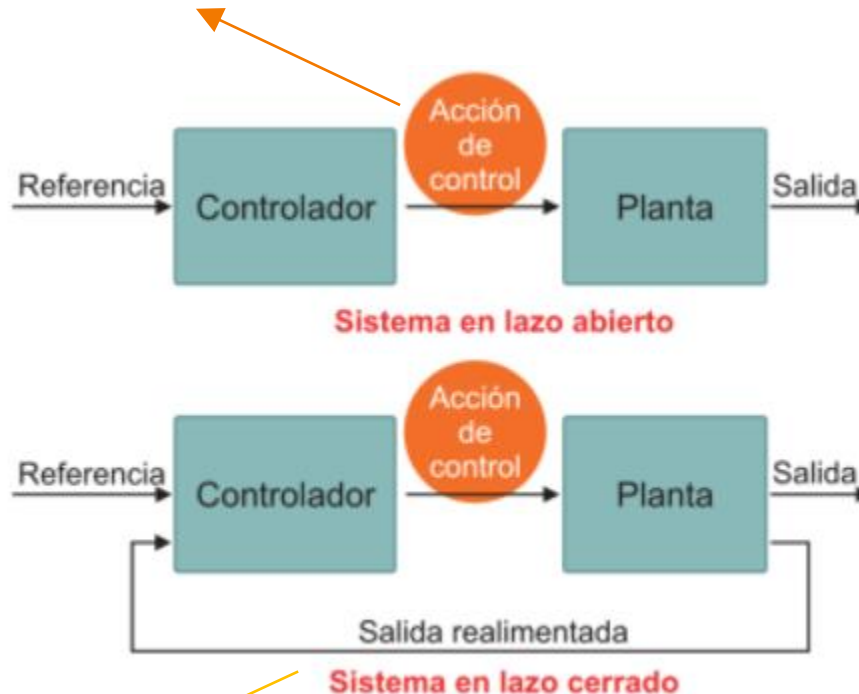


## Tema 4. Sensores y Actuadores Industriales

Los **actuadores** determinan la forma de actuar sobre el sistema (*músculos del proceso*).

Constituyen la “**acción de control**” como etapa posterior al controlador y previa a la planta.

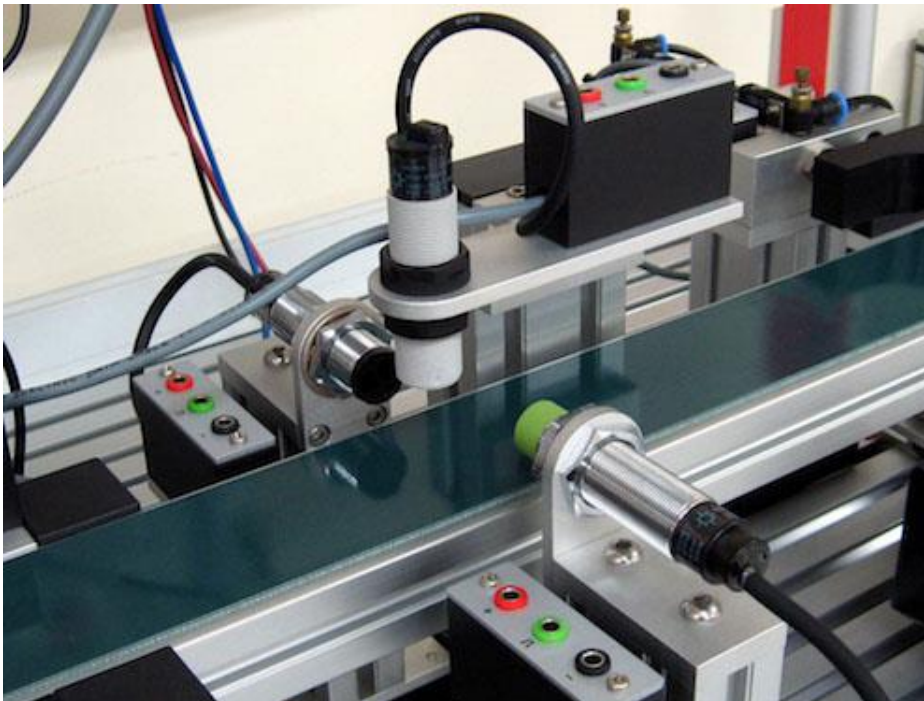


Los **sensores** son los *ojos* del sistema, que le permiten *ver qué está pasando*.

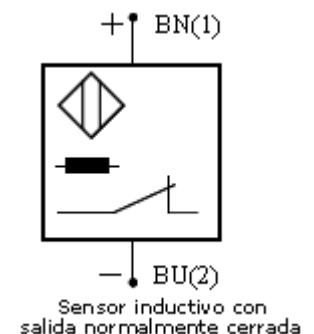
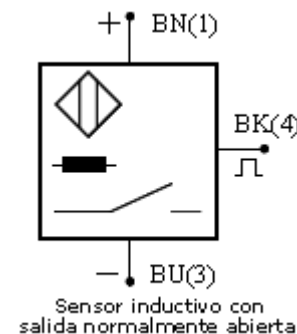
Se disponen en sistemas de control de **lazo cerrado**, para medir la salida y compararla con la entrada. El controlador utiliza dicho valor para **reducir el error** y conseguir la salida deseada.

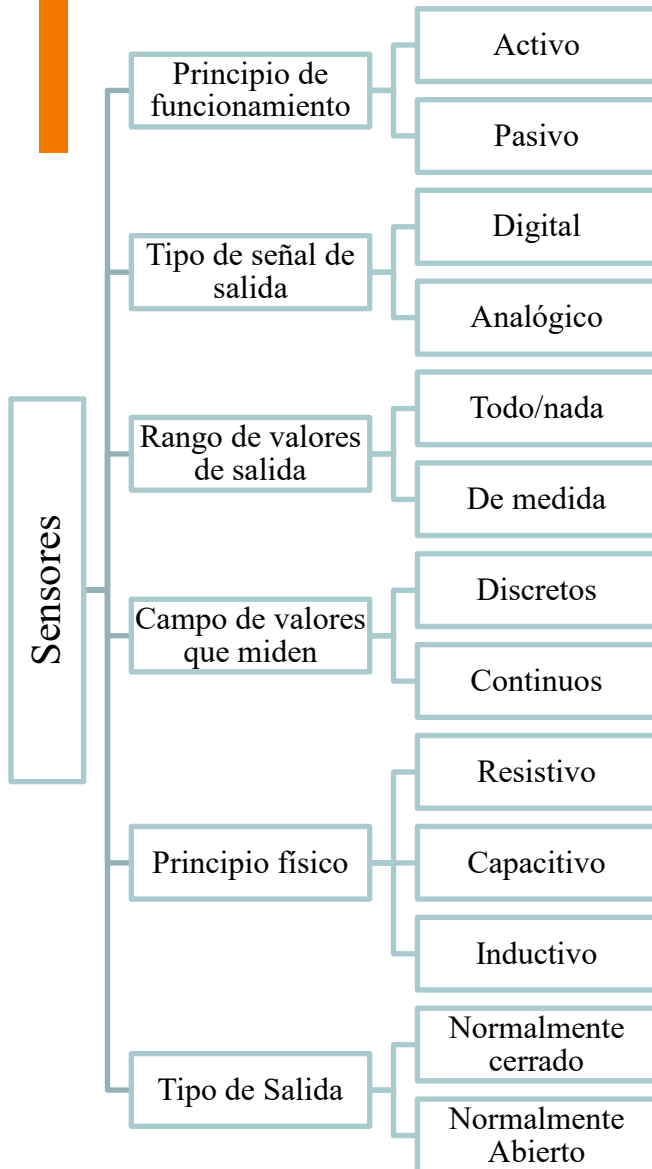
**Definición:** Dispositivo que proporciona información sobre una **variable física o química** de la parte operativa de un proceso industrial

Dichas variables **no suelen ser eléctricas**: temperatura, posición, velocidad, presión, nivel de llenado, pH, fuerza, par, tipo de material, color, presencia de pieza, intrusión en zona restringida...

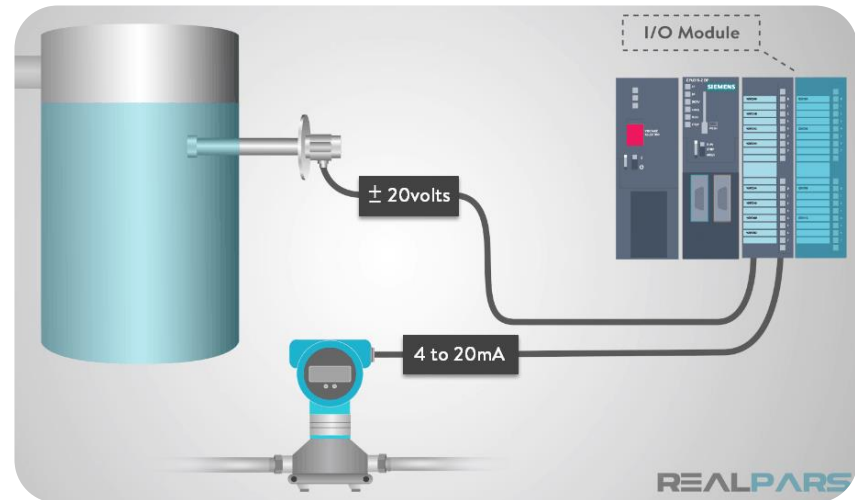


- ✓ Los sensores industriales deben cumplir la **normas técnicas y de seguridad industriales** (ISO / UNE)
- ✓ Usan **designación y simbología estandarizada**





Existen otros criterios no reflejados: **tipo de variable que miden** (mecánico, químico, óptico, magnético, ...), **configuración eléctrica** (PNP, NPN...),



El módulo de entradas de un autómata programable viene determinado por el tipo de señal que generan los sensores: analógicos o digitales.



Aspecto clave en un entorno industrial. Regulado por la  
**norma IEC 60529**

IP- [ ] [ ]

International Protection

**Símbolo 1:** Nivel de protección contra el ingreso de objetos sólidos.

**Símbolo 2:** Nivel de protección contra el ingreso de agua.

## Guía rápida sobre Ingress Protection

### Sólidos

1	2	3	4	5	6
					
Objetos sólidos de más de 50 mm, como la palma de la mano.	Objetos sólidos de más de 12,5 mm, como un dedo.	Objetos sólidos de más de 2,5 mm, como un destornillador.	Objetos sólidos de más de 1 mm, como un cable.	Entrada de polvo restringida. No afecta el funcionamiento del actuador.	El polvo no entra en el dispositivo.

