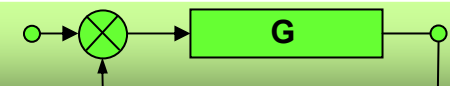


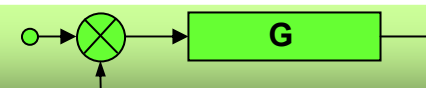
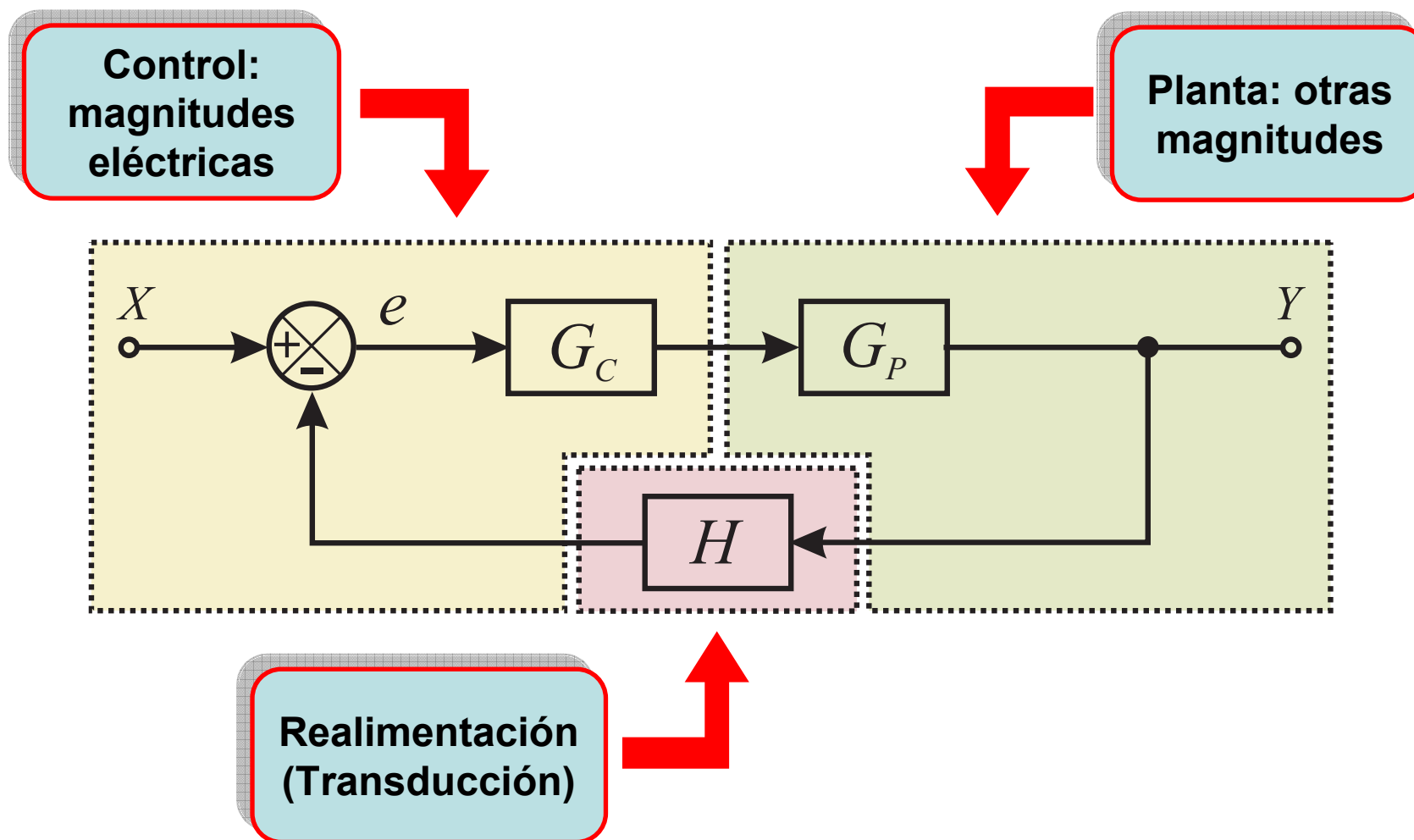


Transductores como elementos de control





ESQUEMA DE CONTROL BASICO





MAGNITUDES FÍSICAS A MEDIR

Temperatura

Fuerza

Desplazamiento

Presión

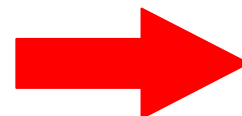
Magnitudes eléctricas (V, I, R, f)

Tiempo

Nivel

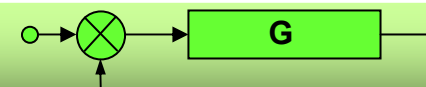
Caudal

Etcétera ...



Transductores

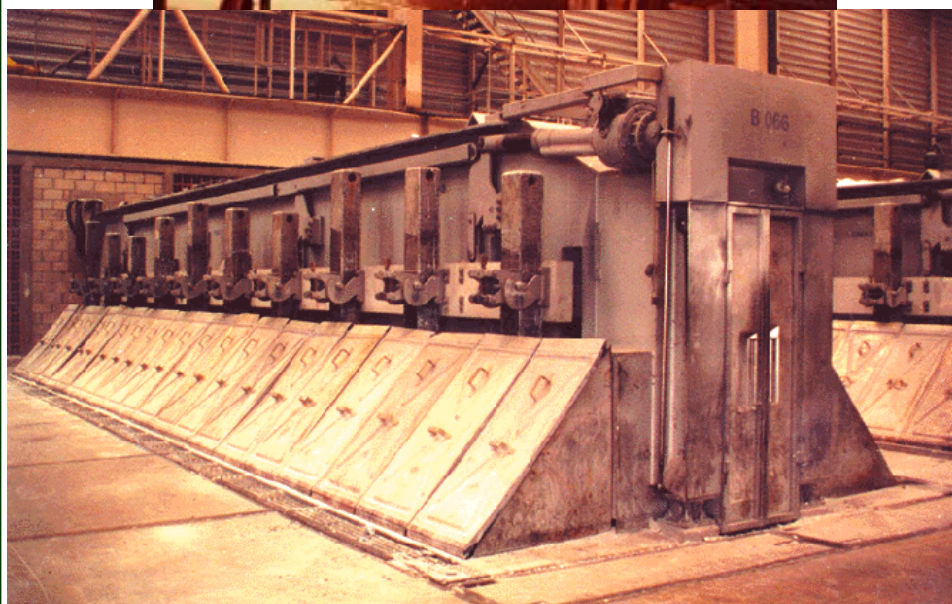
Convierten una determinada variable física/química/eléctrica en una magnitud eléctrica con características específicas.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA

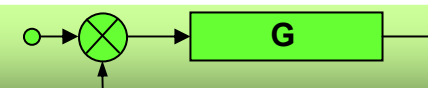
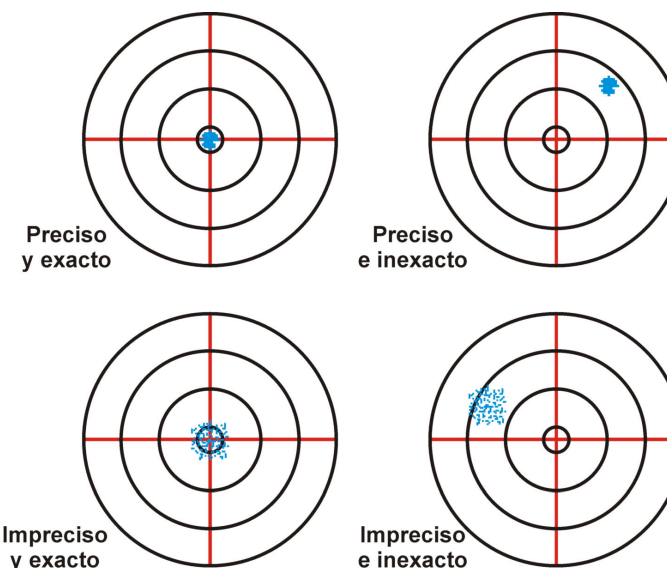
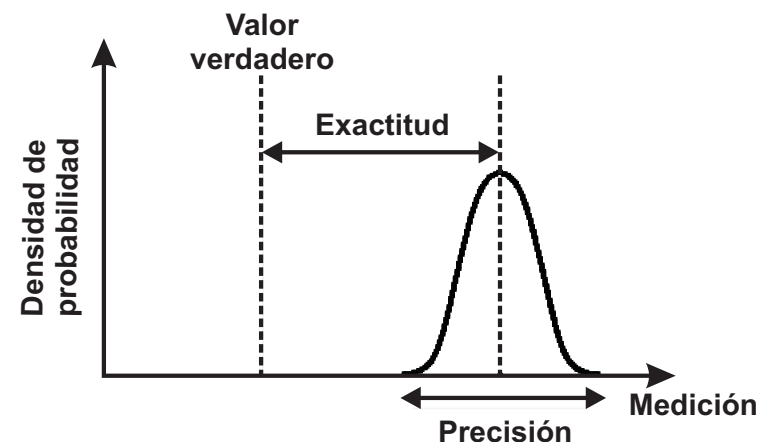
FACULTAD DE INGENIERIA





DEFINICIONES

- **Error:** diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de una determinada variable. Se puede expresar en forma absoluta o porcentual.
- **Exactitud:** un dispositivo es más exacto cuanto menor es el error respecto del valor verdadero.
- **Precisión:** capacidad de un instrumento de reproducir idénticas medidas en ensayos sucesivos dentro de una tolerancia dada.
- **Resolución:** mínima medición capaz de realizar con un instrumento. Ejemplo: RVDT y encoder.
- **Deriva:** variación continua de una magnitud en función del tiempo.
- **Estabilidad:** capacidad de un instrumento de mantener sus características de precisión y exactitud con un mínimo de derivas.

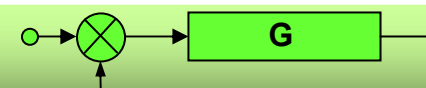




TEMPERATURA

DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA	
Eléctricos	Termocuplas, Termorresistencias, Termistores, Semiconductores, etc.
Mecánicos	Sistemas de dilatación, Termómetros de vidrio con líquidos, Termómetros bimetalícos
Radiación Térmica	Pirómetros de radiación: Total (banda ancha), Espectral o radiación parcial, Fibra óptica, etc.
Varios	Indicadores de color, indicadores pirométricos, cristales líquidos, etc.

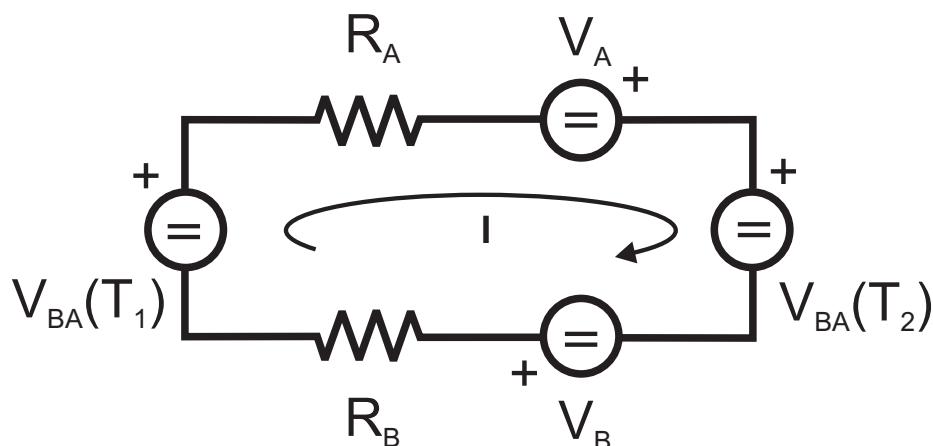
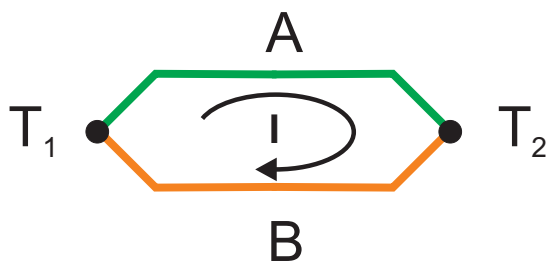
Rangos de temperatura	
Termocuplas	-200 °C a 2.300 °C
Sistemas de dilatación	-195 °C a 750 °C
Termorresistencias	-250 °C a 850 °C
Termistores	-195 °C a 450 °C
Pirómetros de radiación	-40 °C a 3.000 °C





TERMOCUPLAS – Definiciones y fenómenos físicos

Es el resultado de la unión metálica, por soldadura (arco eléctrico, sin aporte de otro metal), retorcido o compresión, de dos alambres de diferentes materiales (puros o aleados).



➤ **Efecto Thompson (1851):** al someter un metal a un gradiente térmico aparece una diferencia de potencial (mV) entre el extremo frío y el caliente.

➤ **Efecto Peltier (1834):** La unión de dos metales diferentes sometida a un gradiente de temperatura producirá una circulación de corriente. Este proceso es reversible. El calor es proporcional a I y no a I^2R como en el efecto Joule.





TERMOCUPLAS – Definiciones y fenómenos físicos

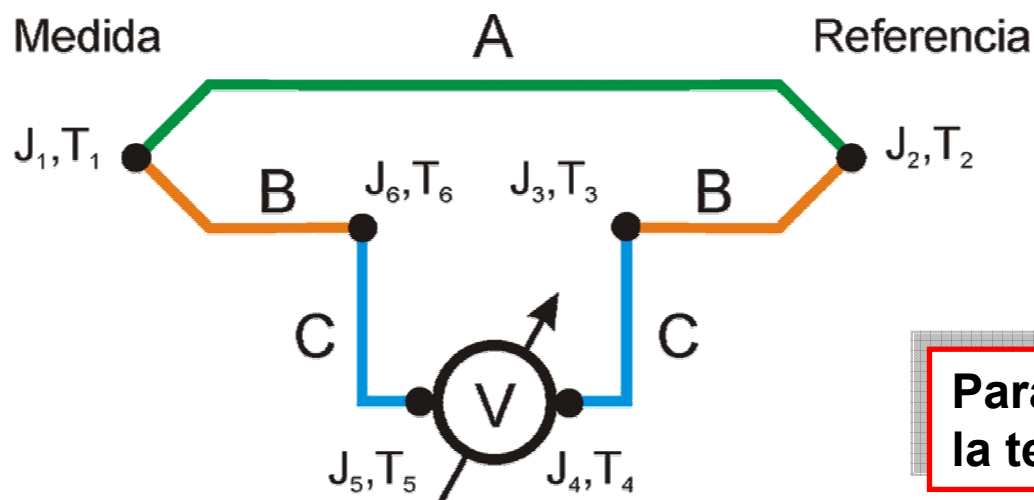
➤ **Efecto Seebeck (1821):** Se crea un voltaje en presencia de una diferencia de temperatura entre dos metales o semiconductores diferentes.

$$T_3 = T_6$$

$$T_4 = T_5$$

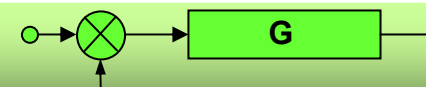
$$V = \alpha \cdot (T_1 - T_2) = \alpha \cdot \Delta T$$

α = Coeficiente de Seebeck ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)



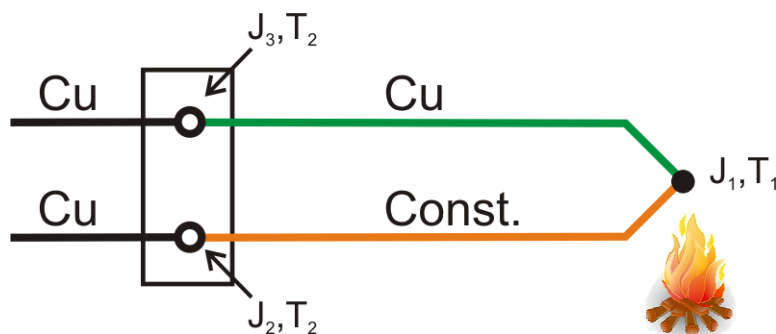
Para medir T_1 es necesario conocer la temperatura de referencia T_2

Efecto termoeléctrico: Los efectos Peltier, Seebeck y Thompson pueden, en teoría, ser termodinámicamente reversibles, mientras que el calentamiento Joule no lo es.





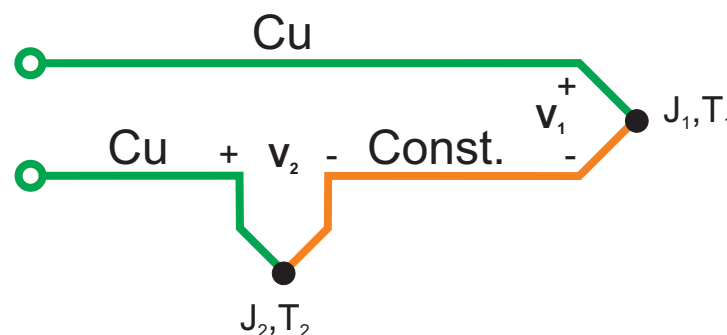
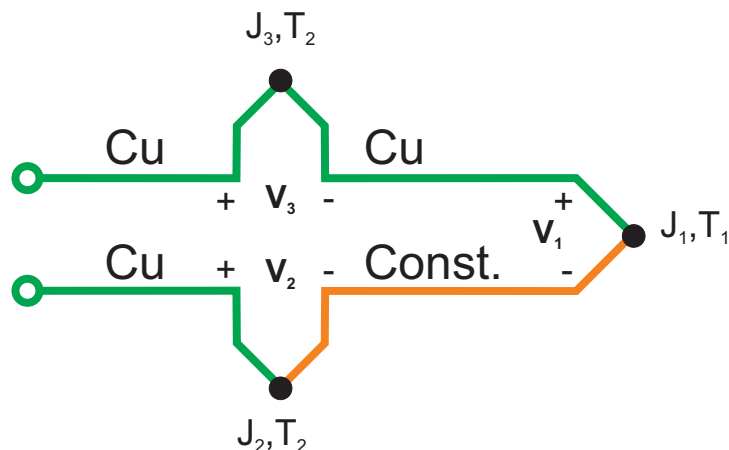
TERMOCUPLAS – Juntura fría o de referencia



Al intentar medir la temperatura de la juntura J_1 se generan dos nuevas junturas J_2 y J_3 . La juntura J_3 es Cu-Cu, por lo que $V_3=0$.

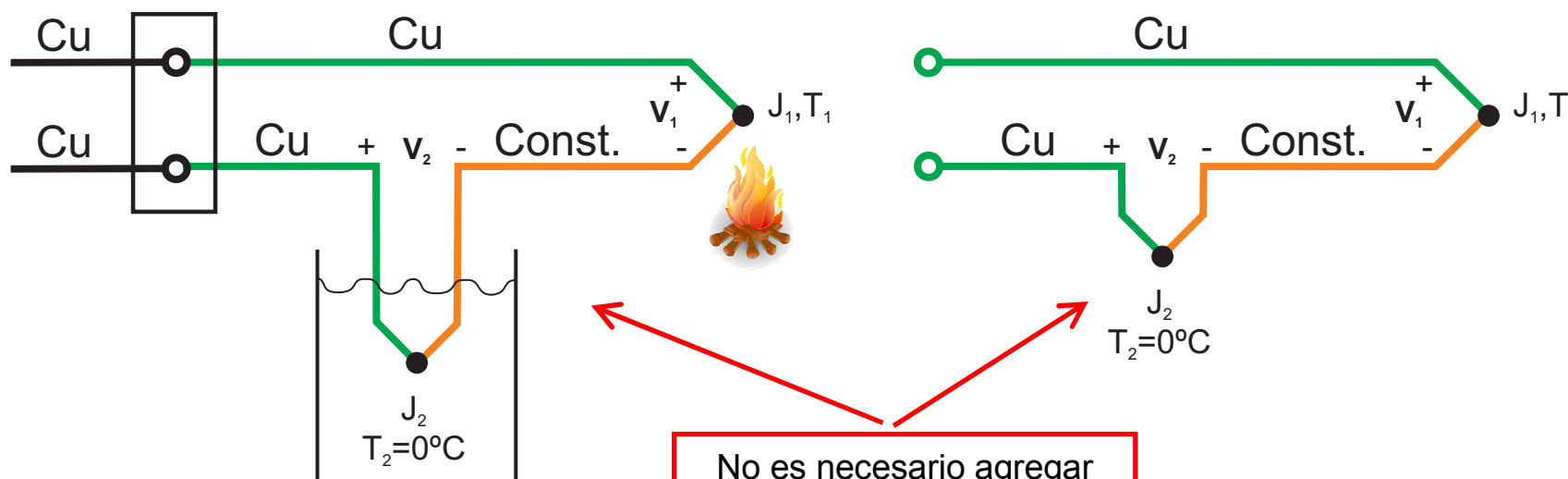
La diferencia de tensión en bornes es proporcional a la diferencia de temperatura entre las junturas J_1 y J_2 .

