

TRANSDUCTORES, SENSORES Y CAPTADORES

DEFINICIONES

En automoción hay que disponer de elementos que nos adapten las magnitudes de referencia (variables de entrada) en otro tipo de magnitudes proporcionales a las anteriores, de manera que estos últimos sean interpretables por el sistema y así se pueda realizar un buen control del proceso.

Sensor: se define normalmente como el elemento que se encuentra en contacto directo con la magnitud que se va a evaluar. El sensor recibe la magnitud física y se la proporciona al transductor.

Transductor: De manera general podemos decir que es un elemento o dispositivo que tiene la misión de traducir o adaptar un tipo de energía en otro más adecuado para el sistema, es decir convierte una magnitud física, no interpretable por el sistema, en otra variable interpretable por dicho sistema.

El transductor transforma la señal que entrega el sensor en otra normalmente de tipo eléctrico.

El transductor suele incluir al sensor.

Captador: es un dispositivo encargado de recoger o captar un tipo de información en el sistema para realimentarla.

Podemos decir por lo tanto que es un transductor que se coloca en el lazo de realimentación de un sistema cerrado para recoger información de la salida (no suele ser de tipo eléctrico) y adaptarla para poder ser comparada con la señal de referencia. Suele incluir al sensor.

En sistemas de lazo abierto o incluso en definiciones de diversos autores, captador y sensor suelen ser la misma cosa.

Transmisor: se entiende por transmisor la circuitería que transforma la señal que sale del sensor, transductor o captador y la convierte en una señal normalizada.

Ejemplo: En un circuito eléctrico, un interruptor puede actuar como transductor de entrada a un sistema de regulación, proporcionando o interrumpiendo una señal eléctrica a través de un cambio de posición. Si embargo, no puede funcionar como captador, pues su accionamiento se verifica de forma manual, impidiéndose de esta manera la realimentación automática.

Servosistema: es un sistema en lazo cerrado y entrada variable.

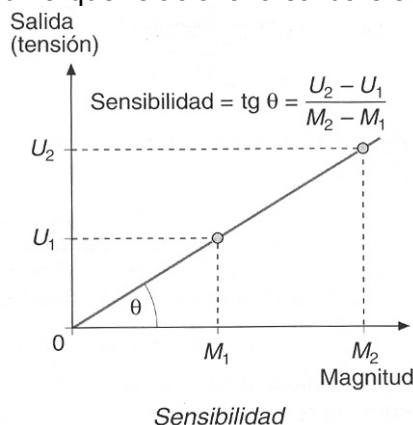
Servomecanismo: es un servosistema en el que la salida es una posición, velocidad o aceleración.

Servomotor: motor con control de posición en lazo cerrado.

PROPIEDADES DE LOS SENSORES, TRANSDUCTORES Y CAPTADORES

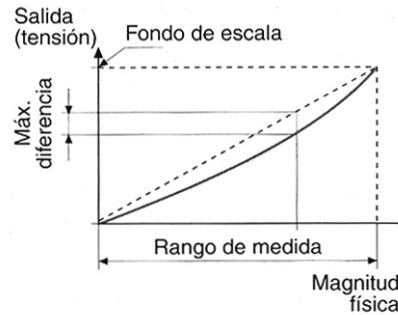
Rango de medida: Es la diferencia entre los máximos y los mínimos valores entre los que se necesita medir. Se recomienda no utilizar un transductor para medidas por debajo de 1/10 del máximo valor que se puede medir. Por ejemplo si un transductor de presión puede medir hasta 1000 Pa, no se debería utilizar para medir menos de 100 Pa (a esto se le denomina valor de fondo de la escala).

Sensibilidad: Es la pendiente de la curva que relaciona la salida eléctrica con la magnitud física a medir



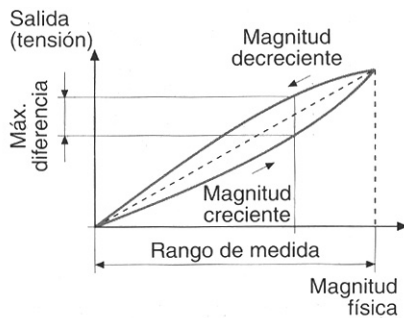
Resolución: Es la variación detectable más débil.

No-linealidad: Es la distancia mayor entre la curva de funcionamiento del sensor (en dirección ascendente) y la recta del punto inicial al final de funcionamiento.



No linealidad

Histéresis: En ocasiones los caminos que sigue la gráfica (magnitud-señal eléctrica) no tienen el mismo en al aumento y en la disminución.



Histéresis.

$$\text{Histéresis} = \frac{\text{Máxima diferencia}}{\text{Rango de medida}} \times 100$$

Repetitividad: cuando la medida se realiza varias veces, la gráfica magnitud-señal eléctrica no siempre pasa por el mismo lugar. La máxima diferencia será el valor absoluto de la repetitividad.

