



En los sistemas industriales se manejan en muchas ocasiones una serie de magnitudes físicas que resultan difíciles de procesar.

Con un ejemplo puede que lo entienda mejor. Supón que desea controlar el nivel de líquido que hay en un recipiente. La magnitud que te va permitir controlar ese valor puede ser por ejemplo la altura de líquido que hay en el depósito. La cuestión es como enviamos esa información a

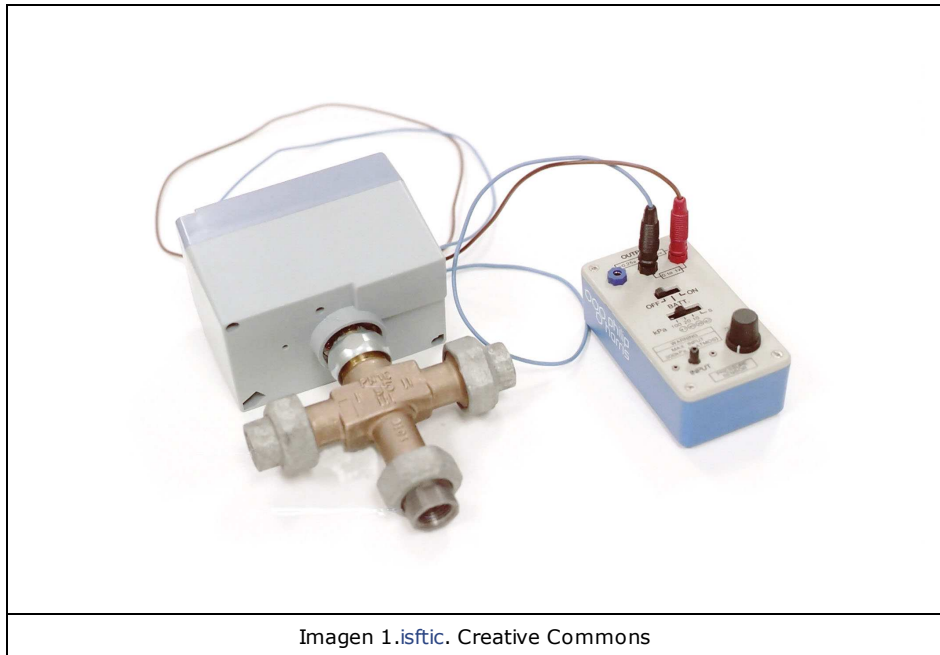


Imagen 1. [isftic](#). Creative Commons

nuestro sistema de control para que la pueda identificar y procesar de manera adecuada.

Va a ser pues necesario implementar los sistemas necesarios para convertir estos valores "difícilmente medibles" en otros tipos de magnitud que sea más operativa y que facilite los procesos de regulación y control.

De esta forma magnitudes como el nivel de líquido, la temperatura del sistema, la fuerza ejercida, el nivel de iluminación, desplazamiento, proximidad, velocidad; se convierten en señales de presión o eléctricas, proporcionales a las anteriores y que son mucho más operativas en los sistemas, para así poder realizar un buen control del proceso.



A lo largo del tema vamos a utilizar unos cuantos conceptos que debes tener claros desde un primer instante:



Importante

- **Sensor:** Componente del sistema que está en contacto directo con la magnitud que se quiere evaluar. El sensor recibe la magnitud física y se la hace llegar al transductor.
- **Transductor:** Componente del sistema que toma el valor de la magnitud medida por el sensor y la traduce o adapta a un valor de otra magnitud más operativa y que va ser el que utilice el sistema. Es decir, convierte el valor de una magnitud física no interpretable por el sistema, a otro valor en otra magnitud que si es interpretable.

En general, el transductor transforma la señal captada por el sensor en otra de tipo eléctrico. El transductor suele incluir al sensor como un componente interno.

Los transductores pueden ser:

- **Activos:** Generan por sí mismos una señal eléctrica.
- **Pasivos:** no generan por sí mismos una señal eléctrica.

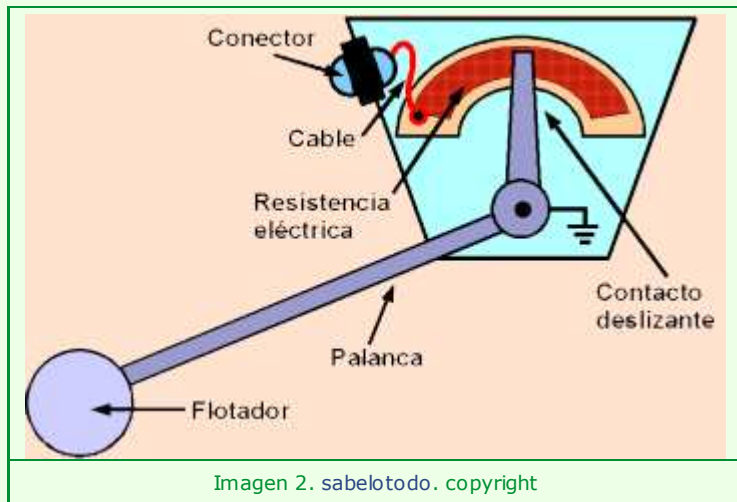


Curiosidad

A continuación se muestra el esquema de un sistema que permite determinar el nivel de gasolina en un depósito.

El cuerpo metálico del sensor está montado en la pared superior del depósito y tiene un flotador en el extremo de una palanca giratoria cuya posición dependerá del nivel del líquido.

El otro extremo de la palanca del flotador tiene un contacto deslizante sobre una resistencia eléctrica que se mueve en sincronización con él, de manera que la posición del contacto sobre la resistencia también dependerá del nivel del líquido en el depósito.



Esta resistencia se conecta en serie con el indicador del tablero, de forma tal que el circuito se cierra a tierra por la vía resistencia => palanca de flotador => cuerpo del sensor => cuerpo del depósito.

De todo esto se desprende que para cada valor del nivel en el depósito, corresponderá un valor de resistencia en serie con el indicador del tablero y por tanto una indicación de la aguja en la escala.



Importante

- **Captador:** Dispositivo que capta o recoge una determinada variable del sistema, que generalmente luego es empleada como realimentación.

Estos elementos se suelen encontrar en los bucles de realimentación de los sistemas en lazo cerrado. Constan de un sensor que capta información de la variable de salida, la adapta, convirtiéndola en señal eléctrica generalmente, para llevarla a un comparador que generará la señal de error.

Existe una cierta ambigüedad para diferenciar un sensor y un captador.



