



SENSORES Y ACONDICIONADORES

TEMA 4 (1)

SENSORES RESISTIVOS **(Potenciómetros y Galgas)**

Profesores: Enrique Mandado Pérez
Antonio Murillo Roldan



SENSORES RESISTIVOS

Sensores cuyo principio físico de funcionamiento es la variación de la resistencia eléctrica de un componente eléctrico o electrónico. Según la variable física que hace variar la resistencia se clasifican en [PALL 03 pag. 54] [PERE O4 pag. 191]:

- Potenciómetros (*Potentiometers*)
- Galgas extensométricas (*Strain gages*)
- Sensores de temperatura de resistencia metálica o RTD (*Resistance Temperature Detectors*)
- Termistores [*Thermistors (Thermal Resistors)*]
- Magnetorresistencias (*Magnetoresistors*)
- Fotorresistencias o LDR (*Light Dependent Resistors*)
- Higrómetros (*Hygrometers*)
- Sensores y detectores de gases
- Sensores de conductividad de líquidos

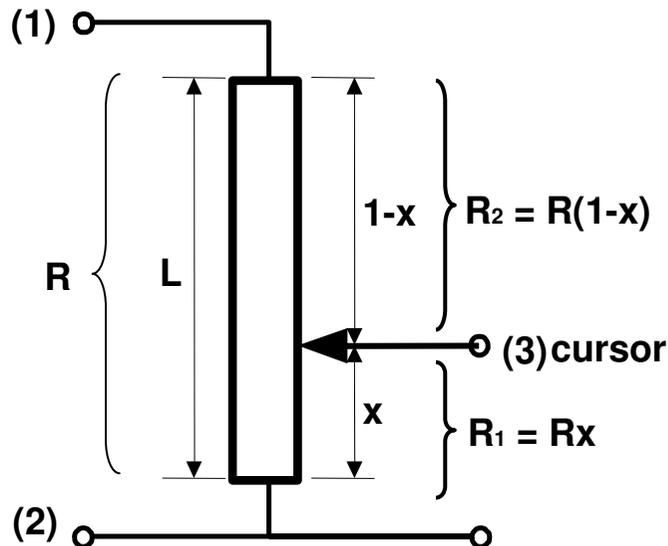


POTENCIÓMETROS (*POTENTIOMETERS*)

Componente eléctrico cuya resistencia es función del desplazamiento de un elemento móvil. Consiste en una resistencia fija con un contacto móvil deslizante lineal o giratorio (cursor) que lo divide eléctricamente.

Los potenciómetros pueden ser *lineales* (Variación constante por unidad de longitud), *logarítmicos*, *antilogarítmicos*, *senoidales*, etc.

La magnitud de entrada (x) es la posición del cursor con respecto uno de los terminales (2). El valor de la resistencia entre el cursor (3) y dicho terminal (2) es la variable de salida.



$$R_1 = \frac{\rho}{A} L x = R x$$

en la cual:

ρ : resistividad del material

A : sección transversal del resistor

L : longitud del resistor

x : fracción recorrida de la longitud de la resistencia entre los terminales (1) y (2)



POTENCIÓMETROS [PALL 03 pag. 54] [PERE O4 pag. 191]

Desde el punto de vista dinámico, es un sistema lineal de orden cero, pero puede formar parte de un sensor lineal de orden superior (sistema masa-resorte).

CONDICIONES DE VALIDEZ DEL MODELO ESTÁTICO

- La resistencia es uniforme a lo largo de todo el recorrido.
En general la resistencia no es perfectamente uniforme y tampoco lo es la linealidad.
- El contacto del cursor proporciona una variación continua de la resistencia (resolución infinita) y no a saltos.
Esto no es cierto para todos los tipos de potenciómetros.
- La inductancia y la capacidad son despreciables. La inductancia no es a veces despreciable, en particular si se trata de potenciómetros de resistencia bobinada. La capacidad parásita puede ser apreciable cuando el valor de R es elevado.



POTENCIÓMETROS

CONDICIONES DE VALIDEZ DEL MODELO ESTÁTICO

- La temperatura del potenciómetro permanece constante. Esto no se cumple siempre porque el valor de las resistencias depende de la temperatura. La variación de la temperatura puede ser debida a las fluctuaciones de la temperatura ambiente o al autocalentamiento producido por la potencia disipada en el propio potenciómetro.

$$(V_2 / R)$$

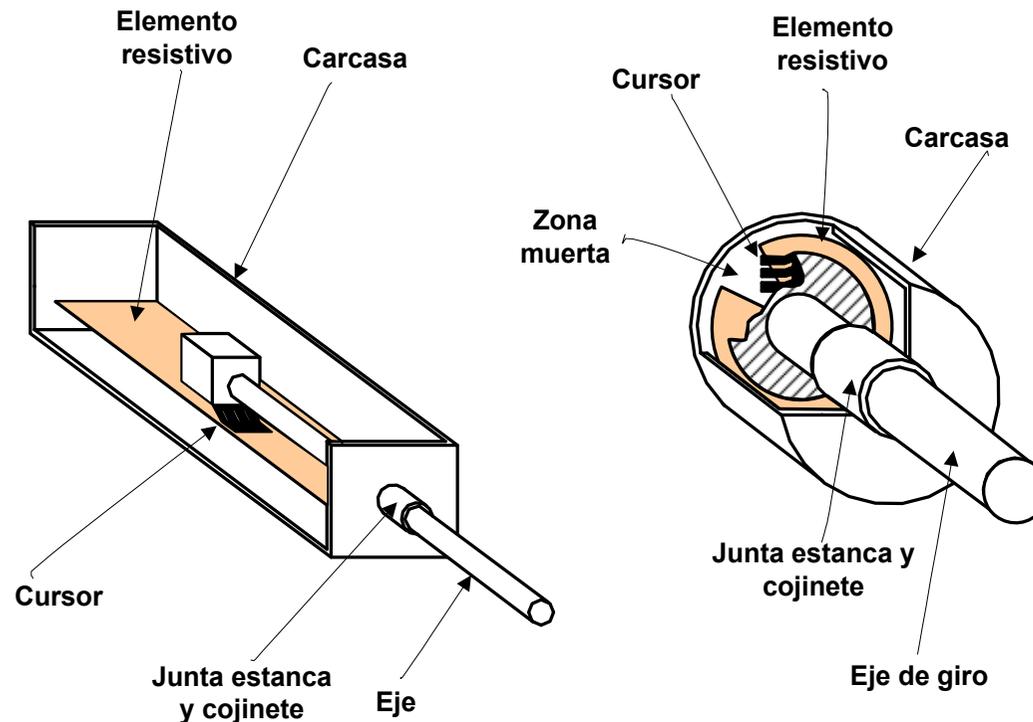
- Si el circuito que carga al potenciómetro no tiene una **impedancia de entrada suficientemente alta** puede haber calentamiento excesivo en determinadas zonas del mismo.