TIPOS DE TRANSDUCTORES

- a) Posición, proximidad o presencia
 - Finales de carrera mecánicos (Posición)
 - Detectores de proximidad:
 - 1. Inductivos: - sensibles a materiales ferromagnéticos:
 - De contacto auxiliar
 - De bobina
 - sensibles a materiales metálicos.
 - 2. Capacitivos
 - 3. Ópticos:
 - Directos.
 - Con fibras ópticas acopladas
- b) Desplazamiento o movimiento
 - 1. Medida de grandes distancias
 - 2. Medida de distancias cortas
 - 3. Pequeños desplazamientos
 - Resistivos
 - Inductivos
 - Capacitivos
 - 4. Medidores de ángulos
 - Resistivos
 - Inductivos
 - Capacitivos
 - Encoders o digitales: incrementales y absolutos
- c) Velocidad
 - Tacómetros:
 - Mecánicos
 - Eléctricos: Tacodinamos y Tacoalternadores
 - Ópticos
- d) Presión / Fuerza
 - 1. Mecánicos
 - 2. Electromecánicos
 - Piezoeléctricos
 - Resistivos
 - Galgas extensiométricas
 - Capacitivos
 - Resistivos
 - 3.- Vacío
- e) Temperatura
 - Termoresistencias
 - Termistores: NTC y PTC
 - Termopares
 - Pirómetros de radiación
- f) Luz
 - Fotorresistencias o LDR
 - Fotodiodos
 - Fototransistores

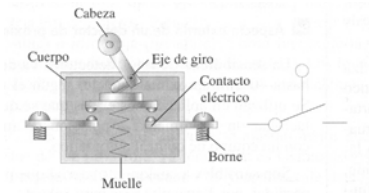
Los transductores pueden ser:

Activos: generan por sí mismos una señal eléctrica.

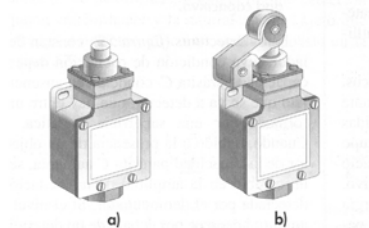
Pasivos: no generan por sí mismos una señal eléctrica.

TRANSDUCTORES DE POSICIÓN, PRESENCIA O PROXIMIDAD

Finales de carrera mecánicos



Estructura y símbolo eléctrico de un final de carrera.



Finales de carrera. a) De pulsador por movimiento rectilíneo. b) De roldana por movimiento rectilíneo.

Son interruptores que sirven para determinar la posición de un objeto o de una pieza móvil: Cuando el objeto o la pieza alcanza el extremo de su carrera, actúan sobre una palanca, émbolo o varilla, produciendo el cambio de unos pequeños contactos.

Los finales de carrera tienen dos partes diferenciadas: la cabeza y el cuerpo. La cabeza es el dispositivo captador y el cuerpo es el bloque que contiene los contactos eléctricos o una válvula neumática/hidráulica.

Detectores de proximidad

Se denominan así a cualquier dispositivo eléctrico, electromecánico o electrónico que reaccione de forma aprovechable ante un objeto situado en un entorno definido del mismo. El entorno de reacción define el campo de sensibilidad. Para que la reacción se produzca, sólo se precisa la proximidad física entre el objeto y el detector sin que haya ningún tipo de contacto mecánico entre ellos.

En función del sistema detector se clasifican en:

1.- Detectores de proximidad inductivos

Son todos los dispositivos detectores de proximidad que utilizan un campo magnético (estacionario o variable) como fenómeno físico aprovechable para reaccionar frente al objeto que se quiere detectar. En función de los distintos tipos de materiales ante los que son capaces de reaccionar, se clasifican en:

1.1.- Detectores inductivos sensibles a materiales ferromagnéticos

Sólo reaccionan ante la presencia de materiales ferromagnéticos. Utilizan un campo magnético estático (producido por el propio detector) que se modifica por la presencia del material ferromagnético. Están más próximos a los finales de carrera pues no precisan alimentación eléctrica. Se utilizan cuando se requieren muchas actuaciones o cuando las condiciones ambientales como polvo, humedad, etc, pueden dificultar el funcionamiento de contactos mecánicos. Tienen el inconveniente de no poderse utilizar en lugares donde se prevea que pueden aparecer campos magnéticos o la existencia de materiales o virutas de tipo ferromagnético. Son económicos y sencillos de construir. Se pueden clasificar:

1.1.1.- De contacto laminar

Constan de dos imanes permanentes y un relé laminar normalmente abierto entre los imanes gracias al equilibrio de campo magnético sobre él. Al introducir en el campo magnético un objeto ferromagnético, el campo se desequilibra y el contacto del relé se cierra.

1.1.2.- De bobina

Utilizan la variación de un campo magnético estático (como el caso anterior) para inducir en una bobina (situada en la posición que ocupaba el contacto laminar) un impulso de tensión. No se pueden utilizar donde existan virutas de tipo ferromagnético. Son sencillos, fáciles de aplicar y no necesitan al igual que los anteriores de tensión auxiliar.

1.2.- Detectores inductivos sensibles a materiales metálicos

Reaccionan ante cualquier material capaz de provocar pérdidas por corrientes de Foucault. Utilizan un campo magnético variable cuya dispersión en el espacio define el campo de sensibilidad del dispositivo. Cualquier material que puede absorber energía de dicho campo provocará un cambio de los parámetros eléctricos del sensor que se utilice (generalmente una bobina o un circuito oscilante LC)

Se pueden montar total o parcialmente empotrados. Existen versiones para cc y ca.

2.- Detectores de proximidad capacitivos

Son detectores que utilizan un campo eléctrico (generalmente variable) como fenómeno físico aprovechable para reaccionar frente al objeto que se quiere detectar.

Constan de un oscilador RC. La aproximación de un objeto a los electrodos del condensador hace que la capacidad C aumente y varíe la amplitud de la oscilación. Si el nivel de dicha amplitud decrece por debajo de un determinado valor se produce una señal de conmutación que es débilmente amplificada para actuar sobre elementos exteriores.

