

# TRANSDUCTORES E INSTRUMENTACIÓN

## MEDICIONES

CORRIENTE

ESFUERZO

DIGITALES

TENSIÓN

TEMPERATURA

AMPERÍMETROS

ANALÓGICOS

VOLTÍMETROS

POTENCIA

WATÍMETROS

DEFORMACIÓN

TRANSDUCTORES

MEDIDORES ELÉCTRICOS

PUENTE DE WHEATSTONE

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN



## 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

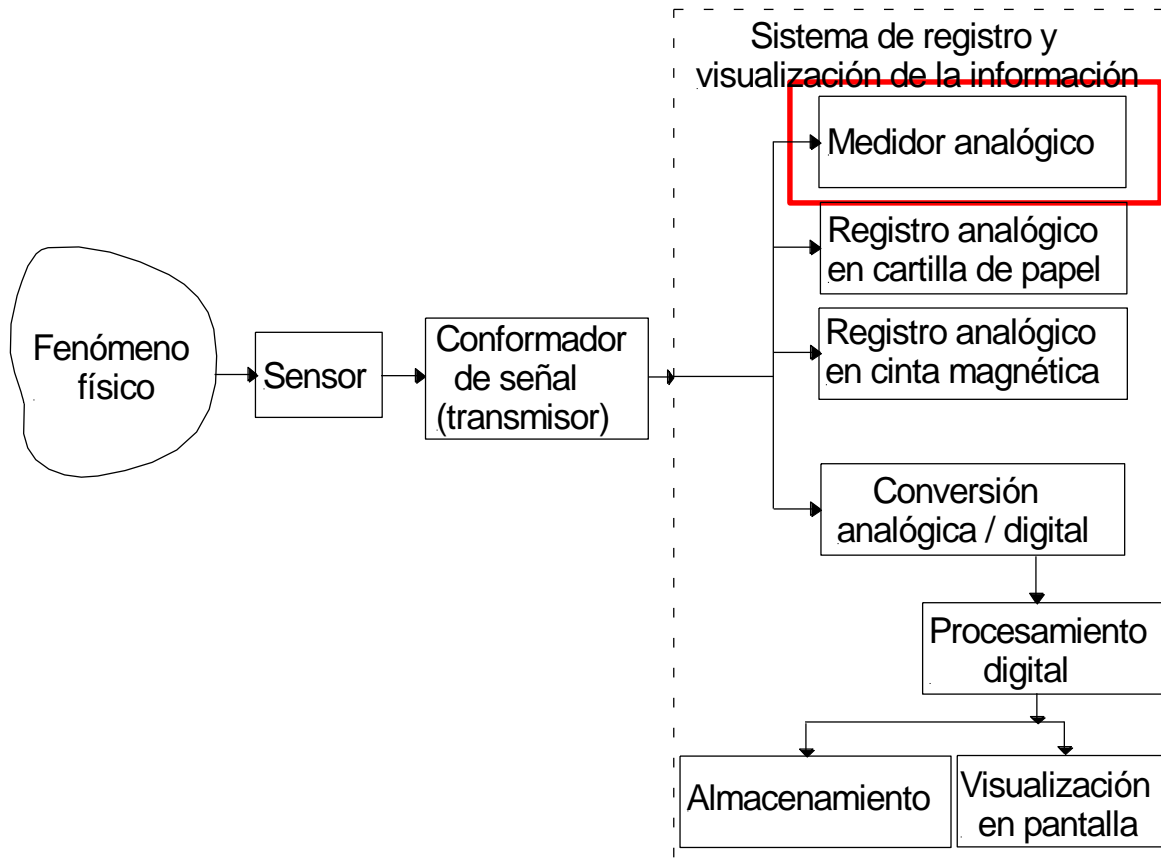
La *instrumentación* en general, trata los sistemas integrados cuya finalidad es medir magnitudes físicas de un sistema externo, elaborar la información asociada a ellas y presentarla a un operador.





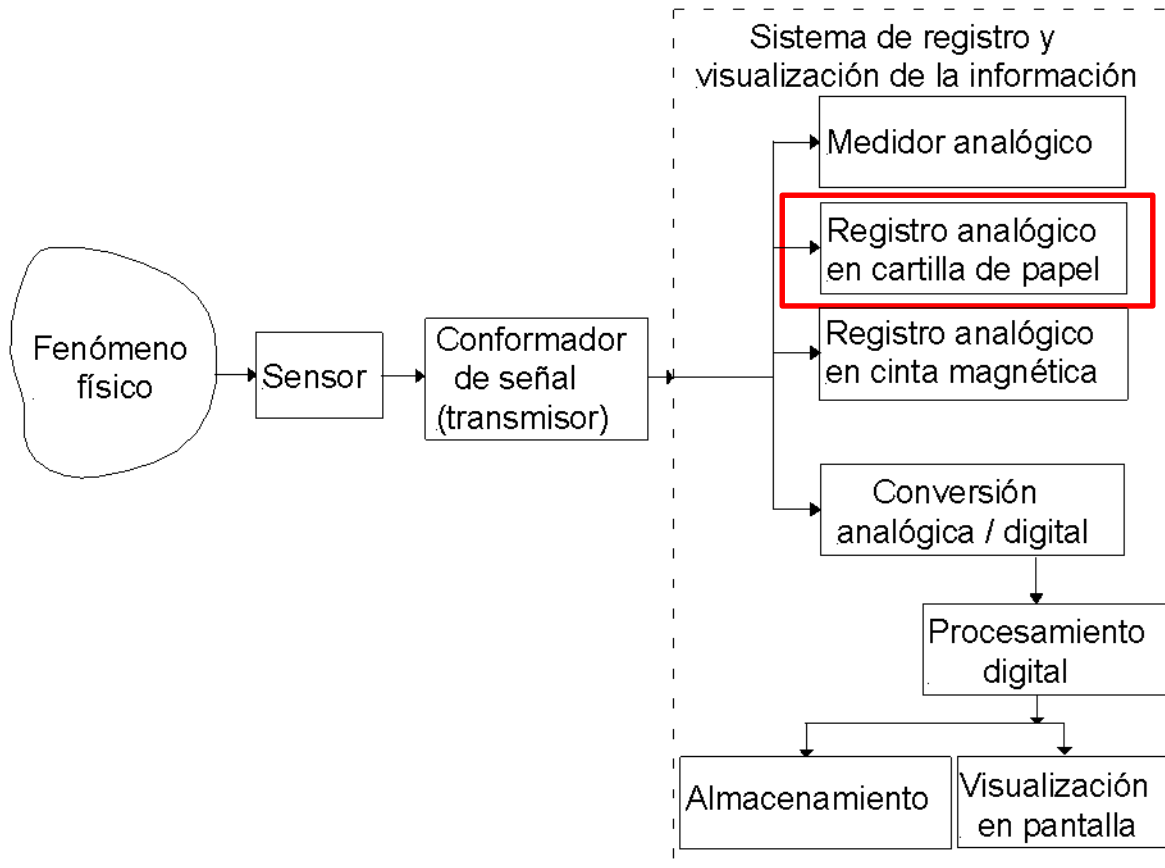
## SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

