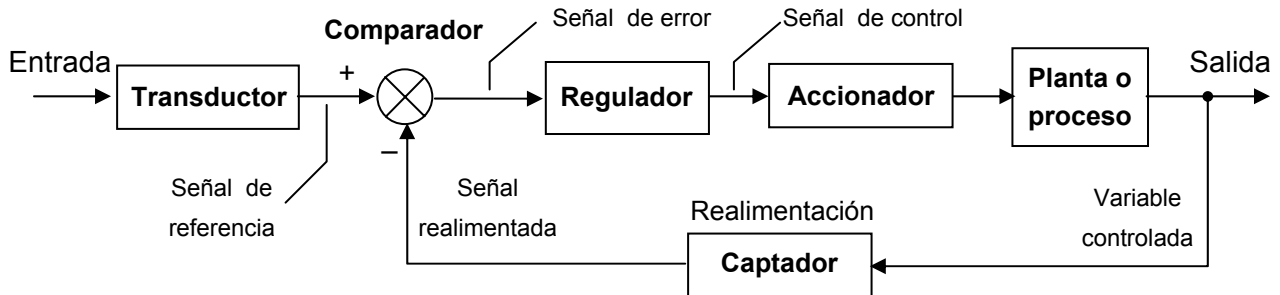


UNIDAD 15. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL

1. INTRODUCCIÓN

Según vimos en el tema anterior, el control automático en bucle cerrado obedecía al siguiente esquema:



De aquí se deduce que los elementos componentes de un sistema de control son:

- **Regulador o controlador:** es el *cerebro* del sistema de control, el que determina la acción de control.
- **Transductor y captador:** son dispositivos que transforman unas magnitudes en otras.
- **Comparador o detector de error:** proporciona la señal de error (diferencia entre la señal de salida deseada y la obtenida realmente) que se entrega al regulador.
- **Accionador o actuador:** es el elemento final de control que actúa sobre el proceso o planta según la señal de mando que reciba del regulador.

2. EL REGULADOR

El **regulador o controlador** es el elemento fundamental de un bucle de control. Se encarga de interpretar el error (desviación entre la señal de salida deseada y la realmente obtenida) y de intentar anularlo a través del mando del elemento accionador.

Hasta los años cincuenta, la tecnología de los reguladores era neumática, hidráulica o electromagnética. Posteriormente se introdujeron los reguladores electrónicos analógicos. Hoy en día se usa muy ampliamente el ordenador como elemento de control pues permite realizar funciones mucho más complejas que los reguladores convencionales.

Gran parte de los controladores elaboran la señal de mando del accionador a través de un tratamiento de la señal de error. Este tratamiento consiste en una amplificación del error, su integración con respecto al tiempo o su derivada con respecto al tiempo, dando lugar, respectivamente, a las siguientes *acciones básicas de control*:

- Acción proporcional (P)
- Acción integral (I)
- Acción diferencial o derivativa (D)

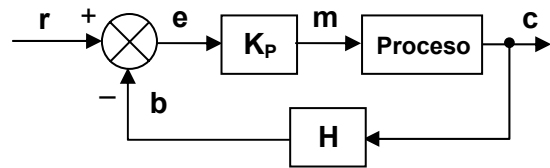
Nota: en la práctica, las acciones de control se suelen presentar combinadas de la siguiente manera: acción proporcional e integral (PI), acción proporcional y diferencial (PD) y acción proporcional, integral y diferencial (PID)

2.1. Controlador de acción proporcional (P)

El tratamiento consiste en una **amplificación de la señal de error**. Es decir, la acción sobre el proceso o planta a controlar es **proporcional** al error o diferencia entre el valor de consigna y el valor medido en la salida.

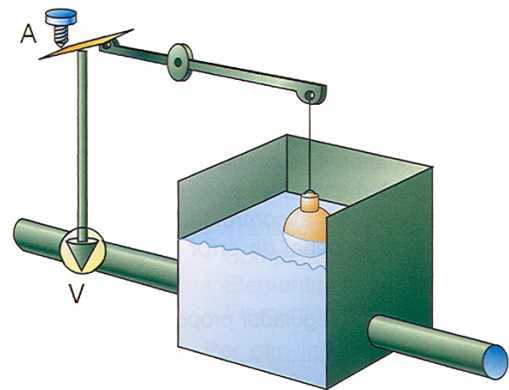
La función de transferencia es una constante, K_P .

El principal inconveniente del control de acción proporcional es que **no puede eliminarse totalmente el error**. Hay que tolerar un cierto error de régimen permanente.



Ejemplo

Sea un depósito de agua en el que se desea que el caudal de entrada sea igual al de salida. Esto lo queremos conseguir a base de mantener el nivel constante en el depósito por medio de la válvula de control "V". Con el tornillo "A" se fija el punto de ajuste para el nivel deseado.



Si por una variación en el caudal de salida, por ejemplo un aumento, el nivel desciende, el flotador lo detectará y actuará a través de una palanca sobre la válvula V en el sentido de abrirla, para aumentar el caudal entrante hasta igualarlo con el caudal saliente.

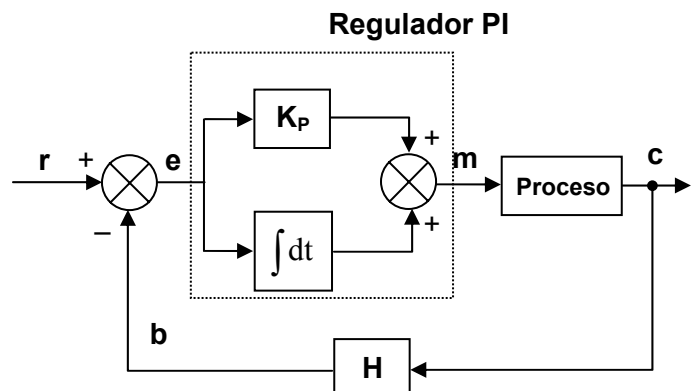
Eso sí, cuando se vuelva a alcanzar la igualdad de los caudales, el nivel del depósito habrá descendido con respecto al anterior, produciéndose un error permanente.

2.2. Controlador de acción integral (I)

El regulador suministra una **señal de control cuyo valor es proporcional a la integral de la señal de error**. De esta forma la señal de control varía según la magnitud de la desviación de la señal de salida y según el tiempo durante el que esta desviación se mantiene.

El problema principal de los sistemas que utilizan un controlador integral es que **la respuesta inicial es muy lenta y hasta pasado un tiempo el controlador no empieza a ser efectivo**. Sin embargo, estos controladores sí **eliminan totalmente el error de régimen permanente**.