### Ejemplo de codificación

IP 54

Ingress Protection

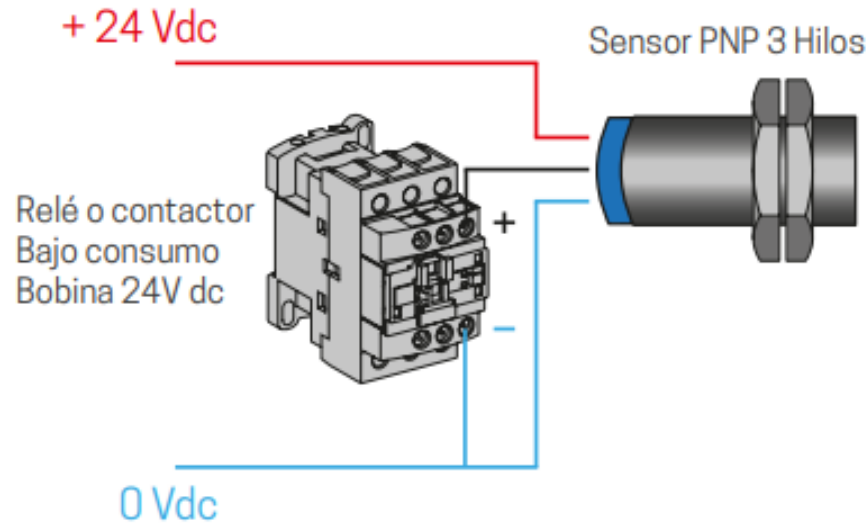
Sólidos

Líquidos

### Líquidos

1	2	3	4	5	6	7	8
							
Goteo vertical.	Goteo vertical con el actuador inclinado 15°.	Rociada de agua por debajo de los 60°.	Rociada de agua desde cualquier ángulo.	Chorros de agua.	Chorros de agua potentes.	Inmersión a 15 cm - 100 cm durante 30 minutos.	Inmersión en condiciones más duras que para el IPX7.

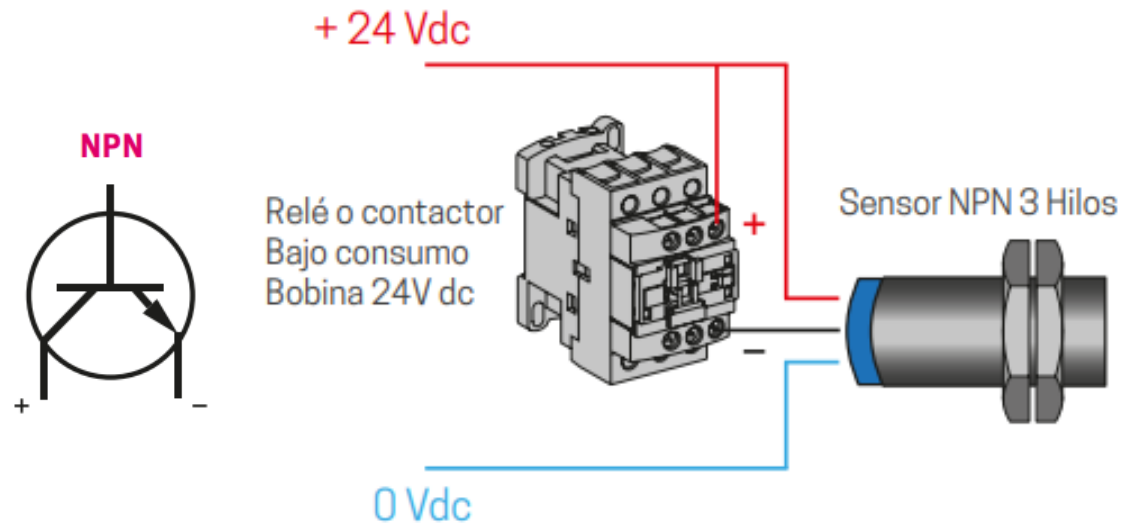
## Cableado PNP 3 Hilos



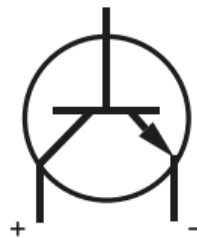
## PNP

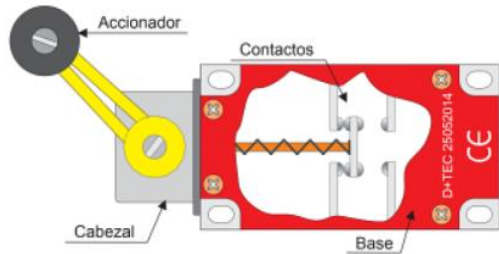


## Cableado NPN 3 Hilos



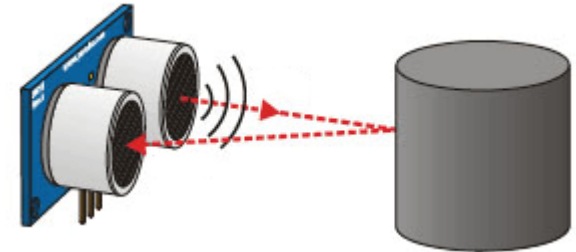
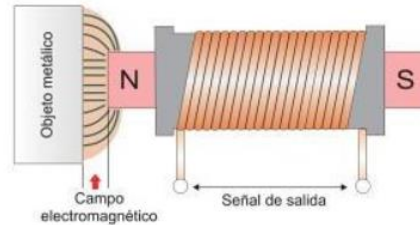
## NPN



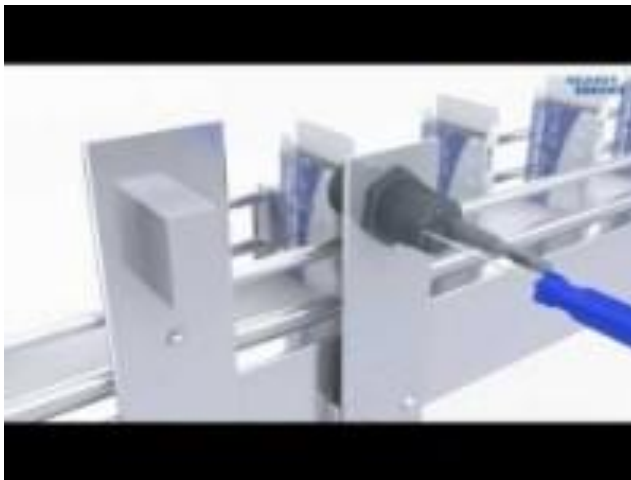


**Final de  
carrera**

**Sensor  
inductivo**



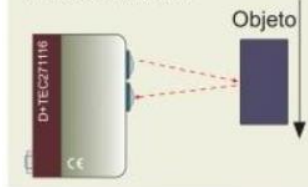
**Sensor ultrasonidos**



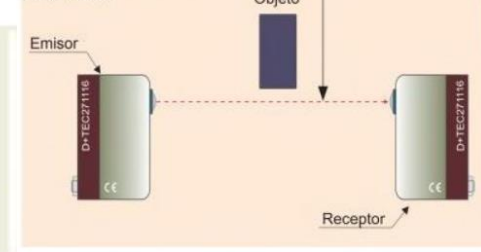
**Sensor capacitivo**

**Sensores  
ópticos**

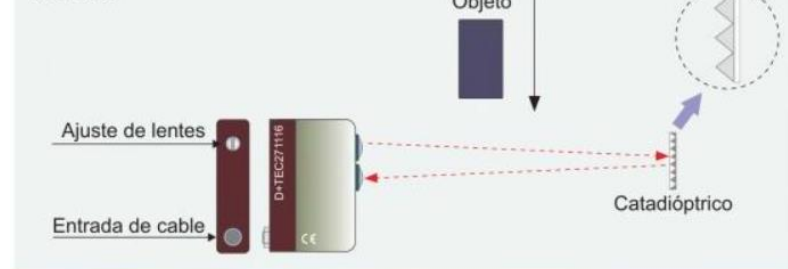
**Proximidad**



**Barrera**

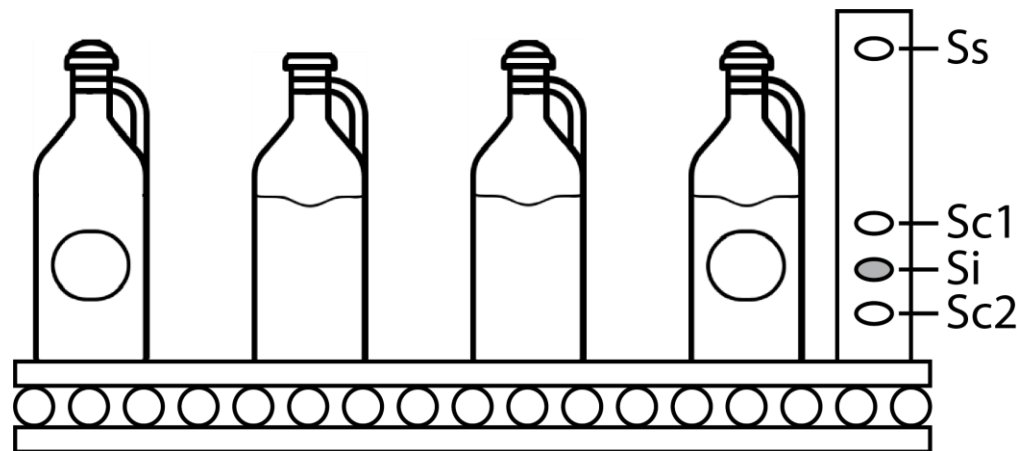


**Réflex**



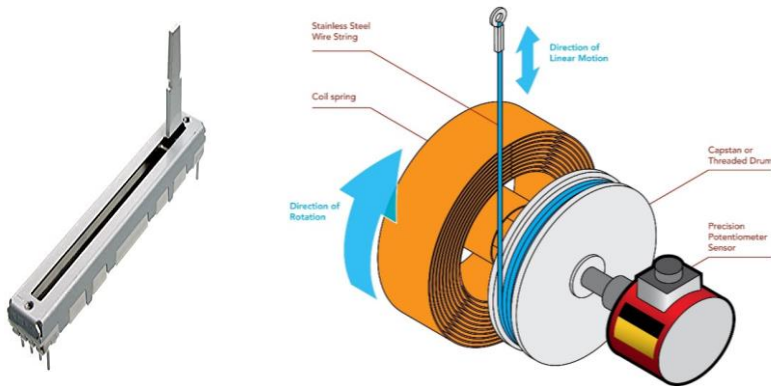
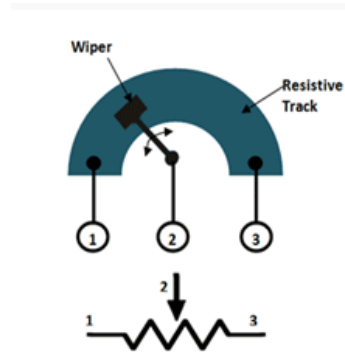
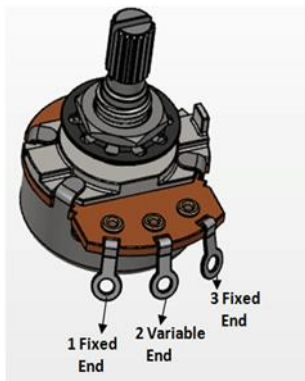
**Ejercicio:** Se pide diseñar el sistema de sensores para la etapa de control de calidad de un sistema de producción de botellas de aceite de oliva.