Cu-Constantan (45%Ni-55%Cu): Tipo "T"





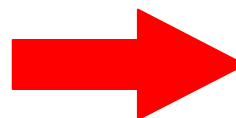
TERMOCUPLAS – Compensación de junta fría



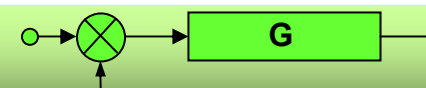
No es necesario agregar una termocupla adicional

$$V = (V_1 - V_2) = \alpha \cdot (T_1 - T_2)$$

$$T_2 = 0^\circ\text{C} \Rightarrow V = \alpha \cdot T_1 [^\circ\text{C}]$$



$$V_2 \neq 0V$$
$$T_2 = 0^\circ\text{C} = 273,15^\circ\text{K}$$

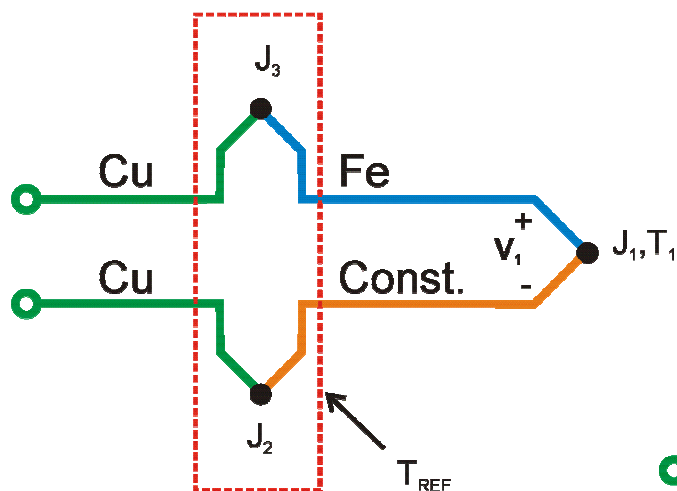




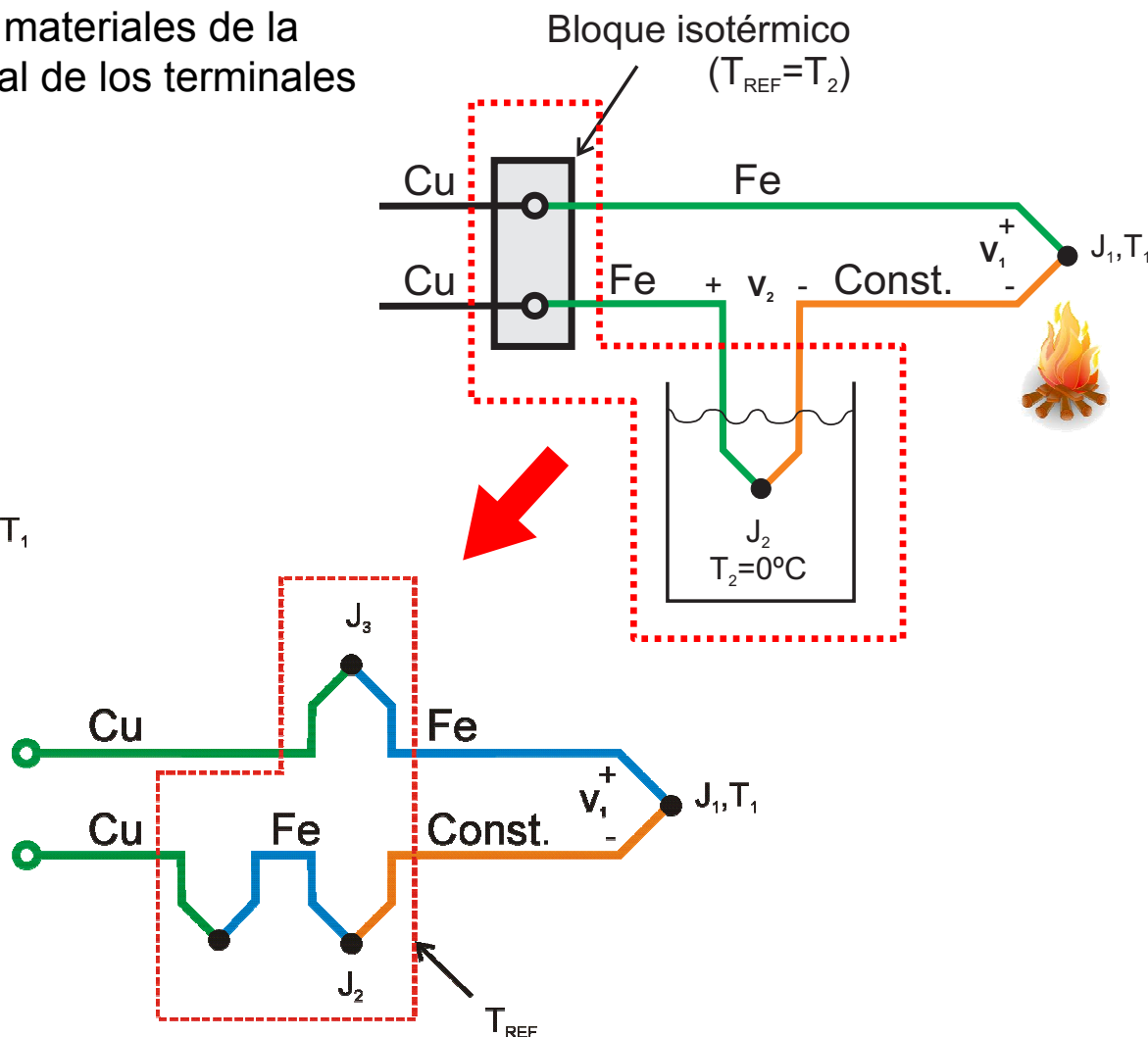
TERMOCUPLAS

En el caso de que ninguno de los materiales de la termocupla coincida con el material de los terminales de conducción ...

Fe-Constantan: Tipo "J"



Dos termocuplas diferentes
a la misma temperatura

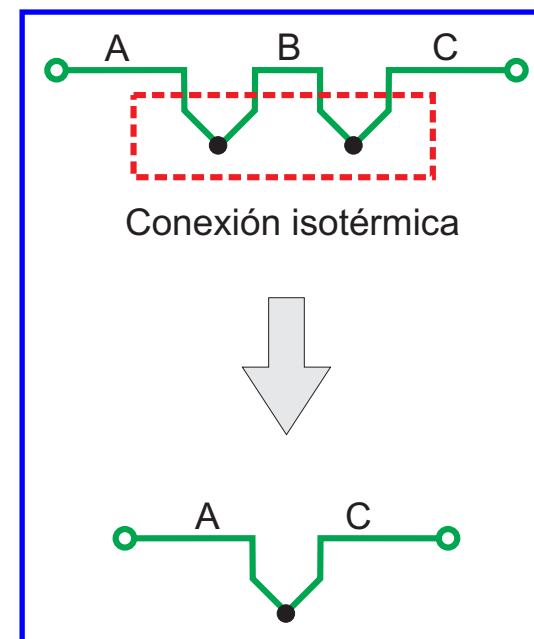
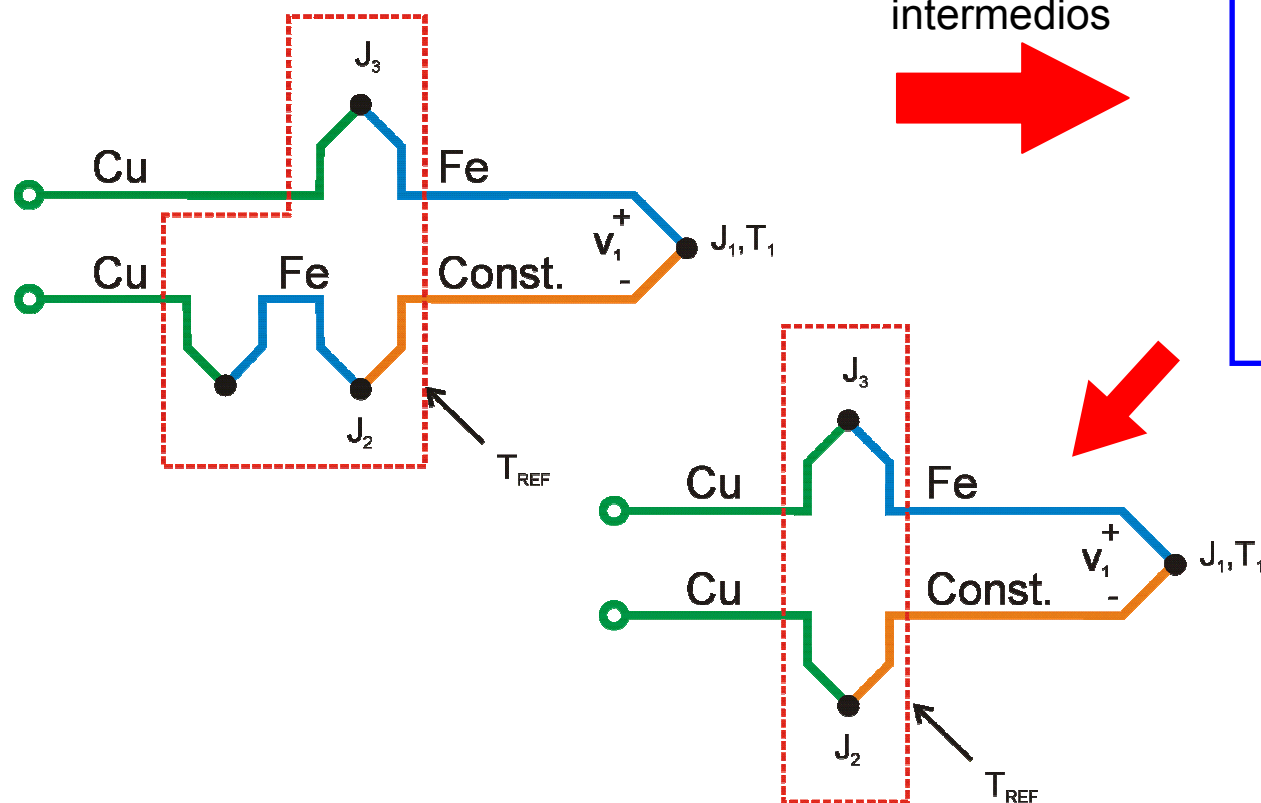




TERMOCUPLAS

En el caso de que ninguno de los materiales de la termocupla coincida con el material de los terminales de conducción ...

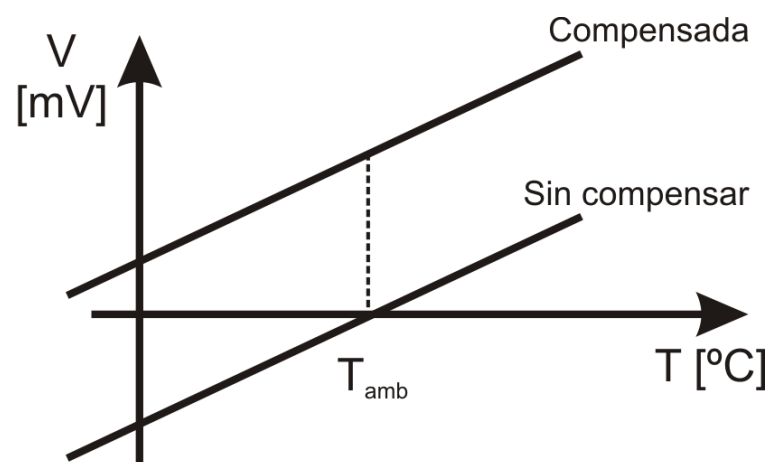
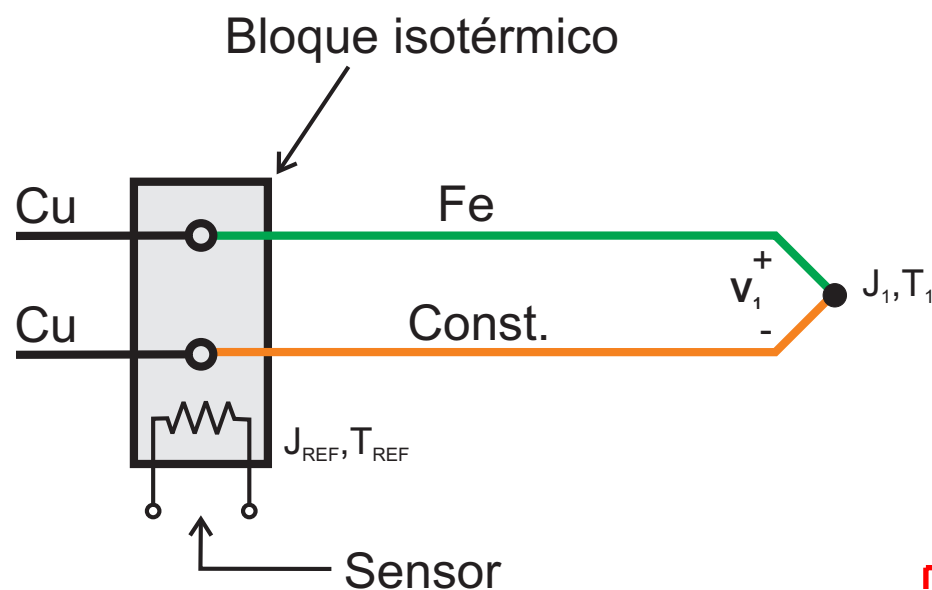
Fe-Constantan: Tipo "J"





TERMOCUPLAS

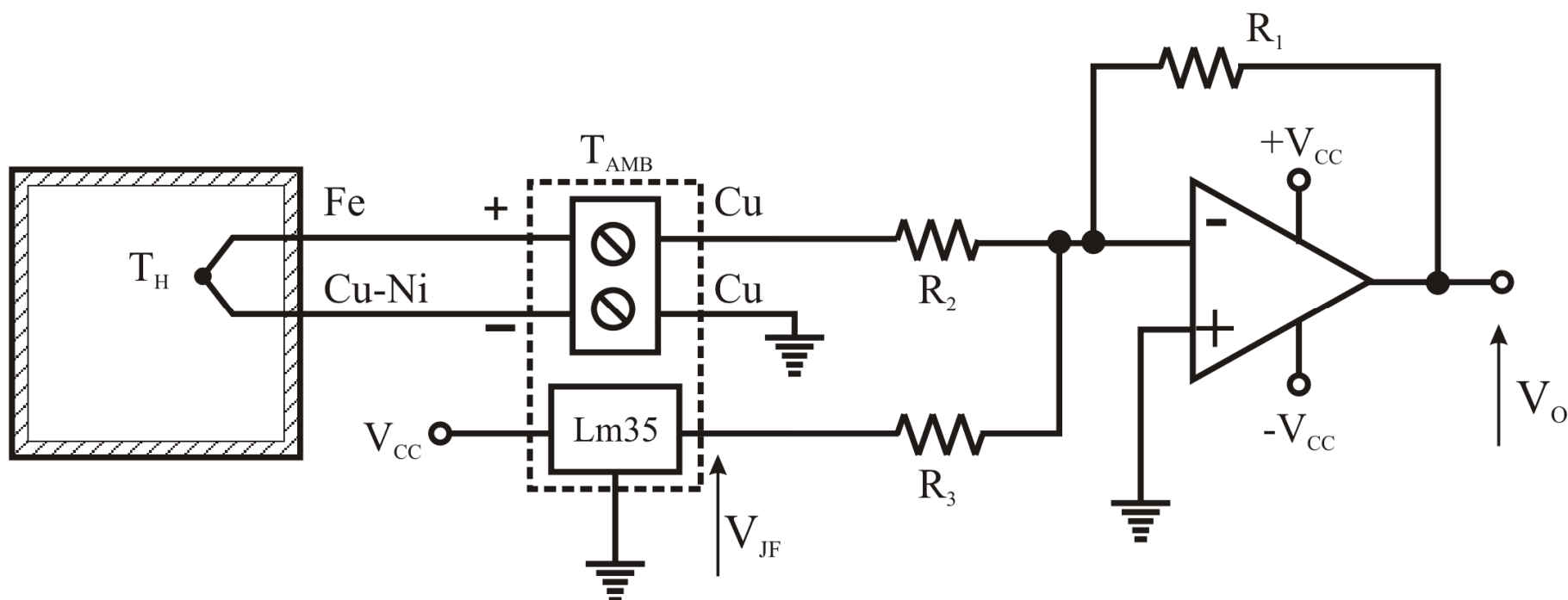
Compensación de la junta fría sin baño de hielo



¿Por qué utilizamos dos elementos de medición (termocupla + sensor)?
¿No convendría utilizar uno sólo (RTD, termistor)?



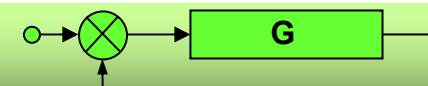
Compensación de la juntura fría sin baño de hielo





TERMOCUPLAS

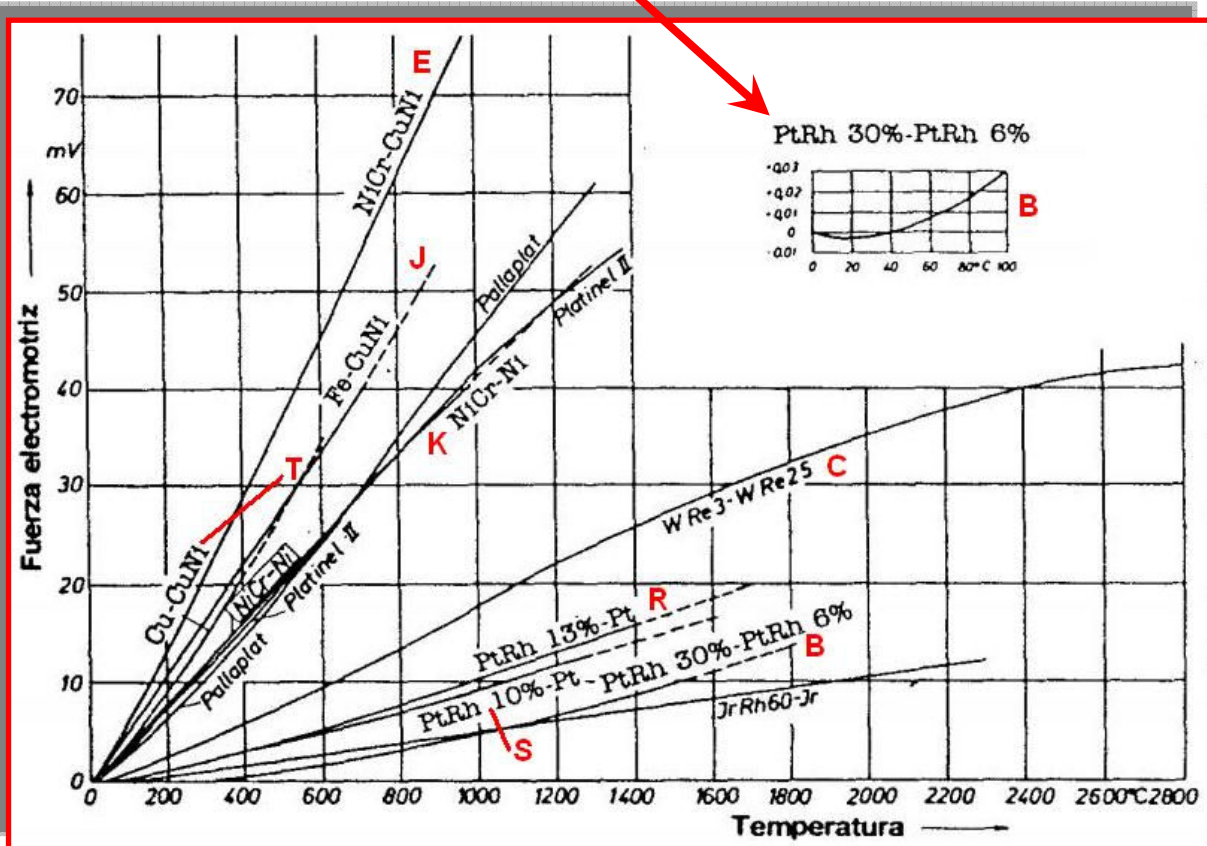
Tipo	α	Material	Rango de Temperatura (útil)	Rango de Temperatura (máximo)	Características
J	51,7 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	HIERRO CONSTANTAN	0 to 750°C	-210 to 1200°C	Reducing, Vacuum, Inert. Limited Use in Oxidizing at High Temperatures. Not Recommended for Low Temperatures.
K	40,6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	CROMEL ALUMEL	-200 to 1250°C	-270 to 1372°C	Clean Oxidizing and Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Wide Temperature Range, Most Popular Calibration
T	40,6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	COBRE CONSTANTAN	-250 to 350°C	-270 to 400°C	Mild Oxidizing, Reducing Vacuum or Inert. Good Where Moisture Is Present. Low Temperature and Cryogenic Applications
E	60,9 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	CROMEL ALUMEL	-200 to 900°C	-270 to 1000°C	Oxidizing or Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Highest EMF Change Per Degree
N	39 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	NICROSIL NISIL	-270 to 1300°C	-270 to 1300°C	Alternative to Type K. More Stable at High Temps
S	6,0 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	PLATINO PLATINO-RODIO	0 to 1400°C	-50 to 1768°C	Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature
C	13,5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	TUNGSTENO RENIO	0 to 2320°C	0 to 2320°C	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F) Not for Oxidizing Atmosphere