Esquema típico de un sistema de instrumentación



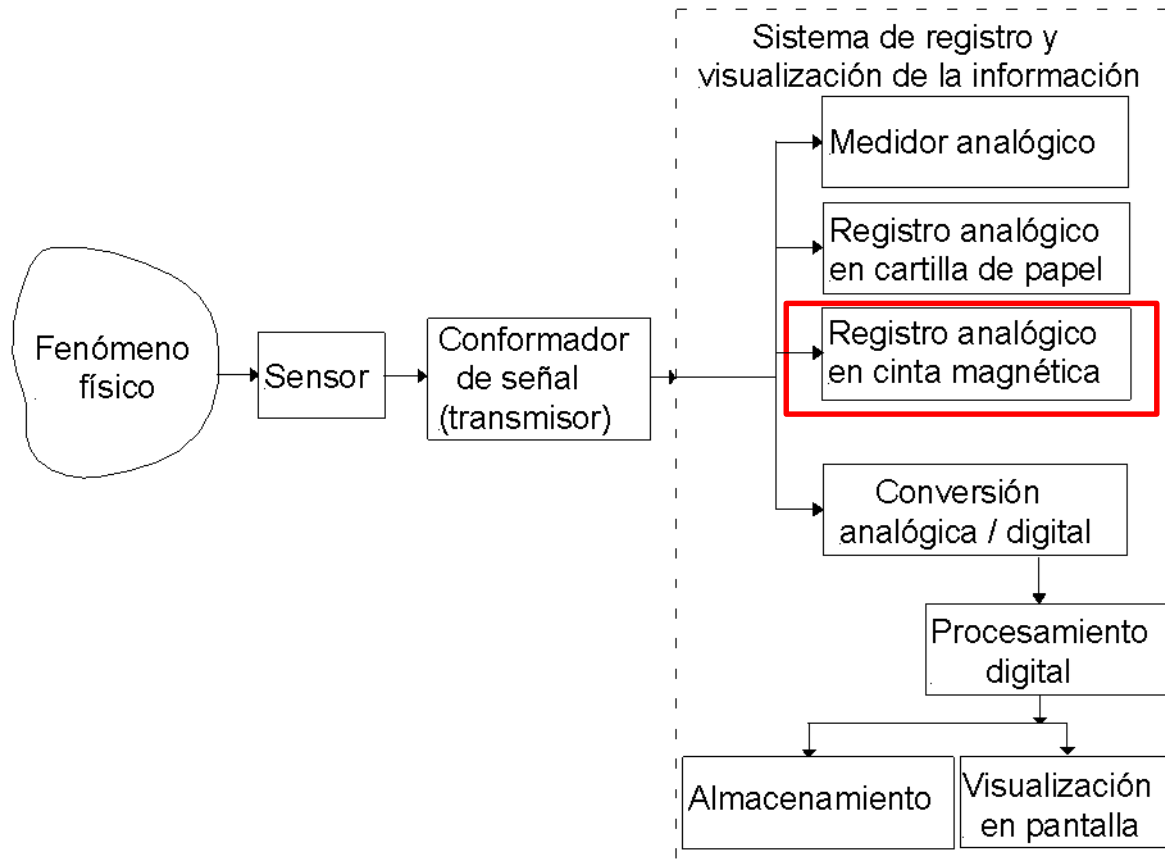
## SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

Esquema típico de un sistema de instrumentación



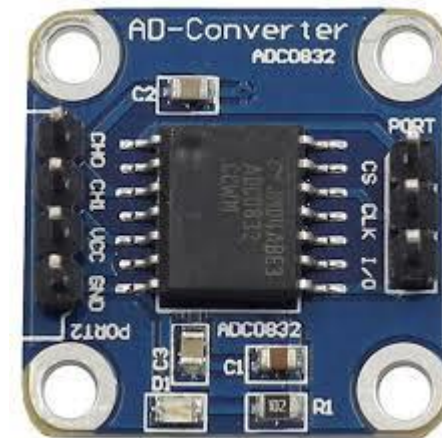
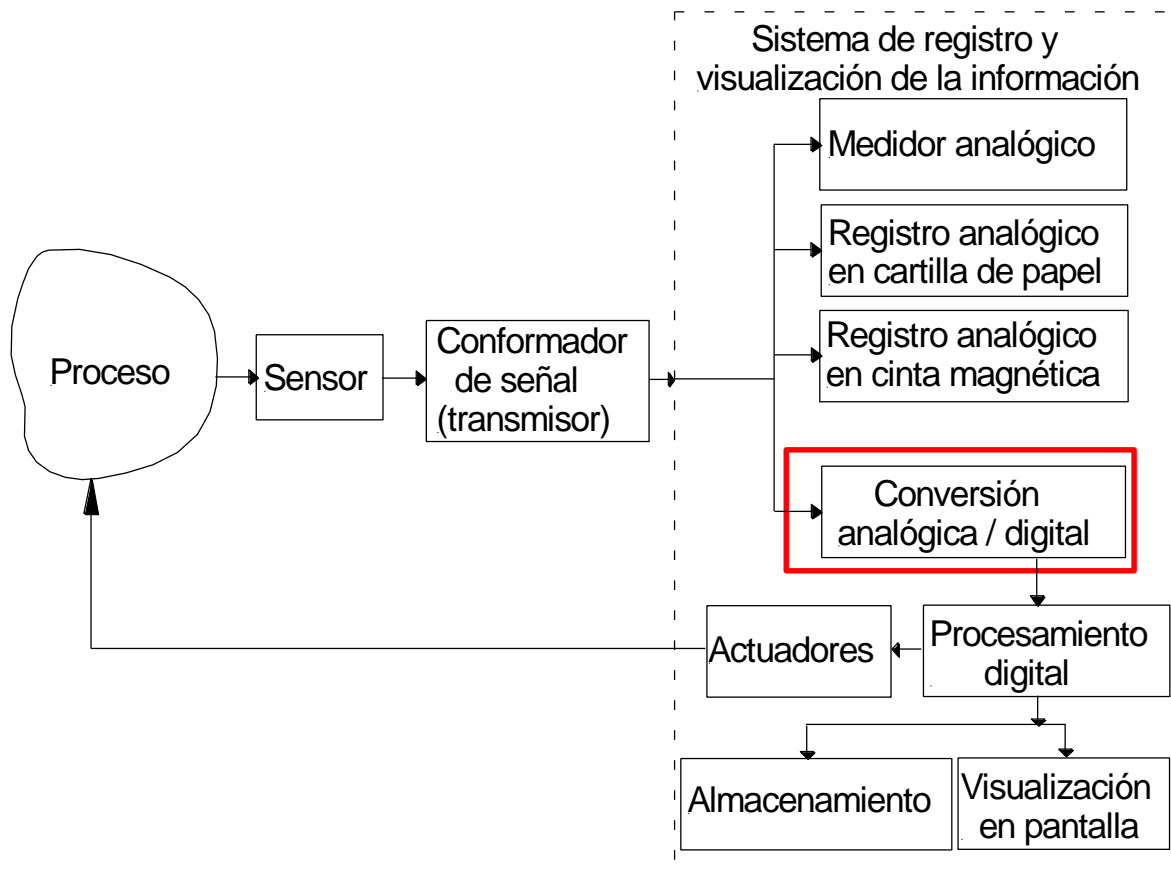
## SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