El propósito de este sistema es comprobar que el producto final se encuentra correctamente dispuesto antes del proceso de envasado y paletizado del mismo. Para ello se debe comprobar que la botella que va a ser empaquetada se encuentra llena de aceite y con el dispositivo de cierre colocado. Además, de manera aleatoria, algunas botellas deberán pasar a un proceso de control sanitario. Estas botellas estarán marcadas con una etiqueta metálica. Debe tener en cuenta que las botellas utilizadas serán transparentes y delicadas, por lo que se debe evitar el contacto directo con las mismas. ¿Qué conjunto de sensores y en que disposición los utilizarías?

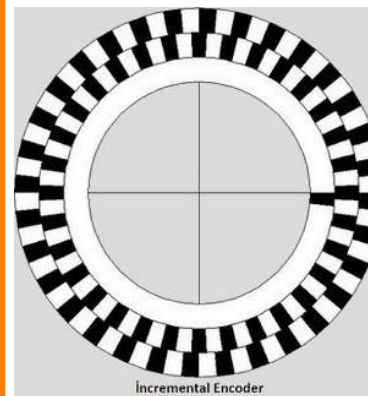
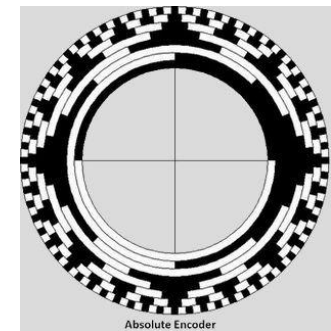
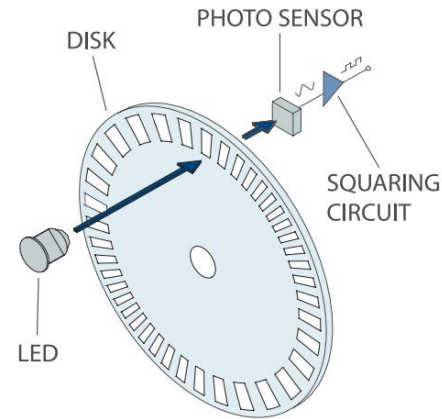




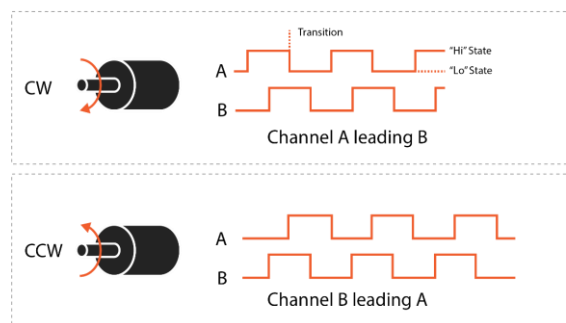
## Potenciómetros resistivos



## Encoders ópticos

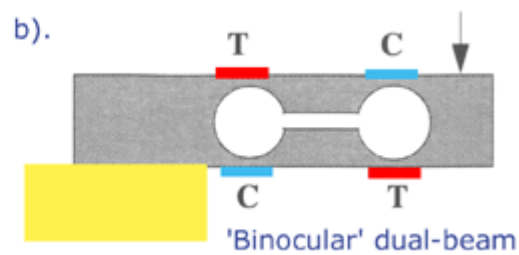
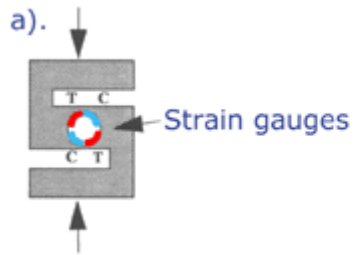
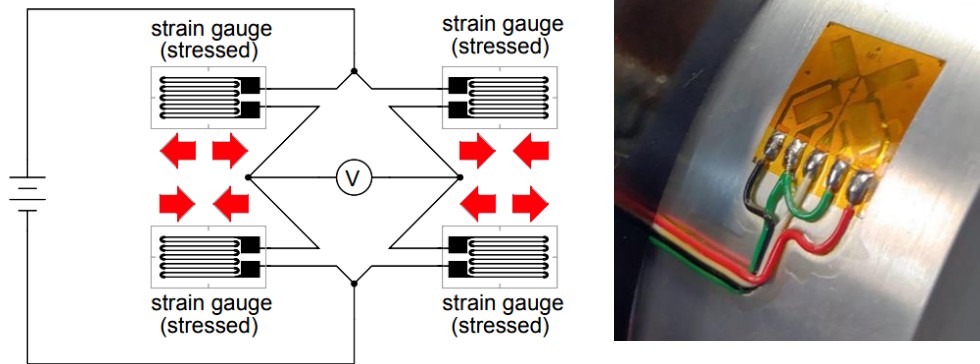


### QUADRATURE

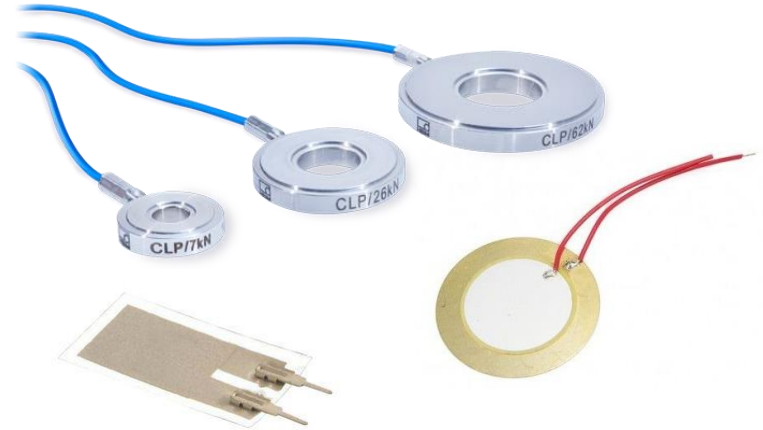


## Galgas extensiométricas: deformación genera cambio de resistencia

Full-bridge strain gauge circuit



## Sensores piezoeléctricos: compresión genera corriente

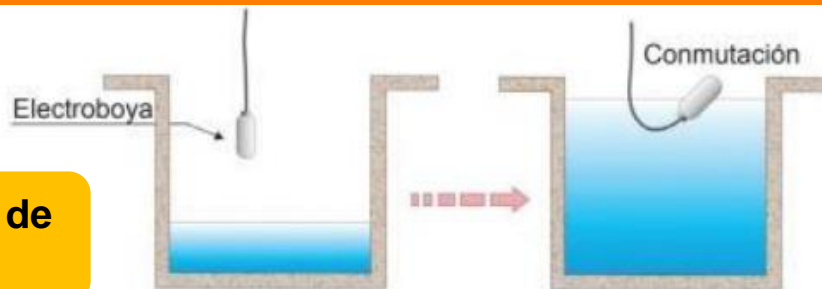


## Sensores resistivos: compresión genera cambios de resistencia

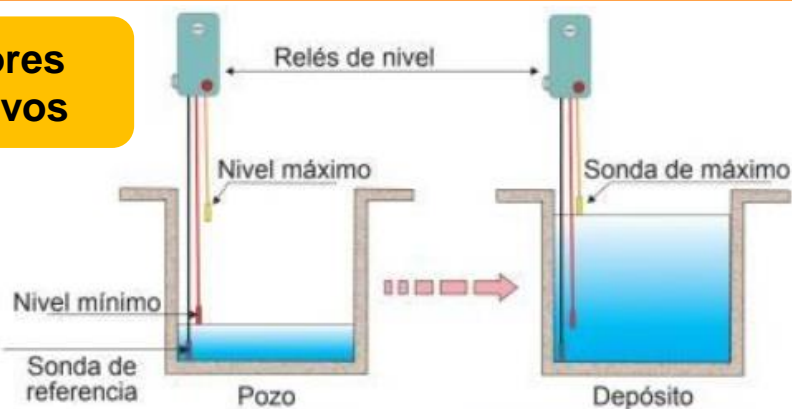


Estos dispositivos también pueden emplearse como **sensores de aceleración**:  $\Sigma F=ma$ .

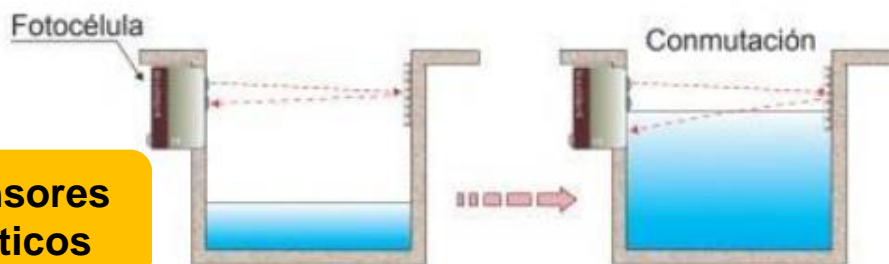
## Interruptores de flotador



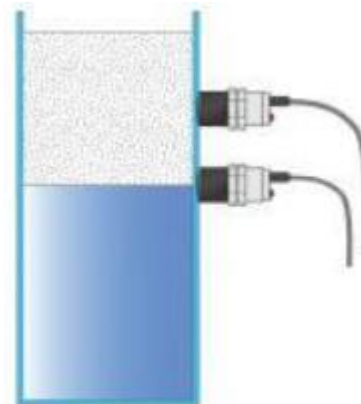
## Sensores resistivos



## Sensores ópticos



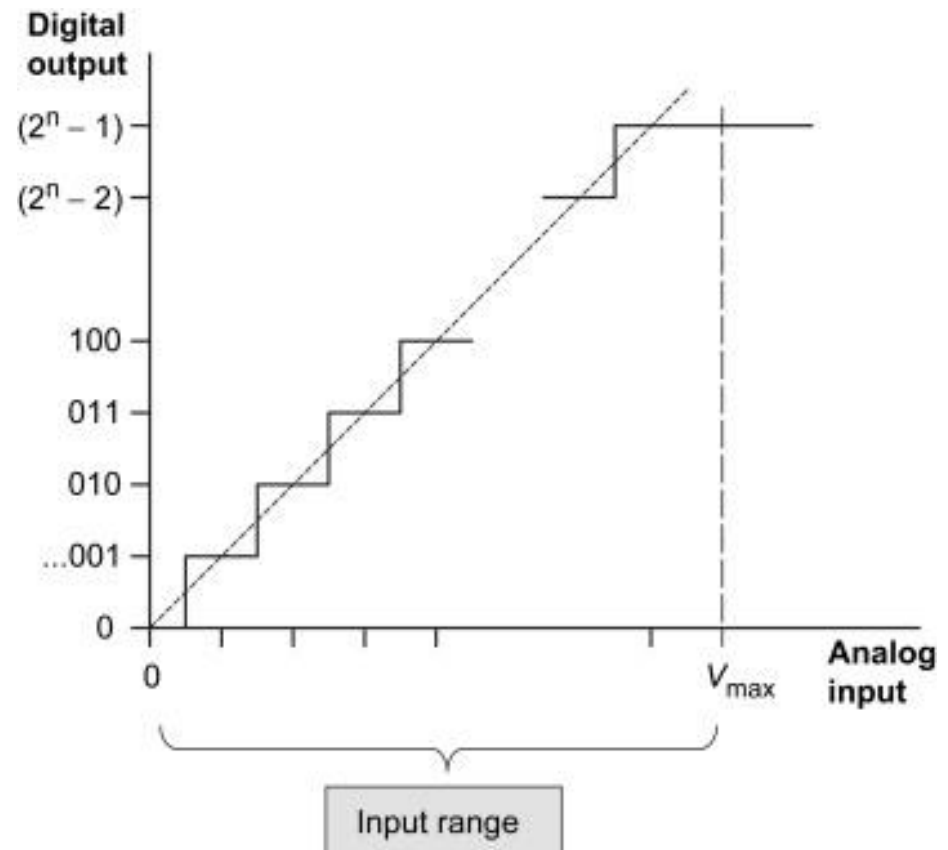
## Sensores capacitivos



Los **conversores analógico/digitales** (Digital - Analog Converter, DAC) codifican información analógica en valores binarios para poder ser procesada mediante técnicas digitales.

