

MEDICIONES



SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

La *instrumentación* en general, trata los sistemas integrados cuya finalidad es medir magnitudes físicas de un sistema externo, elaborar la información asociada a ellas y presentarla a un operador.



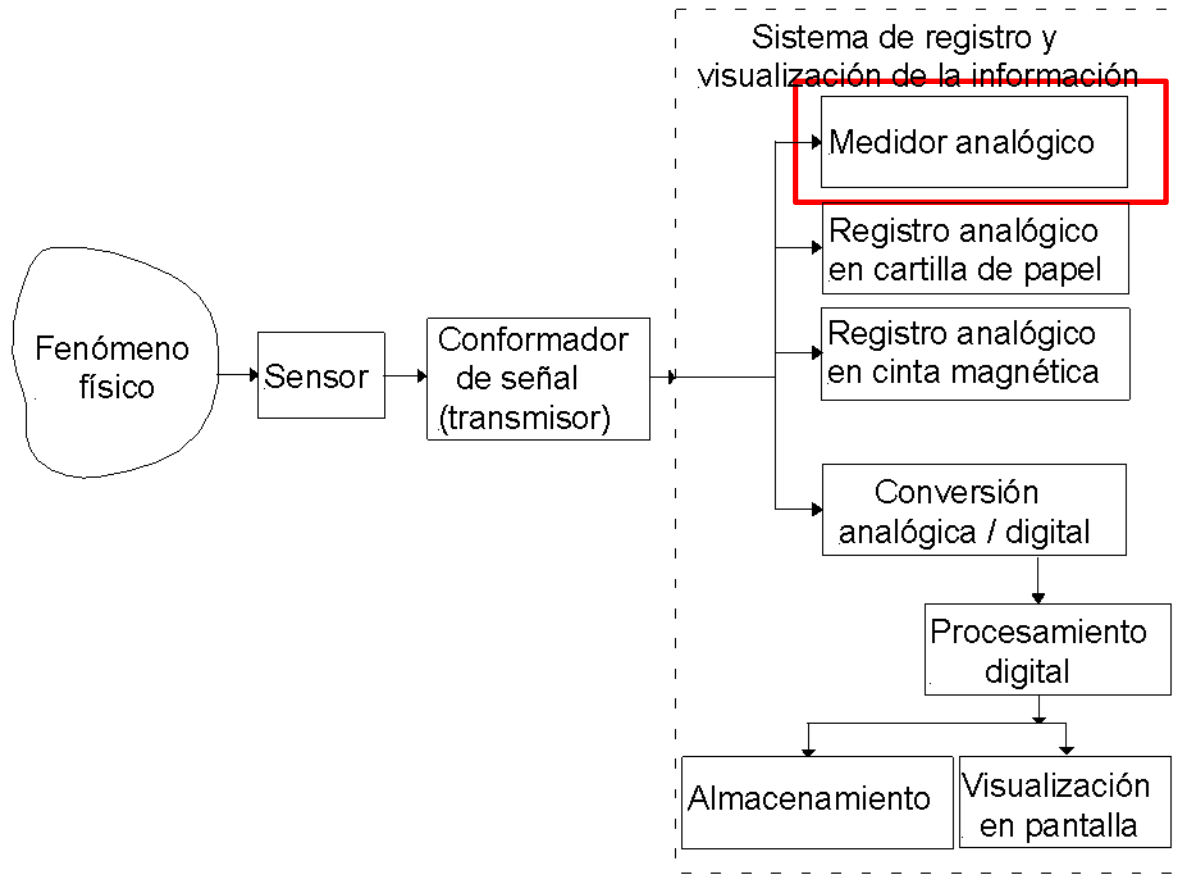
SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

La *instrumentación* en general, trata los sistemas integrados cuya finalidad es medir magnitudes físicas de un sistema externo, elaborar la información asociada a ellas y presentarla a un operador.



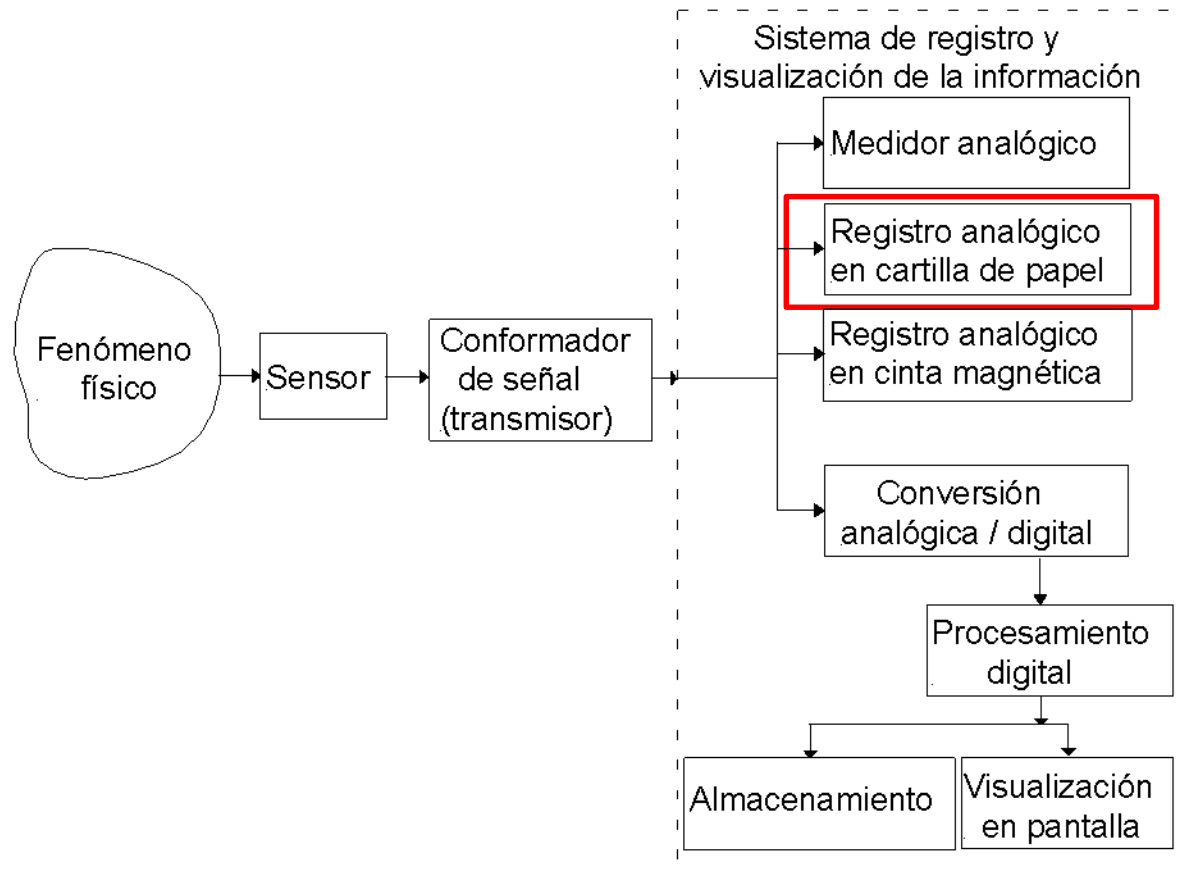
SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

