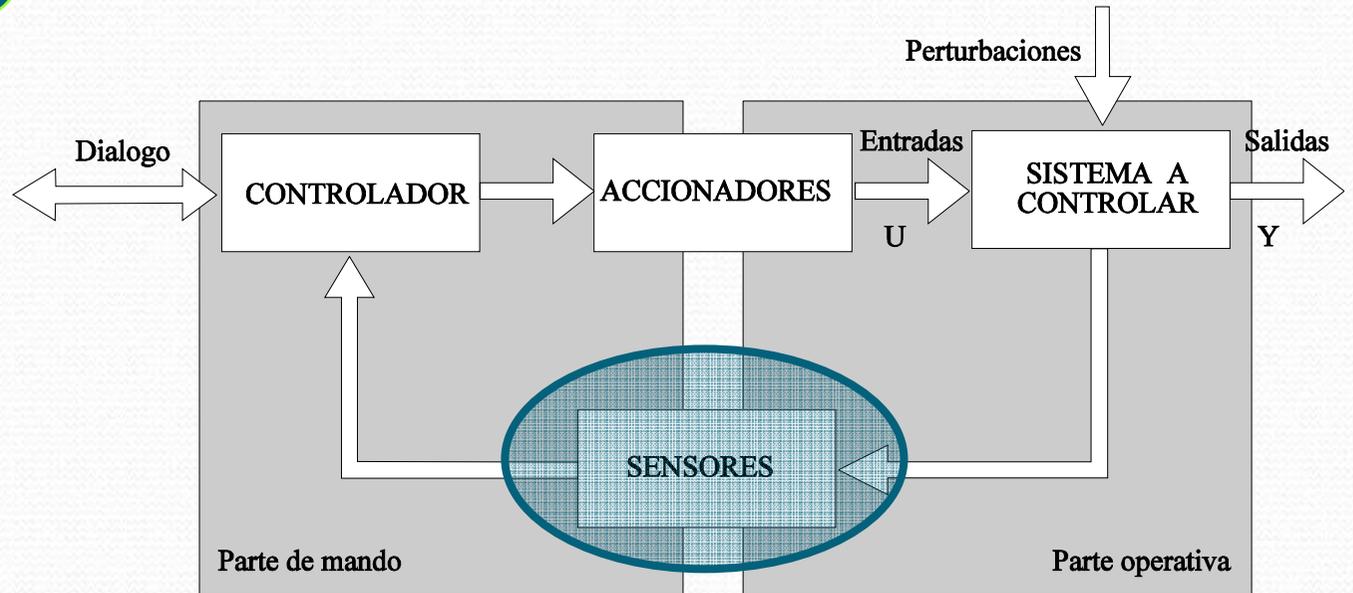
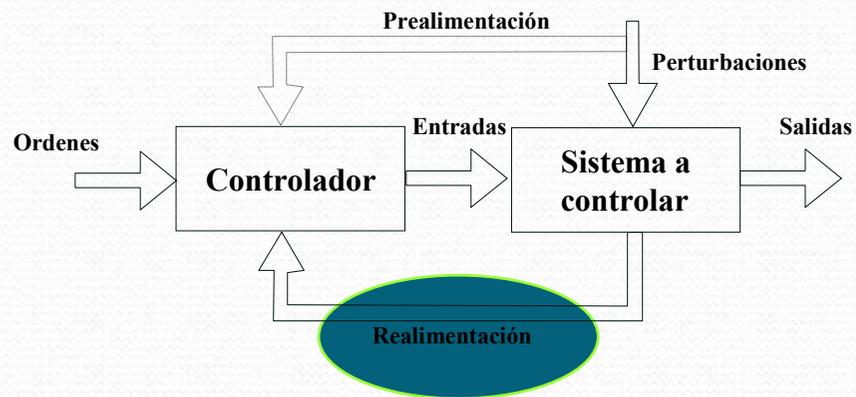


SENSORES

Introducción



Clasificaciones

Según la información

- Discreto (Ej: Todo/Nada)
- Continuo

Según el principio físico

- Resistivo
- Inductivo
- Capacitivo
- ...

Según el tipo de señal

- Digital
- Analógico

Según la magnitud a medir

- Presencia
- Posición
- Velocidad
- Presión
- Flujo
- Nivel
- Fuerza
- ...

Características más importantes(I)

- **Calibración**

- Ajuste de salidas ante valores conocidos.

- **Características Estáticas**

- Sensibilidad: relación *variación salida / variación entrada*.

- Resolución: mínimo cambio de entrada detectable.

- Umbral: mínimo valor de entrada que produce una salida no nula.

- Exactitud: (*Valor medido - valor real*). Siempre desconocido.

- Repetitividad : variabilidad de los valores medidos.

- Linealidad : proporcionalidad entre entradas y salidas.

Características más importantes(II)

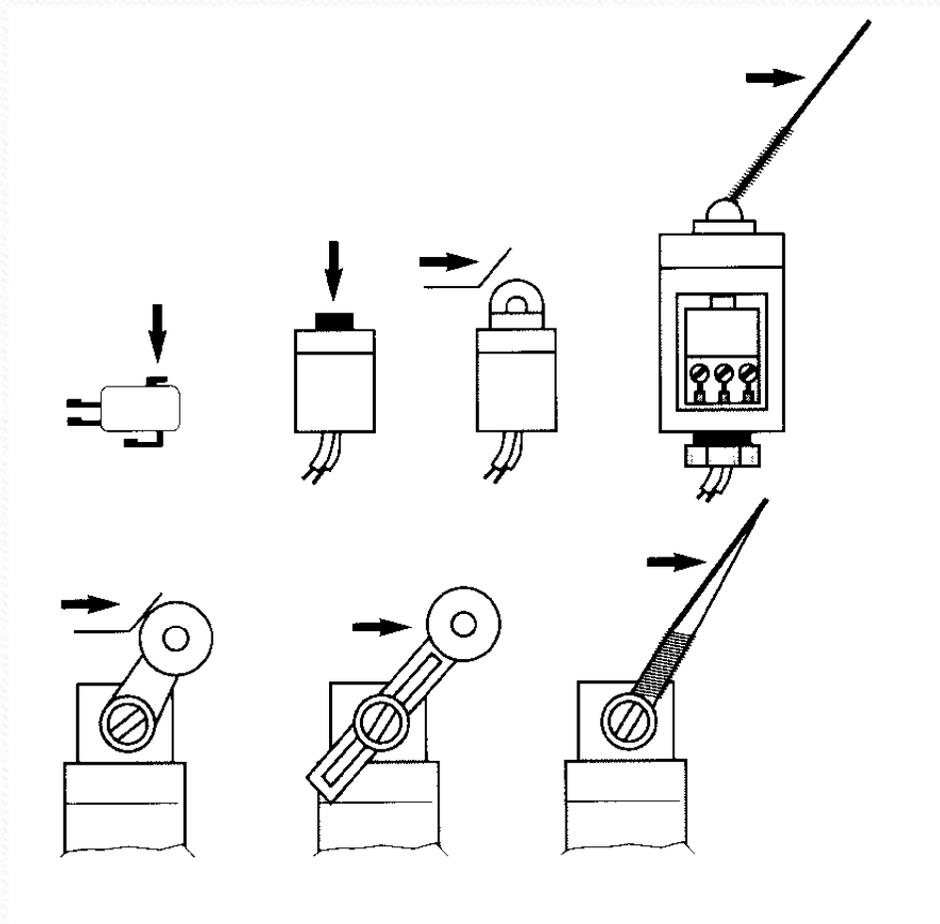
- **Dinámicas**

- Error dinámico: Error que se produce hasta que se alcanza la respuesta estable.
- Velocidad/tiempo de respuesta: Tiempo que tarda el sensor en dar una medida estable.

Sensores de presencia/proximidad

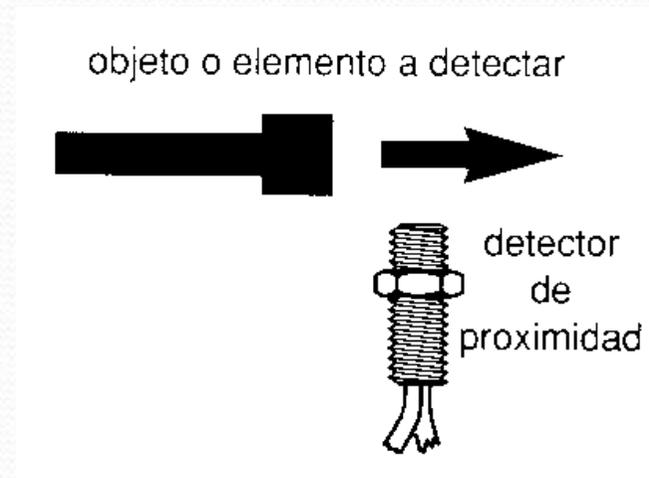
Final de carrera (Electromecánicos)

- Interruptores : abren cierran un contacto.
- Debe producirse contacto físico entre el objeto y el sensor.
- Diferentes configuraciones.
- Coste reducido.
- Problema: desgaste de los elementos electromecánicos.



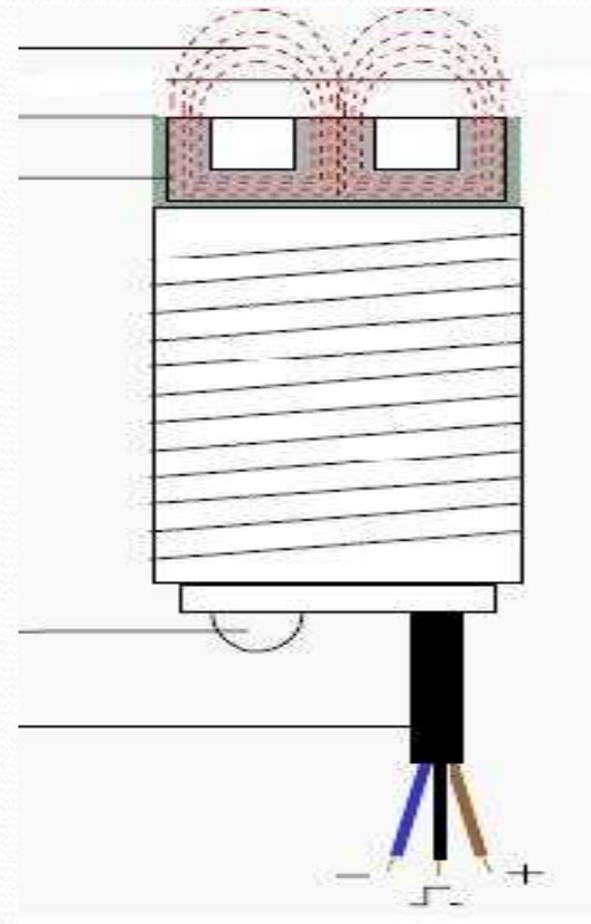
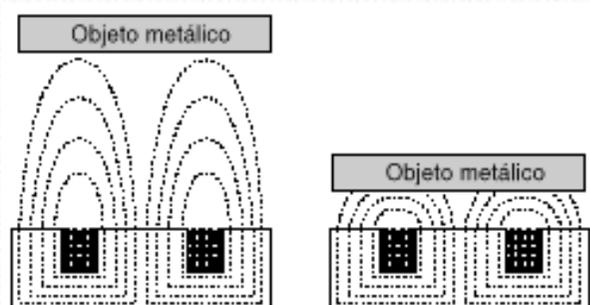
Sin contacto

- Tipos
 - Inductivos
 - Capacitivos
 - Ópticos
 - Ultrasonidos
 - Lengüeta (reed)
 - Efecto Hall



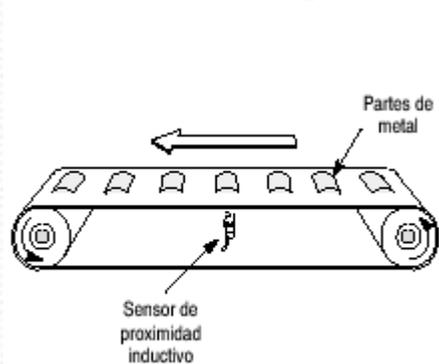
Inductivos

- Se basa en la alteración de la inductancia en una bobina al acercar un objeto metálico.
- El objeto a detectar debe ser de metal.