Implica pérdida de información puesto que se pasa a una representación discreta de una señal continua:

- **Resolución de un DAC:** es la cantidad mínima de información analógica que se puede procesar, es la representado por el cambio de una cuenta de la expresión binaria.
- Depende del número de bits del conversor y del rango analógico de entrada del conversor.



**Ejemplo:** Calcula la resolución de un conversor analógico/digital de 8 bits y tensión de referencia de 5V:

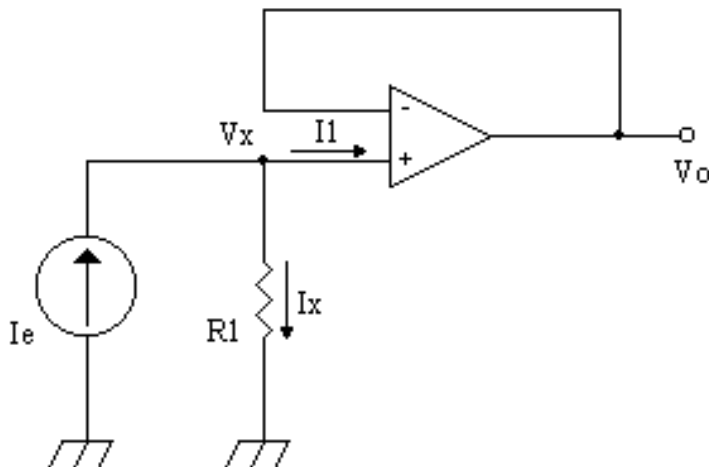
$$R = \frac{Tension}{2^n - 1 \text{ estados}} = \frac{5V}{2^8 - 1 \text{ estados}} = \frac{5V}{255 \text{ estados}}$$

$$R = 0.02 \text{ V/estado}$$

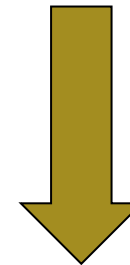


**Ejemplo 2:** Analiza la resolución de un sistema de monitorización de temperatura en una planta de fabricación de ladrillos. Los equipos involucrados en la planta son:

- PC industrial con tarjeta de adquisición de datos. Su DAC tiene una tensión de referencia de 24V y 12bits
- Sonda de temperatura con un rango de medición de 20 a 120°C y salida en corriente de 4 a 20mA.
- Etapa de conversión I/V basada en resistencia de 1k $\Omega$



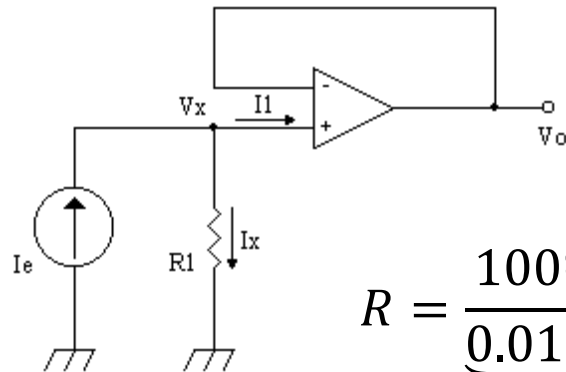
¿Unidades de la resolución?



°C/estado

**Ejemplo 2:** Analiza la resolución de un sistema de monitorización de temperatura en una planta de fabricación de ladrillos. Los equipos involucrados en la planta son:

- PC industrial con tarjeta de adquisición de datos. Su DAC tiene una tensión de referencia de 24V y 12bits
- Sonda de temperatura con un rango de medición de 20 a 120°C y salida en corriente de 4 a 20mA.
- Etapa de conversión I/V basada en resistencia de 1kΩ

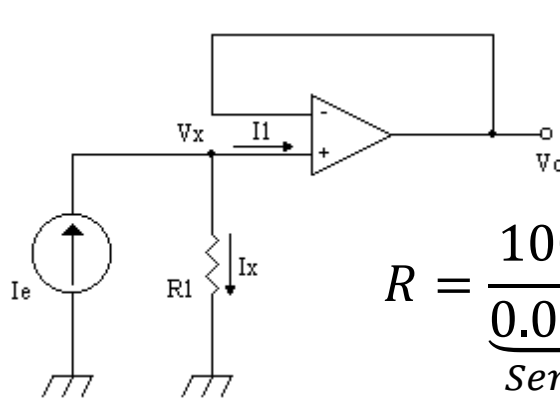


$$R = \underbrace{\frac{\text{rango } T^a (^{\circ}C)}{\text{rango } I (A)}}_{\text{Sensor}} \cdot \underbrace{\frac{\text{corriente}(A)}{\text{tension}(V)}}_{\text{Conversión I/V}} \cdot \underbrace{\frac{\text{tension}(V)}{2^n - 1 (\text{estados})}}_{\text{DAC}}$$

$$R = \underbrace{\frac{100^{\circ}C}{0.016A}}_{\text{Sensor}} \cdot \underbrace{\frac{1A}{1kV}}_{\text{Conversión I/V}} \cdot \underbrace{\frac{24V}{2^{12} - 1 (\text{estados})}}_{\text{DAC}} = 0.037^{\circ}/\text{estado}$$

**Ejemplo 2b:** Para el mismo sistema de monitorización de temperatura en una planta de fabricación de ladrillos, se necesita una resolución de 0.01°/estado.

- ¿Cuál es la resistencia que habría que utilizar en la conversión V/I?.
- ¿Es factible la solución propuesta?



$$R = \frac{\text{rango } T^a (^{\circ}C)}{\text{rango } I (A)} \cdot \frac{\text{corriente}(A)}{\text{tension}(V)} \cdot \frac{\text{tension}(V)}{2^n - 1 (\text{estados})}$$

$$R = \frac{100^{\circ}C}{0.016A} \cdot \frac{1A}{R_i V} \cdot \frac{24V}{2^{12} - 1 (\text{estados})} = 0.01 ^{\circ}C/\text{estado}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Sensor}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Conversión I/V}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{DAC}}$

$$R_i = 3.6k\Omega$$

$$V_{max} = I_{max}R_i = 20mA \cdot 3.6k\Omega = 72V > 24V \text{ DAC}$$

**Solución no válida**

**Ejemplo 2c:** Para el mismo sistema de monitorización de temperatura en una planta de fabricación de ladrillos, se necesita una resolución de 0.01°/estado.

- ¿Cuál es el número de bits necesario en el DAC?

$$R = \underbrace{\frac{\text{rango } T^a (^{\circ}C)}{\text{rango } I (A)}}_{\text{Sensor}} \cdot \underbrace{\frac{\text{corriente}(A)}{\text{tension}(V)}}_{\text{Conversión I/V}} \cdot \underbrace{\frac{\text{tension}(V)}{2^n - 1 (\text{estados})}}_{\text{DAC}}$$

$$R = \underbrace{\frac{100^{\circ}C}{0.016A}}_{\text{Sensor}} \cdot \underbrace{\frac{1A}{1kV}}_{\text{Conversión I/V}} \cdot \underbrace{\frac{24V}{2^n - 1 (\text{estados})}}_{\text{DAC}} = 0.01^{\circ}C/\text{estado}$$

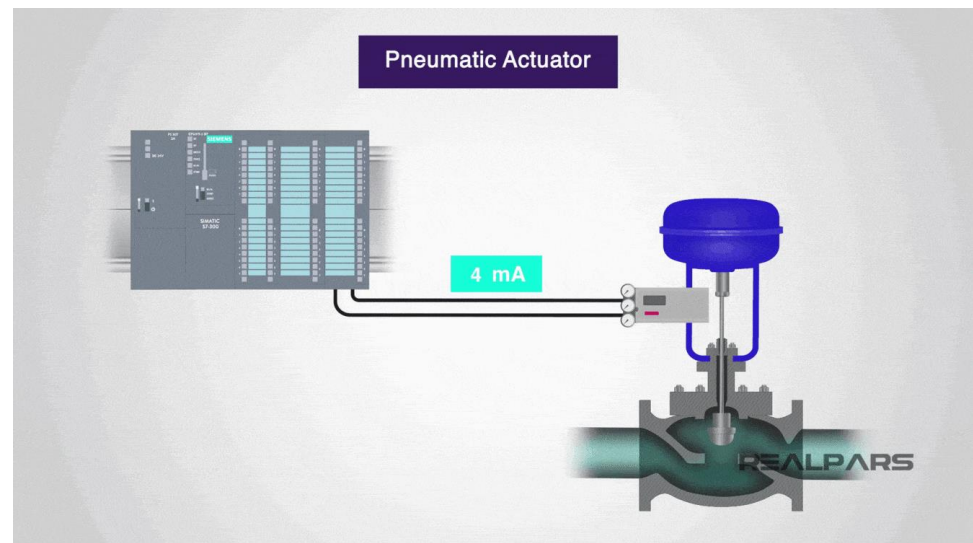
$$2^n - 1 = 150000 \Rightarrow n = 17.19\text{bits} \approx 18\text{bits}$$

Un **accionador o actuador** es un dispositivo que **convierte una magnitud eléctrica en una salida**, generalmente mecánica, que puede **provocar un efecto controlado** sobre el proceso automatizado

En la industria existe una amplia variedad de actuadores. Según la **fuentes de energía**, se pueden clasificar, principalmente, por:

