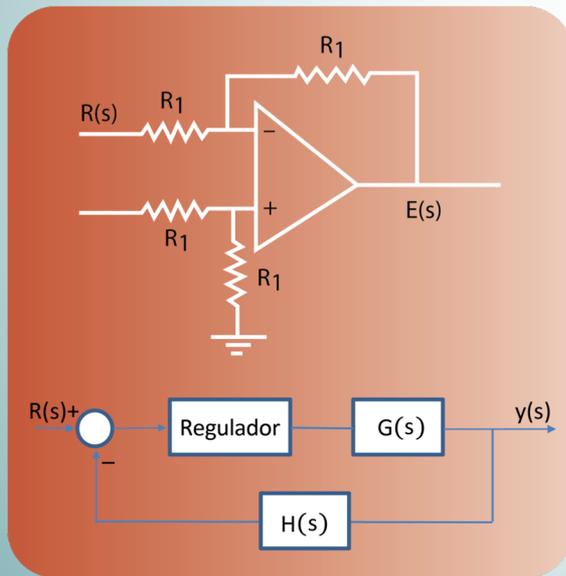


Electrónica Básica, Control e Instrumentación

Bloque III. Instrumentación

Tema 1. Instrumentación



Sandra Robla Gómez
Elena Hoyos Villanueva
José Ángel Miguel Díaz

DPTO. DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA E
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



TEMARIO INSTRUMENTACIÓN

- **QUÉ ES UN SENSOR**
- **PUENTE DE WHEASTONE**
- **AMPLIFICADORES OPERACIONALES**
- **GALGAS EXTENSIOMETRICAS**
- **TERMOPARES**
- **SENSORES CAPACITIVOS**
- **SENSORES INDUCTIVOS**

QUÉ ES UN SENSOR

INTRODUCCIÓN

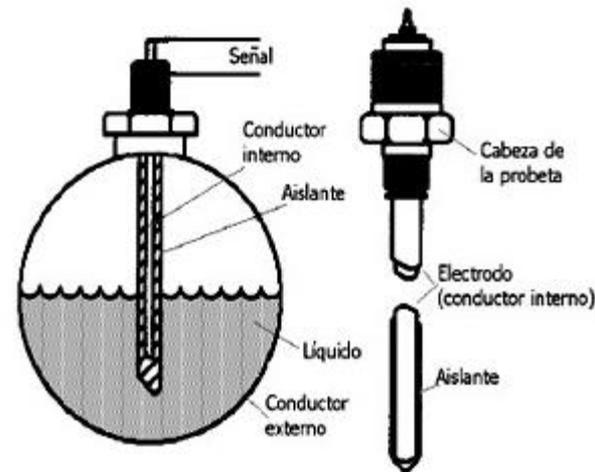
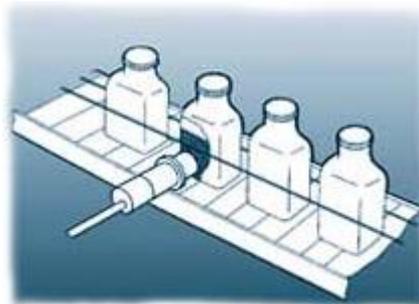
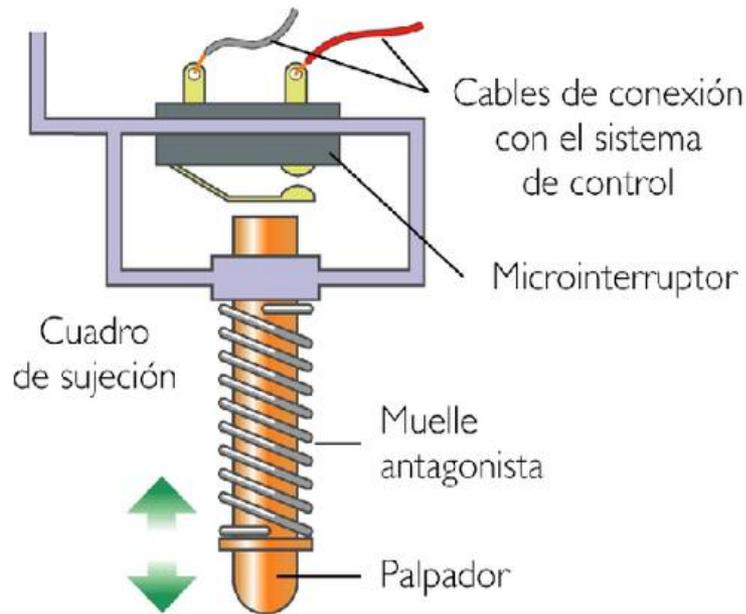
- ⇒ Los sensores son el medio de interactuar con el mundo exterior.
- ⇒ Traducen las señales de un determinado fenómeno físico en señales eléctricas (normalmente analógicas).
- ⇒ Estas señales han de ser acondicionadas antes de ser procesadas.

CLASIFICACIÓN

- Sensores Binarios: convierten una magnitud física en una señal eléctrica con los estados "ON" y "OF".
- Sensores Analógicos: convierten una magnitud física en una señal analógica, principalmente una señal eléctrica de tensión o corriente.