Esquema típico de un sistema de instrumentación



## SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

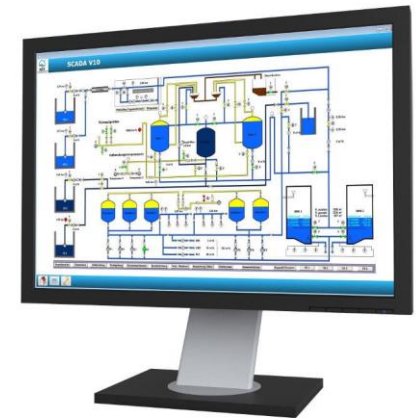
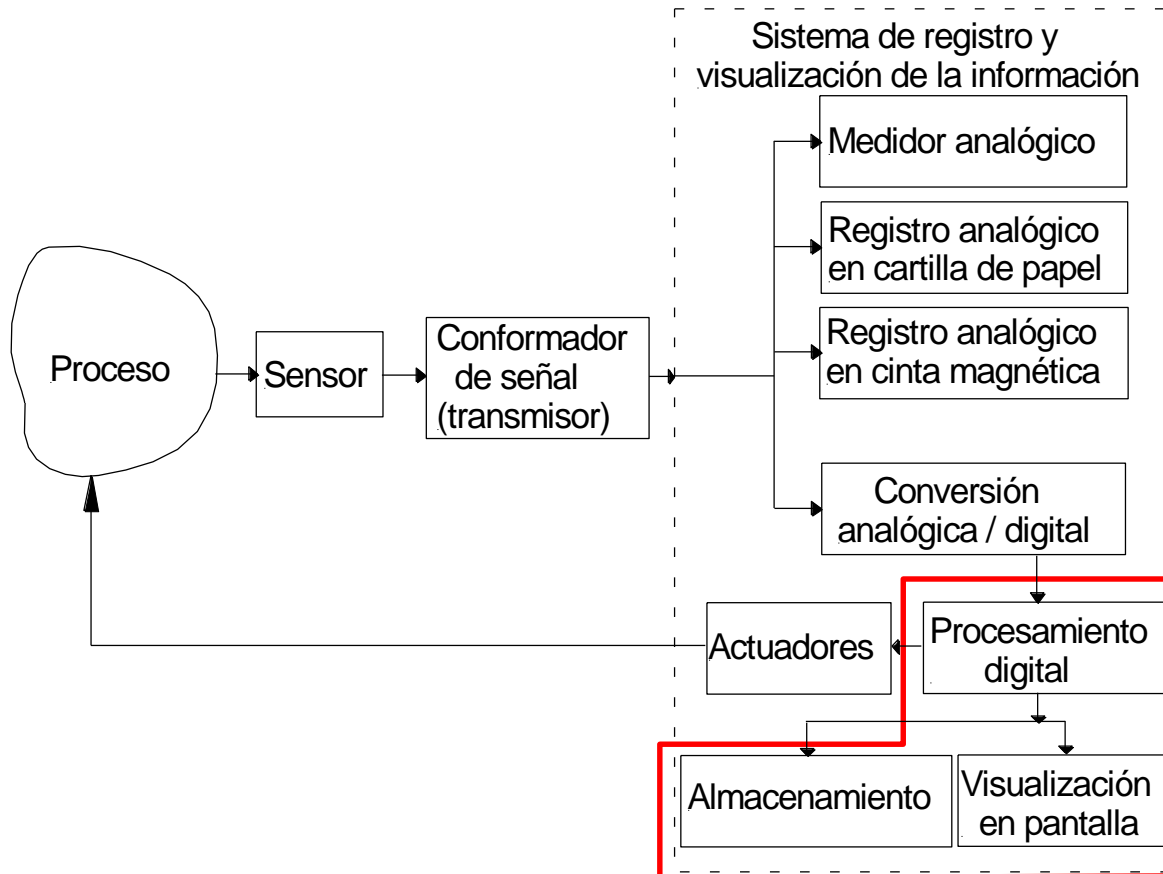
Si se requiriese efectuar el *control de un proceso*, además de la medición de las magnitudes físicas deberá realizarse la *actuación* sobre ciertas magnitudes del mismo.





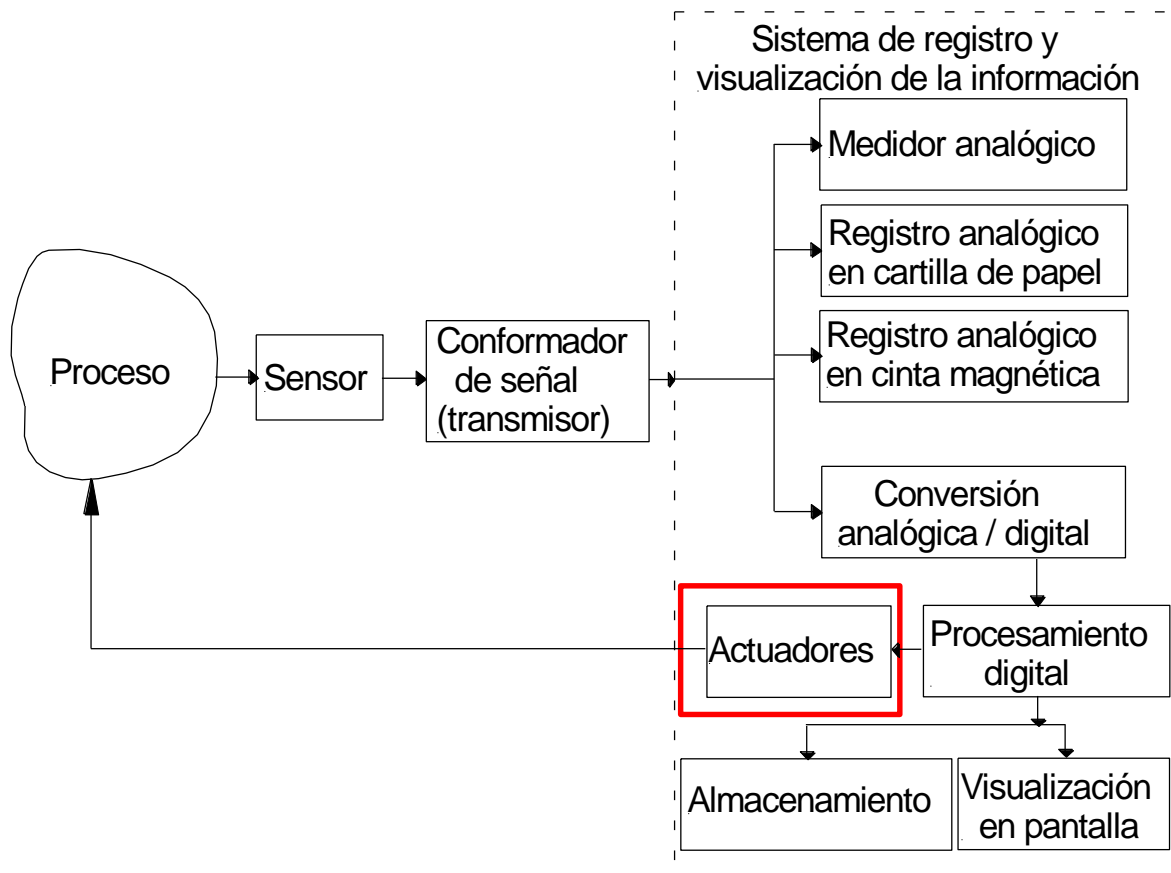
## SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