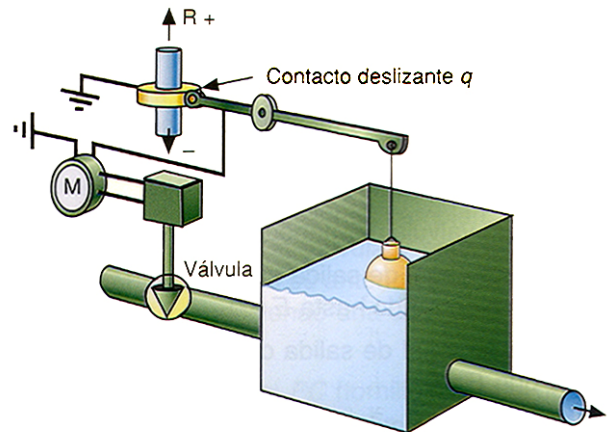
En la práctica, para solventar el problema de la lenta respuesta inicial, el controlador integral se combina siempre con un controlador proporcional (el controlador se denomina entonces **proporcional e integral, PI**), de manera que la acción proporcional actúa instantáneamente, (en teoría, pues en la práctica hay un retardo) mientras que la parte integral actuará durante un cierto tiempo para eliminar el error en régimen permanente.



Ejemplo

Este ejemplo es de un **regulador proporcional + integral**. Se trata de un depósito de agua en el que se quiere, como en el caso anterior, que el caudal de entrada sea igual al de salida a base de mantener constante el nivel. En este caso, la válvula de entrada está gobernada por un motor de corriente continua, cuya velocidad es proporcional a la tensión aplicada, y el sentido de giro depende del signo de la tensión aplicada. Al variar el nivel, el flotador desplazará el contacto deslizante del potenciómetro haciendo que se aplique una tensión al motor de corriente continua.

Si suponemos, por ejemplo, que el nivel desciende por un aumento del consumo, el contacto deslizante “q” se desplaza sobre el potenciómetro hacia arriba, aplicando una tensión positiva al motor proporcional al desnivel. La válvula seguirá abriendo mientras el desnivel exista y no volverá a una posición estable hasta que el error de nivel haya vuelto a ser nulo. Por tanto, no puede existir error en régimen permanente.



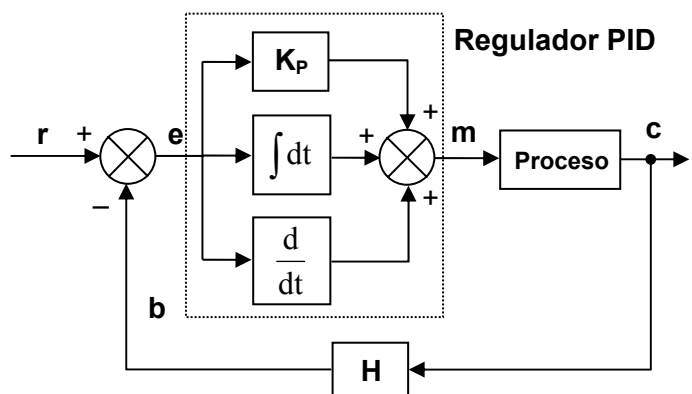
2.3. Controlador de acción diferencial o derivativa (D)

Esta acción, al igual que la integral, nunca se emplea sola, sino que va unida a la acción proporcional (se llama entonces **regulador PD**) o a la proporcional e integral (se denomina entonces **regulador PID**).

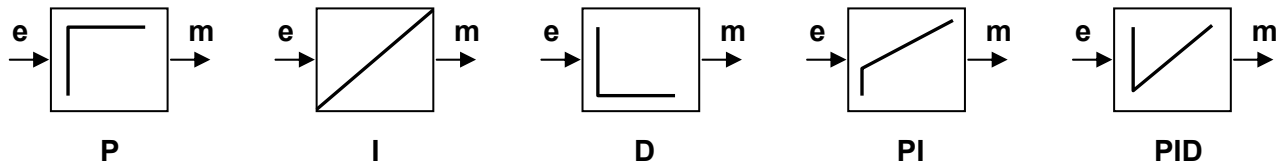
La acción diferencial proporciona una **señal de control proporcional a la derivada del error**. Por tanto, esta acción es proporcional a la rapidez con la que varía el error (tener en cuenta que la derivada de una función es igual a la pendiente de la curva que representa a dicha función). Por ello, se le puede atribuir un efecto anticipativo, ya que al actuar según el valor de la pendiente de la curva de error, o sea, la tendencia del error, detecta anticipadamente si va a haber una sobreoscilación excesiva, proporcionando la acción de control adecuada para evitarla antes de que tenga lugar.

Por tanto, **la acción diferencial aumenta la velocidad de respuesta de un sistema de control, mejorando la respuesta transitoria**, aunque a costa de una menor precisión en la salida durante el tiempo que el control derivativo esté actuando. **No perjudica al régimen permanente**, pues cuando el error se estabiliza (en 0 o en un valor cualquiera) ya no actúa la acción diferencial.

En los **controladores PID** se aúnan las ventajas de los tres tipos de controladores básicos, de forma que si la señal de error varía lentamente en el tiempo, predominan la acción proporcional e integral y, si la señal de error varía rápidamente, predomina la acción derivativa.



Los símbolos que más habitualmente se utilizan en los diagramas de bloques para los controladores que hemos visto son:



3. TRANSDUCTORES Y CAPTADORES (O SENSORES)

El **transductor** tiene la misión de transformar una magnitud de entrada en otra de salida que sea más fácil de procesar por el sistema de control.

El **captador** tiene la misión de captar una determinada información en el sistema para realimentarla.

La naturaleza de ambos dispositivos es la misma, su única diferencia estriba en el lugar en que se colocan en el sistema. Los estudiaremos como un único elemento.

La señal de salida de los transductores puede ser de tantos tipos como fuentes de energía conocemos (luminica, sonora, eléctrica, neumática, etc), si bien, las principales son las de tipo eléctrico y neumático, ya que son las que mejor se adaptan a los entornos industriales para transportar información. Actualmente están teniendo mucho auge las señales luminosas gracias al desarrollo de la fibra óptica.

Según la naturaleza de la señal de entrada, los transductores pueden ser:

- Transductores de posición, proximidad y desplazamiento.
- Transductores de velocidad.
- Transductores de temperatura.
- Transductores de presión.
- Transductores para la medida de la iluminación.

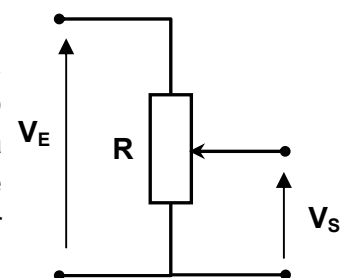
3.1. Transductores de posición, proximidad y desplazamiento

Según el principio físico en que se fundamentan, se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Transductores resistivos.
- Transductores inductivos.
- Transductores capacitivos.
- Finales de carrera.
- Ultrasonidos y radar.