EJEMPLOS SENSORES BINARIOS

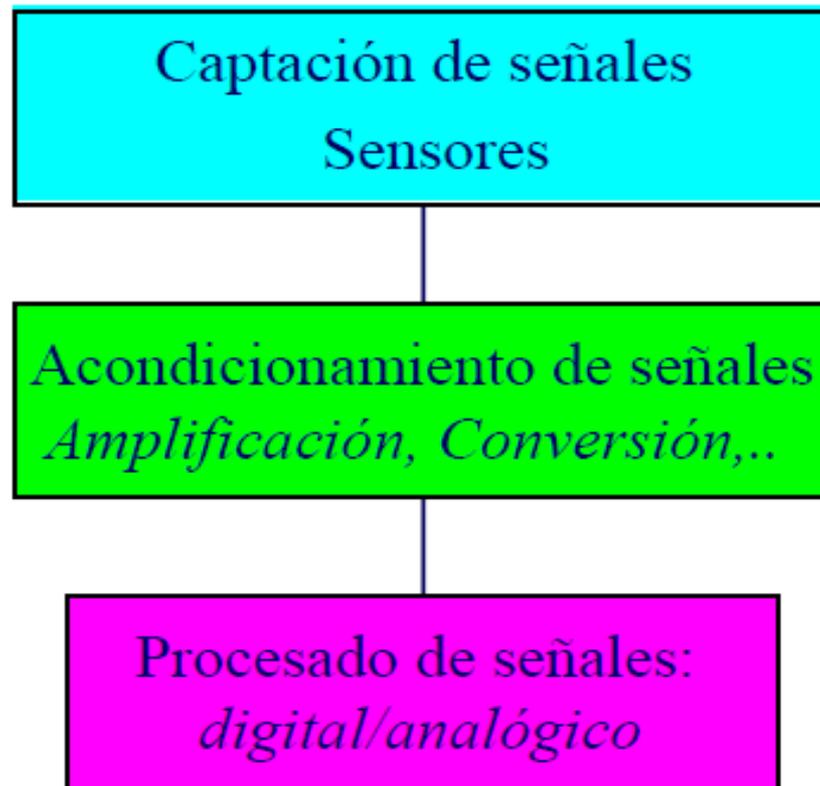
- Final de Carrera.
- Sensor de Proximidad.
- Sensor de Nivel.
- Termostato.



EJEMPLOS SENSORES ANALÓGICOS

- Sensor de Longitud, distancia o desplazamiento.
- Sensor para valores ópticos y acústicos.
- Sensor de Fuerza
- Sensor de temperatura y valores térmicos.

PROCESO GENERAL



PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

- Sensibilidad
- Rango
- No-linealidad
- Repetibilidad
- Error de histéresis
- Estabilidad
- Resolución

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Sensibilidad S: Mide la razón entre la variación de la señal física medida y la variación de la señal eléctrica de salida del sensor:

Si la señal física es x y la señal de salida r :

$$S = \frac{\frac{\Delta r}{r}}{\frac{\Delta x}{x}}$$

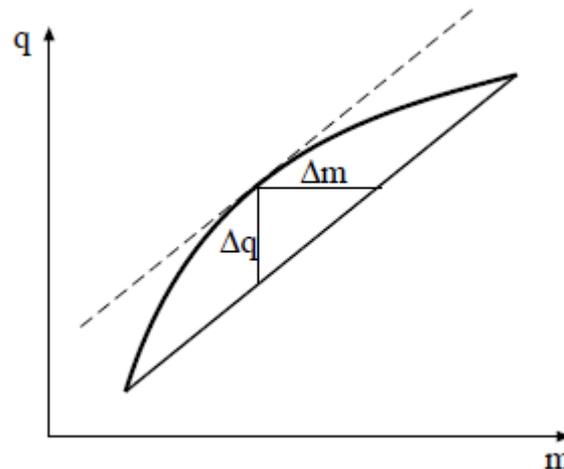
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Rango: corresponde a los valores de salida del sensor correspondientes a todo el posible abanico de valores de entrada.

- Se expresa especificando los límites inferior y superior del intervalo en cuestión
- Ejemplo: El rango de un termómetro de resistencia de platino industrial es $[-200,650]^{\circ}\text{C}$

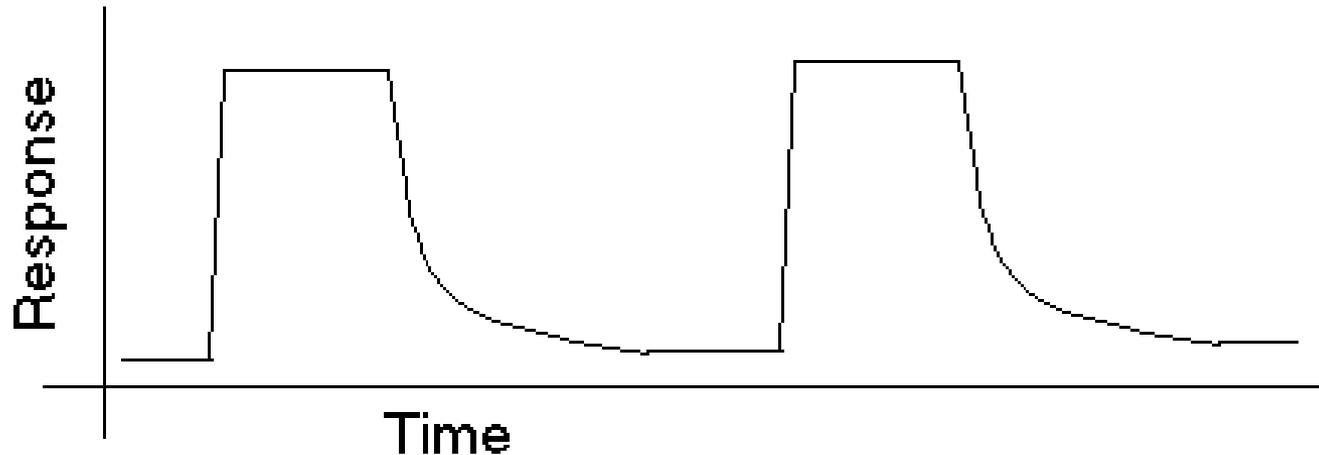
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

No-Linealidad: La señal medida no depende linealmente de la magnitud física asociada, aunque esa era la respuesta esperada.