TERMOCUPLAS

Cambio de pendiente → inversión de signo en la ganancia → Inestabilidad



Ventajas

No requiere alimentación
Simple
Robusto
Económico
Rango de temperaturas

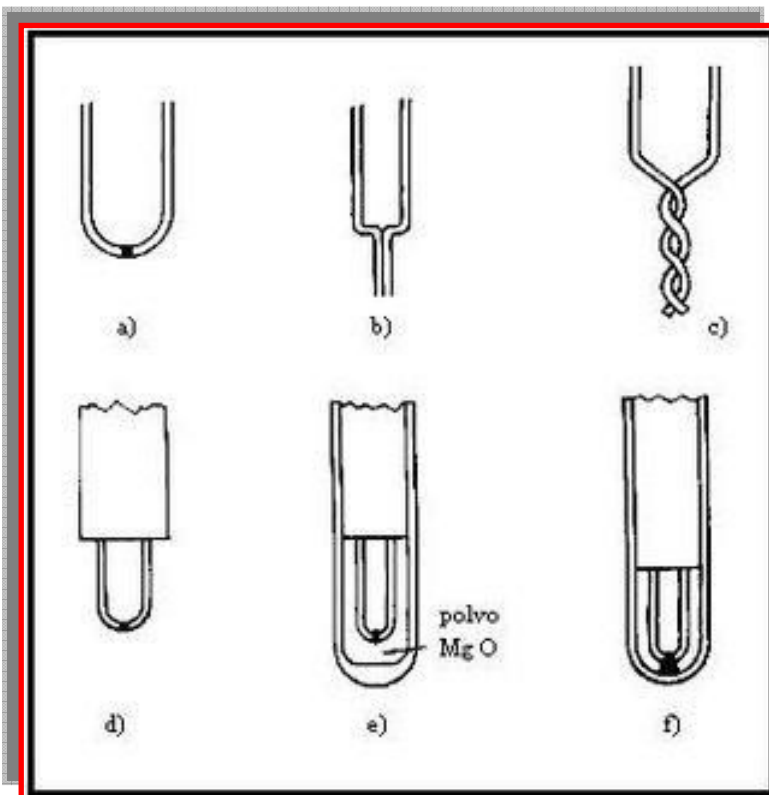
Desventajas

No lineal
Poca sensibilidad
Se requiere una referencia





TERMOCUPLAS – Construcción

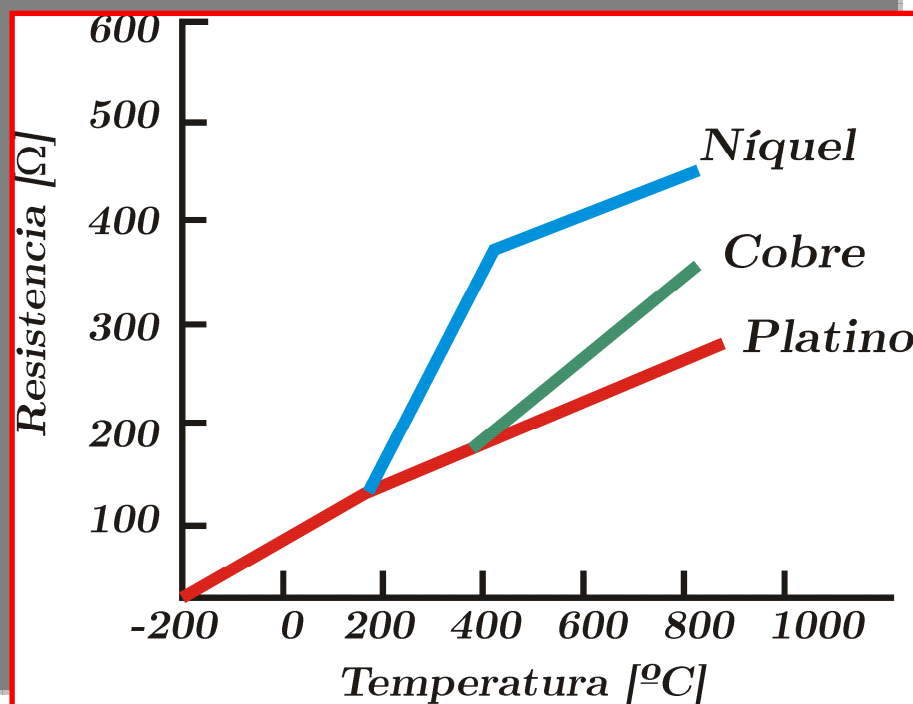


- a) *Unión soldada en extremos*
- b) *Unión soldada en paralelo*
- c) *Hilo trenzado*
- d) *Termopar expuesto: respuesta rápida*
- e) *Termopar encapsulado: aislamiento eléctrico y ambiental*
- f) *Termopar unido a la cubierta: aislamiento ambiental*





R.T.D. – Definiciones y modelo matemático



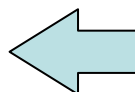
RTD (Resistance Temperature Detector)

Varía su resistencia en función de la temperatura. Su funcionamiento se basa en la dependencia de la resistividad de los materiales respecto de la temperatura.

$$R(T) = R_0 (1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \dots)$$

R_0 = Resistencia a 0°C

Existen también RTD de Tungsteno, Iridio y aleaciones de Níquel.



Tipo	Cte. del material (α_1) [1/°C]	Resistividad (ρ) [$\mu\Omega \cdot \text{cm}$]	Rango de temperatura [°C]
Platino (Pt)	$3,9 \times 10^{-3}$	9,8	-200 / 850
Níquel (Ni)	$6,6 \times 10^{-3}$	6,4	-150 / 300
Cobre (Cu)	$4,3 \times 10^{-3}$	1,6	-200 / 200





R.T.D. – Características generales

Precisión = 0,1 °C (Pt) ~ 0,5 °C (Ni)

Drift = 0,01 °C/año

RTD de platino:

$\alpha = 3,92 \times 10^{-3} [1/^{\circ}\text{C}]$ (ASTM 1137)

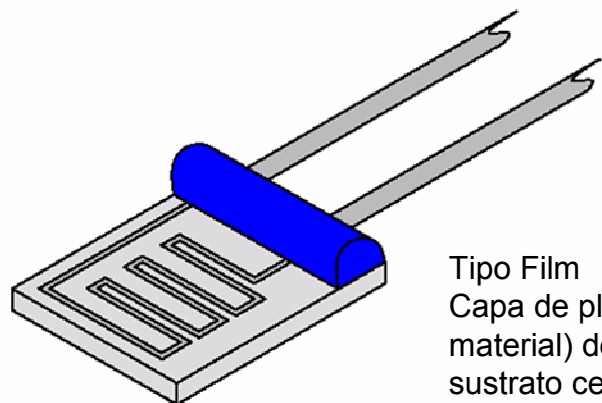
$\alpha = 3,85 \times 10^{-3} [1/^{\circ}\text{C}]$ (IEC 60751)

Ejemplo:

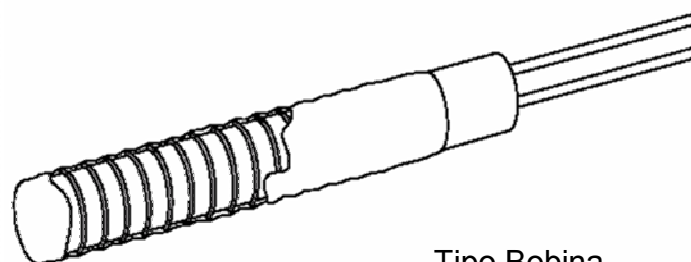
$R_{\text{IEC}} (100^{\circ}\text{C}) = 138,5 \, \Omega \rightarrow$ según IEC

$R_{\text{ASTM}} (100^{\circ}\text{C}) = 139,2 \, \Omega \rightarrow$ según ASTM

$\Delta R = 0,7 \, \Omega \rightarrow \Delta T \approx 2^{\circ}\text{C}$



Tipo Film
Capa de platino (u otro material) de $\sim 1 \mu\text{m}$ sobre un sustrato cerámico



Tipo Bobina
Mayor precisión, ideal para rangos amplios de temperatura

Ventajas

Linealidad

Estabilidad

Intercambiabilidad

Rango de temperaturas

Desventajas

Elevado costo

Poca sensibilidad

Complejidad en instrumentación

Autocalentamiento

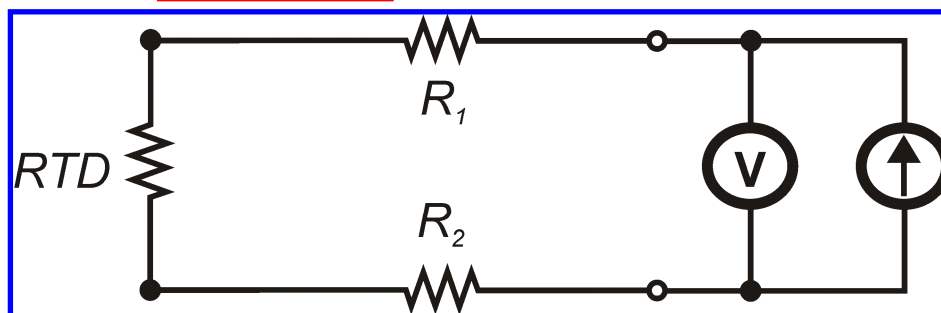
Fragilidad





R.T.D. – Instrumentación: Circuitos de 2 y 3 hilos

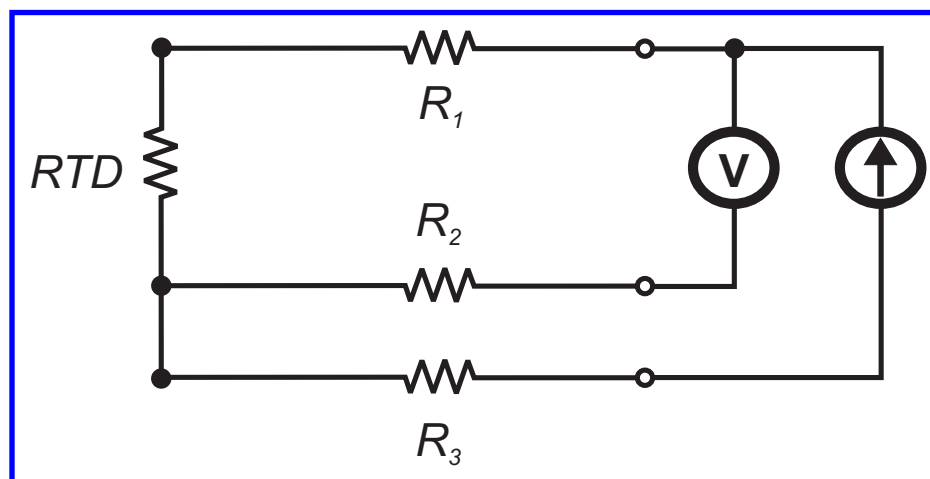
2 Hilos



$$T_{real} = \frac{\left(\frac{R}{R_o} - 1 \right)}{\alpha}$$

$$T_{medida} = \frac{\left(\frac{R + R_w}{R_o} - 1 \right)}{\alpha}$$

$$error(T) = \frac{R_w}{\alpha R_o}$$



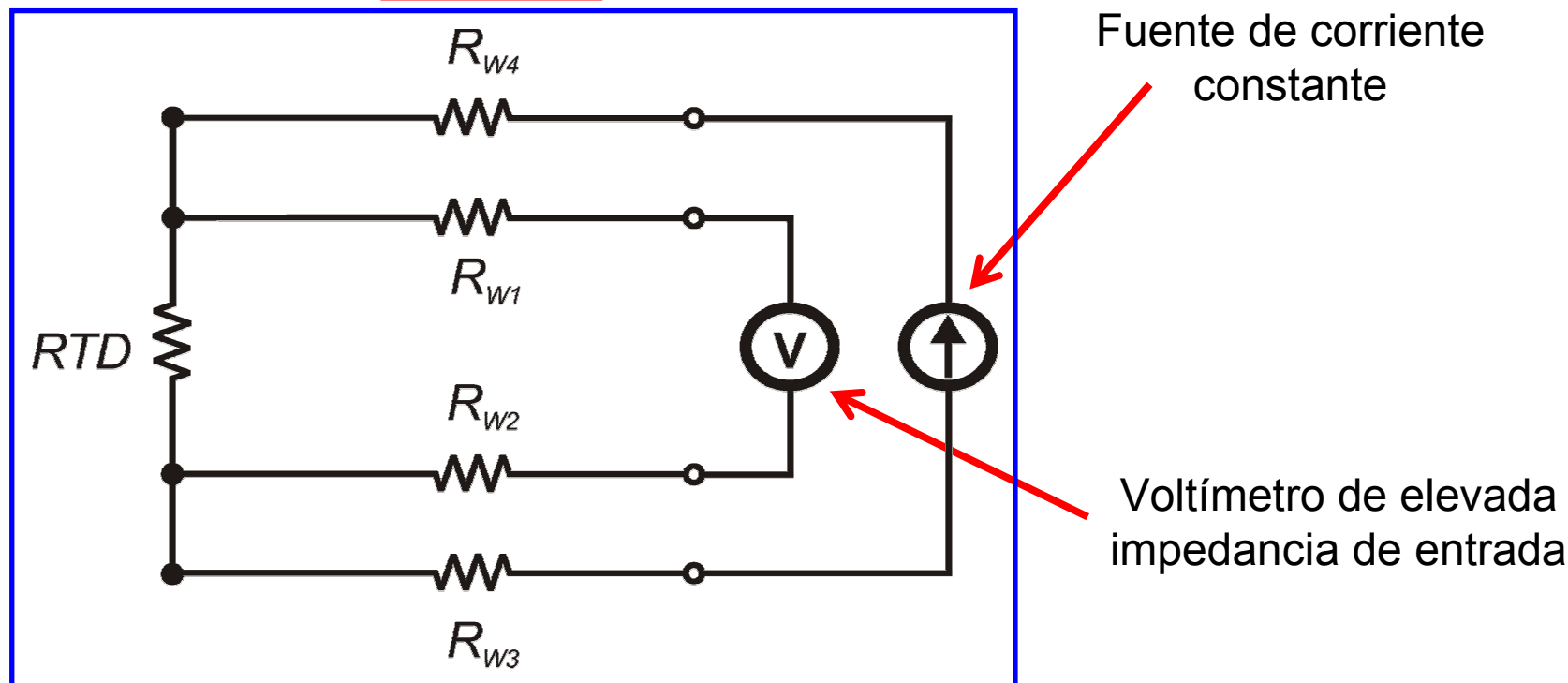
3 Hilos



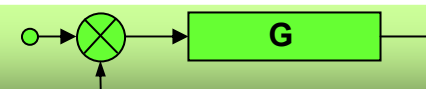


R.T.D. – Instrumentación: Circuito de 4 hilos

4 Hilos

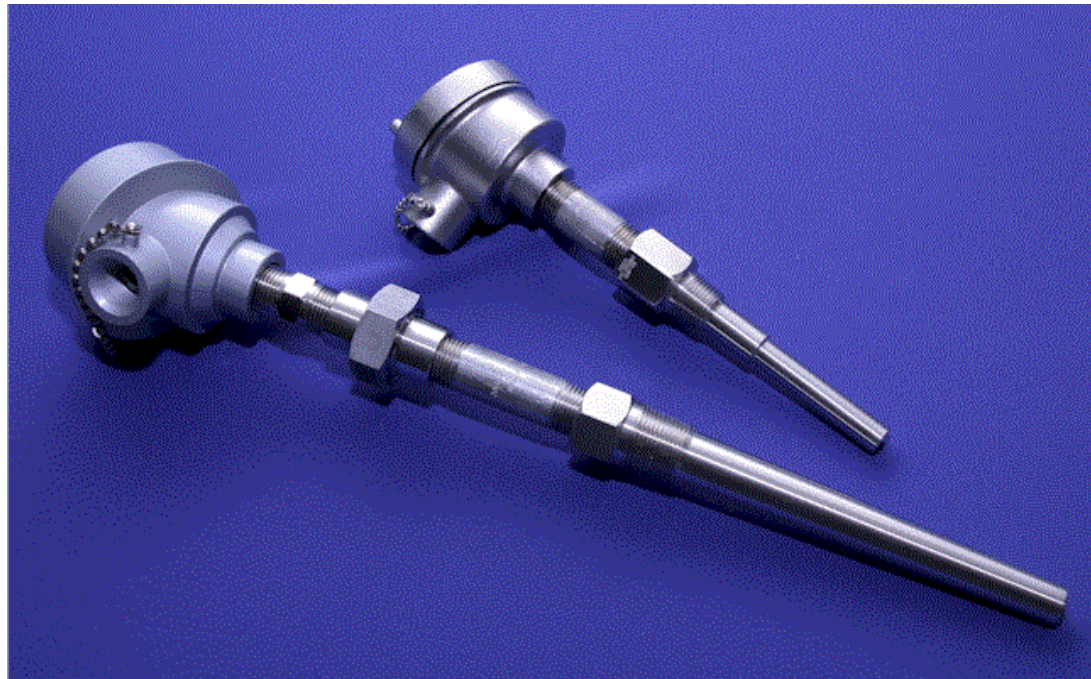


- ☐ La precisión del sistema de 4 hilos depende de la precisión de la fuente de corriente.
- ☐ Existen circuitos que combinan los 4 hilos con el puente de Wheatstone.
- ☐ El puente de Wheatstone es inmune a las variaciones de la fuente.

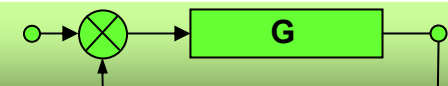
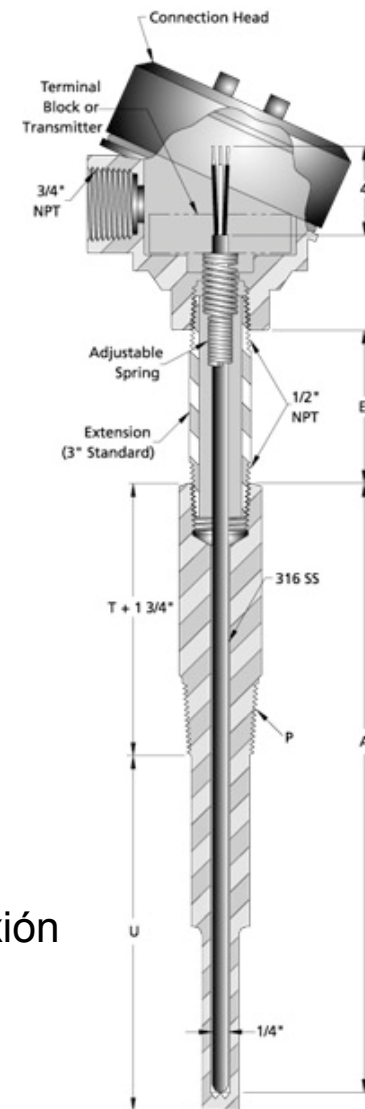




R.T.D.