3.1.1. Transductores resistivos

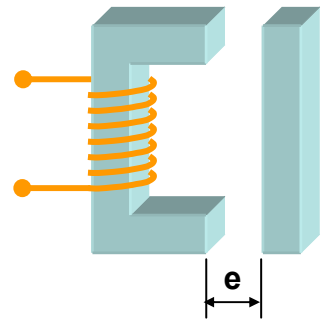
Se basan en un potenciómetro, el cual está constituido por una resistencia de valor fijo sobre la que se desplaza un contacto deslizante. Si se aplica una tensión entre los extremos de la resistencia, la tensión entre unos de éstos y el contacto deslizante dependerá de la posición de éste último, de ahí que se pueda utilizar para medir posiciones y desplazamientos lineales o angulares.



3.1.2. Transductores inductivos

Se basan en la variación del coeficiente de autoinducción de una bobina arrollada a un circuito magnético al variar el entrehierro.

Si disponemos de dos piezas de material magnético separadas por una pequeña distancia, denominada entrehierro (e), constituyen un circuito magnético. Si en una de las piezas arrollamos una bobina, el valor del coeficiente de autoinducción (L) de ésta depende del valor del entrehierro. Por tanto, midiendo la autoinducción nos permite medir la distancia entre las dos piezas o la variación que esta distancia experimente.

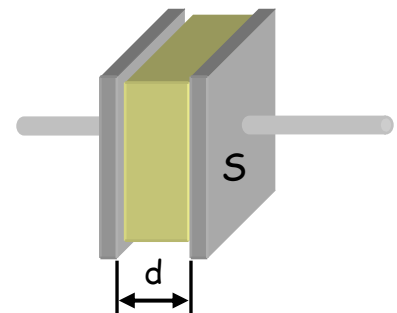


3.1.3. Transductores capacitivos

Los transductores capacitivos se basan en la variación de la capacidad de un condensador al variar los parámetros geométricos del mismo (cantidad de superficie enfrentada, distancia entre armaduras, posición o naturaleza del dieléctrico).

Esto nos permite medir distancias y desplazamientos midiendo la capacidad o variación de la capacidad del condensador.

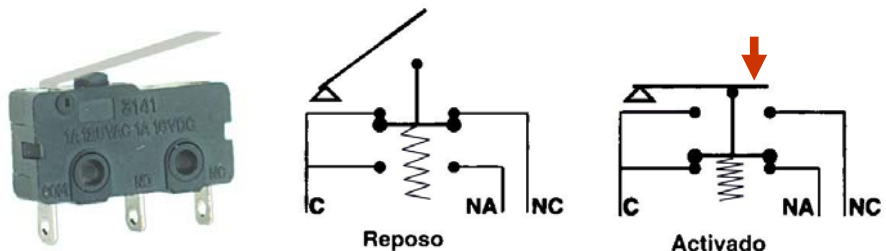
Si observamos la figura adjunta, un desplazamiento de una de las armaduras en sentido horizontal afecta a la distancia de separación " d ", mientras que un desplazamiento en sentido vertical afecta a la cantidad de superficie enfrentada " S ". Ambos parámetros afectan a la capacidad del condensador ($C = \epsilon \cdot S/d$).



También se pueden utilizar para medir rugosidad de superficies conductoras, medidas de nivel de líquidos, detección de objetos o de sustancias en polvo o en grano (harina, trigo,...), etc.

3.1.4. Interruptores finales de carrera

Son interruptores que detectan la posición de un objeto o pieza móvil a través de un cambio de posición del contacto eléctrico que contienen.

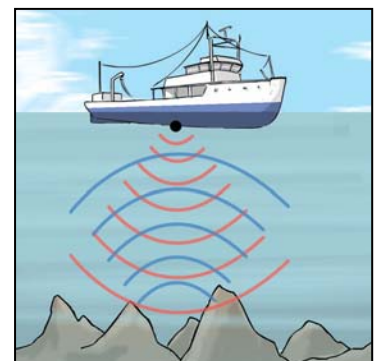


3.1.5. Transductores por ultrasonidos

Los **ultrasonidos** son vibraciones en un medio material, cuya frecuencia es superior a la perceptible por el oído humano ($f > 20$ kHz).

Se basan en la emisión de una señal ultrasónica por un emisor que, una vez reflejada (eco) en un obstáculo, es recogida por un receptor (que, a veces, es el mismo sistema emisor). Se mide el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción y, a partir de él, se calcula la distancia a la que se encuentra el obstáculo.

Se aplican en la medida de nivel de líquidos en recipientes inaccesibles, exploración náutica para detectar objetos sumergidos (**sónar**), etc.

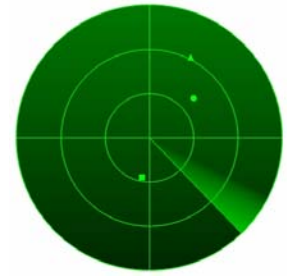


3.1.6. Radar

El radar es un sistema para detectar, mediante el empleo de ondas electromagnéticas, la presencia y la distancia a la que se encuentran objetos que interceptan su propagación.

Una antena emite las ondas electromagnéticas en una dirección determinada. Al encontrarse con un obstáculo, parte de la energía radiada se refleja y se propaga en sentido contrario hasta llegar al lugar de partida. Midiendo el tiempo empleado y conociendo la velocidad de propagación de las ondas, se calcula la distancia a la que se encuentra el obstáculo.

El radar se utiliza para mayores distancias (entre 100m y unos 10 km), mientras que el sónar se emplea para distancias relativamente pequeñas (menores a 100 m).



3.2. Transductores de velocidad

En la industria es importante sobre todo la medida de la velocidad angular (velocidad de rotación de ejes). Se utilizan transductores denominados **tacómetros**. Pueden ser mecánicos o eléctricos y pueden medir la velocidad instantánea o la velocidad media en un intervalo de tiempo.

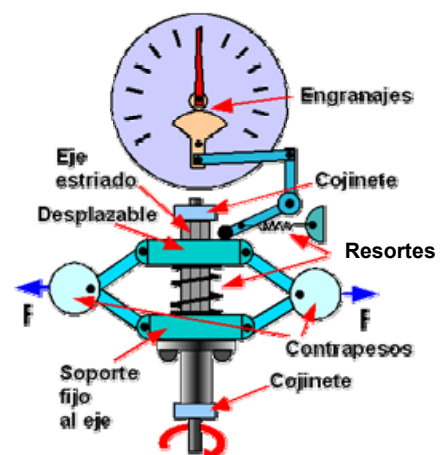


3.2.1. Tacómetros mecánicos

❑ **Contador de revoluciones:** consiste en un tornillo sin fin que se acopla al eje cuya velocidad se quiere medir. El tornillo sin fin hace girar unos diales de forma que el número de revoluciones dadas queda marcado por una aguja indicadora. El tiempo se mide externamente. A partir de nº de revoluciones y del tiempo empleado en darlas, se calcula la velocidad angular. Estos sistemas están en desuso.