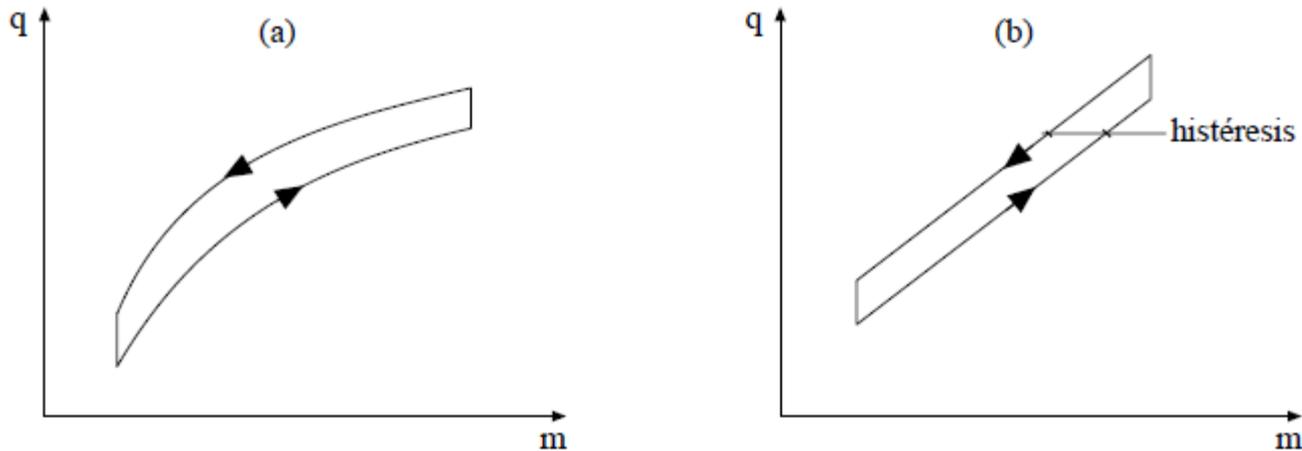
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Repetibilidad: es la capacidad del sistema de dar el mismo valor de la magnitud medida cuando se realizan distintas medidas en la mismas condiciones



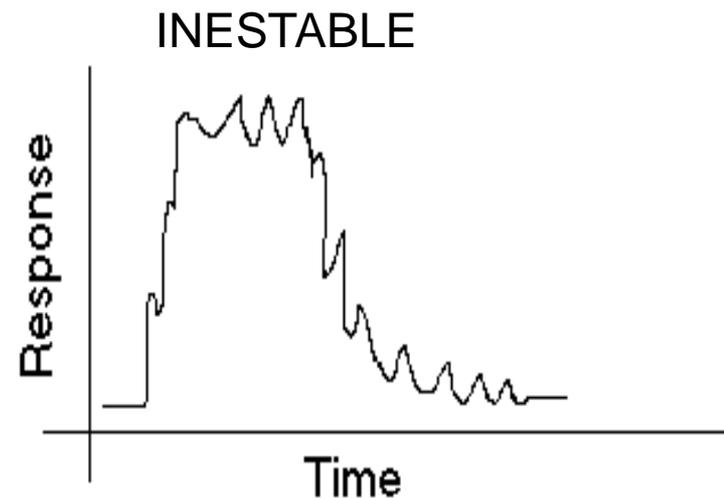
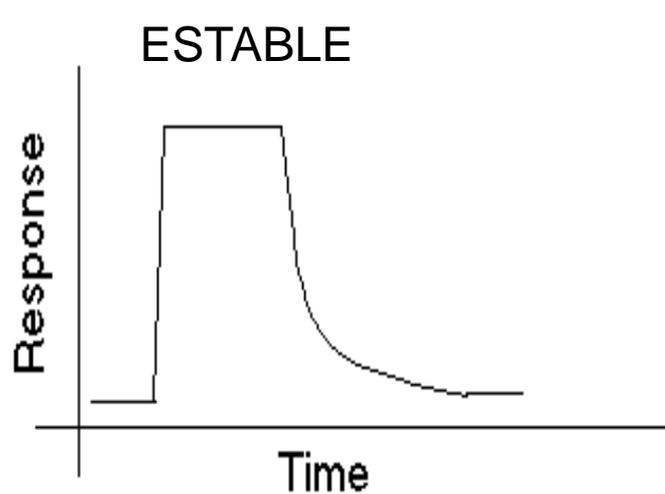
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Error de Histéresis: se obtienen diferentes medidas para una misma entrada segun como se llega a dicho valor: incremento/decremento.



PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Estabilidad: mantener la salida para una entrada que se mantiene constante durante un periodo de tiempo.



PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Resolución: si la entrada varía continuamente en el tiempo, la resolución es la mínima variación de la entrada que produce un cambio significativo en la salida.

PARÁMETROS DINÁMICOS

Tiempo de respuesta: a una señal escalon.

Constante de tiempo.

Tiempos de subida y de bajada.

Tiempo de establecimiento.