Se emplean para detectar líquidos conductores y no conductores, objetos metálicos, sustancias en polvo o en grano (harina, trigo, grava, etc). No deben ser utilizados con productos adhesivos y el producto debe tener una densidad suficiente como para perturbar el oscilador del detector.

3.- Detectores de proximidad ópticos

Los hay para distancias grandes y pequeñas, por eso a veces sólo se les denomina detectores ópticos. También se les suele llamar fotocélulas. Utilizan medios ópticos y electrónicos para detectar objetos. Para ello utilizan un luz roja (visible) o infrarroja (invisible). Como fuente de luz se utilizan diodos o transistores emisores de luz.

Los detectores de luz roja se ajustan mejor que los de luz infrarroja. La luz infrarroja es menos susceptible a las interferencias producidas por la luz ambiental.

Estos detectores constan de un emisor y un receptor. La detección se realiza por reflexión, al devolver el objeto la luz recibida, o por barrera.

Pueden detectar cualquier tipo de objetos o productos: sólidos o líquidos.

Los tipos de montaje son: barrera, reflex y reflexión directa

Se pueden clasificar en:

- Directos: el receptor y el emisor están en el mismo cuerpo (reflex y reflexión directa).
- Con fibras ópticas acopladas: receptor y emisor no están en el mismo cuerpo (barrera).

En ambos casos la luz es modulada por infrarrojos y por tanto insensible a luces parásitas.

La distancia de detección en el caso de los de reflexión

puede variar según el calor y el grado de brillo de producto.

Pueden reemplazar a los capacitivos e inductivos cuando se deseen distancias de detección mayores.

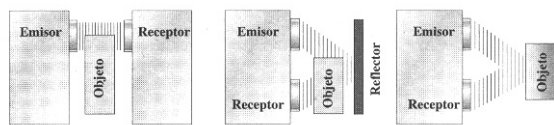
Para distancias grandes se utilizan las llamadas células fotoeléctricas o fotocélulas, que también funcionan por infrarrojos y permiten detectar todo tipo de objetos, productos móviles o personas: paso de vehículos, paquetes, cajas, botellas, piezas de maquinarias, nivel de líquidos y sólidos, paso o movimiento de personas, etc.

Las fotocélulas pueden ser:

- Barrera: la célula está compuesta por dos módulos (emisor y receptor) colocadas uno frente a otro para detectar el paso del objeto o persona. La distancia máxima a detectar es de 200m.
- Reflexión: La célula lleva el receptor y emisor montados en el mismo bloque y detecta el paso de cualquier objeto situado entre ella y el receptor. La distancia máxima alcanzada es de 10 m.
- Proximidad: La célula lleva el transmisor y receptor en el mismo módulo y percibe el paso de cualquier objeto próximo a ella.

TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO O MOVIMIENTO

Se utilizan para medir longitudes y ángulos.



Detectores ópticos. a) Montaje de barrera.
b) Montaje reflex. c) Montaje de reflexión directa.

1.- Transductores de desplazamiento para medidas de grandes distancias

Utilizan principalmente el 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 en su propagación. Por medio de una antena emiten radiaciones electromagnéticas en una determinada dirección. Un receptor amplifica los ecos que recibe del objeto cuya distancia D se desea medir.

$D = C \frac{\Delta t}{2}$ donde c es la velocidad de propagación de las ondas y Δt es el tiempo transcurrido desde que la onda es emitida hasta que se recibe.

El radar se emplea en distancias mayores de 100 m, incluso más de 10 Km.

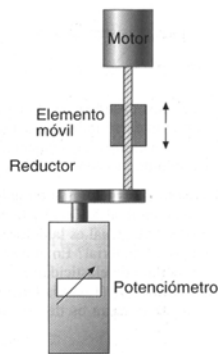
Para medir distancias inferiores a 100m se utilizan ultrasonidos (30 a 40 Hz) cuya velocidad de propagación es mucho menor (340 m/s en el aire, 1450 m/s en el agua y 4000 m/s en metales). Se utilizan en control de nivel de llenado de tolvas, indicación de alturas, etc.

Un sistema basado en ultrasonidos utilizado en exploración náutica es el sonar que utiliza la misma fórmula anterior.

En distancias medias, para topografía, se emplea el rayo láser. El principio es semejante al de los captadores ópticos y se aplican las ecuaciones de las ondas electromagnéticas.

2.- Transductores de desplazamiento para medidas de distancias cortas

Cuando la distancia que se va a medir no supera algunos metros, se utiliza un potenciómetro acoplado sobre un eje roscado, cuyo movimiento determina la posición del elemento móvil cuya posición se quiere medir. El principal inconveniente en el empleo de potenciómetros es el desgaste que se produce en el elemento móvil.



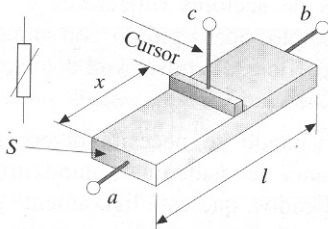
Medida de distancias con potenciómetro

3.- Transductores de desplazamiento para pequeños desplazamientos

Según sea el tipo de transductor pueden ser:

Resistivos: Existen resistencias de hilo metálico o material semiconductor construidas para variar la resistencia al ser deformadas. Estas resistencias se llaman bandas extensiométricas, y se adhieren sobre el soporte adecuado para medir su deformación.