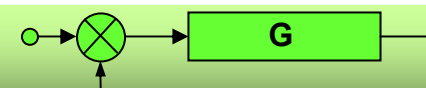
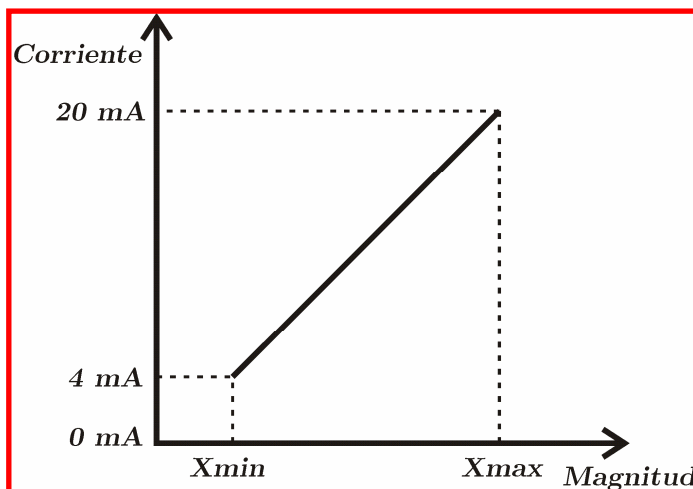
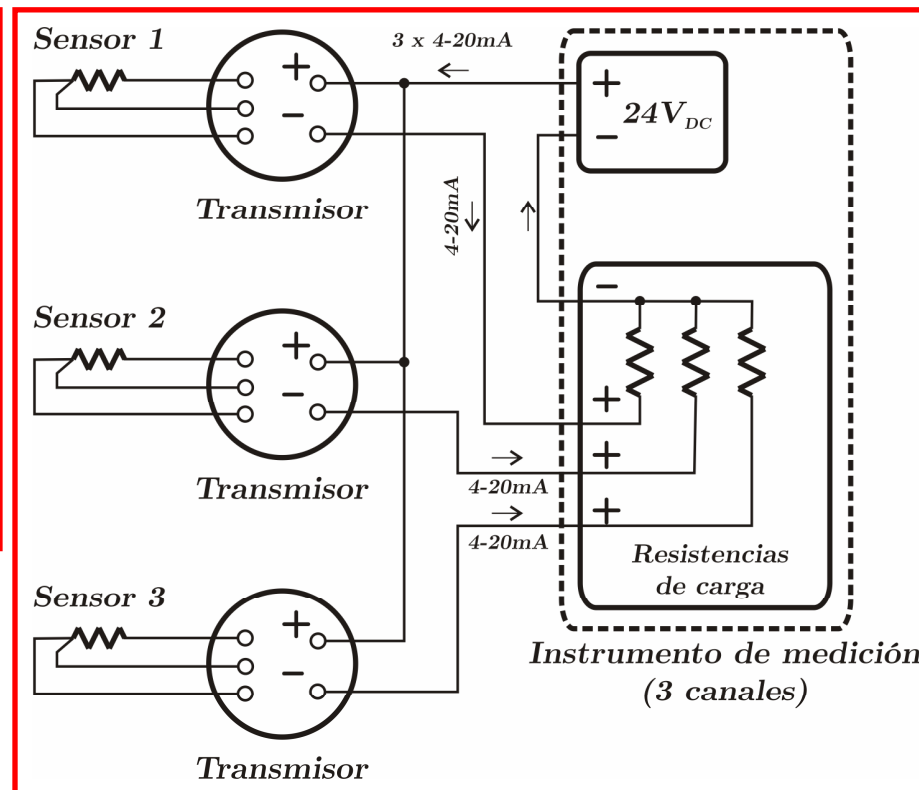
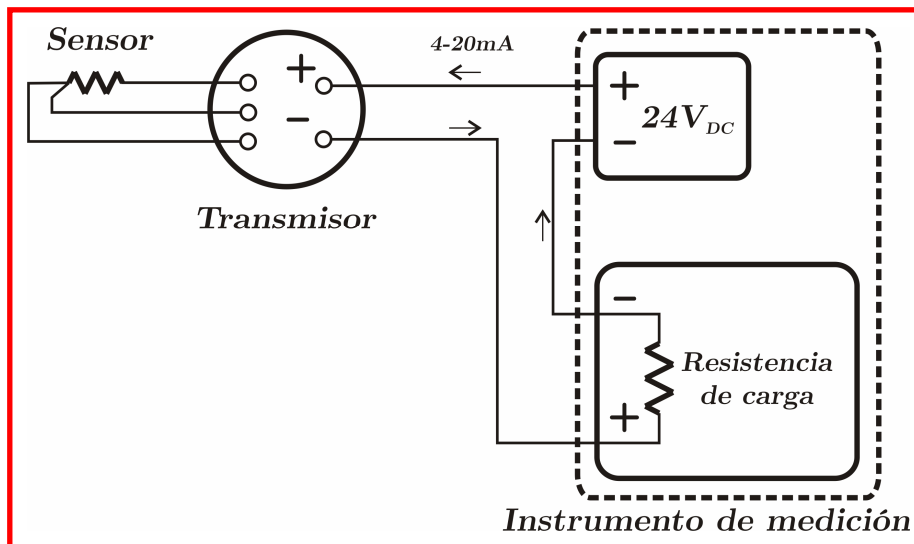
- Transmisor analógico para RTD- Pt100.
- Entrada: Pt100, con 2, 3 o 4 cables de conexión
- Salida: 4-20 mA lineal con la temperatura
- Exactitud: $\pm 0.15\%$

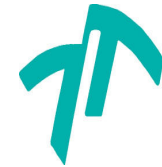


SISTEMAS DE CONTROL



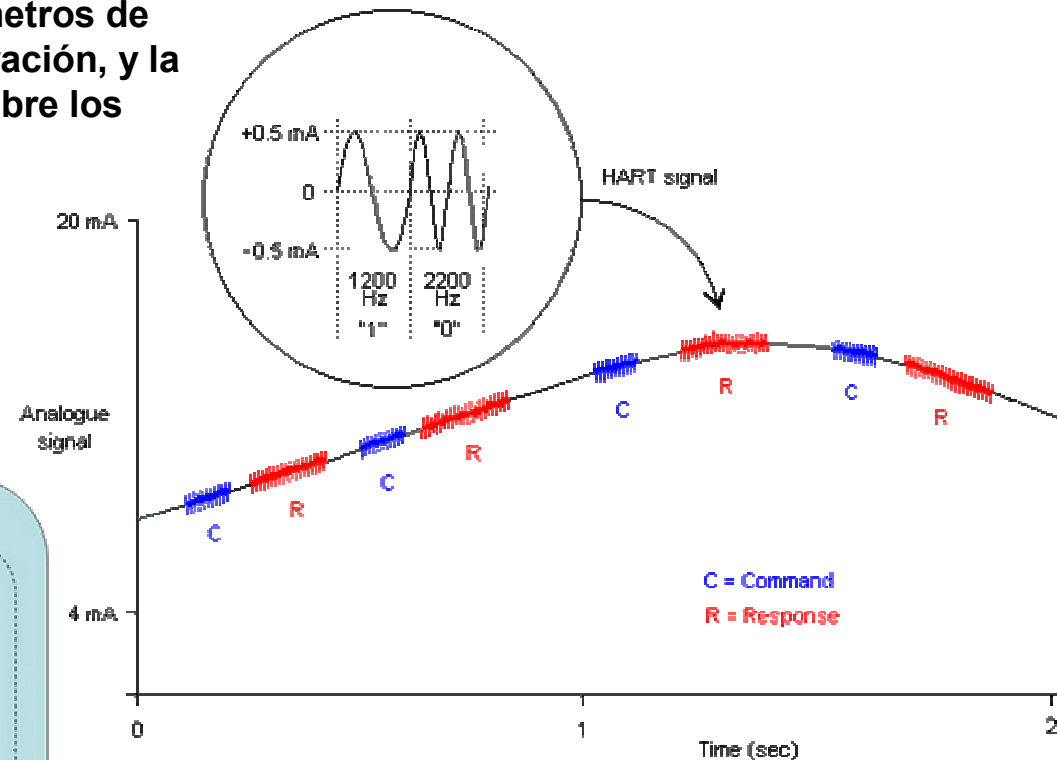
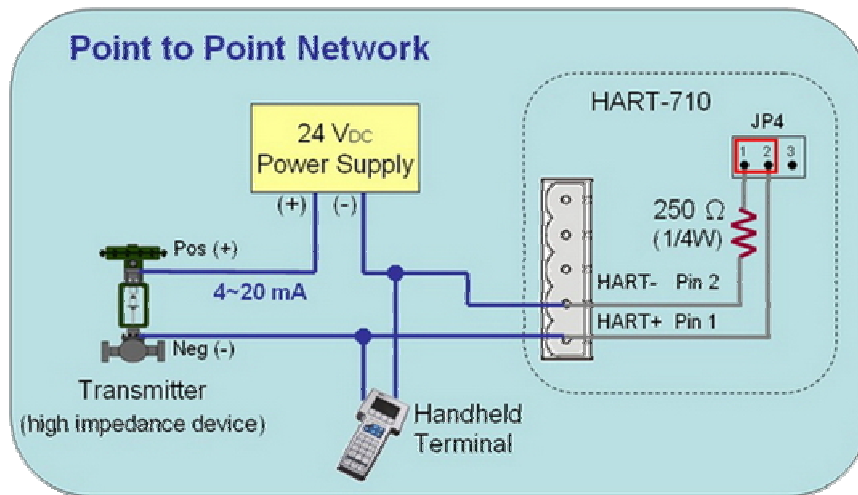
Lazo de corriente 4-20 mA





Highway Addressable Remote Transducer (HART)

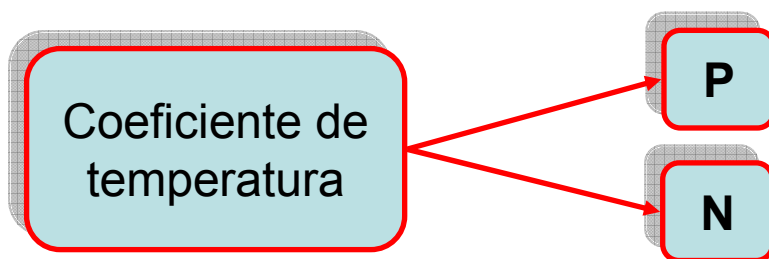
La información de la variable primaria se transmite en 4-20 mA, mientras las medidas adicionales, parámetros de proceso, configuración del dispositivo, calibración, y la información de diagnóstico es transmitida sobre los mismos cables mediante el protocolo HART.





Termistores – Definiciones

Resistencia sensible a la temperatura, que presenta una gran variación en su magnitud en función de los cambios en la temperatura. Se componen de un aglomerado de semiconductores ú óxidos (hierro, níquel, cobalto, etc.).



Sensibilidad $\rightarrow 2\%/^{\circ}\text{C} \sim 6\%/^{\circ}\text{C}$

Permite obtener una gran resolución en intervalos reducidos de temperatura.

Rango Temp. $\rightarrow 0^{\circ}\text{C} / 100^{\circ}\text{C}$

Ventajas

Sensibilidad
Estabilidad

Precisión ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$)

Velocidad de respuesta

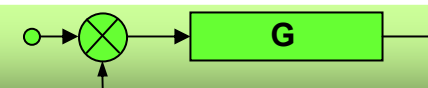
Desventajas

Alinealidad
Frágil

Rango limitado de Temp.

Autocalentamiento

Costo





Termistores - NTC

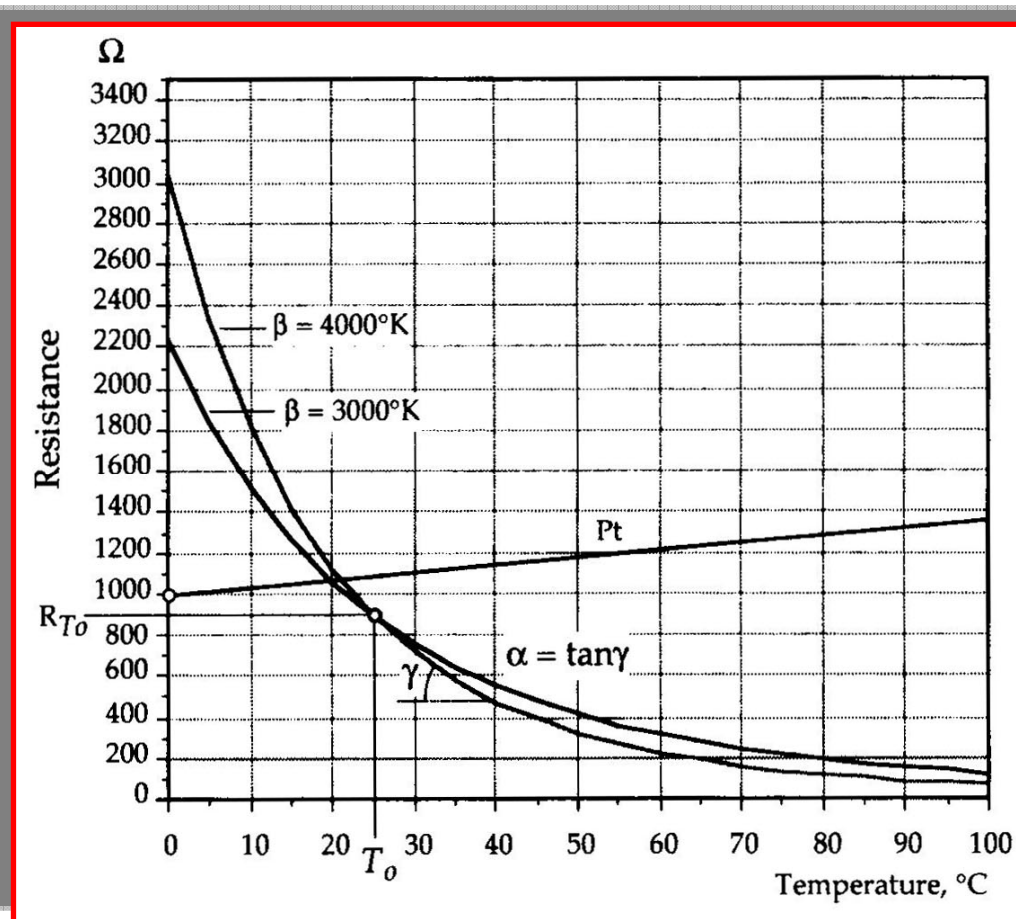
$$R(T) = R_{T_0} \cdot e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

$$R(T) = R_{\infty} \cdot e^{\beta/T}$$

$$R_{\infty} = R_{T_0} \cdot e^{-\beta/T_0}$$

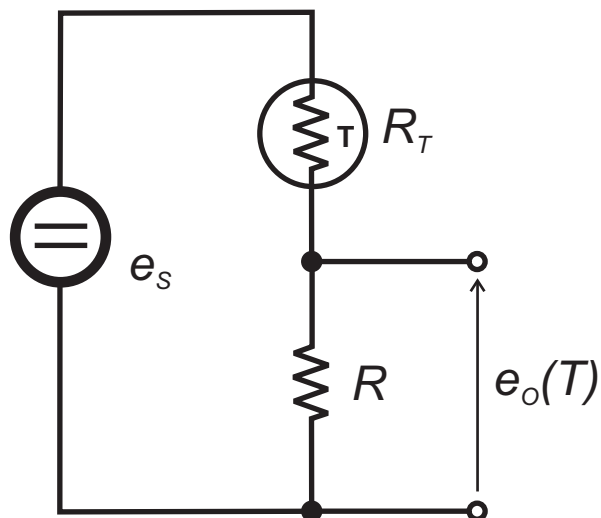
β = cte del termistor

Normalmente se especifican R_{T_0} y β a 25°C





Termistores – Instrumentación y aplicaciones

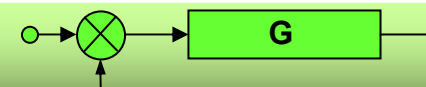
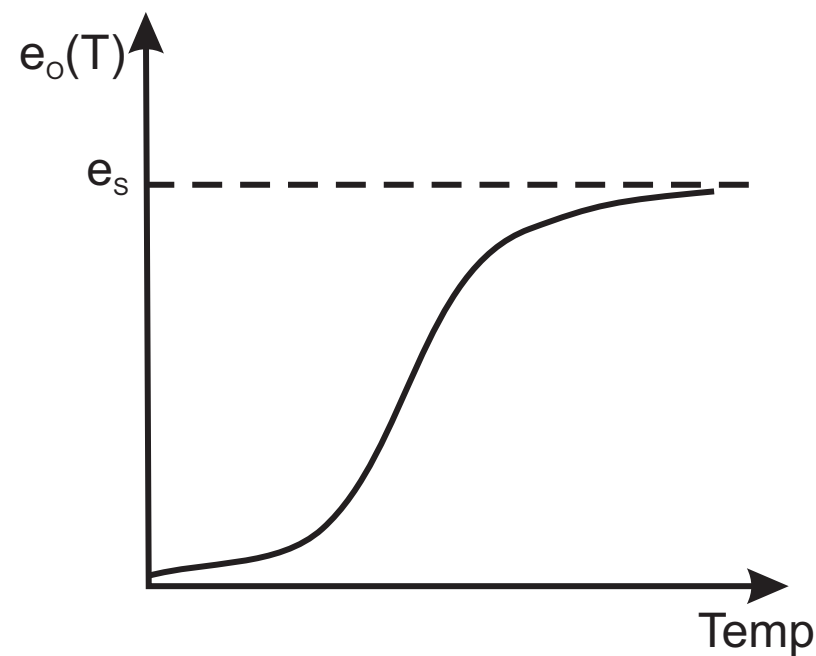


$$e_o(T) = \left(\frac{R}{R + R_T} \right) \cdot e_s = \frac{e_s}{1 + R_T/R}$$

$$R_T = R_{TO} \cdot r(T)$$

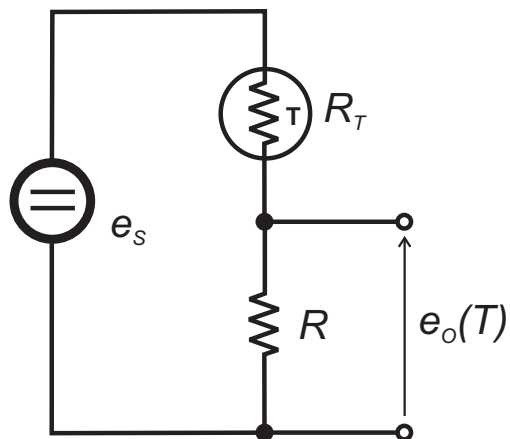
$$S = \frac{R_{TO}}{R}$$

$$\frac{e_o(T)}{e_s} = \frac{1}{1 + S \cdot r(T)} = F(T)$$



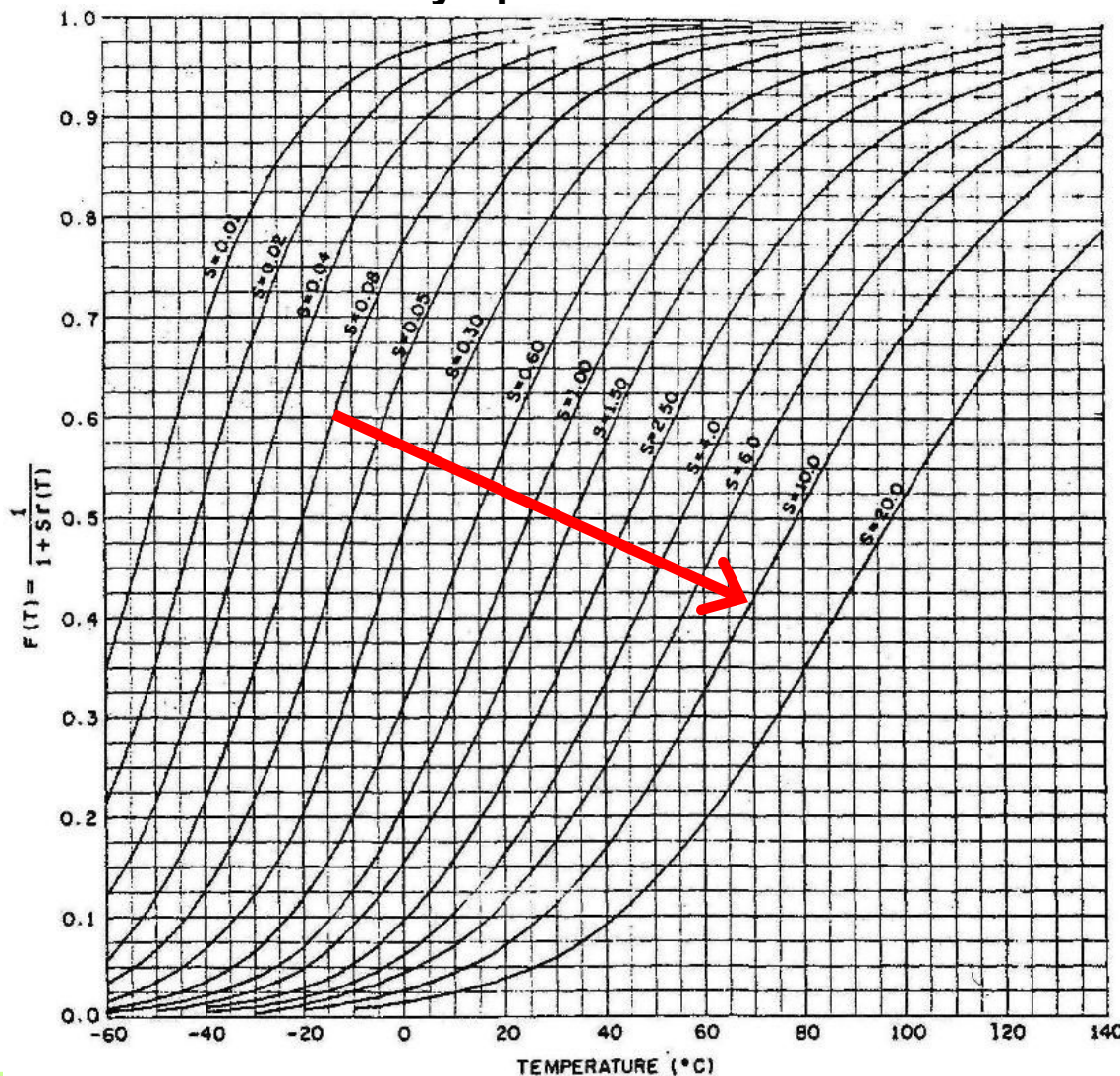


Termistores – Instrumentación y aplicaciones



$$\frac{e_o(T)}{e_s} = \frac{1}{1 + S \cdot r(T)} = F(T)$$

$$S = \frac{R_{TO}}{R}$$





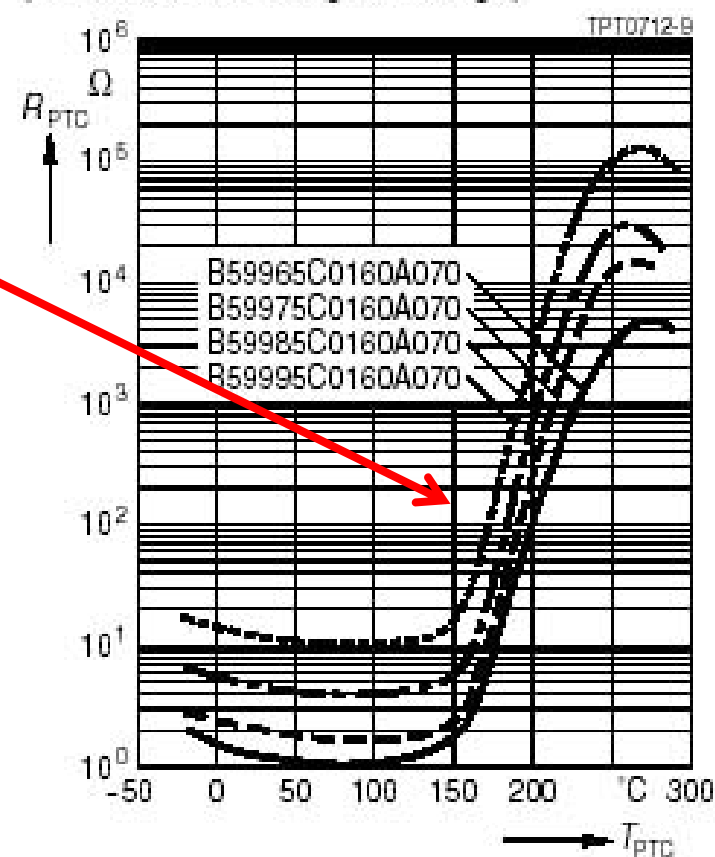
Termistores - PTC

Se construyen de titanato de Bario.
A cierta temperatura, la estructura cristalina del material cambia, pasando de una estructura tetragonal a una cúbica, aumentando su constante dieléctrica.