Importante

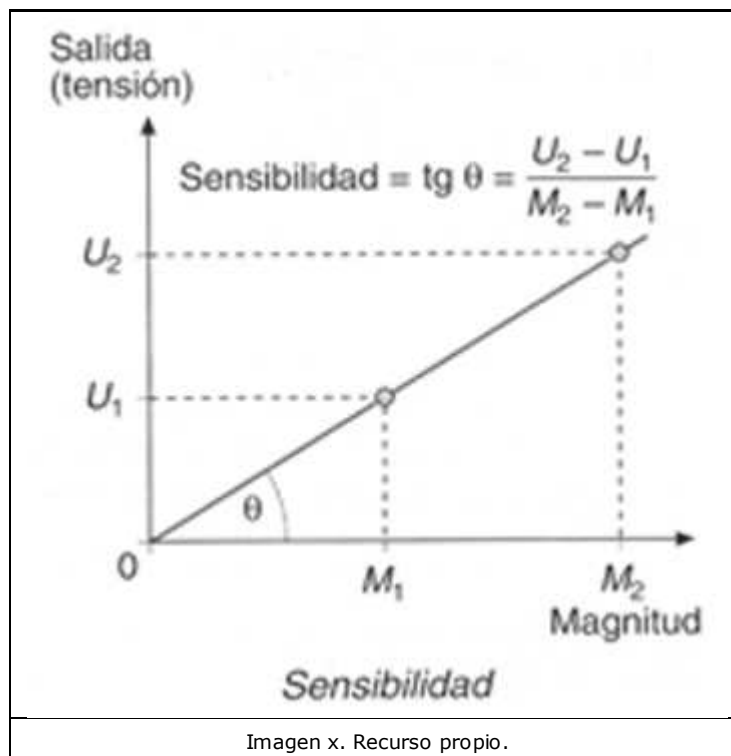
- **Transmisor:** Conjunto de conexiones que transmiten y transforman la información captada por los sensores y que se convierte en variable e interpretable por el sistema.
- **Servosistema:** Sistema cuyo funcionamiento está gobernado por las desviaciones entre el valor instantáneo de la variable controlada y su valor predeterminado. Es un sistema en lazo cerrado y entrada variable.



Importante

- **Rango de medida:** Diferencia entre los máximos y los mínimos valores entre los que se necesita medir. Se le denomina valor de fondo de la escala.
- **Resolución:** Menor variación entre dos valores consecutivos de la magnitud física, que es capaz de ser detectada por el sensor.
- **Exactitud:** Cuando el valor real y el valor medido se encuentran muy próximos.
- **Precisión:** Capacidad que tiene un transductor de repetir el mismo resultado en mediciones diferentes de la misma magnitud, realizadas en las mismas condiciones.
- **Sensibilidad:** Relación entre la salida eléctrica y la magnitud física a medir.

La siguiente imagen muestra la forma de determinar la sensibilidad de un transductor. Se han tomado dos valores de medida física de entrada y el valor de tensión eléctrica que ha generado el transductor con cada una de ellas. Si se considera relación lineal entre las dos magnitudes, la pendiente de la recta nos dará el valor de sensibilidad.



La sensibilidad de un aparato será tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia entre los valores de la magnitud eléctrica de trabajo, para una misma diferencia de valores de magnitud física de entrada (medida por el sensor).



Ejercicio resuelto

Se desea instalar un sistema para determinar la temperatura de un recipiente. Nos han ofrecido dos opciones y deseamos elegir la que tenga una mayor sensibilidad. Los vendedores del primer sistema nos han enviado la siguiente tabla:

Temperatura (K)	Tensión (V)
293	2,17
340	4,30

Sin embargo la empresa que nos quiere suministrar el segundo sistema sólo nos informa de que la tensión en el transductor para una temperatura de 300 K es de 2V. Hemos decidido medir la tensión obtenida a 350 K para determinar la sensibilidad del segundo sistema.

¿Qué tensión mínima hemos de obtener para que sensibilidad del segundo sistema sea superior a la de la primera opción?

3. Clasificación de transductores



Existen múltiples tipos de transductores. A lo largo de este punto vamos a realizar una clasificación de los mismos atendiendo a la propiedad física que toman como valor de entrada. Así tenemos:

Magnitud física de entrada	Tipos
Posición, proximidad o presencia	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Finales de carrera mecánicos (posición). ▶ Detectores de proximidad. <ul style="list-style-type: none"> ▶ Inductivos: <ul style="list-style-type: none"> ▶ Sensibles a materiales ferromagnéticos: ▶ Sensibles a materiales metálicos. ▶ Capacitivos. ▶ Ópticos: <ul style="list-style-type: none"> ▶ Directos. ▶ Con fibras ópticas acopladas.
Desplazamiento o movimiento.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Medida de grandes distancias. ▶ Medida de distancias cortas. ▶ Pequeños desplazamientos. <ul style="list-style-type: none"> ▶ Resistivos. ▶ Inductivos. ▶ Capacitivos. ▶ Medidores de ángulos. <ul style="list-style-type: none"> ▶ Resistivos. ▶ Inductivos. ▶ Capacitivos ▶ Encoders: incrementales y absolutos.
Velocidad.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tacómetros: <ul style="list-style-type: none"> ▶ Eléctricos: Dinamos tacométricas y Alternadores tacométricos. ▶ Mecánicos.
Presión y/o Fuerza.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mecánicos. <ul style="list-style-type: none"> ▶ Directos: Tubos en U. ▶ Indirectos; Tubos Bourdon. Diafragmas y Fuelles. ▶ Electromecánicos. <ul style="list-style-type: none"> ▶ Galgas extensiométricas. ▶ Piezoeléctricos. ▶ Resistivos. ▶ Capacitivos.
Temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Termoresistencias. ▶ Termistores: NTC y PTC. ▶ Termopares. ▶ Pirómetros de radiación.
Luz.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fotoresistencias o LDR. ▶ Fotodiodos. ▶ Fototransistores.

3.1. Posición, proximidad o presencia



Distinguiremos entre los finales de carrera mecánicos y los de proximidad:

★ Importante

Finales de carrera mecánicos:

Interruptores que sirven para determinar la posición de un objeto o de una pieza móvil; cuando alcanza el extremo de su carrera (el final de surecorrido), actúan sobre una palanca, émbolo o varilla, modificando la posición de unos contactos.