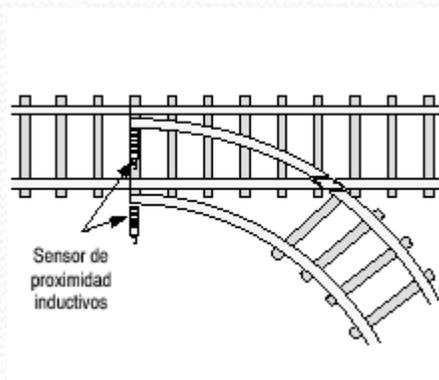


Inductivos: Ejemplos de aplicación

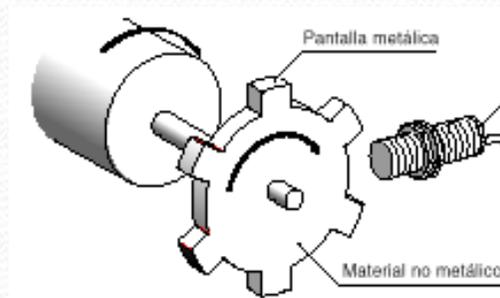
Detección de presencia



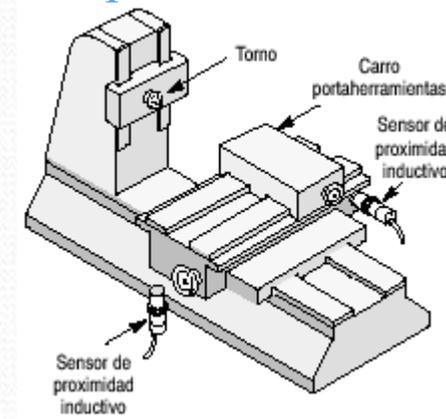
Cambio de agujas



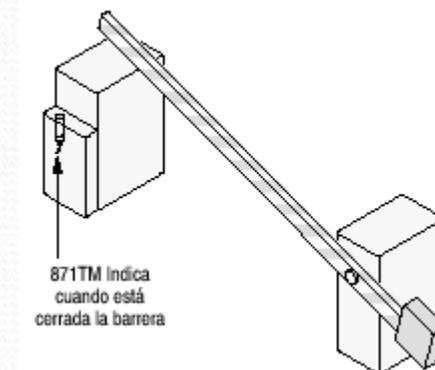
Contador de pulsos



Máquinas herramientas



Barreras



Capacitivos

- Se basa en la alteración del dieléctrico de un condensador producida por la presencia de un objeto.
- La variación del dieléctrico produce una variación de la capacidad del condensador.

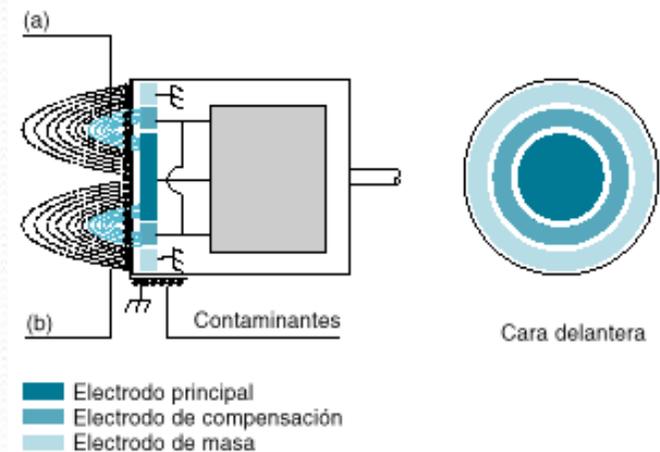
$$C = \frac{Ak}{d}$$

C = Capacidad

k = Constante dieléctrica

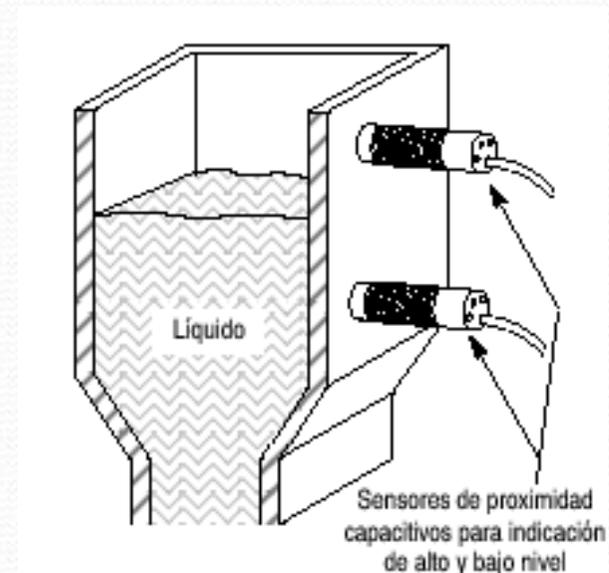
A= área electrodos

d = distancia entre electrodos



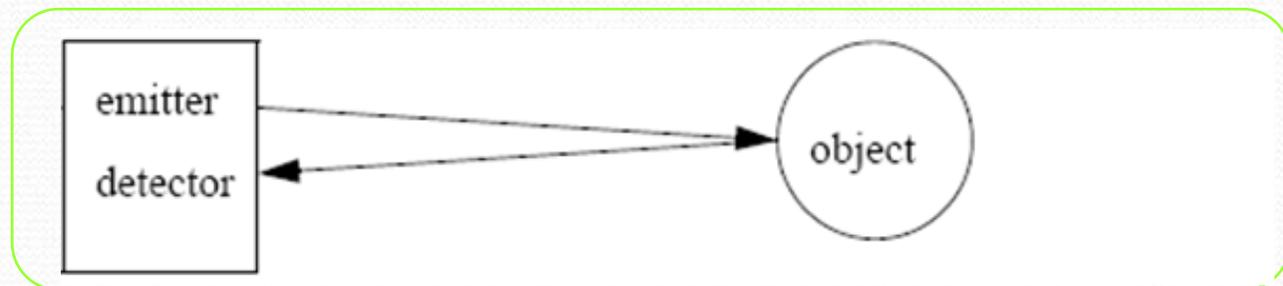
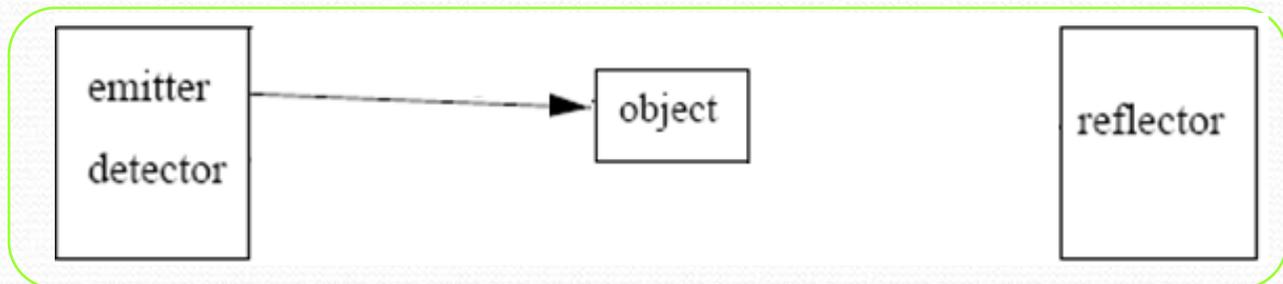
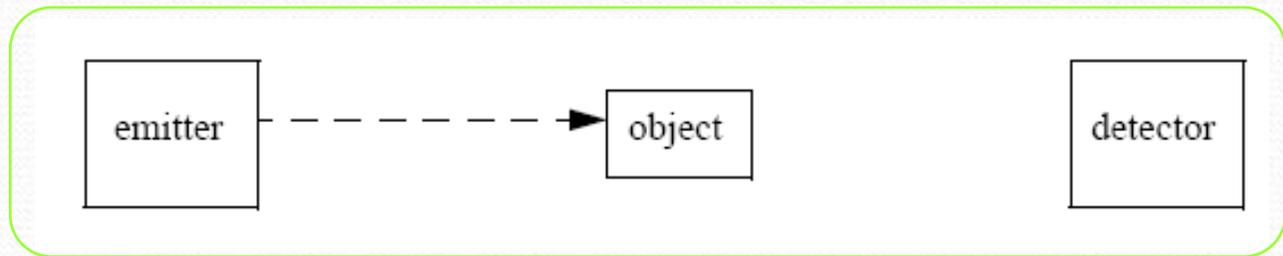
Capacitivos: Ejemplos de aplicación

- Detección de presencia
- Detección de nivel (Líquido como dieléctrico)



Ópticos

- Se basan en detectar la interrupción o reflexión de un rayo de luz.
- Distintas configuraciones.
- Distintos tipos de luz: visible, infrarroja, laser.

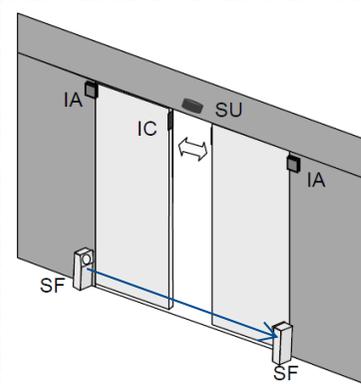


Ópticos: Ejemplos de aplicación

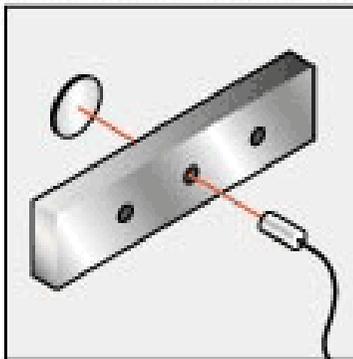
Detección de presencia



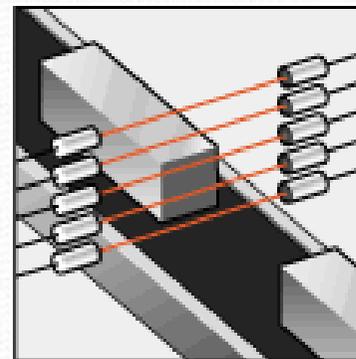
Barrera óptica



Detección de taladros



Detección de altura



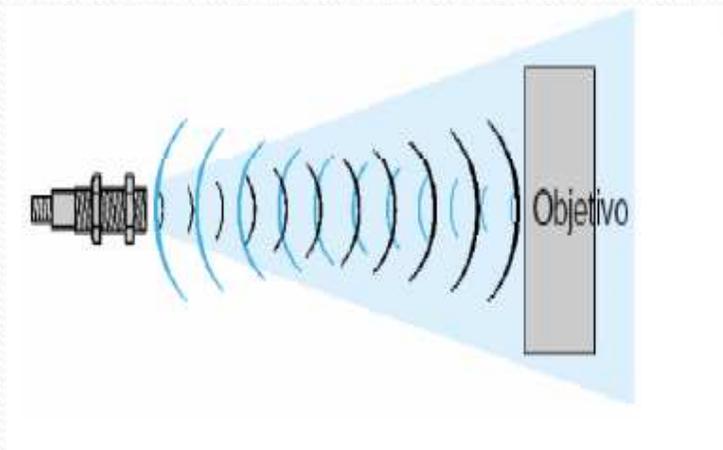
Ultrasonidos

- Se basa en la emisión de una onda sonora y la recepción de su eco.

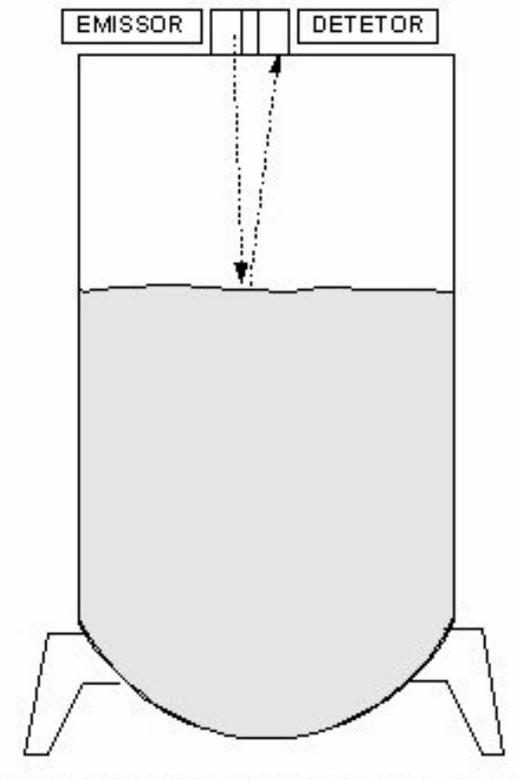


Ultrasonidos: Ejemplos de aplicación

Detección de presencia

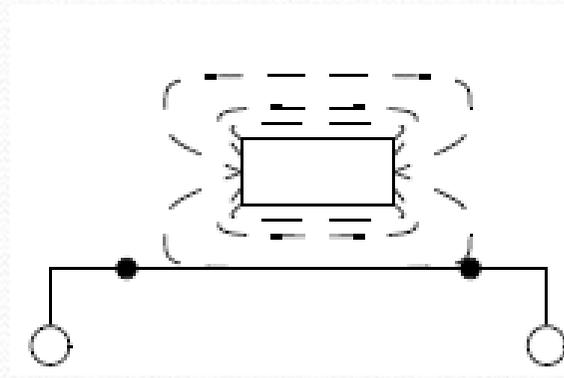
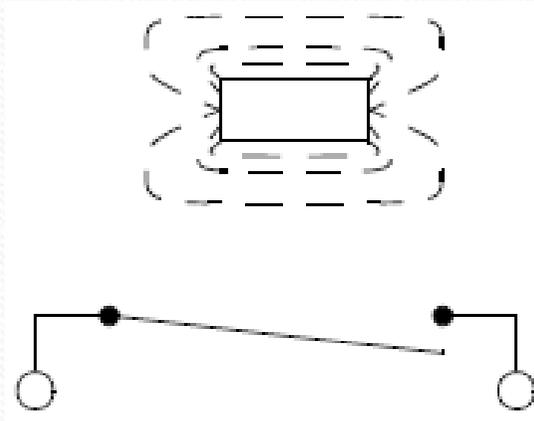