POTENCIÓMETROS

Tipos de potenciómetros

La resistencia puede ser una pista recta o circular y el cursor es una pieza móvil que se desliza sobre ella. Los potenciómetros circulares pueden ser de una vuelta o multivuelta [PERE O4].



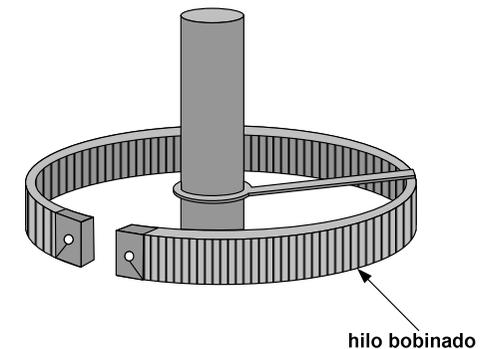


POTENCIÓMETROS

Tipos de potenciómetros

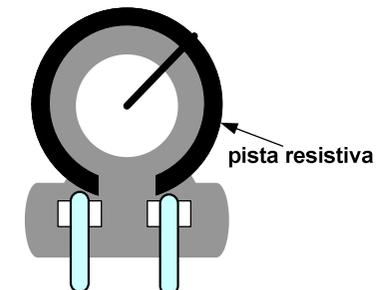
- De hilo bobinado (*Wirewound*)

El elemento resistivo es un hilo (aleaciones Ni-Cr, Ni-Cu, metales nobles) arrollado sobre un soporte aislante (cerámico). Poseen una alta inductancia y una baja resolución (1 / número de espiras). Tienen un coeficiente de temperatura pequeño. Actualmente solo se usan como reostatos.



- No bobinado (*Nonwirewound*)

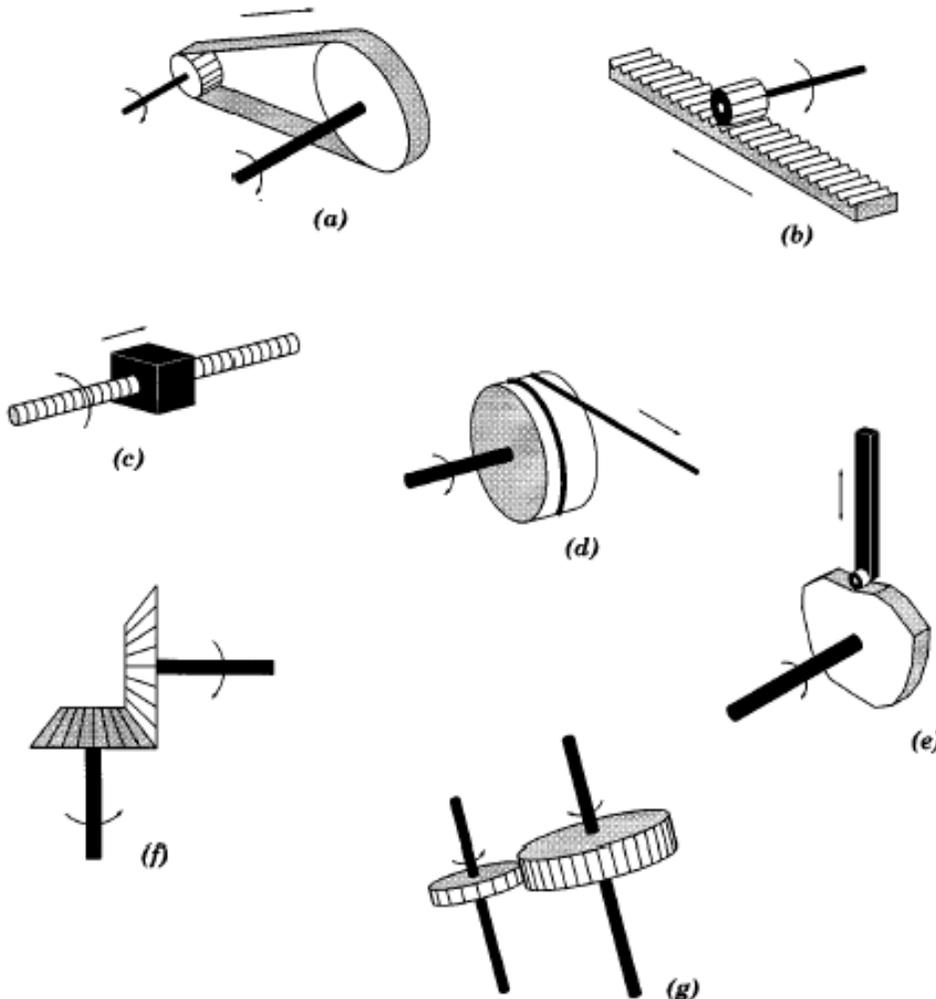
El elemento resistivo es una pista de Cermet (aleación de cerámica y metal), carbón, plástico conductor, metal o una combinación de ellos. Tienen elevada resolución y reducida inductancia y capacidad parásita.





