

## Unidad 2. Actuadores

Los **actuadores** se caracterizan por ser herramientas que transforman cualquier tipo de energía en un proceso automatizado, en otras palabras, estos dispositivos son ideales para las industrias y la manufactura, ya que su aplicación puede ser como válvulas, motores, interruptores o bombas.

### Introducción.

En el siguiente trabajo se hablara de los tipos de actuadores que hoy en día existen y de la importancia de cada uno, sus ventajas y desventajas y cada papel que juega cada uno. Con este trabajo se pretende tener más en claro los características de un actuador y las partes que lo componen dependiendo de qué actuador sea y el tipo.

Los actuadores en tiempo atrás eran solo un dispositivo que el hombre le proporcionaba movimiento a este, se le llamaba actuador “Humano”, con el tiempo fue muy tedioso su comprensión hasta que el hombre decidió automatizarlos. A continuación hablaremos más de los actuadores, ya que estos actuadores tienen como misión generar el movimiento de los elementos del robot u otros dispositivos con las que sean integradas según las órdenes dadas por la unidad de control. Se clasifican en tres grandes grupos, según la energía que utilizan.

Los **actuadores** se caracterizan por ser herramientas que transforman cualquier tipo de energía en un proceso automatizado, en otras palabras, estos dispositivos son ideales para las industrias y la manufactura, ya que su aplicación puede ser como válvulas, motores, interruptores o bombas.

## ¿Qué es un actuador?

El actuador es un artefacto mecánico esencial para dar energía y movimiento a otro dispositivo, este tiene la capacidad de generar fuerza a partir de líquidos, de potencia eléctrica o gaseosa.

Este tipo de herramientas reciben órdenes que vienen de un regulador o controlador con la intención de que así se pueda activar la salida del elemento final en el control del sistema de válvulas.

Su función comienza a ejecutarse a partir de un controlador, el cual genera una réplica cuando recibe un impulso, encargándose de convertirlo en acción; la fuerza de estos instrumentos mecánicos se origina de tres fuentes diferentes: presión



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®



TECNM  
CAMPUS  
CHIHUAHUA II

neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica, por ello se menciona que un actuador se denomina de acuerdo al origen de su fuerza.



## ¿Para qué sirven los actuadores?

Los actuadores, ya sean hidráulicos, neumáticos o eléctricos, tienen en común que son utilizados para manejar aparatos mecatrónicos, sin embargo, su modo de empleo va a variar dependiendo de su tipo, como es el caso de los hidráulicos que dan más potencia a otros aparatos, mientras que los neumáticos se limitan a brindar posicionamiento.

También va a depender de si son lineales o rotativos, ya que los que tienen dirección recta funcionan para transformar la energía en movimientos lineales, lo que resulta ser de gran ayuda cuando se busca empujar kilos de fuerza, tirar, elevar o inclinar.

En el caso de los rotativos, la potencia se mueve en actividades oscilatorias que generalmente se usan en diversas válvulas, como son las de mariposa o las de bola, por mencionar algunos ejemplos.

## Tipos de actuadores

El uso depende de la clase de actuador con que se cuente, ya que cada uno de los tipos que existen dentro del mercado están diseñados para facilitar las labores de la industria y de la manufactura.

Los siguientes **actuadores** se pueden encontrar en diferentes tamaños, estilos y modos de operación de acuerdo a la aplicación que se requiera en el proyecto.

### Actuadores mecánicos

Un actuador mecánico es una herramienta que se encarga de cambiar la acción rotativa de una entrada para pasarla a un movimiento lineal en la salida, esta clase de dispositivos son ideales para los campos, donde se requieren para elevar, trasladar y posicionar de manera lineal.

## Actuadores neumáticos

Cuando se requiere transformar la energía del aire comprimido en una labor mecánica es necesario utilizar los **actuadores** neumáticos, cuyo rango de compresión es mayor al de los hidráulicos, pues la estructura de esta clase de actuador otorga poca viscosidad, lo que permite que la potencia pase a modo mecánico.

## Actuadores hidráulicos

Los **actuadores** hidráulicos constan de dos tipos: efecto simple y acción doble; en el primer arquetipo se usa la fuerza hidráulica para empujar y obtener una fuerza externa, mientras que el segundo emplea toda la potencia hidráulica para efectuar ambas acciones. Ambos casos incorporan un resorte en su interior que hace posible el cambio con el paso de la corriente.

## Actuadores eléctricos

La estructura de los **actuadores** eléctricos se diferencia del resto por obtener su poder de la [energía eléctrica](#), causando que estas herramientas sean altamente versátiles y que no haya restricción entre el actuador y la fuente de la fuerza.

## Actuadores térmicos

Tal y como su nombre lo indica, los **actuadores** térmicos son el tipo de instrumentos que producen fuerza a través del movimiento y la amplificación de la expansión térmica.

# Beneficios de los actuadores

A pesar de que hay diversos modos de accionamiento, generalmente los beneficios que brindan a las industrias son similares; a continuación, le presentamos las ventajas que se obtienen con los **actuadores**:

- El consumo de energía de los motores es nulo, por lo que son ideales para las [industrias de automatización](#).
- Fáciles de integrar, es decir, brindan amplias soluciones de automatización simples de incorporar.



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®



TECNM  
CAMPUS  
CHIHUAHUA II

- En algunos casos pueden ser programables, pudiendo recibir señales derivadas del control del sistema.
- Dependiendo de las necesidades de las industrias, es posible encontrar un tipo de actuador que pueda dar un excelente servicio sin descuidar la seguridad.
- La larga vida útil se debe a que son resistentes a la intemperie.
- El costo varía dependiendo del tipo de herramienta que se utilice, una vez que se adquiere, no se necesita ningún otro instrumento adicional.
- Estos cuentan con una magnífica precisión en el control del movimiento, por lo que no hay desviación angular y se obtiene un control preciso de los medios.

Si busca darle a su industria los beneficios de los **actuadores** para que sus procesos tengan alta fiabilidad, simplicidad de utilización, mínima manutenzione, seguridad, precisión de posicionamiento y sincronismo de movimiento, acérquese a [SDI](#).

## Actuadores

### 2.1 Eléctricos.

Los actuadores electrónicos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots de tamaño mediano, pues éstos no requieren de tanta velocidad ni potencia como los robots diseñados para funcionar con actuadores hidráulicos. Los robots que usan la energía eléctrica se caracterizan por una mayor exactitud y repetitividad. 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.

#### 2.1.1 Tipos.

##### - Motores de corriente continua (DC):

Son los más usados en la actualidad debido a su facilidad de control. En este caso, se utiliza en el propio motor un sensor de posición (Encoder) para poder realizar su control.

Los motores de DC están constituidos por dos devanados internos, inductor e inducido, que se alimentan con corriente continua:

El inducido, también denominado devanado de excitación, está situado en el estator y crea un campo magnético de dirección fija, denominado excitación.

El inducido, situado en el rotor, hace girar al mismo debido a la fuerza de Lorentz que aparece como combinación de la corriente circulante por él y del campo

magnético de excitación. Recibe la corriente del exterior a través del colector de delgas, en el que se apoyan unas escobillas de grafito.

Para que se pueda dar la conversión de energía eléctrica en energía mecánica de forma continua es necesario que los campos magnéticos del estator y del rotor permanezcan estáticos entre sí. Esta transformación es máxima cuando ambos campos se encuentran en cuadratura. El colector de delgas es un conmutador sincronizado con el rotor encargado de que se mantenga el ángulo relativo entre el campo del estator y el creado por las corrientes rotoricas. De esta forma se consigue transformar automáticamente, en función de la velocidad de la máquina, la corriente continua que alimenta al motor en corriente alterna de frecuencia variable en el inducido. Este tipo de funcionamiento se conoce con el nombre de auto pilotado.

Al aumentar la tensión del inducido aumenta la velocidad de la máquina. Si el motor esta alimentado a tensión constante, se puede aumentar la velocidad disminuyendo el flujo de excitación. Pero cuanto más débil sea el flujo, menor será el par motor que se puede desarrollar para una intensidad de inducido constante, mientras que la tensión del inducido se utiliza para controlar la velocidad de giro.

En los controlados por excitación se actúa al contrario. Además, en los motores controlados por inducido se produce un efecto estabilizador de la velocidad de giro originado por la realimentación intrínseca que posee a través de la fuerza contra electromotriz. Por estos motivos, de los dos tipos de motores DC es el controlado por inducido el que se usa en el accionamiento con robots.

Para mejorar el comportamiento de este tipo de motores, el campo de excitación se genera mediante imanes permanentes, con lo que se evalúan fluctuaciones del mismo. Estos imanes son de aleaciones especiales como sumario-cobalto. Además, para disminuir la inercia que poseería un rotor bobinado, que es el inducido, se construye este mediante una serie de espiras Seri grafiadas en un disco plano, este tipo de rotor no posee apenas masa térmica lo que aumenta los problemas de calentamiento por sobrecarga.

Las velocidades de rotación que se consiguen con estos motores son del orden de 1000 a 3000 rpm con un comportamiento muy lineal y bajas constantes de tiempo. Las potencias que pueden manejar pueden llegar a los 10KW.

Como se ha indicado, los motores DC son controlados mediante referencias de velocidad. Estas normalmente son seguidas mediante un bucle de retroalimentación de velocidad analógica que se cierra mediante una electrónica específica (accionador del motor).

**- Motores de corriente alterna (AC):**



Síncronos.

Asíncronos.

### **- Motores paso a paso:**

Los motores paso a paso generalmente no han sido considerados dentro de los accionamientos industriales, debido principalmente a que los pares para los que estaban disponibles eran muy pequeños y los pasos entre posiciones consecutivas eran grandes. En los últimos años se han mejorado notablemente sus características técnicas, especialmente en lo relativo a su control, lo que ha permitido fabricar motores paso a paso capaces de desarrollar suficientes en pequeños pasos para su uso como accionamientos industriales. Existen tres tipos de motores paso a paso:

- De imanes permanentes.
- De reluctancia variable.
- Híbridos.

#### **2.1.2 Funcionamiento.**

Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador. Existe una gran cantidad de modelos y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua.

#### **2.1.3 Características.**

Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más usados en los robots industriales actuales, como por ejemplo el uso de un robot en fábrica de autos en el pintado.

#### **2.1.4 Modo de comunicación.**

Los actuadores eléctricos se comunican mediante el funcionamiento de los mismos, ya que si una parte llega a fallar no se puede realizar la acción que se requiere para llevar a cabo su movimiento.



- **Sistema de "llave de seguridad":** Este método de llave de seguridad para la retención de las tapas del actuador, usa una cinta cilíndrica flexible de acero inoxidable en una ranura de deslizamiento labrada a máquina. Esto elimina la concentración de esfuerzos causados por cargas centradas en los tornillos de las tapas y helicoils. Las Llaves de Seguridad incrementan de gran forma la fuerza del ensamblado del actuador y proveen un cierre de seguridad contra desacoplamientos peligrosos.
- **Piñón con ranura:** Esta ranura en la parte superior del piñón provee una transmisión autocentrante, directa para indicadores de posición e interruptores de posición, eliminando el uso de bridas de acoplamiento. (Bajo la norma Namur).
- **Cojinetes de empalme:** Estos cojinetes de empalme barrenados y enroscados sirven para simplificar el acoplamiento de accesorios a montar en la parte superior. (Bajo normas ISO 5211 Y VDI).
- **Pase de aire grande:** Los conductos internos para el pasaje de aire extra grandes permiten una operación rápida y evita el bloqueo de los mismos.
- **Muñoneras:** Una muñonera de nuevo diseño y de máxima duración, permanentemente lubricada, resistente a la corrosión y de fácil reemplazo, extiende la vida del actuador en las aplicaciones más severas.
- **Construcción:** Se debe proveer fuerza máxima contra abolladuras, choques y fatiga. Su piñón y cremallera debe ser de gran calibre, debe ser labrado con maquinaria de alta precisión, y elimina el juego para poder obtener posiciones precisas.
- **Ceramigard:** Superficie fuerte, resistente a la corrosión, parecida a cerámica. Protege todas las partes del actuador contra desgaste y corrosión.
- **Revestimiento:** Un revestimiento doble, para proveer extra protección contra ambientes agresivos.
- **Acople:** Acople o desacople de módulos de reposición por resorte, o de seguridad en caso de falla de presión de aire.
- **Tornillos de ajuste de carrera:** Provee ajustes para la rotación del piñón en ambas direcciones de viaje; lo que es esencial para toda válvula de cuarto de vuelta.
- **Muñoneras radiales y de carga del piñón:** Muñoneras reemplazables que protegen contra cargas verticales. Muñoneras radiales soportan toda carga radial.

- **Sellos del piñón - superior e inferior:** Los sellos del piñón están posicionados para minimizar todo hueco posible, para proteger contra la corrosión.
- **Resortes indestructibles de seguridad en caso de falla:** Estos resortes son diseñados y fabricados para nunca fallar y posteriormente son protegidos contra la corrosión. Los resortes son clasificados y asignados de forma particular para compensar la pérdida de memoria a la cual está sujeta todo resorte; para una verdadera confianza en caso de falla en el suministro de aire.

## 2.2 Mecánicos.

Los Actuadores Mecánicos son dispositivos que utilizan energía mecánica para su funcionamiento. En función de la fuente de energía utilizada pueden ser neumáticos o hidráulicos, es decir, los actuadores mecánicos son dispositivos que transforman el movimiento rotativo a la entrada, en un movimiento lineal en la salida. Los actuadores mecánicos aplicables para los campos donde se requiera movimientos lineales tales como: elevación, traslación y posicionamiento lineal.

### Tipos de Automatizado

- **Hidraulicos:** son aquellos que se transmiten a través de líquidos cuando son presionados. Por ejemplo una grúa o un volquete de carga pesada:
- **Neumaticos:** son aquellos que funcionan mediante la fuerza de aire comprimido. Ej: lavacoches.

#### Maquina lavacoches

*Mecanismos de funcionamiento por presión, Lavar y vuelco seco que comprende 4 cepillos verticales y 1 cepillo horizontal controlados por transductores de potencia.*

### 2.2.2 Funcionamiento.

Cuando un proceso de automatización se realiza sin la intervención humana decimos que se trata de un proceso automatizado. La automatización permite la eliminación "total" o parcial de la intervención del hombre. Los automatismos son dispositivos de realizar tareas sin la intervención humana. Algunas máquinas como las lavadoras tienen programadores y las ordenes que proporcionan se llaman programas.

### 2.2.3 Características.



Alta fiabilidad, simplicidad de utilización, mínima manutención, seguridad y precisión de posicionamiento; irreversibilidad según el modelo de aplicación, sincronismo de movimiento. En el funcionamiento de los automatismos se caracteriza por tres fases:

- Entrada de datos u órdenes.
- Control de los datos.
- Realización de tareas concretas.

### **2.2.4 Modo de comunicación.**

Cuando aplicamos una fuerza sobre una superficie determinada decimos que ejercemos presión. Cuando más grande sea la superficie sobre la cual aplicamos la fuerza más pequeña será la presión que ejercemos encima, y cuanto más pequeña sea la superficie mayor será la presión.