Medición de nivel en depósitos



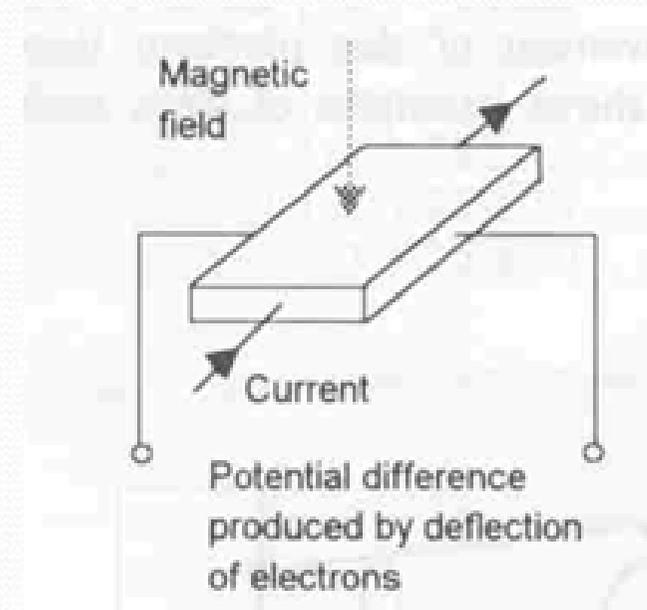
Reed

- Contacto metálico (lengüeta) dentro de un encapsulado.
- Se cierra ante la presencia de un campo magnético.



Efecto Hall

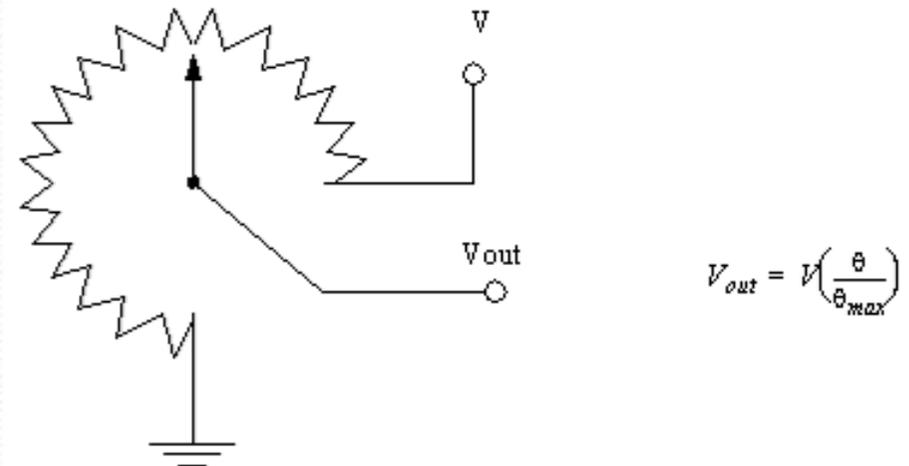
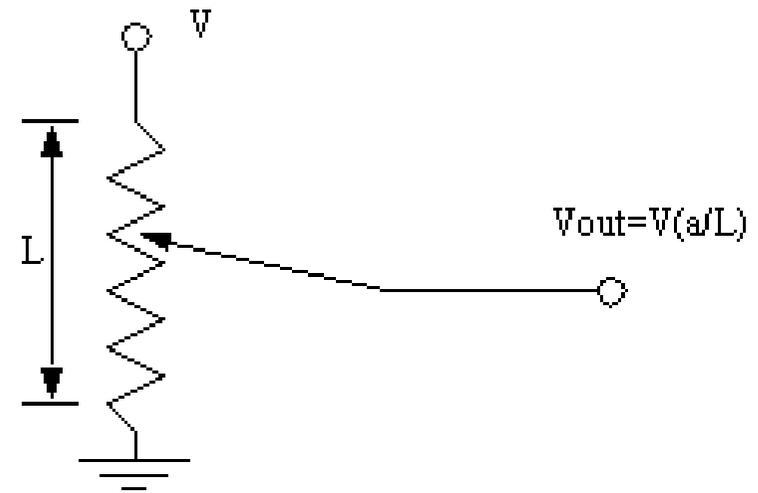
- Se basan en la **diferencia de potencial** que aparece entre las dos caras opuestas de un prisma delgado de material semiconductor al someterlo a la acción de un **campo magnético** perpendicular a las caras del prisma cuando circula una corriente por su interior.
- Aplicaciones similares a los sensores reed, con la ventaja de ser dispositivos de estado sólido.



Sensores de posición

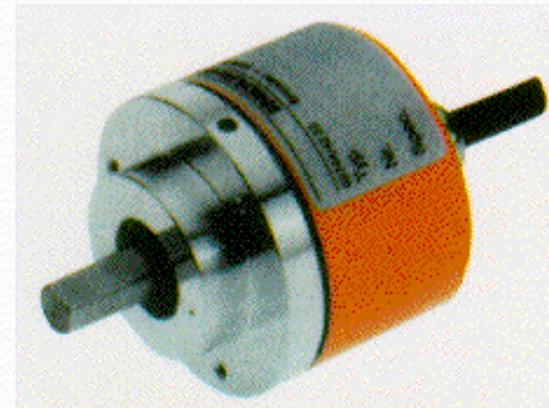
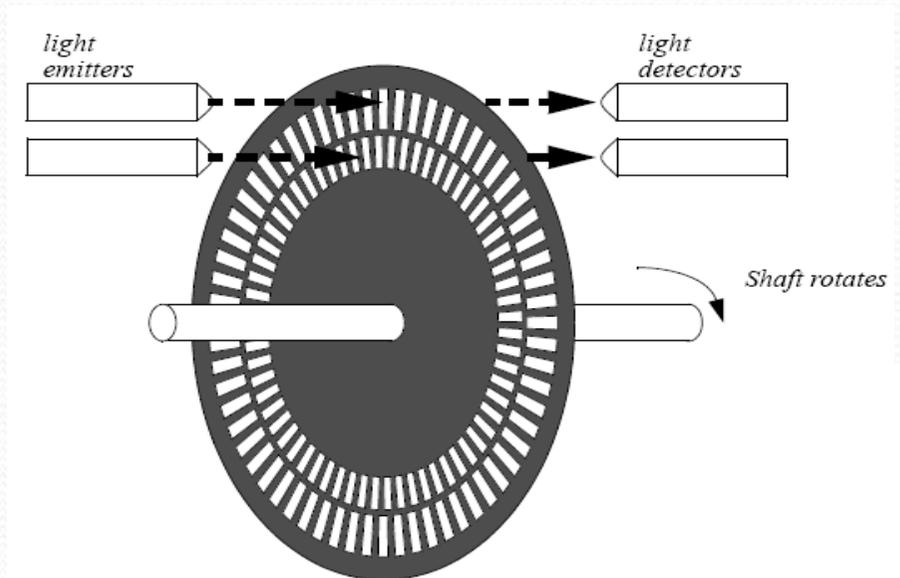
Potenciómetro

- Se basa en un **divisor de tensión**.
- Obtenemos una tensión de salida que varía entre unos valores máximo y mínimo de tensión continua proporcional a la posición o giro.
- Los potenciómetros se caracterizan por:
 - Ser baratos.
 - Desgaste producido por el rozamiento existente entre sus partes fija y móvil.



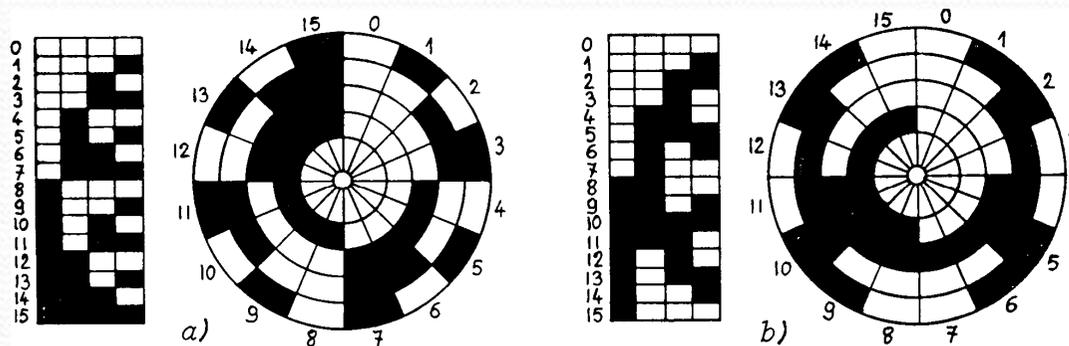
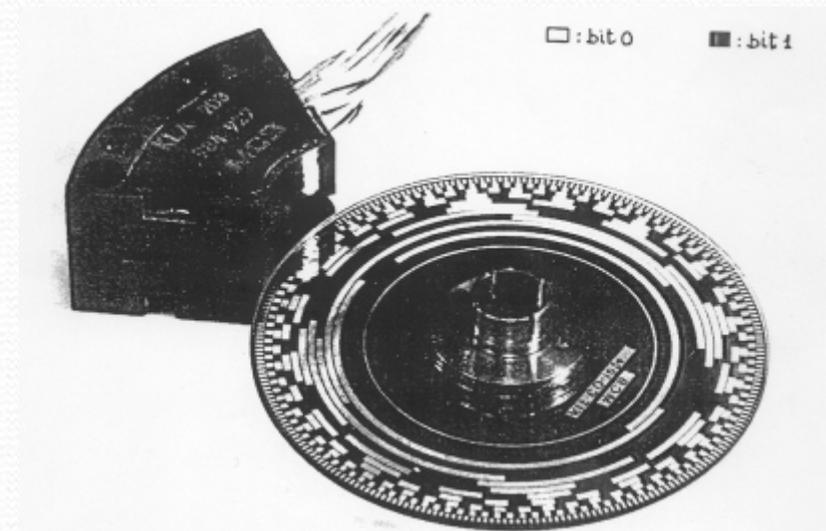
Codificador (encoder)

- Están basados en la detección de señales de luz que pasan a través de un disco/regla móvil.
- El disco/regla tiene zonas transparentes y zonas opacas.
- Pueden ser:
 - **Absolutos:** Miden posición absoluta.
 - **Incrementales:** Miden incrementos de posición.



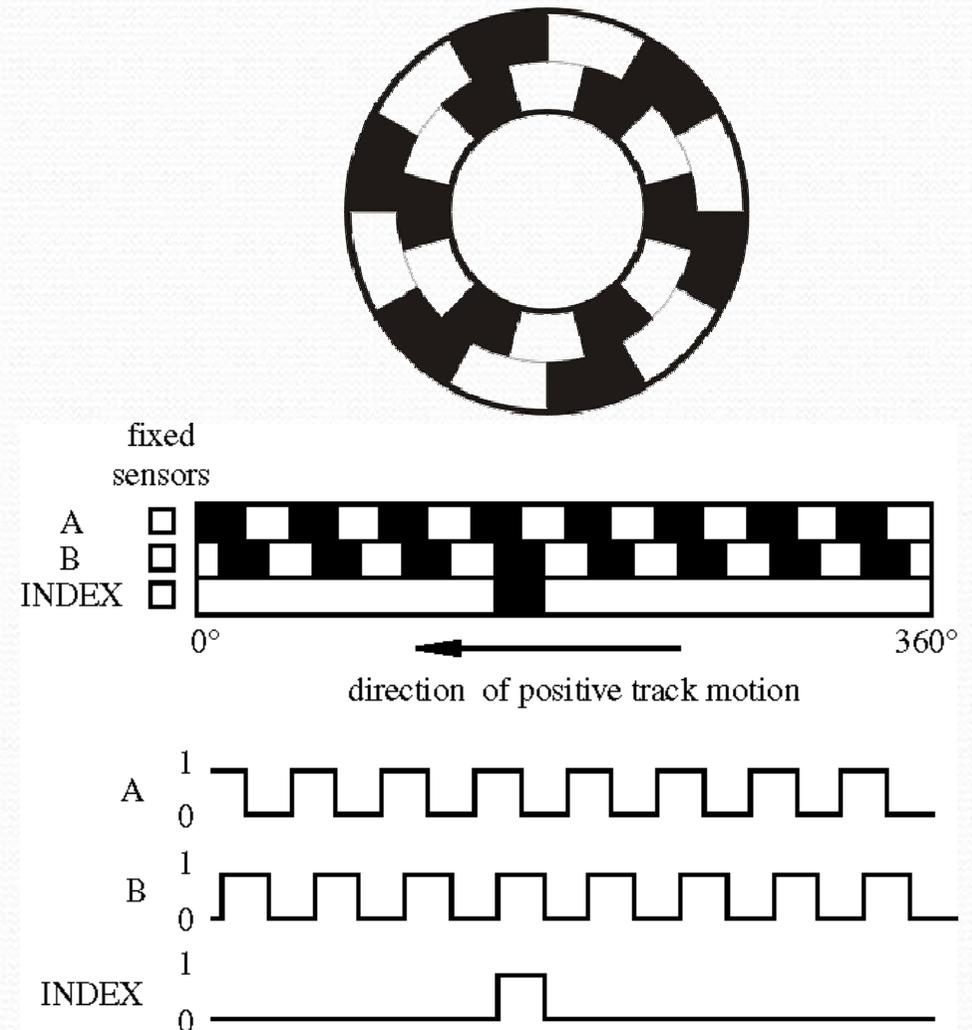
Encoder absoluto

- La posición se encuentra codificada en el disco/regla en código Gray.
- La resolución depende del número de pistas. Un aumento del número de pistas implica un aumento de tamaño del disco.