POTENCIÓMETROS

Mecanismos de accionamiento de los sensores potenciométricos



- a) Correa y polea (*Belt and pulley*)
- b) Cremallera y piñón (*Rack and pinion*)
- c) Tornillo de avance (*Lead-screws*)
- d) Tambor con cable (*Cabled drum*)
- e) Leva (*Cam*)
- f) Engranaje biselado (*Bevel gear*)
- g) Engranaje recto (*Spur gear*)

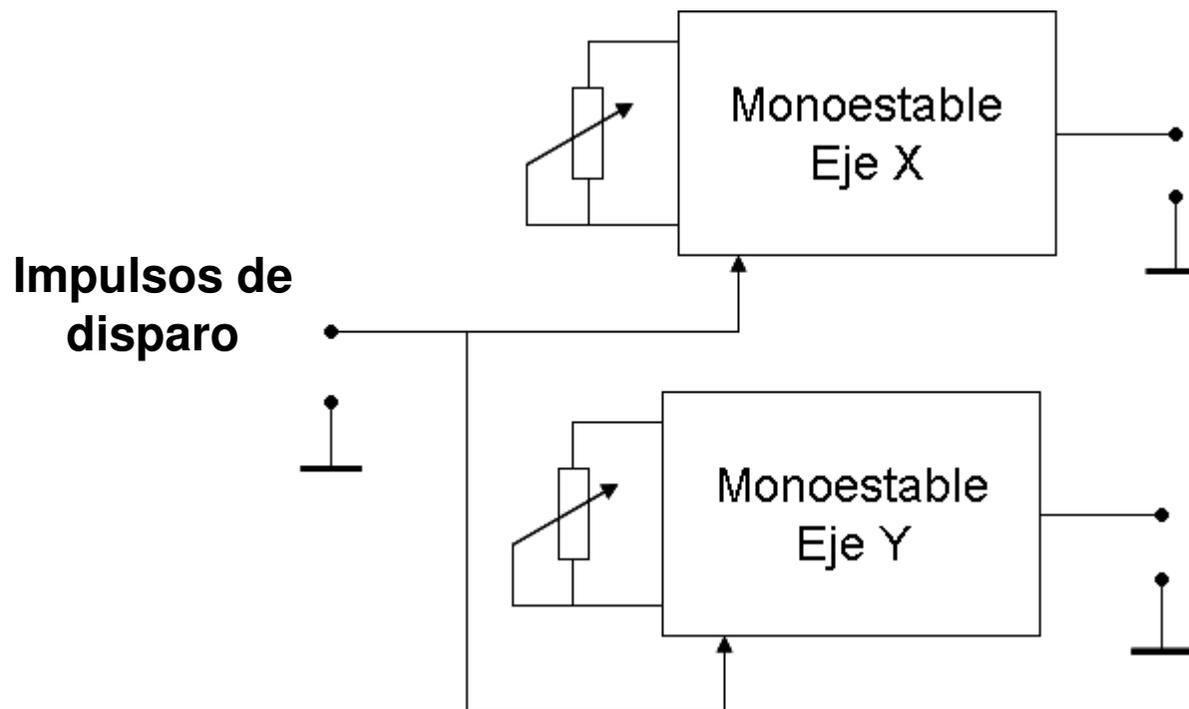


POTENCIÓMETROS

Aplicaciones

- Medida de desplazamientos lineales o angulares.
- Medida de magnitudes físicas que se pueden convertir en un desplazamiento: fuerza, presión, nivel, inclinación, etc.