En el SI la fuerza se mide en Newtones y la superficie en  $m^2$ . El cociente entre estas unidades nos da la unidad de presión, los Pascales.  $Pa = F/S$ .

En neumática el pascal resulta una unidad muy pequeña, por eso se utiliza un Bar que es igual a 105 pascales. Otras unidades que se utilizan para medir la presión son: atmósferas que equivalen a la presión atmosférica nivel del mar.

## **2.3 Hidráulicos.**

Los actuadores hidráulicos, que son los de mayor antigüedad, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma de operación, funcionan en base a fluidos a presión.

### **2.3.1 Tipos.**

- **Cilindro hidráulico:** De acuerdo con su función podemos clasificar a los cilindros hidráulicos en 2 tipos:

**Efecto simple:** se utiliza fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa, diferente, para contraer.

**Acción u efecto doble:** Se emplea la fuerza hidráulica para efectuar ambas acciones.

- **Motor hidráulico:** En los motores hidráulicos el movimiento rotatorio es generado por la presión. Estos motores los podemos clasificar en dos grandes grupos: El primero es uno de tipo rotatorio en el que los engranes son accionados directamente por aceite a presión, y el segundo, de tipo oscilante, el movimiento rotatorio es generado por la acción oscilatoria de un pistón o percutor; este tipo tiene mayor demanda debido a su mayor eficiencia.

- **Motor hidráulico de oscilación:** Tiene como función, el absorber un determinado volumen de fluido a presión y devolverlo al circuito en el momento que éste lo precise.

### 2.3.2 Funcionamiento.

La misión de los actuadores es generar o transmitir movimiento a piezas o elementos, previas órdenes dadas por la unidad de control y mando. Los actuadores hidráulicos utilizan como energía aceites minerales, que trabajan a presión entre 50 y 100 bares y que en ocasiones pueden superar los 300 bares.

### 2.3.3 Características.

Las bombas hidráulicas son los elementos encargados de impulsar el aceite o líquido hidráulico, transformando la energía mecánica rotatoria en energía hidráulica.

### 2.3.4 Modo de comunicación.

Por lo general, 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.

## Práctica de la unidad 2. Actuadores

## Objetivos:

Crear un actuador con materiales de un vibrador de teléfono y dos baterías de 3 voltios la cual proporcionará energía suficiente para hacer que el vibrador actúe de manera que esta empuje hacia una dirección un cepillo dental, siendo esta el ejemplo de un actuador de la unidad 2 de sistemas programables.

## Materiales:



- 1 cepillo dental.
- 1 vibrador de celular.
- 2 baterías de 3 voltios c/u.
- 10 cm de cable utp.
- Cautín y Grasa.
- Cinta de doble pegado.

## Procedimientos:

**PASO1:** quitarle la Cabeza al cepillo dental.

**PASO 2:** destrenzar el cable Utp.

**PASO 3:** soldar un pedazo del cable Utp destrenzado a uno de los extremos del vibrador.

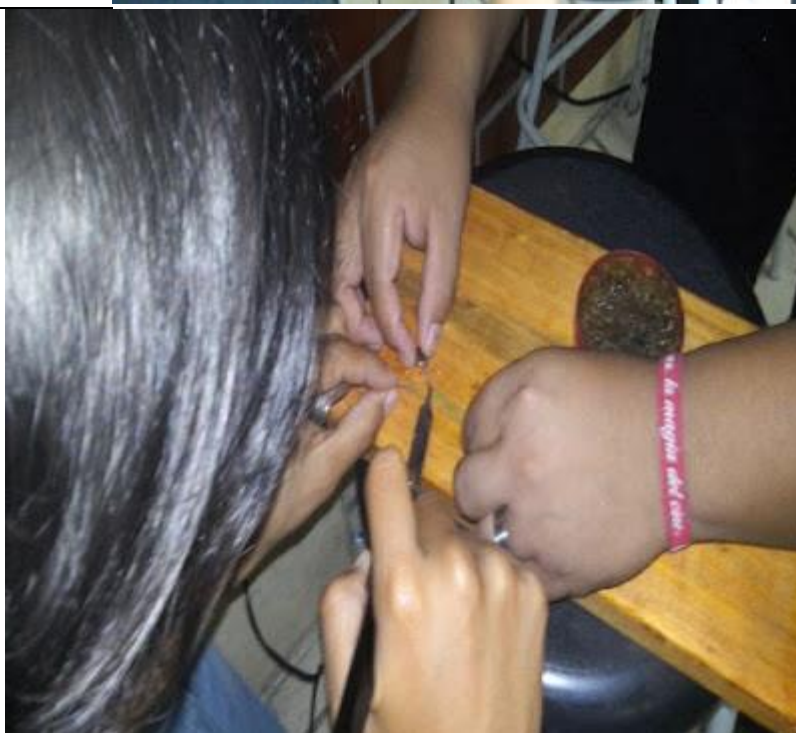
**PASO 4:** pegar con la cinta de doble pegado las baterías y el vibrador a la cabeza del cepillo de dientes.

**PASO 5:** con el cable soldado en el extremo del vibrador unirlo con cinta a las baterías las cuales se encuentran apiladas.

**Paso 6:** Cucaracha Robot Finalizada.

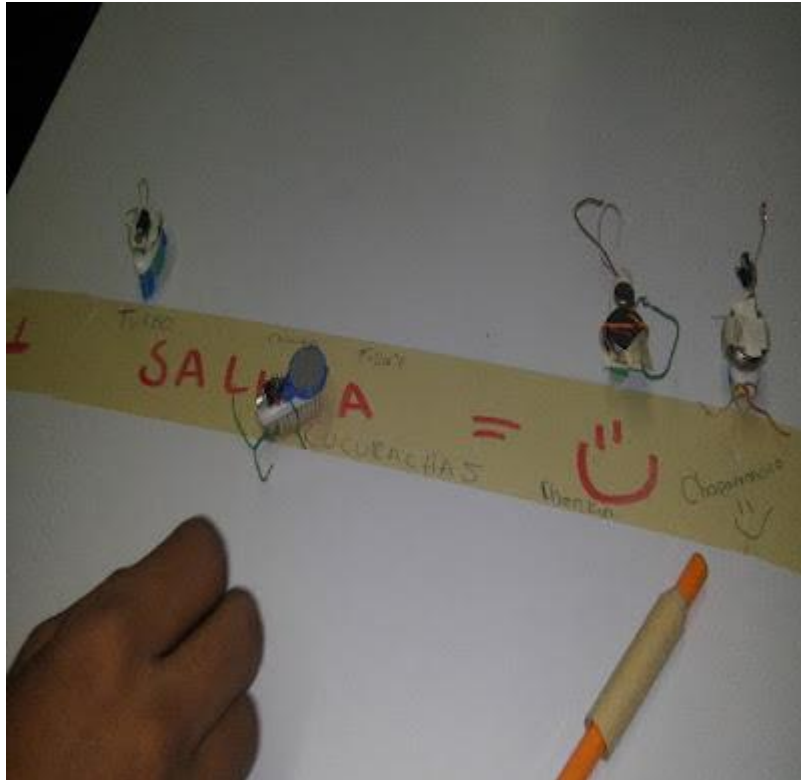
## Imágenes.











## Conclusión:

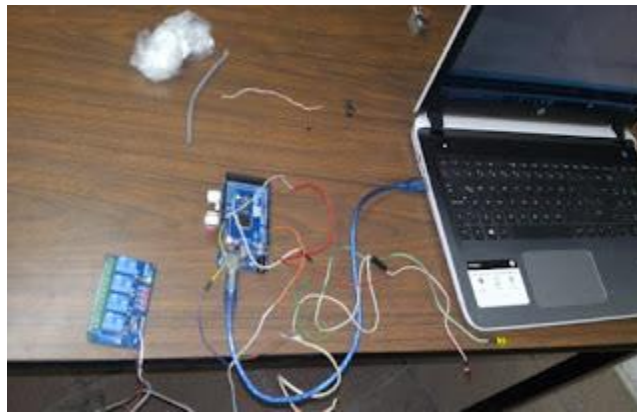
Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y de gas. Los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, pero es muy costosa. Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecánicos y electrónicos. Los actuadores neumáticos, los más usados en las industrias son actuadores de posicionamiento, es decir: posicionar objetos.

En esta práctica fue un claro ejemplo de cómo pueden ser usados o aplicados los actuadores haciéndolos funcionar con otros materiales integrados, por ejemplo el vibrador del celular fue soldado con cables en la cual se unió con dos baterías la cual le proporcionaba energía y mediante esa energía aplicada se podía hacer mover los dientes del cepillo dental hacia diferentes direcciones, siendo así un actuador funcional.

## Practica II. Actuador con sensor ultrasónico integrado.

El alumno deberá conocer todos los tipos de sensores que existen, como también estudiarlos en su Definición, Características, Funcionamientos.

Aplicación: hacer un actuador que avise y encienda un aparato electrónico por medio de la distancia.



### Materialles:

- 1 Arduino
- 1 un sensor ultrasónico
- 1 fuente de voltaje de 5 v. DC
- 1 led rojo
- 1 led verde
- 1 Bloque de relevadores x4
- 10 cm de cable utp.
- Cautín y Grasa.

## PROCEDIMIENTO:

PASO 1: destrenzar el cable Utp.

PASO 2: Conectar los led rojo, verde y el bloque de relevadores al negativo

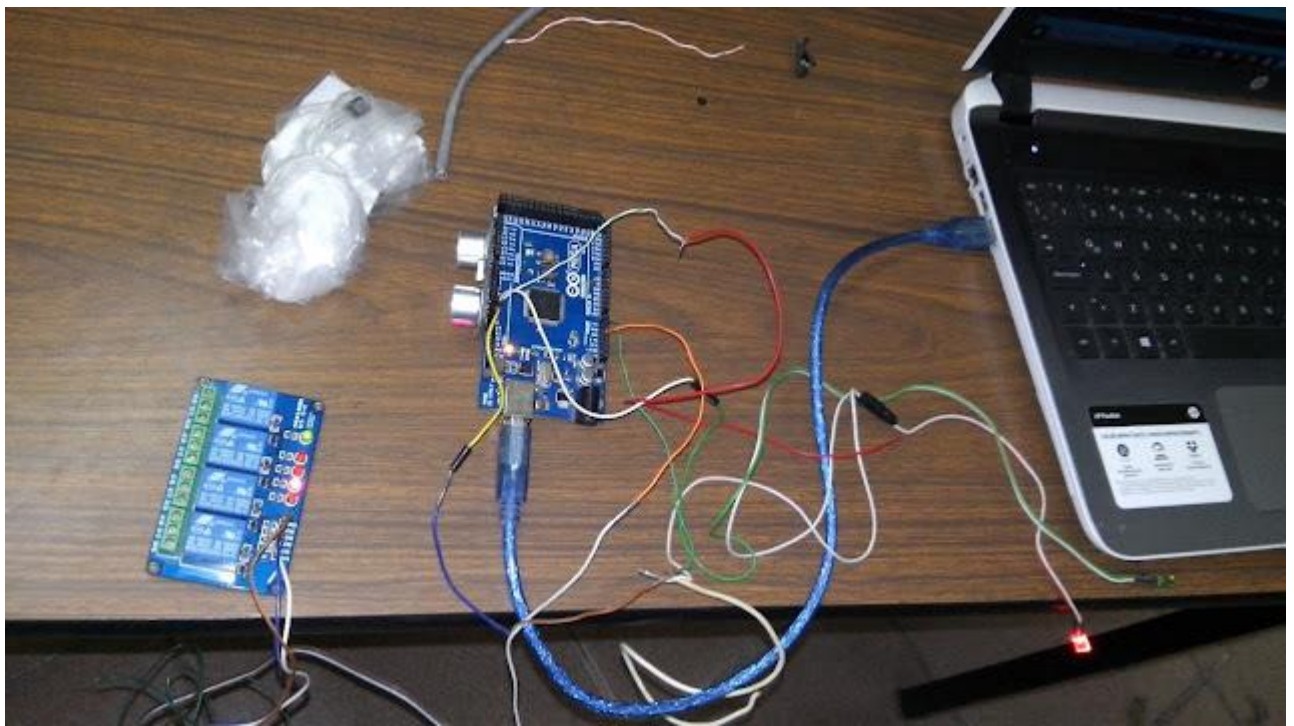
PASO 3: conectar el sensor al Arduino en los pines 7 al positivo del sensor, pin 6 al pin hecho del sensor, pin 5 al pin request del sensor y pin 4 al negativo del sensor.

PASO 4: Conectar el pin 8 al led rojo, el pin 9 al led verde y pin 10 al pin sin de un relevador del grupo, de igual forma conectar el grupo de relevador al alimentador del Arduino.

PASO 5: crear el programa, para el Arduino configurando la calibración de tiempo de respuesta, retrasmisión y cálculo de distancia. Fijando la distancia superior a 10 cm como segura (led verde on) y su distancia inferior como insegura(led rojo on y activar relevador)

PASO 6: Compilar el programa y cargarlo en el Arduino.

PASO 7: Reiniciar el Arduino para que entre en ejecución el nuevo grupo de instrucciones.



## Conclusiones:

Mediante las recopilaciones de informaciones de sensores y actuadores, con la finalización del informe y mediante la práctica *“realizando un proyecto con sensores”* y *“Realización de un actuador”*, se pudo asimilar el concepto *“definición, características, tipos, aplicaciones”* de las mismas, sus reacciones, comportamiento de los distintos tipos de sensores y actuadores con los que se trabajó y estudiado en esta unidad 1 y 2 de sistemas programables, obteniendo así los conocimientos claros y precisos del funcionamiento y aplicaciones en la vida diaria de los sensores, por lo que, es de gran utilidad conocer los varios tipos

de sensores y sus características para diseñar sistemas de clasificación y reconocimiento de patrones para que operen dentro de las normas y restricciones del mecanismo en el que se está trabajando.

En la actualidad los sensores se han convertido en dispositivos fundamentales para la realización de instrumentos y herramientas en las actividades del hombre en las industrias de la misma manera que los actuadores aplicados en maquinarias pesadas como elevación de carga de un volquete, ya sea para sus necesidades como ser, protección, prevención, comodidad, seguridad, etc. o para fuentes económico como ser, ventas, negocios, etc.

## Bibliografía:

<http://www.pmzcomatrans.com/transmision/actuadores-mecanicos/>

<http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/Electricos.htm>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>

## 2.2 Actuadores eléctricos

### 2.2.1 Relé

Se trata de un dispositivo electromagnético que consiste en un interruptor automático controlado por un circuito eléctrico, en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se actúa sobre uno o varios contactos (Fig. 2.12). Cuando la señal de mando excita al electroimán, se hace pasar corriente por la bobina, se produce un campo magnético que interacciona con uno o varios contactos provocando el cierre o apertura de los mismos, lo que permite abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Esto permite controlar un circuito de salida de mayor potencia (circuito de fuerza) que el circuito estimulador (circuito de control) que solo necesita una pequeña fuente de tensión para activar el relé.