❑ **Tacómetro centrífugo:** está provisto de unos contrapesos que, por efecto de la fuerza centrífuga, se alejan tanto más del eje de rotación cuanto mayor es la velocidad angular.

Por medio de unas palancas, el movimiento de los contrapesos produce un movimiento de una pieza desplazable venciendo la oposición del resorte. Un mecanismo de palancas y engranajes transmite el movimiento a una aguja indicadora.

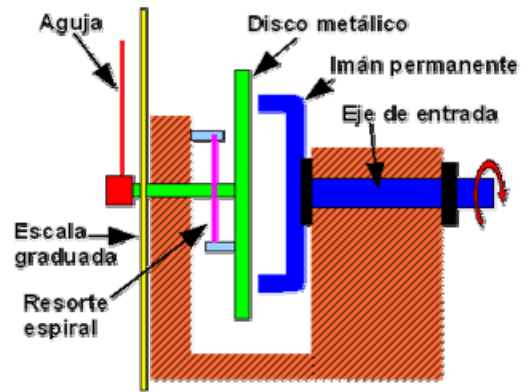


3.2.2. Tacómetros eléctricos

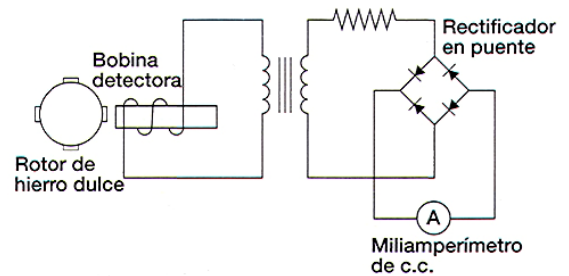
Utilizan transductores que convierten la velocidad angular en señal eléctrica. Existen diversos tipos:

❑ **Tacómetro de corrientes parásitas:** disponen de un imán que se acopla al eje cuya velocidad se desea medir. El campo magnético variable creado por el imán al girar induce

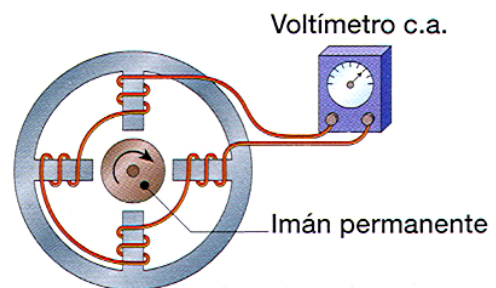
corrientes parásitas de Foucault en un disco de aluminio próximo al imán. Estas corrientes parásitas dan lugar a un campo magnético que al interaccionar con el del imán produce un par de giro sobre el disco que depende de la velocidad. Un resorte espiral contrarresta este par de giro. Una aguja acoplada al eje de giro del disco indica la medida sobre una escala graduada.



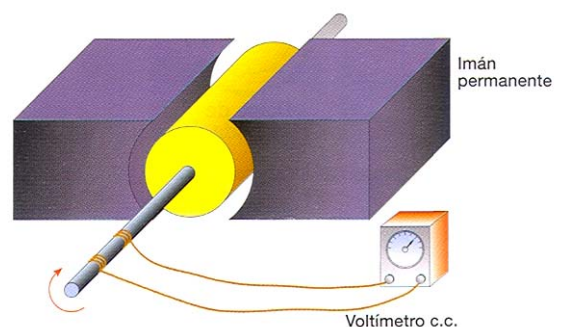
- **Tacómetro de inducción:** una pieza de material ferromagnético se acopla al eje cuya velocidad se quiere medir. Esta pieza forma parte de un circuito magnético que contiene un imán y una bobina arrollada. El giro de la pieza da lugar a variaciones en el entrehierro del circuito magnético, lo que da lugar a que se induzca una tensión alterna en la bobina cuya amplitud es proporcional a la velocidad de giro del eje. Una vez rectificada la tensión se aplica a un instrumento de medida eléctrica adecuado (miliamperímetro).



- **Tacómetro de corriente alterna:** consisten en un pequeño generador de corriente alterna cuyo rotor se acopla al eje cuya velocidad se quiere medir. El generador que se emplea es del tipo de imán permanente en el rotor y bobinado en el estator. La tensión alterna generada es proporcional a la velocidad de giro. Esta tensión se mide con un voltímetro.

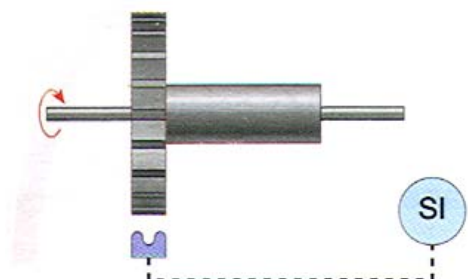


- **Tacómetro de corriente continua o dinamo tacométrica:** consisten en un pequeño generador de corriente continua (dinamo) cuyo rotor que se acopla al eje cuya velocidad se quiere medir. El estator es de tipo de imán permanente. La tensión continua generada es proporcional a la velocidad de giro.



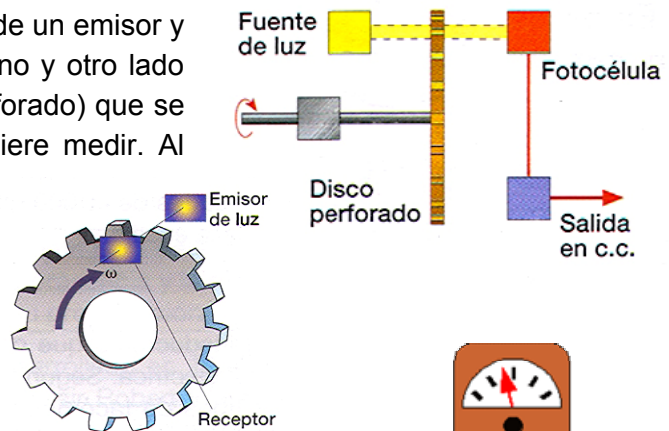
- **Tacómetro de frecuencia o frecuencímetro:** se basan en generar una señal alterna (eléctrica u óptica) cuya frecuencia es proporcional a la velocidad que se quiere medir. Pueden ser de tipo electromagnético u óptico.

- En el **tacómetro electromagnético**, se acopla una rueda dentada al eje cuya velocidad se quiere medir. Próximo a la rueda se sitúa un núcleo magnético que, junto con la rueda, forma un circuito magnético. El entrehierro de este



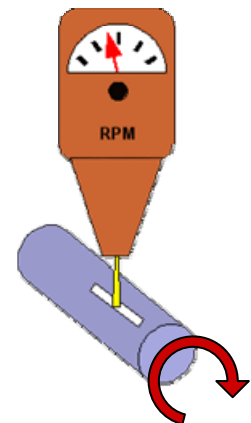
circuito varía en función de que frente al núcleo pase un diente (entrehierro pequeño) o un hueco (entrehierro grande). Esto permite generar una señal de pulsos cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de giro.