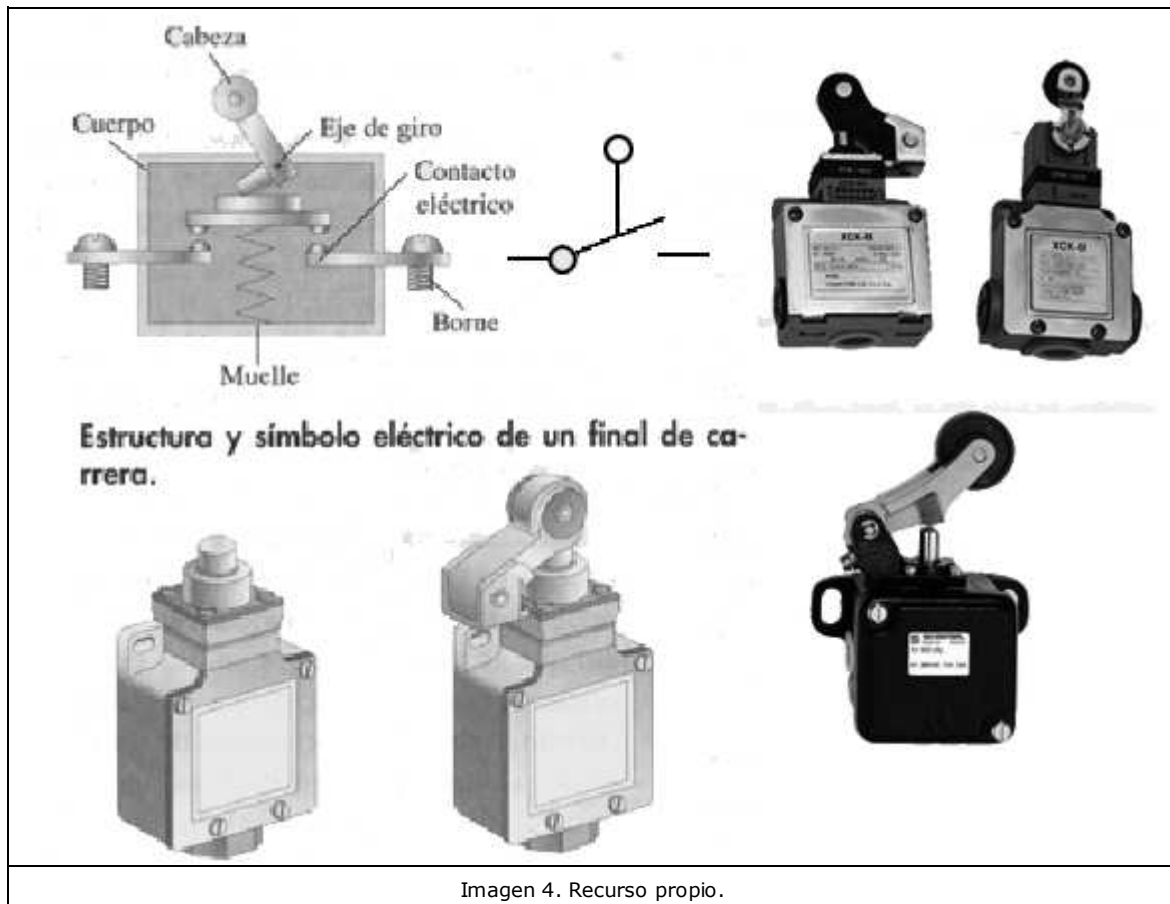


Imagen 4. Recurso propio.



Importante

Detectores de proximidad:

Cualquier dispositivo que reacciona en función de la posición de un objeto en la zona de influencia del mismo, sin que haya ningún tipo de contacto físico entre ellos.

Estos elementos se clasifican en función del sistema detector que utilicen:

► **Detectores de proximidad inductivos**

Utilizan un **campo magnético** como fenómeno físico para reaccionar ante al objeto que se desea detectar. A su vez se clasifican según los distintos tipos de materiales ante los que reaccionan, puede haber:

► **Sensibles a materiales férricos**

Este tipo de detectores reacciona ante la presencia de materiales **ferromagnéticos**. El campo magnético generado por el propio detector se modifica por la presencia del material ferromagnético.

Son idóneos cuando se producen muchas actuaciones o cuando las condiciones ambientales desaconsejan la utilización de contactos mecánicos (polvo, humedad, ...)

No se pueden usar en zonas con presencia de campos. Son económicos y robustos.

► **Sensibles a materiales metálicos.**

En este caso el detector reacciona ante cualquier material capaz de provocar pérdidas por corrientes parásitas de **Foucault**.

► **Detectores de proximidad capacitivos**

Utilizan un campo eléctrico como fenómeno físico que reacciona ante el objeto que se desea detectar, al aproximarse éste provoca el que aumente la capacidad del **condensador** constituido por sus terminales.

Se usan para detectar la posición de líquidos (conductores o no), sustancias en polvo o en grano (arena, cereales,...), objetos metálicos.

► **Detectores de proximidad ópticos**

Los hay para distancias grandes y pequeñas, por eso a veces sólo se les denomina detectores ópticos o fotocélulas.

Como emisor de luz emplean diodos LED. La luz infrarroja es menos sensible a las interferencias producidas por la luz ambiental, presentan distinta sensibilidad según el color y el brillo de los objetos, constan de un emisor y un receptor.

Se usan con cualquier tipo de objetos, sólidos o líquidos.

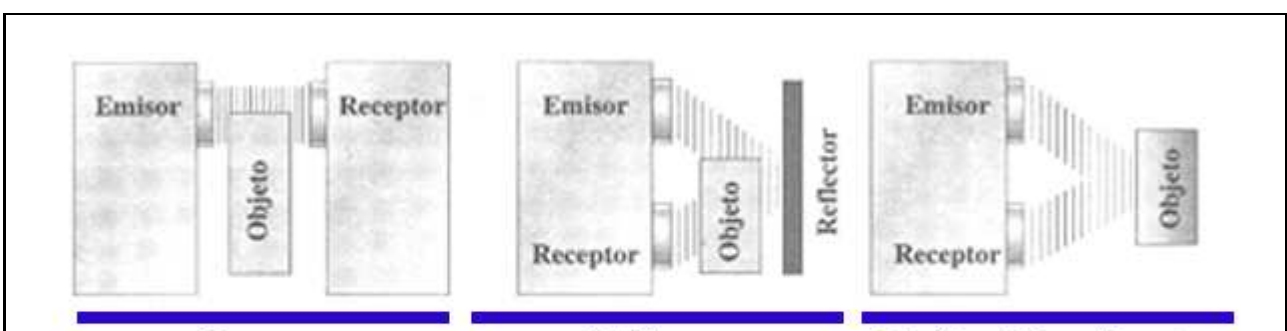
Presentan distintos tipos de montaje: barrera, réflex y reflexión directa

Reemplazan a los detectores capacitivos e inductivos cuando se deseen controlar distancias de detección mayores.

Para grandes distancias se emplean las células fotoeléctricas o fotocélulas, que permiten detectar cualquier tipo de objetos, o personas (paquetes, cajas, botellas, piezas de máquinas, nivel de líquidos y sólidos, paso o movimiento de personas o de vehículos,...

Las células fotoeléctricas pueden ser:

- Barrera: Compuesta por un emisor y un receptor uno frente a otro, detectan el paso de objetos o personas. Tienen un alcance de hasta 200m.
- Reflexión: El emisor y el receptor van montados sobre el mismo elemento, detectando el paso de cualquier objeto entre ellos. Tienen un alcance de hasta 10 m.
- Reflexión directa: El emisor y el receptor se montan sobre el mismo elemento, detecta el paso de cualquier objeto próximo a ella.

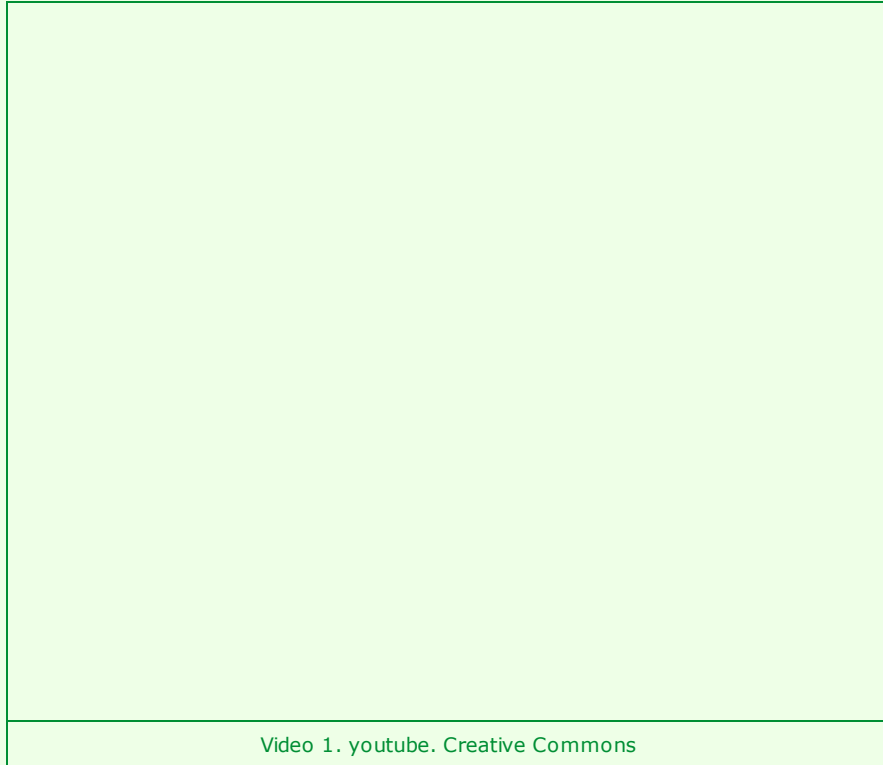




Curiosidad

Detector de proximidad inductivo

El siguiente video muestra una maqueta simula el funcionamiento de un detector de minas (metálicas). El sistema utiliza un detector de proximidad inductivo de tal forma que en la proximidad de un metal se abre el circuito eléctrico y el LED deja de parpadear.