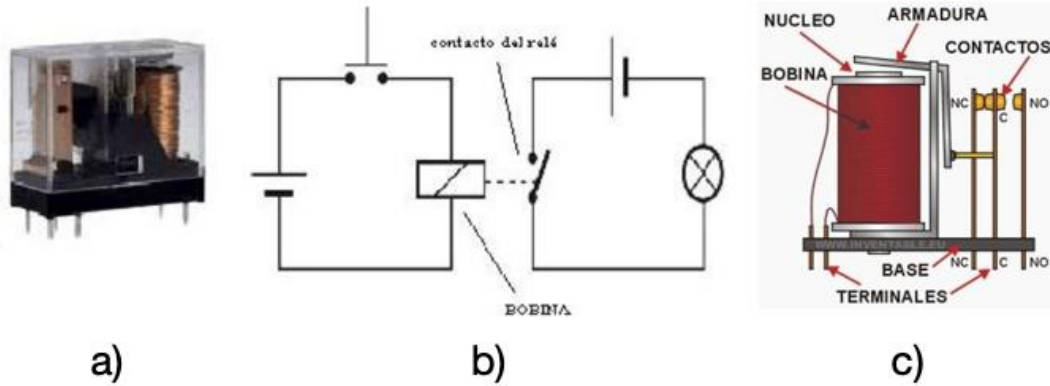


Figura 2.12: Relé: (a) imagen real (b) símbolo (c) partes

Los relés tienen asociados varios contactos que pueden ser normalmente abiertos (NO) si al pasar corriente por la bobina se cierra el contacto, o normalmente cerrados (NC) si al pasar corriente por la bobina se abre el contacto. Su funcionamiento se muestra en la Fig. 2.13.



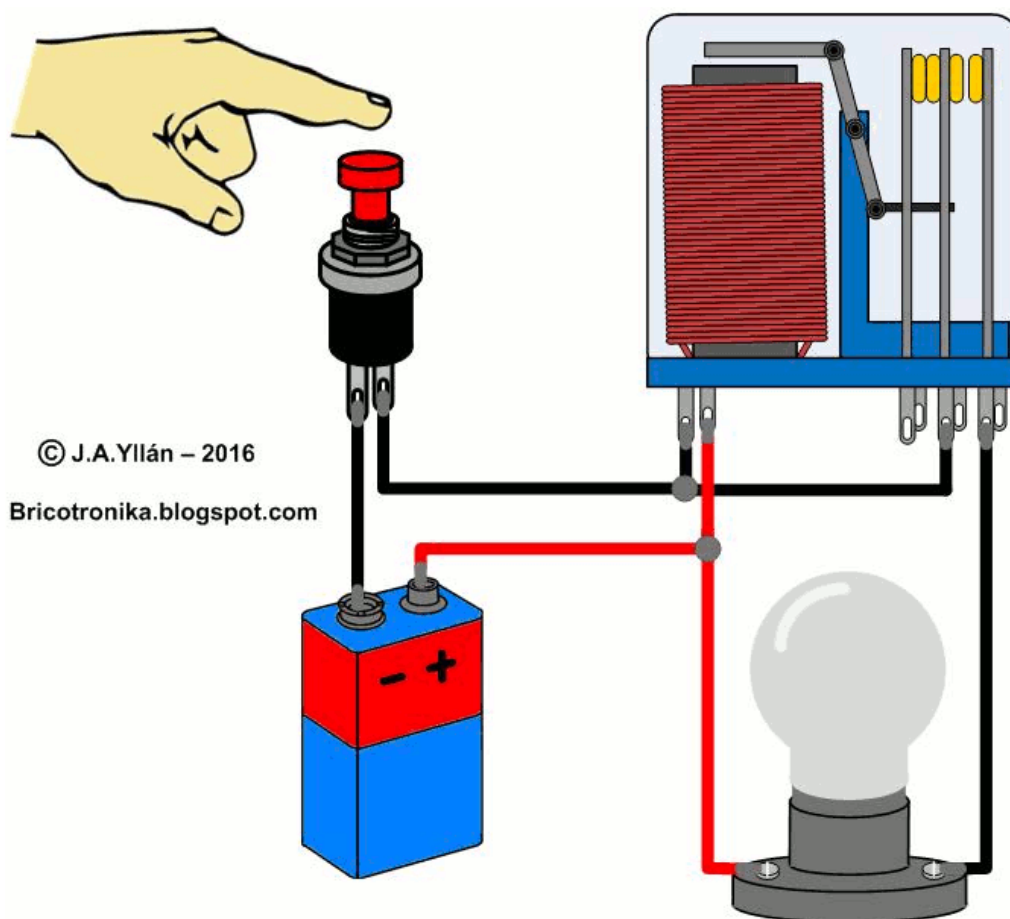


Figura 2.13: Relé: funcionamiento

Un tipo de relés cada vez más usados, son los relés de estado sólido, cuyo funcionamiento es idéntico al de los relés tradicionales, con la diferencia que en su interior lleva un circuito electrónico basado en semiconductores (un transistor o un tiristor) para abrir y cerrar los contactos de salida en lugar de una bobina.

## 2.2.2 Contactores

Este dispositivo electromecánico tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente controlándolo a distancia. Constructivamente son similares a los relés, aunque difieren en su aplicación, ya que los contactores se utilizan como interruptores electromagnéticos en la conexión y desconexión de circuitos elevada tensión y potencia, y los relés manejan corrientes de poco valor.

## 2.2.3 Relé magnetotérmico



Es un dispositivo utilizado para interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando se sobrepase cierto valor umbral en la misma. Su funcionamiento se basa en el efecto térmico (por efecto Joule, parte de la energía cinética de los electrones que circulan por un conductor se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del conductor, elevando la temperatura del mismo) y magnético producidos por la circulación de corriente en un circuito.

El dispositivo consta de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga. En una situación en la que el consumo del circuito va aumentando al conectar por ejemplo muchos aparatos, el relé magneto térmico protege de sobrecarga mediante el efecto térmico. La lámina metálica se calienta y abre un conector que interrumpe el paso de corriente. En este caso, se protege al circuito de cierta corriente peligrosa que puede no superar el valor umbral establecido. El dispositivo también ofrece cierta protección frente a cortocircuito, que ocasiona un aumento rápido y elevado de corriente. Al circular una corriente por el electroimán superior a cierto nivel umbral, se abre el contacto y se interrumpe el paso de corriente. Además de la desconexión automática, es posible conectar y desconectar de manera manual.

Este dispositivo es común verlo en el cuadro eléctrico de cualquier hogar junto a un conjunto de diferenciales. Se muestra una imagen<sup>12</sup> en la Fig. 2.14.

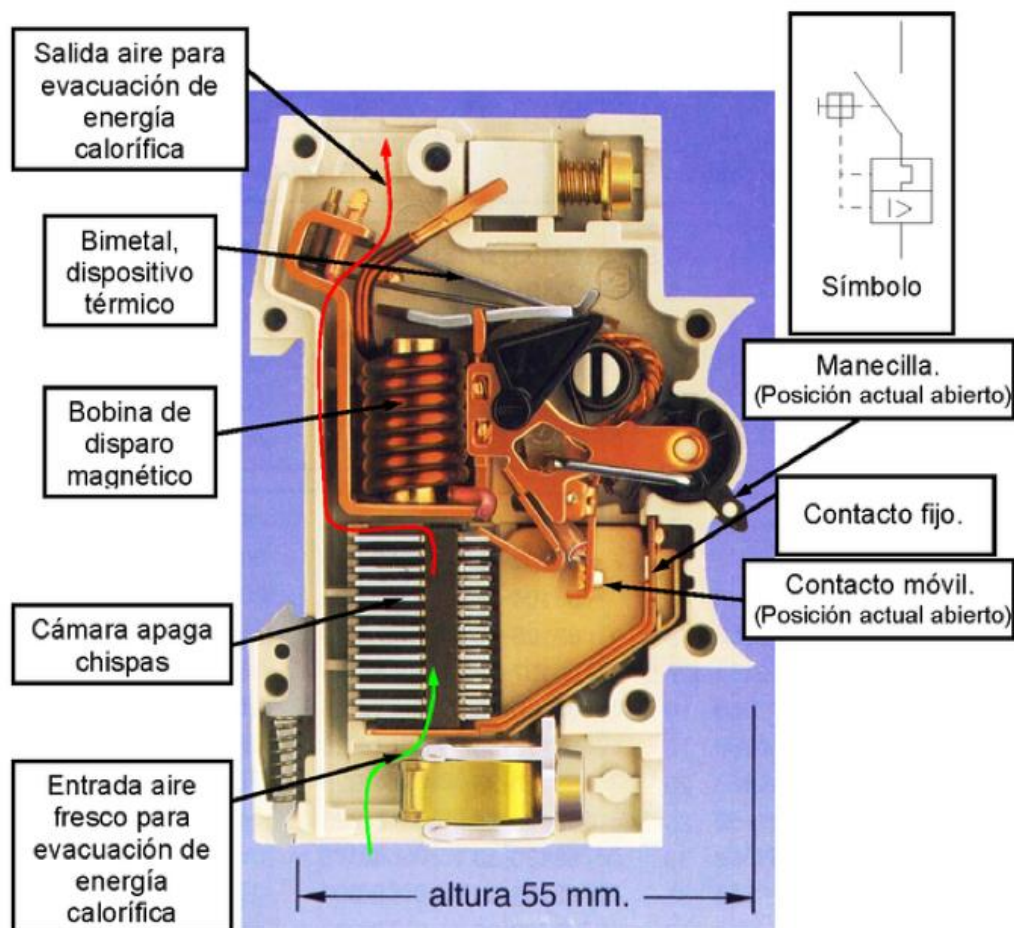


Figura 2.14: Relé magnetotérmico: partes

## 2.2.4 Interruptor diferencial

Es un dispositivo electromecánico de protección que actúa conjuntamente con la puesta a tierra de enchufes y masas metálicas de todo aparato eléctrico, para evitar daños a las personas si existe contacto con partes activas de la instalación o con elementos sometidos a cierto potencial.

La base del funcionamiento consiste en medir la intensidad de corriente que entra en un circuito y la que sale del mismo. Si la medición es distinta, significa que la intensidad se está perdiendo por algún sitio por derivación o defecto a tierra. El interruptor diferencial desconectará el circuito en cuanto exista un defecto a tierra mayor que su sensibilidad. Para medir estas corrientes, el dispositivo dispone de dos bobinas al inicio y final de la instalación que generan

un campo magnético opuesto que actúa accionando ciertos contactos para interrumpir la corriente.

## 2.2.5 Motores eléctricos

Los motores convierten energía eléctrica en mecánica para realizar un trabajo (se altera el estado de movimiento de un cuerpo) por medio de acción de campos magnéticos variables.

Las características generales de un motor son:

- **Rendimiento ( $\eta$  ⚡):** es el cociente entre la potencia útil que generan y la potencia absorbida, mide la capacidad que tiene el motor para convertir la energía eléctrica en energía mecánica.
- **Velocidad nominal ( $n$ ):** el número de revoluciones por minuto (rpm o RPM) a las que gira el motor.
- **Potencia ( $P$ ):** es el trabajo (fuerza aplicada a lo largo de una distancia) que el motor es capaz de realizar en la unidad de tiempo a una determinada velocidad de giro. Se mide normalmente en caballos de vapor (CV), siendo 1 CV igual a 736 vatios.
- **Par motor ( $M$ ):** es el momento de fuerza (producto vectorial del vector de posición del punto de aplicación de la fuerza y el vector fuerza que actúa sobre el eje del motor) y determina su giro. Se mide Newtons-metro (N·m).
- El motor tiene dos partes diferenciadas:
  - El **estator** o parte fija donde residen los polos magnéticos
  - El **rotor** o parte móvil que gira dentro de un campo magnético
  - El motor incluye dos devanados:
    - El **inductor** que crea el campo magnético
    - El **inducido** que gira como consecuencia del campo magnético inductor (por inducción magnética, se origina una fuerza electromotriz en un cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un cuerpo móvil respecto a un campo magnético estático no uniforme, de manera que la corriente debida a la f.e.m. inducida tiende a mantener el flujo).

De forma muy resumida, el principio de funcionamiento de los motores se basa en la Ley de Lorentz: cuando un conductor, por el que pasa una corriente eléctrica, se encuentra inmerso en un campo magnético, éste experimenta una fuerza, gobernada por la Ley de Lorentz, que es perpendicular al plano formado por el campo magnético y la corriente, y su magnitud está dada por:

$$F = B \cdot L \cdot I \cdot \sin(\phi)$$

Siendo:

- F: Fuerza (newtons)
- I: Intensidad que recorre el conductor (amperios)
- L: Longitud del conductor (metros)
- B: Intensidad de campo magnético (teslas)
- $\phi$ : Ángulo que forma I con B (radianes)

Por lo tanto, se trata de conseguir un campo magnético o intensidad variable que haga que el rotor vaya girando. En los motores de corriente alterna esto se consigue directamente puesto que la corriente alterna directamente genera un campo magnético variable. En los motores de corriente continua esto se debe conseguir generando ese campo magnético variable a partir de corrientes continuas.

### Fuerza de Lorentz

Al contrario que en los campos eléctricos, una partícula cargada que se encuentre **en reposo** en el interior de un campo magnético **no sufre** la acción de ninguna fuerza. Otro caso bien distinto se produce cuando la partícula se encuentre **en movimiento**, ya que por el contrario, en este caso, la partícula sí que experimentará la acción de una fuerza magnética que recibe el nombre de **fuerza de Lorentz**.

Veamos a continuación los tipos más utilizados.

### **2.2.5.1 Motor de corriente continua (con escobillas)**

El motor de corriente continua, denominado también motor de corriente directa, motor CC o motor DC (por las iniciales en inglés direct current), es una máquina que convierte energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción de un campo magnético<sup>13</sup>.

Un motor de corriente continua se compone, principalmente, de dos partes:

- El **estator** da soporte mecánico al aparato y contiene los polos de la máquina, que pueden ser o bien devanados de hilo de cobre sobre un núcleo de hierro, o imanes permanentes. Produce un campo magnético constante.
- El **rotor** es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, alimentado con corriente directa a través de las delgas, que están en contacto

alternante con escobillas fijas. Produce una corriente eléctrica fija, pero al girar las escobillas hacen que el sentido de la corriente vaya cambiando, lo que hace que el rotor vaya girando.

Su funcionamiento se muestra en la Fig. 2.15.