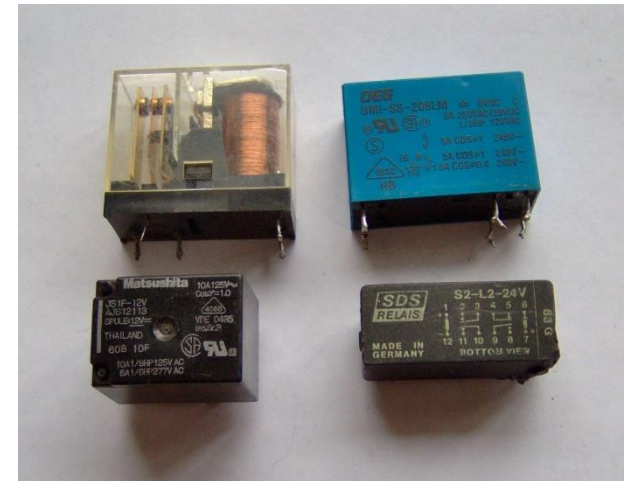
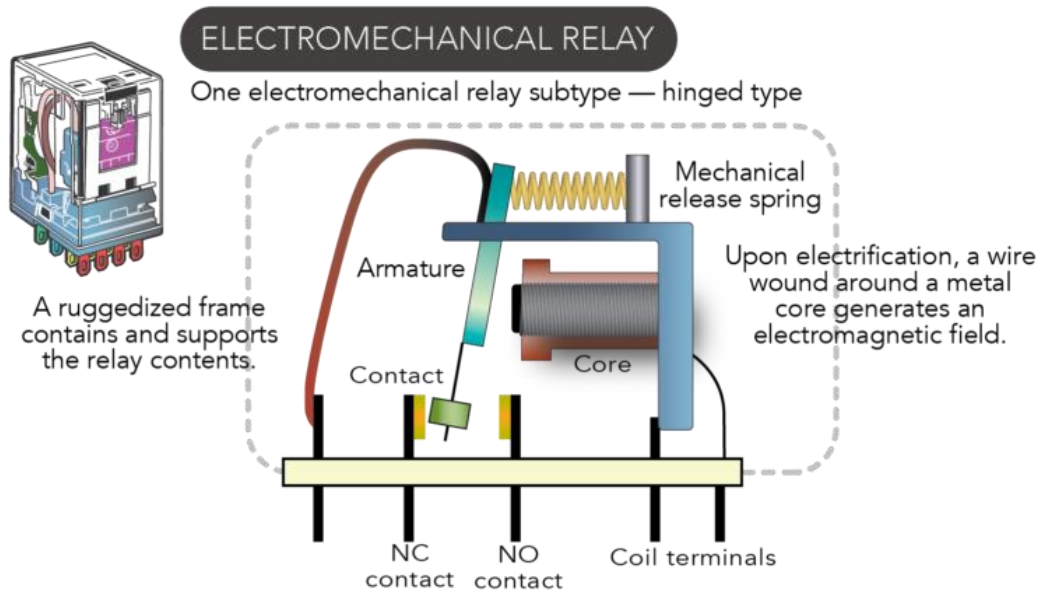
- **Eléctricos:** relés, contactores, motores DC o AC, motores PaP, servos
- **Hidráulicos:** uso de un fluido (aceite): bombas, cilindros...
- **Neumáticos:** aire comprimido. Válvulas, cilindros...

Los actuadores se conectan a los **módulos de salida de un PLC** (salidas de tensión o corriente de tipo analógico, digitales y/o a relé)



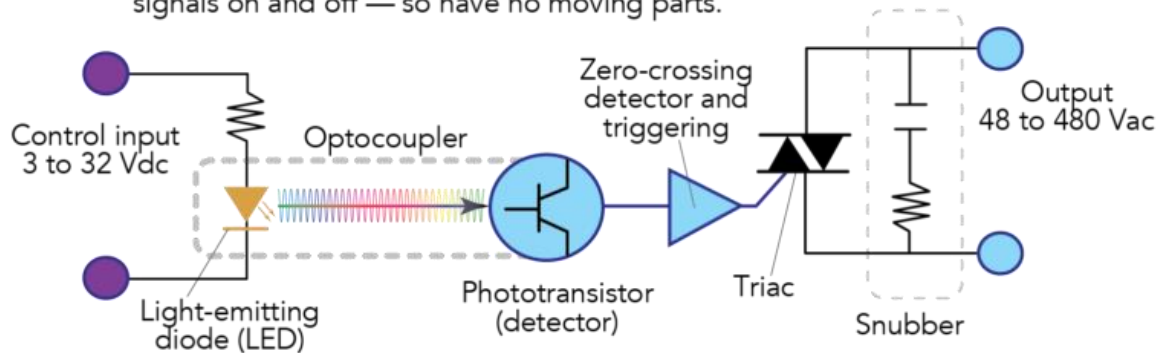


- **De tipo electromecánico:** Actuadores muy comunes, basados en una bobina (electroimán) que al ser energizada acciona los contactos de salida mecánicamente.
- Se usan para conmutar **potencias eléctricas bajas o medias** (circuitos de control).
- **Vida útil limitada** (número de ciclos máximo)



- Relés de estado sólido (SSR).**  
 El circuito de entrada está basado en un **fotodiodo**, no una bobina.  
 Accionamiento mediante optoacoplador y transistor/triac.
- Ventajas:** Larga vida útil (gran número de conmutaciones), ausencia de ruido mecánico, insensible a las sacudidas...

SSRs use electronic subcomponents to switch signals on and off — so have no moving parts.



## Solid State Relay's



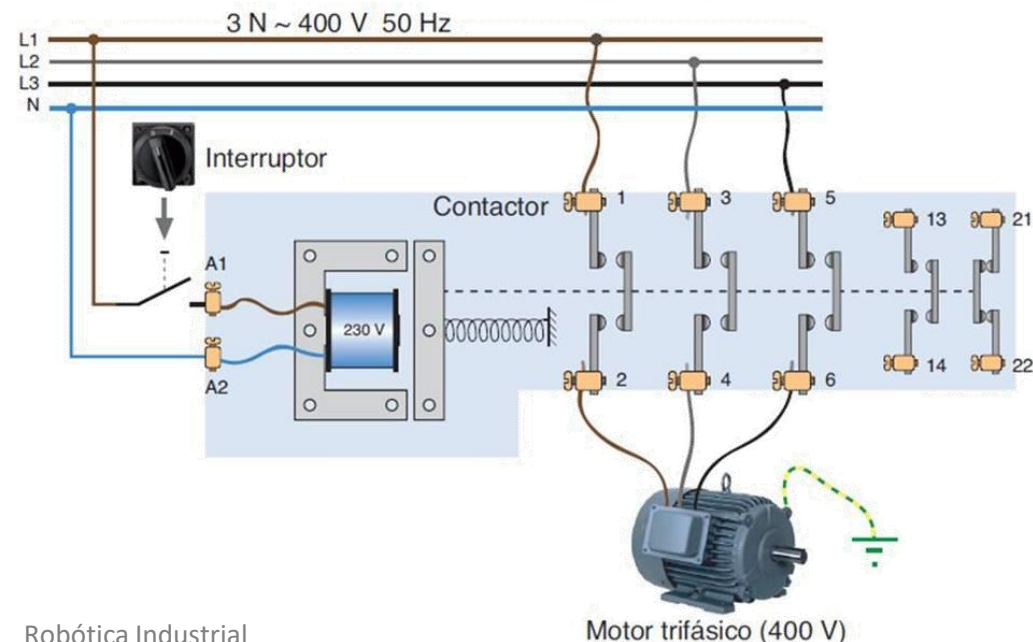
<https://industrial.omron.es/es/products/solid-state-relays>

- Actuador de maniobra basados en el **mismo principio de actuación** (generalmente electromecánica) que los relés
- Los **contactores** son relés que disponen de contactos para conmutar **potencias eléctricas elevadas (kW): circuitos de carga, acoplamiento de motores, etc.**
- Suelen disponer de **dos tipos de contactos de salida:** contactos de potencia y de contactos auxiliares
- Varias categorías** de servicio, poder de corte, etc.



CATEGORIA	APLICACIÓN PRÁCTICA
AC-1	Cargas no inductivas o poco inductivas. Resistencias. Hornos.
AC-2	Motores de anillos: corte durante el arranque.
AC-3	Motores de rotor en cortocircuito: corte a motor lanzado.
AC-4	Motores de rotor en cortocircuito: corte durante el arranque, inversión de marcha.
AC-5a	Lámparas de descarga.
AC-5b	Lámparas de incandescencia.
AC-6a	Transformadores.
AC-6b	Batería de condensadores.
AC-7a	Cargas obviamente inductivas para aplicaciones domésticas
AC-7b	Motores en aplicaciones domésticas.
AC-8a	Compresores rearme manual de sobrecarga.
AC-8b	Compresores rearme automático de sobrecarga.

CATEGORIA	APLICACIÓN PRÁCTICA
DC-1	Cargas no inductivas o poco inductivas. Resistencias. Hornos.
DC-3	Motores shunt: inversión en marcha, marcha a impulsos.
DC-5	Motores serie: inversión en marcha, marcha a impulsos.
DC-6	Lámparas de incandescencia



## Motores eléctricos

Corriente continua

Corriente alterna

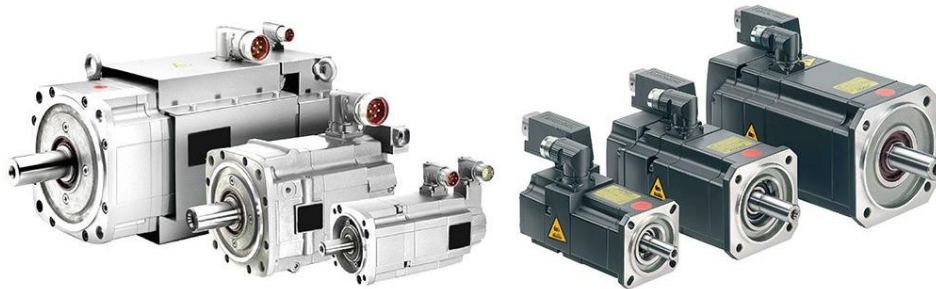
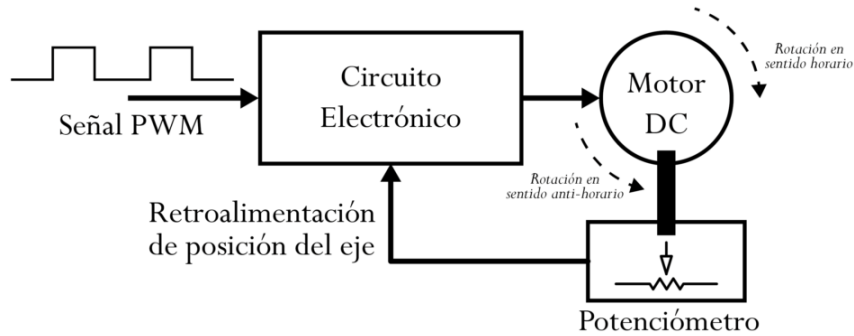
Síncronos  
Asíncronos

La velocidad depende de la tensión de alimentación.  
El par depende de la corriente

Velocidad determinada por la *frecuencia* de la alimentación, el par depende de la tensión.