Esquema típico de un sistema de instrumentación



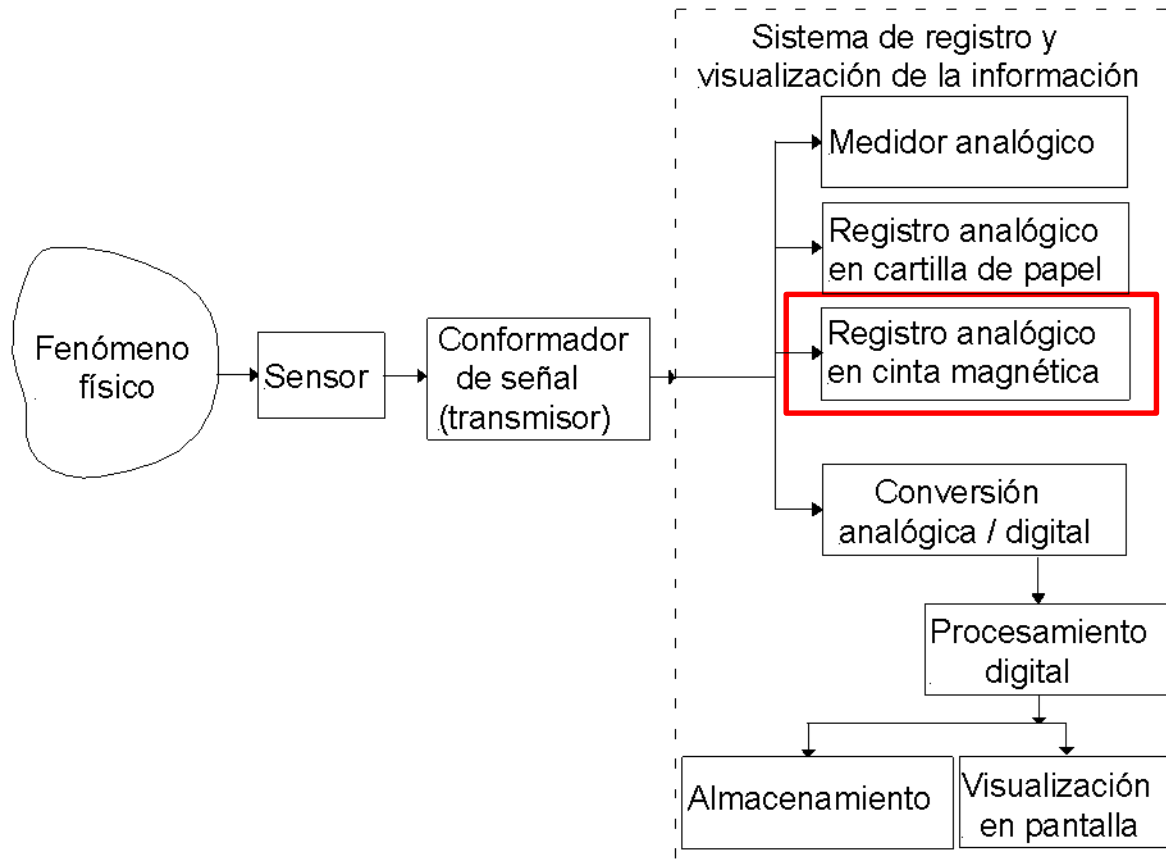
SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

Esquema típico de un sistema de instrumentación



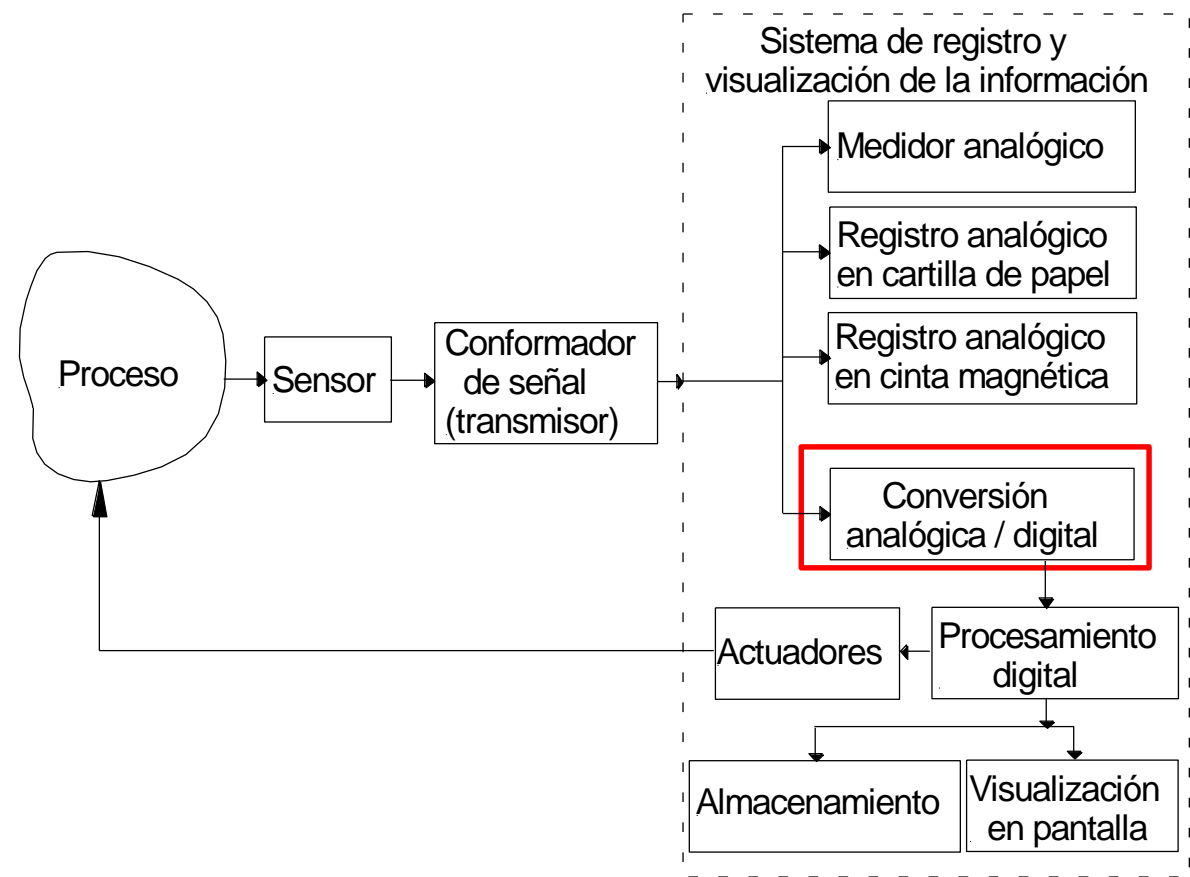
SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

Esquema típico de un sistema de instrumentación



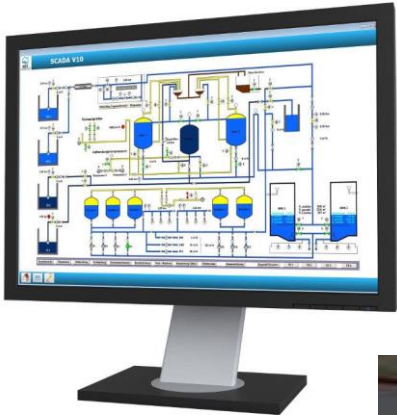
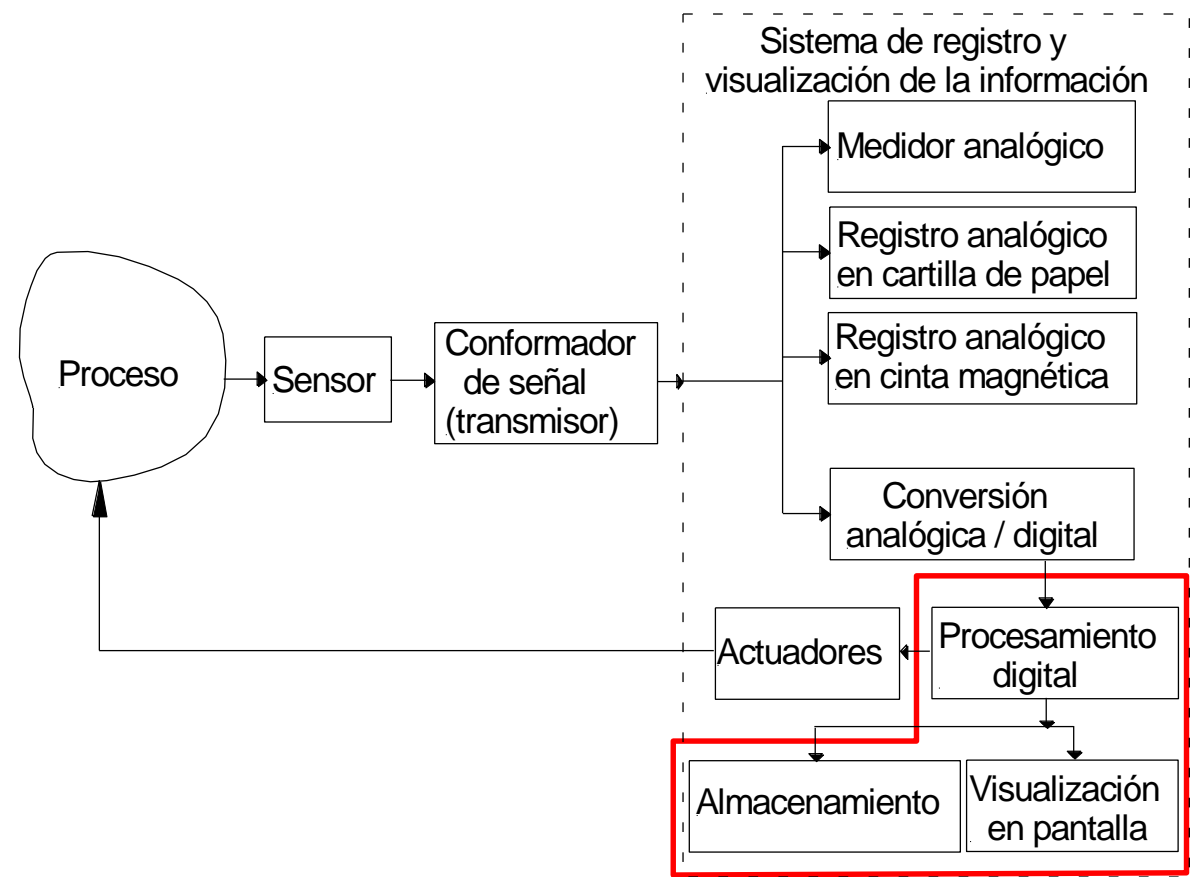
SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Si se requiriese efectuar el *control de un proceso*, además de la medición de las magnitudes físicas deberá realizarse la *actuación* sobre ciertas magnitudes del mismo.