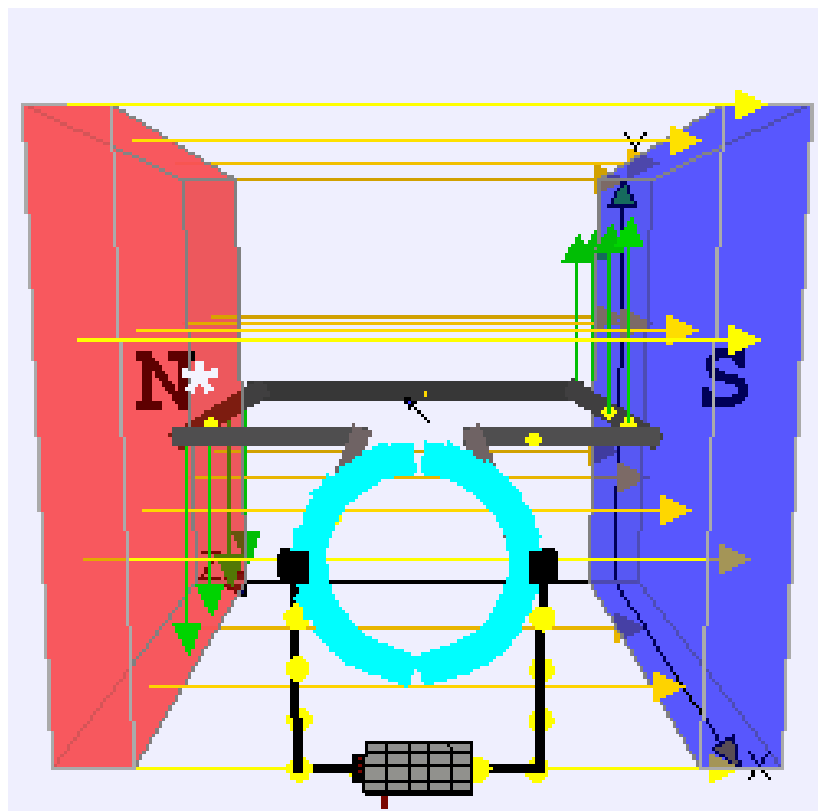


Figura 2.15: Funcionamiento de un motor de CC

El principal inconveniente de estas máquinas es el mantenimiento costoso y laborioso, debido principalmente al desgaste que sufren las escobillas al entrar en contacto con las delgas.

Algunas aplicaciones especiales de estos motores son: los motores lineales, cuando ejercen tracción sobre un riel, servomotores y motores paso a paso. Además existen motores de CC sin escobillas (brushless en inglés) utilizados en el aeromodelismo por su bajo par motor y su gran velocidad.

Es posible controlar la velocidad y el par de estos motores utilizando técnicas de control de motores de corriente continua. Normalmente la velocidad se controla con la tensión. Y el sentido de giro mediante un circuito que se denomina “puente en H”, mostrado en la Fig. 2.16.

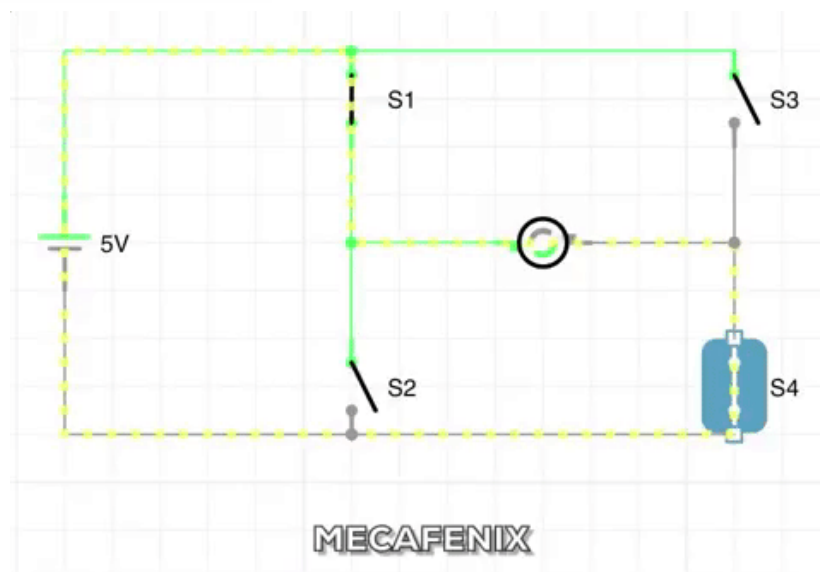


Figura 2.16: Control de un motor DC mediante un puente en H

Se puede apreciar como controlando los interruptores S1, S2, S3 y S4 se modifica el sentido de giro. Al activar S1 y S4 gira en un sentido y al activar S2 y S3 gira en el otro. Los interruptores pueden ser relés o transistores.

Más información en el siguiente video.

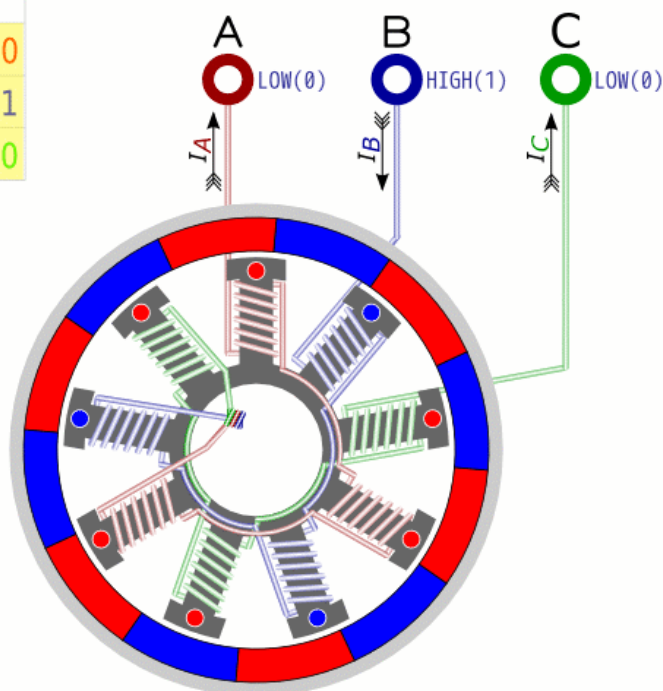
### ***2.2.5.2 Motor de corriente continua sin escobillas***

Un motor eléctrico sin escobillas o motor **brushless (BLDC)** es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor.

A diferencia del motor de corriente continua con escobillas, éste no tiene escobillas. El motor cuenta con tres enrollados de cable de cobre con conexión estrella, y dependiendo de cada tipo de motor, determinado número de polos. Comúnmente los polos de las bobinas se encuentran en el estator y a su alrededor un número de pequeños imanes acorde a las bobinas. Al activarse cada una de las bobinas, o mejor dicho, cada par de bobinas, se hace girar al rotor para generar movimiento mecánico. La activación de las bobinas debe hacerse en orden secuencial por una electrónica específica. Su funcionamiento se muestra en la Fig. 2.17.



		LEVELS					
WINDINGS	A	1	1	1	0	0	0
	B	1	0	0	0	1	1
	C	0	0	1	1	1	0



ELABZ.COM

## STEP 6

**Driving a Brushless DC (BLDC)  
motor with Arduino or another MCU**  
 Please read project notes at

<http://elabz.com/brushless-dc-motor-with-arduino/>

Figura 2.17: Funcionamiento de un motor brushless

Es ligeramente complicado controlar la velocidad de giro de este tipo de motor ya que es imposible hacer los cambios de conexiones entre las terminales de los embobinados a mano, es por ello que se utiliza un ESC (Controlador Electrónico de Velocidad, por sus siglas en inglés) para poder variar las velocidades de giro por medio de Modulación por ancho de pulsos ya sea suministrado por un microcontrolador o por un transmisor de control remoto.

Ejemplos de este tipo de motores son: lectores de CD-ROM, ventiladores de ordenador, drones, etc.

Los motores Brushless tienen muchas ventajas frente a los motores DC con escobillas y frente a los motores de inducción. Algunas de estas son:

- Mayor relación velocidad-par motor.
- Mayor respuesta dinámica.



- Mayor eficiencia.
- Mayor vida útil.
- Menos ruido.
- Mayor rango de velocidad.

Además, la relación par motor-tamaño es mucho mayor, lo que implica que se pueden emplear en aplicaciones donde se trabaje con un espacio reducido.

Tienen la desventaja de que no giran al revés al cambiarles la polaridad (+ y -). El principal impedimento en la implementación de este tipo de motor es el coste del mismo ya que tiende a ser más elevado que cualquier otro motor; el otro es el control del mismo, ya que como se mencionó, es imposible controlarlo manualmente por lo que necesita la ayuda electrónica para funcionar.

El control de estos motores se realiza mediante un controlador específico. En la Fig. 2.18 se muestran dos: un ESC (Electronic speed control) de radiocontrol y un chip.

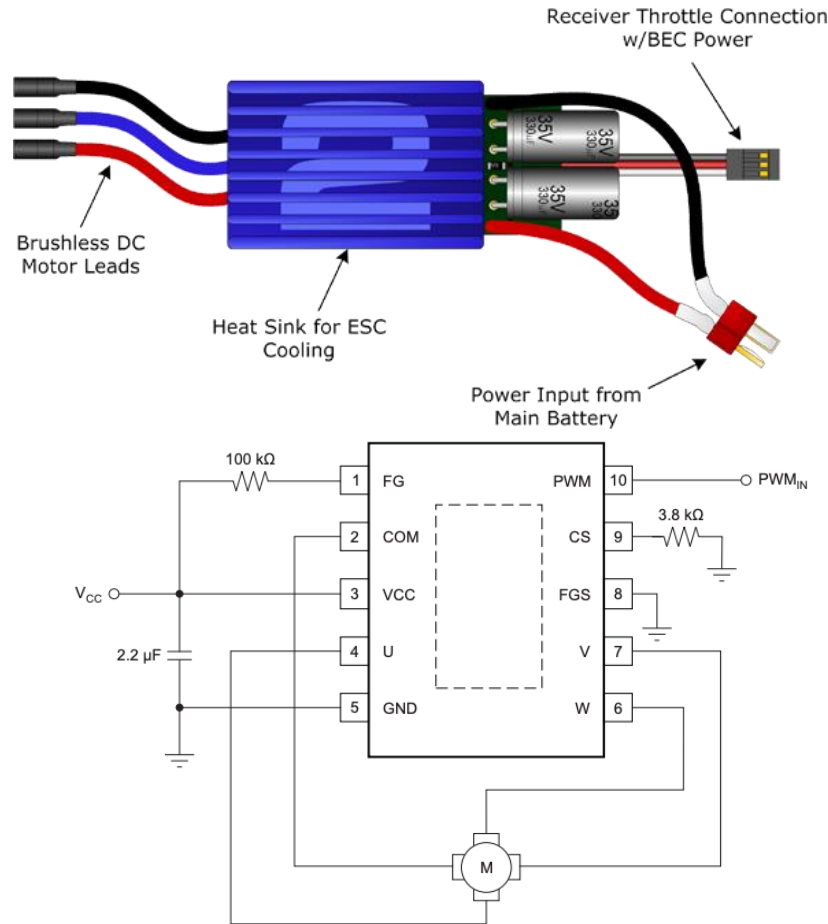


Figura 2.18: Controladores de BLDC: (izquierda) RC ESC (derecha) 3-phase sensorless motor driver

Además de alimentación y masa, tienen una entrada PWM<sup>14</sup> (Throttle en el caso del ESC) para indicar la velocidad del motor y tres salidas para cada una de las fases del motor.

### 2.2.5.3 Motor paso a paso

El motor paso a paso (Stepper) es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control. Este motor presenta las ventajas de tener precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento. Entre sus principales aplicaciones destacan las CNC, impresoras 3D, etc.

Su funcionamiento es parecido al de los motores de corriente continua sin escobillas, pero los paso a paso permiten un mayor control de posición.

Los *brushless* se utilizan cuando el motor tiene que girar continuamente, y los *stepper* cuando el movimiento es discreto (a pasos).

El principio de funcionamiento está basado en un estator construido por varios bobinados (organizados en fases) en un material ferromagnético y un rotor que puede girar libremente en el estator. Estos diferentes bobinados son alimentados uno a continuación del otro y causan un determinado desplazamiento angular que se denomina “paso angular” y es la principal característica del motor.

Existen tres tipos de motores paso a paso:

- De reluctancia variable
- De imán permanente
- Híbrido

Todos tienen bobinas conectadas al estator, 2 o 3, normalmente, y se diferencian en el rotor. Los de imán permanente tienen un imán en el rotor. Los de reluctancia variable no tienen un imán en el rotor, pero el rotor está formado por un material ferromagnético que hace que se alinee con el campo creado por el estator. Los híbridos son una combinación de los otros dos.

### **Motores de reluctancia variable**

Su funcionamiento se basa en la reluctancia variable, mediante un rotor dentado en hierro dulce, que tiende a alinearse con los polos bobinados del estator. Se pueden seguir pasos muy pequeños. El rotor es de material magnético, pero no es un imán permanente, y presenta una forma dentada, con salientes. El estator consiste en una serie de piezas polares conectadas a 3 fases. En todo momento, el rotor “buscará” alinearse de forma tal que minimice la reluctancia rotor-estator, circunstancia que se da cuando el espacio entre los polos del estator se encuentra ocupado por material del rotor, es decir, orientando los salientes o dientes hacia los polos energizados del estator (Fig. 2.19). Este tipo de motor puede diseñarse para funcionar con pasos más pequeños que los pasos de un motor paso a paso de imán permanente. Por otra parte, su rotor es de baja inercia, con lo que se mejora su respuesta dinámica, aunque tiene la desventaja de tener menor par motor que un motor eléctrico de imán permanente de similar tamaño<sup>15</sup>.