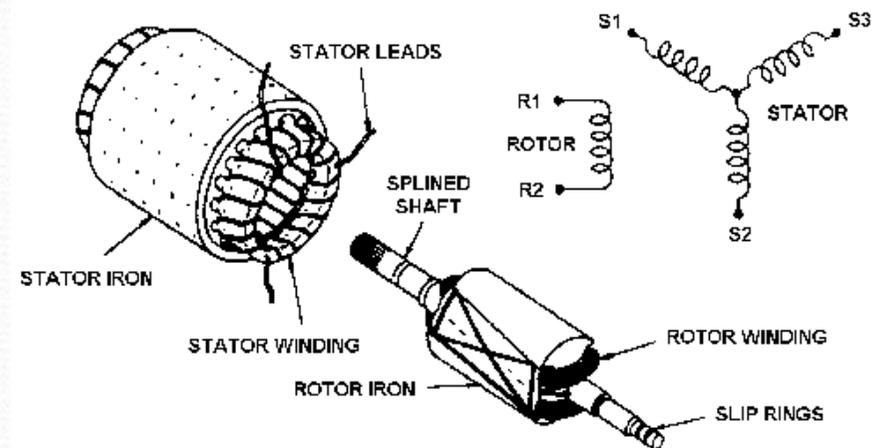
Encoder incremental

- Contiene dos anillos concéntricos de líneas equidistantes desfasados entre sí.
- Cuando el sensor gira se producen dos señales desfasadas $\pm 90^\circ$.
- El sentido de giro se determina en función del signo del desfase.
- Para tener información absoluta es necesario proceder a una sincronización inicial.
- Para una sincronización inicial más precisa se dispone de una tercera señal de referencia, que da un pulso por vuelta.
- La resolución depende del número de líneas por vuelta.



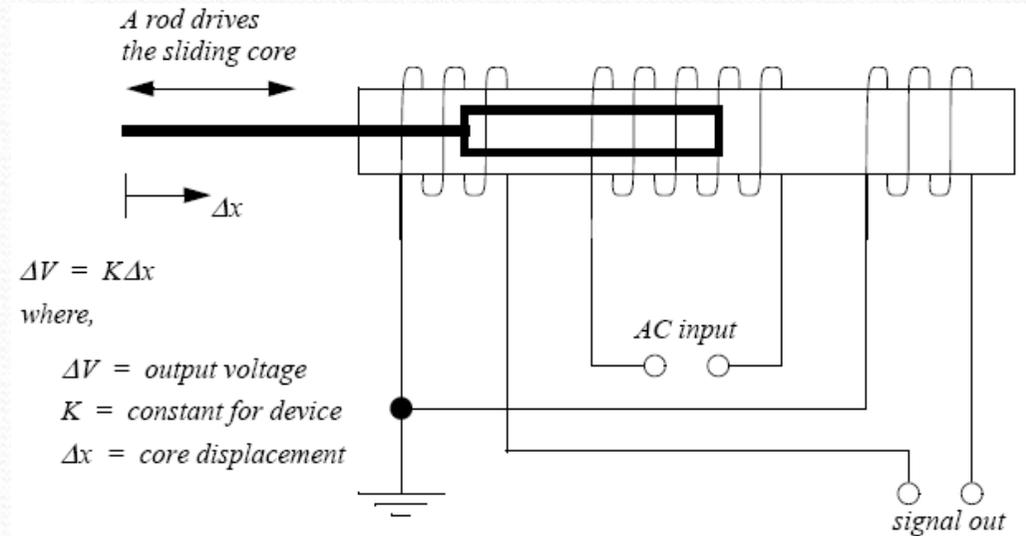
Synchro/resolver

- Son transformadores rotativos reversibles con un acoplo variable en función de la posición del rotor.
- La relación entrada-salida es proporcional al seno o al coseno de la posición angular del eje.
- Existen diferentes configuraciones en función del desfase entre los devanados del estator:
 - Syncro (120°)
 - Resolver (90°)



Transformador diferencial variable lineal (LVDT)

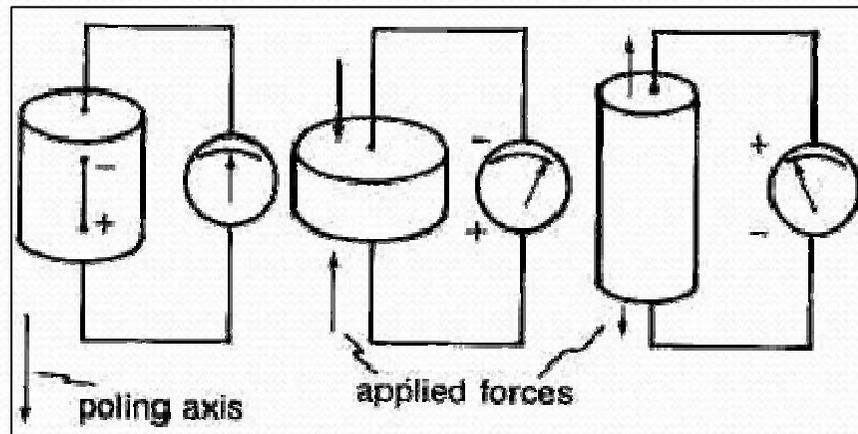
- Está constituido por 3 arrollamientos coaxiales sobre un cilindro aislante.
- El arrollamiento central actúa como primario, mientras que los otros dos actúan como secundarios.
- Se basa en la **variación de la inductancia mutua** ente el primario y cada uno de los secundarios al desplazarse a lo largo de su interior un núcleo de material ferromagnético, arrastrado por un vástago no ferromagnético, unido a la pieza cuyo movimiento se desea medir.



Sensores de fuerza

Sensores Piezoeléctricos

- Al aplicar una fuerza en un cristal se produce una carga eléctrica proporcional a la deformación en el cristal.

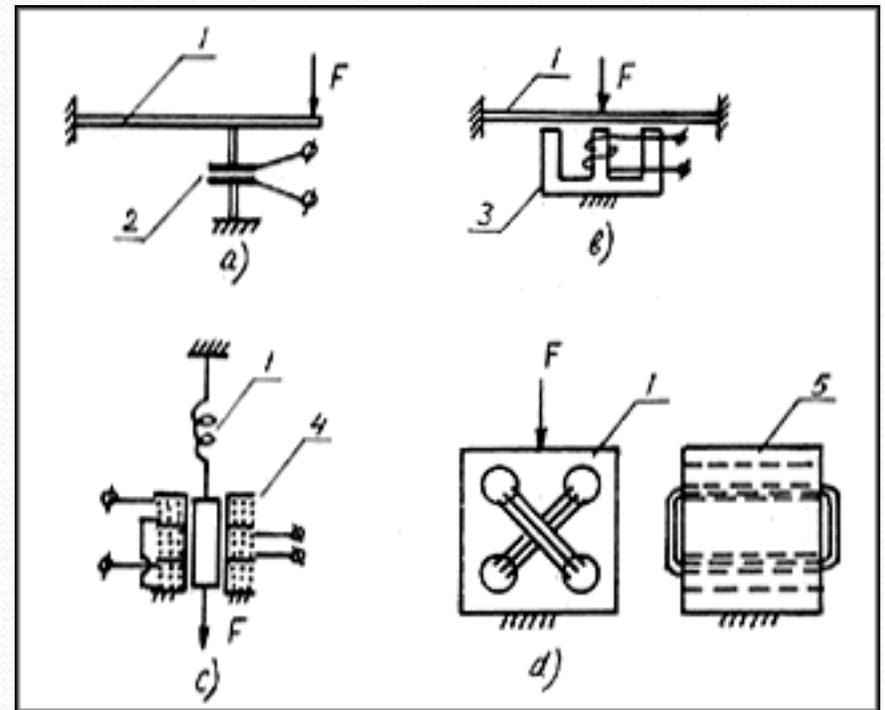


Efecto piezoeléctrico



Reactancia variable

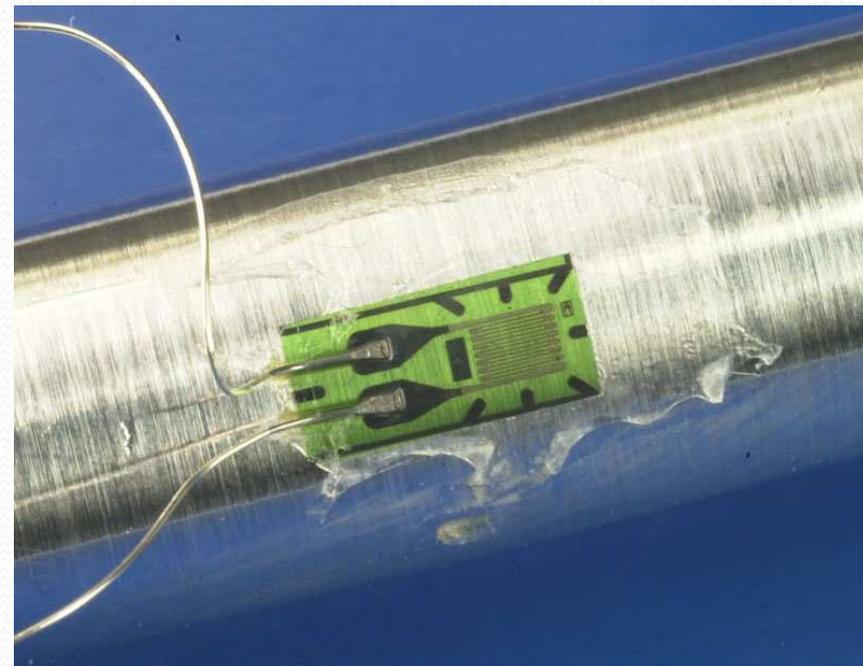
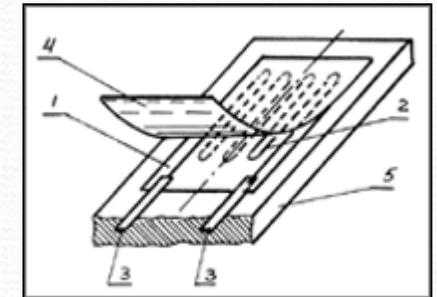
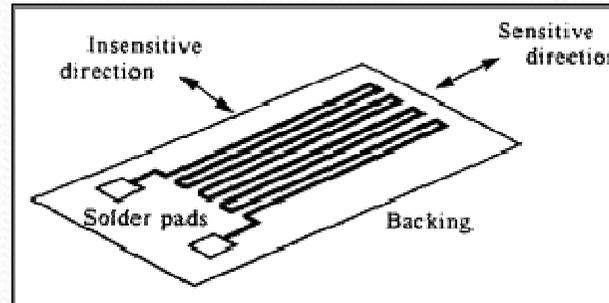
- Mide la variación de la capacidad o inductancia producida como consecuencia de la fuerza.
- La fuerza produce desplazamientos en elementos móviles de un condensador o un transformador.
- Diversas configuraciones.