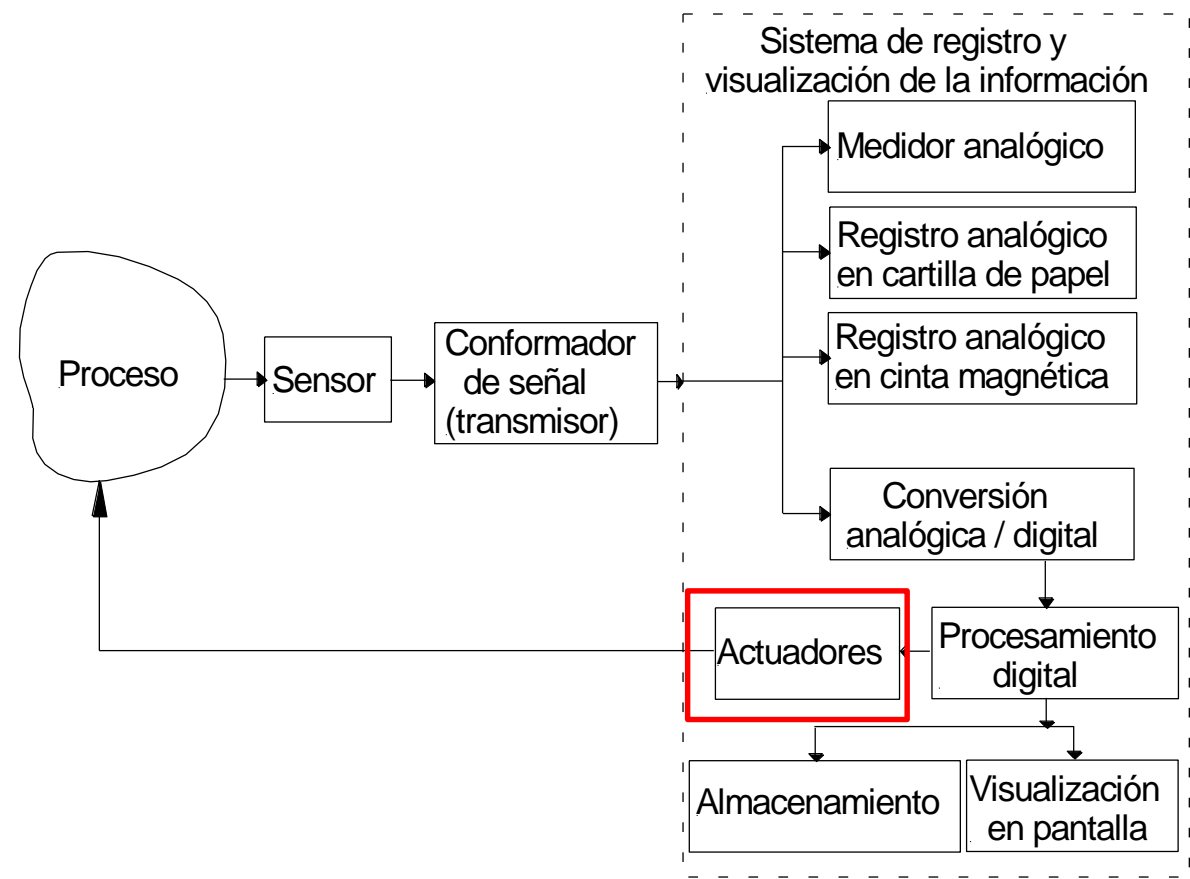
SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Si se requiriese efectuar el *control de un proceso*, además de la medición de las magnitudes físicas deberá realizarse la *actuación* sobre ciertas magnitudes del mismo.



SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Si se requiriese efectuar el *control de un proceso*, además de la medición de las magnitudes físicas deberá realizarse la *actuación* sobre ciertas magnitudes del mismo.



SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Sensor

Acondicionamiento o
conformación de la
señal

Telemetría

Sistemas 4-20 mA (*)

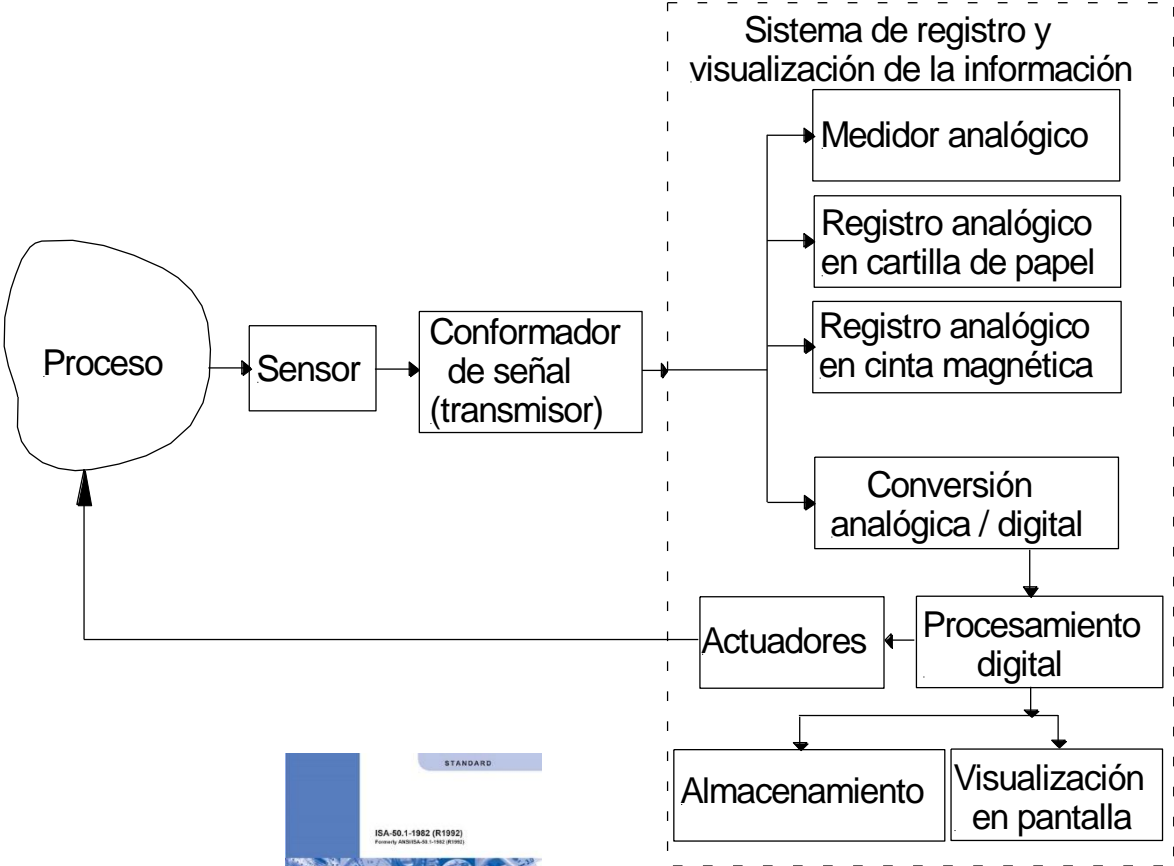
Conversión A/D

Procesamiento

Visualización

Registro

Actuación



(*) ANSI/ISA-50.1-1982 (R1992) “Compatibility of Analog
Signal for Electronic Industrial Process Instruments”



SENSOR

Dispositivo capaz de detectar estímulos físicos (calor, luz, fuerza, movimiento) y da origen a una respuesta determinada que es capaz de cuantificarse.

TRANSDUCTOR

Está definido como un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro.
Ejemplos típicos son el altavoz (o parlante) y los materiales piezoeléctricos.

En el ámbito de la instrumentación y control, estas definiciones muchas veces generan confusión, pues incluso algunos autores también refieren **DETECTOR** como sinónimo de sensor.

Para no aumentar dicha confusión, aceptaremos estas definiciones como una sola, prefiriendo la palabra ***transductor*** debido a las aplicaciones que se verán.

CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSDUCTORES



ACTIVOS

Generan energía eléctrica a partir de la magnitud física que actúa sobre ellos

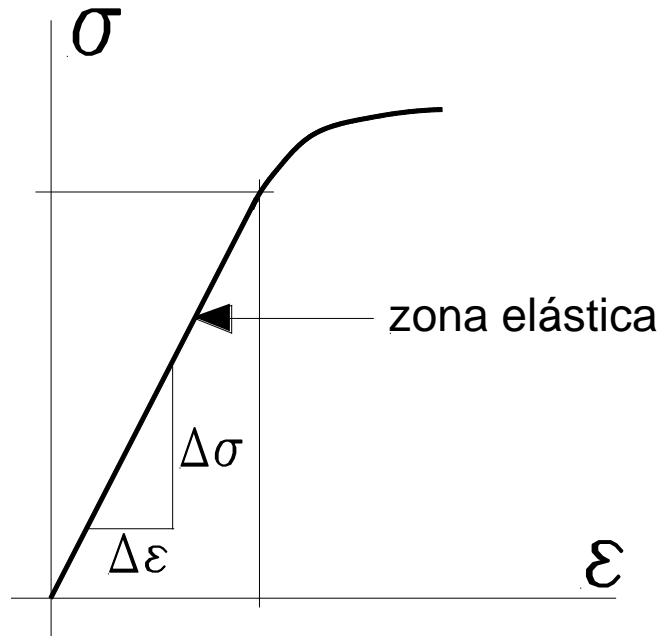


PASIVOS

Necesitan una fuente de energía eléctrica externa para poner de manifiesto las variaciones de las magnitudes que detectan

TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

Elasticidad de los materiales - Ley de Hooke



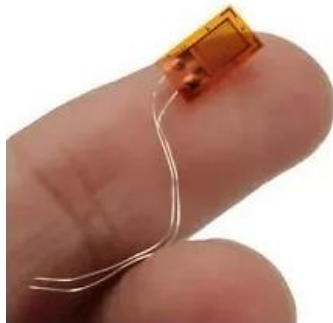
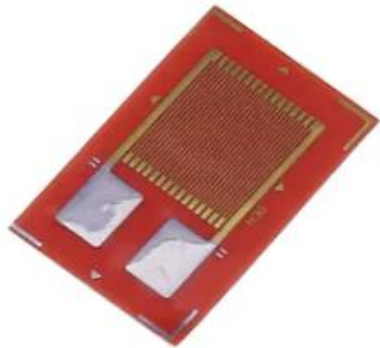
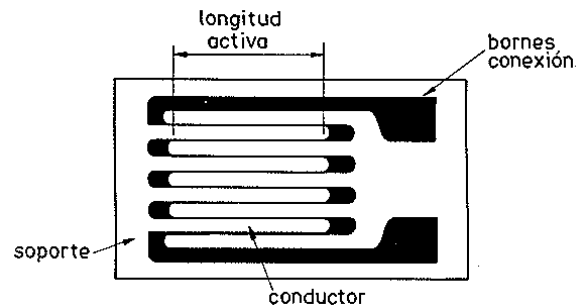
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \left[\frac{\mu\text{m}}{\text{mm}} \right]$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad \text{Módulo de Young}$$

TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

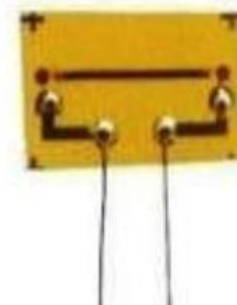
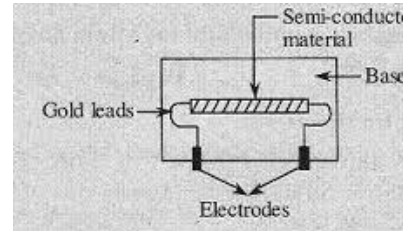
GALGA EXTENSOMÉTRICA



Metálicas



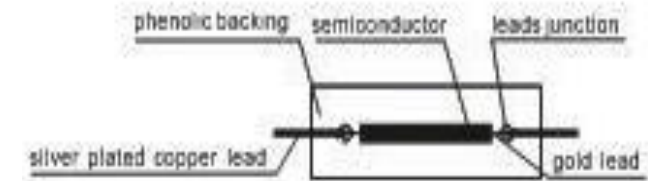
Economía
Precisión alta
Sensibilidad baja



Semiconductoras




Sensibilidad mayor
Menor precisión
Mayor dependencia de la temperatura



TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

GALGA EXTENSOMÉTRICA

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


$$k = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta \ell}{\ell}}$$

Factor de la galga

| Característica \ Tipo de galga | Tipo de galga | |
|--------------------------------|---|--------------------------------|
| | Metálicas | Semiconductoras |
| Factor | 2 | 80; 100; 110; 130; 150 |
| Alargamiento [μm/m] | 15000 a 200000 | 1000 |
| Resistencia nominal [Ω] | 30 a 5000 valores más comunes: 120 y 350 | 15; 25; 30; 60; 120; 350; 1000 |

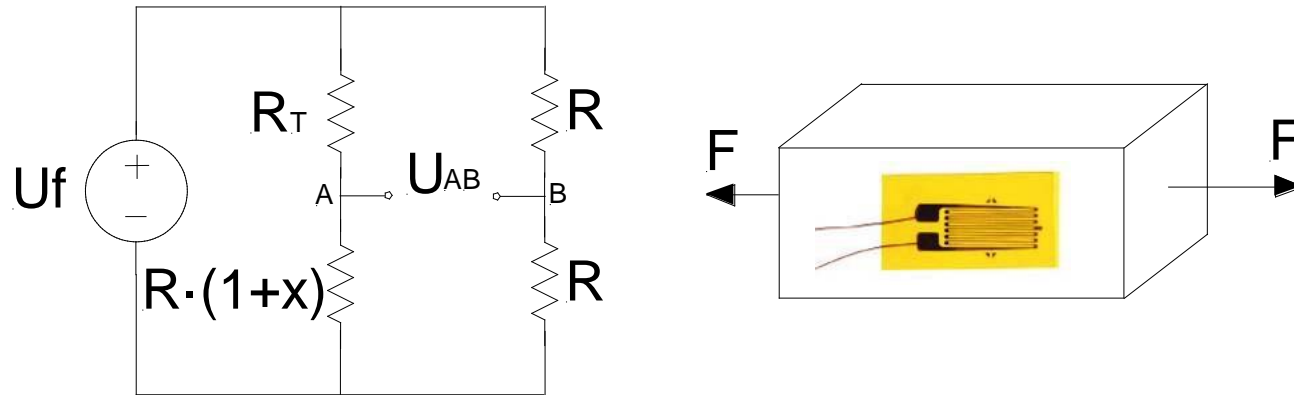
Precision Strain Gages and Sensors Databook – MicroMeasurements (micro-measurements.com)

Semiconductor Strain Gauges - BCM Sensor Technologies BV (www.bcmsensor.com)

TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

GALGA EXTENSOMÉTRICA - Aplicación

Una sola resistencia variable

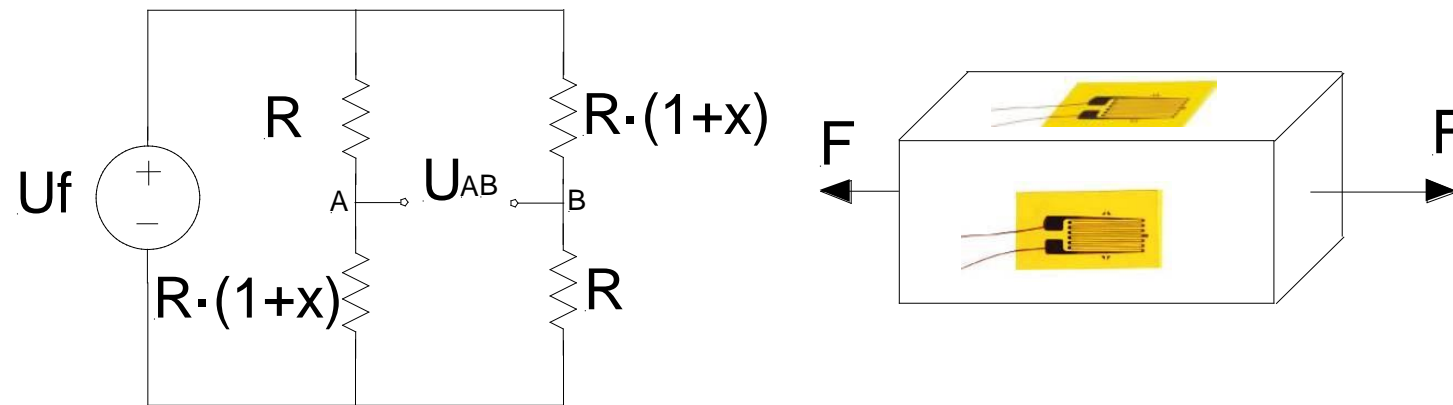


$$U_{AB} = \frac{U_f \cdot x}{4 \left(1 + \frac{x}{2} \right)} = \frac{U_f \frac{\Delta R}{R}}{4 + 2 \frac{\Delta R}{R}} = \frac{U_f \cdot k \cdot \epsilon}{4 + 2 \cdot k \cdot \epsilon} \approx \frac{U_f \cdot k \cdot \epsilon}{4}$$

TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

GALGA EXTENSOMÉTRICA - Aplicación

Dos resistencias variables



$$U_{AB} = \frac{U_f \cdot x}{2 \left(1 + \frac{x}{2} \right)} = \frac{U_f \frac{\Delta R}{R}}{2 + \frac{\Delta R}{R}} = \frac{U_f \cdot k \cdot \epsilon}{2 + k \cdot \epsilon} \approx \frac{U_f \cdot k \cdot \epsilon}{2}$$

¿Cómo se analizaría si las cuatro resistencias fuesen variables?