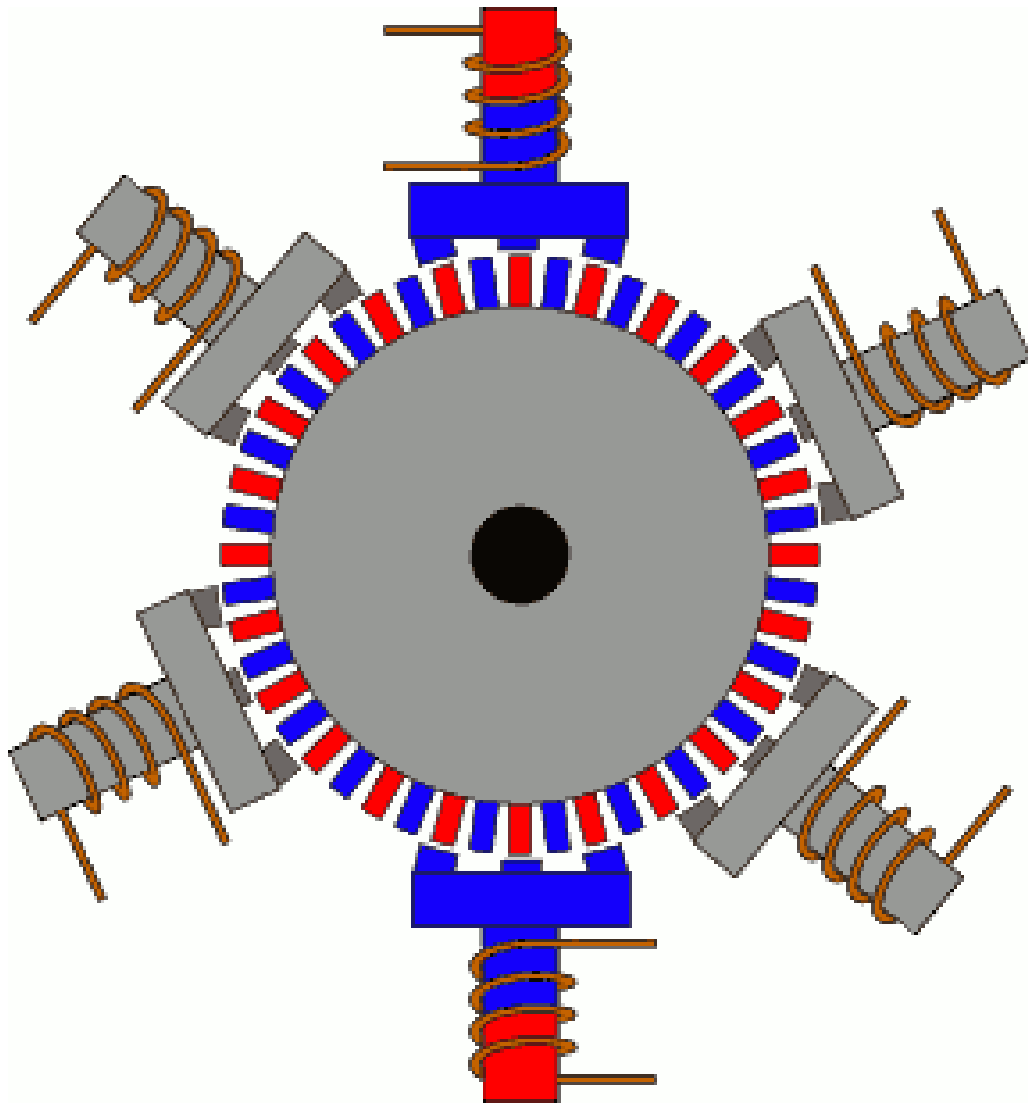


Figura 2.19: Motor paso a paso de reductancia variable

Para su control se necesitan 4 cables, uno para cada extremo de cada bobina y uno común al otro extremo de las tres bobinas.

### **Motores de imán permanente**

Hay dos tipos principales como muestra la Fig. 2.20:

- Motores paso a paso unipolares: cada bobina solo tiene una polaridad, que puede estar activa o no. Las bobinas cuentan con un punto de conexión central además de los dos extremos. Estos motores suelen tener 5 o 6 cables (dependiendo de si las conexiones centrales están unidas o no).

- Motores paso a paso bipolares: cada bobina puede tener dos polaridades (N-S o S-N). Las bobinas sólo cuentan con conexiones en los dos extremos. Estos motores suelen tener 4 cables (2 por bobina).

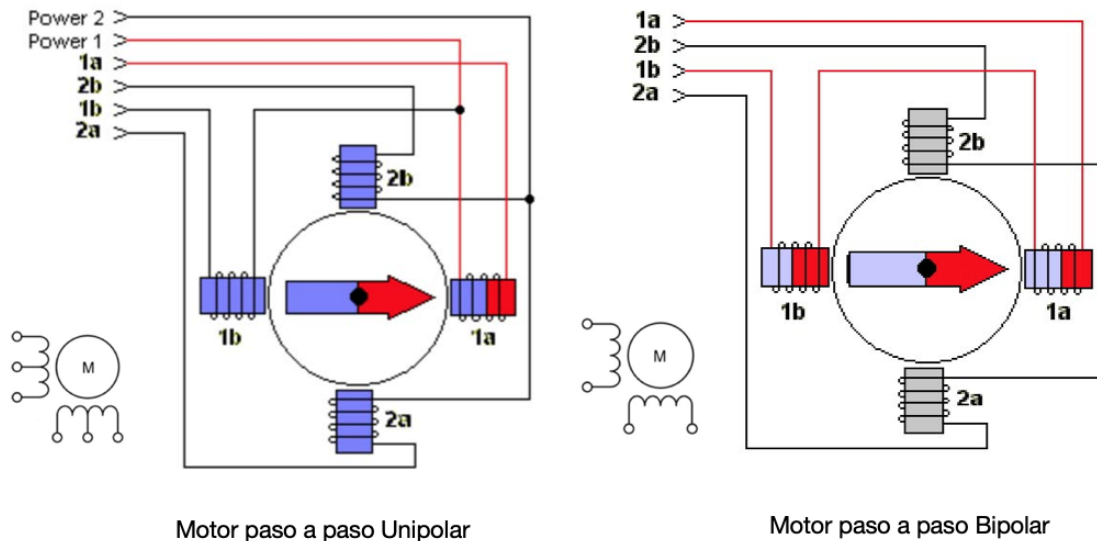


Figura 2.20: Motor paso a paso de imán permanente: unipolar y bipolar

Imagen obtenida de.<sup>16</sup>

Para el motor unipolar existen 3 secuencias de manejo<sup>17</sup> (suponiendo que el punto común, en la imagen Power 1 y Power 2 están puestos a V+, ON significa poner a V- y OFF desconectar), las cuales se pueden apreciar en la Fig. 2.21:

- Secuencia normal: el motor siempre avanza un paso por vez debido a que siempre existen 2 bobinas activadas. Con esta secuencia se obtiene un alto par de paso y retención.

Paso	1A	1B	2A	2B
1	ON	ON	OFF	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON
4	ON	OFF	OFF	ON





- Secuencia Wave drive (paso completo): se activa solo una bobina por vez, lo que ocasiona que el eje del motor gire hacia la bobina activa. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave, pero el par de paso y retención es menor.

Paso	1A	1B	2A	2B
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON

- Secuencia medio paso: se activan las bobinas de tal manera que se combinan las secuencia anteriores. El resultado que se obtiene es un paso más corto (la mitad del paso de las secuencias anteriores). Primero se activan 2 bobinas y posteriormente solo 1 y así sucesivamente.

Paso	1A	1B	2A	2B
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON

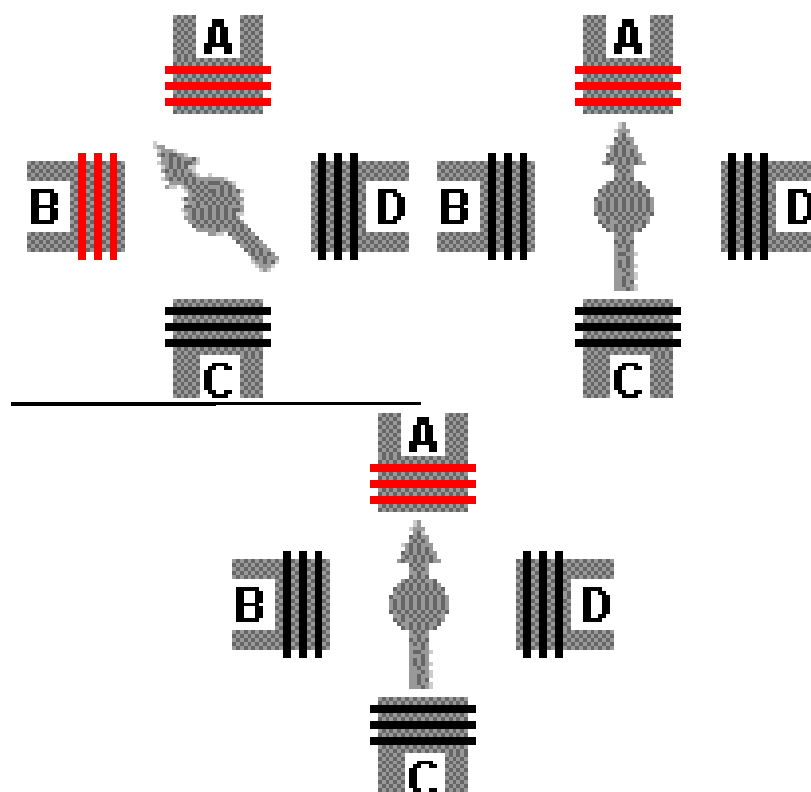


Figura 2.21: Motor paso a paso de imán permanente unipolar: (izquierda) Secuencia normal (centro) Secuencia paso completo (derecha) Secuencia medio paso

Los motores bipolares requieren de la inversión de la corriente que circula por sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de polaridad provoca el movimiento del eje en un paso. El sentido de giro está determinado por la secuencia seguida (Fig. 2.22).

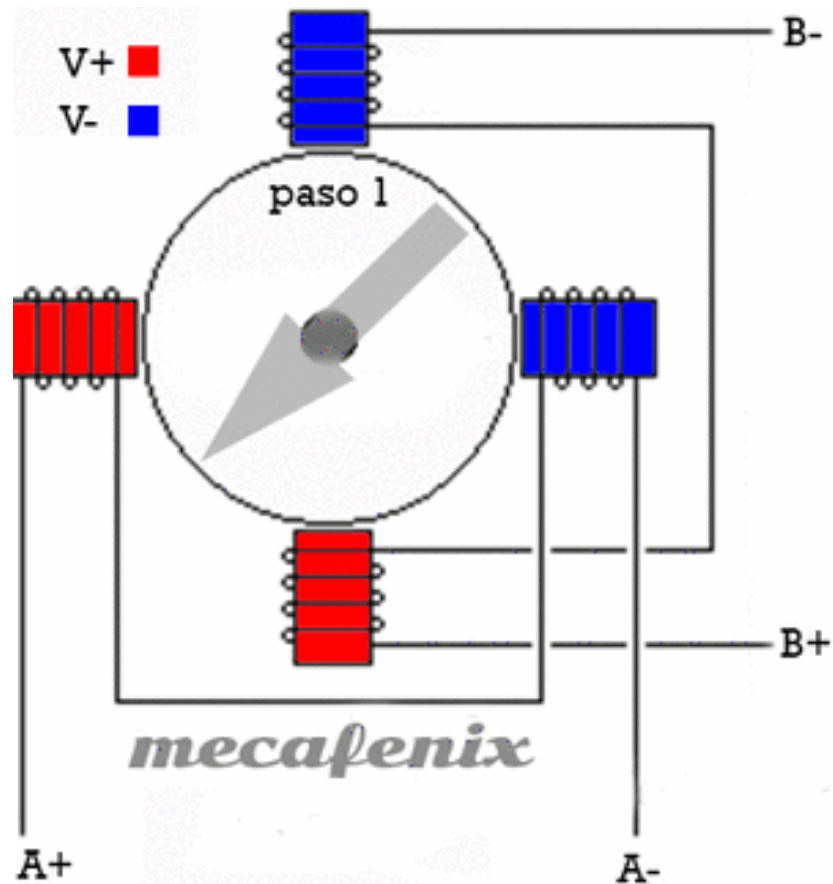


Figura 2.22: Motor paso a paso de imán permanente bipolar: secuencia de movimiento

Paso	A+	A-	B+	B-
1	V+	V-	V+	V-
2	V+	V-	V-	V+
3	V-	V+	V-	V+
4	V-	V+	V+	V-

El control de los motores paso a paso se realiza mediante un controlador, al igual que en los motores DC sin escobillas. Un ejemplo de controlador se muestra en la Fig. 2.23<sup>18</sup>. En este caso para el control no se utiliza una señal PWM, sino una entrada digital ('STEP' en la figura): cada flanco de subida provoca el movimiento de un paso del motor. La DIR nos permite elegir el sentido de giro. Las salidas que controlan las fases del motor son las señales 1A, 1B, 2A y 2B.

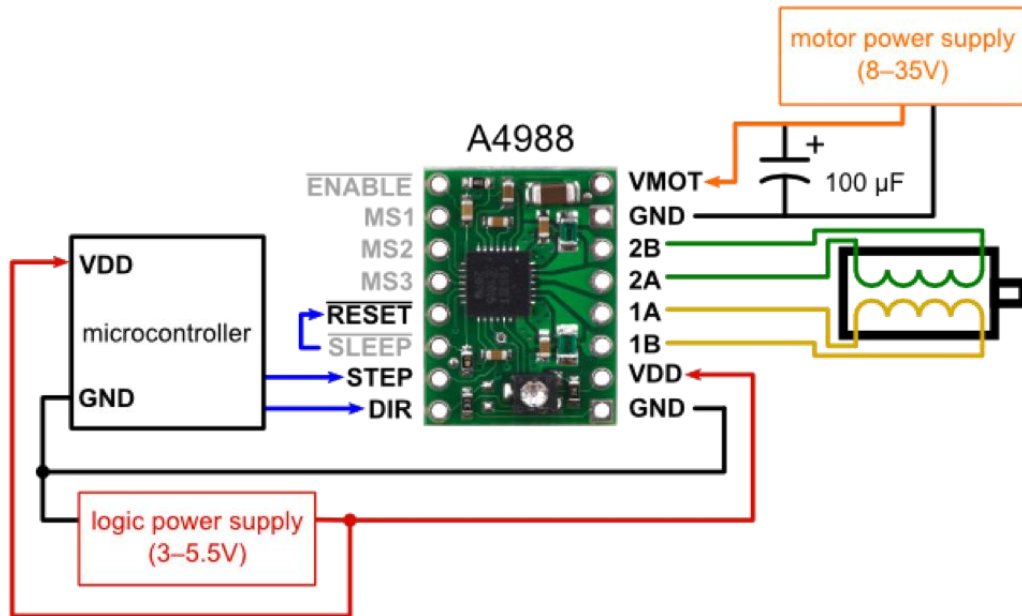


Figura 2.23: Controlados de motor paso a paso bipolar

En el siguiente video se describen con detalle los motores paso a paso:

#### 2.2.5.4 Motor de corriente alterna asíncrono (inducción)

El motor asíncrono, motor asincrónico o motor de inducción es un motor eléctrico de corriente alterna, en el cual su rotor gira a una velocidad diferente a la del campo magnético del estator.

El motor asíncrono trifásico está formado por un **rotor**, que puede ser de dos tipos: de jaula de ardilla o bobinado, y un **estator**, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° en el espacio. Ver Fig. 2.24<sup>19</sup>



Figura 2.24: Motor de inducción

El motor asincrónico funciona según el principio de inducción mutua de Faraday. Al aplicar corriente alterna trifásica a las bobinas inductoras, se produce un campo magnético giratorio, conocido como campo rotante, cuya frecuencia será igual a la de la corriente alterna con la que se alimenta al motor. Este campo al girar alrededor del rotor en estado de reposo, inducirá unas tensiones eléctricas que generará unas corrientes en el mismo. Estas producirán a su vez un campo magnético que seguirá el movimiento del campo estático, produciendo una cupla o par motor que hace que el rotor gire (principio de inducción mutua). No obstante, como la inducción en el rotor sólo se produce si hay una diferencia en las velocidades relativas del campo estático y el rotórico, la velocidad del rotor nunca alcanza a la del campo rotante. De lo contrario, si ambas velocidades fuesen iguales, no habría inducción y el rotor no produciría par. A esta diferencia de velocidad se la denomina “deslizamiento”

Los motores de inducción de CA se encuentran entre los más sencillos de controlar. Esto se debe a que solo requieren una conexión de 3 cables para funcionar en su modo más básico (sistema relé contactores para abrir o cerrar las tres fases a la vez). Se puede lograr un control más eficiente utilizando algoritmos avanzados, como Field Oriented Control (FOC).