Ejemplo: Sensor de posición (*Joystick*). Medida de un desplazamiento



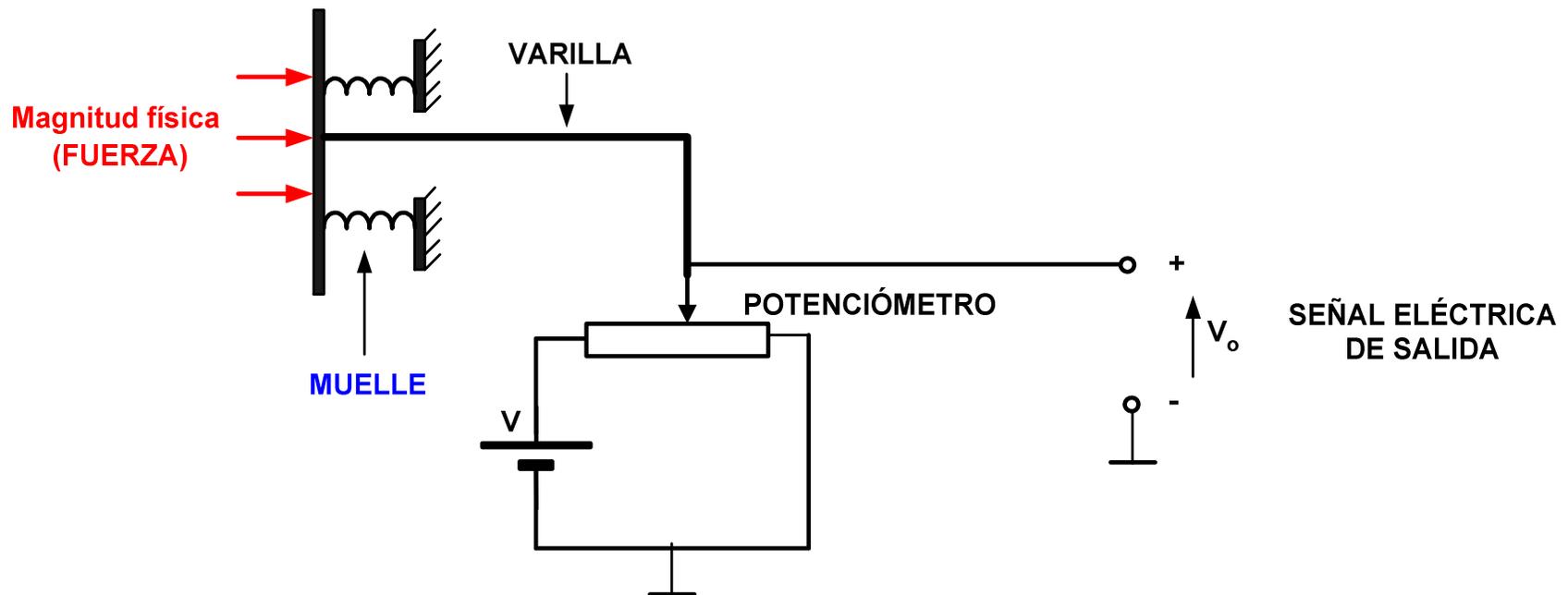


POTENCIÓMETROS

Aplicaciones

-Medida de desplazamientos lineales o angulares

Ejemplo: Sensor de fuerza. Conversión de una fuerza en un desplazamiento



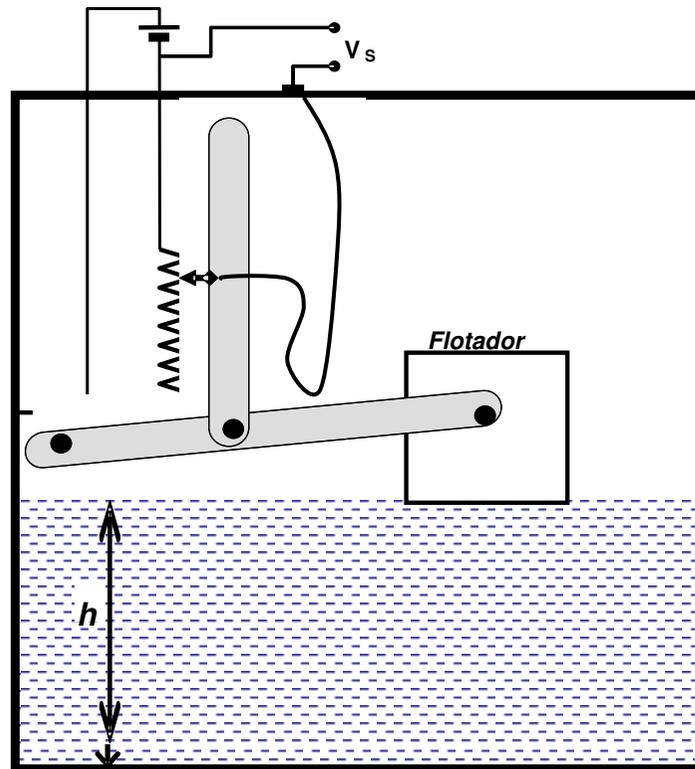


POTENCIÓMETROS

Aplicaciones

-Medida de magnitudes físicas que se pueden convertir en un desplazamiento: fuerza, presión, nivel, inclinación, etc.

Ejemplo: Boya (Sensor de nivel). Conversión de un nivel en un desplazamiento





POTENCIÓMETROS (Ejercicios)

1.- Cita tres ventajas y tres inconvenientes de los sensores potenciométricos.

- Ventajas:

- Inconvenientes:

Ventajas:

- Económicos
- Robustos y fiables
- Buena sensibilidad
- Fácil aplicación

Inconvenientes:

- Sensibilidad al ruido eléctrico
- Rápido envejecimiento
- Poca protección (polvo, agua)
- Voluminosos
- Difícil integración



PIEZORRESISTIVIDAD

Piezorresistividad

Propiedad de algunos materiales conductores y semiconductores, cuya resistencia cambia cuando se los somete a un esfuerzo mecánico (tracción o compresión) que los deforma.

Dicho cambio es debido a la variación de la distancia interatómica (en el caso de los metales) y a la variación de la concentración de portadores (en el caso de los semiconductores).

La resistencia de los materiales piezorresistivos depende de la temperatura (especialmente en el caso de los semiconductores).



GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (*STRAIN GAGES*)

[PALL 03 pag. 60] [PERE 04 pag. 227]:

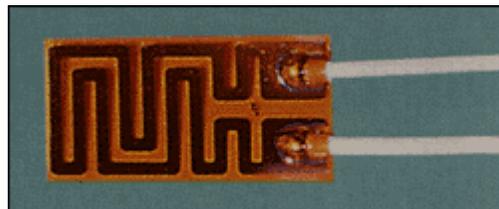
Definición

Elementos sensores basados en la piezorresistividad.