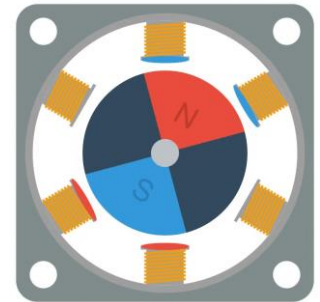
## Servomotores

### DIAGRAMA DE BLOQUE DEL SERVOMOTOR



## Motores paso a paso

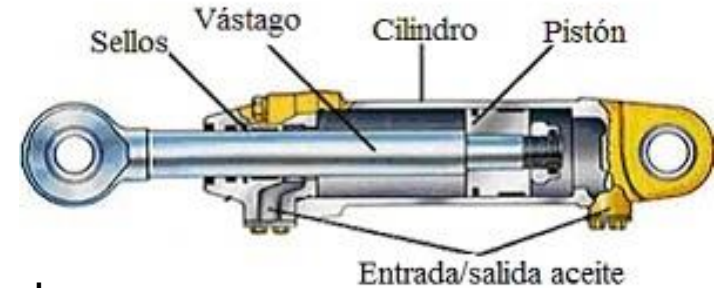
Paso Simple				
Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON





## Cilindros hidráulicos

- Transforman la presión de un fluido (aceite) en movimiento mecánico.
- Se fundamentan en un desplazamiento lineal de simple o doble efecto (una o ambas direcciones).



Magnitudes de fuerza elevadas, rápido, preciso y controlable en posición



Complicadas instalaciones, mantenimiento complejo, fugas y circuitos de retorno imprescindibles

## Motores hidráulicos

- Funcionamiento inverso al de las bombas: convierten presión hidráulica en par de torsión
- Entregan un par elevado a velocidades de giro pequeñas en comparación con sus homónimos eléctricos.





## Actuadores neumáticos. Características principales

- Utilizan la presión del aire para crear movimiento mecánico.
- **Ventajas:** Aire es barato, no inflamable y limpio.
- **Inconvenientes:** No genera fuerzas o pares tan grandes como un actuador hidráulico. Menor control de posición (el aire es comprimible)

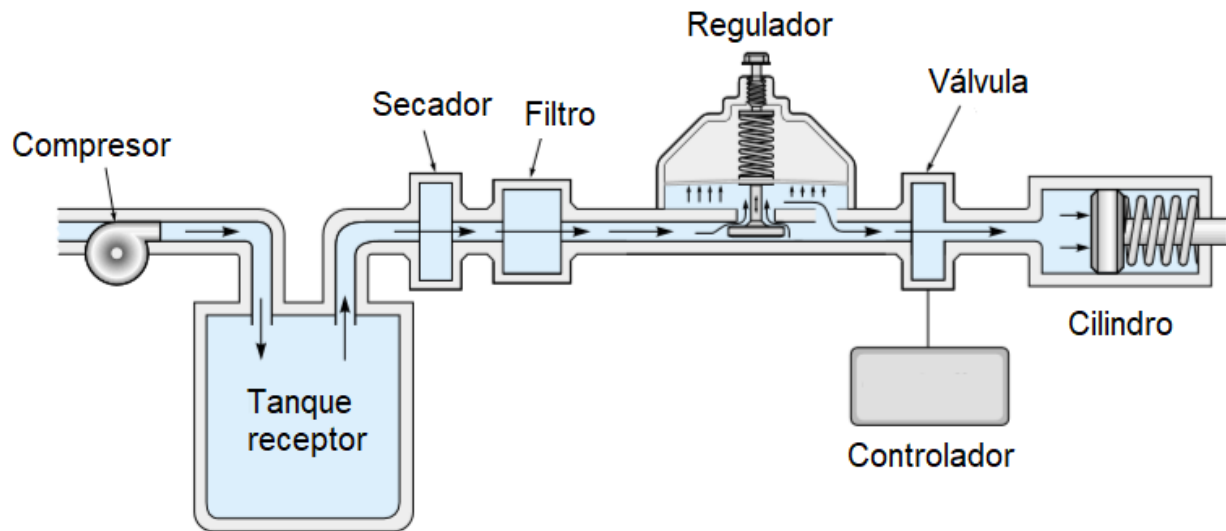
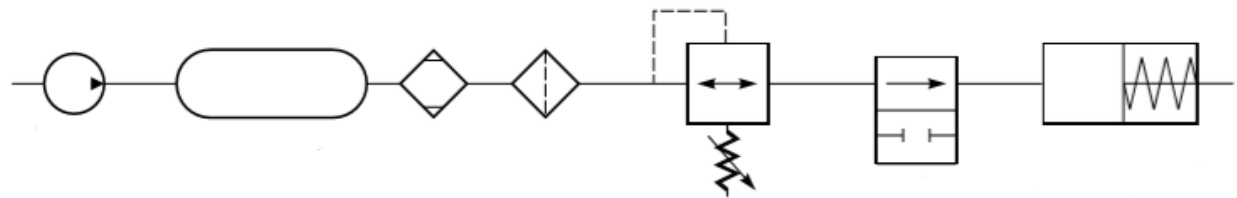
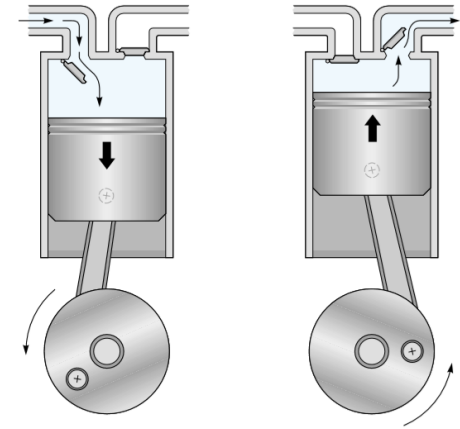


Diagrama neumático  
equivalente (símbolos  
estandarizados)



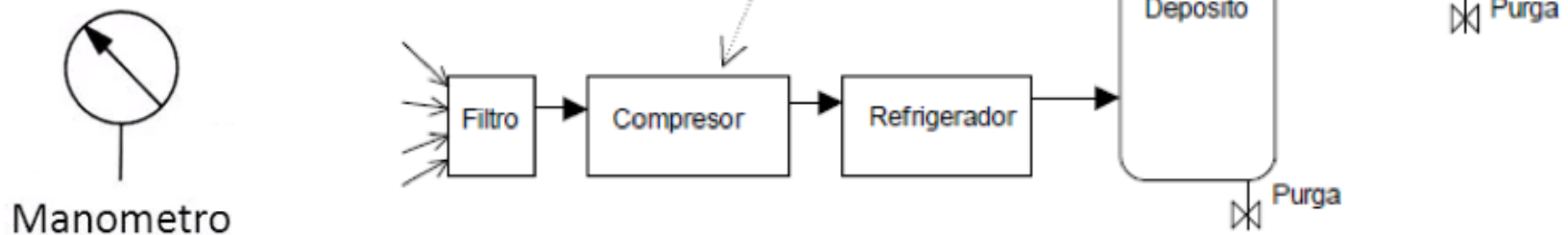
## Compresores neumáticos

- Bombea aire de la atmósfera a un **tanque receptor**.
- Tipo más común: **Compresor de émbolo**.
- Cuentan con **varias etapas**. A un mayor número,  $P_{\text{máx}}$  superiores.



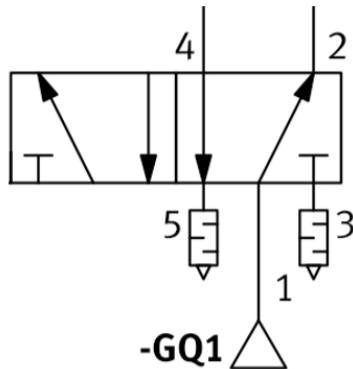
## Etapas de acondicionamiento y tratamiento del aire

- Filtrado y secado: Limpieza del aire (polvo, partículas, aceite, etc.).
- Refrigerado y regulación de presión.
- Etapa posterior:  
**Almacenamiento y distribución.**



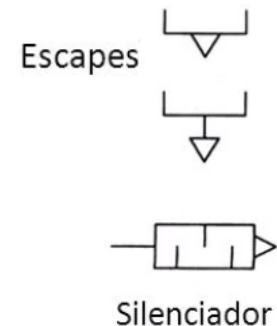
## Válvulas neumáticas (electroválvulas)

- **Preactuador** neumático: Genera la potencia suficiente (**recordemos, el PLC no es capaz**) para actuar sobre los accionamientos.
- **Elementos de mando**: Detienen, permiten o regulan flujo de aire.
- **Simbología estandarizada**:

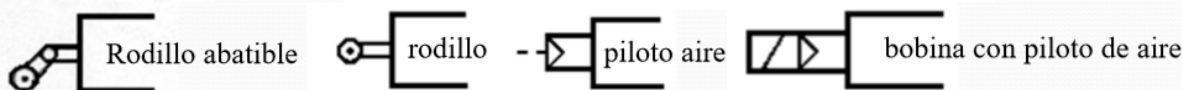
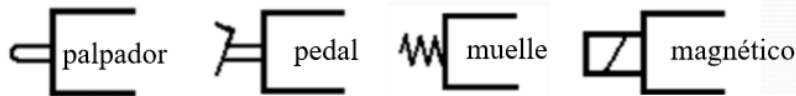


### X/Y: Vías y posiciones. Posición normal

- **Posiciones**: Número de cuadrados.
- **Vías**: Número de conexiones.
- Ejemplo: 5/2.
  - Vía 1: Alimentación aire comprimido
  - Vías 2 y 4: Salidas de trabajo
  - Vías 3 y 5: Escapes de aire



- **Tipos de accionamientos** para cambiar de posición la válvula:

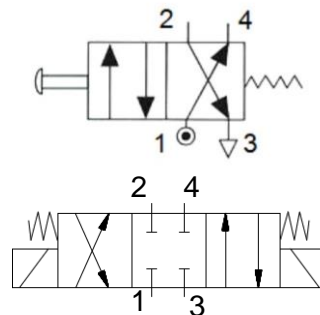


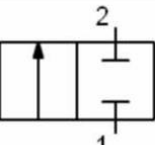
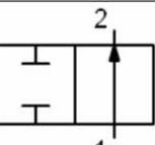
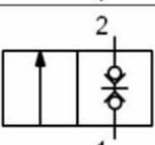
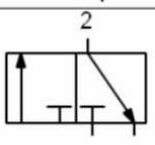
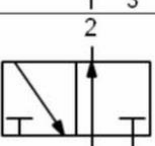
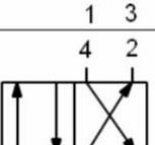
Las válvulas también se utilizan como detectores de final de carrera

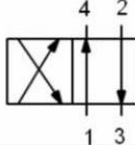
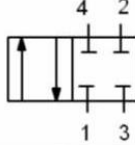
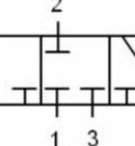
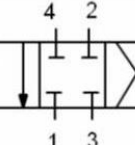
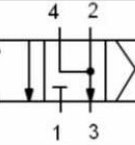
## Ejemplos de válvulas neumáticas:

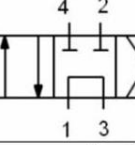
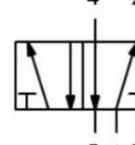
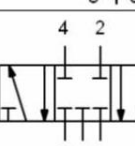
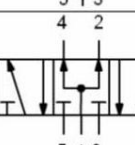
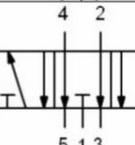
### X/Y son las Vías/Posiciones

- Posiciones (Y):** Número de cuadrados del símbolo.
- Vías (entradas y salidas - X):** Número de conexiones
- Posición normal o de reposo:** tiene marcadas externamente las conexiones y los números de vía



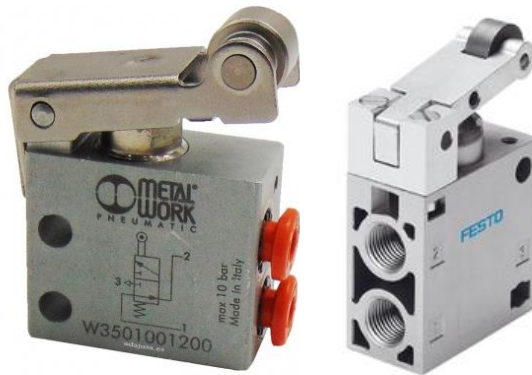
Símbolo	Descripción
	Válvula 2/2 en posición normalmente cerrada.
	Válvula 2/2 en posición normalmente abierta.
	Válvula 2/2 de asiento en posición normalmente cerrada.
	Válvula 3/2 en posición normalmente cerrada.
	Válvula 3/2 en posición normalmente abierta.
	Válvula 4/2.