Se utilizan mayoritariamente como elementos de protección, como limitadores de corriente y para compensar coeficientes de temperatura negativos.

Characteristics (typical)

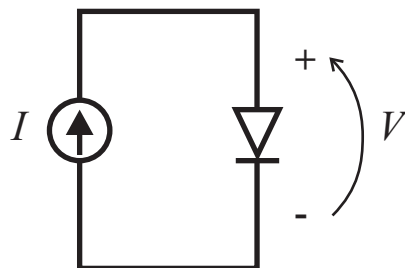
PTC resistance R_{PTC} versus
PTC temperature T_{PTC}
(measured at low signal voltage)



SISTEMAS DE CONTROL



Semiconductores – Definiciones

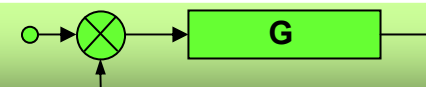
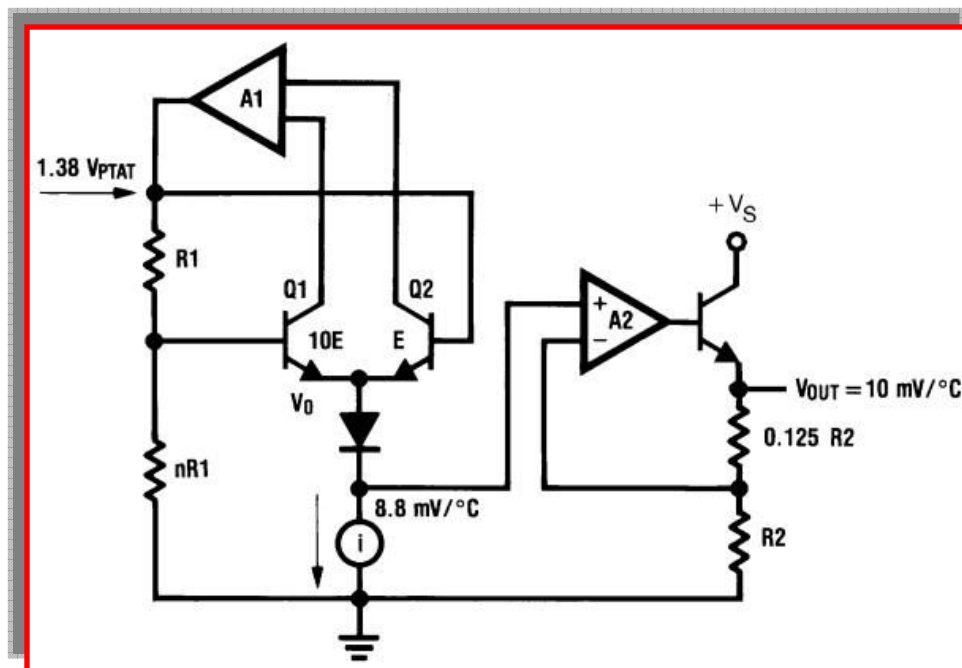


$$I = I_S \cdot \left[e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right]$$

$$V = \frac{kT}{q} \cdot \ln \left[\frac{I}{I_S} \right]$$

- ☐ Bajo costo
- ☐ Fácil implementación
- ☐ Linealidad
- ☐ Mínimos requisitos para acondicionamiento
- ☐ Rangos de temperatura reducidos (-55°C / +150°C)

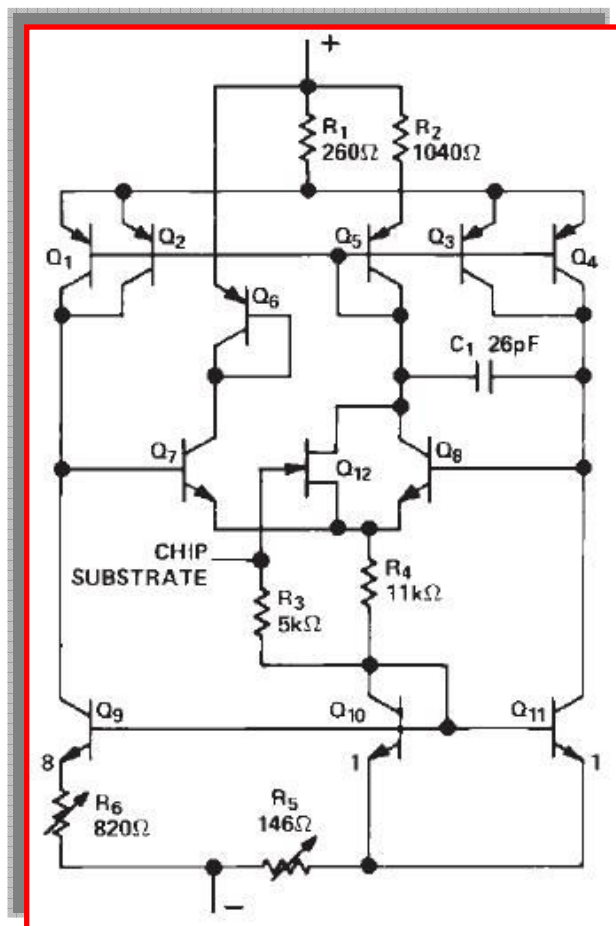
LM35



SISTEMAS DE CONTROL

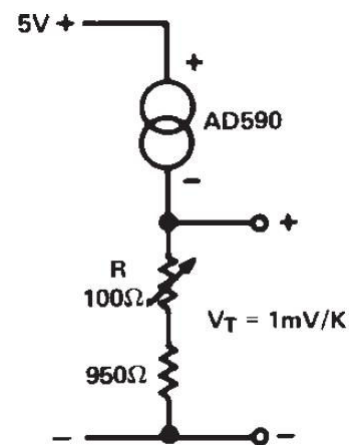


Semiconductores – Otros dispositivos



AD590

La corriente varía en función de la temperatura: $1\mu A/^{\circ}K$

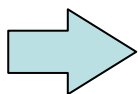




Pirómetros – Definiciones

Medición remota (sin contacto) de la temperatura, basada en la radiación térmica emitida por todo objeto que se encuentra a una temperatura superior a 0°K

Planck



$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Ley de Stefan-Boltzmann

$$W = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

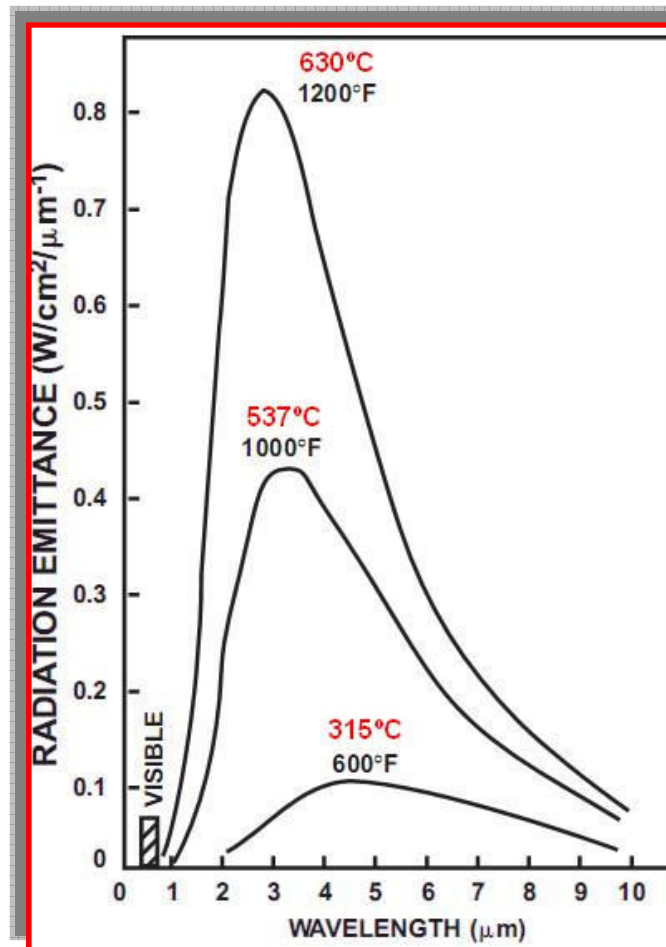
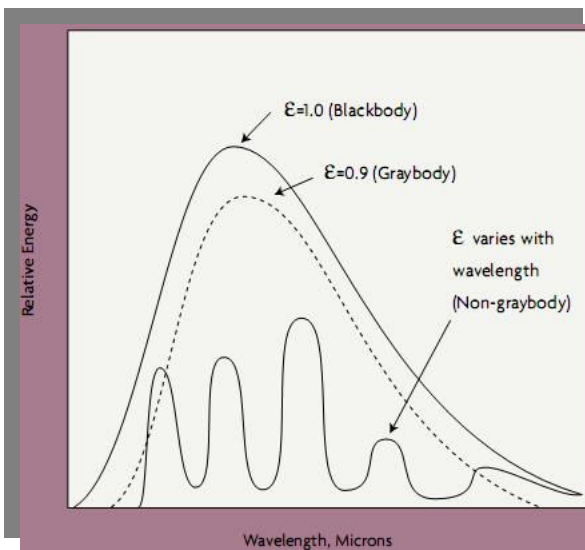
W = Energía radiante [W/cm²]

ε = Coef. de emisividad (0...1)

T = Temperatura absoluta [°K]

σ = 5,67 x10⁻⁸ [W/(m²K⁴)]

Emisividad (ε): relación entre la radiación térmica emitida por una superficie a una cierta temperatura y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura.





Pirómetros

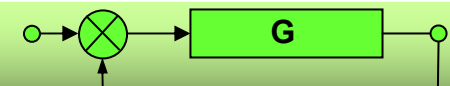
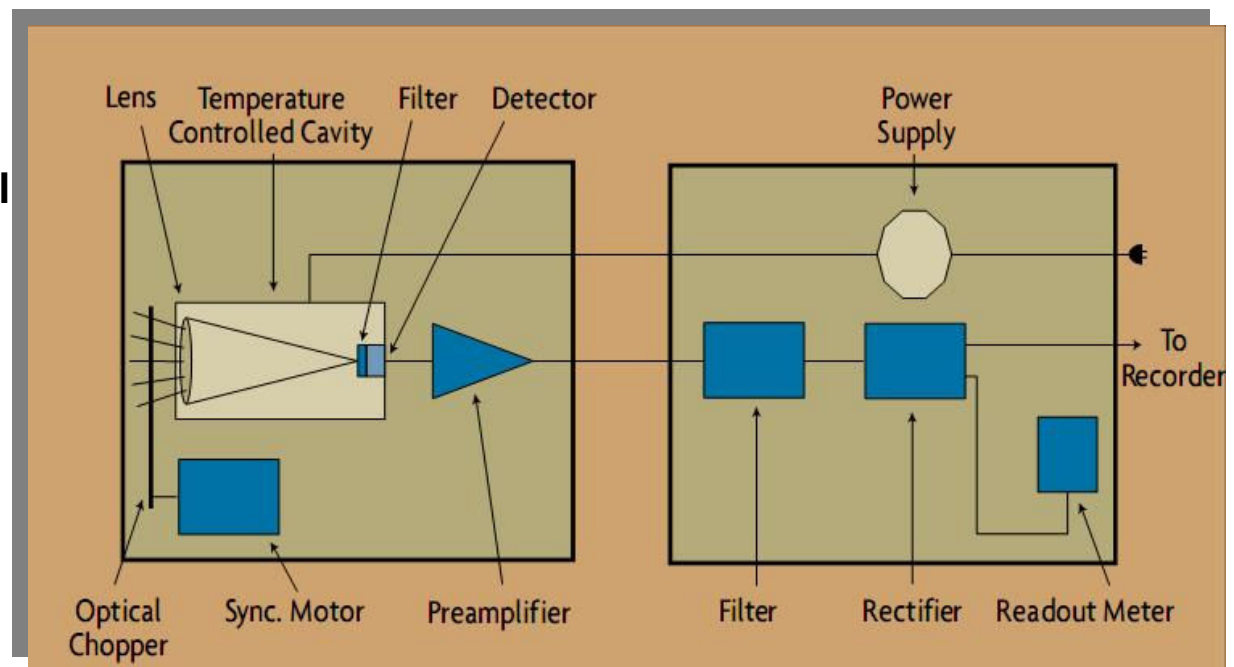
Los pirómetros se utilizan:

- Cuando no se pueden utilizar termopares (rango, ambiente agresivo).
- Cuando el área a medir se mueve o tiene difícil acceso.

Para la medición de temperatura se suele utilizar el rango de 0.7 micrones hasta 14 micrones

Tipos de pirómetros:

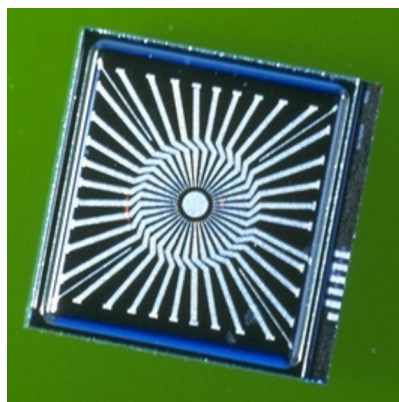
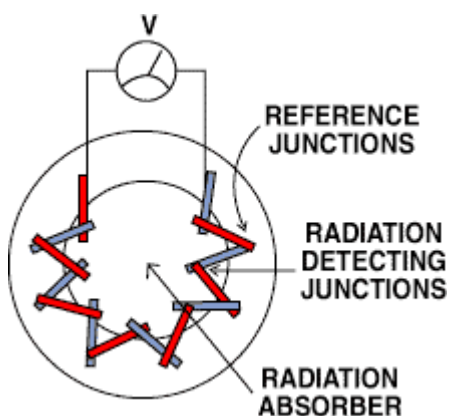
- Banda ancha ó radiación total
- Banda angosta
- Relación
- Ópticos





Pirómetros - Detectores

Termopilas

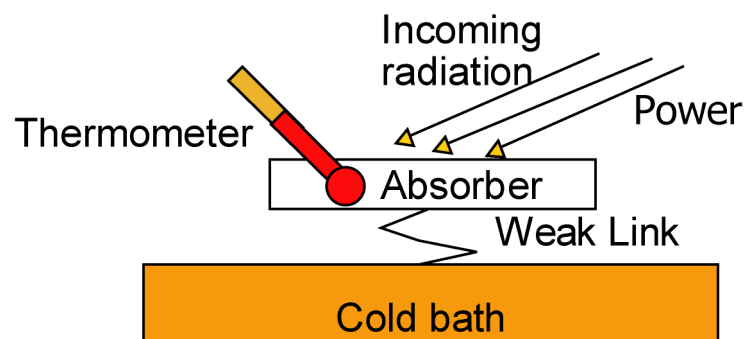


Detectores de fotones

- ☐ Son de tipo fotoconductor o fotovoltaico.
- ☐ Tienen un ancho de banda angosto.
- ☐ Presentan una sensibilidad 1000 a 100.000 veces mayor que las termopilas.

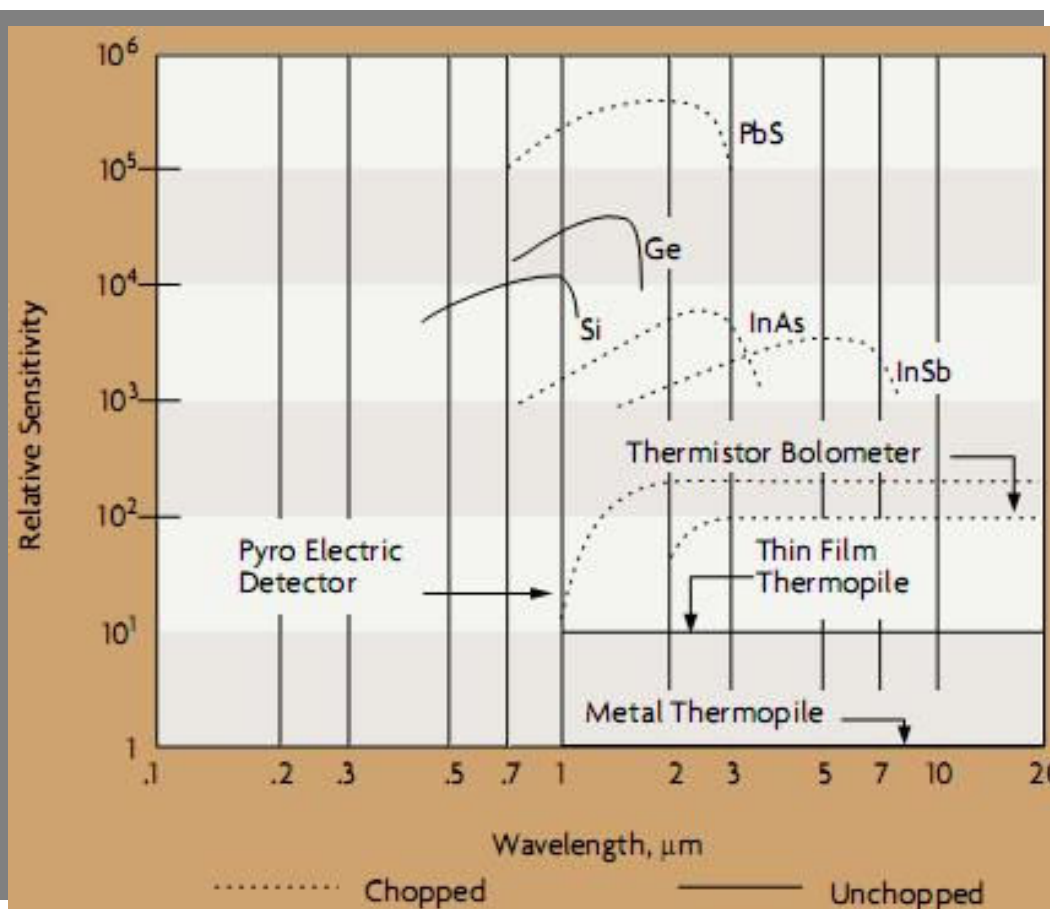
Bolómetros

- ☐ Absorbe los fotones incidentes y convierte su energía en calor.
- ☐ Consiste de tres partes: absorbedor, termómetro, y un baño frío.





Pirómetros – Detectores / Desventajas



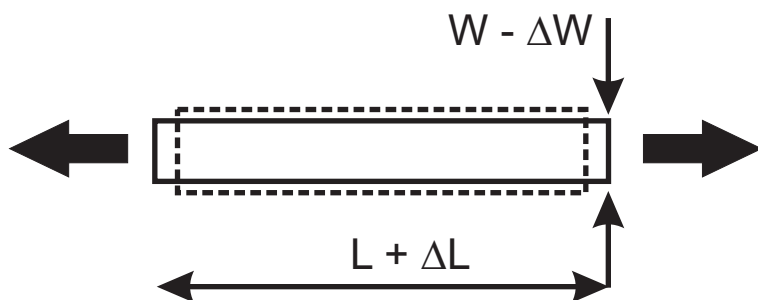
Desventajas

- ☐ Precio elevado en comparación instalaciones basadas en termocuplas y RTDs.
- ☐ Robustez: la línea de visión debe estar despejada y la óptica debe mantenerse limpia.
- ☐ Complejidad del equipo.
- ☐ No hay curvas de calibración confiables como las que existen para termocuplas y RTDs.