PARÁMETROS DINÁMICOS

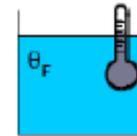
Ejemplo: termómetro de mercurio inmerso en un fluido

T_F : temperatura del fluido (magnitud de entrada)

T_T : temperatura del termómetro (magnitud de salida)

C: capacidad térmica del mercurio

R: resistencia térmica del vidrio a la transferencia de calor



El circuito equivalente es una red RC

Variación de la temperatura del termómetro es debida al flujo de calor a través del vidrio

$$\frac{d T_T(t)}{d t} = \frac{T_F(t) - T_T(t)}{RC}$$

Transformada de Laplace

$$s T_T(s) = \frac{T_F(s) - T_T(s)}{RC} \Rightarrow \frac{T_T(s)}{T_F(s)} = \frac{1}{1 + RCs}$$

TIPOS DE SENSORES

- Sensores de Luz
- Sensores de Fuerza
- Sensores de Sonido
- Sensores de Temperatura
- Sensores de Proximidad
- Sensores de Desplazamiento y Movimiento

SENSORES DE LUZ

Se entiende por Luz: radiación luminosa en los distintos espectros:

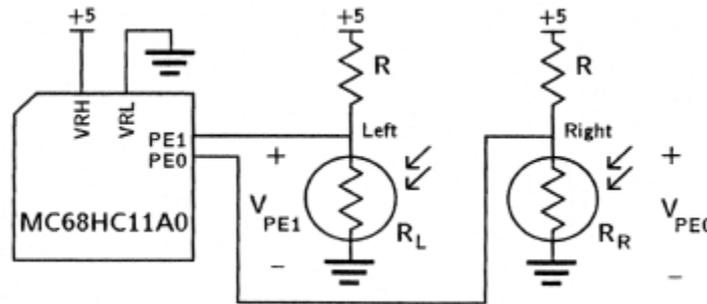
➡ visible: 400 nm -- 700 nm

➡ infrarrojo: > 700 nm

Los más comunes: fotocelulas.

SENSORES DE LUZ

Fotorresistencias: el valor de la resistencia varía con el nivel de luz.



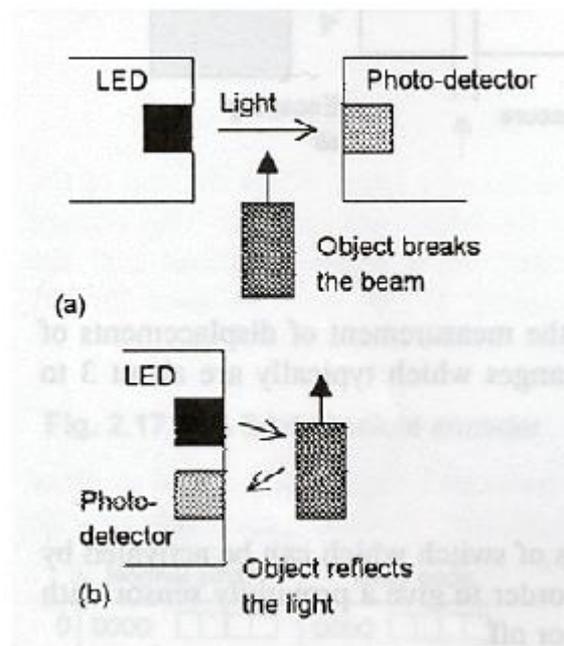
SENSORES DE LUZ

Fotodiodos: conducen cuando incide luz sobre la unión (normalmente en inversa)

- ➔ Gran sensibilidad
- ➔ Genera señales lineales para un amplio rango de niveles de luz.
- ➔ Responde rápidamente a cambios de iluminación.
- ➔ Usuales en receptores de control remoto TV, CD, ...
- ➔ La señal generada necesita amplificación previa al procesado

SENSORES DE LUZ

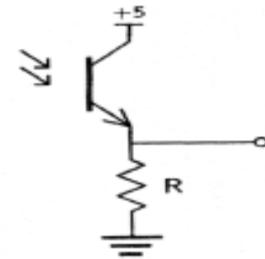
Fotodiodos



SENSORES DE LUZ

Fototransistores: conducen cuando incide luz sobre la unión BE.

- ➔ Mayor sensibilidad que las fotorresistencias.
- ➔ Fácil de interactuar con un microprocesador.
- ➔ Normalmente se presentan en pares:
diodo (emisor) + ***transistor*** (receptor)



SENSORES DE FUERZA

Sensibles a esfuerzos mecánicos:

- ➔ Miden efectos de carga (*load cell*)
- ➔ Colisiones (si un robot entra en contacto con un objeto, p. Ej. Robots móviles)
- ➔ Deformaciones mecánicas

Son los más fiables, generan poco ruido y producen señales fáciles de interpretar.

SENSORES DE FUERZA

Tipos de sensores de fuerza:

1. Galgas extensiométricas
2. Celdas de carga.
3. Sensores piezoeléctricos.
4. Microinterruptores.

SENSORES DE FUERZA

1. Galgas extensiométricas:

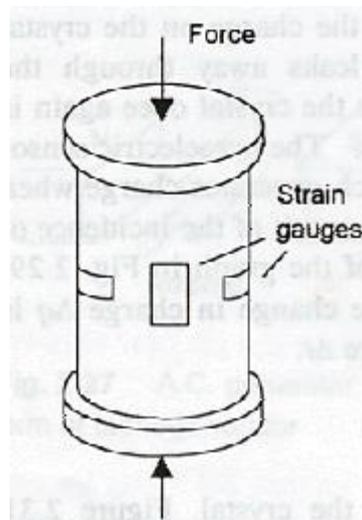
Son elementos resistivos formados por un hilo metálico (o de material semiconductor) depositado sobre un material soporte que se adhiere al objeto sobre el que se quiere medir la deformación.