Se puede encontrar información sobre este tipo de motor en el siguiente vídeo:

### **2.2.5.5 Motor de corriente alterna síncrono**

Los motores síncronos son un tipo de motor de corriente alterna en el que la rotación del eje está sincronizada con la frecuencia de la corriente de alimentación; el período de rotación es exactamente igual a un número entero de ciclos de CA. Su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectado y por el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como “velocidad de sincronismo”. Este tipo de motor contiene electromagnetos en el estátor del motor que crean un campo magnético que rota en el tiempo a esta velocidad de sincronismo.

La expresión matemática que relaciona la velocidad de la máquina con los parámetros mencionados es:

$$n=60 \cdot fP=120 \cdot fp \quad \blacklozenge=60 \cdot \blacklozenge \blacklozenge=120 \cdot \blacklozenge \blacklozenge$$

donde:

- f: Frecuencia de la red a la que está conectada la máquina (Hz)
- P: Número de pares de polos que tiene la máquina
- p: Número de polos que tiene la máquina
- n: Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

Se puede encontrar información sobre este tipo de motor en el siguiente vídeo:

### **2.2.5.6 Servomotores**

Un servomotor es un motor que utiliza retroalimentación de posición para controlar su movimiento y posición final. La entrada a su control es una señal (ya sea analógica o digital) que representa la posición ordenada para el eje de salida.

El motor está emparejado con algún tipo de codificador de posición para proporcionar retroalimentación de posición y velocidad. En el caso más simple, solo se mide la posición. La posición medida de la salida se compara con la posición del comando, la entrada externa al controlador. Si la posición de salida difiere de la requerida, se genera una señal de error que luego hace que el motor gire en cualquier dirección, según sea necesario para llevar el eje de salida a la posición adecuada. A medida que se acercan las posiciones, la señal de error se reduce a cero y el motor se detiene.

Se puede encontrar información sobre este tipo de motor en el siguiente vídeo:



1. Figura tomada de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Interrupor\\_magnetot%C3%A9rmico#/media/Archivo:SeccionMagnetotermico.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Interrupor_magnetot%C3%A9rmico#/media/Archivo:SeccionMagnetotermico.png)
2. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_corriente\\_continua](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua)
3. Más información sobre las señales PWM: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_por\\_ancho\\_de\\_pulsos](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos)
4. [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_reluctancia\\_variable](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_reluctancia_variable)
5. <http://fabacademy.org/archives/2014/students/begle.moritz/week13.html>
6. Obtenido de: <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>
7. Referencia: <https://www.pololu.com/product/1182>
8. Tomada de: [http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico\\_control.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_control.htm)

## 2.3 Actuadores neumáticos

El principal motivo por el que la tecnología neumática está tan extendida en los sistemas industriales es por la facilidad y bajo precio que requiere la instalación una vez existe la línea de alimentación de aire comprimido. Las características más importantes de la tecnología son:

- Permite transportar y almacenar fácilmente la potencia mecánica.
- No necesita circuito de retorno ya que la salida puede expulsarse al aire directamente
- Es limpio y no contamina
- No es muy sensible a la temperatura y es antideflagrante
- La fuerza que es capaz de desarrollar es limitada (depende de la presión y el caudal entre otras cosas)

- El hecho de que el fluido sea compresible limita la calidad de los movimientos realizables

### 2.3.1 Conceptos físicos básicos

El fluido de trabajo es básicamente aire (Nitrógeno, Oxígeno y otros gases) comprimido (presión superior a presión atmosférica) por la reducción de volumen del aire mediante un compresor. Cuando el aire se comprime almacena energía. Cuando se libera el aire comprimido, se utiliza para realizar trabajo en el recipiente a ocupar.

La relación entre volumen y presión viene dada por la ley de los gases perfectos:  $pV=nRT$ , siendo:

- p: presión absoluta
- V: volumen
- n: número de moles
- R: constante universal de los gases ideales
- T: temperatura absoluta

De aquí se obtiene que, a temperatura constante, el producto  $PV$  también lo sea.

Presión es la fuerza que se ejerce por unidad de superficie, y se distingue:

- La presión absoluta es la presión de un punto con referencia al vacío o cero perfecto.
- La presión atmosférica (100KPa a nivel del mar) es la presión ejercida por el aire que rodea la tierra. Se mide con barómetro.
- La presión relativa es la diferencia entre absoluta y atmosférica. Se mide con manómetro. Esta presión se utiliza en hidráulica y neumática.

La presión que miden los manómetros es la relativa. En el sistema internacional, la unidad de presión es el Pascal ( $1 \text{ N/m}^2$ ). Sin embargo al ser un valor muy pequeño, se utiliza el bar ( $10^5 \text{ N/m}^2$ ). El bar es muy parecido a la atmósfera (atm), aunque no exactamente igual:

$$1 \text{ atm} = 1 \text{ Kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 / 1 \text{ cm}^2 = 9,8 \text{ N} / 10^{-4} \text{ m}^2 = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Nm}^2 \cong 10^5 \text{ Pascales} = 1 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pascales} = 10^5 \text{ Nm}^2 = 10^5 \text{ Kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 / 10^{-4} \text{ m}^2 = 10^5 \cdot 10^4 \text{ Kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 = 10^9 \text{ Kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 = 10^9 \text{ N}$$

En ocasiones, siguiendo el sistema anglosajón, la unidad utilizada es el psi (libras por pulgada cuadrada) cuya relación con el bar es 1 bar = 14.08 psi.

La neumática se basa en la diferencia de presiones del aire de la atmosfera y el aire comprimido en el circuito. Esta diferencia de presión, se traduce en una fuerza superficial que puede ser aprovechada mediante un conveniente diseño mecánico para generar movimiento.

Uno de los parámetros más importantes desde el punto de vista de diseño del circuito neumático es la potencia que es capaz de desarrollar. La potencia depende directamente de la fuerza, la cual es proporcional a la diferencia de presión entre aire del circuito y el atmosférico:

$$P = F \cdot v = p \cdot Q \quad F \cdot v = F \cdot dt = W \quad Q = V/t = A \cdot dt = A \cdot v$$

$$P = F \cdot v = p \cdot Q = p \cdot A \cdot v = p \cdot A \cdot dt = p \cdot dV = p \cdot dQ$$

siendo:

- P: potencia
- p: presión
- F: fuerza
- Q: caudal de aire
- v: velocidad
- W: trabajo
- A: sección
- V: volumen
- t: tiempo

La velocidad que podrá desarrollar un émbolo no depende directamente de la presión, sino del caudal de fluido a presión que el sistema es capaz de suministrar. La potencia desarrollada por un émbolo de área efectiva A, sobre el que se le aplica una presión efectiva P con un caudal Q será:

$$W = F \cdot v = (P \cdot A) Q = P \cdot Q$$

## 2.3.2 Sistema de producción y distribución de aire comprimido

El aire atmosférico se comprime hasta elevar la presión, típicamente 6 bares, y se distribuye hasta los elementos actuadores donde se expande (disminuye su

presión) y genera movimiento. El compresor absorbe aire del ambiente y reduce su volumen mediante:

- Compresores volumétricos (reduce volumen de aire)
- Compresor tubo compresor (transforma velocidad en presión)

Para evitar que las partículas sólidas y de vapor de agua que acompañan al aire atmosférico dañen la instalación, es preciso someter al aire a ciertos tratamientos de filtrado, secado y lubricación. Un esquema típico de una unidad de generación de aire comprimido se muestra en la Fig. 2.25.

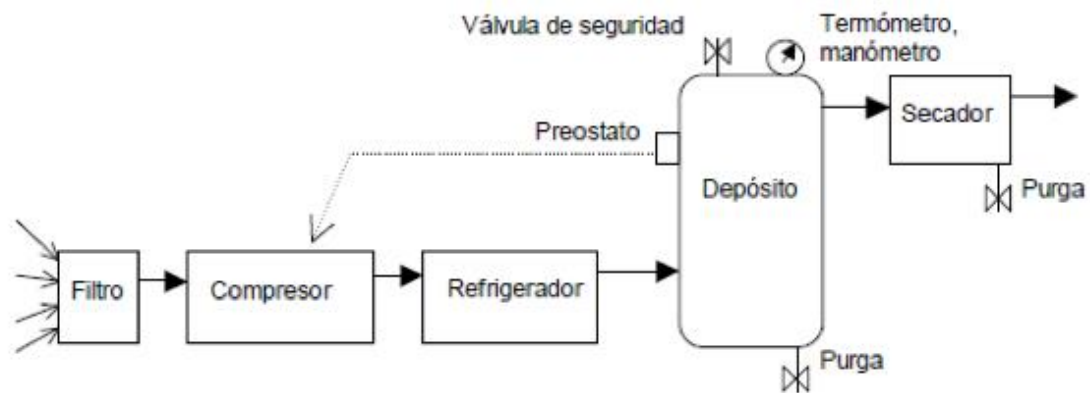


Figura 2.25: Sistema de producción neumático

Las partículas de polvo y suciedad pueden obturar las estrechas secciones de algunos dispositivos o dañar los materiales con los que se construyen las juntas de estanqueidad de las partes móviles. Por estos motivos, la admisión de aire por el compresor se realiza a través de un filtro de aire que elimina las partículas de polvo.

La humedad origina la oxidación de las partes metálicas y provoca una merma en la lubricación. Para eliminar la humedad del aire se emplean diferentes métodos: enfriamiento, absorción y adsorción. El procedimiento de enfriamiento es el primero en aplicarse y el más común. La cantidad de agua contenida en el aire disminuye con la presión y la temperatura. Por tanto, al enfriar (aunque sea a la temperatura ambiental debido al incremento de presión) se condensará parte de del agua contenida. Los secadores por adsorción separan el vapor de agua mediante un filtrado físico compuesto por un gel de óxido de silicio que absorbe la humedad. La absorción se basa en una reacción química que elimina el vapor de agua. En estos casos, es necesaria la sustitución del óxido o el reactivo periódicamente.

Salvo para el caso de instalaciones muy simples, el aire a presión generado por el compresor, no pasa directamente al sistema de distribución, sino que se acumula en un depósito. Su finalidad es análoga a la realizada por los condensadores de alta capacidad que se utilizan en la etapa final de las fuentes de alimentación. Este depósito tiene como funciones más importantes las siguientes:

- Elimina el rizado en la presión del aire, originado por el carácter pulsante de algunos compresores (compresores de émbolo).
- Evita que el compresor trabaje de forma discontinua, por su capacidad de acumular energía. Para ello se utiliza un prestató tarado a un valor máximo y mínimo, que marcará respectivamente el apagado y encendido del compresor.
- Permite el enfriamiento del aire, y como consecuencia su condensación a la base del depósito en donde se sitúa una llave de purga.
- Permite controlar la calidad del aire mediante la serie de sensores que normalmente están situados en el depósito: manómetro, termómetro. Además para evitar peligrosos valores de la presión, el depósito cuenta con una válvula de seguridad limitadora de presión.

Una vez generado el aire comprimido, es necesario distribuirlo por las distintas áreas de la planta. Esta conducción se realiza a través de una red de tuberías que pueden ser de plástico, cobre o acero. Las metálicas se unen mediante soldaduras o manguitos roscados. Las virutas procedentes de la soldadura, así como su posible oxidación son inconvenientes que aconsejan el uso de las conducciones de plástico a pesar de su precio superior. Como normas básicas de la instalación se evitará la instalación de tuberías empotradas, y en el caso de realizar líneas horizontales, se dará al menos una pendiente de un 1-2% para facilitar la eliminación del agua. Las derivaciones se realizarán siempre hacia arriba y las terminaciones para realizar la conexión en horizontal para evitar que el agua pase a los elementos posteriores.

Justo antes de que el aire acceda a cada área de la instalación se intercala una unidad de mantenimiento que incluye una serie de dispositivos de manera compacta, y cuya misión es mejorar la calidad del aire acondicionándolo a las necesidades del área. Las funciones que suele incluir esta unidad son las siguientes:

- Filtrado de partículas procedentes de la propia red de distribución. Los tamaños típicos de las partículas que hay que filtrar son del orden de diez micras.
- Regulación de la presión mediante la reducción a un valor fijo. Por tanto, la presión de la red será algo superior a la necesaria para los dispositivos.
- En algunos casos se incluye un elemento lubricador del aire, pero en la actualidad es cada vez más habitual el uso de elementos que no necesitan la lubricación o que son autolubricados. La lubricación en las piezas móviles

presenta ciertas ventajas como reducción del desgaste, disminución de las pérdidas por rozamiento, protección contra la corrosión...

La Fig. 2.26 muestra una unidad de mantenimiento típica:

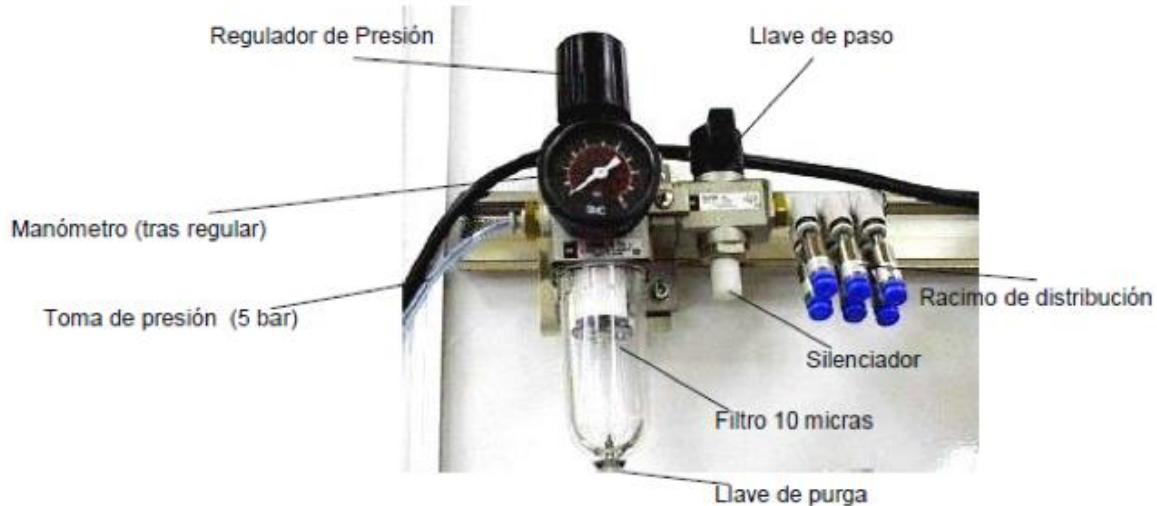


Figura 2.26: Unidad de mantenimiento neumática

La unidad de mantenimiento sirve para mantener constante la presión de trabajo ya que compensa automáticamente el volumen de aire requerido. También sirve como válvula de seguridad.

