, este acciona S6 que desconecta el relé K3, y el solenoide Y3 del distribuidor 1V3. Luego en el momento de retroceso de C3, este activará S5.

El ciclo termina cuando todos los vástagos están retraídos, lo que significa que S1, S3 y S5 estarán cerrados, de esta manera se podrá iniciar nuevamente el ciclo del sistema al pulsar S.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Primera. Los sistemas neumáticos tienen una serie de componentes imprescindibles para su adecuado funcionamiento, uno de ellos es el tratamiento del aire (FRL), el cual determinará cuan eficiente será todo nuestro sistema y cuanta vida útil tendrán los componentes.

Segunda. La determinación adecuada de los parámetros que se requiere para la selección de los componentes neumáticos, son determinantes al momento de realizar la selección, debido a que existen diferentes formas constructivas para cada caso en específico. Con lo cual estos valores calculados, sirvieron para seleccionar nuestros cilindros neumáticos, en cual se buscó el actuador adecuado mediante el uso de catálogos de fabricantes.

Tercera. Se elaboró el circuito neumático en el software FluidSIM. La utilización de esta herramienta virtual fue de vital importancia, debido a que se puede realizar diferentes configuraciones y realizar la interacción de

nuestro sistema neumático, de la cual, analizamos y elegimos la configuración más conveniente para nuestro sistema.

4.2. Recomendaciones

- Primera.** Cuando los cilindros neumáticos trabajan en ambientes polvorientos es necesario usar aire comprimido lubricado, debido a que el aire lubricado hace que el desgaste sea más lento, evitando que el polvo penetre en el cilindro y endurezca la grasa.
- Segunda.** Usar dispositivos de purga automática en lugar de purgas manuales, de esta manera podemos controlar la frecuencia con que se quiere realizar las purgas, por lo cual, el agua condensada se libera regularmente y se reduce la propagación hacia los componentes.
- Tercera.** Es importante supervisar el consumo de aire comprimido y mantener la presión necesaria en el sistema, ya que cualquier cambio en la presión del sistema afecta al rendimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berrio, L., & Ochoa, S. (2007). *Neumática Básica*. Medellín, Colombia: ITM.
- Festo. (2010). *Neumática Electroneumática Fundamentos*. Recuperado de http://www.festodidactic.com/ov3/media/customers/1100/573031_lb_pep_extracto_es.pdf
- Micro. (2014). *Introducción a la Neumática*. Recuperado de <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual021IntroduccionalaNeumtica.pdf>
- Norgren. (2016). *Express Catalog*. Recuperado de <http://onenorgren.uberflip.com/i/651279-express-catalog-z7412ct>
- Roldán, J. (2012). *Tecnología y Circuitos de Aplicación de Neumática, Hidráulica y Electricidad*. Madrid, España: Parainfo, S.A.
- Salvador de las Heras, J. (2003). *Instalaciones Neumáticas*. Cataluña, España: UOC (Universitat Oberta de Catalunya).
- Serrano, A. (2009). *Neumática Práctica*. Madrid, España: Paraninfo, S.A.
- Valdivieso, T. (2011). *Diseño mecánico de un Simulador de Eyección para Entrenamiento de pilotos de avión* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/927>