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 (\*)**

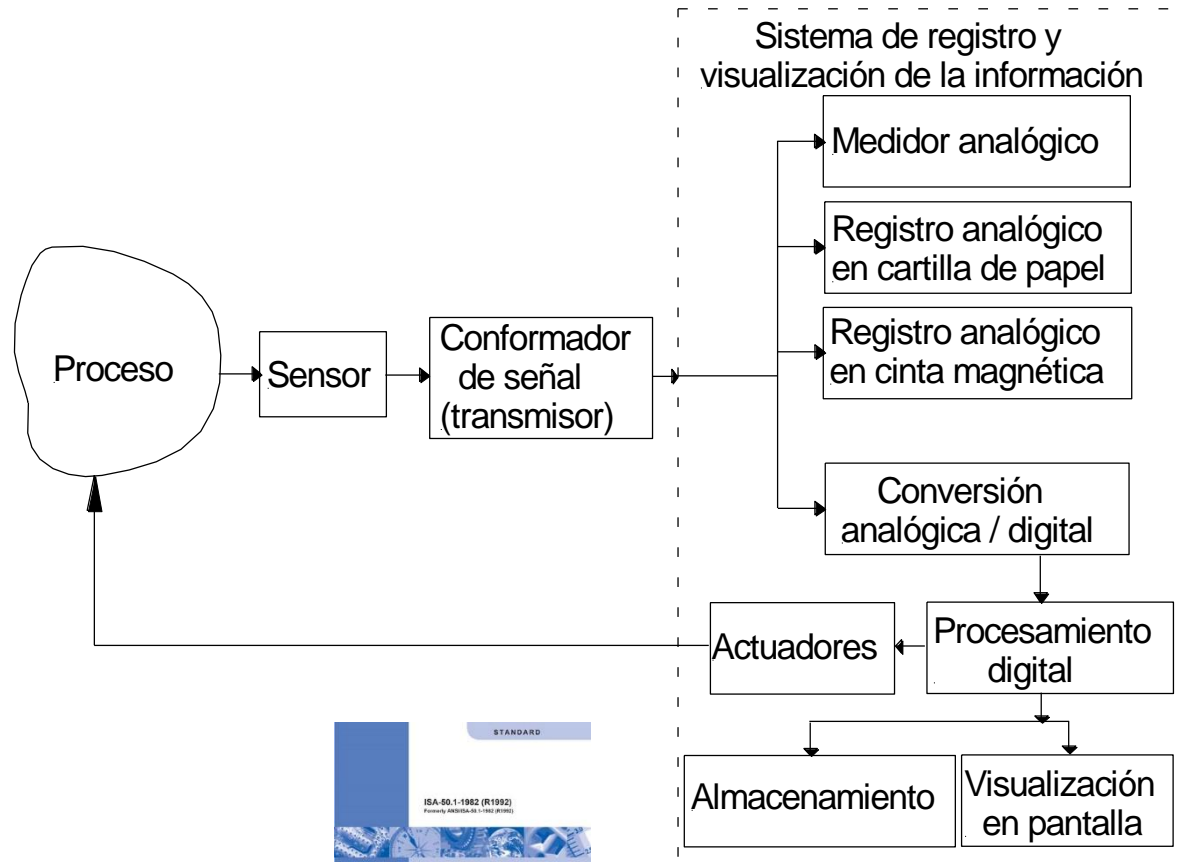
**Conversión A/D**

**Procesamiento**

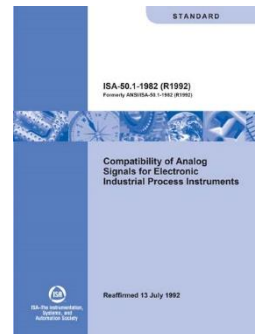
**Visualización**

**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.

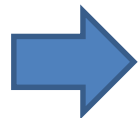
## TRANSDUCTOR

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.

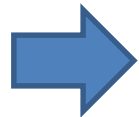
Para no aumentar dicha confusión, aceptaremos estas definiciones como una sola, prefiriendo la palabra **transductor** debido a las aplicaciones que se verán.

## CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSDUCTORES



### ACTIVOS

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

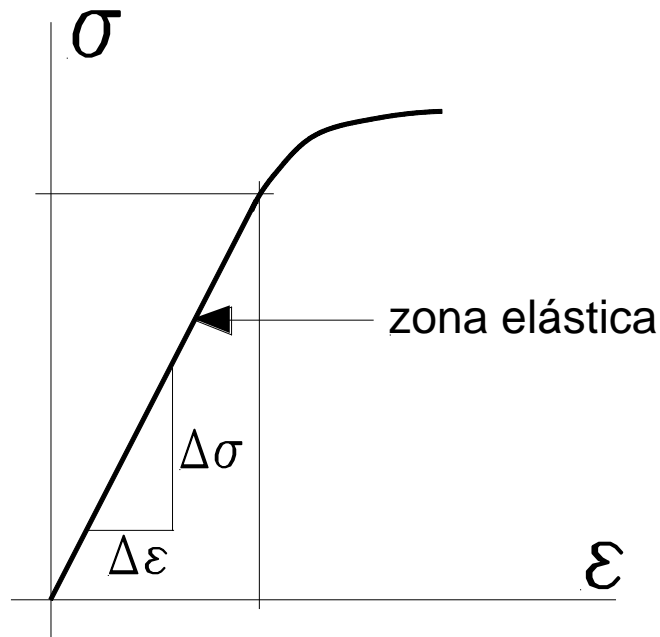


### PASIVOS

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



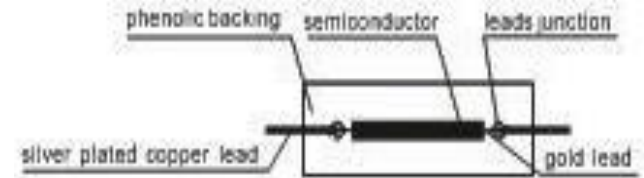
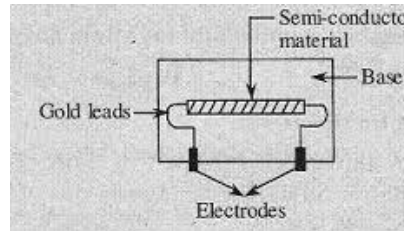
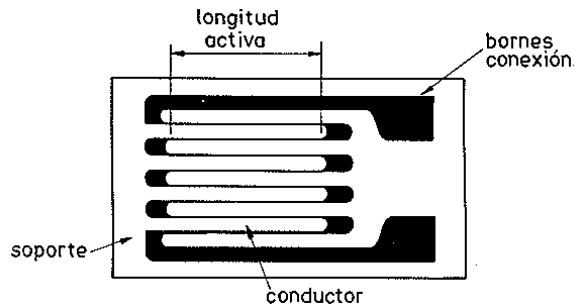
$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} = \left[ \frac{\mu\text{m}}{\text{mm}} \right]$$