La unidad de mantenimiento provee de aire comprimido a los dispositivos de la parte operativa de la instalación neumática, entre los que se encuentran:

- Preactuadores o preaccionadores: válvulas neumáticas, controlan el paso de fluido a los elementos de trabajo.
- Actuadores o accionadores: son los encargados de transformar la energía almacenada en el aire comprimido en movimiento. Este movimiento puede ser lineal o rotativo, diferenciándose entonces entre cilindros y motores.

Además, existen ciertos elementos auxiliares, como silenciadores, reguladores de caudal, antirretornos, etc.

Esta sección ha sido cedida parcialmente por (Platero, 2012).

### 2.3.3 Cilindros neumáticos



Los actuadores más frecuentes son los siguientes, tal y como muestra la Fig. 2.27:

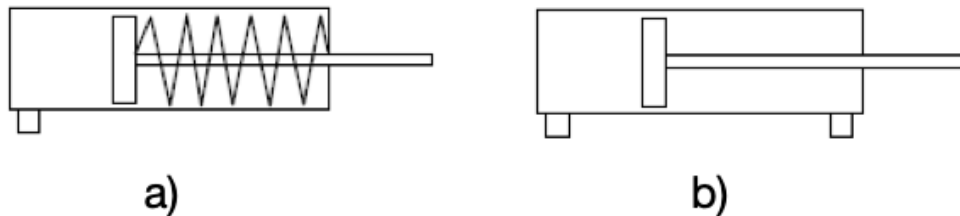


Figura 2.27: Cilindros neumáticos: (a) Simple Efecto (b) Doble Efecto

### **Cilindro de simple efecto**

En el cilindro de simple efecto, el avance del émbolo se consigue por la presión del aire sobre el émbolo, mientras que el retroceso se realiza por la acción de un resorte. Es importante considerar que este tipo de cilindros sólo desarrollarán esfuerzo en un sentido, puesto que el resorte apenas ejerce la fuerza necesaria para lograr el retorno del émbolo. La Fig. 2.27 (a) muestra la representación de estos cilindros con una sola toma por la que se produce tanto la admisión como el escape.

### **Cilindro de doble efecto**

Tanto el avance como el retroceso del émbolo se consigue por efecto de la acción del aire sobre el mismo, y por tanto puede desarrollar fuerza en ambas direcciones. Su representación esquemática se muestra en la La Fig. 2.27 (b), en donde se aprecia la toma de aire tanto a un lado del émbolo como al otro. La Fig. 2.28 muestra una animación del cilindro de doble efecto.

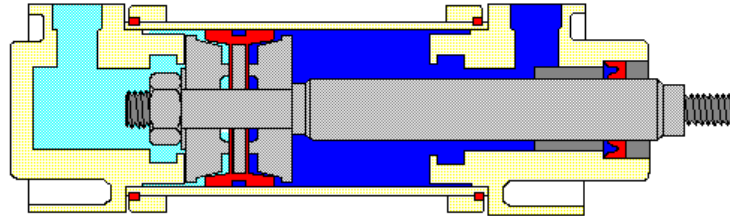


Figura 2.28: Cilindro neumático de doble efecto

### 2.3.4 Válvulas de distribución

Las válvulas de distribución o válvulas de vías, tienen por misión dirigir el aire hacia diferentes conductos en función de una o varias señales de mando. Estas señales de mando pueden ser mecánicas, eléctricas, neumáticas, etc. Salvo excepciones para casos de control muy fino, estas válvulas son todo o nada, y no funcionan de forma proporcional.

Una válvula de distribución queda especificada por el número de vías y posiciones:

- El número de vías es el número de conductos que pueden ser conectados a la válvula.
- Las diferentes conexiones que pueden establecerse entre los conductos es lo que se denomina posición.

Para identificar una válvula se indica el número de vías y el número de posiciones separados por una barra. De esta forma una válvula 5/2 indica que es de cinco vías y dos posiciones. En la Fig. 2.29 se muestra una animación de la válvula 5/2.

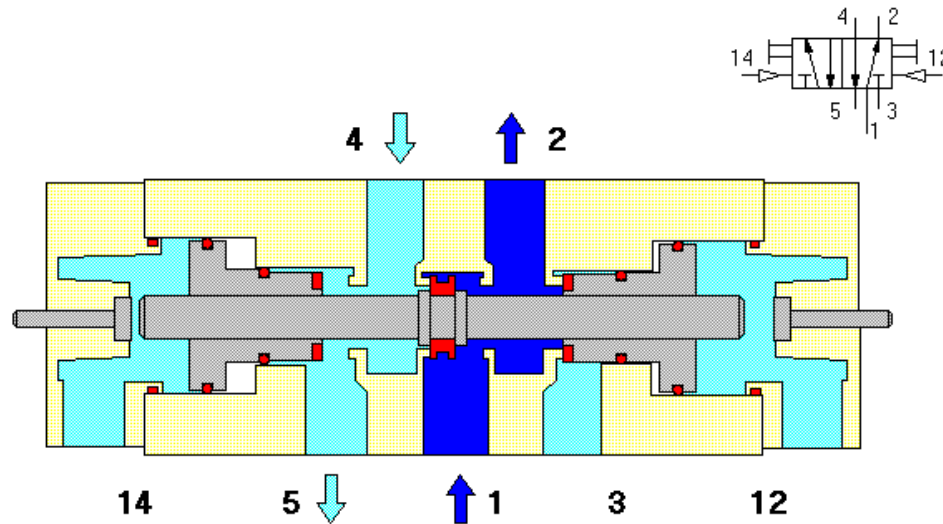


Figura 2.29: Válvula 5/2

La representación de las válvulas tanto en un diagrama esquemático como en el mismo dispositivo físico sigue el siguiente convenio:

- Las posiciones se representan por cuadros contiguos.
- El número de cuadros corresponde al número de posiciones.
- En el interior del cuadro se indican las conexiones que se establecen en esa posición mediante flechas (conexión) o trazos transversales que indican bloqueo.
- Las vías se representan en un solo cuadro y externo al mismo mediante trazos perpendiculares.
- En el funcionamiento de la válvula, se supone que las vías permanecen quietas mientras los cuadros se desplazan estableciendo conexiones o cierres en las mismas.
- Las vías conectadas son las correspondientes al estado de reposo y el paso entre posiciones viene dado por diferentes elementos de mando, cuya naturaleza puede ser mecánica, eléctrica, magnética, o neumática
- En los extremos de las válvulas se representa el tipo de mando asociado al movimiento de los cuadros (posiciones), tal y como muestra la figura 2.30.

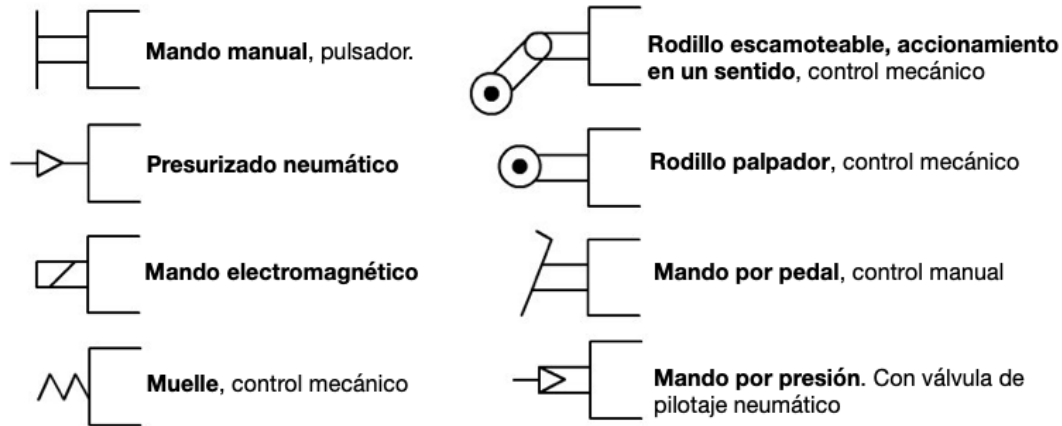


Figura 2.30: Válvulas: Elementos de mando

En la Fig. 2.31 se muestran las representaciones de diferentes tipos de electroválvulas atendiendo a su número de vías y posiciones:

- Válvula 2/2: Se utiliza para abrir o cerrar el paso de aire a una zona del circuito. Si se desea controlar un cilindro de simple efecto harían falta dos de estas válvulas funcionando de forma complementaria.
- Válvula 3/2: Se utiliza para el mando de cilindros de simple efecto.
- Válvula 5/2: Es de las válvulas más frecuentes puesto que su aplicación habitual es el control de cilindros de doble efecto.
- Válvula 4/2: Permiten el control de un cilindro de doble efecto. Su construcción es más compleja que la 5/2 que cumple la misma función, por lo que es menos frecuente.
- Válvulas 4/3<sup>20</sup> y 5/3: Similar a las válvulas 4/2 y 5/2, pero con una posición intermedia de reposo en la que todas las vías son bloqueadas.

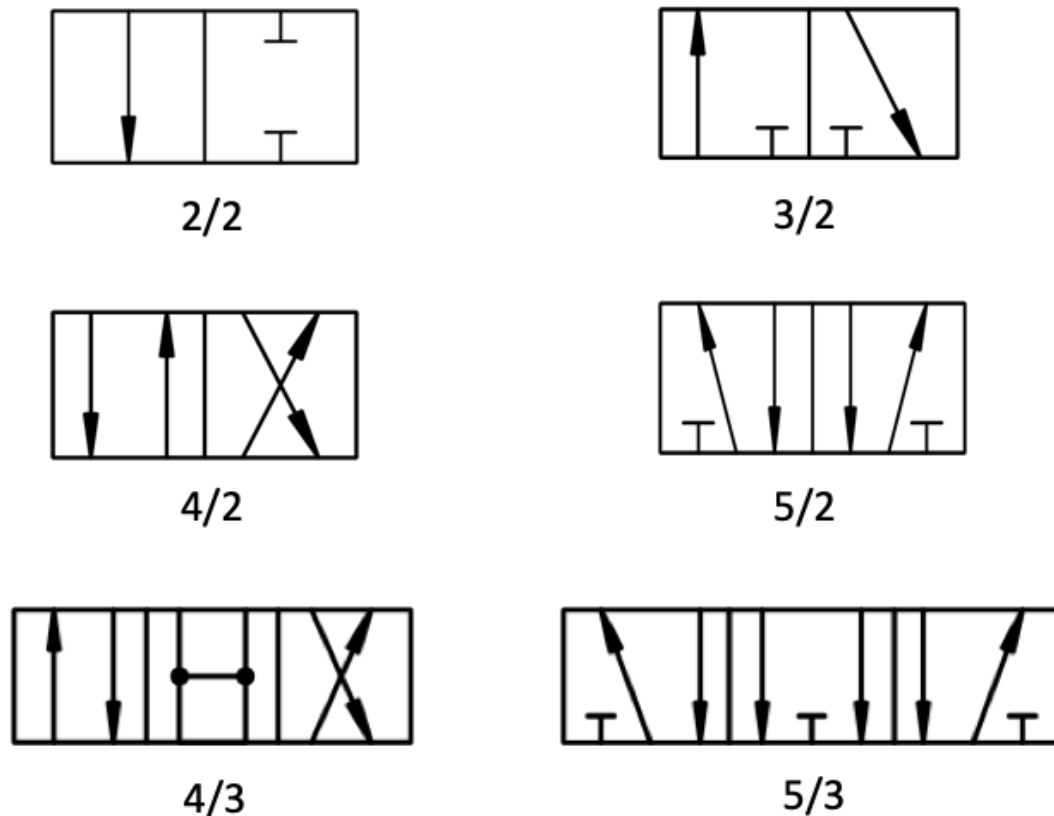


Figura 2.31: Tipo de válvulas atendiendo al número de vías y posiciones  
(leyenda: vías/posiciones)

Las válvulas mostradas en el Fig. 2.31 pueden ser accionadas de la forma mostrada en la Fig. 2.30. De esta manera podemos tener válvulas 3/2 accionadas de forma electromagnética o mediante muelles.

Las válvulas también pueden actuar como sensores. Por ejemplo, una válvula, accionada mediante rodillo, puede actuar como sensor de fin de carrera. Por ejemplo, al expandirse o contraerse un cilindro, presionaría sobre el rodillo, activando la válvula.

En la Fig. 2.32 se muestran algunos ejemplos de válvulas reales.

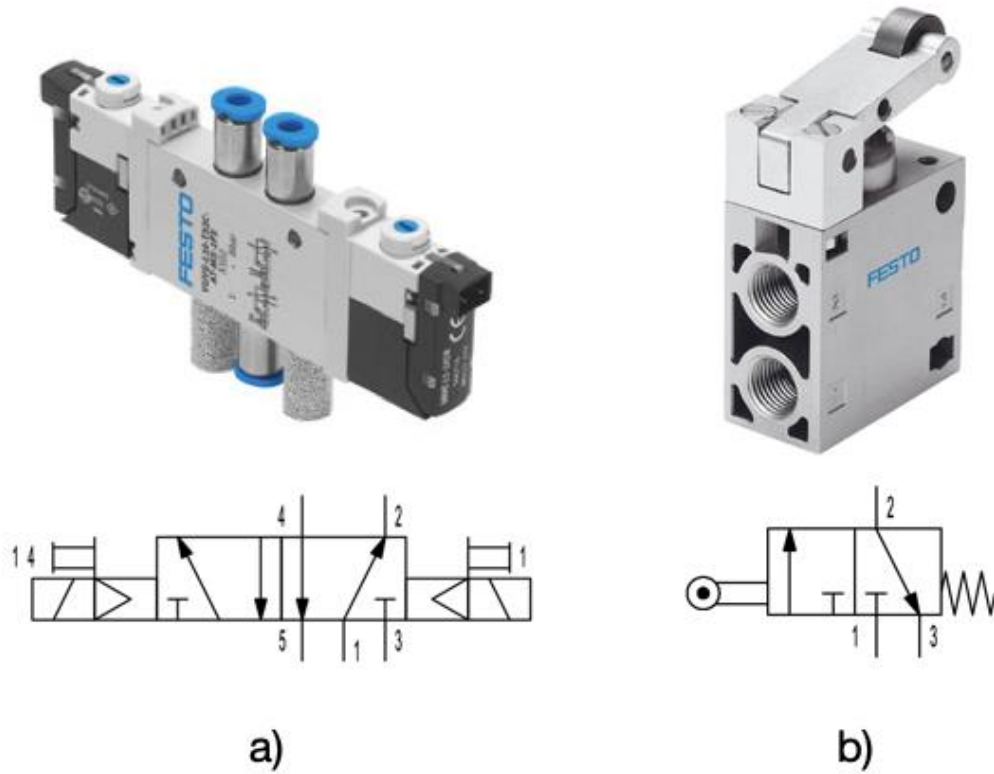


Figura 2.32: Ejemplo de válvulas reales: (a) Electroválvula biestable de 5/2 vías, accionamiento en ambos lados con bobina (b) Válvula de 3/2 vías, accionamiento por rodillo, reposición por muelle

Las distintas vías de las válvulas siguen distintas nomenclaturas, entre las que se encuentran la DIN 24300 y la CETOP (Comité Europeo de fluidos). Los símbolos para “Fuente de presión” y “Escape de aire” se muestran en la Fig. 2.33.