El valor de dicha resistencia varía tras una deformación o esfuerzo de tipo mecánico (cambios pequeños).

Para medir variaciones en R se usa un puente de Wheatstone.

SENSORES DE FUERZA

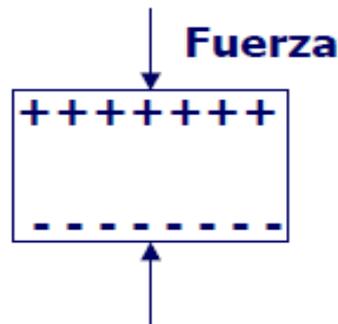
2. Celdas de carga: Es un tipo de galga que se utiliza para medir la deformación debida a la aplicación de una fuerza.



SENSORES DE FUERZA

3. Sensores piezoeléctricos:

Un material piezoeléctrico es aquel que al ser sometido a deformaciones mecánicas sufre una redistribución interna de cargas generando así una diferencia de tensión.



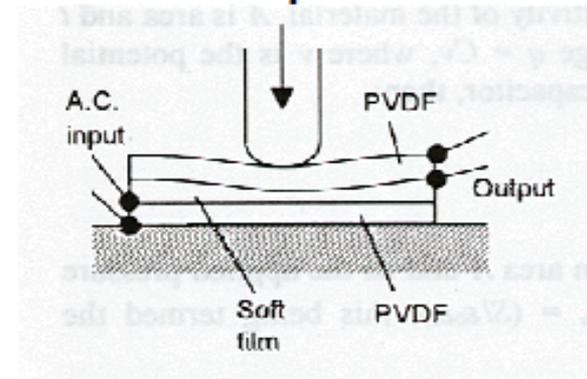
SENSORES DE FUERZA

Características:

Son versátiles y de bajo costo.

Una película piezoeléctrica puede servir para:

- ➔ Detectar vibraciones.
- ➔ Detectar cambios en la fuerza aplicada.
- ➔ Detectar cambios de temperatura.
- ➔ Detectar radiaciones infrarrojas.



Se mide el voltaje entre los lados opuestos de una película de material (polivimiliden fluoride)

SENSORES DE FUERZA

4. Sensores de colisión: Microinterruptores

Son microinterruptores colocados en posiciones susceptibles de colisionar con objetos (parachoques).

Su estado cambia si se produce una colisión.

SENSORES DE SONIDO

Son sensibles a señales acústicas.

Pueden ser de ultrasonido u operar en el rango audible:

- ➡ 1. Micrófonos
- ➡ 2. Sonar

SENSORES DE SONIDO

1. Micrófonos:

Sirven para traducir una señal de voz a una señal eléctrica.

En robótica por ejemplo se utilizan para:

- ➡ Dirigir un robot hacia una fuente de sonido.
- ➡ Alejarse de una fuente de sonido.
- ➡ Registrar (escuchar) un conjunto de sonidos.
- ➡ Localizar una fuente de sonido.

SENSORES DE SONIDO

2.Sónar:

Se envía una señal sonora (ping) y se mide el tiempo que se tarda en recibir su eco (tipo reflexivo)

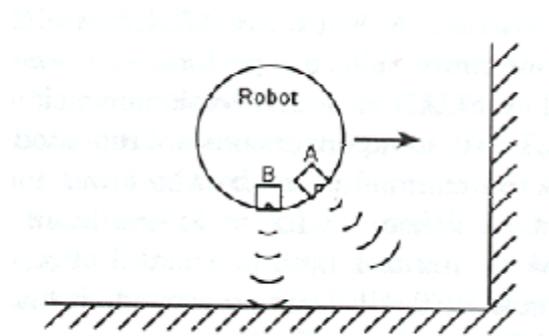
Ademas de la información de proximidad es capaz de precisar la distancia.

Un sistema típico consta de 2 transductores: emisor y receptor.

El emisor emite en la banda de ultrasonidos: 20-200kHz. La respuesta es función de la amplitud de la señal reflejada.

SENSORES DE SONIDO

Ejemplo



SENSORES DE TEMPERATURA

Traducen la temperatura a una señal eléctrica: tensión.

➡ Termómetros de resistencia.

➡ Termopares.

➡ Termistores.

SENSORES DE TEMPERATURA

1. Termómetros de Resistencia: RTD

(RTD = Resistance Temperature Detectors)

Algunos materiales resistivos tienen un coeficiente de temperatura α elevado:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

Esa propiedad se utiliza para medir la T.

Se suele emplear hilo de platino muy puro (o Cobre, Níquel).

SENSORES DE TEMPERATURA

Características:

Medidas de alta precisión.

Alta estabilidad.

Son frágiles, caros y tienen un tiempo de respuesta grande (0,5 a 10s) en comparación con los termopares.

Rango: de 0°C a 450°C (algunos hasta 800°C).

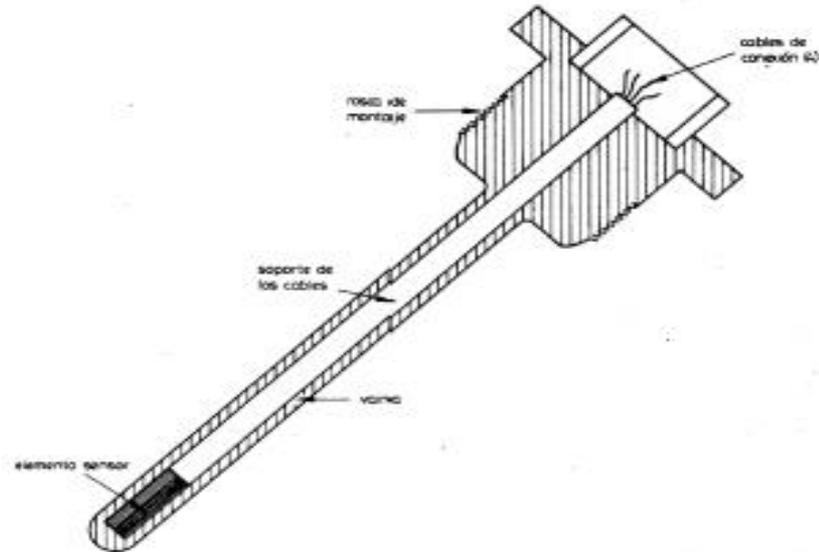
Valores bajos de resistencia de 10 Ω a 1k Ω .