Reactancia variable

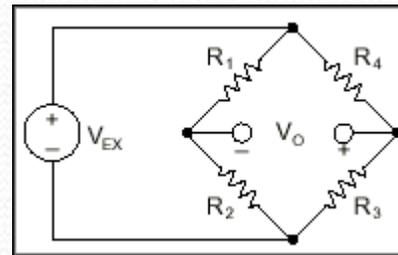
Galgas extensiométricas (I)

- Constituidas por un hilo de cobre.
- Miden la deformación producida por una fuerza.
- La deformación del hilo de cobre produce una variación de la resistencia en función de su forma (longitud, ancho, alto).

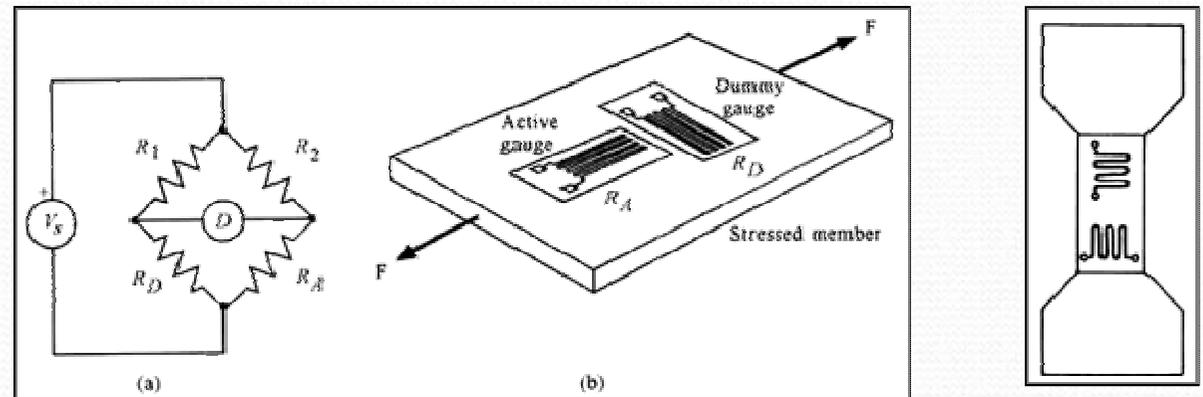


Galgas extensiométricas (II)

- Para la lectura de la variación de tensión las galgas se montan en un Puente de Wheatstone.
- Para compensar la variación de la resistencia como consecuencia de la temperatura, se utilizan dos galgas perpendiculares entre sí.



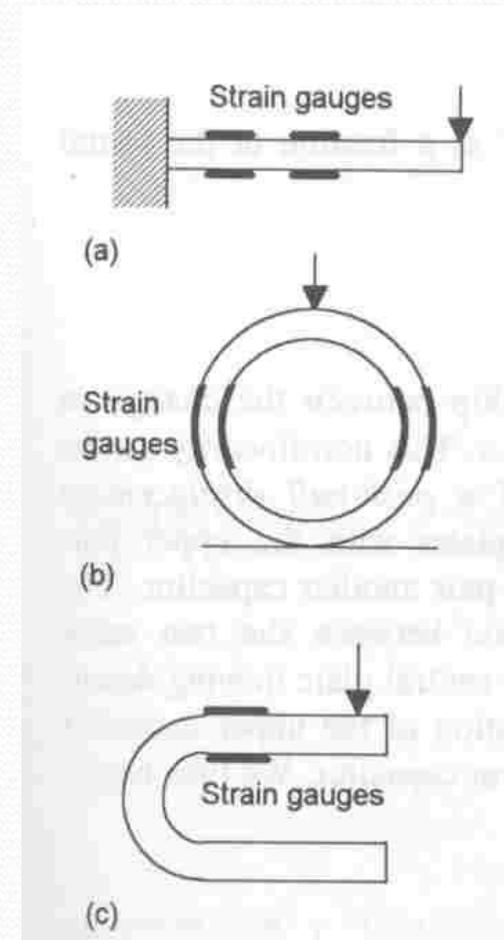
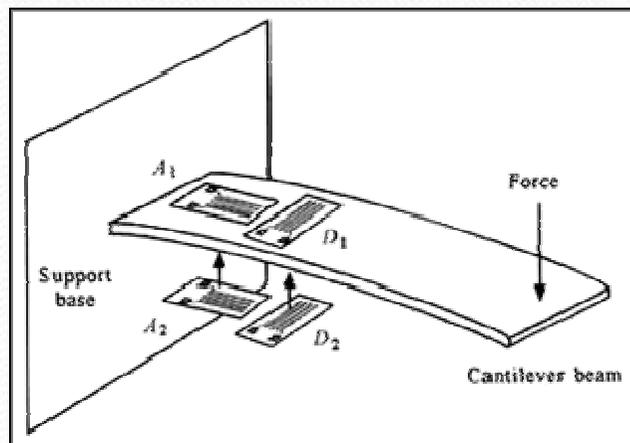
Medida con Puente de Wheatstone



Compensación de temperatura

Galgas extensiométricas (III)

- Con diferentes posicionamientos de las galgas se pueden medir distintas configuraciones de fuerzas.



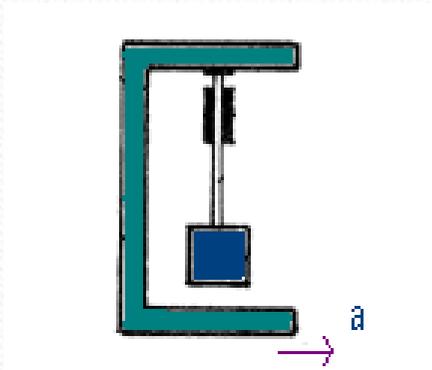
Sensores de aceleración

Reactancia variable, piezoeléctricos y galgas

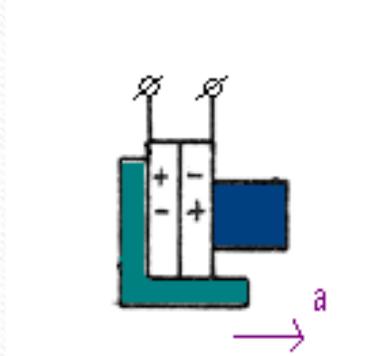
- La aceleración puede medirse a través de la fuerza que aparece sobre una masa:

$$F = m \cdot a$$

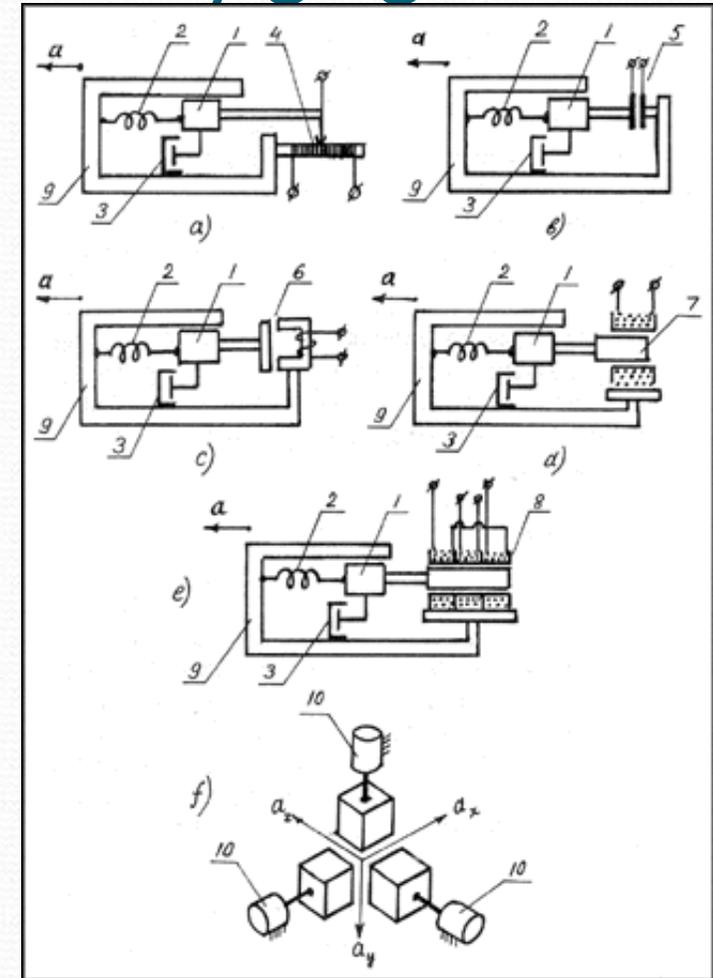
- Se aplican los mismos principios que para medir fuerzas.



Galgas extensiométricas



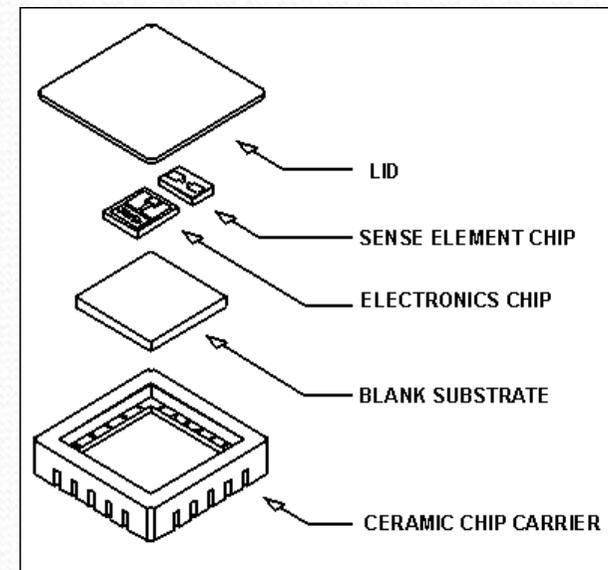
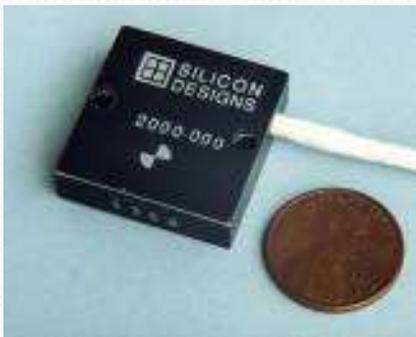
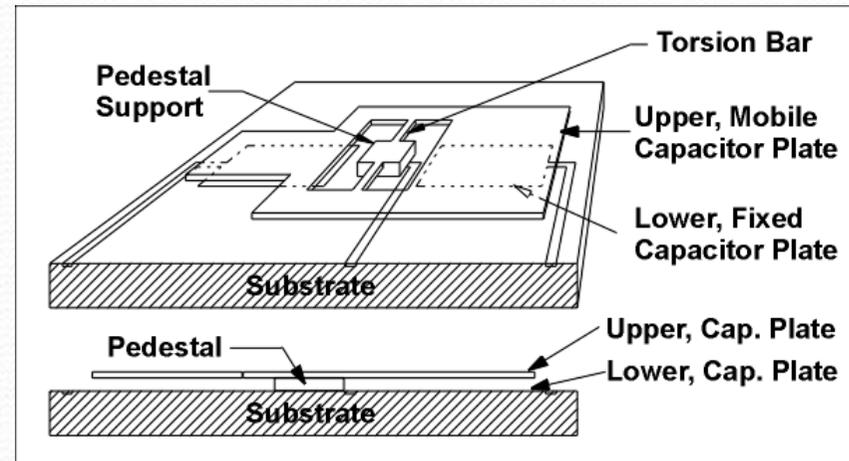
Piezoeléctrico



Reactancia variable

Microsistemas electromecánicos (MEMS)

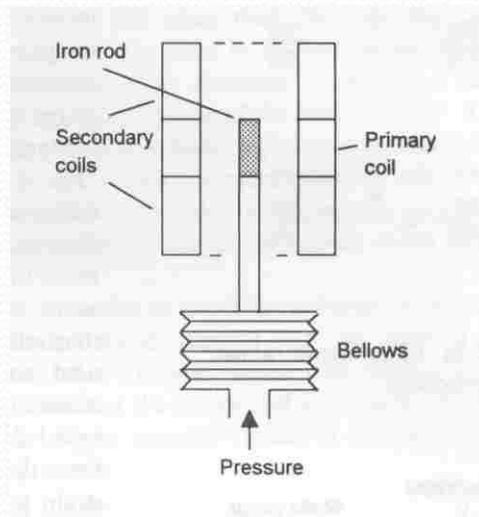
- Mide la aceleración a través del desplazamiento de una masa producido por la fuerza que aparece sobre ella como consecuencia de la aceleración.