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

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

## 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

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



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

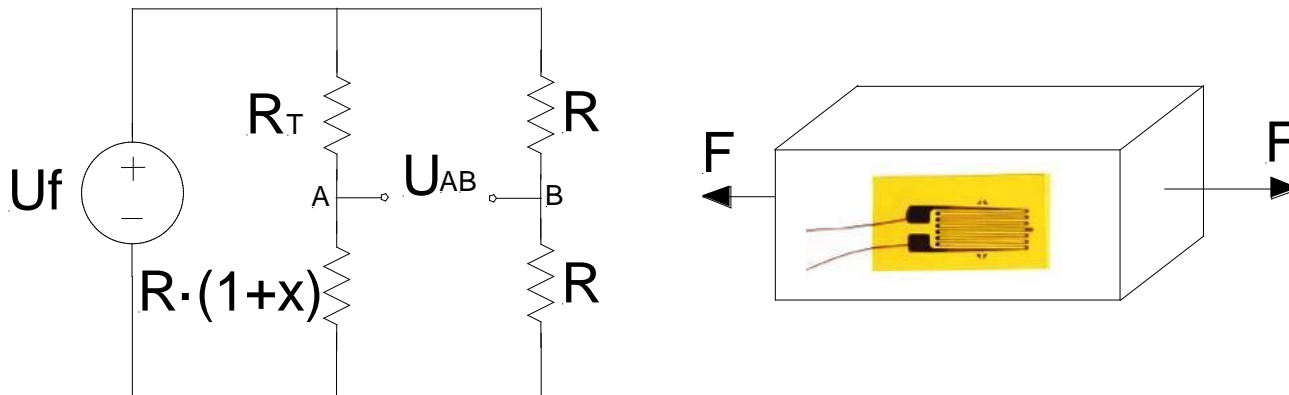
*Factor de la galga*

Tipo de galga Característica	Metálicas	Semiconductoras
Precisión [%]	0,1	1
Factor	2	50 a 200
Alargamiento [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]	$20.000 \times 10^{-6}$	$5.000 \times 10^{-6}$
Resistencia nominal [ $\Omega$ ]	120; 350; 600; 1.000	120

## TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

### GALGA EXTENSOMÉTRICA - Aplicación

Una sola resistencia variable

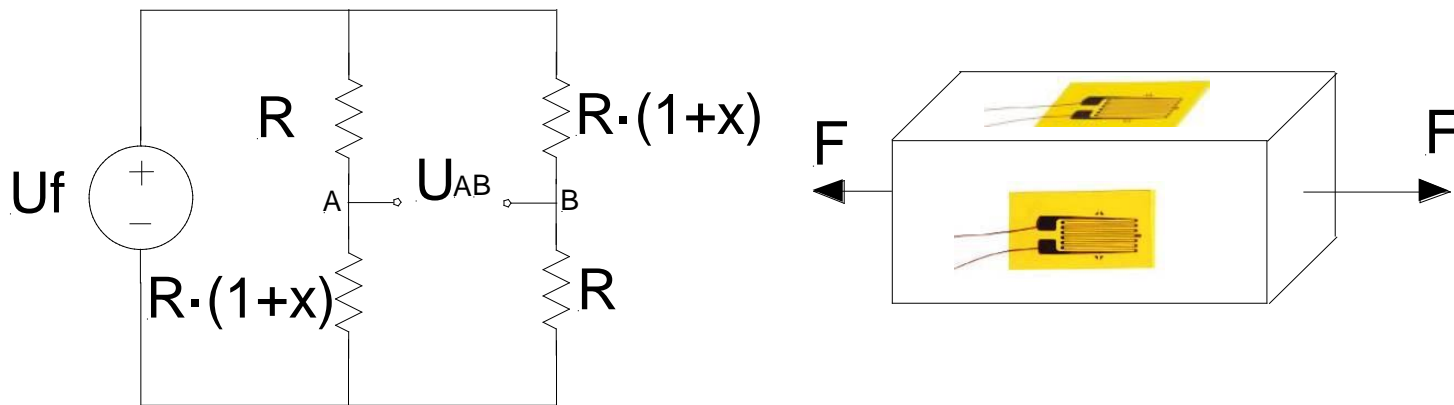


$$U_{AB} = \frac{U_f \cdot x}{4 \left( 1 + \frac{x}{2} \right)} = \frac{U_f \frac{\Delta R}{R}}{4 + 2 \frac{\Delta R}{R}} = \frac{U_f \cdot k \cdot \epsilon}{4 + 2 \cdot k \cdot \epsilon} \approx \frac{U_f \cdot k \cdot \epsilon}{4}$$

## 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?

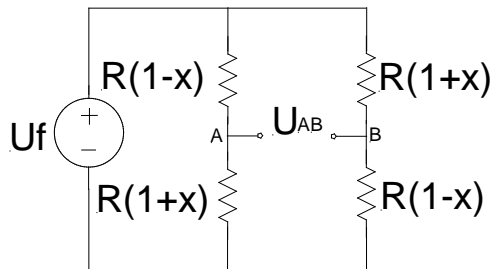
Si no, ¿en qué otro?



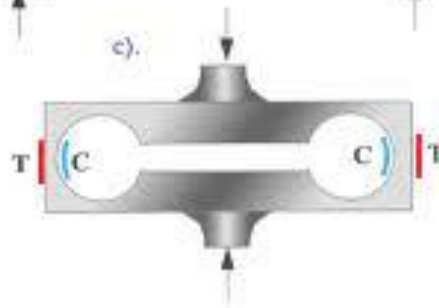
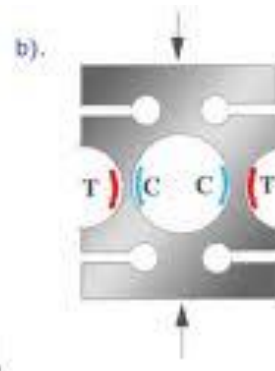
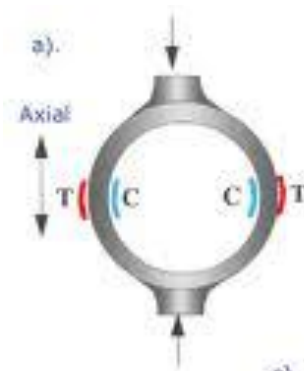
## TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

### GALGA EXTENSOMÉTRICA - Aplicación

Aplicación típica de cuatro resistencias variables



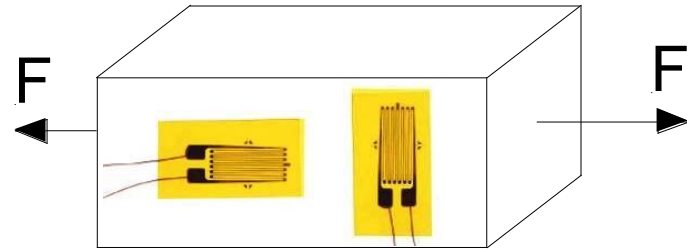
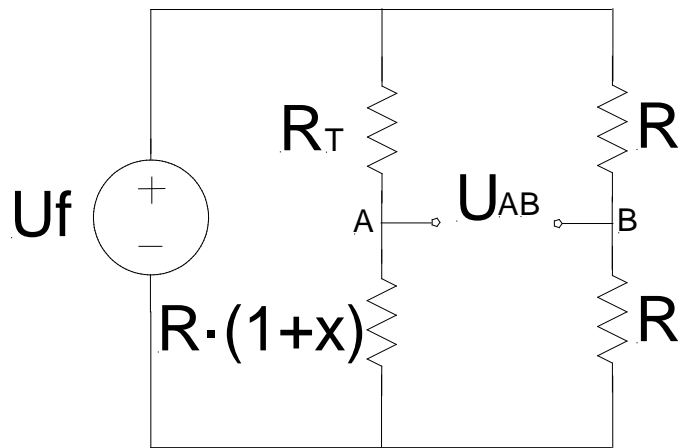
$$U_{AB} = U_f \cdot x$$