- En el **tacómetro óptico** se dispone de un emisor y un receptor de luz enfrente a uno y otro lado de la rueda dentada (o un disco perforado) que se acopla al eje cuya velocidad se quiere medir. Al pasar los dientes de la rueda el rayo se interrumpe, dando lugar a una señal de pulsos cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de giro.



Otros tacómetros ópticos se

basan en emitir un haz luminoso (láser, infrarrojo o de luz visible) sobre la pieza que gira. En la pieza se dispone previamente una marca reflectante que refleja el haz con más intensidad que el resto de la pieza. Esto da lugar a que se reflejen pulsos de luz cada vez que pasa la marca bajo el haz luminoso. Estos pulsos son detectados por un detector situado junto al emisor, dando lugar a una señal cuya frecuencia es proporcional a la velocidad.



3.3. Transductores de temperatura

La medida de temperatura puede llevarse a cabo por medio de termorresistencias, termistores, termopares o pirómetros de radiación.

3.3.1. Termorresistencias

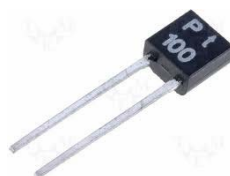
Estos transductores se basan en la variación de la resistencia de un conductor eléctrico con la temperatura. Se conocen con el nombre de **RTD** (*Resistance Thermal Detector*).

$$R_T = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$$

A partir de la expresión anterior y conocidos el valor de la termorresistencia a la temperatura T_0 (suele ser $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), el coeficiente α y midiendo el valor que alcanza R_T , podemos obtener T .

Las RTD están constituidos por un hilo metálico aislado y bobinado sobre un núcleo cerámico y protegido por un revestimiento metálico, de vidrio o de cerámica. Los materiales más empleados son: platino (hasta $750\text{ }^{\circ}\text{C}$), níquel y cobre (hasta $150\text{ }^{\circ}\text{C}$) y wolframio (por encima de $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Una termorresistencia de platino muy utilizada en la industria por tener una variación muy lineal con la temperatura es la **Pt 100** (tiene una resistencia de $100\text{ }\Omega$ a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), que se comercializa en muy diversos formatos.



3.3.2. Termistores

Estos transductores se basan en la variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura. Los termistores pueden ser de dos tipos:

- **NTC** (Negative Temperatura Coefficient) cuya resistencia disminuye cuando aumenta la T^a .
- **PTC** (Positive Temperatura Coefficient) cuya resistencia aumenta cuando aumenta la T^a .

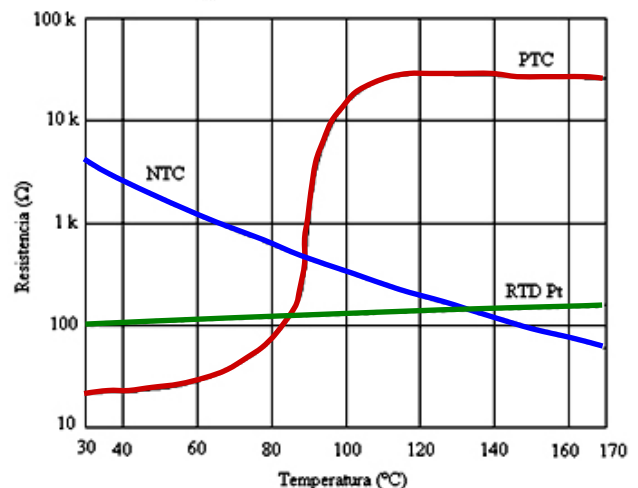
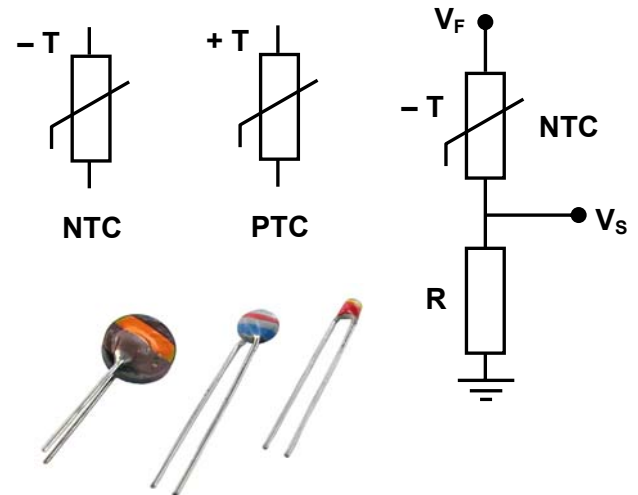
Sus símbolos son los que se indican. El circuito de medida en el que se emplean suele ser el divisor de tensión. Manteniendo fija la tensión V_F , la tensión de salida V_S permite conocer la temperatura.

Los termistores tienen las ventajas de ser muy sensibles, es decir, tienen grandes variaciones de resistencia con pequeñas variaciones de temperatura y tener un reducido tamaño.

Sin embargo, tienen el inconveniente frente a las RTD de que **la relación entre la resistencia y la temperatura es no lineal** (observar las curvas características).

Nota: aunque la curva de la NTC parezca lineal, téngase en cuenta que la escala del eje vertical es logarítmica.

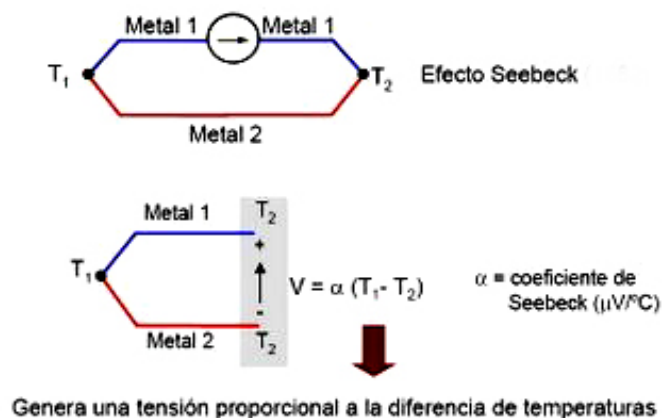
El margen de funcionamiento de un termistor, de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, es más limitado que en los termopares y los sensores RTD.



3.3.3. Termopares

Su funcionamiento se basa en el **efecto Seebeck**, consistente en que cuando se cierra un circuito con dos conductores de metales diferentes, manteniendo una diferencia de temperatura entre las dos soldaduras, es recorrido por una corriente eléctrica debida a la fuerza electromotriz que se genera.

Si abrimos el circuito en algún punto (por ejemplo, en la soldadura fría) ya no circulará corriente (circuito abierto) pero podemos medir una tensión que dependerá de la diferencia de temperatura entre la soldadura expuesta al foco caliente y la de la soldadura "fría" (en este caso, el punto de medida).