Video 1. youtube. Creative Commons

3.2. Desplazamiento o movimiento



Importante

Este tipo de transductores suelen utilizarse para medir longitudes, desplazamientos y ángulos. Existen varios tipos:

► **Transductores de desplazamiento para medida de grandes distancias**

Se basan en la utilización del **radar**. Sistemas que detectan, la presencia y la distancia a la que se encuentran objetos por medio de ondas electromagnéticas que se ven perturbadas por la presencia de objetos que interceptan en su propagación. Puede llegar a tener un alcance de varios kilómetros

Para distancias inferiores a 100m se emplean ondas de ultrasonidos con una frecuencia de 40 Hz, con una velocidad de propagación mucho más reducida (350 m/s en el aire, 1500 m/s en el agua y 4000 m/s en metales). Son empleadas en el control de nivel de llenado de depósitos y tolvas, control de alturas,...

El sonar utilizado por los barcos, para control de fondos y objetos móviles, emplea un sistema parecido a este.

► **Transductores de desplazamiento para medidas de distancias cortas**

Se utilizan para situaciones con distancias reducidas (de hasta algún metro). Se usa un potenciómetro acoplado a un eje roscado, el giro del eje fija la posición del elemento móvil, cuya posición se desea conocer.

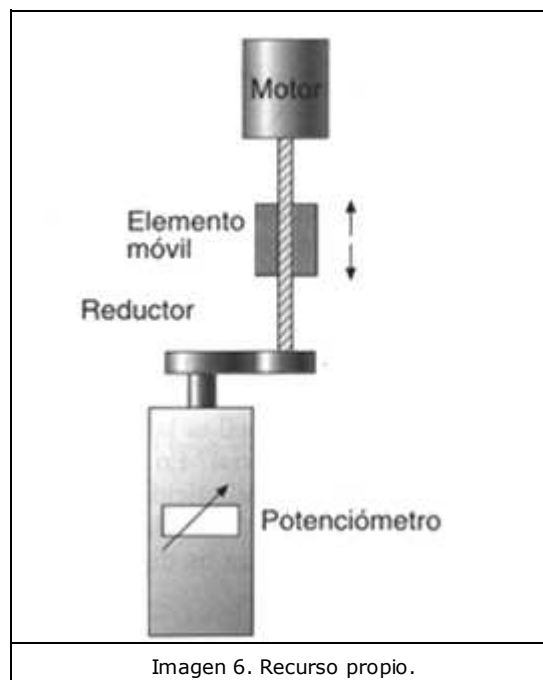


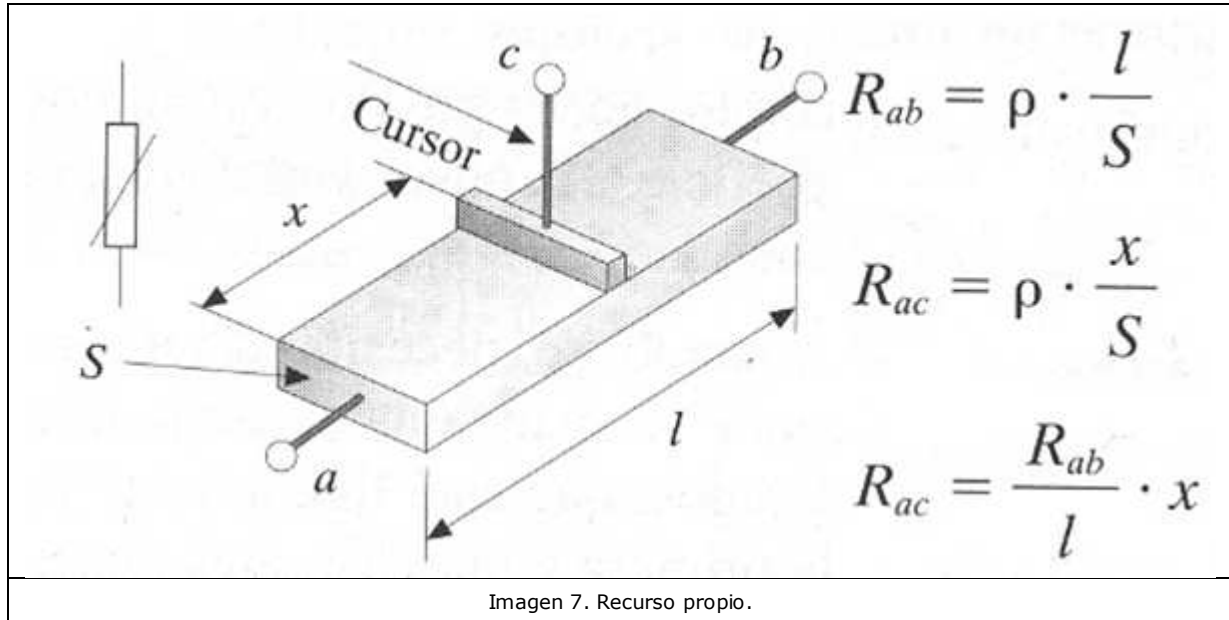
Imagen 6. Recurso propio.

► **Transductores de desplazamiento para pequeños desplazamientos**

A su vez pueden ser:

► **Resistivos:**

Utilizan bandas extensiométricas que modifican su resistencia al ser deformadas. También se emplean **potenciómetros** sobre los que se desplaza un cursor, pueden ser lineales o circulares y así miden distancias lineales entre algún milímetro y decenas de centímetros, o bien giros de entre 10° y alguna vuelta.



► **Inductivos:**

Se emplean bobinas planas de paso idéntico, pueden medir desplazamientos lineales y angulares.

► **Capacitivos:**

Se basan en la variación en la capacidad de un condensador al modificar la distancia entre las placas. Tienen un alcance de hasta algún metro, son poco exactos, pueden medir ángulos.

► **Medidores de ángulos**

Su uso más habitual es determinar la posición del eje de un motor.

Se basan en efectos resistivo, inductivo y capacitivo. Aunque los más empleados son los **encoders**, que son discos con perforaciones codificadas que permiten digitalizar la posición angular que se desea conocer.

El sistema está formado por un disco acoplado al eje del rotor de un motor, del que queremos conocer su posición. Sobre la superficie del existe una serie de muescas perforadas donde va grabada la información digital que nos permite conocer su posición, a cada posición angular le corresponde una muesca diferente.