Necesidad de sistemas para medir bajas

R: puentes, óhmetros de precisión,...

SENSORES DE TEMPERATURA

RTD



Termómetro de resistencia de platino industrial.

SENSORES DE TEMPERATURA

2. Termopares:

Efecto Seebeck (1822): Al aplicar calor a la unión de dos materiales conductores distintos, se genera una tensión dependiente de la temperatura.

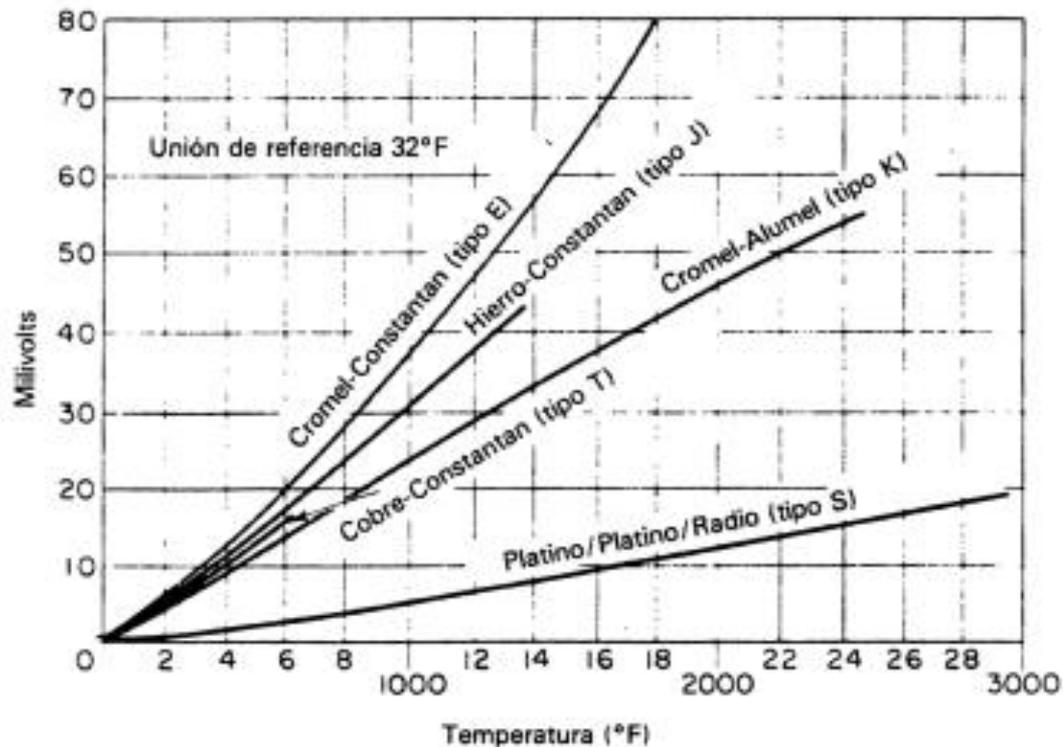
SENSORES DE TEMPERATURA

Existen tablas de conversión tensión-temperatura (no lineal).

Algunos Materiales:

- ➔ Tipo T : Cobre-Constantan $-70^{\circ}\text{C}/+370^{\circ}\text{C}$ ($43 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)
- ➔ Tipo J : Hierro-Constantan $-70^{\circ}\text{C}/+900^{\circ}\text{C}$ ($53 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)
- ➔ Tipo K : Cromo-Alumel $-200^{\circ}\text{C}/+1300^{\circ}\text{C}$ ($41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)
- ➔ Tipo S : Platino-Pt%10Rodio $0^{\circ}\text{C}/1400^{\circ}\text{C}$ ($6 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)
- ➔ Tipo B : Pt%30Rodio-Pt%6Rodio $0^{\circ}\text{C}/1800^{\circ}\text{C}$ ($3 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)

SENSORES DE TEMPERATURA



Voltaje de salida de un termopar como una función de la temperatura para varios materiales de termopar.

SENSORES DE TEMPERATURA

- Son los sensores de temperatura más populares.
- No precisan de excitación externa.
- Son de bajo coste.
- Permite medir un amplio rango de T .
- No son tan estables como otros sistemas de medida de temperatura.

SENSORES DE TEMPERATURA

3. Termistores

Son dispositivos semiconductores que se comportan como R variables

Su coeficiente de variación con la temperatura es alto y suele ser negativo (NTC), aunque también existen los PTC.

Se pueden fabricar en tamaños muy pequeños.

SENSORES DE TEMPERATURA

Características:

Mayor resistencia que las RTD: de $2\text{k}\Omega$ a $10\text{k}\Omega$

Mayor Sensibilidad: $200 \Omega/^{\circ}\text{C}$

Son de alta precisión sobre todo en rangos de -100°C a $+300^{\circ}\text{C}$.

Alta estabilidad.