3.4. Transductores de presión

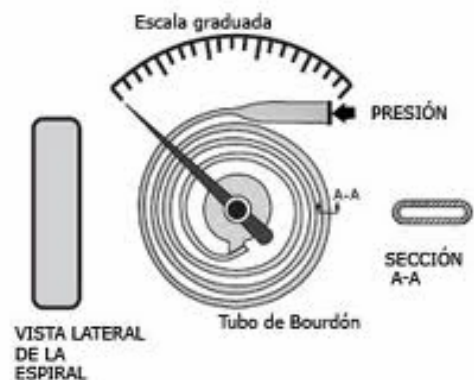
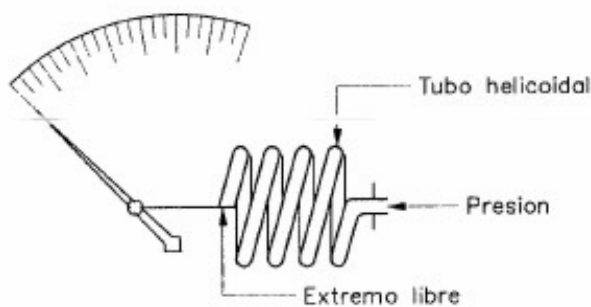
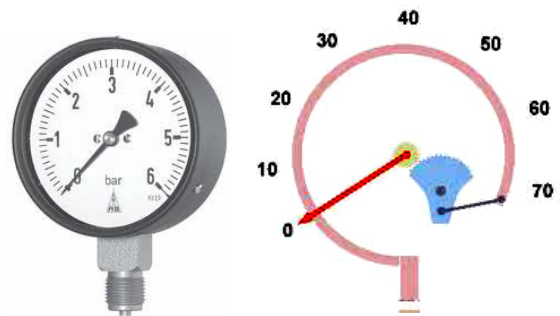
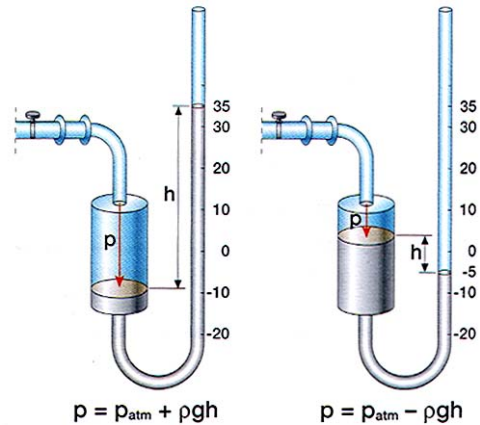
Pueden ser de varios tipos: mecánicos, electromecánicos y de medida de vacío.

3.4.1. Transductores mecánicos

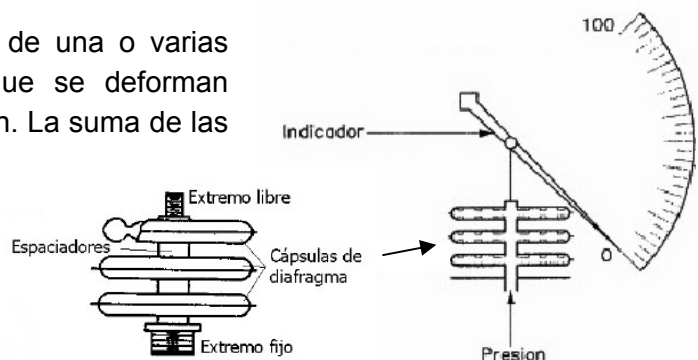
Pueden medir la presión de forma **directa** (comparándola con la que ejerce un líquido de densidad y altura conocidas) o **indirecta** (a través de la deformación que experimenta algún elemento elástico de que disponen por causa de la presión).

Algunos de los más usuales son:

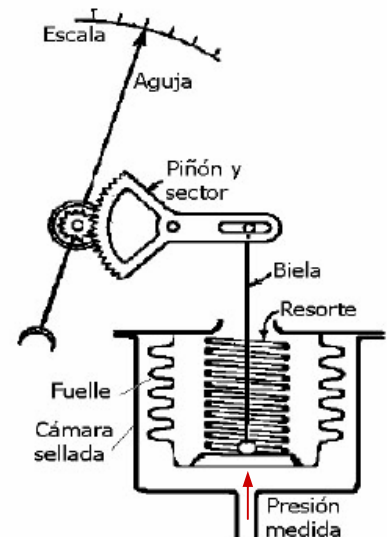
- ❑ **Manómetro de tubo en U:** constan de un tubo en forma de U que contiene un líquido (usualmente mercurio). Uno de los extremos del tubo está abierto a la atmósfera y el otro se conecta a la presión que se desea medir. El nivel alcanzado por el mercurio en una escala graduada nos permite medir la presión.
- ❑ **Tubo Bourdon:** es un tubo de sección elíptica cerrado en un extremo y curvado formando casi un anillo. Al aplicar presión en el otro extremo tiende a enderezarse, transmitiéndose el movimiento del extremo cerrado a una aguja indicadora por medio de engranajes.
- ❑ **Elementos en espiral y en hélice:** se obtienen enrollando un tubo Bourdon, dando lugar a un desplazamiento mayor de la aguja indicadora.



- ❑ **Manómetro de diafragma:** constan de una o varias cápsulas circulares o diafragmas que se deforman cuando en su interior se aplica presión. La suma de las deformaciones de cada diafragma es transmitida a una aguja indicadora.



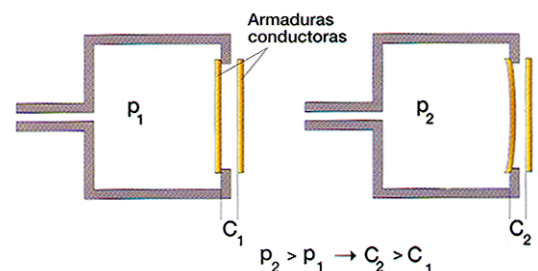
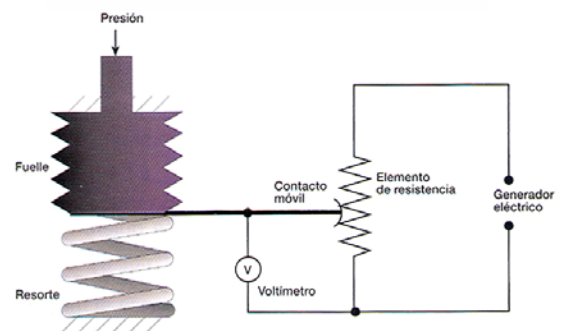
- ❑ **Manómetro de fuelle:** constan de un fuelle que puede extenderse o comprimirse dependiendo de la presión. Dependiendo del tipo, la presión a medir puede aplicarse al interior del fuelle (en cuyo caso se expande con la presión) o en el exterior (con lo cual se comprimen con la presión). El desplazamiento se transmite, a través de mecanismos, a una aguja indicadora.