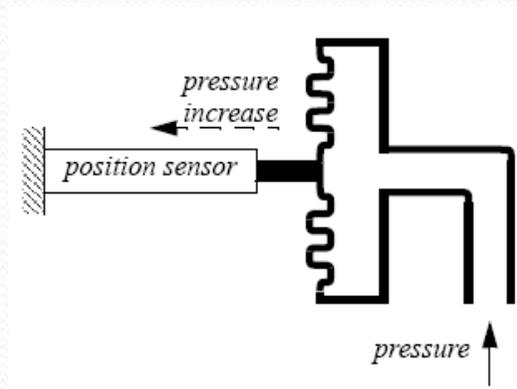
Sensores de presión: Manómetros

Basados en elementos flexibles

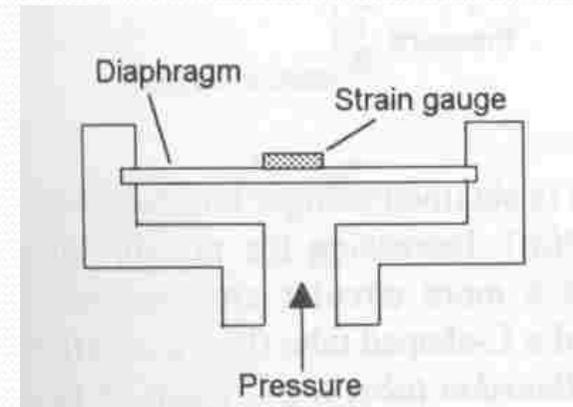
- El fluido actúa sobre un material elástico.
- Se mide el movimiento o deformación.
- Ejemplos:



Fuelles flexibles



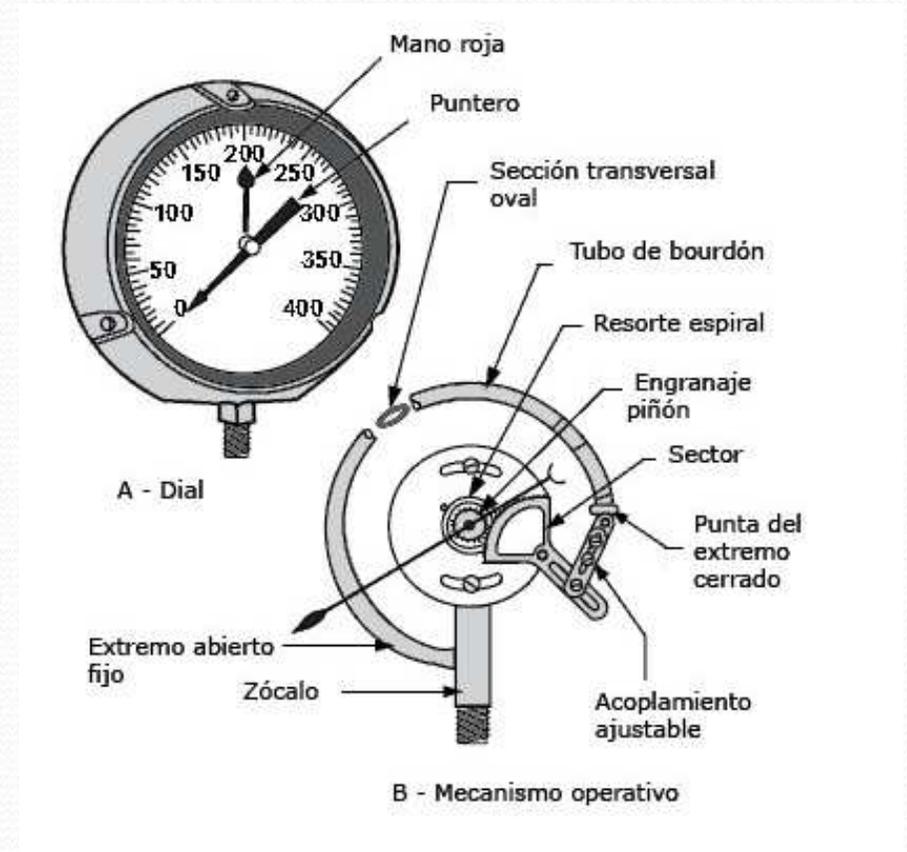
Piezoléctrico



Membranas flexibles

Tubo Bourdon

- Se introduce el fluido a presión en un tubo curvado.
- Conforme aumenta la presión, el tubo tiende a enderezarse.

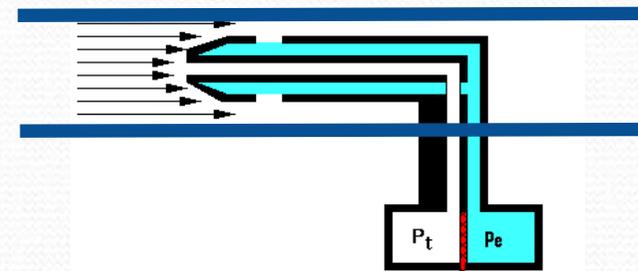
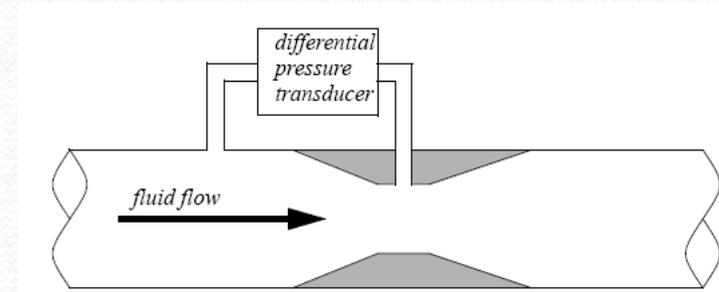


Tubo de Bourdon

Sensores de caudal

Basados en diferencias de presiones

- Se mide la variación de presión producida por la variación de velocidad entre dos puntos de un fluido.
- Se basa en el efecto Venturi y en el principio de Bernoulli.
- Existen diferentes configuraciones.
- Ejemplo: Tubo de Pitot.



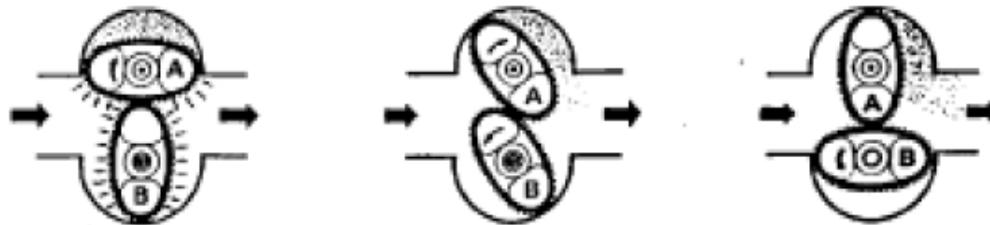
Tubo de Pitot

Volumétricos y de turbina

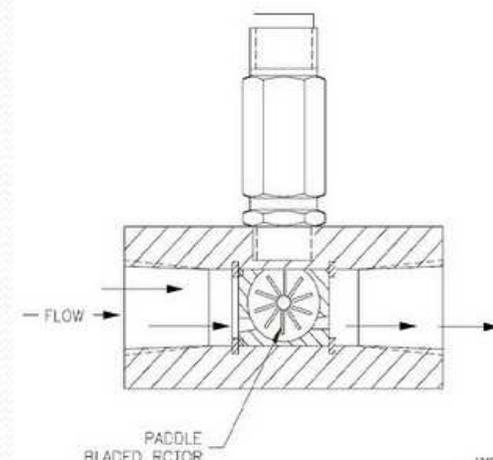
- **Volumétricos:**
 - Aíslan un volumen conocido de fluido y cuentan el número de unidades de volumen por unidad de tiempo.
 - Diferentes configuraciones.
- **De turbina:**
 - Miden la velocidad de giro de una turbina que gira como consecuencia de la circulación de un fluido.
 - Diferentes configuraciones.

Volumétrico

Caudalímetro de desplazamiento positivo.



Turbina

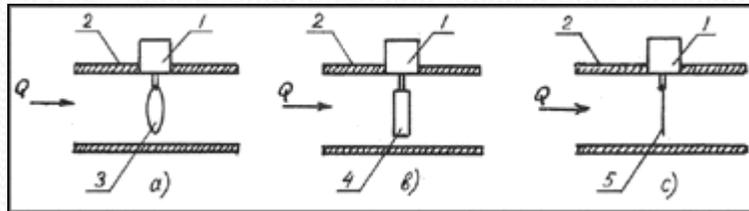


Caudalímetros electromagnéticos

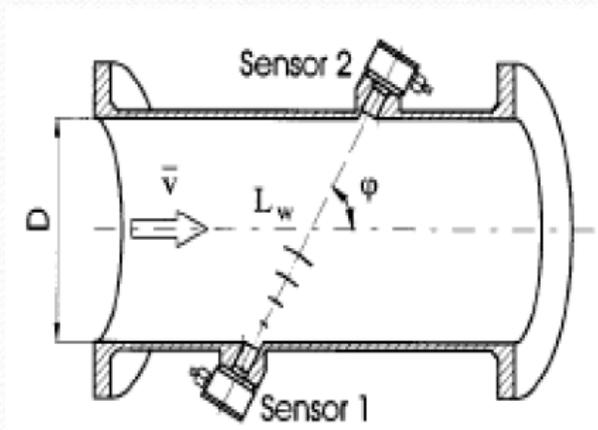
- Están basados en la ley de Faraday (el voltaje inducido a través de un conductor que se desplaza transversal a un campo magnético es proporcional a la velocidad del conductor).
- Sistema no invasivo.
- Sólo funciona con líquidos que tengan algo de conductividad eléctrica.
- Es de muy bajo mantenimiento.



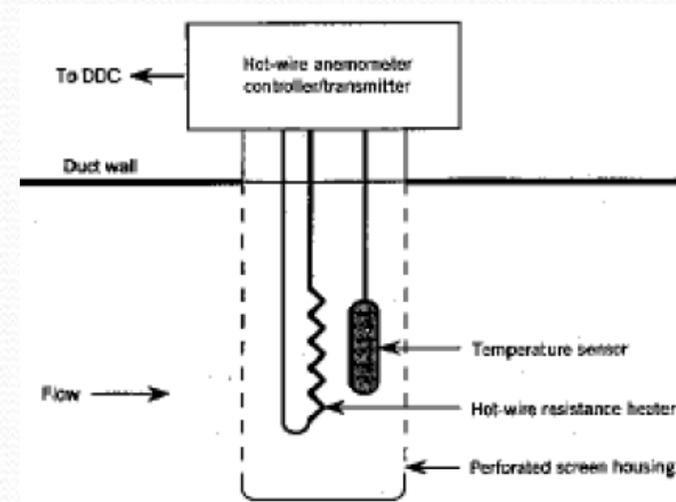
Basados en otros principios físicos



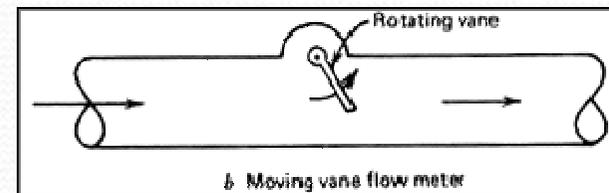
Fuerza



Ultrasonidos



Térmico



Variación de área

Sensores de nivel

Flotadores

- Al variar la altura del líquido se produce el desplazamiento de una boya.
- Se mide el desplazamiento lineal o angular asociado al movimiento de la boya.
- Distintas configuraciones.