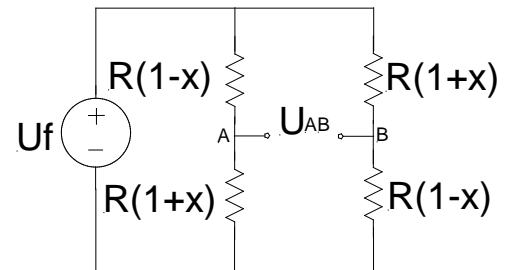
¿Se puede hacer en este caso?

Si no, ¿en qué otro?

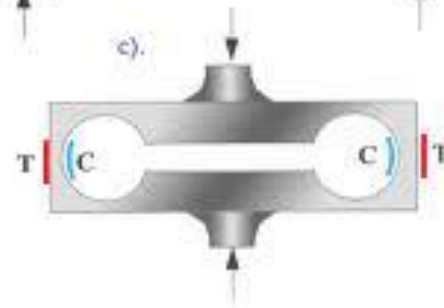
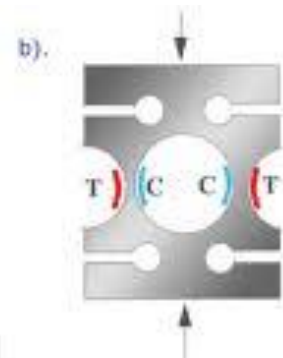
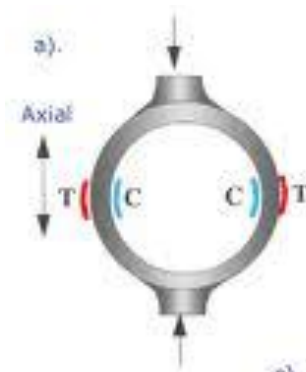
TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

GALGA EXTENSOMÉTRICA - Aplicación

Aplicación típica de cuatro resistencias variables



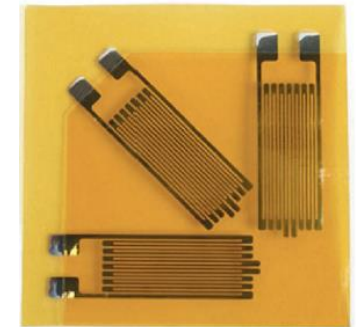
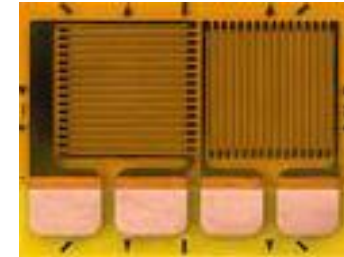
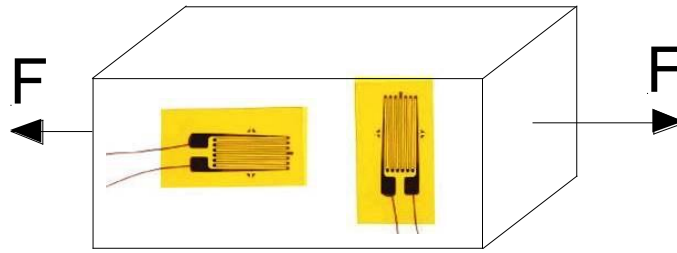
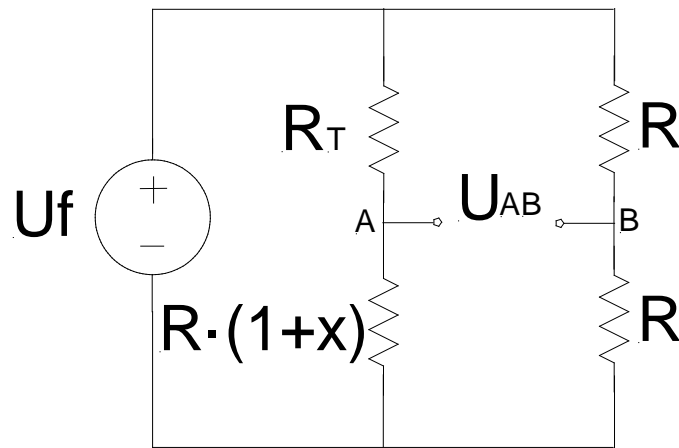
$$U_{AB} = U_f \cdot x$$



TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

GALGA EXTENSOMÉTRICA - Aplicación

Compensación por temperatura



Roseta

$$R(1+x) \cdot R = R_T R$$



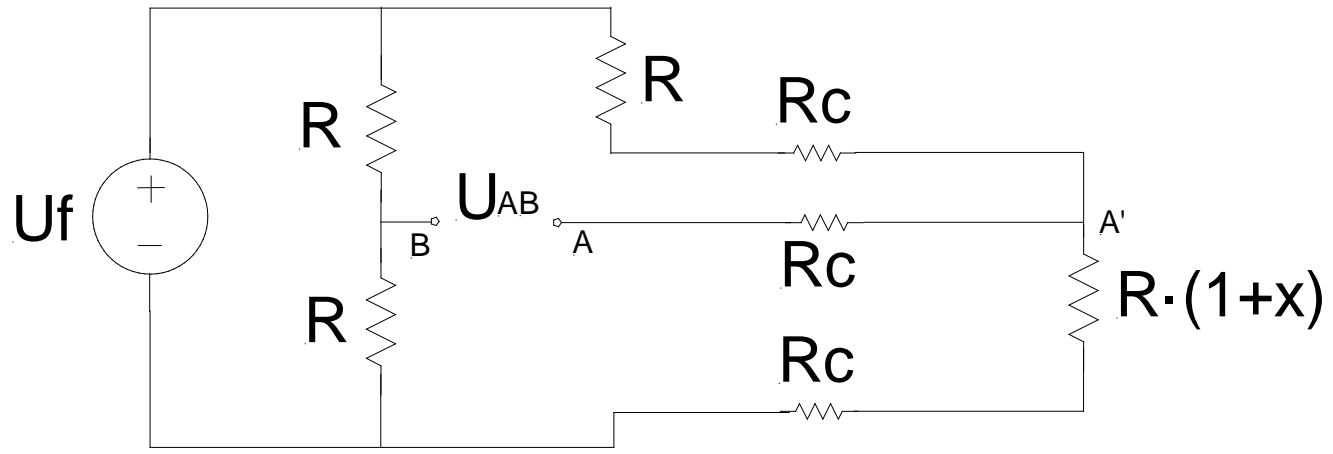
En reposo $R_T = R(1+x) = R$ (pues $x = 0$)

Si la temperatura de las galgas aumenta, R cambia en la misma proporción en ambas, con lo que el equilibrio en reposo se mantiene

TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

GALGA EXTENSOMÉTRICA - Aplicación

Compensación de la longitud de los conductores de conexión



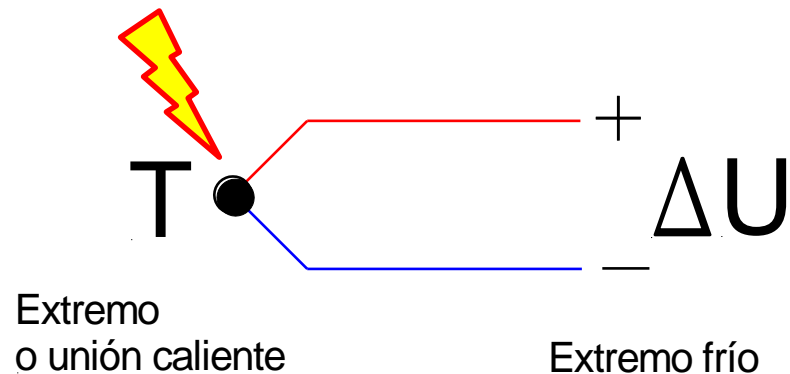
$$[R(1 + x) + R_c] \cdot R = (R + R_c) \cdot R$$



¿Qué ocurre en reposo (x = 0)?