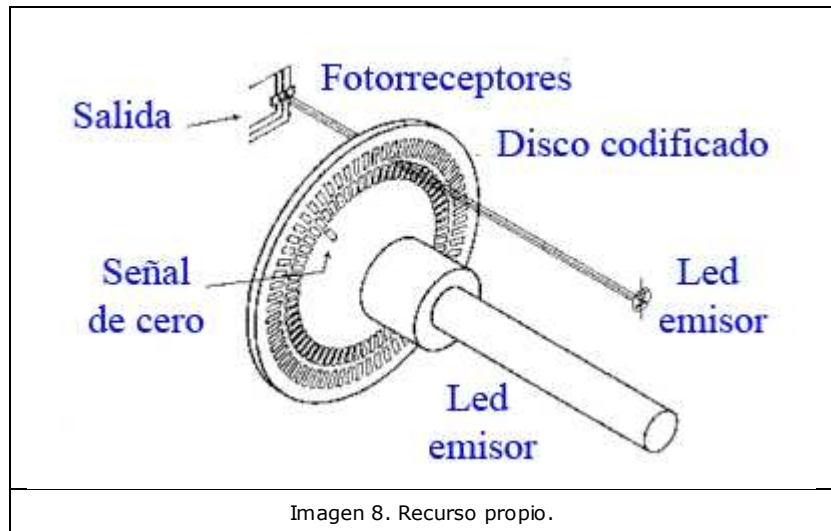
Pueden ser de dos tipos:

► **Encoders incrementales:**

Informan de la posición relativa respecto a una anterior, son empleados para la medición de velocidades angulares.

► **Encoders absolutos:** Informan de una posición concreta, por lo que necesitan un código binario.

Los encoders son muy utilizados para controlar el posicionamiento de máquinas-herramientas, de cabezales de discos magnéticos, en robótica,...





Importante

Para la determinación de la velocidad de un elemento se pueden utilizar dos tipos de sistemas:

- ▶ **Tacómetros.** Estos a su vez pueden ser eléctricos o mecánicos
- ▶ Dispositivos basados en **impulsos** y **sistemas ópticos.**

► **Tacómetros eléctricos**

Los más importantes son:

► **Dinamos tacométricas**

Proporcionan una señal de corriente continua, cuya tensión es directamente proporcional a la velocidad de rotación. Se pueden medir velocidades del orden de 10000 rpm.

► **Alternadores tacométricos**

Generan una señal alterna senoidal cuya frecuencia y amplitud dependen de la velocidad de giro del eje. Miden velocidades mayores que las anteriores.

► **Tacómetros mecánicos**

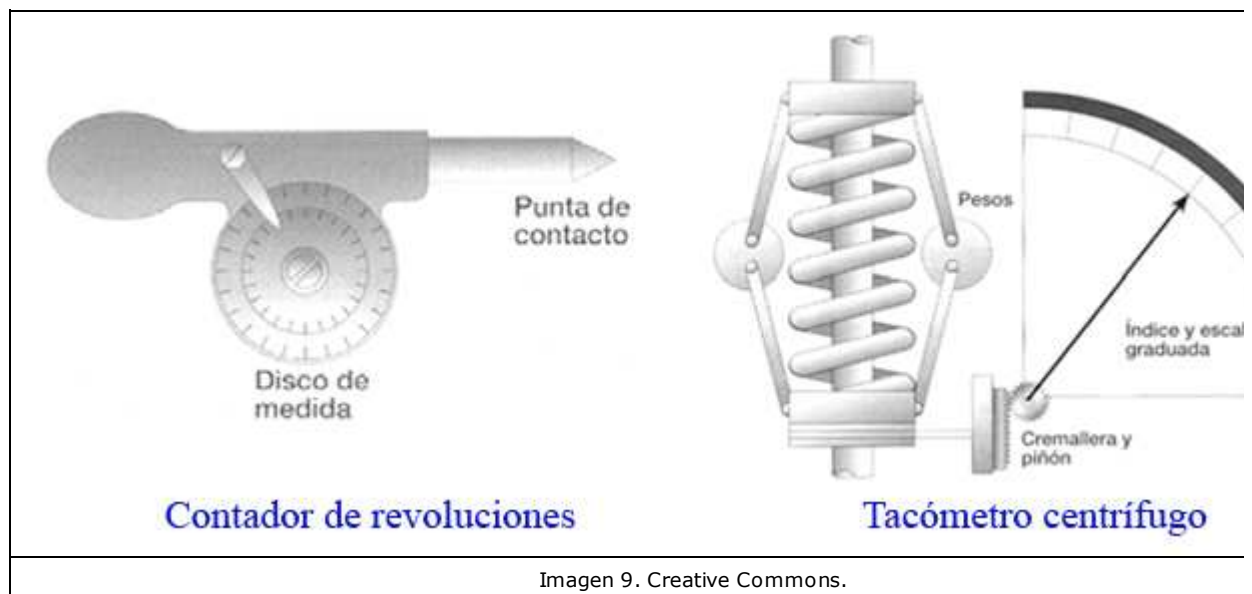
Entre ellos destacan:

► **Contador de revoluciones**

Es el tipo más elemental. Consiste en un tornillo sinfín que se acopla al eje cuya velocidad se desea conocer. El sinfín hace girar a dos ruletas concéntricas calibradas, por medio de unos engranajes, cada división de la ruleta exterior supone una vuelta del eje giratorio y cada división de la ruleta interior corresponde con una vuelta de la ruleta exterior.

► **Tacómetro centrífugo**

Provisto de dos esferas, que debido a la **fuerza centrífuga**, tratan de alejarse del eje tanto más cuanto mayor sea la velocidad de giro, comprimiendo un resorte que arrastra a una aguja que se desplaza sobre una escala que marca la velocidad de rotación angular.



► **Medidores de velocidad por impulsos y sistemas ópticos**

Si tenemos un eje en el cual hacemos una muesca capaz de ser detectada por un detector inductivo de proximidad o mediante un sistema óptico, también podemos medir la velocidad conociendo el número de veces que la muesca pasa por delante del detector.



Importante

Reciben la señal en forma de lectura de Presión en un punto del sistema. Existen distintos tipos en función del sistema utilizado para convertir esa señal en una lectura interpretable por el sistema de control.

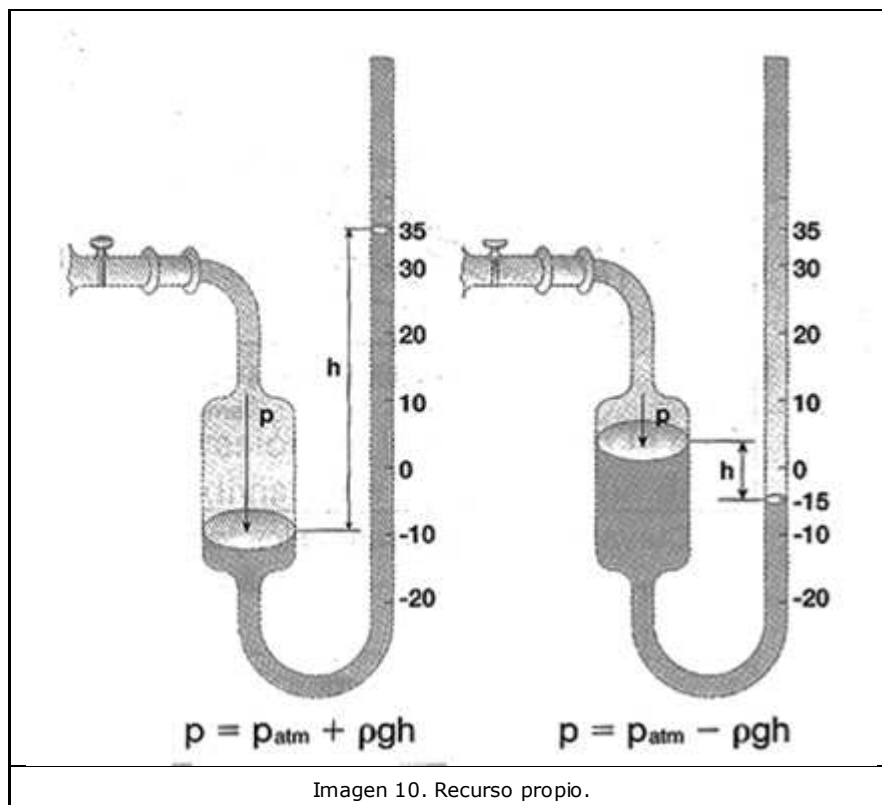
► **Transductores de presión mecánicos**

A su vez se diferencian dos categorías en función de que de que tome la medida de la presión de manera directa o indirecta.