FUERZA – Conceptos generales



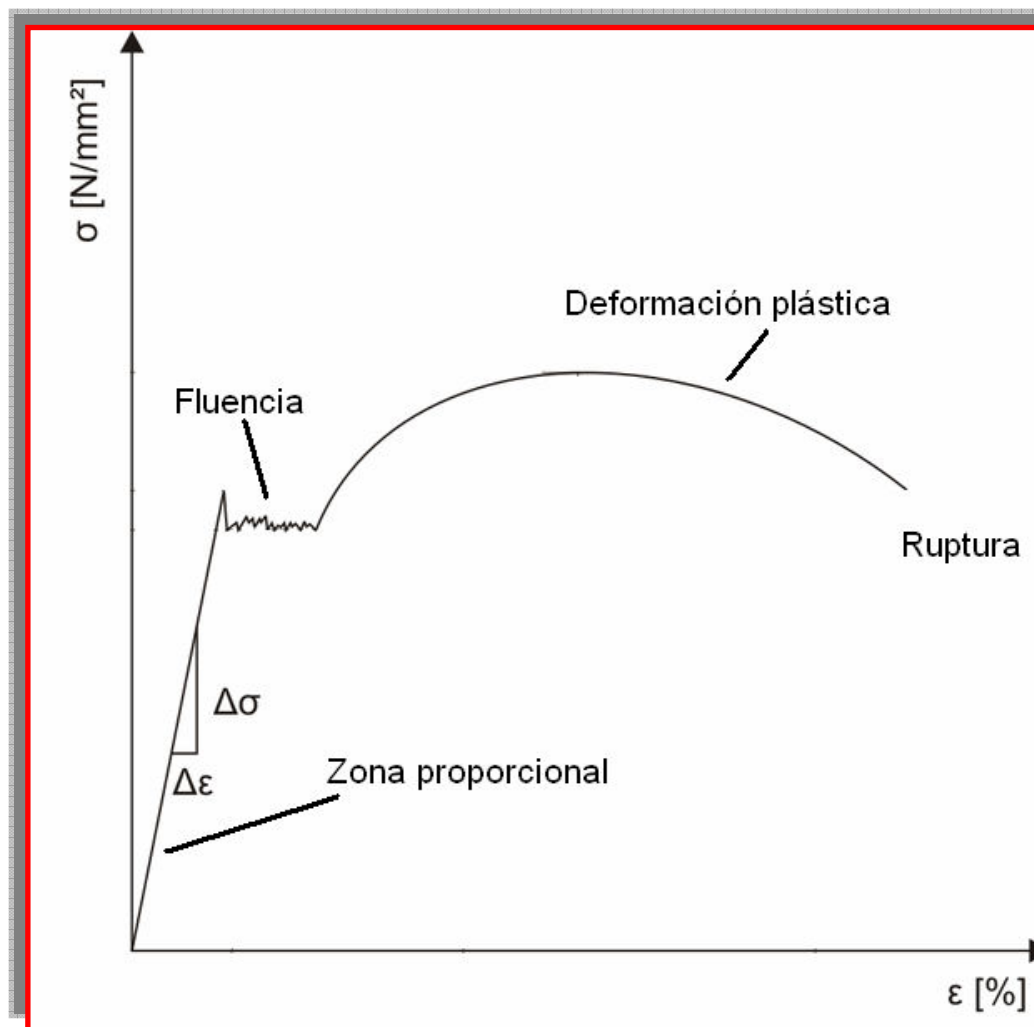
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \varepsilon_r = \frac{\Delta W}{W}$$

Relación de
Poisson

$$\nu = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{F}{A \cdot E} = \frac{\sigma}{E}$$

E =módulo de elasticidad o de Young





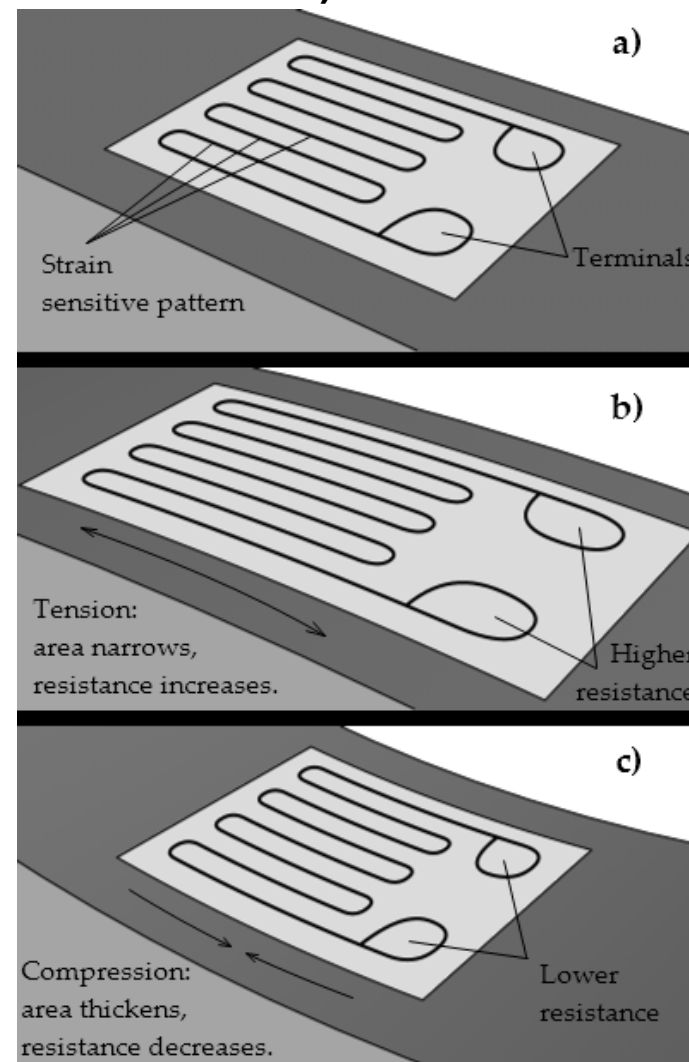
GALGA EXTENSIONOMÉTRICA (STRAIN GAUGE)

Las galgas convierten las variaciones de fuerza en variaciones de resistencia. Se basan en la relación de la resistencia de un material con la longitud y el área del mismo.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Una galga típica se construye con un conductor largo y delgado distribuido en forma de zig-zag, de forma de multiplicar el efecto de la fuerza sobre la longitud efectiva del conductor.

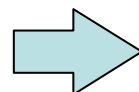
Material: Constantan (aleación de 45%Ni-55%Cu) y Silicio dopado con Boro





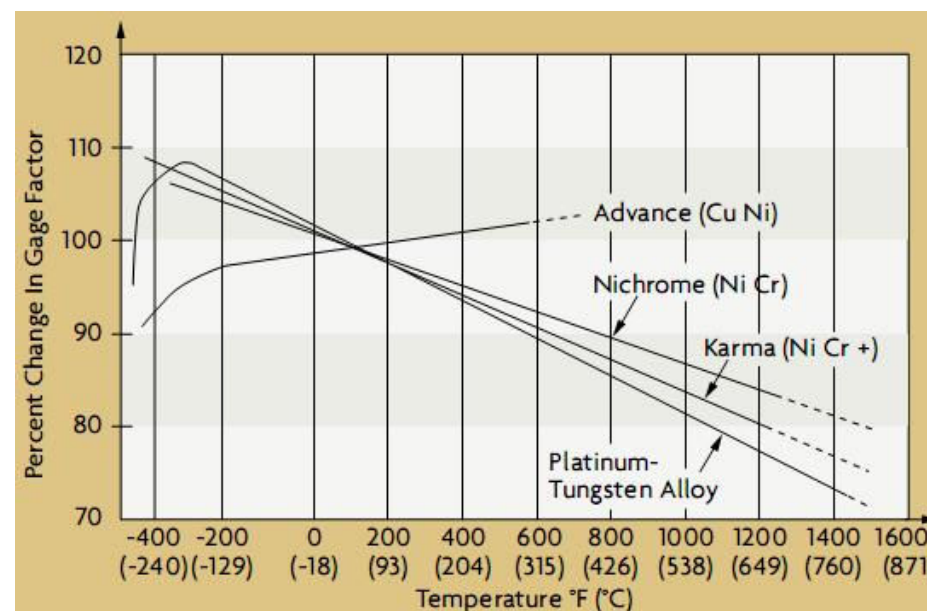
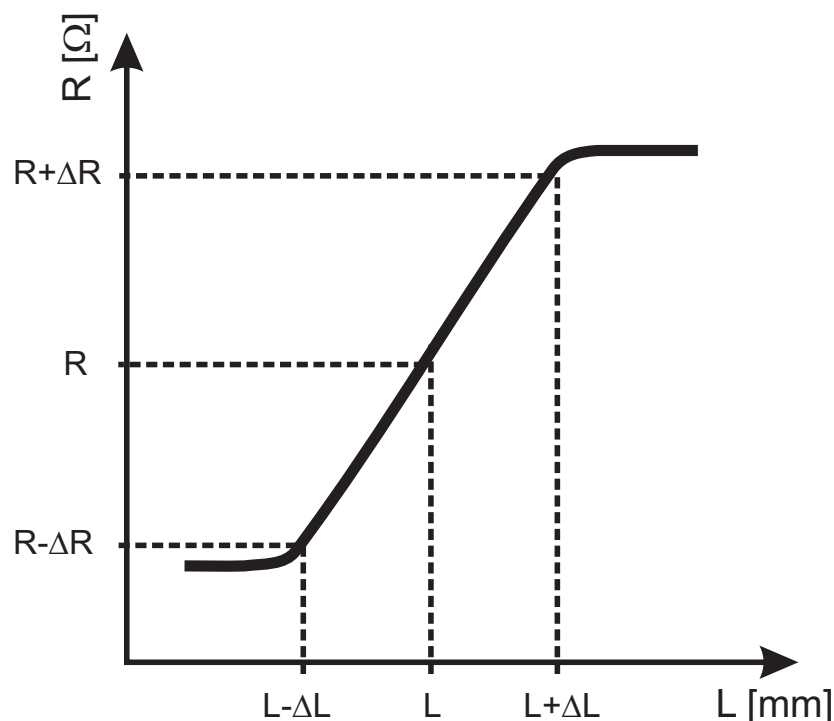
GALGA EXTENSIONOMÉTRICA

Factor de galga (gauge factor): representa la sensibilidad de la celda respecto de los estiramientos que soporta.



$$G_F = \frac{\Delta R_G / R_G}{\Delta L / L} = \frac{\Delta R_G / R_G}{\varepsilon}$$

Puede variar entre 2 y 4 para galgas metálicas hasta 45 y 175 para galgas construidas con materiales semiconductores (Si, Ge)

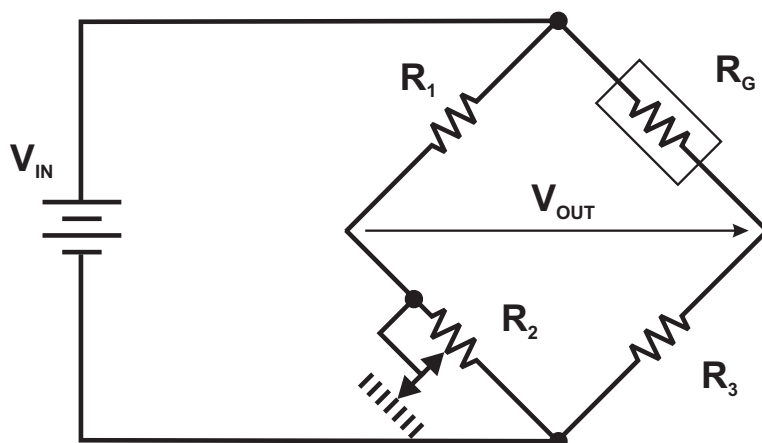


Es necesario compensar el efecto de la temperatura...





GALGA EXTENSIONOMÉTRICA – Métodos de medición

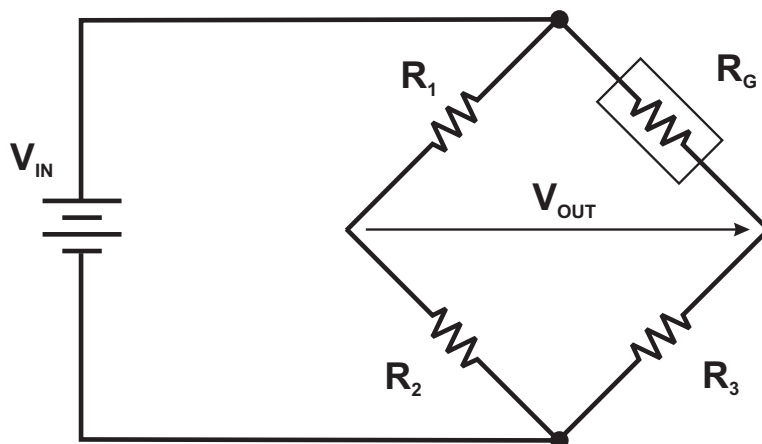


$$V_{OUT} = V_{IN} \cdot \left[\frac{R_3}{R_3 + R_G} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_G$$

$$\varepsilon \cdot G_F = \frac{\Delta R_G}{R_G} = \frac{\Delta R_2}{R_2}$$

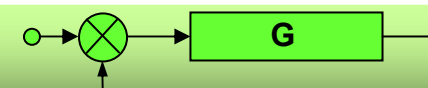
Se puede determinar ε mediante un potenciómetro en R_2 que se escale en $\mu\varepsilon$ ($\Delta L/L \times 10^{-6}$)



$$V_r = \left(\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right)_{strain} - \left(\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right)_{reposo}$$

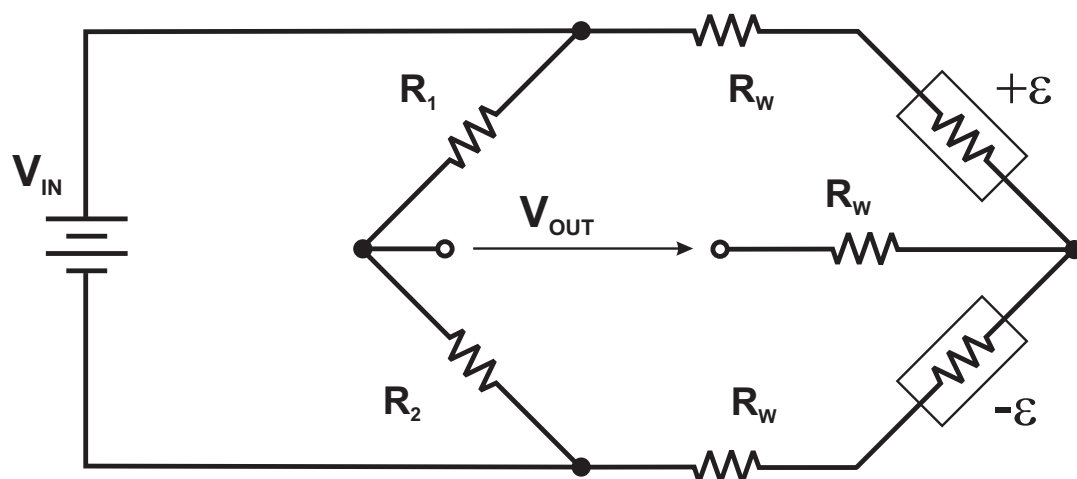
$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{G_F(1 + 2V_r)}$$

¡Sin tener en cuenta el efecto de los cables!



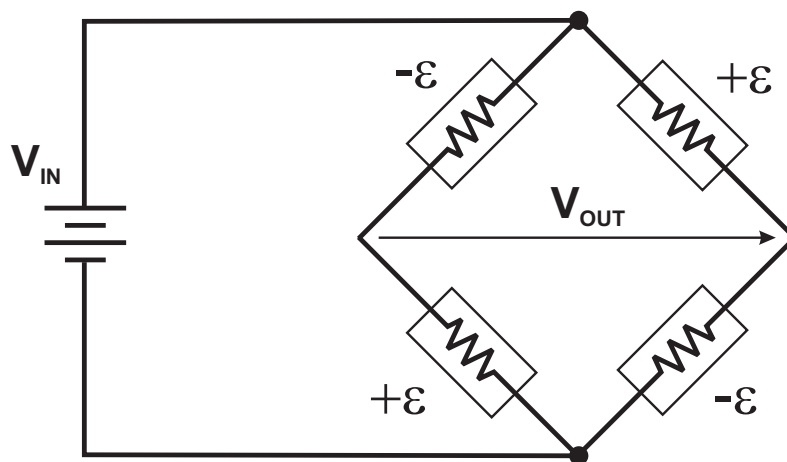


GALGA EXTENSIOMÉTRICA – Métodos de medición



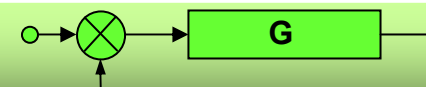
Configuración medio puente

$$\varepsilon = \frac{-2V_r}{G_F} \cdot \left(1 + \frac{R_w}{R_G}\right)$$



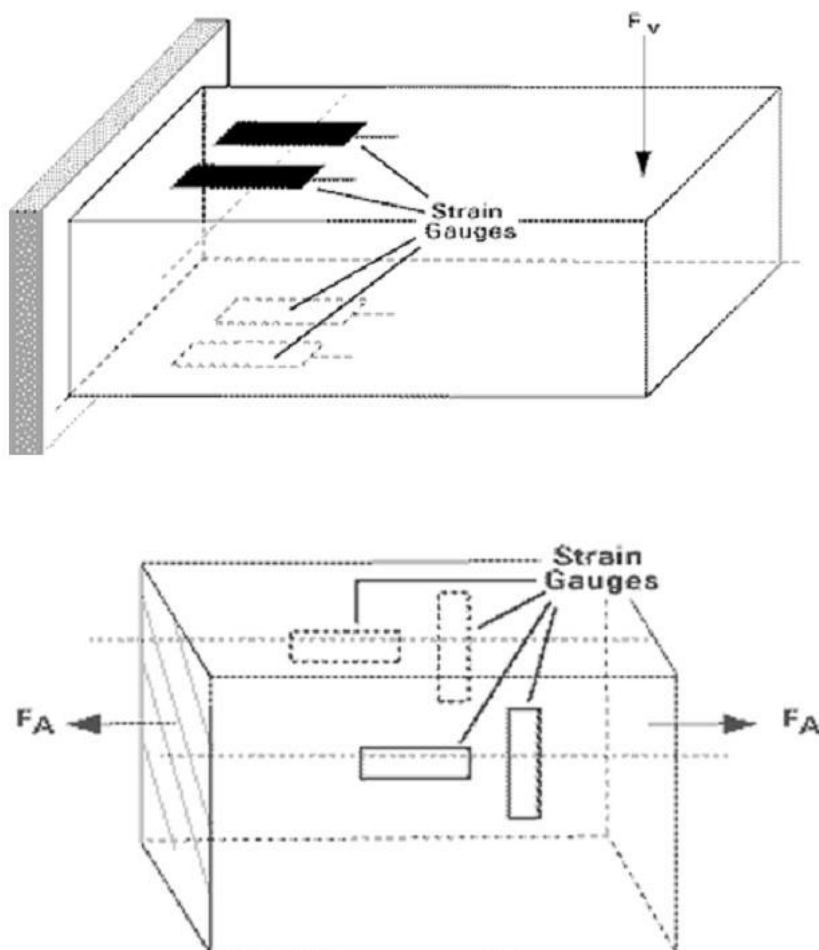
Configuración puente completo

$$\varepsilon = \frac{-V_r}{G_F}$$

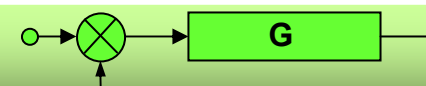




GALGA EXTENSIOMÉTRICA – Tipos de montajes

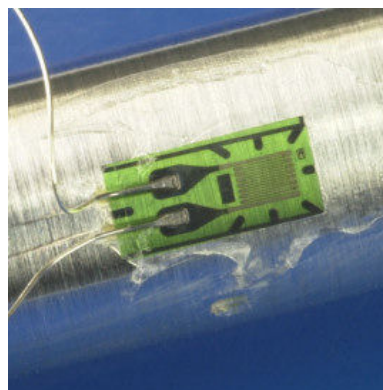


Strain	Gauge Setup	Bridge Type	Sensitivity MV/V @ 1000 μ E	Details
Axial		$\frac{1}{4}$	0.5	Good: Simplest to implement, but must use a dummy gauge if compensating for Temperature. Also responds to Bending Strain.
		$\frac{1}{2}$	0.65	Better: Temperature compensated, but it is sensitive to bending strain.
		$\frac{1}{2}$	1.0	Better: Rejects Bending Strain, but not temperature. Must use dummy gauges if compensating for temperature.
		Full	1.3	Best: More sensitive and compensates for both temperature and bending strain.
Bending		$\frac{1}{4}$	0.5	Good: Simplest to implement, but must use a dummy gauge if compensating for Temperature. Responds equally to Axial Strain.
		$\frac{1}{2}$	1.0	Better: Rejects axial strain and is temperature compensated
		Full	2.0	Best: Rejects axial strain and is temperature compensated. Most sensitive to bending strain.
Torsional and Shear		$\frac{1}{2}$	1.0	Good: Gauges must be mounted at 45 degrees from centerline. Axial and Bending forces produce equal strain and are hence rejected.
		Full	2.0	Best: More sensitive full-bridge version of previous setup. Rejects both axial and bending strains.