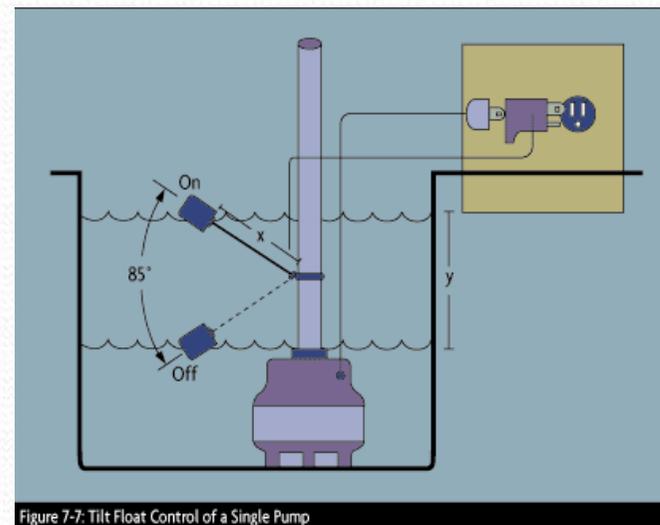
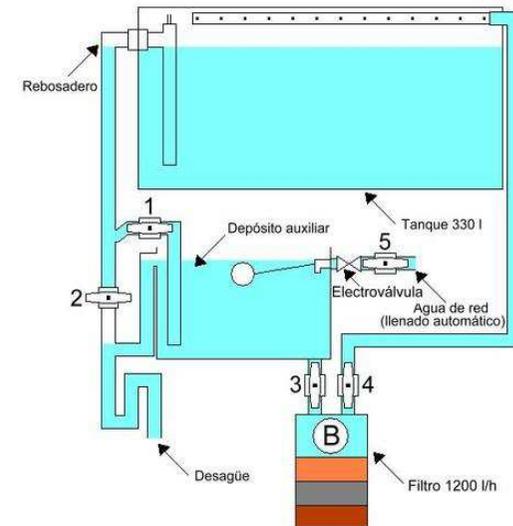
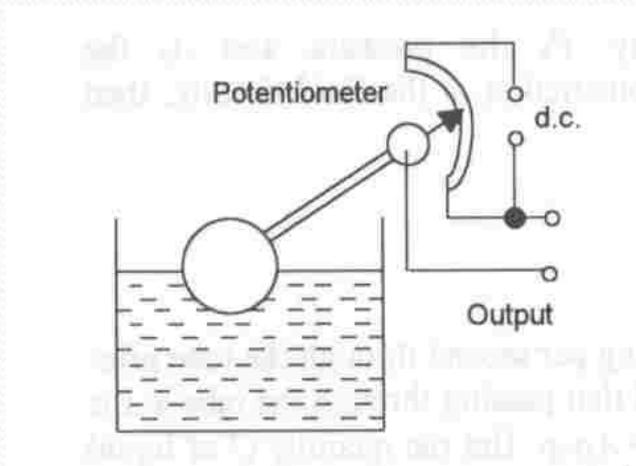
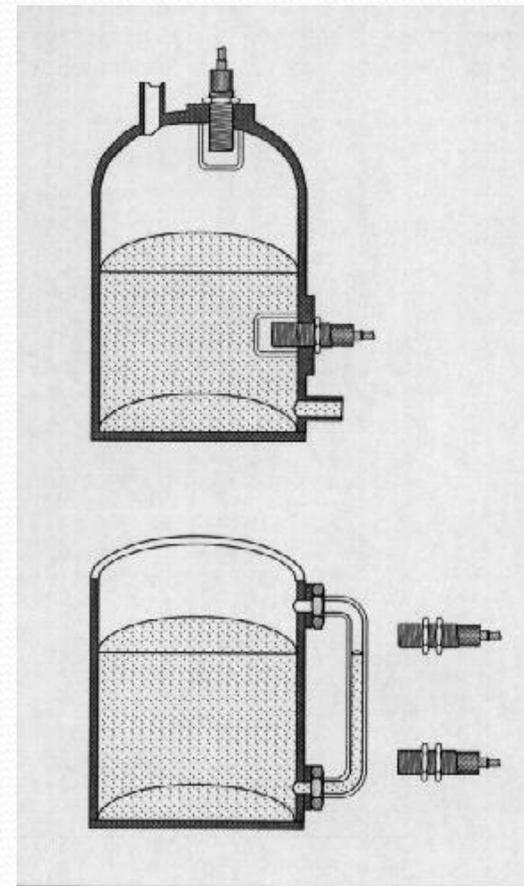
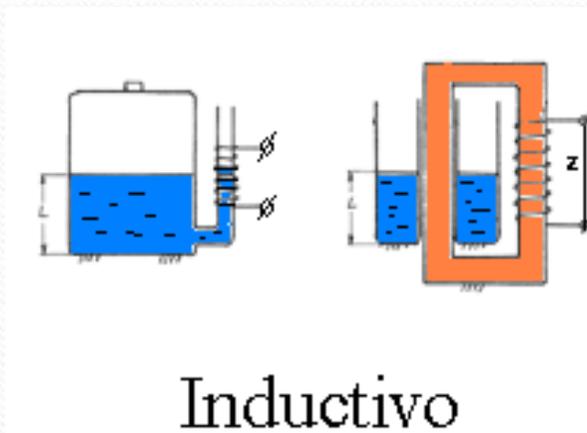


Figure 7-7: Tilt Float Control of a Single Pump

Basados en parámetros eléctricos

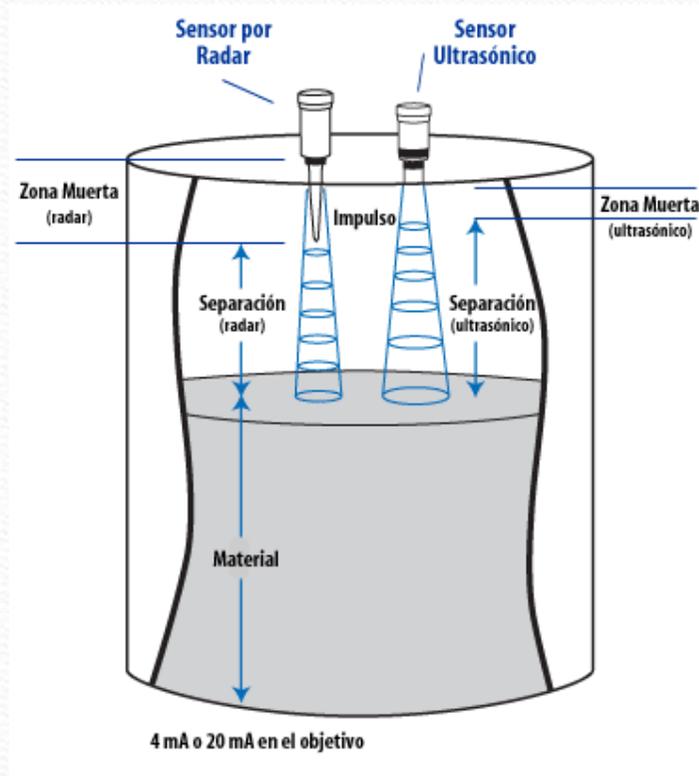
- Miden la variación de un parámetro eléctrico (resistencia, capacidad, inductancia) al variar el nivel del líquido.
- Distintas configuraciones.



Capacitivo

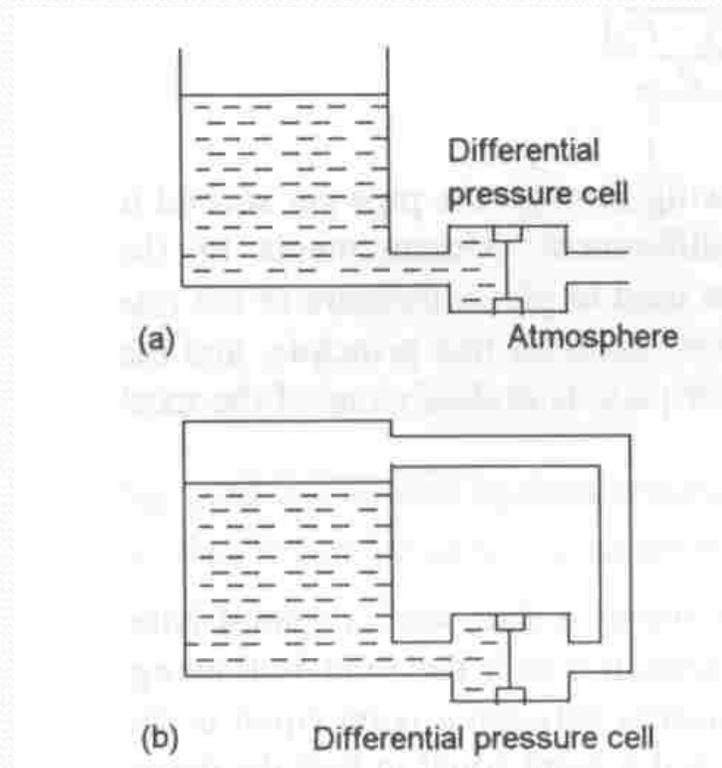
Ultrasonidos

- Miden la señal reflejada por la superficie del fluido.
- Distintas configuraciones.



Diferencia de presión

- Miden el aumento de presión en la base de un depósito como consecuencia de la altura del fluido.
- Diferentes configuraciones.



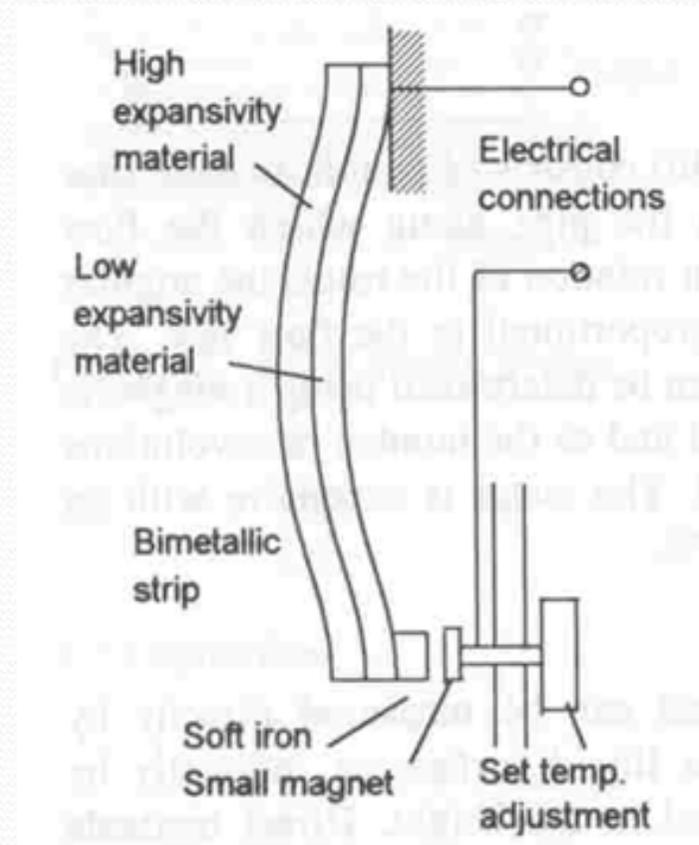
Sensores de temperatura

Sensores de temperatura

- Con contacto
 - Termostato bimetálico
 - Termopares
 - Termistores
 - Termorresistencias (RTD)
 - Circuitos integrados
- Sin contacto
 - Sensores de infrarrojos

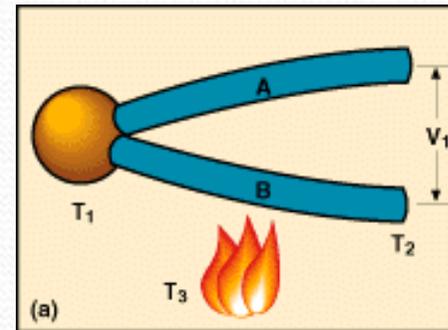
Termostato bimetálico

- Convierten un cambio de temperatura en un movimiento mecánico.
- Consiste en dos láminas de metal unidas, con diferente coeficiente de dilatación térmico.
- Cuando la temperatura cambia, la lámina cambia de forma actuando sobre unos contactos que cierran un circuito eléctrico.



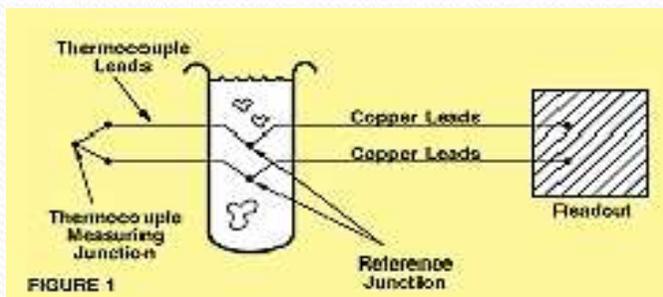
Termopares (I)

- Un termopar está formado por dos hilos de distintos metales unidos por un extremo.
- Basados en el efecto Seebeck.
- Miden diferencia de temperatura entre los extremos de los hilos y la unión.
- Hay que saber la temperatura en la unión. Se emplea para ello un baño de hielo o un compensador electrónico.