También se emplean potenciómetros (resistores sobre los que se desliza un contacto eléctrico llamado cursor).



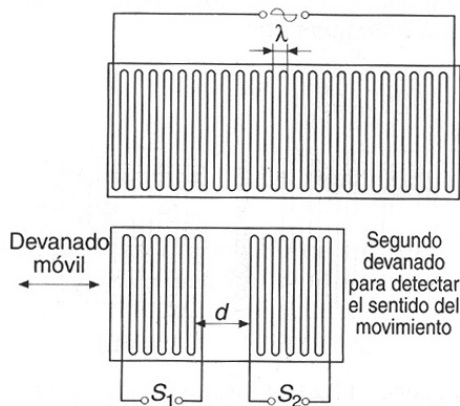
$$R_{ab} = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

$$R_{ac} = \rho \cdot \frac{x}{S}$$

$$R_{ac} = \frac{R_{ab}}{l} \cdot x$$

Los modelos de potenciómetros disponibles comercialmente admiten movimientos lineales y circulares. Los lineales se utilizan para medir desplazamientos que vayan desde 1 mm hasta 1m aproximadamente. Los angulares o circulares se utilizan para medida de ángulos que vayan desde 10 ° hasta algunas decenas de vueltas.

Inductivos: Se utiliza un sistema formado por dos devanados planos de igual paso, uno fijo y otro móvil que se desliza sobre él.



Sistema inductivo para medida de desplazamientos (inductosyn).

La separación entre los dos devanados móviles se hace $d = (k - \frac{1}{4}) \lambda$ siendo

λ el paso de los devanados. Cuando este paso es de 2 mm y se emplea un convertidor analógico/digital de 14 bits, se divide λ en $2^{14} = 16.384$ partes, que da una precisión mejor que $2 \cdot 10^{-4}$. El devanado fijo es alimentado por una tensión alterna, que induce en los móviles una salida S_1 y S_2 . La amplitud de la salida será máxima cuando un devanado móvil esté coincidiendo con el fijo y nula cuando estén desplazados $\lambda/4$. Cuando la separación es de $\lambda/2$, la salida es máxima, pero negativa.

Si el devanado fijo, que cubre todo el campo de medida, es alimentado por una corriente alterna, se inducirá sobre el devanado secundario una señal cuya amplitud dependerá de la fase en que se encuentren ambos devanados. Se suelen colocar dos devanados móviles de forma que se pueda conocer el sentido de la marcha. También pueden medir ángulos.

Capacitivos: Pueden medir distancias de algunos metros. Tienen poca exactitud. Se basan en que se puede variar la capacidad de un condensador, modificando la distancia entre las placas. También pueden medir ángulos.

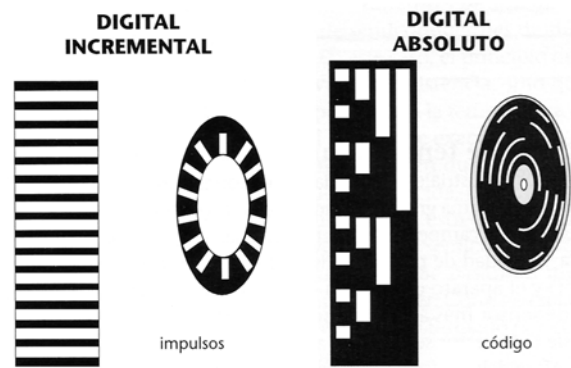
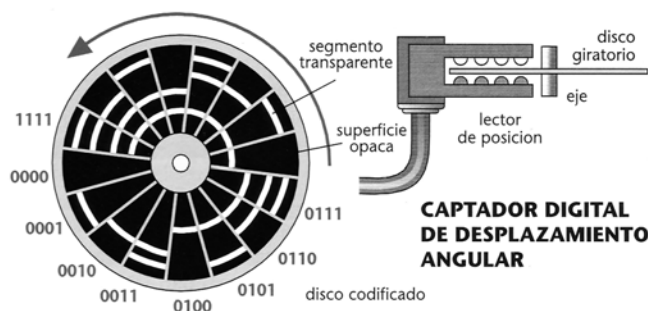
Medidores de ángulos

Los medidores de ángulos o transductores de desplazamiento angular son muy utilizados en los sistemas de control, fundamentalmente cuando se desea medir la variación producida en el eje rotor de un sistema motor-reductor. Al igual que en los transductores lineales, podemos construir transductores angulares aprovechando el efecto resistivo (potenciómetros), inductivo y capacitivo, pero también se pueden utilizar discos codificados (**encoders**) que permiten un tratamiento **digital** de la información angular medida.

Los codificadores de posición o encoders son dispositivos que permiten la medida de posiciones lineales o angulares suministrando una señal de salida digital. No son más que unos discos planos que se acoplan directamente, o mediante un sistema de engranajes, al eje rotor de un motor-reductor, del cual queremos obtener su posición. En la superficie del disco irá grabada, mediante bandas blancas y negras, o mediante muescas perforadas en la superficie, la información digital que nos servirá para averiguar el desplazamiento o posición angular a medir. En general a cada paso angular le corresponderá una muesca o codificación distinta.