Similarmente al caso anterior, si la longitud de los cables de conexión cambian, Rc cambia en los tres conductores a la vez, con lo que el equilibrio en reposo se mantiene

TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA TERMOCUPLA (TERMOPAR)



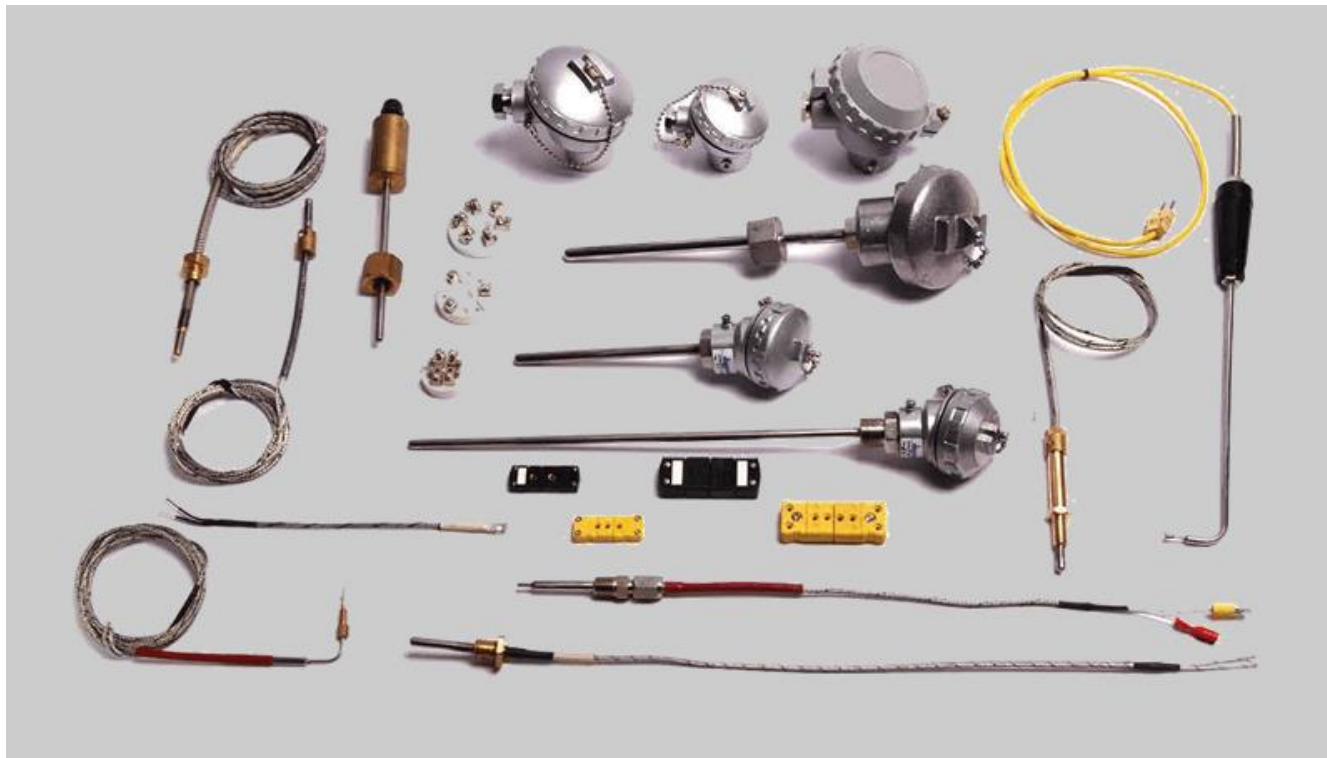
Efecto **SEEBECK**



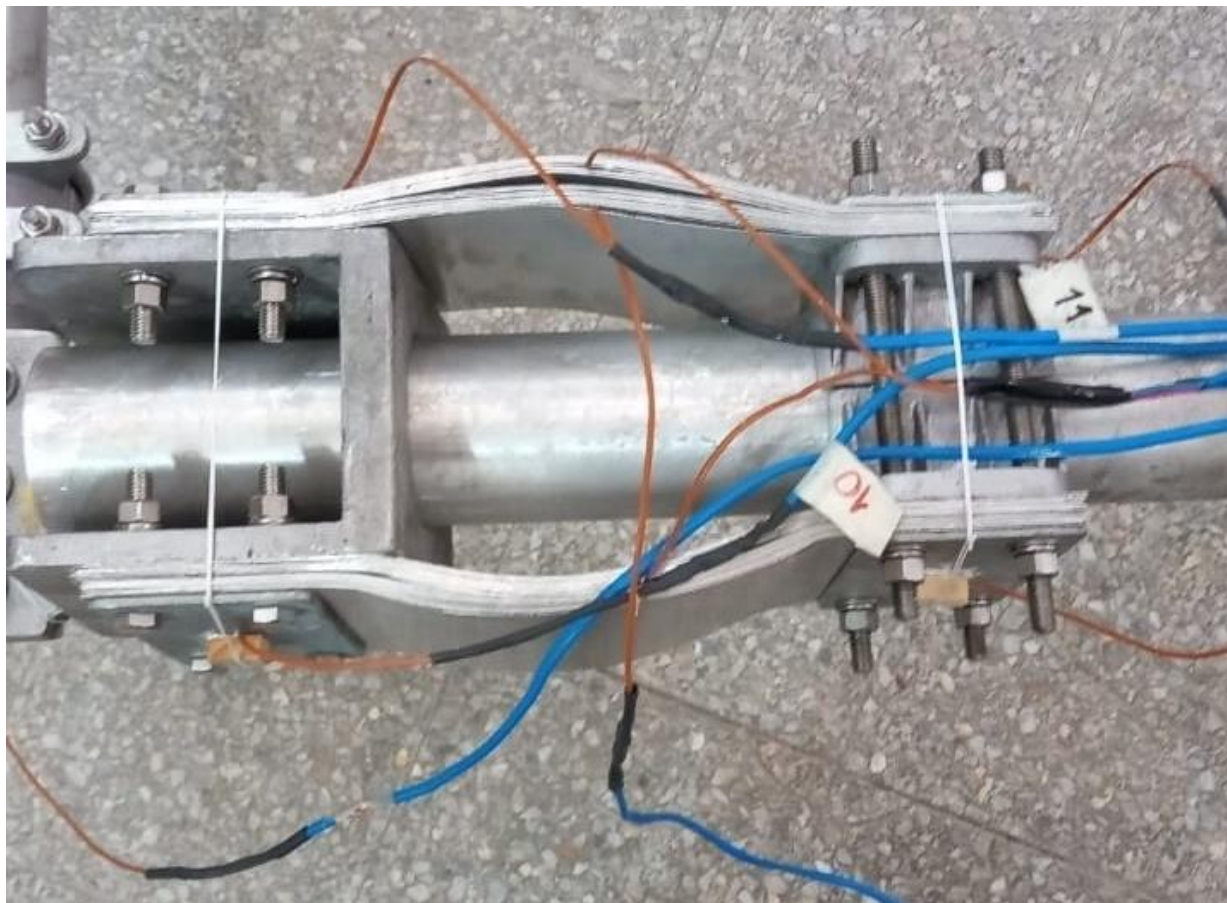
ΔU [mV] en el extremo frío

| Materiales de unión | Rango típico de temperatura de aplicación (°C) | Variación de la tensión en el rango (mV) | Designación ANSI |
|--|--|---|---------------------|
| Platino-6% rodio/platino-30% rodio | 38 a 1800 | 13.6 | B |
| Tungsteno-5% renio/tungsteno-26% renio | 0 a 2300 | 37.0 | (C) |
| Cromel/constantan | 0 a 982 | 75.0 | E |
| Hierro/constantan | -184 a 760 | 50.0 | J |
| Cromel/alumel | -184 a 1260 | 56.0 | K |
| Platino/platino-13% rodio | 0 a 1593 | 18.7 | R |
| Platino/platino-10% rodio | 0 a 1538 | 16.0 | S |
| Cobre/constantan | -184 a 400 | 26.0 | T |

TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA TERMOCUPLA (TERMOPAR)