► **De manera directa:**

Se realiza la comparación de la presión con la presión ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas. El caso más utilizado es el **manómetro de tubo en U**. Este sistema se utiliza para medir presiones cercanas a la atmosférica. Consta de un tubo en forma de U (en la actualidad se ha prohibido el uso de mercurio) con una de las ramas abiertas. Sobre la segunda rama se aplica la presión a medir. Como la presión es distinta en las dos ramas hay un desplazamiento del fluido, de forma que la presión p a medir es:

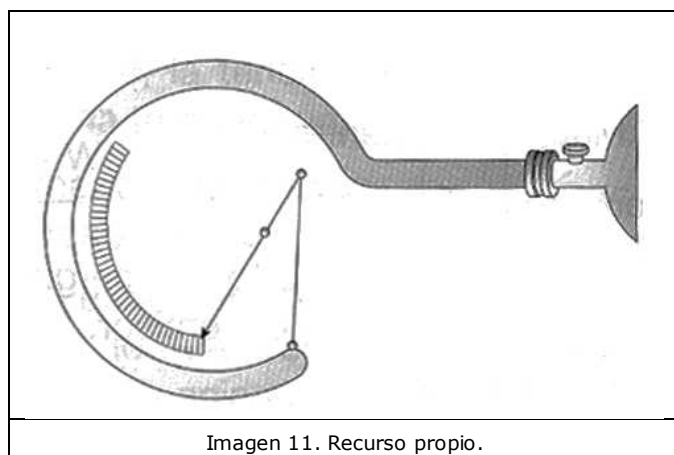
$$P = P_{atm} + d \cdot g \cdot h$$



► **De manera indirecta:**

En ellos la presión se determina en función de la deformación experimentada por diversos elementos elásticos que constituyen el transductor, los más importantes son:

Tubo Bourdon: Tubo curvado constituyendo un anillo casi perfecto. Al aplicar presión al fluido contenido en su interior, el tubo tiende a enderezarse, transmitiendo este movimiento a una aguja que se desplaza sobre una escala graduada. Cuando se necesita una medida de presión más amplia y precisa el tubo de Bourdon se arrolla en forma de espiral y en hélice, lo que provoca un movimiento más amplio de la aguja sobre la escala graduada.





Importante

En estos sistemas las variaciones en la temperatura medida en un punto del sistema a través de los sensores producen variaciones en la respuesta eléctrica del mismo. Esta variación en una magnitud eléctrica es fácilmente interpretable por los sistemas de control.

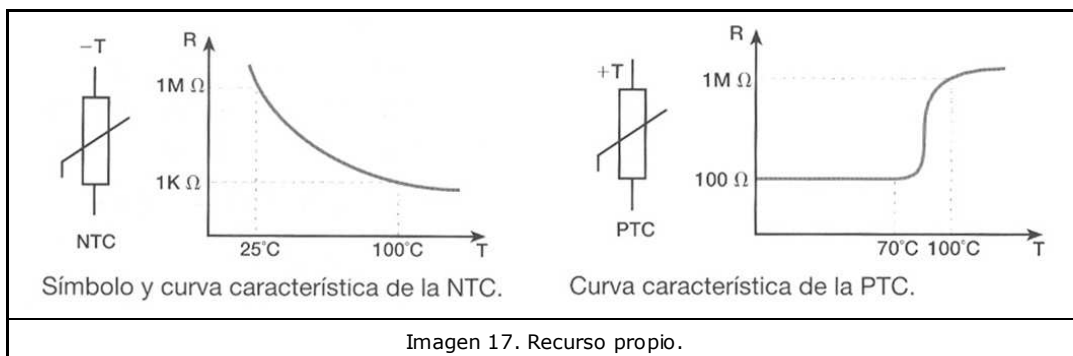
La temperatura es una de las magnitudes físicas que más afecta a los sistemas de regulación y control y que por lo tanto es preciso controlar con mayor grado de exactitud. Los transductores de temperatura más importantes son.

► **Termorresistencias**

Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia eléctrica de un semiconductor en función de la temperatura. Se suelen llamar sondas termométricas o termistores. Las variaciones de resistencia que sufren se suelen medir con un puente de Wheatstone. Según les afecte la temperatura los termistores pueden ser:

- **Termistores NTC**, de coeficiente de temperatura negativo, la resistencia disminuye al aumentar la temperatura y viceversa.
- **Termistores PTC**, de coeficiente de temperatura positivo, la resistencia aumenta o disminuye al aumentar o disminuir respectivamente la temperatura.

Se utilizan para medir la temperatura en motores eléctricos, el interior de hornos,...



► **Termopares**

Su funcionamiento se basa en la fuerza electromotriz generada en la zona de unión de dos metales distintos (efecto Seebeck). Cuando la unión se calienta se genera una diferencia de potencial entre los extremos libres. Los termopares más utilizados son:

- Cobre-Constantan (-200 a 260 °C). Resistentes a la corrosión y se pueden utilizar tanto en atmósferas oxidantes o reductoras.
- Hierro-Constantan(300 a 750 °C). Se emplea en atmósferas pobres de oxígeno.
- Cromo-Alumel (500-100 °C). Se emplea en atmósferas oxidantes.

► **Pirómetros de radiación**

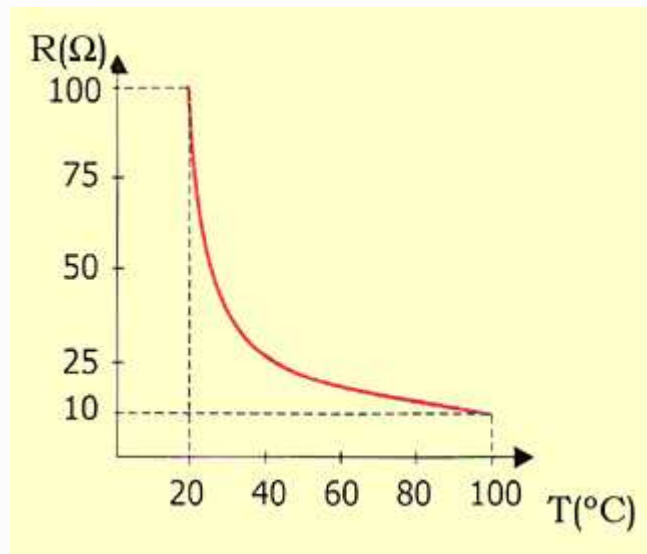
Su funcionamiento se basa en la capacidad que tienen los cuerpos de emitir energía radiante en función de la cuarta potencia de su temperatura absoluta
Los pirómetros de radiación permiten medir la temperatura de un cuerpo a cierta distancia, en función de la radiación que emite.