## TRANSDUCTORES DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

### GALGA EXTENSOMÉTRICA - Aplicación

#### Compensación por temperatura



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



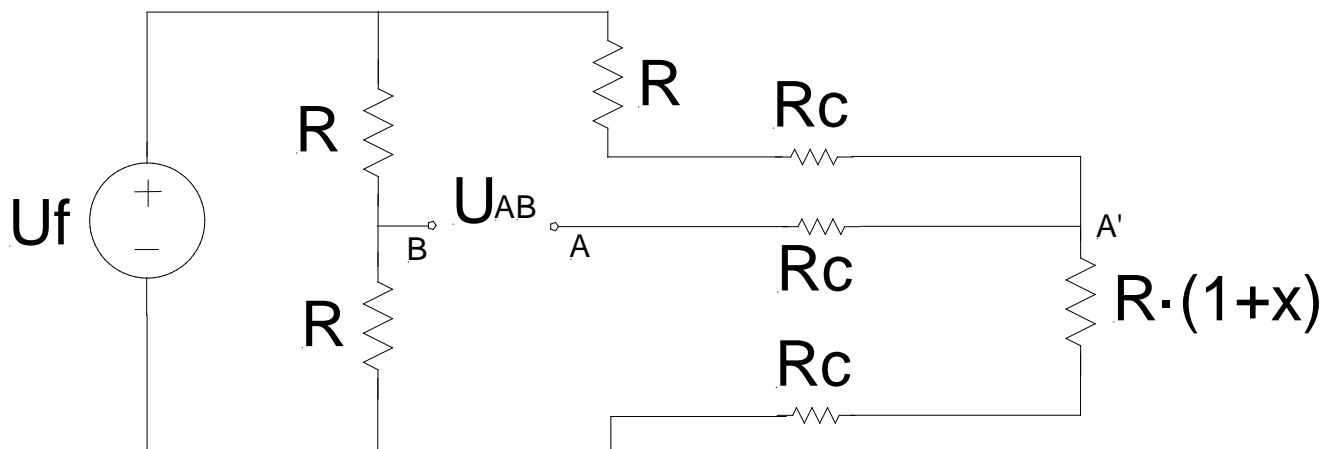
En reposo  $R_T = R(1+x) = R$  (pues  $x = 0$ )

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



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

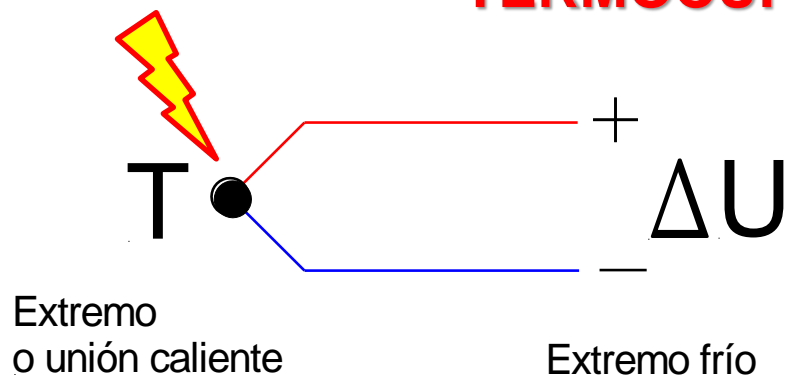


¿Qué ocurre en reposo ( $x = 0$ )?

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



## TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA TERMOCUPLA (TERMOPAR)



**Efecto SEEBECK**



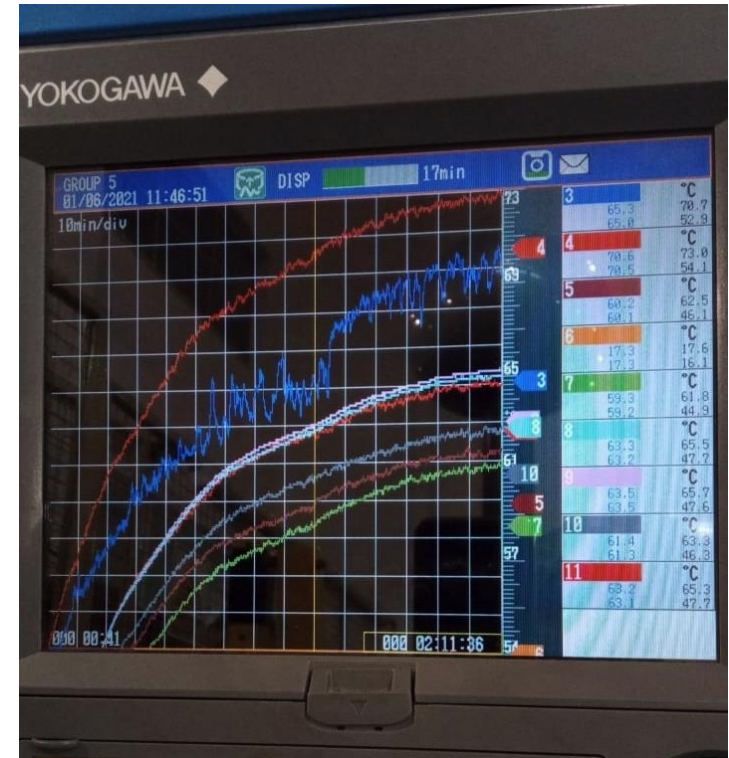
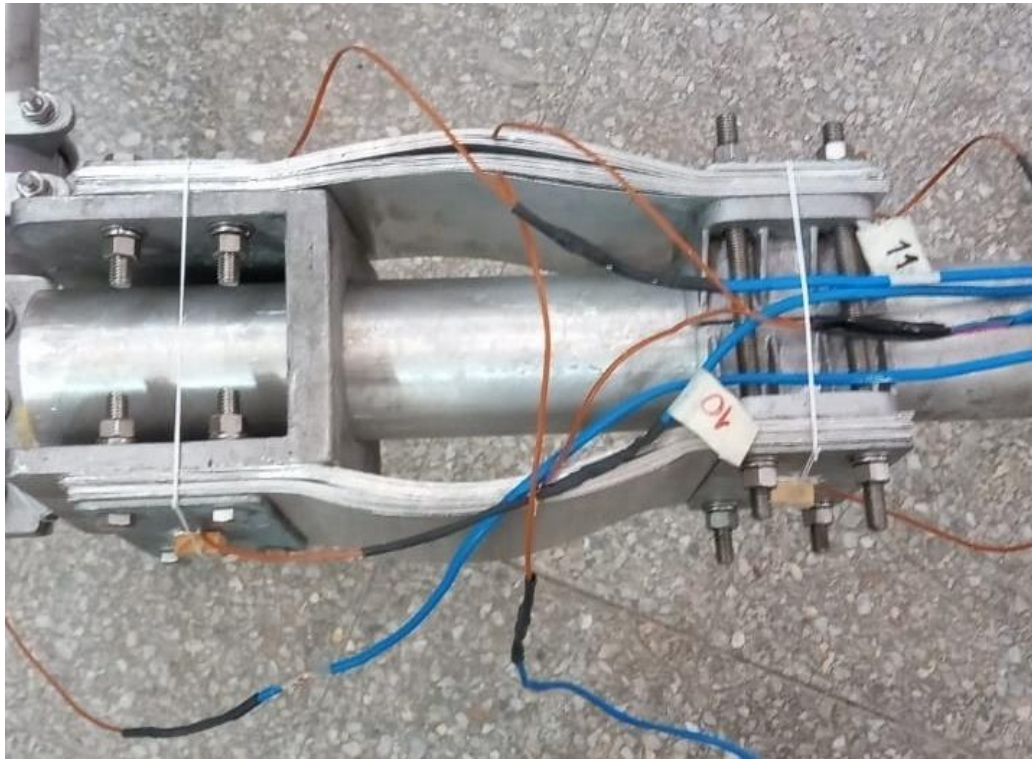
$\Delta U$  [mV] en el extremo frío