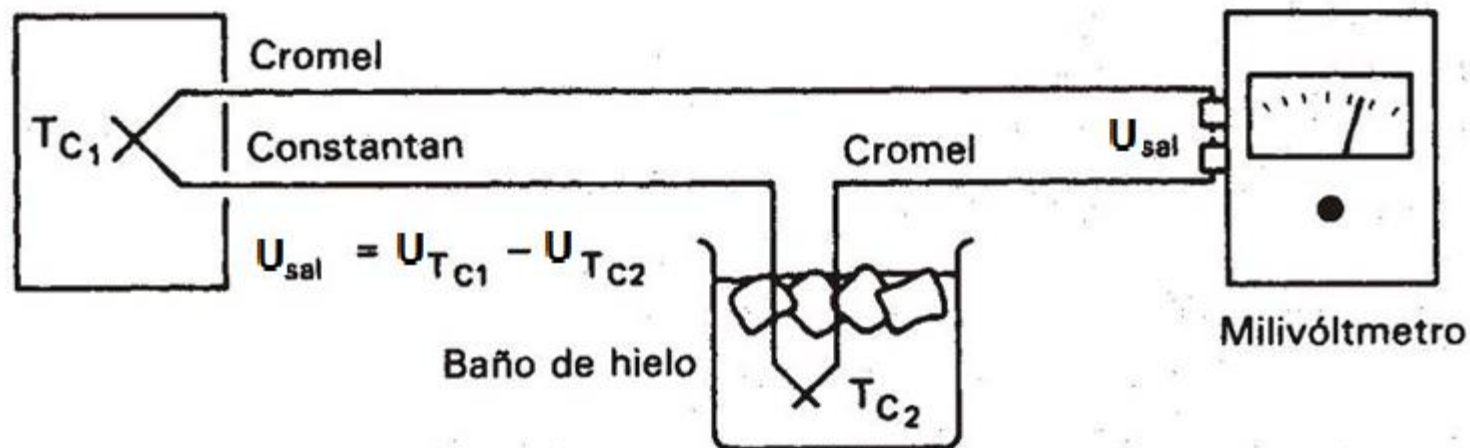


TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA TERMOCUPLA (TERMOPAR)

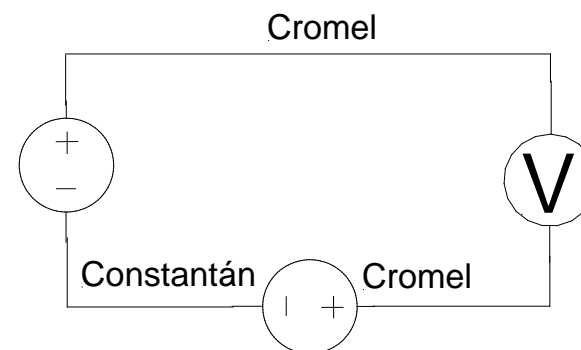


TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA TERMOCUPLA (TERMOPAR)

Aplicación elemental típica




Esquema eléctrico



TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA
 TERMOCUPLA (TERMOPAR)

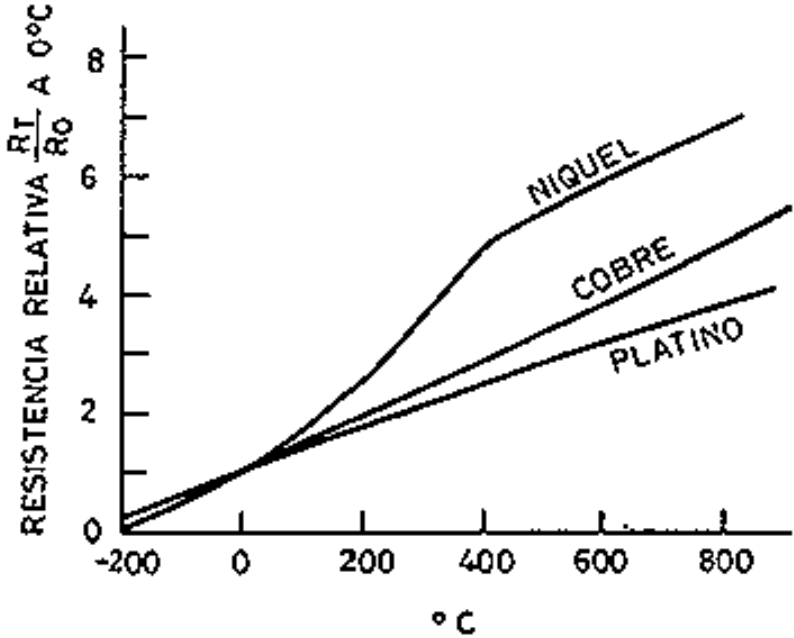
Aprovechan las características de variación de la resistividad de diferentes materiales en función de la temperatura (cobre, níquel o platino).

si la relación R-T no es lineal
 

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T + \beta T^2 + \delta T^3 + \dots)$$

Comparación de los coeficientes de temperatura de diferentes materiales para RTD

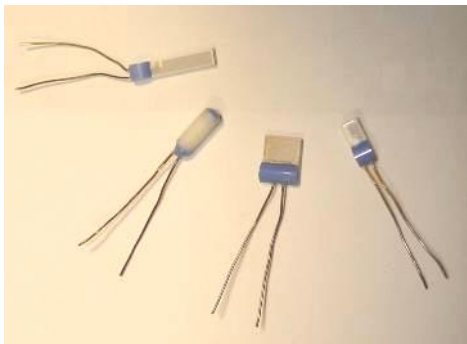
| Material | Rango de temperatura (°C) | TC (%/°C)@25°C |
|---------------|---------------------------|----------------|
| Platino | −200 a +850 | 0.39 |
| Níquel | −80 a +320 | 0.67 |
| Cobre | −200 a +260 | 0.38 |
| Níquel-hierro | −200 a +260 | 0.46 |



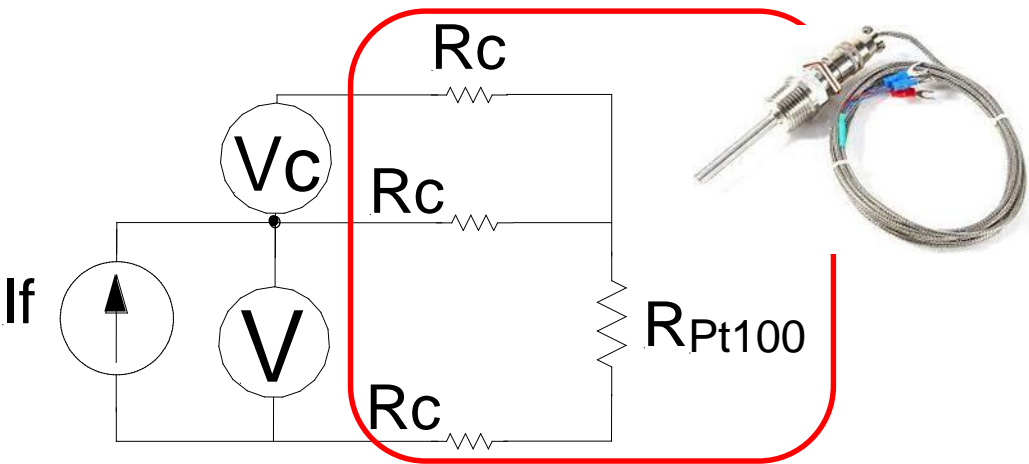
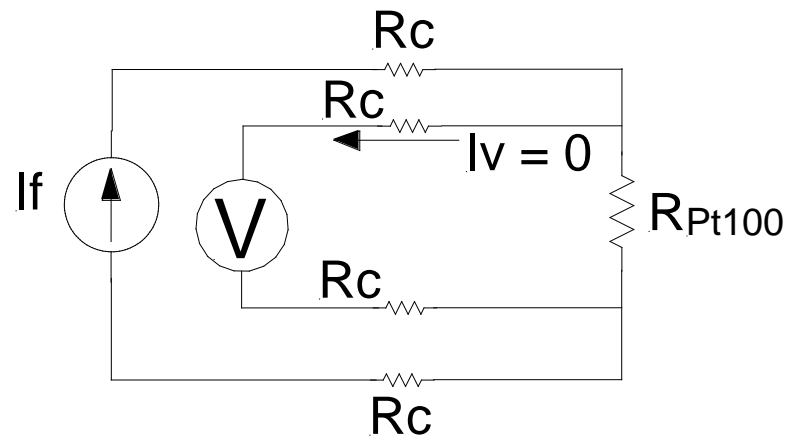
TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

TERMORRESISTORES (RTD)

Las RTD de platino (Pt100) son las preferidas cuando se requiere exactitud y linealidad.



Según la aplicación, pueden utilizarse con un puente de Wheatstone (como los ya vistos) o alimentadas por una fuente de corriente y conexiones de tres o cuatro terminales (más común).



TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA TERMISTORES

Aprovechan la fuerte dependencia de funcionamiento que presentan los semiconductores con la temperatura.

A diferencia de los metales utilizados en la fabricación de los RTD, la resistencia que presentan los materiales que conforman los termistores decrece al aumentar la temperatura desde aproximadamente -100°C a $+300^{\circ}\text{C}$ (termistores NTC).