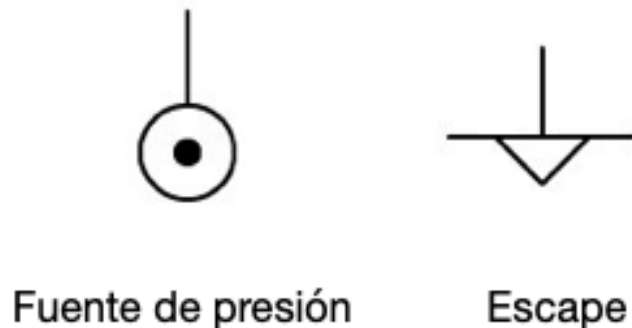


Figura 2.33: Símbolos: “Fuente de presión” y “Escape de aire”

#### **2.3.4.1 Sistemas monoestables y biestables**

Atendiendo a sus posiciones, las válvulas pueden ser monoestables o biestables<sup>21</sup>:

- Válvulas **monoestables**. Son aquellas que tienen una posición de reposo estable, que es en la que permanecerá la válvula de forma indefinida si no actúa sobre ella el dispositivo de mando. El regreso a la posición de reposo suele realizarse con un muelle; así en el caso de válvula monoestable de dos posiciones, la posición estable será la correspondiente al muelle, que por convenio suele situarse a la derecha. En el caso de tres posiciones la posición estable es la central.
- Válvulas **biestables**. Son aquellas que no tienen una única posición de reposo estable. Es decir, que aunque se anule la señal que provocó la posición en la que se encuentra, la válvula seguirá en esa misma posición hasta que se active la señal correspondiente a una nueva posición. El dispositivo de mando y la forma en que se activa cada posición en la válvula se representa simbólicamente añadiendo en la parte lateral del cuadrado el símbolo del accionamiento correspondiente (ver Fig. [2.30](#)).

En la Fig. [2.34](#) se muestra un ejemplo de sistemas monoestables y biestables.

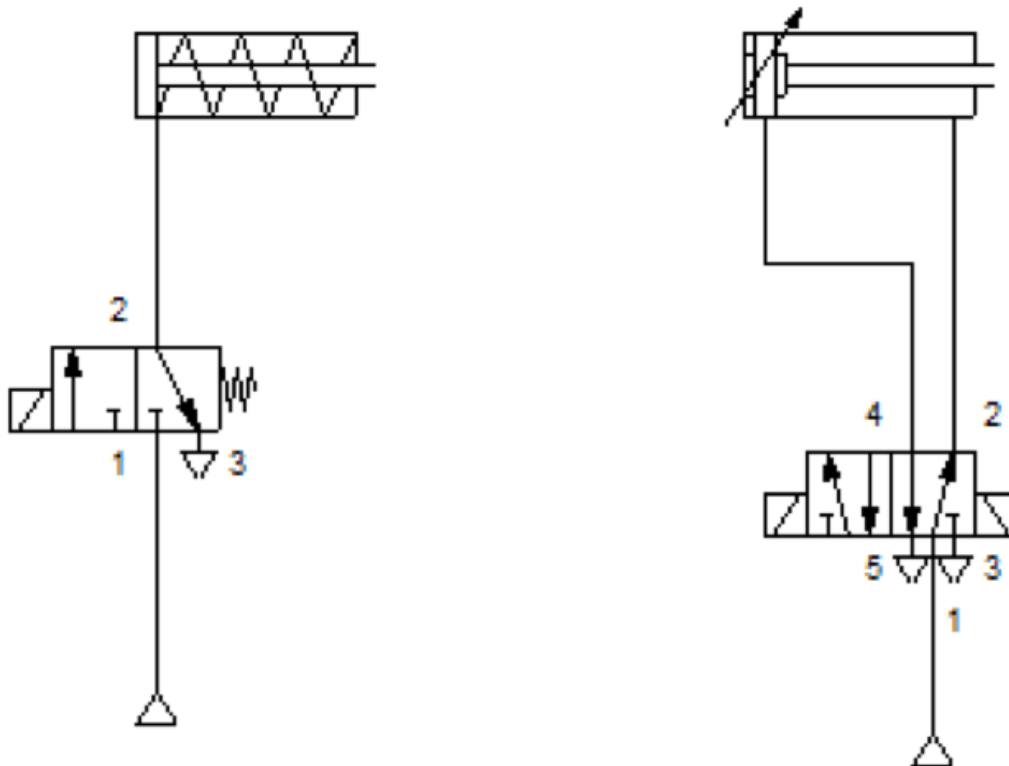


Figura 2.34: (Izquierda) Sistema monoestable: válvula de 3/2 vías, accionamiento por bobina, reposición por muelle (Derecha) Sistema biestable: válvula de 5/2 vías, accionamiento por bobina.

### 2.3.5 Control de sistemas neumáticos

Se puede controlar el ciclo expansión/compresión de un **cilindro de simple efecto** con una válvula 3/2, como se aprecia en la Fig. 2.35<sup>22</sup>

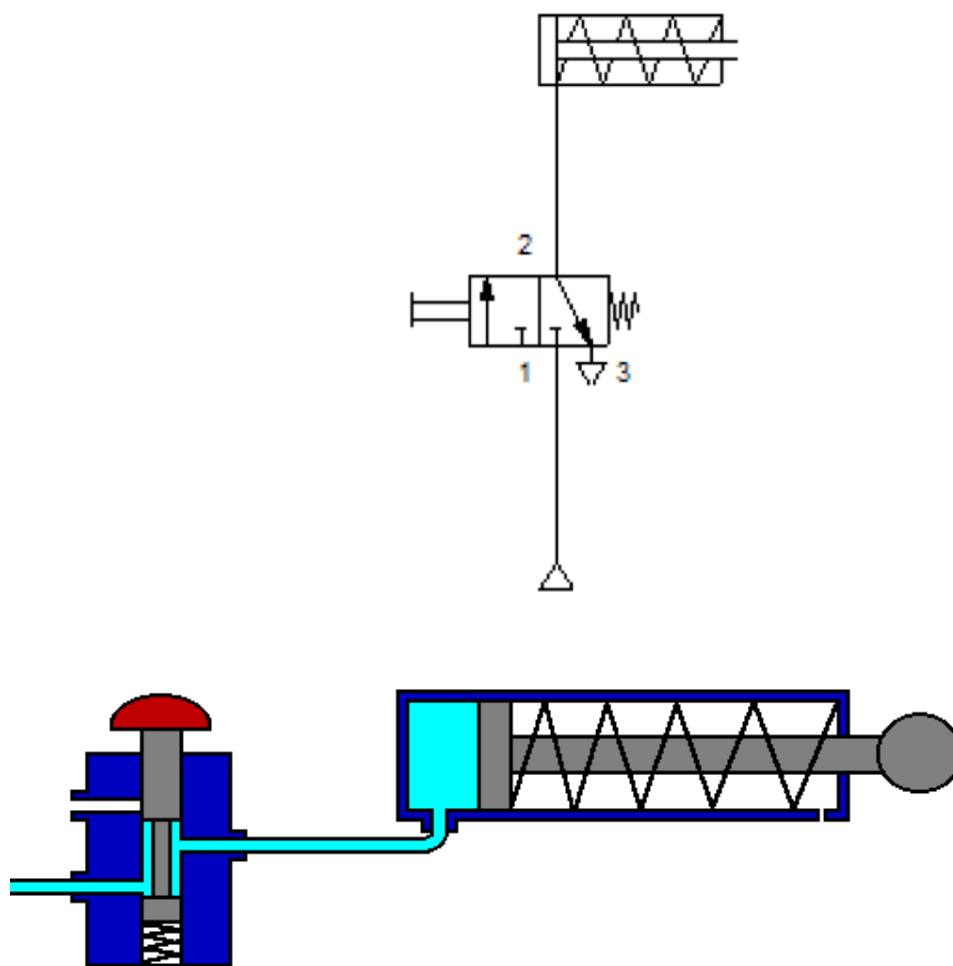


Figura 2.35: Cilindro neumático de doble efecto y válvula 3/2

Se puede controlar el ciclo expansión/compresión de un **cilindro de doble efecto** con una válvula 5/2 o 4/2, como muestra la Fig. 2.36.

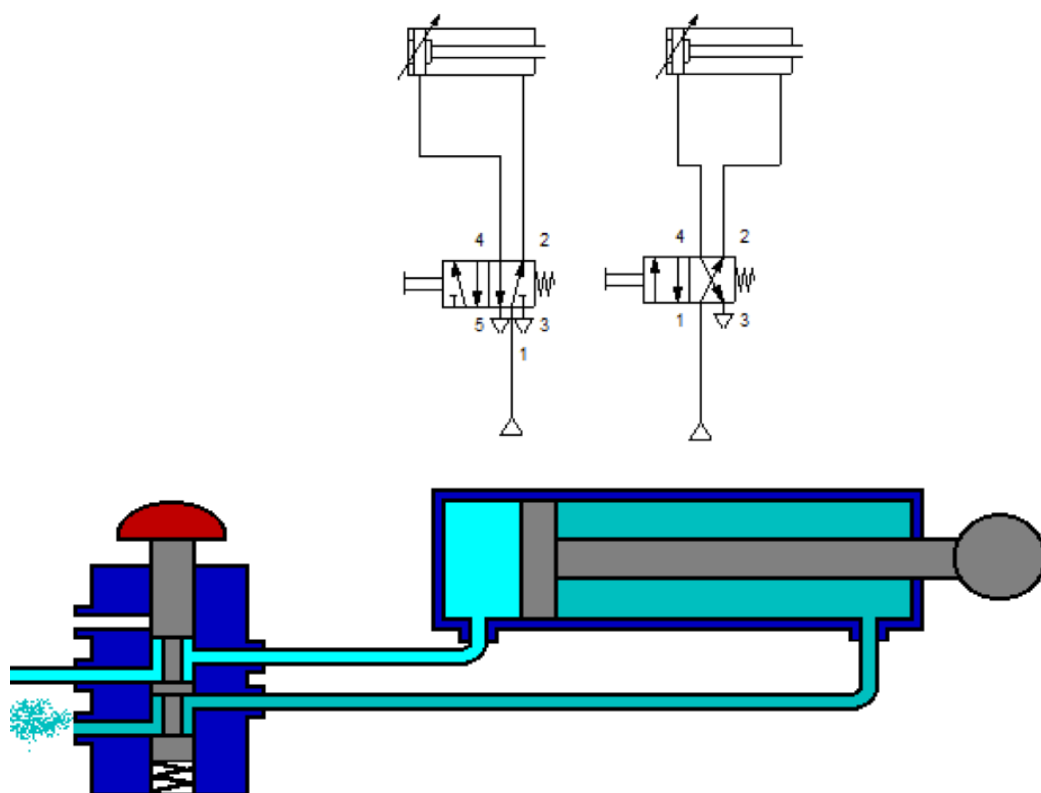


Figura 2.36: Cilindro neumático de doble efecto y válvulas 4/2 y 5/2

Se pueden realizar **funciones lógicas** combinando válvulas y usando válvulas especiales como la de simultaneidad y la selectora. A modo de ejemplo, en la Fig. 2.37 se implementa una función AND con válvulas 3/2.

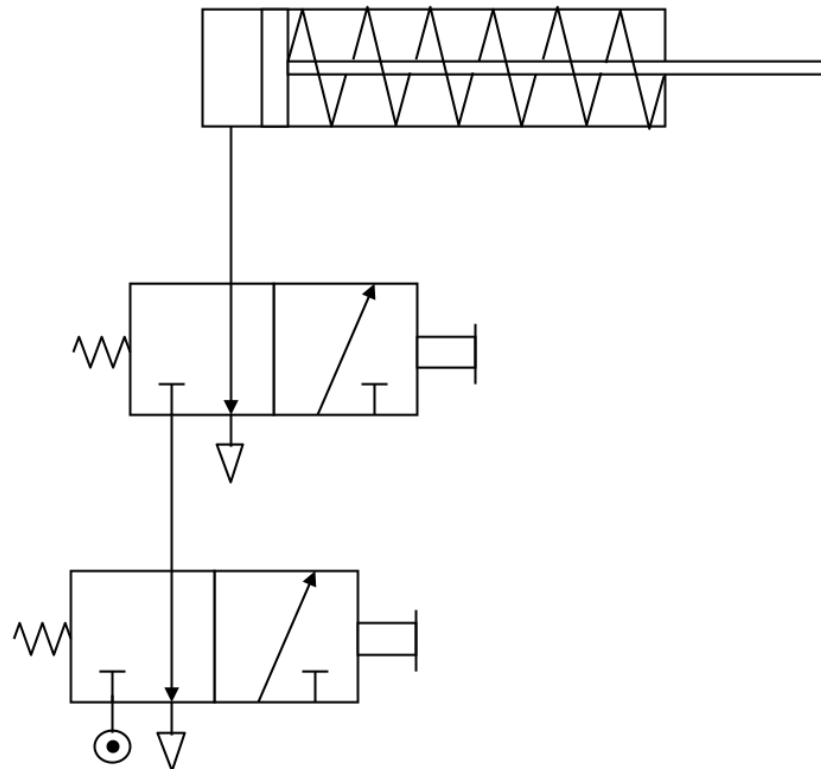


Figura 2.37: Implementación de la función lógica AND mediante válvulas neumáticas 3/2 monostables de accionamiento manual

## 2.3.6 Motores neumáticos

Se utilizan cuando es necesario lograr giros continuos. Las ventajas de estos motores son su buena relación potencia-peso, así como su reducido peso y ausencia de problemas de sobrecalentamiento ante sobrecargas. La mayoría de los motores neumáticos son de paletas, aunque también existen aquellos que basan su funcionamiento en el uso de pistones o en una turbina. En el siguiente vídeo se muestra un ejemplo de motores neumáticos:

## Referencias

Platero, C., *Apuntes de Regulación Automática*, 2012.

21. Tomado de: <http://igvaldemora.org/blog/tecnologia/wp-content/uploads/2011/03/apuntes-de-circuitos-neum%C3%A1ticos-completo-9-10.pdf>

22. Fuente: <http://palseas.freecluster.eu/Elementos.neumaticos.htm>

## 2.4 Actuadores hidráulicos

Los sistemas hidráulicos tienen un principio de funcionamiento parecido a los neumáticos. Trabajan a partir de la compresión de un fluido, en este caso un líquido. Como actuadores principales encontramos los cilindros y los motores hidráulicos.

Los actuadores hidráulicos se emplean cuando se necesita una potencia elevada. Por eso se pueden ver en gruas y excavadoras. Además, permiten un control preciso y rápido. Sin embargo, los hidráulicos requieren de instalaciones complejas para su funcionamiento, así como de mantenimiento periódico para prevenir fugas. También necesitan un circuito de retorno, cosa que no ocurre en los sistemas neumáticos.



Figura 2.38: Ejemplo de actuadores hidráulicos: excavadora, motor, grua