Dentro de codificadores digitales o encoders se distinguen:

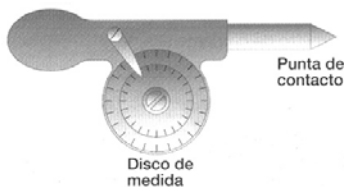
- Codificadores relativos o incrementales: proporcionan información de una posición relativa a una posición anterior (sólo se necesita una información de 0 y 1, ya que el sistema cuenta el incremento de impulsos a partir de la última posición). Pueden medir desplazamientos pero se usan sobre todo en la medida de velocidades.
- Codificadores absolutos: Proporcionan información sobre una posición concreta (por lo tanto es necesario un código binario). Los codificadores se emplean en robótica, máquinas-herramientas, posicionamiento de cabezales de discos magnéticos, radares, etc.



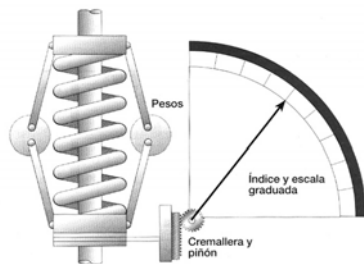
TRANSDUCTORES DE VELOCIDAD

Una de las mediciones más importantes en las aplicaciones industriales es la de la velocidad angular. Esto se realiza mediante los tacómetros, que pueden ser mecánicos o eléctricos. También se puede medir la velocidad mediante medidores de velocidad por impulsos y sistemas ópticos.

Tacómetros mecánicos: El más sencillo es el contador de revoluciones. Consiste en un tornillo sin fin que se acopla al eje cuya velocidad se quiere medir. Este tornillo hace rotar por un sistema de engranajes, a dos diales concéntricos calibrados. Cada división del dial exterior representa una vuelta del eje giratorio mientras que cada división del dial interior corresponde con una vuelta del dial externo.



Esquema de un contador de revoluciones.



Esquema de un tacómetro centrífugo.

Otro tacómetro mecánico es el tacómetro centrífugo. Va provisto de dos bolas, que por efecto de la fuerza centrífuga, se alejan tanto más del eje cuanto mayor sea la velocidad angular. Así se comprime un resorte que va unido a un dispositivo provisto de una aguja indicadora que señala sobre una escala la velocidad angular.

Tacómetros eléctricos: Los más importantes son:

- Tacodinamos o dinamos tacométricas: proporcionan una señal de corriente continua. Están constituidos por un inductor que genera un campo magnético mediante imanes permanentes o electroimanes y un inducido o rotor ranurado sobre el que se bobinan unos devanados de hilo conductor. Las bobinas devanadas se conectan a las delgas del colector. Al girar el rotor dentro de campo inductor hace que aparezca en las bornas de salida a través de las escobillas una tensión continua con una ondulación reducida. Suelen tener una sensibilidad entre 5 y 10 mV por cada r.p.m. y pueden medir velocidades de hasta 10000 r.p.m.
- Tacoalternadores o alternadores tacométricos: proporcionan una señal alterna senoidal con frecuencia y amplitud proporcionales a la velocidad de rotación. A diferencia de la tacodinamo el elemento que gira es el inductor o rotor formado por un imán permanente o electroimán. Tiene la ventaja frente a la tacodinamo que no utiliza colector y escobillas, lo que le dota de mayor duración. Tiene una sensibilidad comprendida entre los 2 y 10 mV por r.p.m. Permite la medida de mayores velocidades que las tacodinamos.

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.

TRANSDUCTORES DE PRESIÓN

1.- Transductores de presión mecánicos

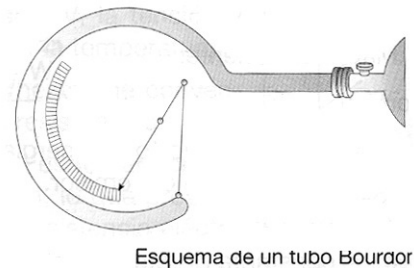
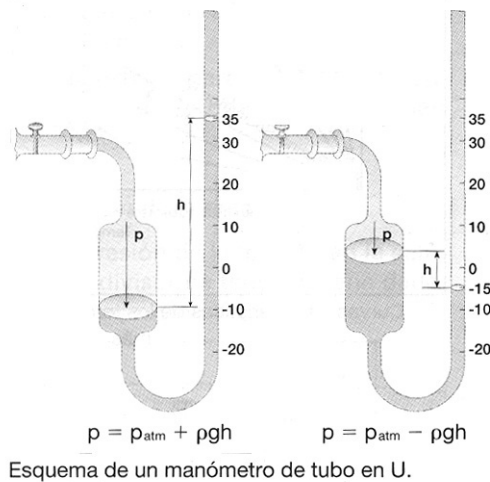
Pueden medir la presión de manera directa o indirecta.

De manera directa: comparándola con la que ejerce un líquido de densidad y altura conocidas (Tubo en U).

De manera indirecta: a través de la deformación que experimentan diversos elementos elásticos constituyentes del transductor (Tubo Bourdon, en espiral y en hélice, diafragma, fuelle, etc.)