Ejercicio resuelto

Utilizando una resistencia NTC diseña un circuito que funcione como alarma de incendios. Junto con la resistencia se dispone de:

- Un motor de 10Ω que funciona a tensiones mayores a 2V.
- Como fuente de alimentación pila de 10V.

La resistencia se comporta según la curva:



Determinar si la bomba funcionará a temperatura ambiente y cuando la temperatura suba hasta los 100°C.



Existen tres tipos.

► **LDR**

En estos sistemas el valor de su resistencia varía en función de la luz que inciden sobre ellas. La resistencia disminuye al aumentar la luz o viceversa. Tienen una gran inercia a la respuesta.

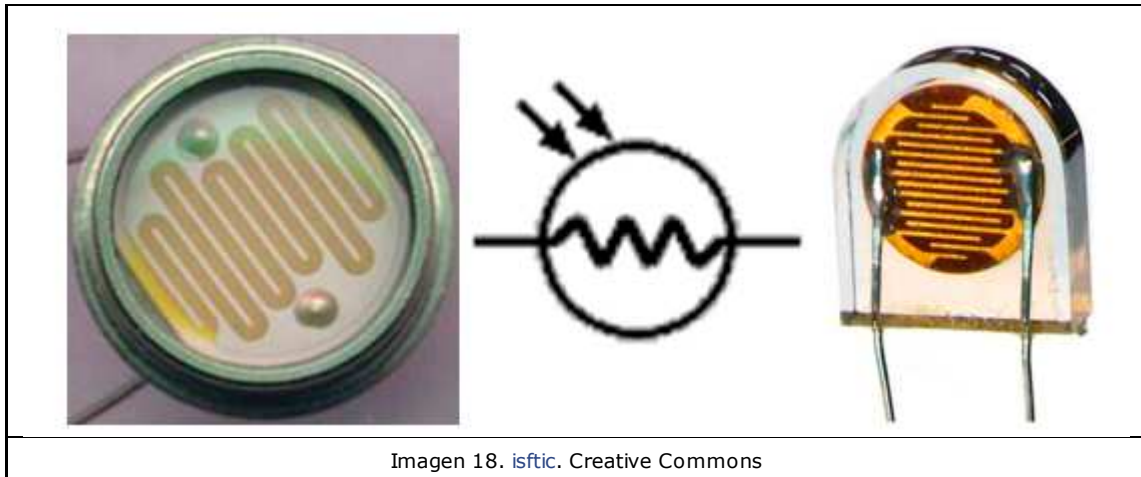


Imagen 18. isftic. Creative Commons

► **Fotodiodos**

En ellos al incrementar la cantidad de luz que incidente, aumenta la circulación de corriente en sentido inverso. Cuando no incide luz sobre él, su comportamiento es el de un diodo convencional.

► **Fototransistores**

Funcionan de un modo parecido a un transistor normal, con la diferencia que la corriente que se inyecta por la base del transistor es suministrada por la luz.

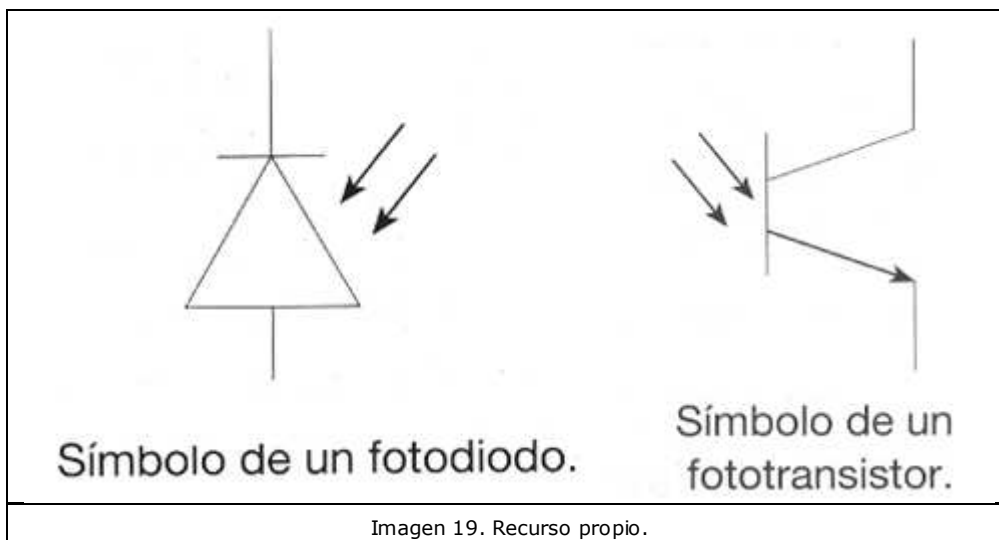


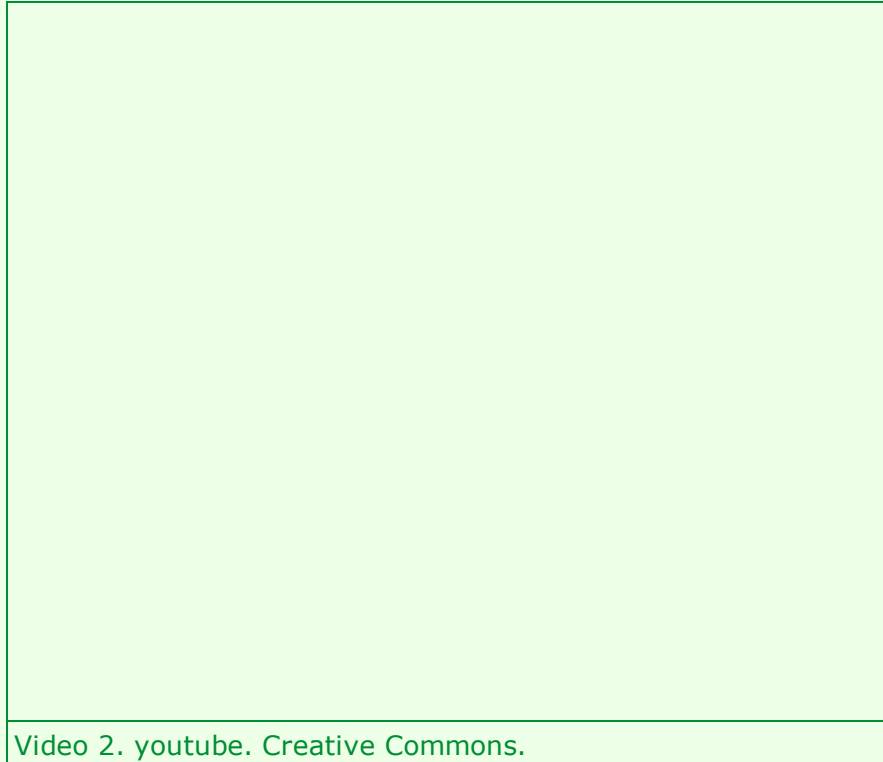
Imagen 19. Recurso propio.



Curiosidad

En el siguiente video puedes ver como se utiliza un sensor de luminosidad LDR. Cuando la resistencia está iluminada gira el motor. Si se reduce la luminosidad el motor para y se enciende una bombilla.