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)

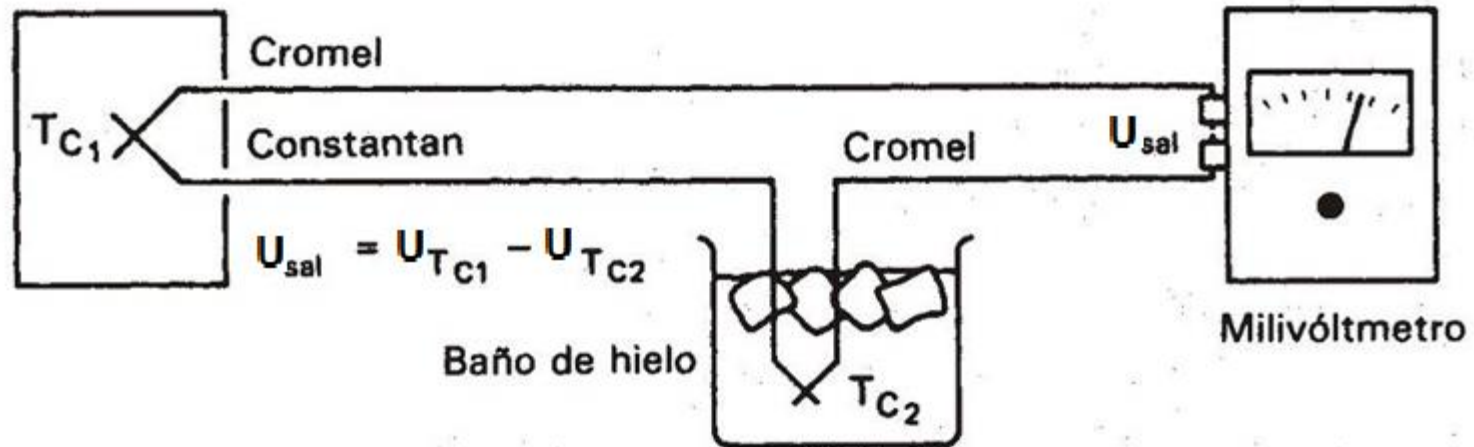


## TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA TERMOCUPLA (TERMOPAR)

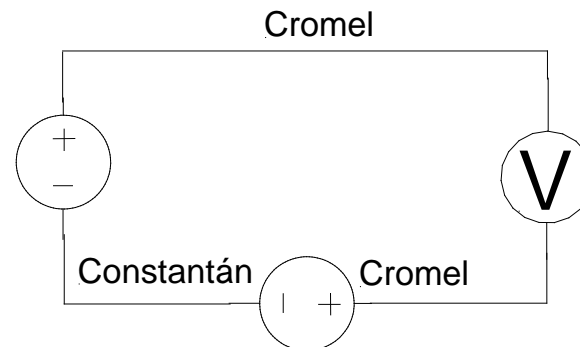


## TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA TERMOCUPLA (TERMOPAR)

### Aplicación elemental típica



Esquema eléctrico





## TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA TERMORRESISTORES (RTD)

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

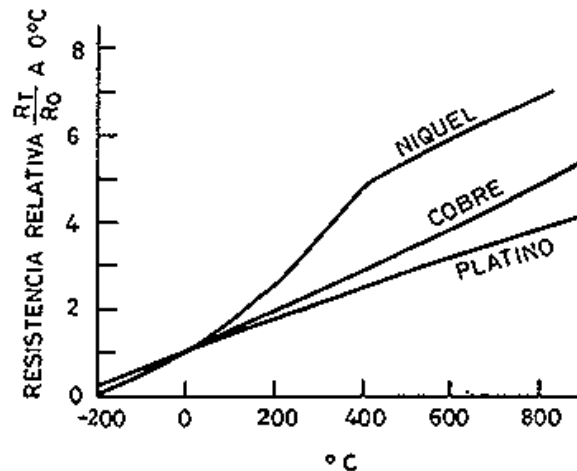
si la relación R-T no es lineal



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

Comparación de los  
coeficientes de  
temperatura de diferentes  
materiales para RTD

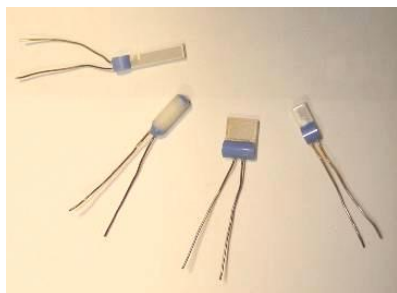
Material	Rango de temperatura (°C)	TC (%/°C)@25°C
Platino	-200 a +850	0.39
Níquel	-80 a +320	0.67
Cobre	-200 a +260	0.38
Níquel-hierro	-200 a +260	0.46



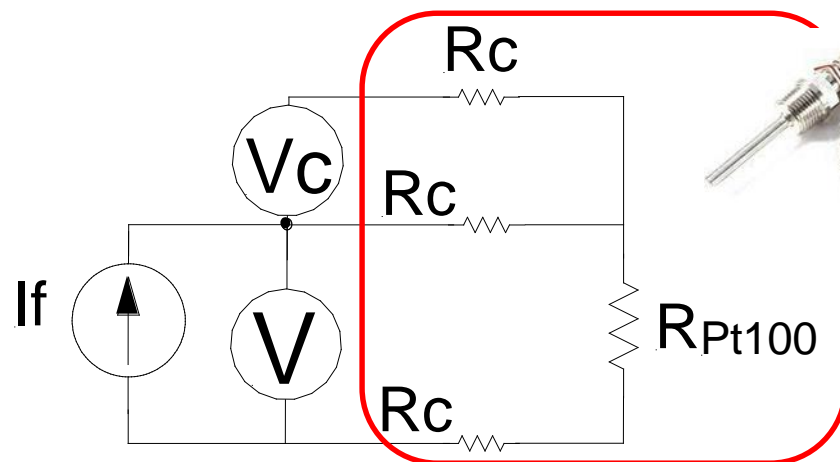
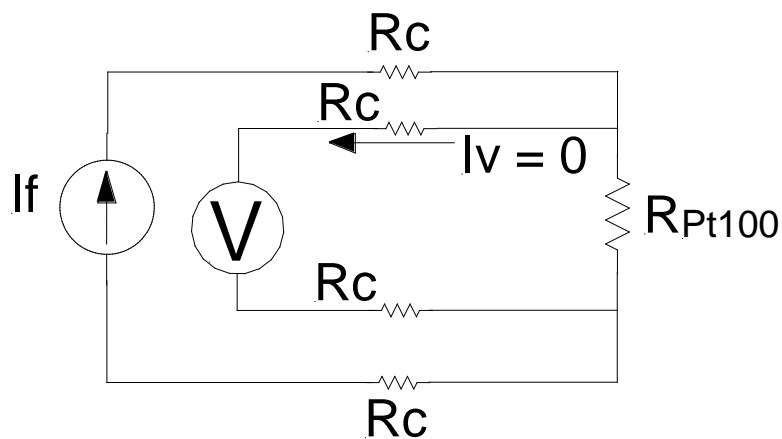


## TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA TERMORRESISTORES (RTD)

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  $-100^{\circ}\text{C}$  a  $+300^{\circ}\text{C}$  (termistores NTC).