	Válvula 4/2.
	Válvula 4/2 en posición normalmente cerrada.
	Válvula 3/3 en posición normalmente cerrada.
	Válvula 4/3 en posición normalmente cerrada.
	Válvula 4/3 en posición neutra escape.

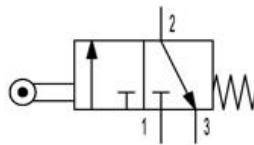
	Válvula 4/3 en posición central con circulación.
	Válvula 5/2.
	Válvula 5/3 en posición normalmente cerrada.
	Válvula 5/3 en posición normalmente abierta.
	Válvula 5/3 en posición de escape.

- Ejemplos comerciales de válvulas neumáticas:**

No todas las combinaciones de válvulas y accionamientos están disponibles en los catálogos.



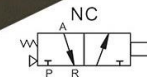
**Válvulas con  
final de carrera**



**Válvulas de accionamiento neumático**



**Válvulas con  
pulsador/interruptor**

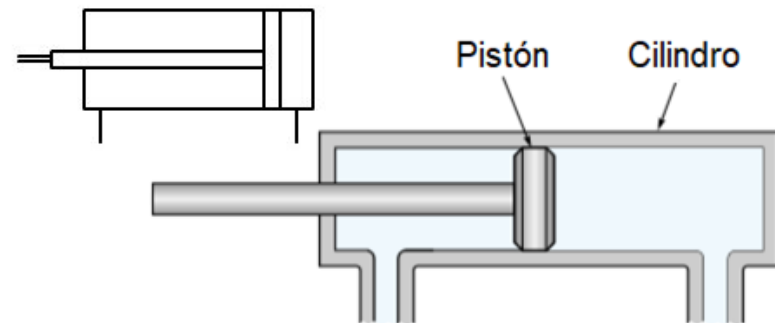
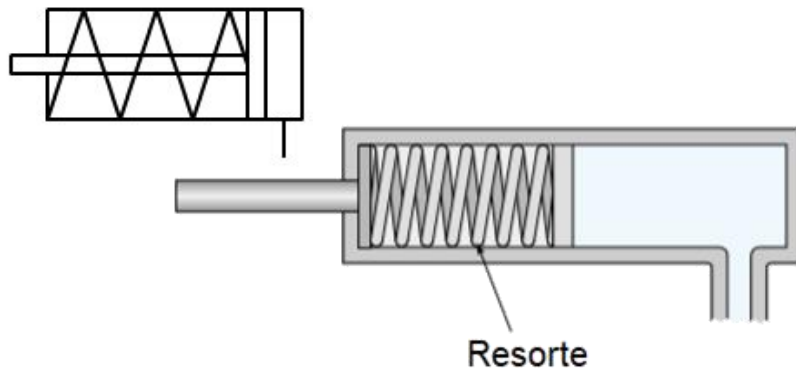


**Válvulas de accionamiento eléctrico**

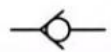


## Actuadores lineales: cilindros neumáticos

- Gran variedad en cuanto a forma y tamaños.
- Dos configuraciones básicas:
  - **Cilindro de efecto simple:** Se acciona en **una dirección** por la presión del aire y en sentido contrario a través de un muelle o resorte.
  - **Cilindro de doble efecto:** Se conecta a una válvula a través de dos tubos y se puede accionar en **cualquier dirección**.



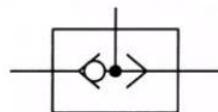
## Elementos auxiliares:



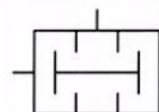
Válvula antirretorno



Válvula antirretorno con muelle



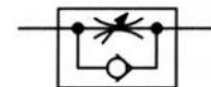
Válvula selectora, función "O"



Válvula de simultaneidad, función "Y"