Tipo de material utilizado

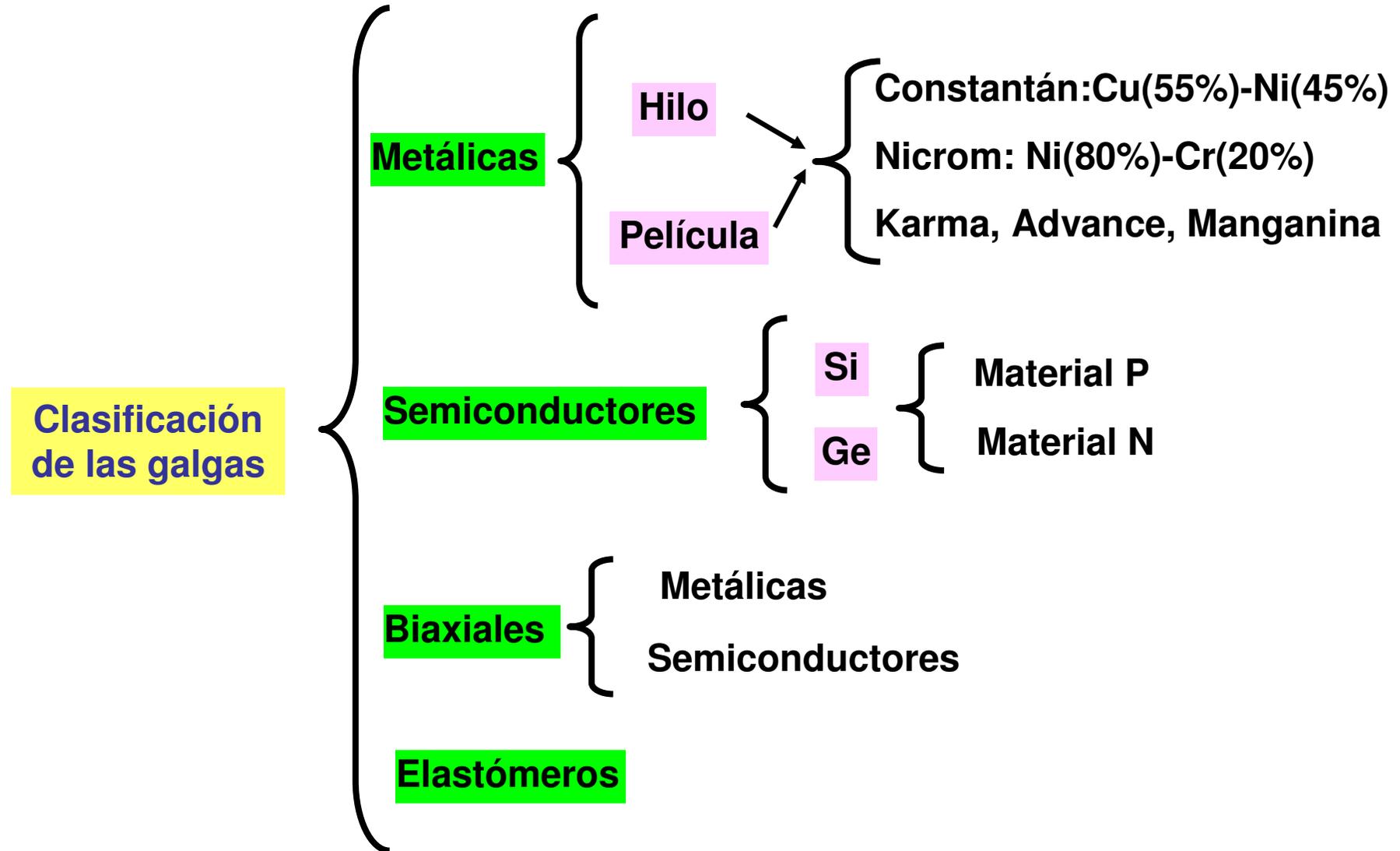
- Aleaciones metálicas como por ejemplo el constantan (Cu-Ni) y el nicróm (Cr-Ni).
- Semiconductores (Si, Ge).

En la actualidad se utilizan principalmente las galgas metálicas porque la deposición de un metal sobre un soporte flexible es muy sencilla y tienen menor coste (entre 10 y 20 veces más baratas). Además, las semiconductoras tienen mayor sensibilidad térmica.





GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (*STRAIN GAGES*)





GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (*STRAIN GAGES*)

CONSIDERACIONES IMPORTANTES

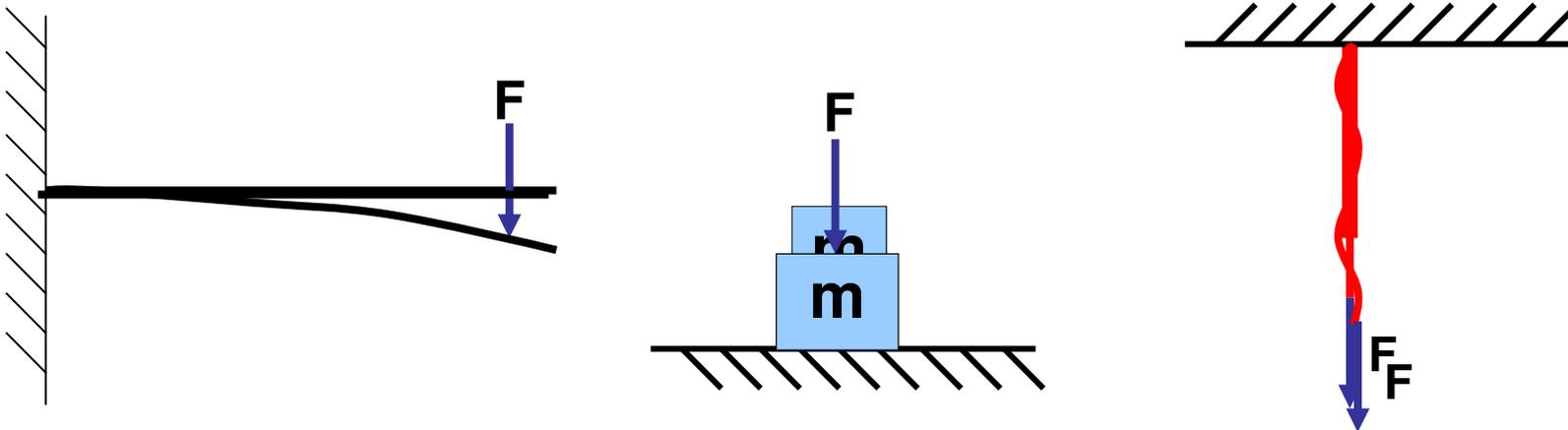
No existen cuerpos perfectamente **rígidos o indeformables**.