Respuesta rápida.

Son relativamente frágiles.

SENSORES DE PROXIMIDAD

1. Sensores neumáticos.
2. Sensores magnéticos (efecto Hall).
3. Fotosensores.
4. Microinterruptores.

SENSORES DE PROXIMIDAD

1. Sensores neumáticos

Usan aire bajo presión.

La proximidad o el desplazamiento de un objeto da lugar a un cambio en la presión del aire.

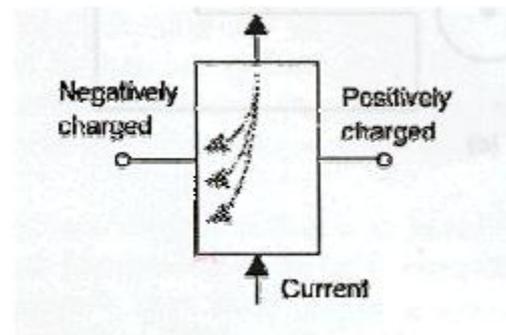
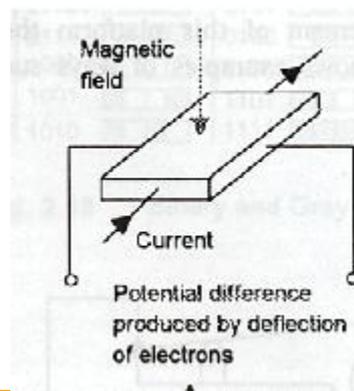
Rangos usuales: 3mm a 12mm.

SENSORES DE PROXIMIDAD

2. Sensores magnéticos:

Tipos:

- De tipo inductivo.
- *Basados en Efecto Hall: cuando un haz de electrones pasa por un campo magnético sufre una desviación de su trayectoria.*
- *Se genera una diferencia de potencial función de B .*



SENSORES DE PROXIMIDAD

Características:

Rangos típicos para un sensor lineal: 10 mV/mT entre -40 y 40 mT (gauss)

O bien, un salto de 145 mV para un campo de 3mT.

Ventajas:

- ➡ Pueden operar a altas frecuencias: >100 kHz.
- ➡ Menor coste que conmutadores electromecánicos.
- ➡ No presentan problemas de rebotes.
- ➡ Pueden usarse en condiciones de entorno duras.

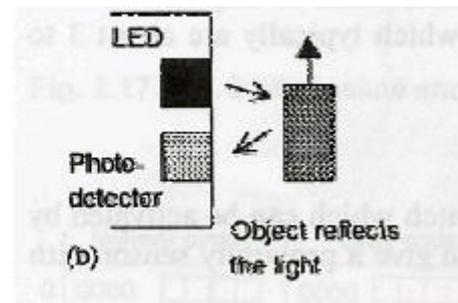
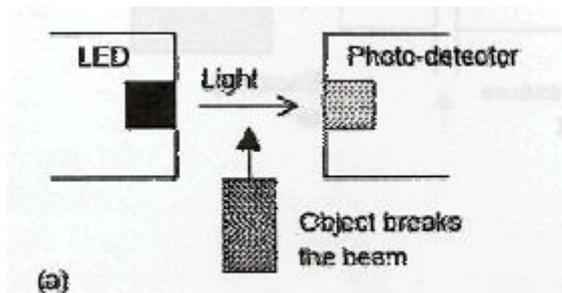
SENSORES DE PROXIMIDAD

3. Fotosensores

Se presentan en pares: emisor + receptor

Detectan la presencia de un objeto debido a:

- ➔ Interrupción de un haz de luz (visible o infrarojo)
- ➔ Detección del haz reflejado sobre un objeto en su radio de acción.



SENSORES DE PROXIMIDAD

4. Microinterruptores

La presencia (colisión) de un objeto cierra un microinterruptor.

Un microinterruptor requiere por tanto de la aplicación de una fuerza externa para cerrarse.

SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Existen diferentes opciones:

- ➔ Desplazamiento lineal
- ➔ Desplazamiento Angular

Desplazamiento lineal:

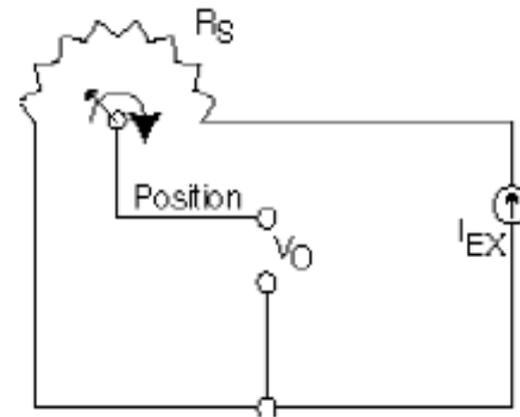
- ➔ Potenciómetros, medidas resistivas
- ➔ Transformadores diferenciales linealmente variables (LVDT)
- ➔ Condensadores variables

SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Desplazamiento lineal

1. Potenciometros

- También para desplazamientos angulares
- Bajo coste
- Fácil de interactuar
- Poca precisión
- Muy sensibles a ruidos



SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Desplazamiento lineal

2. LVDT

- Transformador diferencial linealmente variable
- El desplazamiento se mide por el movimiento del núcleo
- Excitación AC
- Cambios en la fase de salida.

SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Fundamentos:

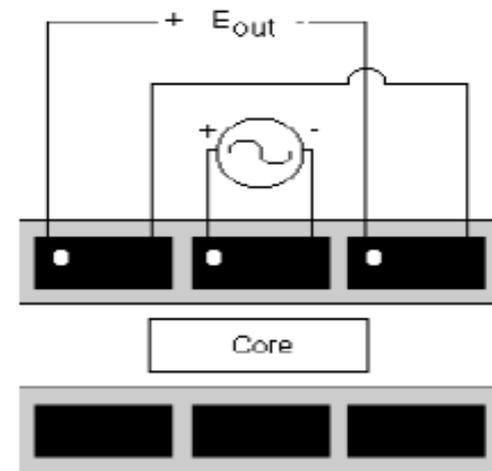
Sección transversal:

➔ Tres arrollamientos:

➔ Un primario

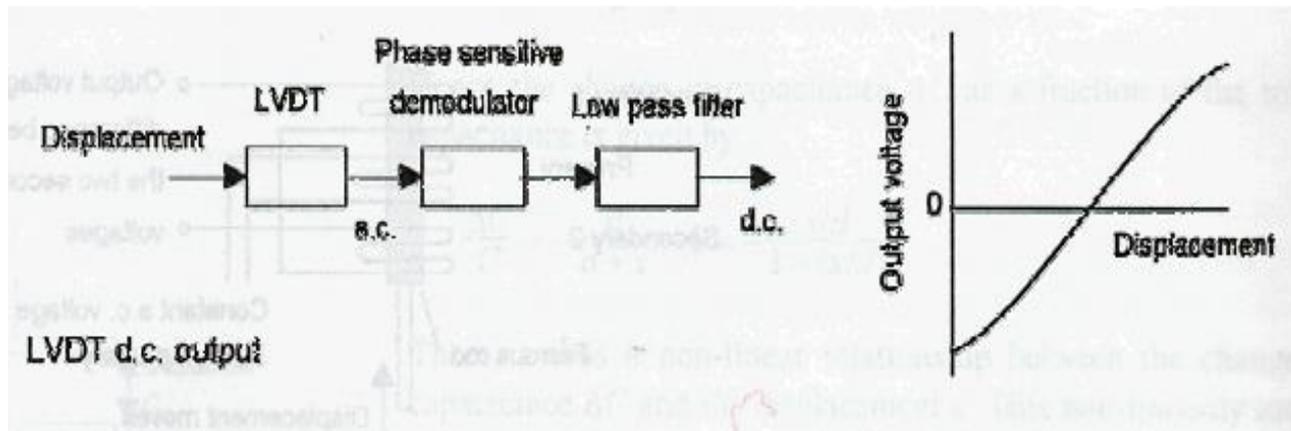
➔ 2 secundarios en serie

➔ El núcleo móvil es el sensor de desplazamientos



SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Es necesario medir cambios de fase en la salida



SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Parametros:

- Recorridos: 2 mm
- Error de no linealidad %0,25

Características:

- Ausencia de contactos en sensor
- Gran precisión y fiabilidad
- Se usan también como transductores de fuerza, peso y presión.

SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Desplazamiento lineal

3. Capacitivos

Se produce una variación de la capacidad del condensador con el desplazamiento.

SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Desplazamiento angular:

1. Transformador diferencial de rotación
RVDT
2. Codificador (señal de pulsos de salida)

SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Desplazamiento angular

Codificador:

Tipos:

➔ **Opticos**

➔ **Magneticos**

SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Desplazamientos angulares Codificador

- ➡ Disco rotador con una serie de pistas codificadas (*code track*)
- ➡ Una fuente de luz y un fotodetector
- ➡ Genera una señal de salida binaria
- ➡ Material del disco: vidrio (alta resolución >16bit), o plástico/metál (de 8 a 10 bits)

SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Desplazamiento angular Codificadores

Existen dos tipos:

➔ Codificadores incrementales

➔ Codificadores Absolutos

SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Desplazamiento angular

Codificadores incrementales

- Miden el desplazamiento relativo (respecto a una referencia)
- Permiten detectar:
 - ➔ Angulo
 - ➔ Sentido de giro
- Problemas de inestabilidad y sensibilidad al ruido
- Bajo costo.

SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Desplazamiento angular

Codificadores absolutos

- Miden una posición angular en particular
- Se usan para bajas velocidades o movimientos poco frecuentes.
- Son más complicados que los incrementales.
- Generan una señal de salida en forma de código binario de n bits asociado a un ángulo de giro.

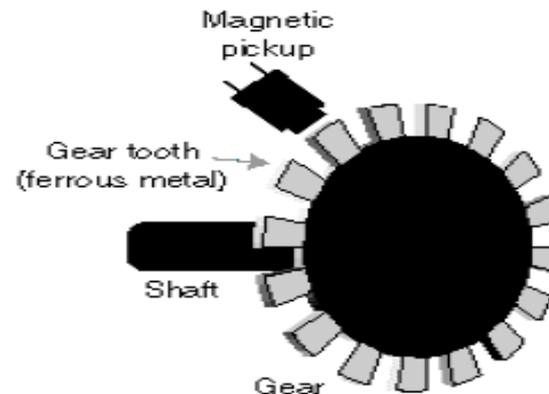
SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

Desplazamiento angular

Codificadores magnéticos

Está formado por:

- ➔ Disco rotador de material ferroso con una serie de dientes realizados con gran precisión.
- ➔ Como detector un imán permanente junto con un sensor sensible a variaciones en el campo magnético



SENSORES DE DESPLAZAMIENTO Y MOVIMIENTO

- ➡ Al girar se producen cambios en el campo emitido por el imán permanente
- ➡ El sensor genera en consecuencia una señal de pulsos.
- ➡ Material del sensor:
 - Semiconductor (efecto *Hall*)
 - Arrollamiento de un cable
- ➡ No precisa excitación externa