Válvula reguladora de caudal



Válvula reguladora de caudal unidireccional

## Organización de circuitos neumáticos

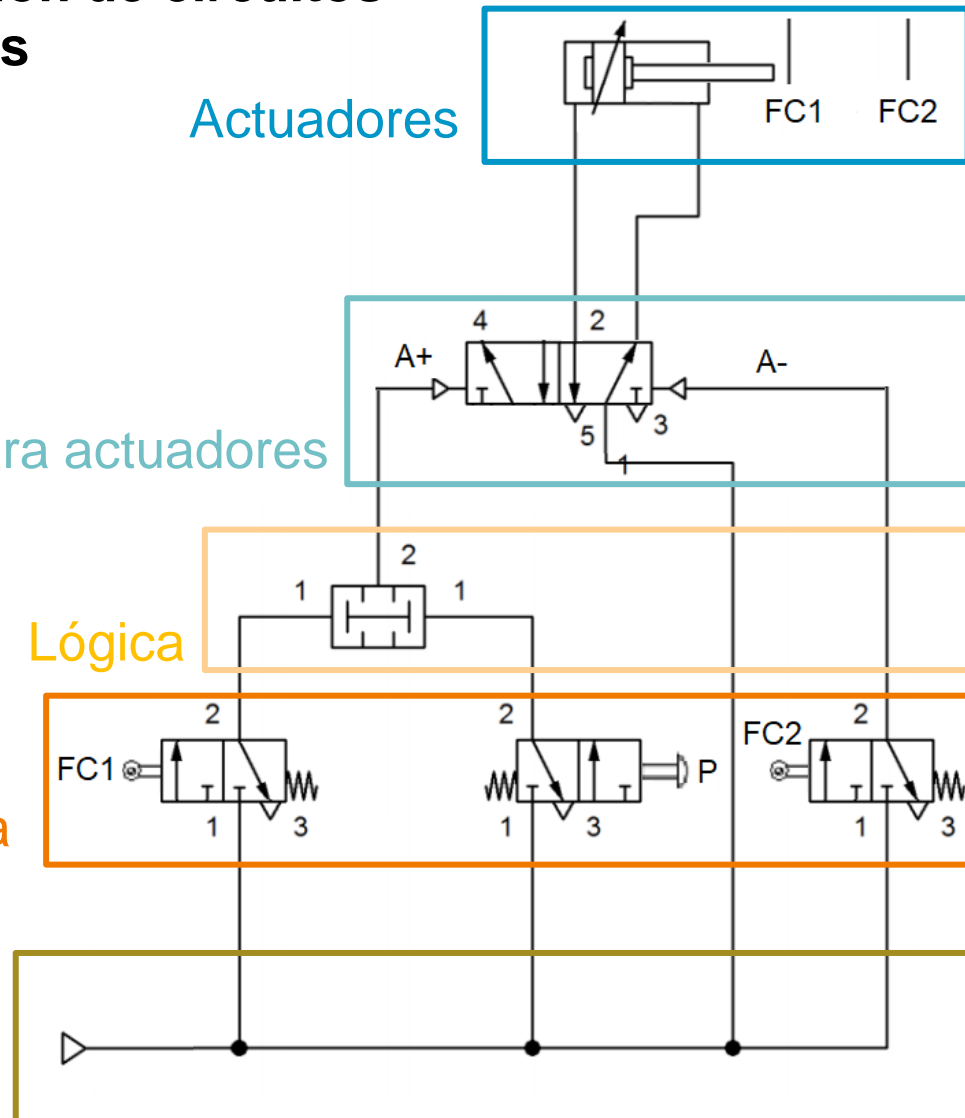
Gestión de potencia para actuadores

Lógica

Elementos de entrada

Suministro de aire

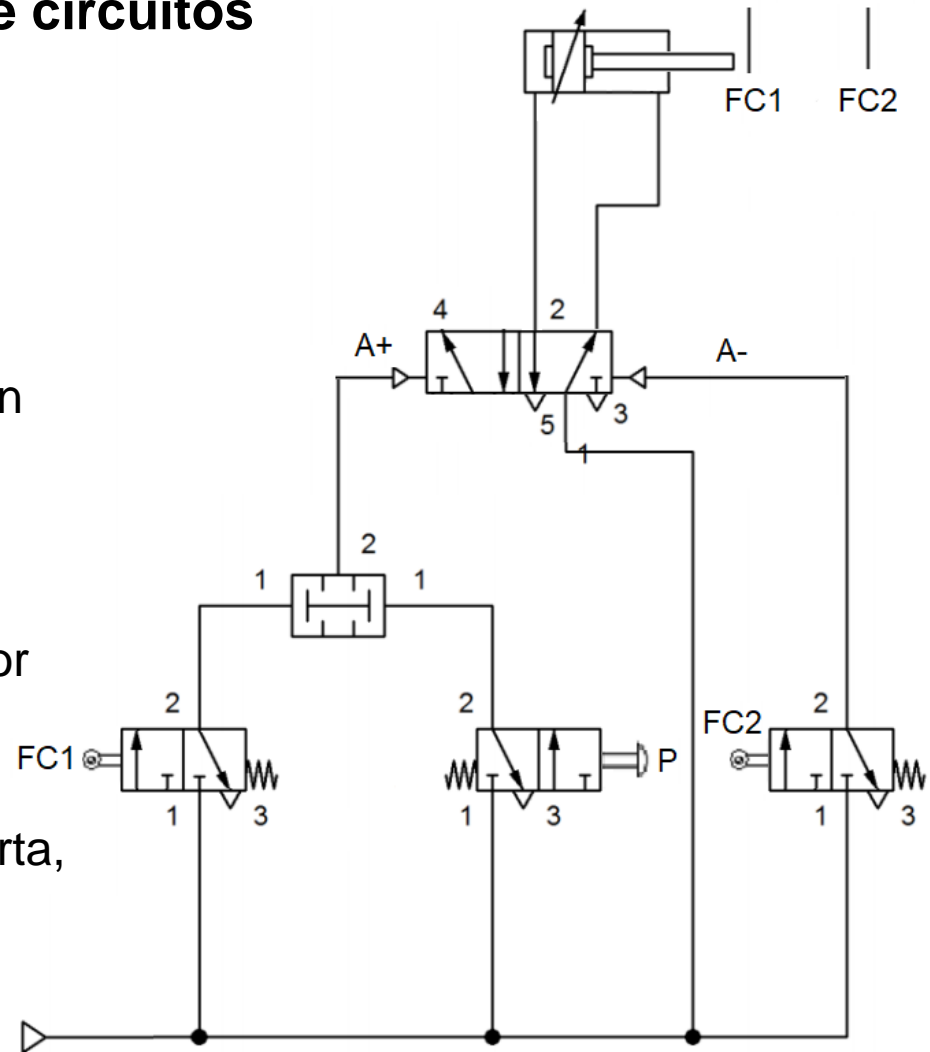
Actuadores



## Interpretación de circuitos neumáticos

### • Elementos:

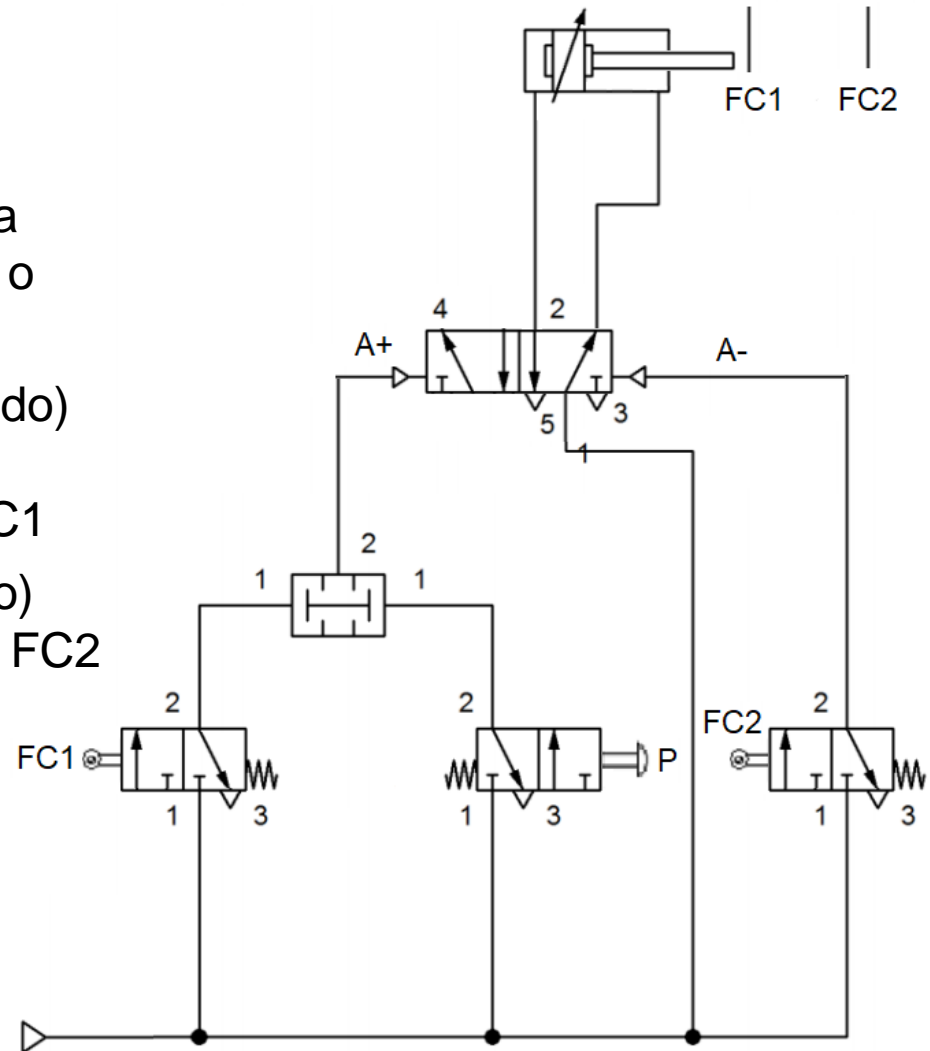
- Cilindro de doble efecto
- Válvula biestable 5/2 de acción neumática
- Válvula AND
- 2 válvulas 3/2, normalmente abiertas con accionamiento por final de carrera y retorno por muelle
- Válvula 3/2 normalmente abierta, accionada por pulsador y con retorno por muelle



## Interpretación de circuitos neumáticos

### • Funcionamiento:

- La válvula biestable controla la posición del pistón (extendido o recogido)
- La posición A+ (pistón extendido) ocurre cuando se actúa simultáneamente sobre P y FC1
- La posición A- (pistón recogido) ocurre cuando se actúa sobre FC2

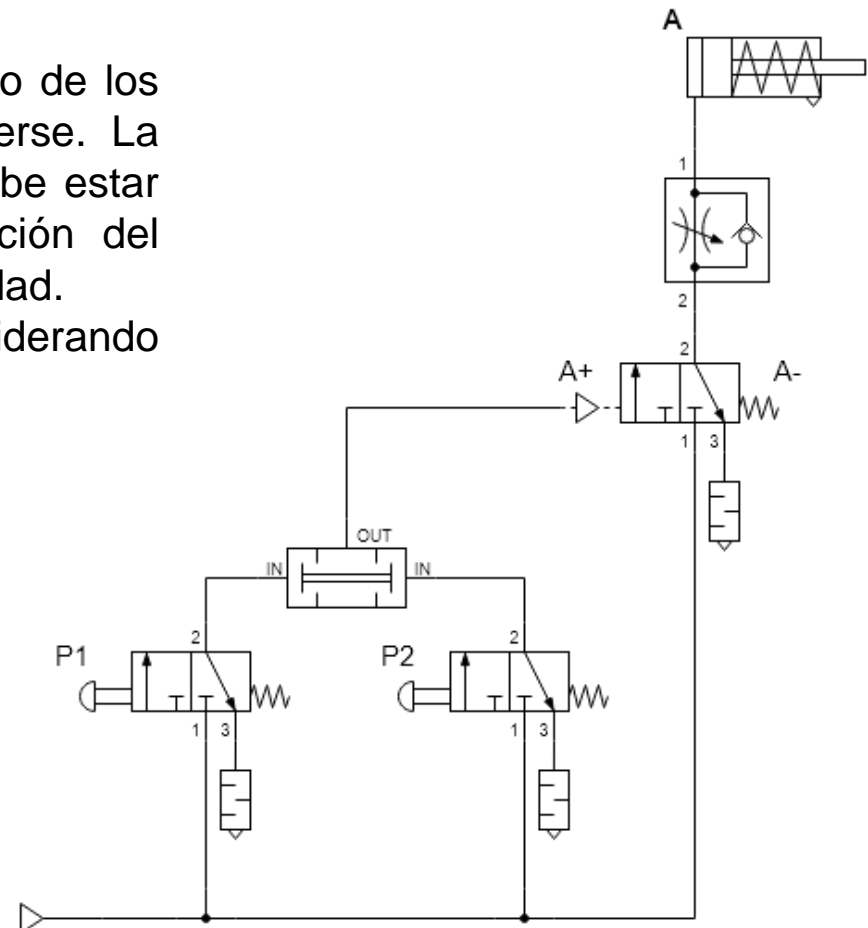


## Diseño de automatismos neumáticos. Ejemplo 1a.

En una planta de mecanizado de piezas se tiene un taladro montado sobre un pistón neumático para perforar bloques de acero. Por una cuestión de seguridad, este taladro sólo se acciona si el operario actúa simultáneamente sobre dos pulsadores.

En caso de que el operario suelte uno de los pulsadores, el cilindro deberá recogerse. La velocidad de extensión del cilindro debe estar controlada, sin embargo, la contracción del mismo debe hacerse a máxima velocidad.

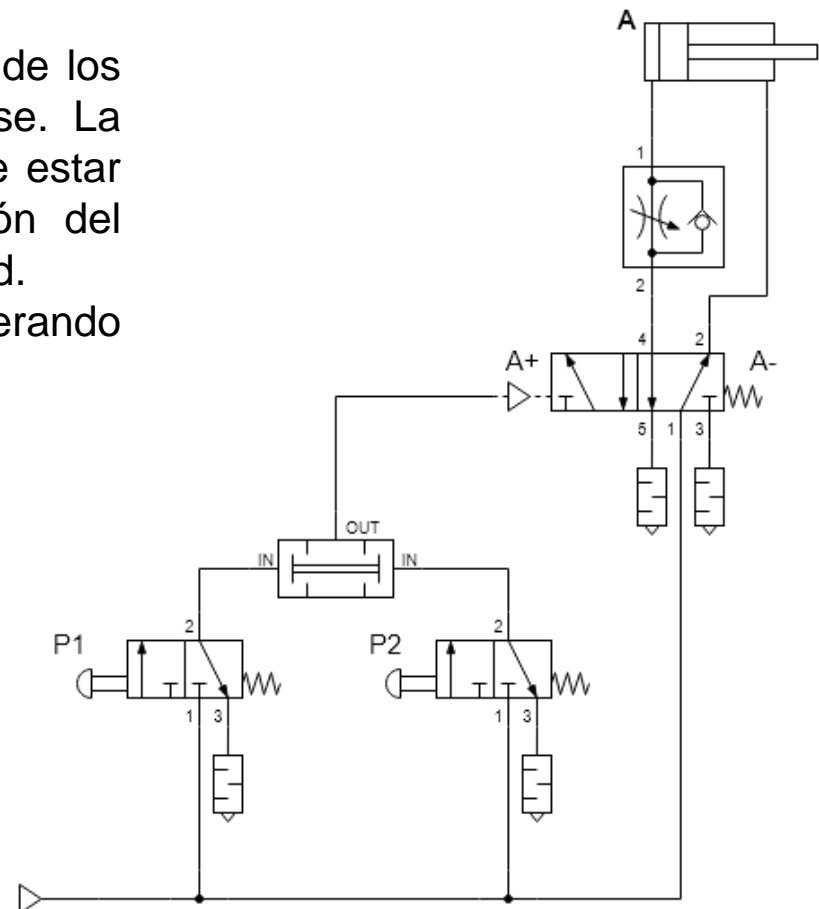
Diseñe el automatismo descrito considerando un pistón de efecto simple.



## Diseño de automatismos neumáticos. Ejemplo 1b.

En una planta de mecanizado de piezas se tiene un taladro montado sobre un pistón neumático para perforar bloques de acero. Por una cuestión de seguridad, este taladro sólo se acciona si el operario actúa simultáneamente sobre dos pulsadores.

En caso de que el operario suelte uno de los pulsadores, el cilindro deberá recogerse. La velocidad de extensión del cilindro debe estar controlada, sin embargo, la contracción del mismo debe hacerse a máxima velocidad. Diseñe el automatismo descrito considerando un pistón de doble efecto.





## Diseño de automatismos neumáticos.

### Ejemplo 2.

En una planta de mecanizado se tienen dos pistones que forman parte de un sistema de alimentación de piezas, según la configuración de la figura.

Ambos pistones son de doble efecto, tienen finales de carrera en ambas posiciones (A+, A-, B+ y B-) y siguen la secuencia de activación del diagrama.

Diseñe el automatismo neumático, de manera que la secuencia se inicie con un pulsador.