Todos los cuerpos **sufren deformaciones** bajo la acción de una fuerza.

Los materiales que recuperan sus dimensiones originales cuando cesan los esfuerzos se denominan **elásticos**.

Los que conservan la deformación se denominan **plásticos**.

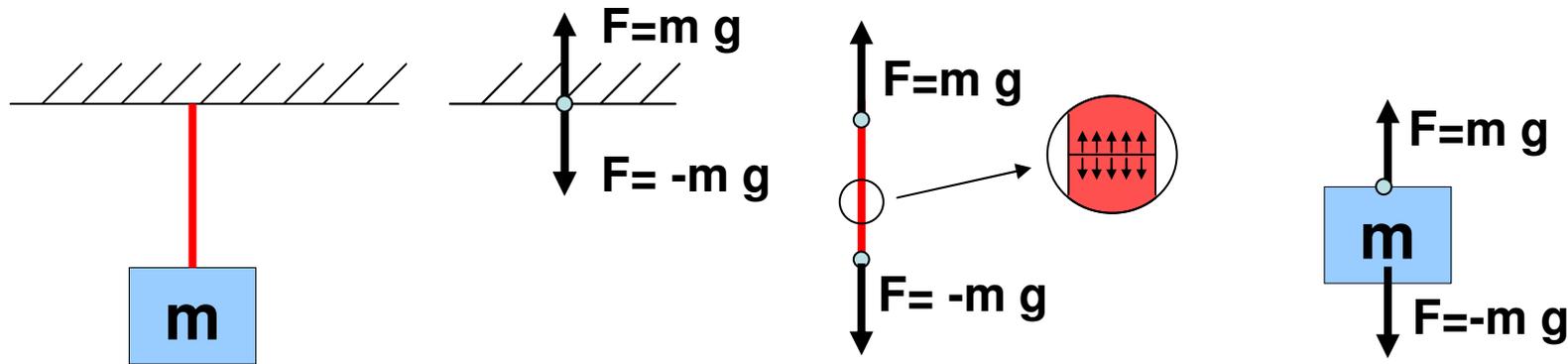
Si el esfuerzo supera cierto límite el material se **rompe**.





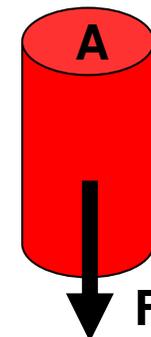
GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (STRAIN GAGES)

Un cuerpo está en **equilibrio** cuando la resultante de todas las fuerzas y todos los momentos que actúan sobre él es cero.



La **tensión mecánica o esfuerzo** es la fuerza distribuida a través de la sección recta transversal