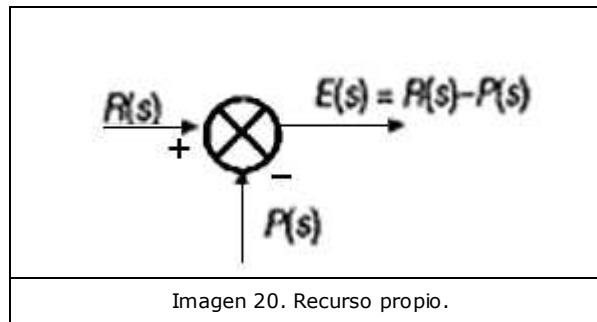
También se incluye el simulador del circuito para Crocodile.





Importante

Este tipo de elemento compara el valor de la variable controlada y el valor de consigna, emitiendo una señal de error que indica la diferencia entre el valor obtenido a la salida y el valor requerido.



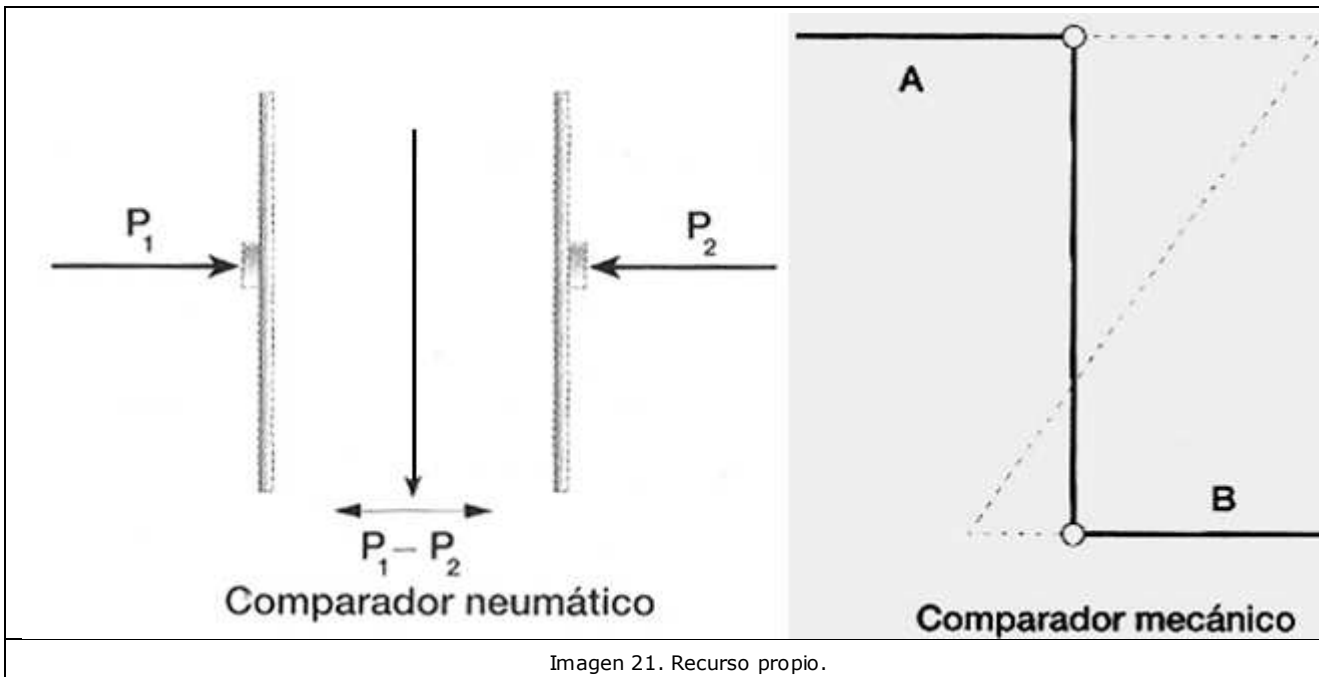
Esta respuesta se puede obtener por diferentes procedimientos.

► **Neumáticos**

La diferencia de dos señales neumáticas se determina por la presión de ambas, utilizando un fuelle, mientras las presiones son iguales el fiel no se desvía de su posición central.

► **Mecánicos**

Se utilizan dos barras desplazables axialmente en función del empuje que soportan, una de ellas determina el punto de consigna. Cuando los esfuerzos son idénticos, la barra central se mantiene perpendicular a las barras A y B.



► **Eléctricos**

Se utiliza un puente de potenciómetros. La señal de error se obtiene, en este caso como una diferencia de potencial entre dos cursores, de dos potenciómetros independientemente de que estos sean lineales o circulares.

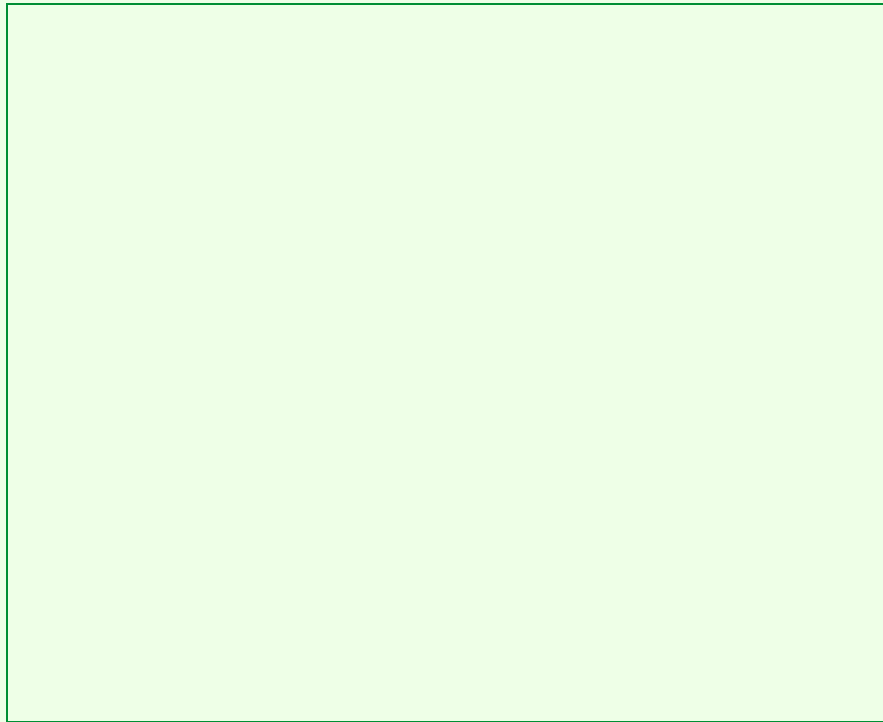
► **Electrónicos**

También pueden utilizarse dispositivos electrónicos de detección (amplificadores operacionales).



Curiosidad

El siguiente video muestra de forma detallada el funcionamiento de un circuito que funciona como comparador. El el se comparan dos voltajes de entrada y en función de su relación la salida es positiva o negativa.



Video 3. youtube. Creative Commons.

5. Actuadores o elementos finales



Son los dispositivos de control de una válvula, compuerta, circuito,...entre ellos están los interruptores, las bobinas, los relés, los SCR, que son capaces de seguir a una señal eléctrica o neumática procedente del controlador.

Pueden emplearse servomotores de válvula o de pistón, gobernados por la presión del aire o de cualquier otro fluido.

También son utilizados servomotores de c.c. y de c.a., presentando un mejor rendimiento los de c.c.

Los amplificadores más usados son de tipo eléctrico (relés), electrónico (amplificadores operacionales, transistores), neumáticos o hidráulicos.

Los dispositivos finales de control más habituales son: cilindros neumáticos e hidráulicos, motores de c.c., motores de c.a. y motores paso a paso.