3.4.2. Transductores electromecánicos

Combinan un elemento mecánico elástico (como los vistos antes) con un transductor eléctrico que transforma el movimiento en una señal eléctrica.

- ❑ **Transductores resistivos:** en ellos el movimiento del elemento elástico se aplica al cursor deslizante de un potenciómetro, variando la resistencia entre el cursor y uno de los extremos del potenciómetro.
- ❑ **Transductores capacitivos:** el elemento elástico es, en este caso, un diafragma metálico que constituye una de las armaduras de un condensador. La deformación del diafragma hace variar la distancia entre placas, modificando la capacidad del condensador, que se mide mediante un circuito eléctrico.
- ❑ **Galgas extensométricas:** se basan en la variación de longitud y de sección (y por tanto de resistencia eléctrica) que sufre un hilo de material conductor (constantán, nicrom,...) o semiconductor (silicio, germanio,...) al ser sometido a un esfuerzo de tracción (provocado en este caso por la presión que se quiere medir).



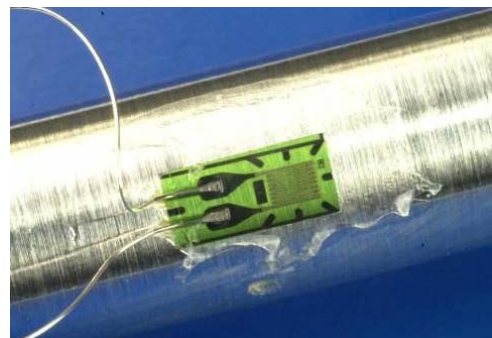
Las galgas están formadas por varios bucles de hilo muy fino pegados a una lámina de fibra de vidrio, resina epoxy, poliamida u otros materiales.

El valor de resistencia de la galga obedece a la expresión: $R = R_0 \cdot (1 + K \cdot \varepsilon)$

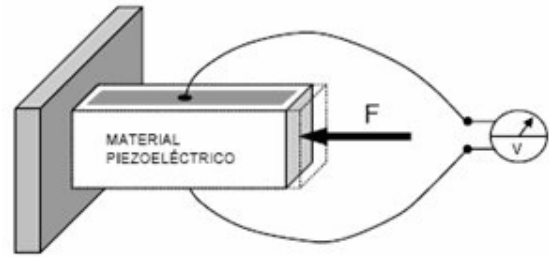
siendo R_0 la resistencia de la galga cuando no se aplica ningún esfuerzo, K el factor de sensibilidad de la galga (depende del material) y ε la deformación longitudinal unitaria ($\Delta L/L$).

Una vez medida R mediante un circuito eléctrico, se tiene ε . Para obtener la tensión σ a que está sometida la galga se dispone de la *ley de Hooke*:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

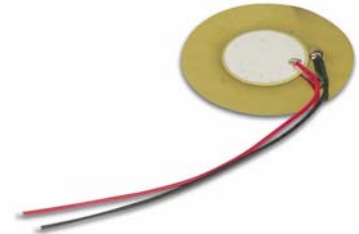


- ❑ **Transductores piezoeléctricos:** se basan en el *efecto piezoeléctrico*, consistente en la aparición de cargas eléctricas de distinto signo en las caras de una lámina cristalina de algunos materiales (cuarzo, turmalina, etc.), tallada adecuadamente, cuando se someten a deformación (en este caso al aplicarle una presión) en determinadas direcciones.



El cristal se coloca entre dos láminas metálicas que recogen las cargas, constituyendo el conjunto un condensador cuyo dieléctrico es el cristal y cuyas armaduras son las láminas metálicas.

Estos transductores tienen las ventajas de tener una alta sensibilidad y muy reducido tamaño. El inconveniente es que el efecto desaparece con el tiempo, por lo que sirven para medir variaciones de presión y no presiones estáticas o que varíen muy lentamente.



3.4.3. Transductores de medida de vacío

Son de gran sensibilidad y se utilizan para la medida de alto vacío (presiones inferiores a 1 mm de Hg).

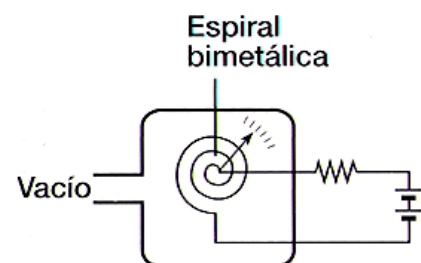
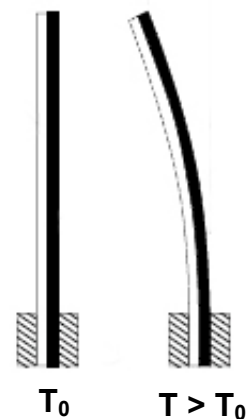
Los hay de diversos tipos. Vamos a ver el **transductor bimetalico de vacío**. Se basa en el principio siguiente: *“La energía emitida por un filamento por el que pasa una corriente eléctrica es inversamente proporcional a la presión del gas que lo rodea”*.

También utiliza el efecto de curvatura que adquiere una lámina bimetalica (formada por dos finas láminas de metales con diferente coeficiente de dilatación) al calentarse por la diferente dilatación de cada una de sus caras.

El transductor está constituido por una espiral bimetalica calentada por medio de una corriente eléctrica, introducida en un recinto conectado a la presión que se quiere medir.

La deformación de la espiral será proporcional a la presión del gas (ya que cuanto más presión, menos energía emite el filamento y, por tanto, más caliente estará).

Se pueden medir presiones del orden de 0,001 mm Hg (nota: recordar que 1 atm = 760 mm Hg).



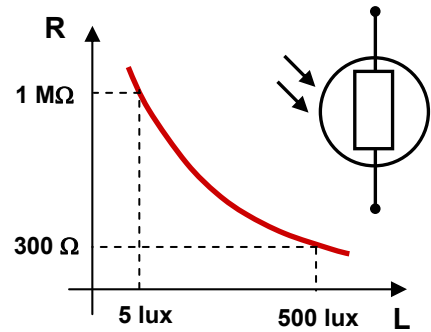
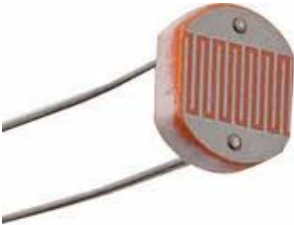
Transductor bimetalico

3.5. Transductores de iluminación

Son elementos que modifican sus propiedades eléctricas por la incidencia sobre ellos de radiaciones luminosas.

3.5.1. Fotorresistencias o LDR

Las fotorresistencias son conocidas también como **LDR** (Light Dependent Resistor). Su resistencia eléctrica depende del flujo luminoso que incide sobre ellas (a más luz menos resistencia). Están constituidas por elementos semiconductores (silicio, germanio y otros).