Manómetro de tubo en U: se utiliza para medir presiones cercanas a la atmosférica. Consta de un tubo en forma de U (generalmente contiene mercurio) con una de las ramas abiertas, mientras que en la otra se aplica la presión a medir. Como la presión es distinta en las dos ramas hay un desplazamiento del mercurio, de manera que la presión p a medir es:

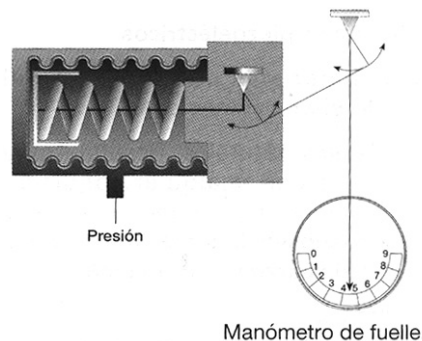
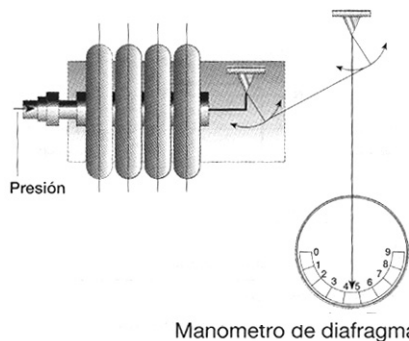
$$p = p_{\text{atm}} + dgh$$



Tubo Bourdon: Es un tubo de sección elíptica, y curvado de manera que forma un anillo casi perfecto. Al aplicar presión al fluido contenido en su interior, el tubo tiende a enderezarse, transmitiéndose el movimiento de su extremo (por un sistema de engranaje) a una aguja que se desplaza por una escala graduada.

Elementos en espiral y en hélice: Se forman enrollando un tubo Bourdon, lo que da lugar a un desplazamiento considerable del extremo libre y a un movimiento más amplio de la aguja indicadora.

Diafragma: consiste en una o varias cápsulas o diafragmas circulares soldados entre sí por sus bordes, de manera que al aplicar una presión, cada cápsula se deforma y la suma de todas estas pequeñas deformaciones es amplificada a continuación por un juego de palancas, y transmitida a una aguja indicadora.

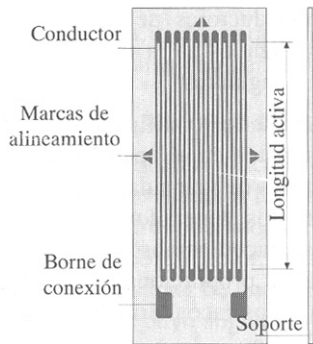


Fuelle: Es similar al de diafragma, constando de una sola pieza (fuelle) en la dirección de su eje, la cual puede dilatarse o comprimirse a causa de la presión.

Manómetros de presión absoluta: Usan la combinación de dos fuelles, uno como medida de la presión relativa y otro para medir la atmosférica. El movimiento resultante de la unión de los dos fuelles equivale a la presión absoluta.

2.- Transductores de presión electromecánicos

Utilizan un elemento mecánico elástico (Bourdon, espiral, fuelle, etc) combinado con un transductor eléctrico que se encarga de generar la señal eléctrica correspondiente.



Constitución de una galga extensiométrica.

Galgas extensiométricas: Las galgas extensiométricas se basan en la variación de longitud y diámetro (y, por lo tanto, de resistencia) que tiene lugar en un hilo de conductor o semiconductor al ser sometido a un esfuerzo mecánico como consecuencia de una presión (efecto piezoresistivo). En general el valor de la resistencia cumple la expresión:

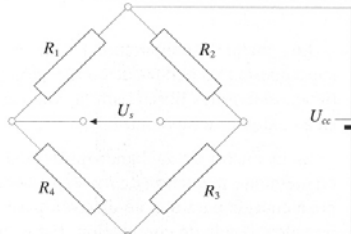
$$R = R_0(1 + \epsilon) \quad \epsilon = K \epsilon \quad \epsilon = \sigma / E \quad E = \text{módulo de Young}$$

R_0 : Resistencia sin ningún esfuerzo aplicado.

K : Factor de sensibilidad de la galga (aproximadamente 2)

ϵ : deformación unitaria longitudinal (medida adimensional de la deformación)

Para medir la variación de la resistencia eléctrica de las galgas se utiliza el puente de Wheatstone.



Esquema de un puente de Wheatstone.

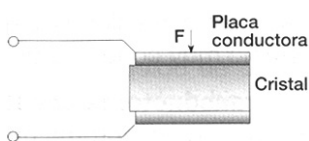
$$U_s = U_{cc} \left(\frac{R_4}{R_1 + R_4} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

Las galgas pueden ser una, dos o todas las resistencias del puente. Cuando U_s es cero el puente está en equilibrio. La variación de una de las resistencias produce un desequilibrio.

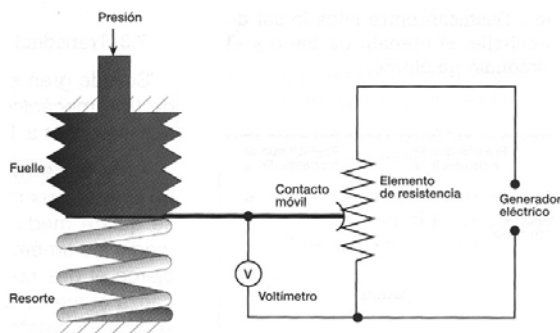
Cuando el puente está en equilibrio, se cumple que $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$

Las galgas pueden ser cementadas y sin cementar. Las cementadas están formadas por varios bucles de hilo muy fino pegado a una base cerámica, papel o plástico. En las galgas sin cementar los hilos descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.

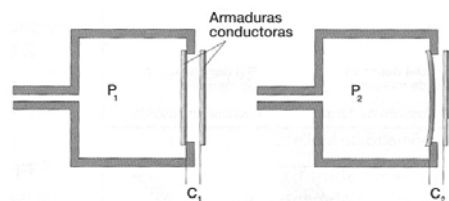
Transductores piezoeléctricos: El efecto piezoeléctrico consiste en la aparición de cargas eléctricas en determinadas zonas de una lámina cristalina de algunos materiales siguiendo ciertos ejes, en respuesta a la aplicación de una tensión. El cristal se coloca entre dos láminas metálicas que recogen las cargas eléctricas, siendo posible de esta forma medir las variaciones de presión.