GALGA EXTENSIOMÉTRICA – Modelos comerciales

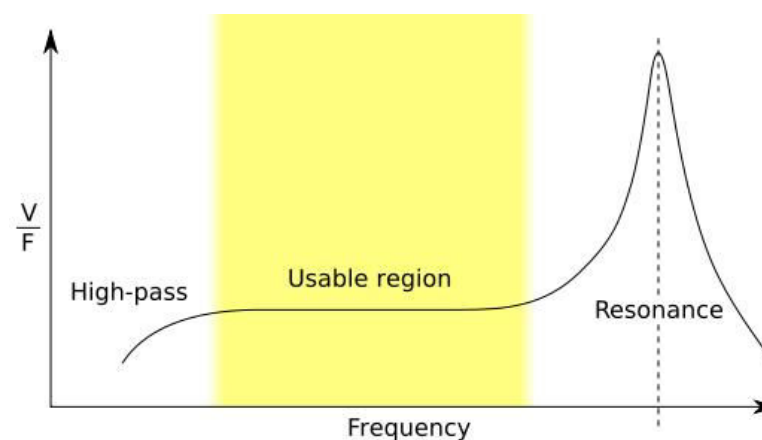
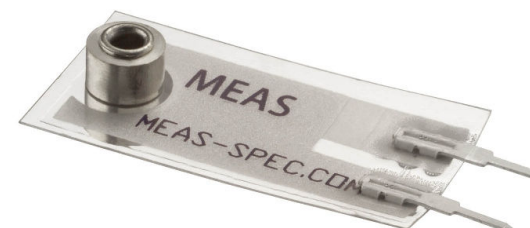
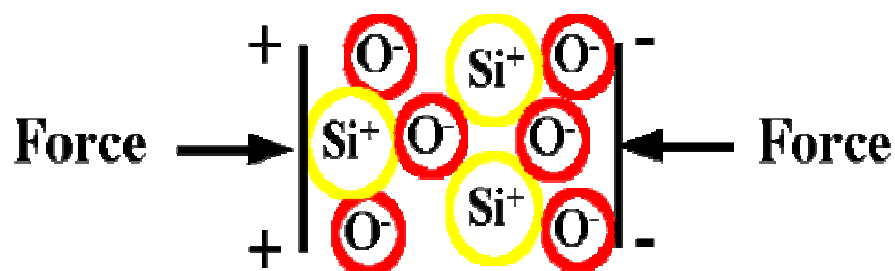
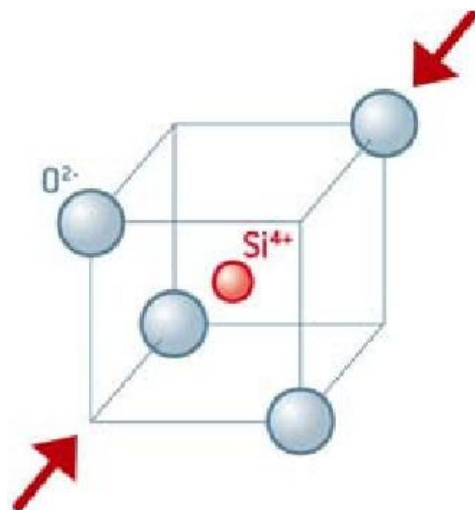




SENSOR PIEZOELECTRICO

Se basa en la medición directa de la fuerza por efecto piezoeléctrico. Este efecto se da en materiales con estructuras cristalinas dieléctricas que poseen una fuerte diferencia en la carga de sus átomos (p.ej. Cuarzo).

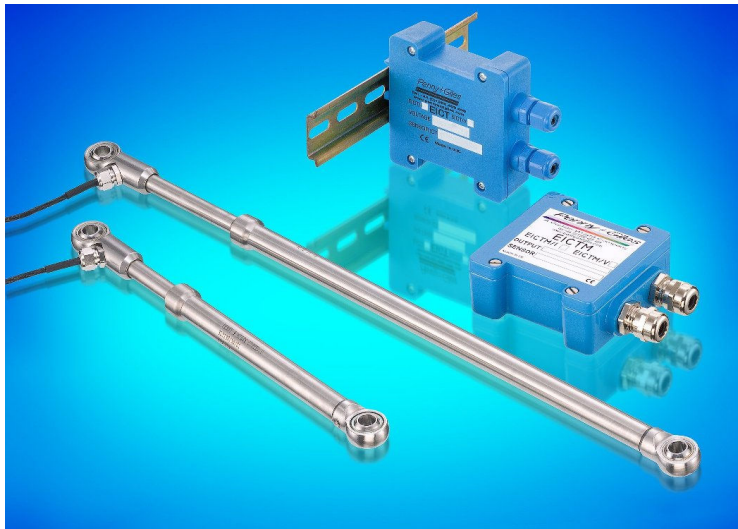
La señal eléctrica decae en el tiempo, por lo que estos sensores no son adecuados para la medición de fuerzas estáticas.





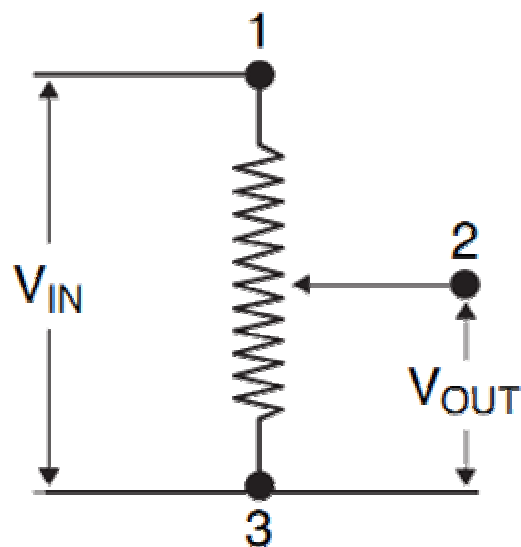
DESPLAZAMIENTO

Principales transductores: LVDT, transductores potenciométricos, sistemas de medición sin contacto (Laser, capacitivos, etc), encoders, etc.





DESPLAZAMIENTO: R.V.D.T.



$$V_{OUT} = \frac{R_X}{R_P + R_X} V_{IN}$$



$$R_X = k[\Omega/mm] \cdot L$$

Ejemplo (Omega)

Resistencia: 5000 ohms $\pm 20\%$ (LP801)

Rango máximo: 122 mm

Linearidad: $\pm 1\%$ FS

Histéresis: 0.025 mm

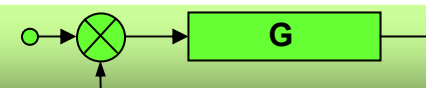
Repetibilidad: 0.012 mm

Sensibilidad: 0.0012 mm

Consumo: 0.3 W/cm

Fuerza: 450 gramos (máximo)

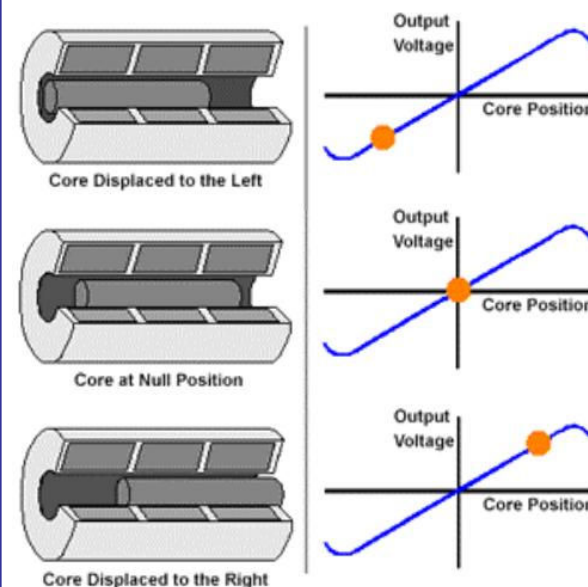
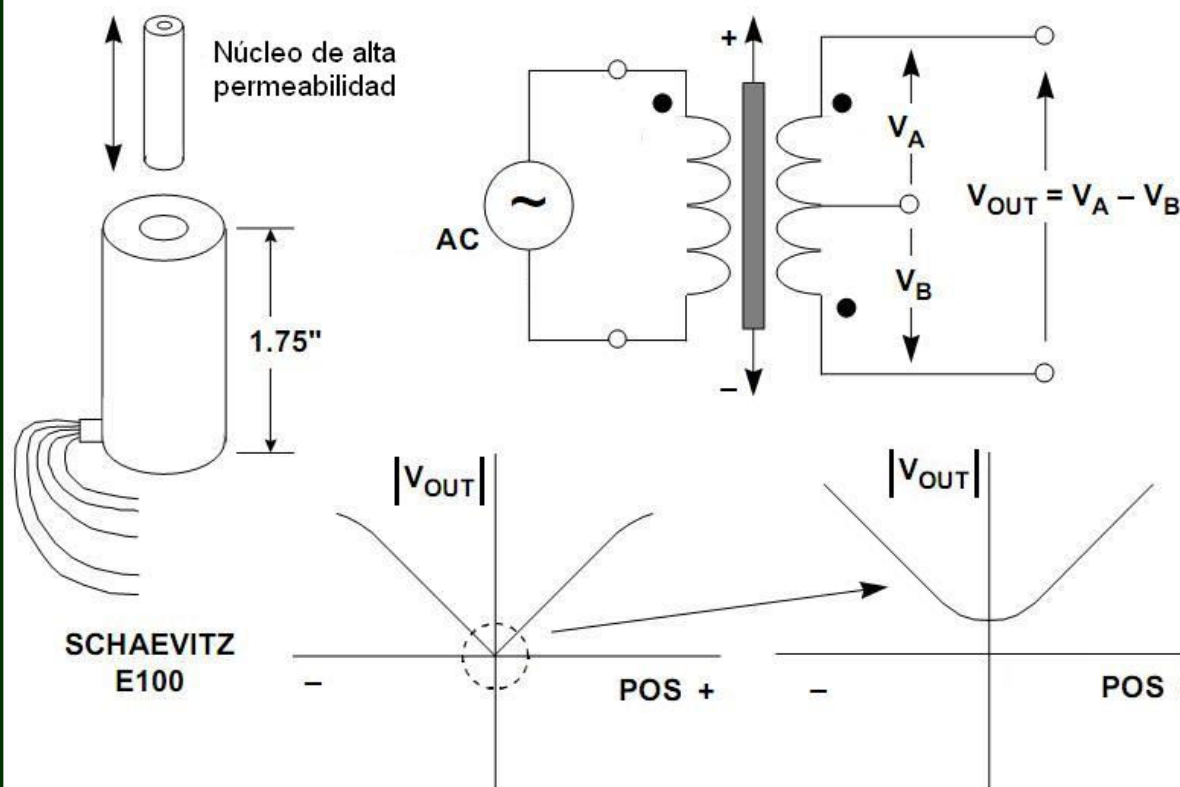
Vida útil: 100 millones de operaciones





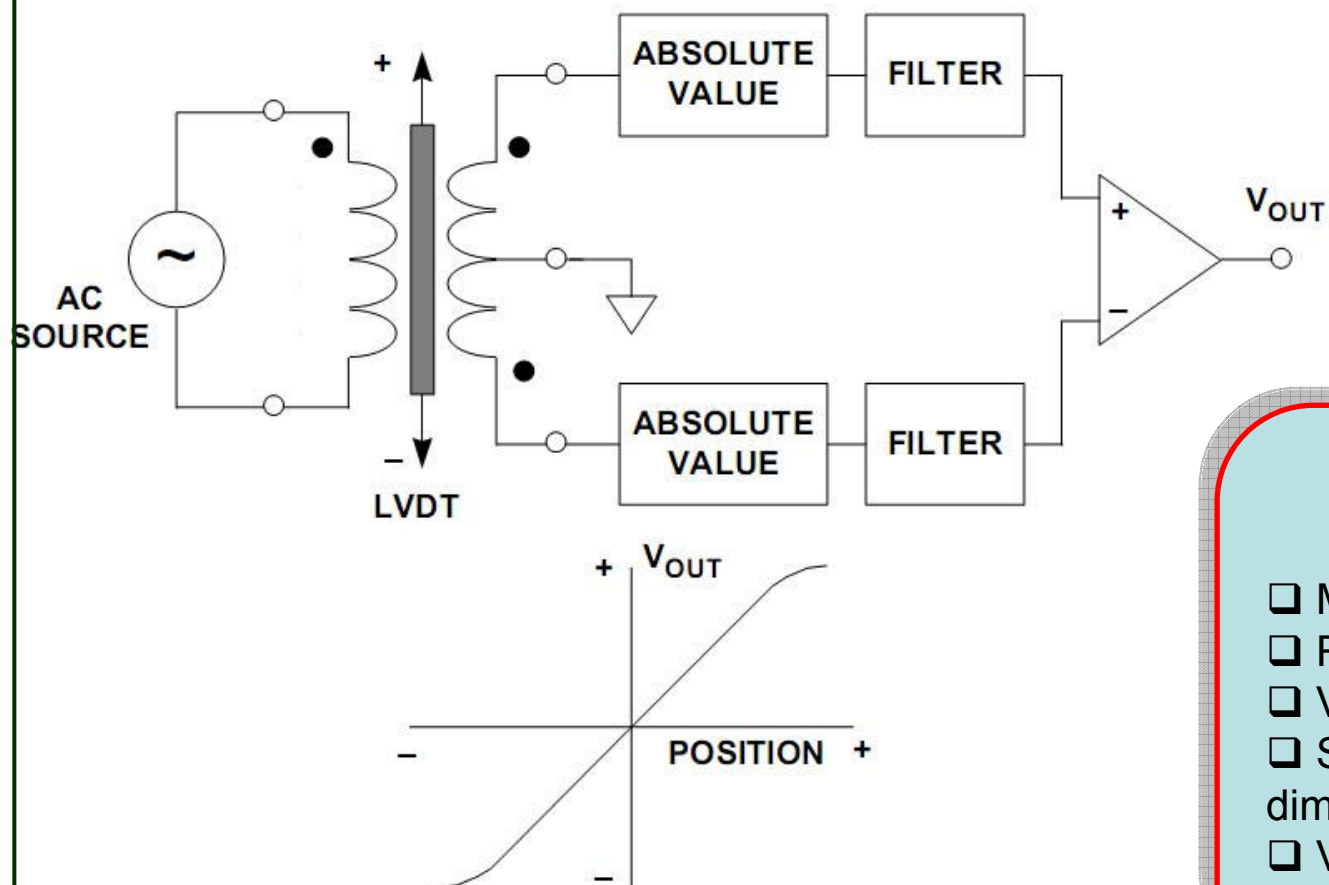
DESPLAZAMIENTO: L.V.D.T.

LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMERS (LVDTs)





DESPLAZAMIENTO: L.V.D.T.



Ventajas

- ☐ Medición libre de fricción.
- ☐ Robustez.
- ☐ Vida útil.
- ☐ Sensibilidad en una sola dimensión.
- ☐ Velocidad de respuesta elevada.





DESPLAZAMIENTO: Sensores Inductivos



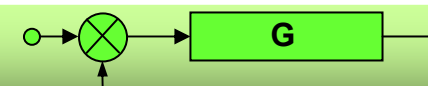
Características

- ☐ Medición sin contacto
- ☐ Salida analógica proporcional a la distancia del objeto a medir
- ☐ Inductivos: solo objetos metálicos
- ☐ Rango de sensado depende del material
- ☐ Insensible a polvo, suciedad, etc

Se necesita un factor de corrección
en función del material



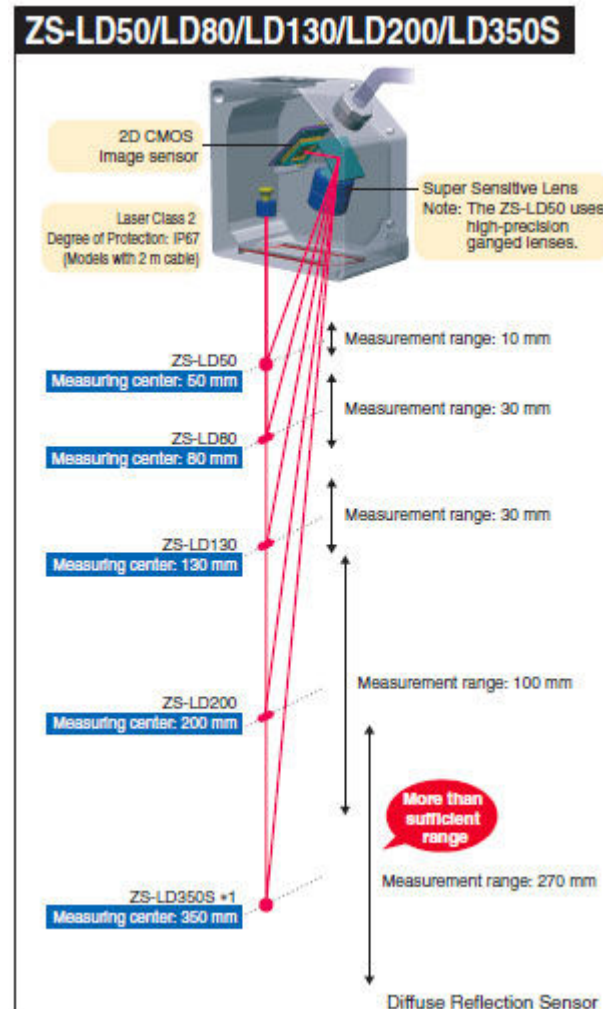
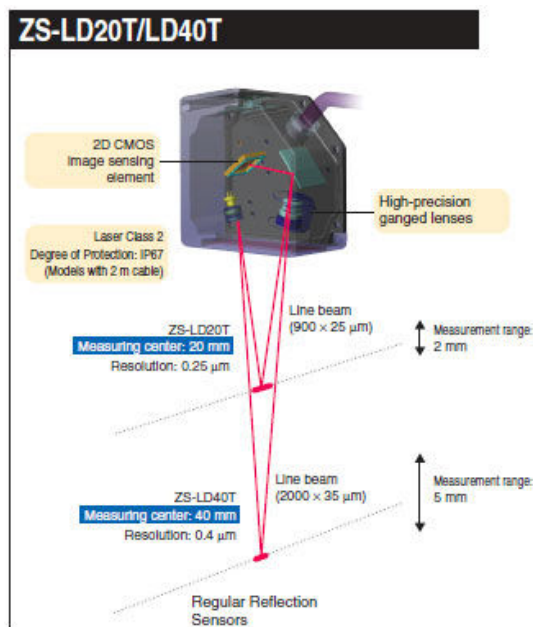
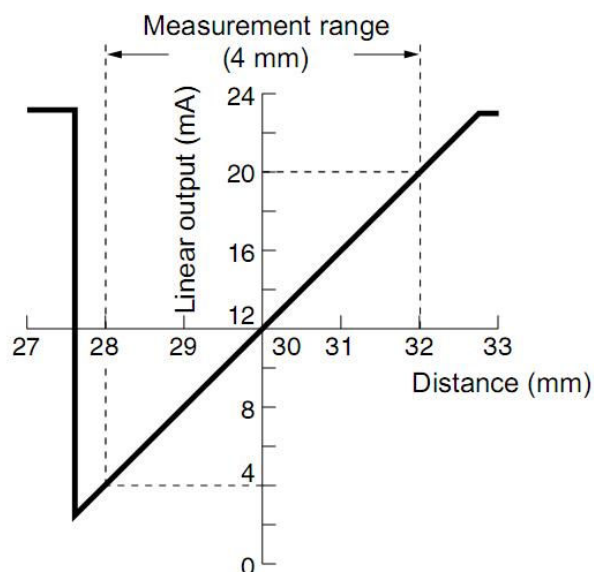
Material	Factor
Acero	1
Acero inox.	0.75
Bronce	0.5
Aluminio	0.4
Cobre	0.35