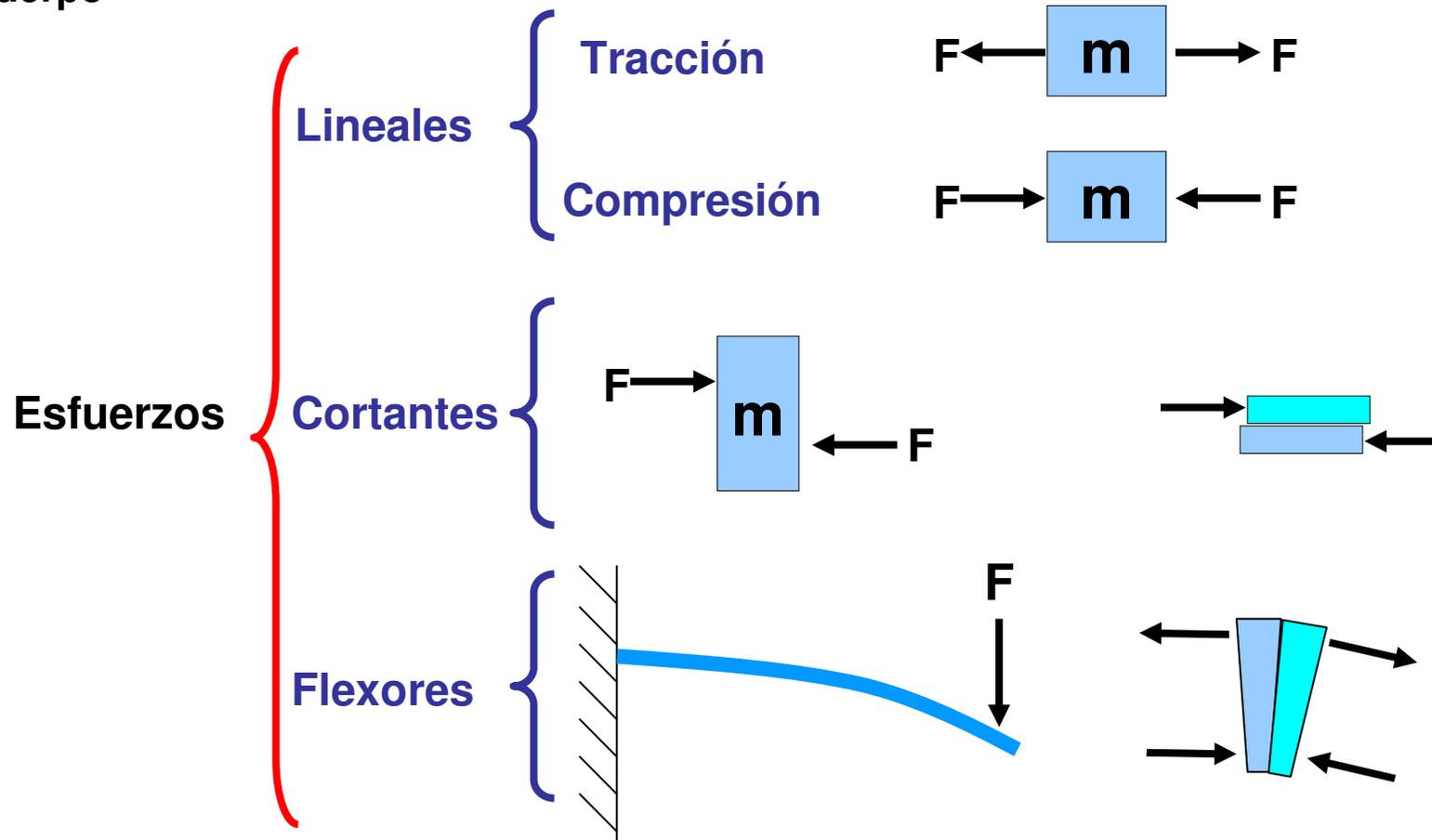
$$\sigma = F / A$$





GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (*STRAIN GAGES*)

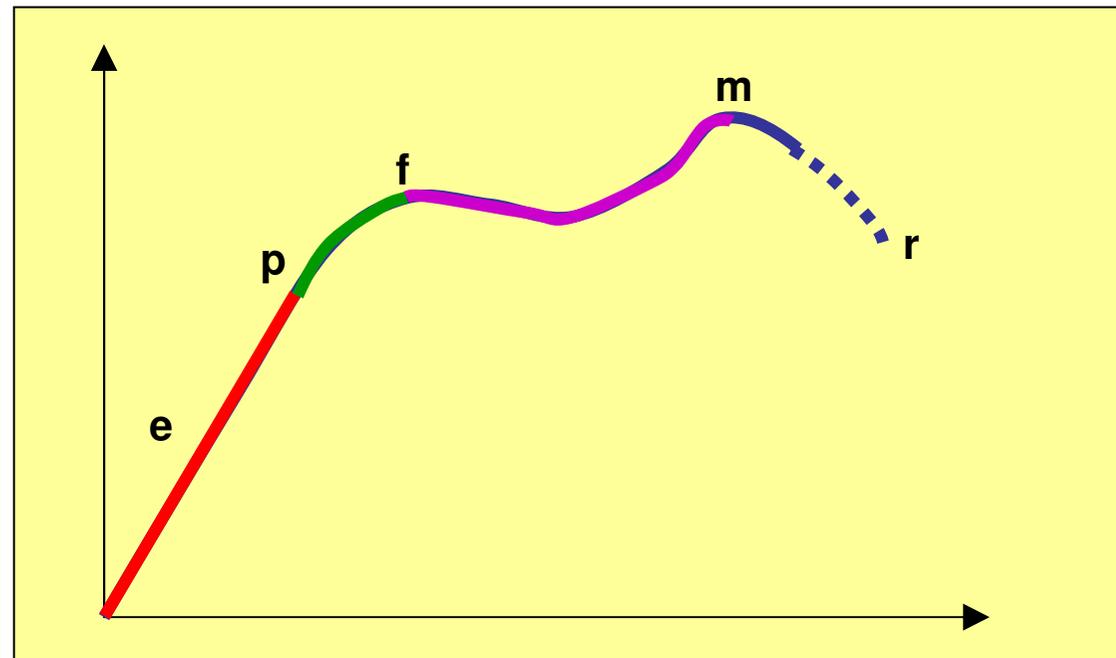
El límite de rotura es el máximo esfuerzo que se puede aplicar sin que se rompa un cuerpo





GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (*STRAIN GAGES*)

Curva de deformación de un material



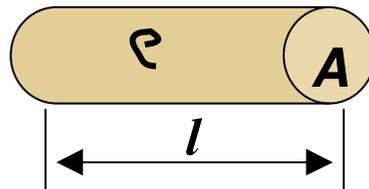
- (e) **Zona elástica:** Hay proporcionalidad entre deformación y esfuerzo.
- (p) **Límite de proporcionalidad:** zona en la que no hay proporcionalidad.
- (f) **Límite de fluencia:** zona partir de la cual el material se estira con poco esfuerzo y no se recupera.
- (m) **Resistencia máxima:** zona a partir de la cual el material se rompe en (r).



GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (STRAIN GAGES)

Galgas metálicas

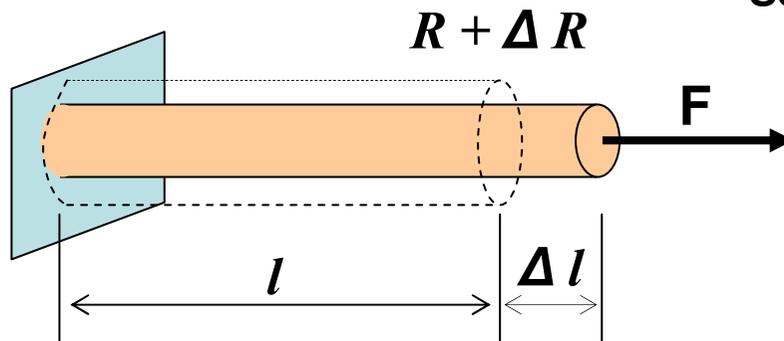
La resistencia eléctrica R de un hilo metálico de longitud L , sección A y resistividad ρ es:



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

Si se somete a un esfuerzo en dirección longitudinal, cada una de las tres magnitudes experimenta un cambio y por lo tanto R también se modifica: $R + \Delta R$.