Resistivos: La presión desplaza un cursor a lo largo de una resistencia a modo de potenciómetro cuyo valor se modifica proporcionalmente a la presión aplicada



Esquema de un transductor resistivo.



$$P_2 > P_1 \rightarrow C_2 > C_1$$

Esquema de un transductor de presión capacitivo.

Capacitivos: Miden la presión por medio de un diafragma metálico que constituye una de las placas del condensador. Cualquier cambio de presión hace variar la separación entre el diafragma y la otra placa, modificándose la capacidad del condensador

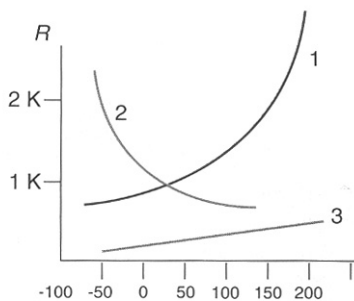
3.- Transductores de vacío

Se emplean para la medida de alto vacío. No son adecuados para presiones inferiores a 1 mm de Hg. Los más importantes son:

- Manómetro o vacuómetro de McLeod.
- Transductores térmicos: la energía emitida por un filamento por el que pasa una corriente eléctrica es inversamente proporcional a la presión del gas ambiental.
- Transductores de ionización: se basan en la formación de iones en el seno de un gas, siendo su velocidad de formación, es decir su corriente iónica, proporcional a la presión.

TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

La medida de la temperatura se realiza con mucha frecuencia en la industria. Los transductores de temperatura más importantes son.



Gráficas de termistores.

1. Variaciones de R con la temperatura en un termistor PTC.
2. Variación de R con la temperatura en un termistor NTC.
3. Variación de R con la temperatura en una termorresistencia de platino.

Termoresistencias: se basan en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Se denominan también sondas de resistencia, sondas termométricas o simplemente resistencias RTD. Sabemos que existe una relación entre la resistencia y la temperatura de un cuerpo

$$R_T = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad T = T - T_0$$

Donde R_0 es la resistencia a T_0 °C, R_T la resistencia a T °C y α el coeficiente de temperatura.

Es semejante a la de las galgas extensiométricas.

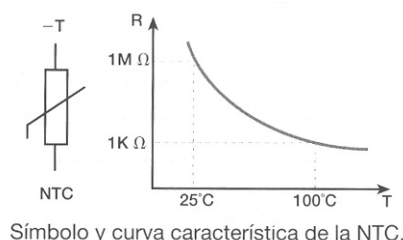
Las termoresistencias están constituidas por un hilo muy fino de un conductor metálico, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica. Para el hilo se pueden emplear platino, níquel, cobre o wolframio.

Las variaciones de resistencia que sufren se suelen medir mediante

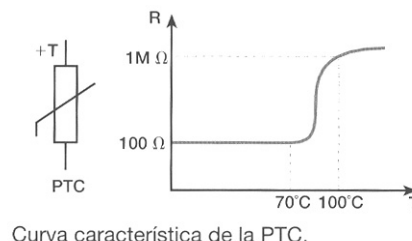
un puente de Wheatstone.

Termistores: se basan en la variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura. En función de cómo varía la resistencia con la temperatura se clasifican en:

- Termistores o resistencias NTC: son de coeficiente de temperatura negativo, es decir la resistencia disminuye al aumentar la temperatura y viceversa.
- Termistores o resistencia PTC: son de coeficiente de temperatura positivo, es decir la resistencia aumenta o disminuye al aumentar o disminuir respectivamente la temperatura.



Simbolo y curva característica de la NTC.



Curva característica de la PTC.

Se utilizan como medida de temperatura en motores eléctricos, hornos, protección de sobrecargas, etc.

Termopares: se basan en la fuerza electromotriz creada en la unión de dos metales distintos por uno de sus extremos (efecto Seebeck). Cuando la unión se calienta aparece una diferencia de potencial entre los extremos libres.

El efecto Seebeck recoge conjuntamente dos efectos: Peltier y Thomson.

El efecto Peltier provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando circula una corriente a través de la unión.

El efecto Thomson consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperatura.

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 escasas de oxígeno.
- Cromo- Alumel (500-100 °C). Se emplea en atmósferas oxidantes.

Pirómetros de radiación: se basan en la ley de Stefan-Boltzmann, que dice que la intensidad de la energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo es función de la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo.

$$W = \epsilon \sigma_0 T^4$$

W: es la energía radiada por unidad de tiempo y superficie del emisor (W/m²)

σ_0 : es la constante de Stefan-Boltzmann (5,67 · 10⁻⁸ W/m²·K⁴)

T: temperatura de la superficie emisora en K)

ϵ : emisividad del cuerpo emisor (representa el grado de aproximación del cuerpo emisor a las características ideales del cuerpo negro).