Una aproximación general utilizada frecuentemente:

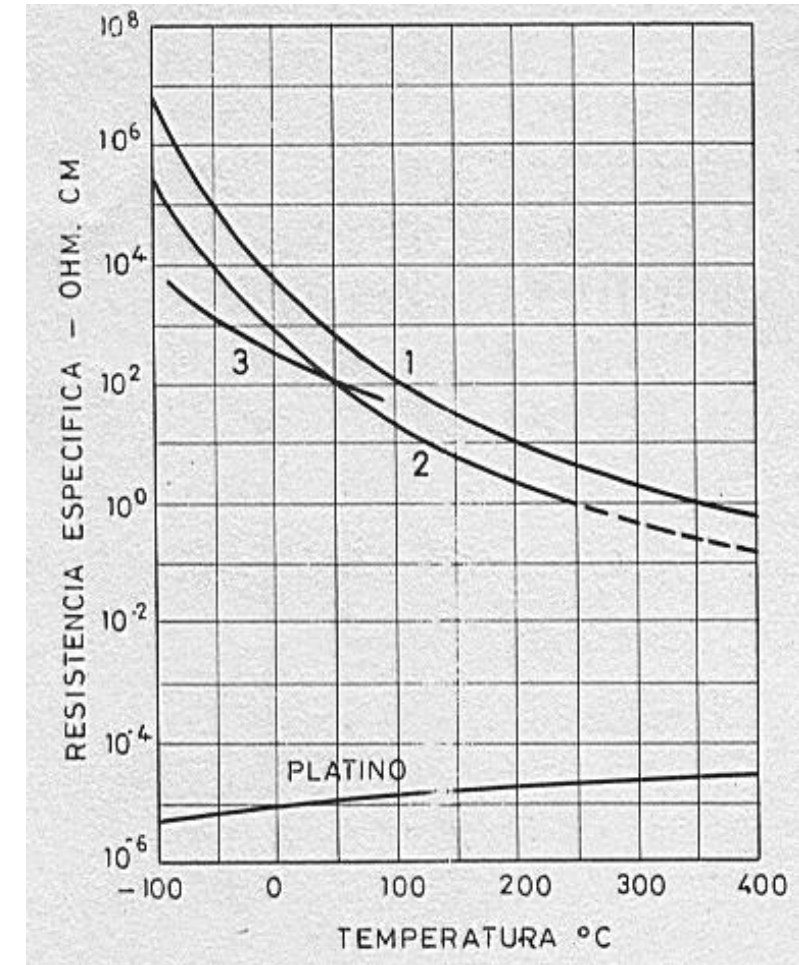
$$R_T = A \cdot e^{\beta \left(\frac{1}{T} \right)} \quad \Rightarrow \quad R_T = R_0 \cdot e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

R_T : resistencia del termistor en Ω @ T en [K]

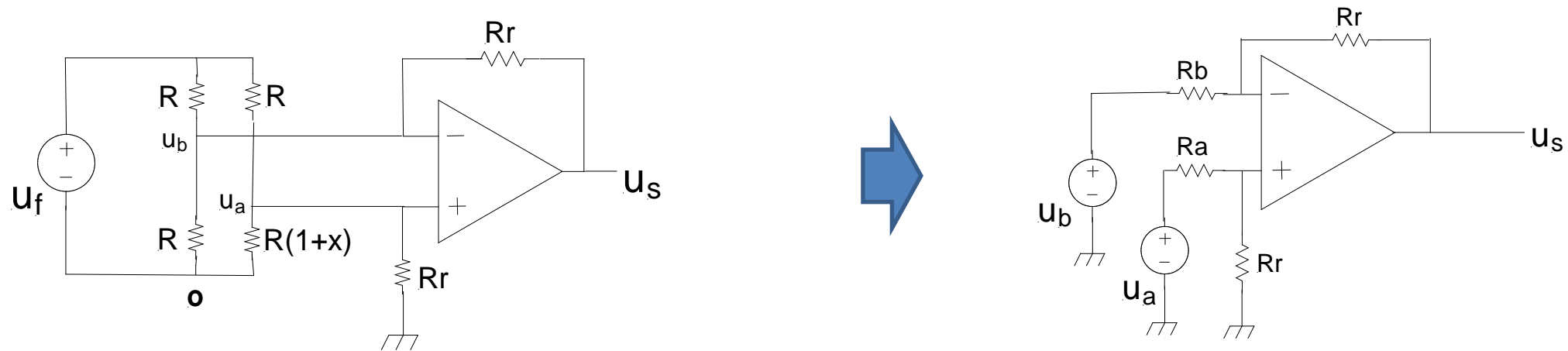
A : coeficiente del termistor en Ω

β : constante de ajuste de curva (entre 2000 y 4000 en [K])

R_0 : resistencia del termistor en Ω @ T_0 en [K]



PUENTE DE WHEATSTONE + AMPLIFICADOR DIFERENCIAL
Una sola resistencia variable



$$u_a = \frac{(1+x)}{(2+x)} U_f$$

$$R_a = \frac{(1+x)}{(2+x)} R$$

$$u_b = \frac{U_f}{2}$$

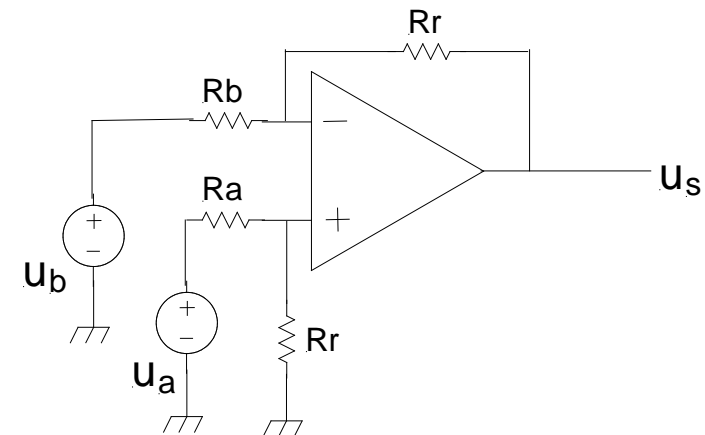
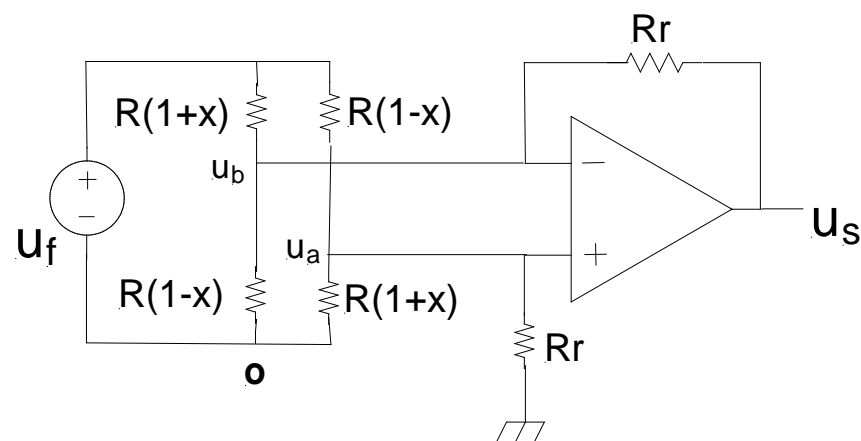
$$R_b = \frac{R}{2}$$

$$u_s = \frac{x}{\left((2+x)(1+x) \frac{R}{R_r} + (2+x) \right)} \frac{R_r}{R} U_f$$

$$u_s \approx \frac{R_r}{2R} \frac{x}{\left(1 + \frac{R}{R_r} \right)} U_f \quad \text{si } x \ll 1$$

PUENTE DE WHEATSTONE + AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

Las cuatro resistencias variables



$$u_a = \frac{U_f}{2}(1+x) \quad u_b = \frac{U_f}{2}(1-x)$$

$$R_a = R_b = \frac{R}{2}(1-x^2) \cong \frac{R}{2}$$



$$u_s = 2 \frac{R_r}{R} U_f x$$

RESUMEN

- *Medidores*
- *Sistemas de instrumentación*
- *Transductor*
- *Transductores de esfuerzo y deformación (galga extensométrica)*
- *Transductores de temperatura (termocupla, RTD, termistor)*
- *Puente de Wheatstone + Amplificador diferencial*

BIBLIOGRAFÍA

- *Circuitos eléctricos. Parte 2.* Morcelle-Deorsola. Cap 8.
- *Transductores - Instrumentación.* P. Morcelle. Apuntes de la Cátedra.
- *Transductores y medidores electrónicos. Parte 1.* Autores varios.
- *Transducer interfacing handbook.* Analog Devices. Cap 1 y 2.
- *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio.* S. Wolf - R.F.M. Smith. Cap 14 y 17.
- *Mecatrónica.* W. Bolton. Cap 1; 2 y 3.