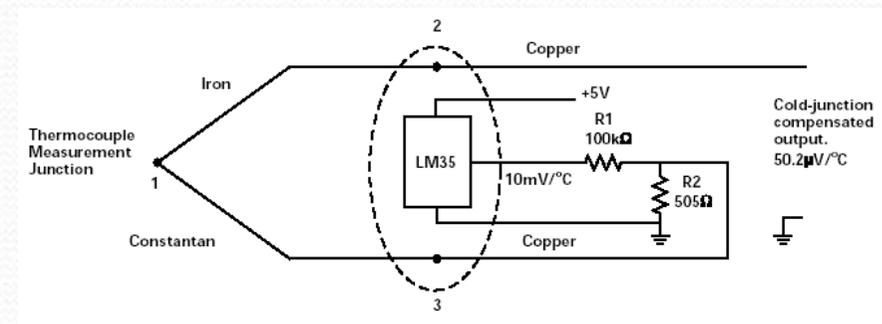


$$V_1 \approx k (t_1 - t_2)$$

Efecto Seebeck



Baño de hielo

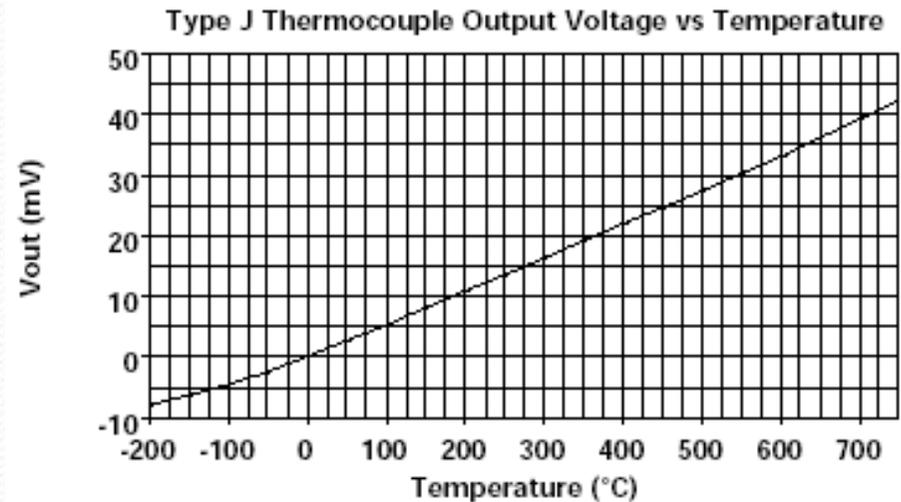
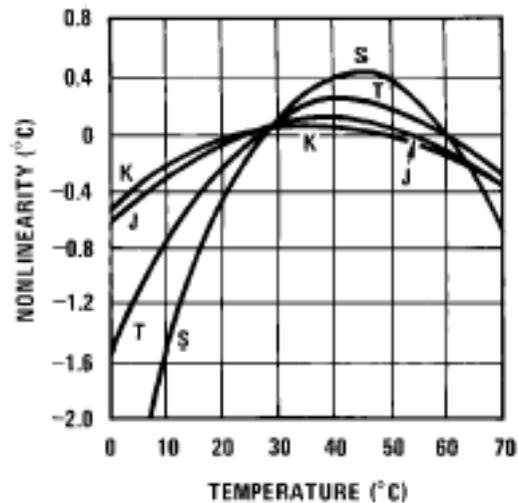


Compensación electrónica

Termopares (II)

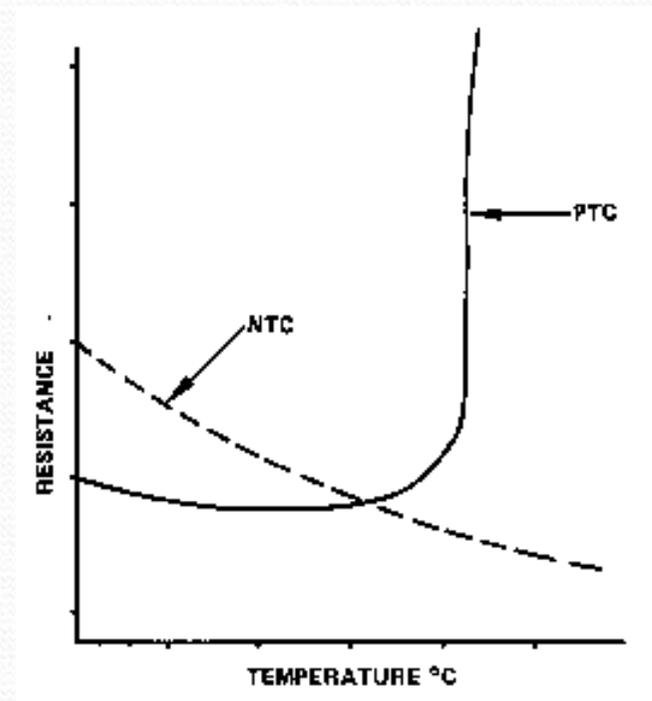
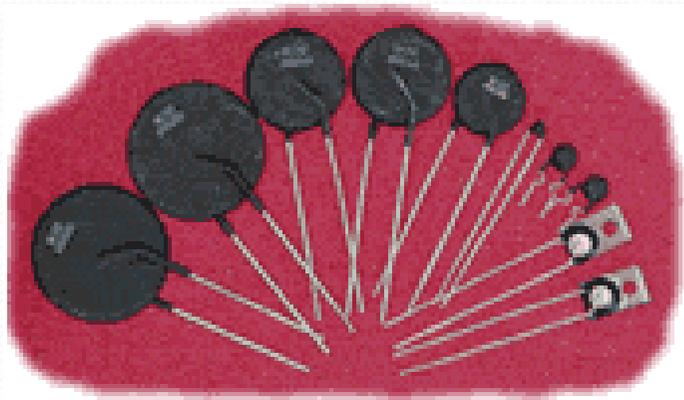
- Según los metales (aleaciones) que se empleen varían propiedades como el rango de temperaturas medibles o la linealidad del sensor.

TERMOPARES		
Tipo	Composición	Rango (°C)
B	Pt-30% Rh / Pt-6% Rh	0 to 1820
E	Ni-Cr / Cu-Ni	-270 to 1000
J	Fe / Cu-Ni	-210 to 1200
K	Ni-Cr / Ni-Al	-270 to 1372
N	Ni-Cr-Si / Ni-Si-Mg	-270 to 1300
R	Pt-13% Rh / Pt	-50 to 1768
S	Pt-10% Rh / Pt	-50 to 1768
T	Cu / Cu-Ni	-270 to 400



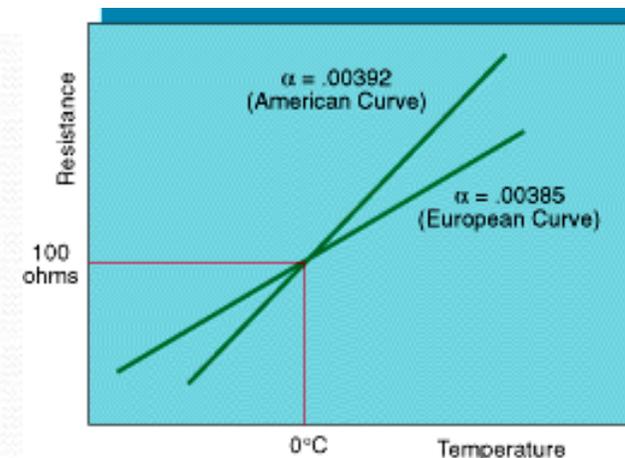
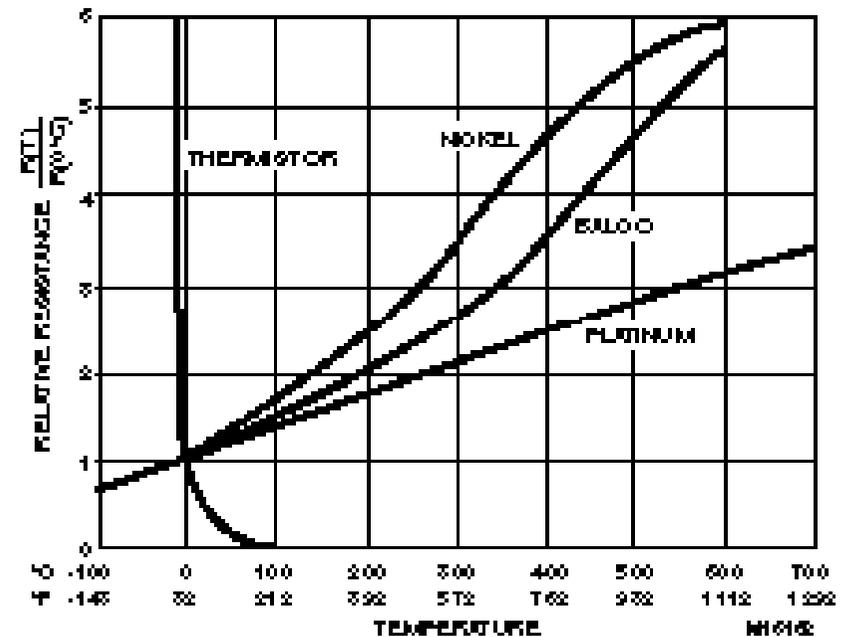
Termistor

- Semiconductores cuya resistencia varía con la temperatura.
- Dos tipos:
- **NTC**: Resistencia disminuye al aumentar la temperatura.
- **PTC**: La resistencia aumenta drásticamente al aumentar la temperatura. (Fusible térmico).



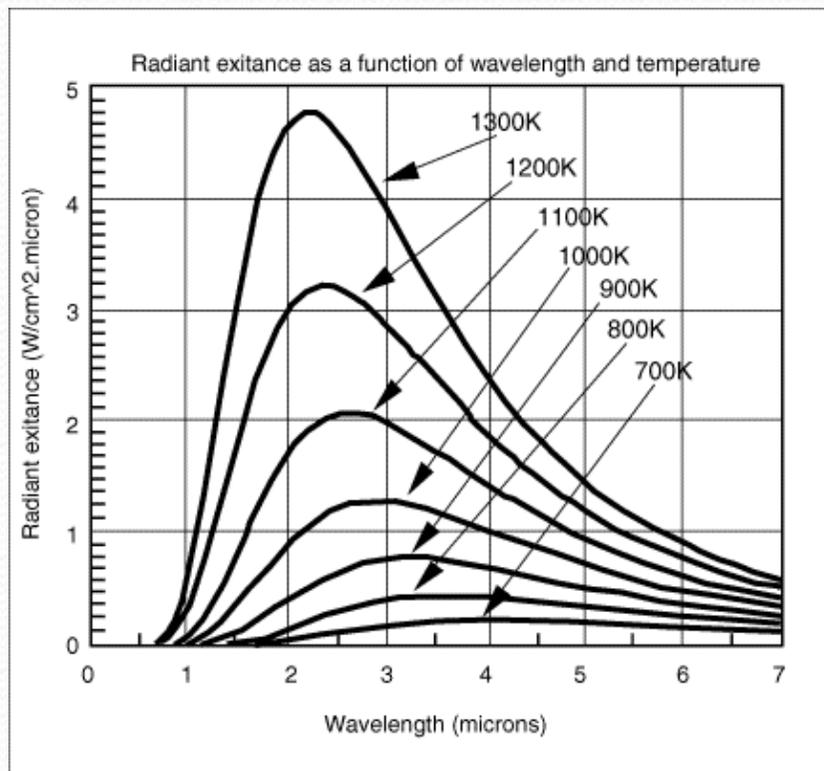
Termorresistencias (RTD)

- Al variar la temperatura varía la resistencia de un conductor.
- Depende del material del conductor.
- Las termorresistencias de platino (Ej: Pt 100) son las que presentan mayor linealidad.
- Existen diferentes normativas para calibrar las termorresistencias.
- Para la Pt100 las normas americanas y europeas indican que a 0°C tengan una resistencia de 100 ohmios, aunque contemplan diferentes pendientes para las curvas resistencia-temperatura.



Sensores de infrarojos

- Miden la emisión infrarroja de un objeto, que varía en función de su temperatura.



Sensores de temperatura: Comparación

TEMPERATURE SENSOR COMPARISON CHART					
Characteristic	Pt RTD, Film	Pt RTD, WW	Thermistor	Thermocouple	Silicon
Active Material	Platinum thin film	Platinum, wire wound	Metal oxide ceramic	Two dissimilar metals	Silicon transistor cascade
Relative Sensor Cost	Moderate to Low	Moderate	Low to Moderate	Low	Low
Relative System Cost	Moderate	Moderate	Low to Moderate	High	Low
Temp Range	-200°C to 750°C (560°C max. typ.)	-200°C to 850°C (600°C max. typ.)	-100°C to 500°C (125°C max. typ.)	-270°C to 1800°C	-40°C to 125°C
Changing Parameter	Resistance	Resistance	Resistance	Voltage	Voltage
Base Value	100 Ω TO 2000 Ω	100 Ω	1 kΩ to 1 MΩ	<10 μV at 25 °C	750mV at 25
Interchangeability	±0.1% , ±0.3°C	±0.06% , ±0.2°C	±10% , ±2°C typ.	±0.5% , ±2°C	±1% , ±3°C
Stability	Excellent	Excellent	Moderate	Poor	Moderate
Sensitivity	0.39% /°C	0.39% /°C	- 4% /°C	40 μV /°C	10 mV /°C
Relative Sensitivity	Moderate	Moderate	Highest	Low	Moderate
Linearity	Excellent	Excellent	Logarithmic, Poor	Moderate	Moderate
Slope	Positive	Positive	Negative	Positive	Positive
Noise Susceptibility	Low	Low	Low	High	Low
Lead Resistance Errors	Low	Low	Low	High	Low
Minimum Size (in.)	.050 x .065	0.5 x .060 φ	.016 x .120	.025 x .016 φ	SO-53
Minimum Probe Diameter	.080	.080	.065	.025	.080
Special Requirements		Lead compensation	Linearization	Reference junction	