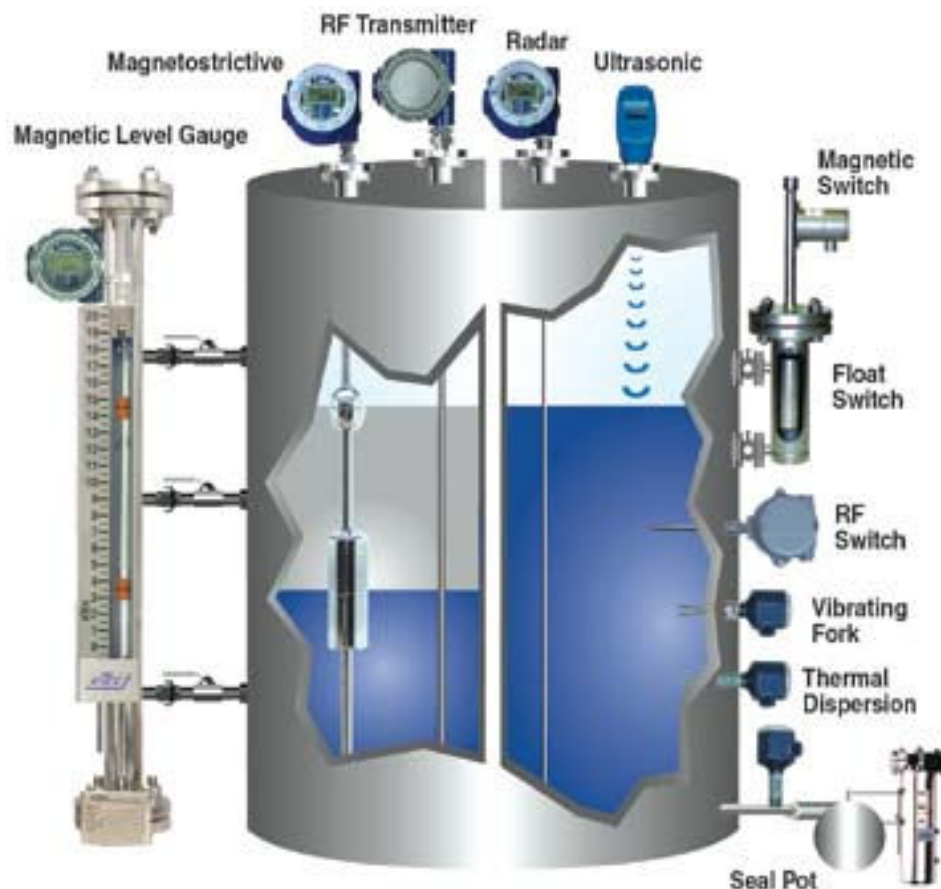
DESPLAZAMIENTO: Láser

- ❑ Medición sin contacto
- ❑ Elevada resolución (4-5 μm)
- ❑ Robustez





NIVEL



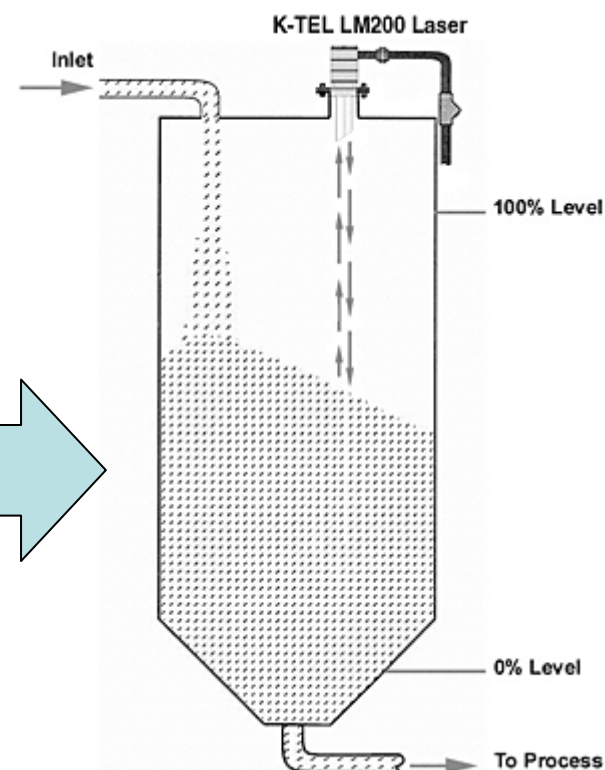
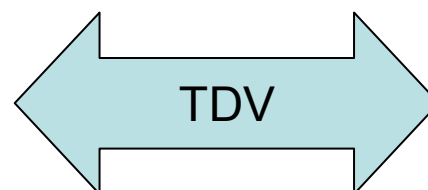
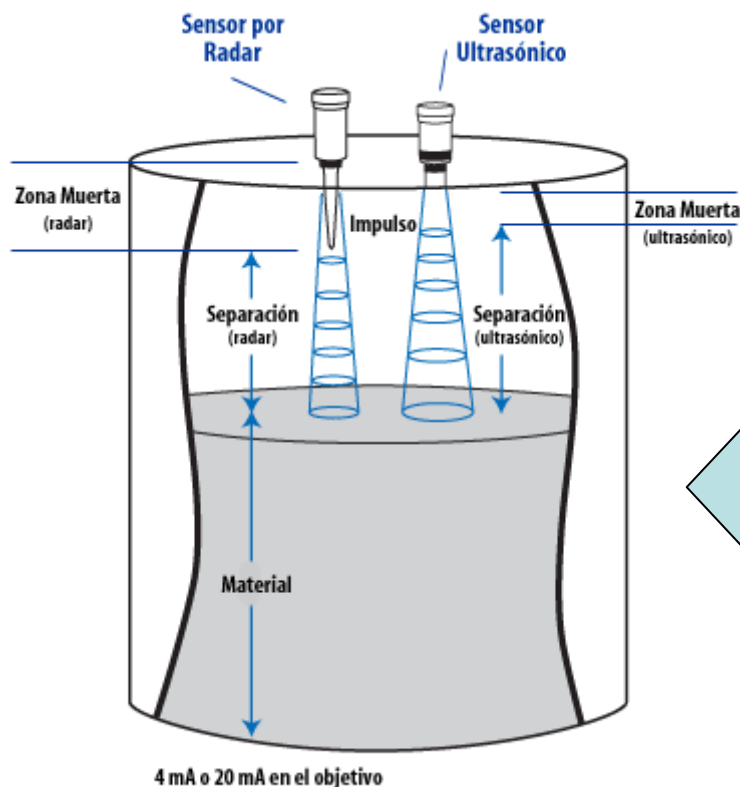
Existen muchas opciones:

- ☐ Presión
- ☐ Flotantes
- ☐ Ultrasonicos
- ☐ Radar
- ☐ Laser
- ☐ Magnéticos
- ☐ Capacitivos
- ☐ Etc.





NIVEL: Medición sin contacto



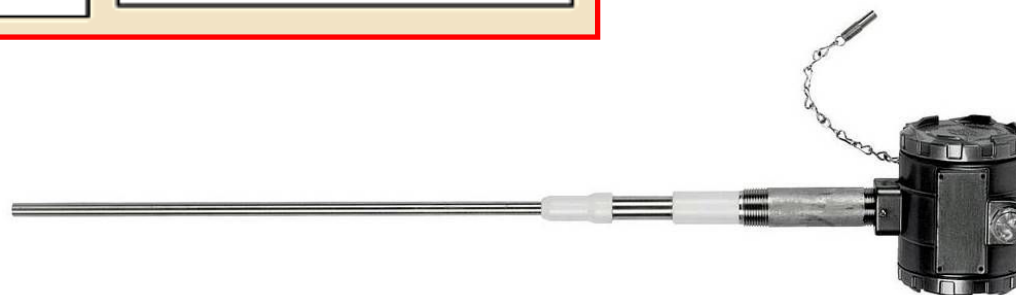
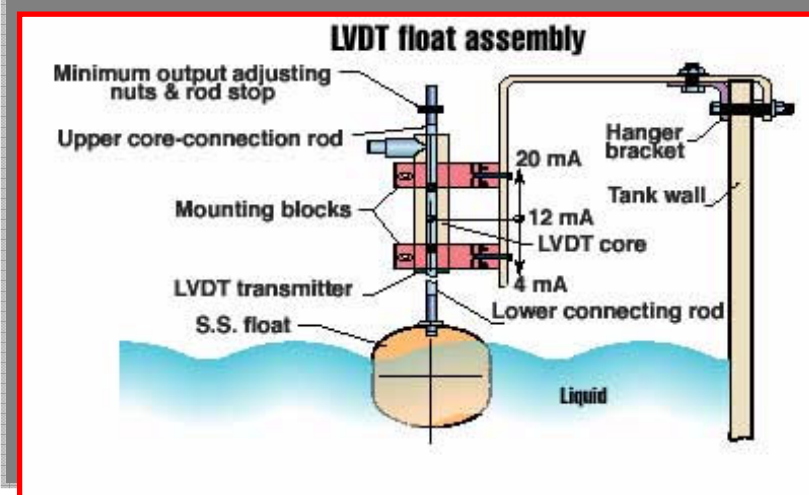
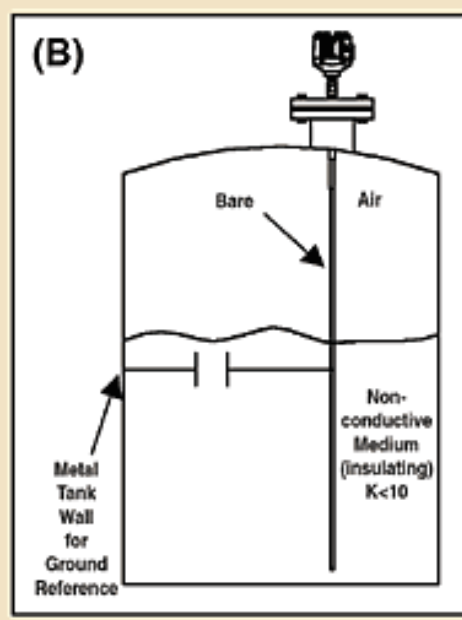
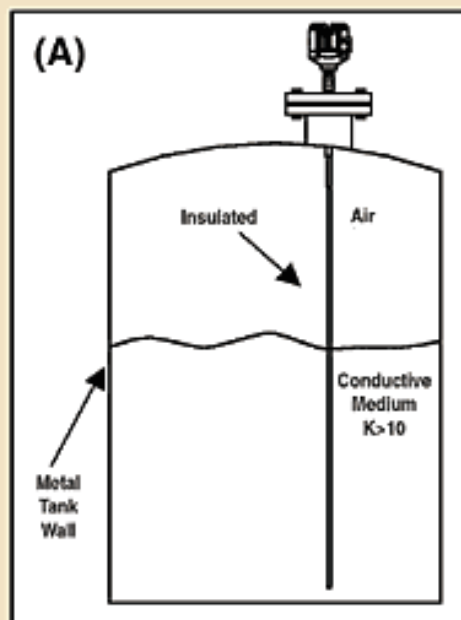
Ultrasónicos: dependencia de la temperatura, presión y composición, zona muerta.
Radar: dependencia del material, presencia de ecos por dispersión.

Laser: baja dispersión, elevada distancia



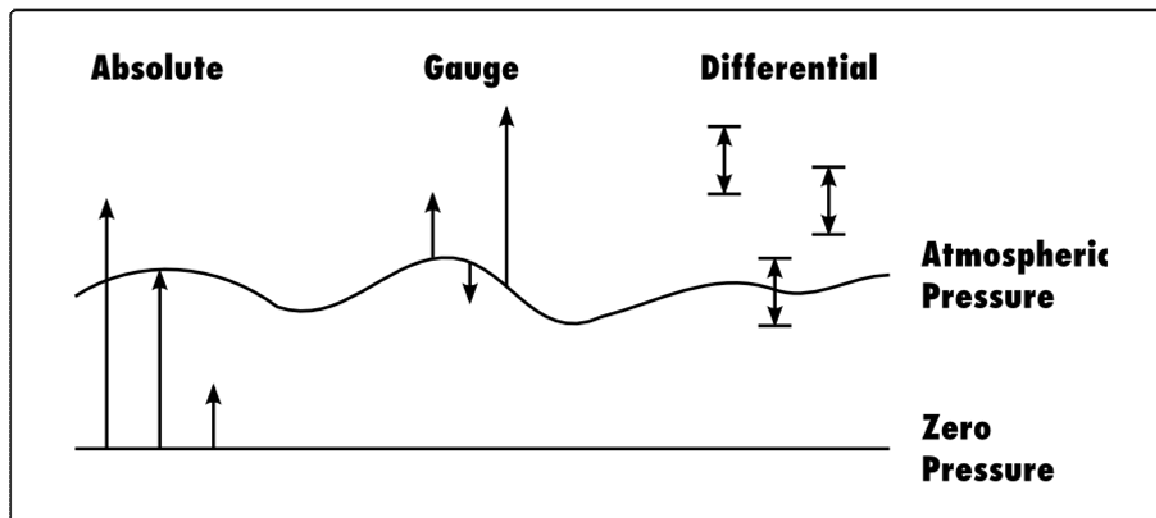


NIVEL: Capacitivos, conductivos, flotantes





PRESIÓN



Presión Absoluta

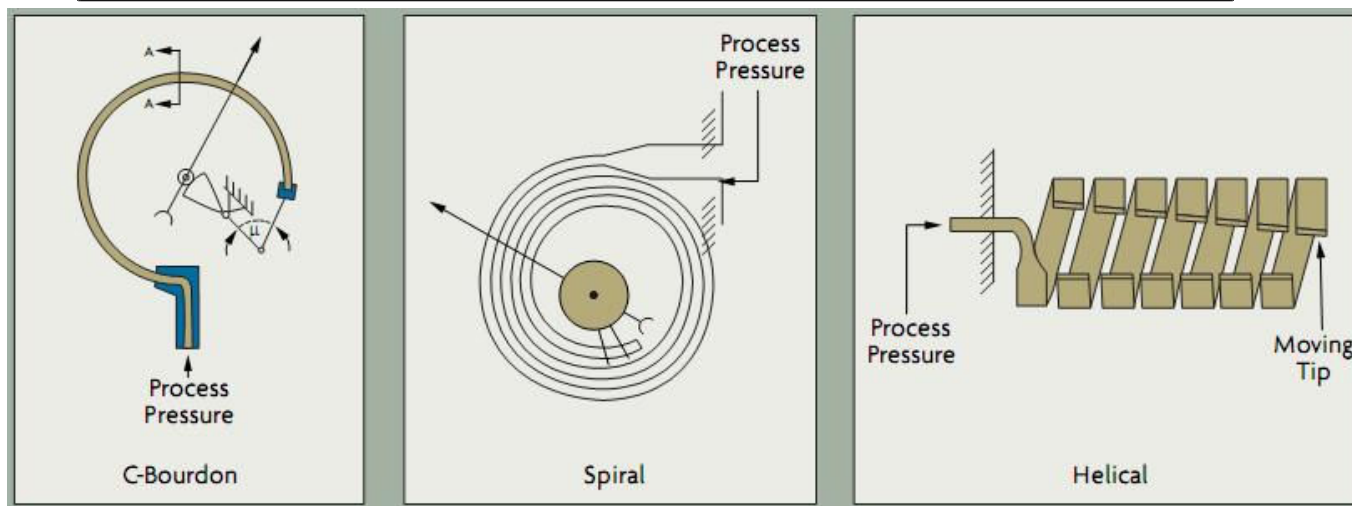
Se mide respecto del vacío perfecto.

Presión Diferencial ó Manométrica (Gauge)

Se mide respecto de la presión atmosférica.

Presión Diferencial

Se mide entre dos presiones diferentes.



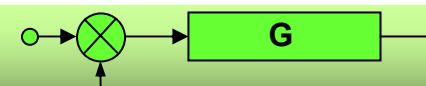
Tubo Bourdon: El transductor suele ser un dispositivo potenciométrico

UNIDADES

$$1 \text{ PSI} = 6895 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ "H}_2\text{O} = 249 \text{ Pa}$$

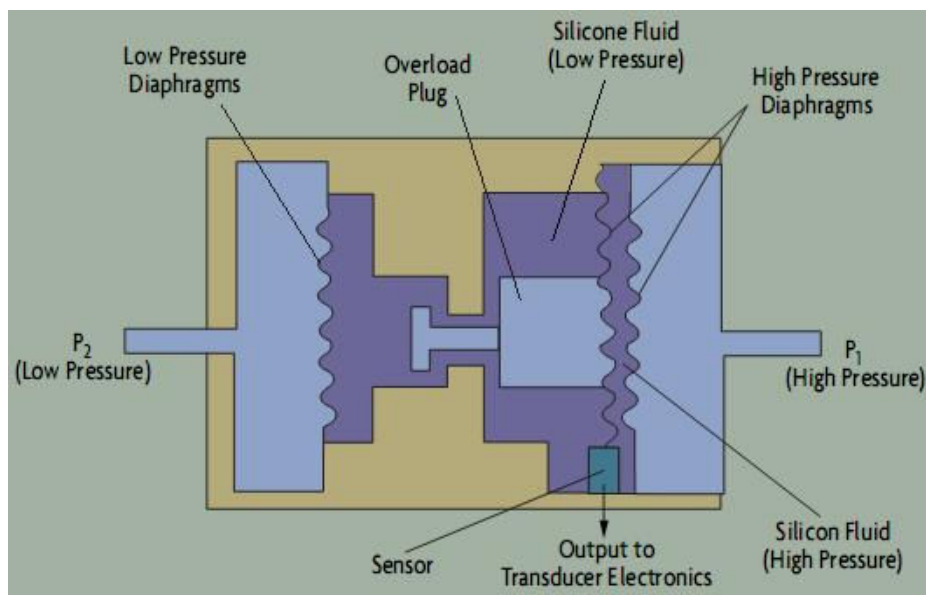
$$1 \text{ mmHg} = 133,3 \text{ Pa}$$





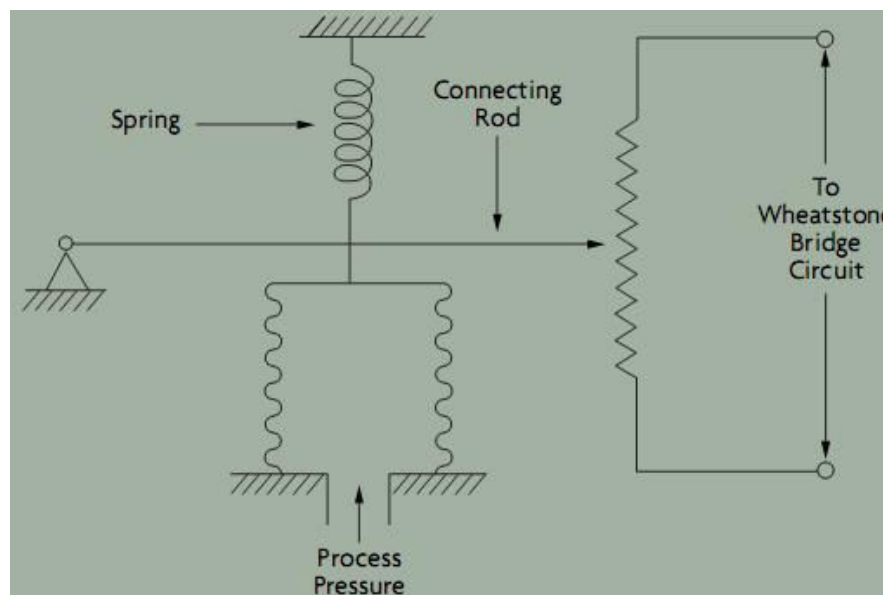
PRESIÓN – Tipos de transductores

Diafragma – Galga extensiométrica



El diafragma se deforma con las variaciones de presión. Estas deformaciones son medidas por una galga que está unida al diafragma.

Resorte - Potenciométrico



$$k_1 \cdot \Delta x = P \cdot A$$

$$\Delta x = P \cdot A / k_1$$

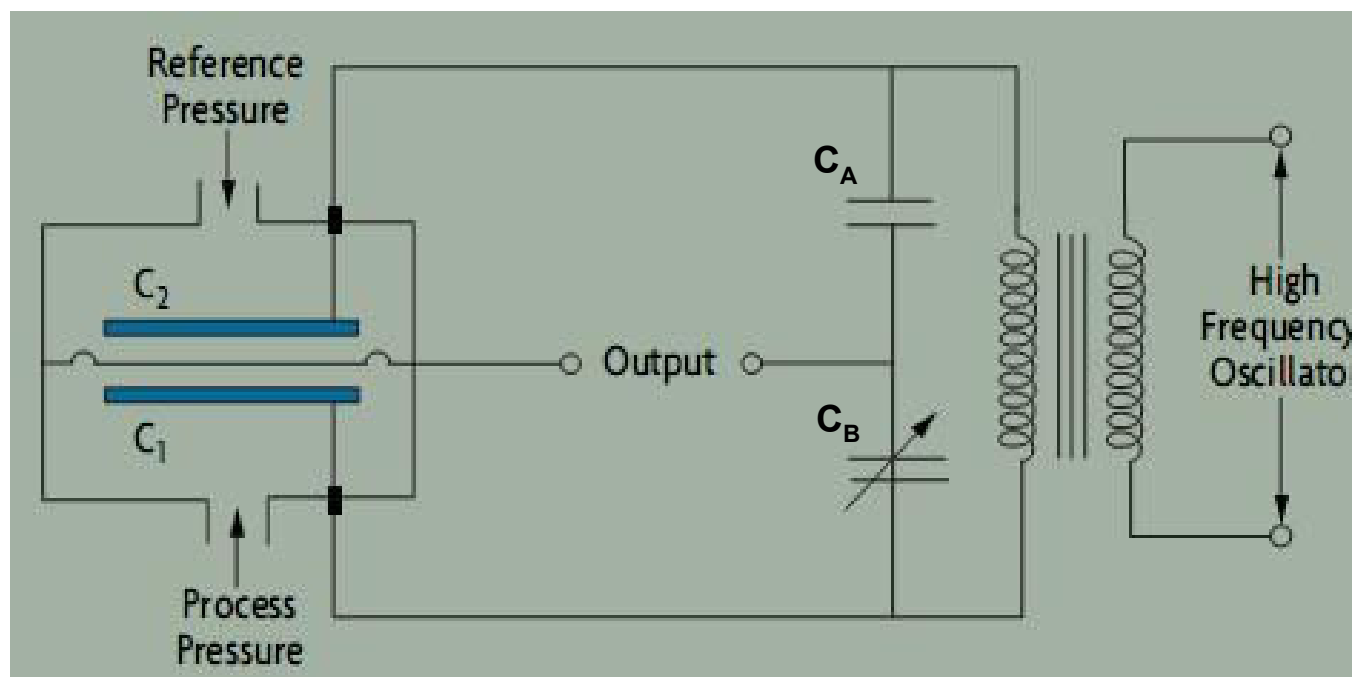
$$R = k_2 \cdot \Delta x = k_2 \cdot P \cdot A / k_1$$





PRESIÓN – Tipos de transductores

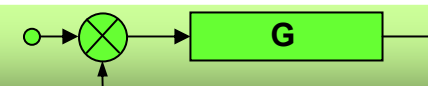
Diafragma – Capacitivo



$$\frac{V_{OUT}}{V_{OSC}} = \frac{X_{C1}}{X_{C2} + X_{C1}} - \frac{X_{CB}}{X_{CA} + X_{CB}}$$



$$\frac{V_{OUT}}{V_{OSC}} = \frac{C_2 C_B - C_1 C_A}{(C_1 + C_2)(C_A + C_B)}$$





OTROS TEMAS

Acondicionamiento de las señales

- Ajustes de niveles (amplificación, atenuación, offset)
- Linealización
- Digitalización
- Filtrado
- Transmisión de señales (4-20mA, 0-10V, V/f, etc.)

Actuadores

- Relés / llaves semiconductoras
- Solenoides
- Motores CC / Motores AC
- Motores paso a paso
- Válvulas neumáticas
- Resistencias calefactoras