Una aproximación general utilizada frecuentemente:

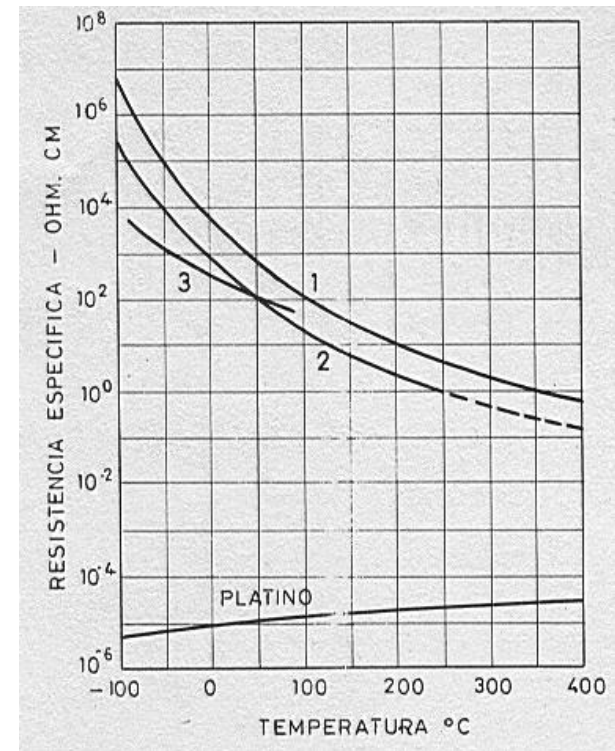
$$R_T = A \cdot e^{\beta \left( \frac{1}{T} \right)} \Rightarrow R_T = R_0 \cdot e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

$R_T$ : resistencia del termistor en  $\Omega$  @  $T$  en [K]

$A$ : coeficiente del termistor en  $\Omega$

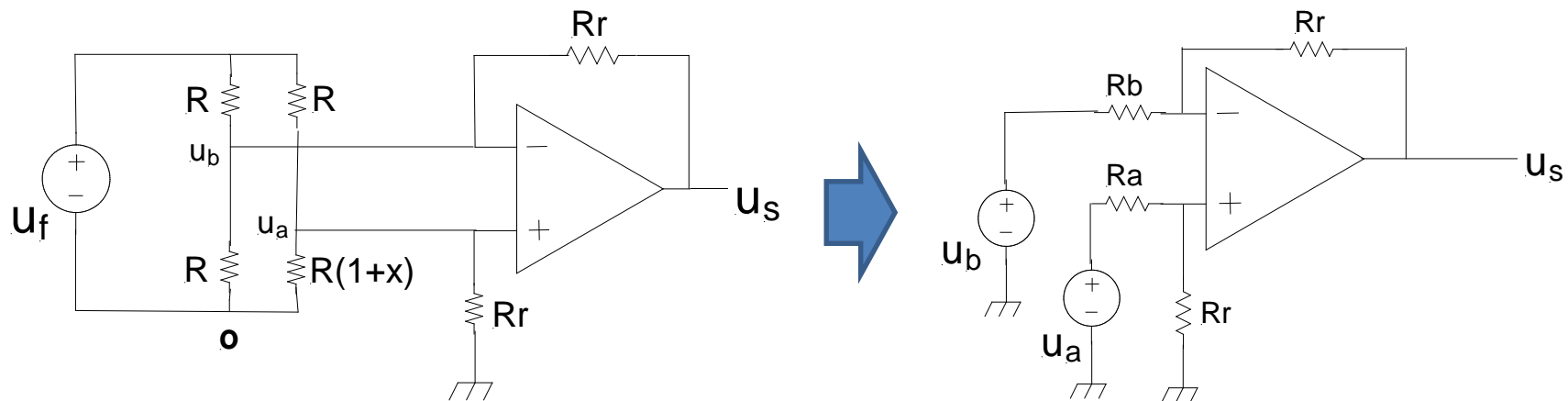
$\beta$ : constante de ajuste de curva (entre 2000 y 4000 en [K])

$R_0$ : resistencia del termistor en  $\Omega$  @  $T_0$  en [K]



## PUENTE DE WHEATSTONE + AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

*Una sola resistencia variable*



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

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

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

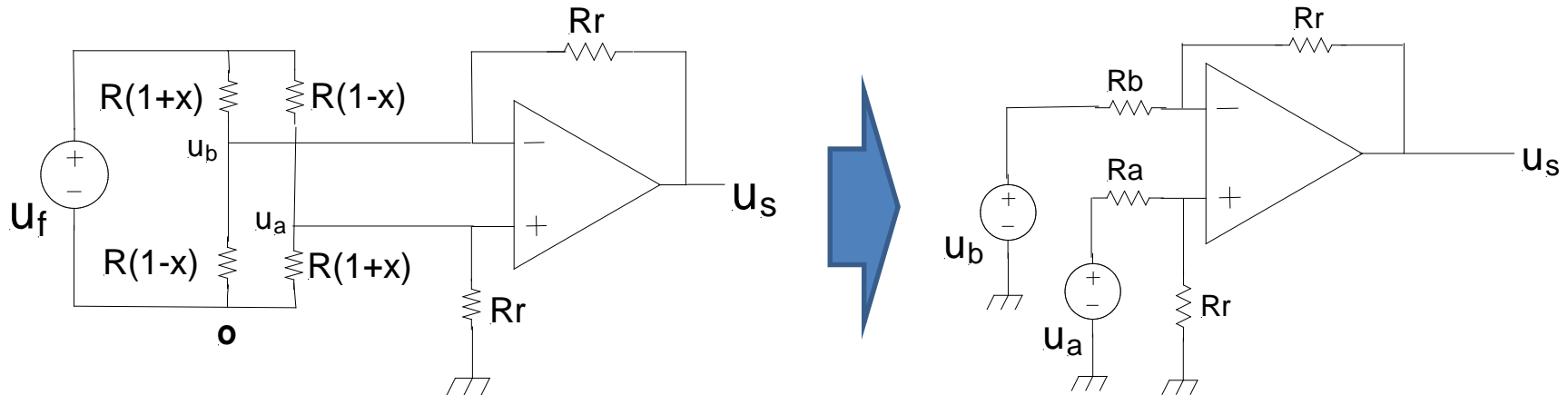
$$R_b = \frac{R}{2}$$

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

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

## PUENTE DE WHEATSTONE + AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

*Las cuatro resistencias variables*



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

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

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

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

## RESUMEN

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