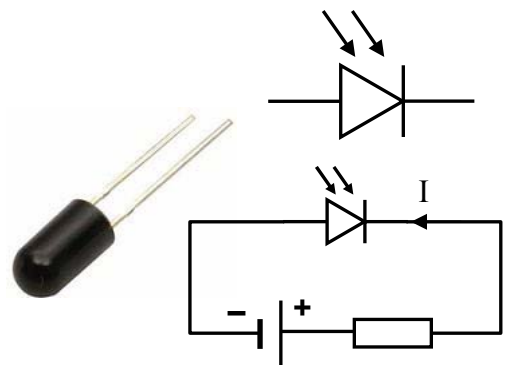
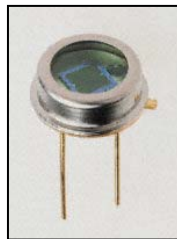


Tienen muy baja velocidad de respuesta, por lo que deben utilizarse en medidas estáticas, nunca en señales luminosas que varíen muy rápidamente.

3.5.2. Fotodiodos

Estos componentes conducen de cátodo a ánodo, es decir, en sentido inverso a como lo hace el diodo normal, cuando se somete a la acción de la luz. La intensidad de la corriente inversa es mayor cuanto mayor cantidad de luz incide.

Para su correcto funcionamiento debe estar polarizado inversamente.



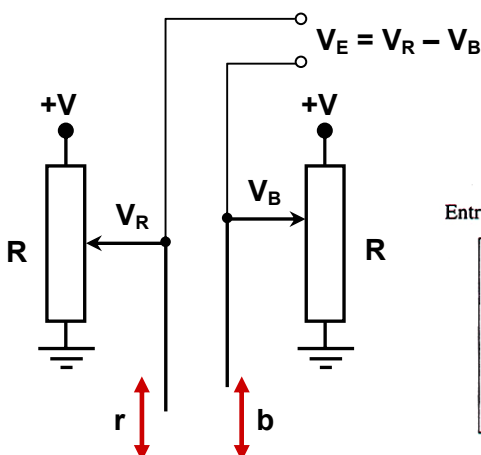
3.5.3. Fototransistores

Tienen un funcionamiento similar al transistor normal, salvo que la corriente de base que se inyecta en éste último para que conduzca es sustituida por luz.

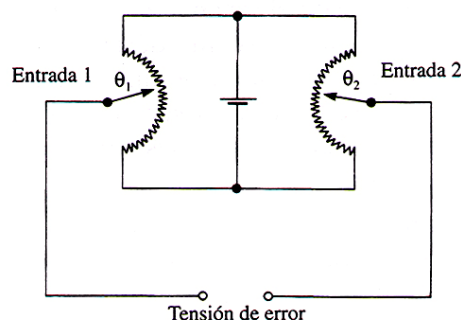


4. COMPARADORES O DETECTORES DE ERROR

En el sistema de control, la función del **comparador** es, precisamente, **comparar la señal de referencia** que sale del transductor **con la señal de salida** medida y realimentada por el captador. Al restarlas **se genera la señal de error**. Por tanto, sólo tiene sentido en los sistemas de control en bucle cerrado.



La mayoría de los comparadores son de tipo eléctrico o electrónico, por la facilidad con que se pueden comparar dos señales eléctricas. En la figura adjunta se



muestran dos **puentes de potenciómetros**, uno para comparar desplazamientos lineales y otro angulares. Los electrónicos suelen utilizar amplificadores operacionales y otros circuitos integrados.

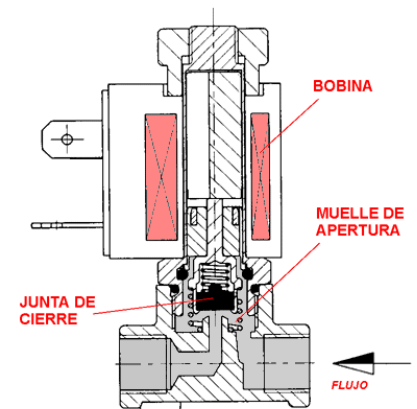
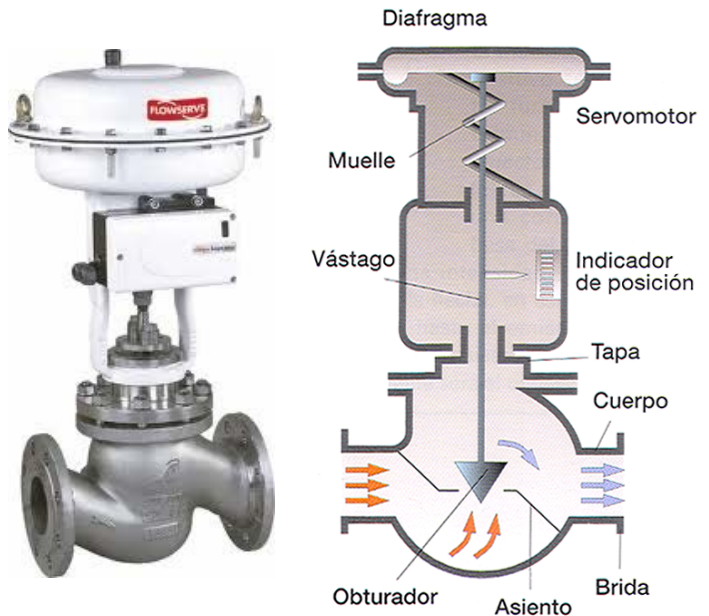
5. ACTUADORES

Son los elementos finales de control y actúan directamente sobre el sistema a controlar. Existen actuadores muy diferentes según el tipo de proceso: válvulas, relés, servomotores, motores paso a paso, cilindros neumáticos o hidráulicos, tiristores, etc. Veamos algunos

❑ **Válvulas de control:** es uno de los elementos finales de control más frecuentemente utilizado a nivel industrial debido a la existencia de gran número de aplicaciones donde hay que controlar el flujo de líquidos o gases. Así, nos la encontramos, por ejemplo, en los siguientes casos:

- Control del paso de combustible o comburente en procesos de combustión.
- Control de la entrada o salida de vapor de calderas para regular su presión.
- Control de nivel de líquido en depósitos.
- Control de mezclas en procesos químicos.

Las válvulas de control pueden estar accionadas neumática o eléctricamente mediante una bobina que al activarse desplaza el vástago.



❑ **Servomotores:** son actuadores constituidos por un motor de CC o de CA, un mecanismo reductor de velocidad y un circuito de control, que tiene la capacidad de posicionar su eje con un ángulo de giro muy preciso y mantenerlo estable en la posición.



❑ **Motores paso a paso:** en vez de con tensiones continuas o alternas son controlados con pulsos que son generados por un circuito electrónico y aplicados a los diversos devanados de los que están constituidos. Su eje gira en pasos discretos. El ángulo del paso puede variar desde 1,8° (en los motores de 200 pasos por vuelta) a 15° (en los de 24 pasos por vuelta).



Tienen muy poca potencia. Pueden ser controlados por señales digitales.