Los pirómetros de radiación miden a distancia la temperatura de un cuerpo en función de la radiación que emite. Pueden ser :

- Variación total: Formados por una lente que convierte la radiación del objeto caliente en una termopila, transmitiendo los datos a una escala graduada. Miden temperaturas del orden de 1000 °C.
- Ópticos: utilizan la radiación visible correspondiente a una banda muy estrecha de frecuencia y determinan la temperatura comparando la intensidad de la radiación con la de otra conocida procedente de una fuente auxiliar (por ejemplo un filamento de wolframio). Miden temperaturas del rango de 1500 a 3000 °C)

TRANSDUCTORES DE LUZ

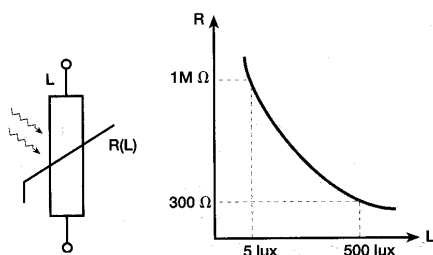
Hacen uso de las radiaciones luminosas. Los más importantes son las fotorresistencias o LDR, los fotodiodos y los fototransistores.

LDR: varían su resistencia dependiendo de la luz que inciden sobre ellas. Son de coeficiente de luz negativo, es decir la resistencia disminuye al aumentar la luz o viceversa.

La ley de variación de la resistencia en función de la energía luminosa recibida es:

$$R = K\epsilon^{-\alpha} \quad \text{donde } k \text{ y } \alpha \text{ dependen del material que constituye la resistencia.}$$

La rapidez de respuesta de las LDR es escasa.

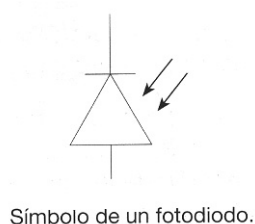


Símbolo de una LDR.

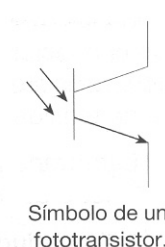
Curva característica de una LDR.

Fotodiodos: su funcionamiento se basa en la conducción inversa de un diodo cuando éste se somete a la acción de la luz. Al aumentar la cantidad de luz incidente se incrementa la circulación de corriente inversa.

Cuando no hay luz se comportan como un diodo normal.



Símbolo de un fotodiodo.



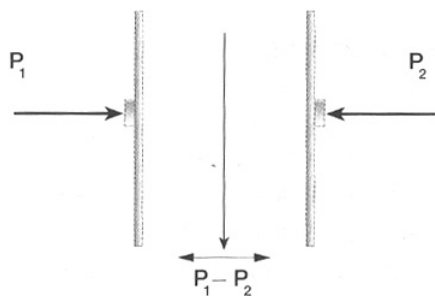
Símbolo de un fototransistor.

Fototransistores: funcionan de manera similar a la de un transistor normal en el que la corriente que se inyecta por la base del transistor ha sido suministrada por la luz.

COMPARADORES O DETECTORES DE ERROR

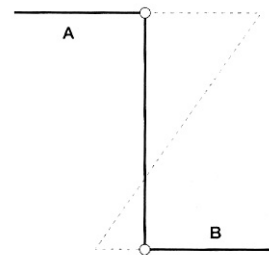
La diferencia entre el valor medio de la variable controlada y el valor de consigna se puede obtener por diferentes procedimientos:

- Neumáticos: Se determina la diferencia de dos señales en forma de presión mediante el uso de un fuelle. Cuando ambas presiones son iguales el señalador se mantiene en la posición central.



Comparador neumático

Comparador neumático.



Comparador mecánico

Comparador mecánico.

- Mecánicos: se comparan por ejemplo dos movimientos. Una de las barras determina el punto de consigna. Cuando ambas coinciden la barra central está perpendicular a las barras A y B.

- Eléctricos: Puente de potenciómetros.

La señal de error se obtiene, en este caso como una diferencia de potencial entre dos cursores.

En el caso de que el potenciómetro en lugar de ser lineal sea circular, la señal de error $e = K(\phi_1 - \phi_2)$ donde K es una constante de proporcionalidad.

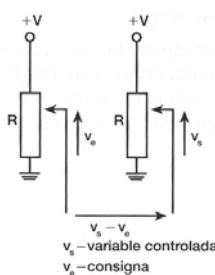
- Electrónicos: La comparación se puede realizar a base de dispositivos electrónicos.

$$\text{Si } V_e > V_s \quad e > 0$$

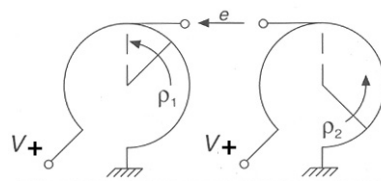
$$e = \frac{V}{L} (V_e - V_s)$$

$$\text{Si } V_e < V_s \quad e < 0$$

L es la longitud del potenciómetro.



Comparador potenciométrico.



$$e = \text{error} = \frac{V}{2\pi} (\phi_1 - \phi_2)$$

Potenciómetros circulares.

ACTUADORES O ELEMENTOS FINALES

Son los órganos de mando de una válvula, compuerta, etc entre los que pueden estar las bobinas y los relés, capaces de obedecer a una señal eléctrica o neumática procedente del controlador.

Se pueden emplear servomotores de válvula o de pistón sobre los que actúa la presión del aire o de otro fluido.

Desde el punto de vista eléctrico existen los servomotores de c.c y de c.a. Los de c.c presentan un mayor rendimiento que los de c.a.

Los tipos de amplificadores más usados son de tipo electrónico o hidráulico.

Los circuitos finales de control más empleados son: cilindros hidráulicos, motores de c.c., motores de c.a. y motores paso a paso.