Se denomina deformación unitaria:



$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Se denomina microdeformación:

$$1 \mu\epsilon = 10^{-6} \epsilon$$

La variación unitaria de resistencia:

$$\frac{\Delta R}{R}$$



GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (*STRAIN GAGES*)

Galgas metálicas

Si no se entra en la región plástica, el cambio de longitud que resulta de aplicar una fuerza F a una pieza unidimensional (como por ejemplo una barra delgada o un hilo), viene dado por la **ley de Hooke**.

$$\Delta l = \frac{F l}{A E}$$

(Ec. 2)

que equivale a:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{A E}$$

(Ec. 3)

en la que E es una constante del material llamada módulo elástico de Young

Se denomina tensión mecánica o esfuerzo (σ) a la fuerza transversal aplicada dividido por la sección de la barra o hilo:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

(Ec. 4)

y según esta ecuación
la ley de Hooke queda:

$$\sigma = \varepsilon E$$

(Ec. 5)



GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (*STRAIN GAGES*)

Galgas metálicas

Se define la constante o factor de galga K como el cociente entre la variación unitaria de resistencia y la deformación. Es una constante característica de cada galga que determina su sensibilidad.

Es función de muchos parámetros, pero especialmente de la aleación empleada en la fabricación.

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

En las galgas de hilo suele tener un valor próximo a 2.

Las galgas de semiconductor posee un *factor de galga* más elevado que el de las metálicas (>10). Unos valores típicos son:

$$\begin{aligned} \text{Material tipo P} &\Rightarrow K = 119,5 \epsilon + 4 \epsilon^2 \\ \text{Material tipo N} &\Rightarrow K = -110 \epsilon + 10 \epsilon^2 \end{aligned}$$



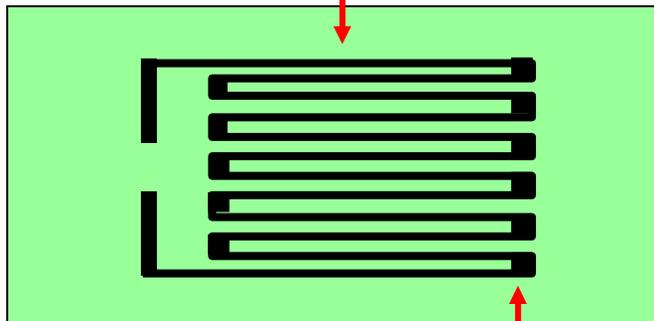
GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (*STRAIN GAGES*)

Galgas metálicas

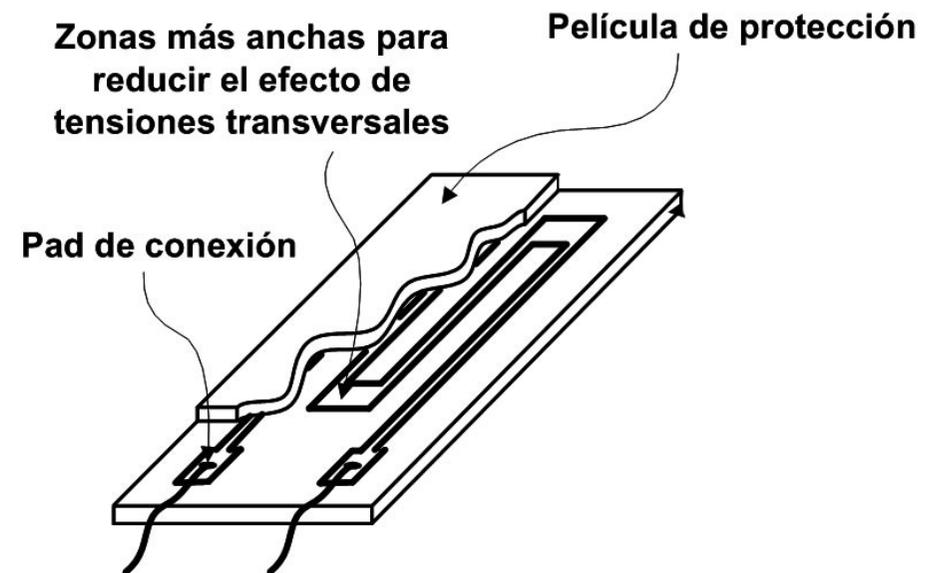
Características constructivas

La sensibilidad de la galga crece al hacerlo su resistencia y decrece al aumentar su sección. Por tanto se debe incrementar el valor de la resistencia sin incrementar la sección, es decir, hay que elevar el valor de la longitud.

Las secciones longitudinales son más delgadas



Las secciones transversales son más gruesas





GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (STRAIN GAGES)

Tipos de galgas metálicas

| Materiales utilizados en galgas metálicas | | |
|---|---|--|
| Material | Características | Aplicaciones |
| Constantán | <ul style="list-style-type: none">• Medidas estáticas• No usar en aplicaciones extremas• Selección compleja (pocos criterios)• Material más usado y muy barato• Autocompensación térmica sencilla | <ul style="list-style-type: none">• Grandes elongaciones (estado plástico de deformación) |
| Isoelastic | <ul style="list-style-type: none">• Gran relación S/N• Precisan control de temperatura | <ul style="list-style-type: none">• Medidas dinámicas• Medida de fatiga |
| Karma | <ul style="list-style-type: none">• Autocompensación térmica sencilla• La soldadura de terminales es compleja | <ul style="list-style-type: none">• Medida a temperaturas bajas• Medida con temperaturas variables o no controladas |
| Aleación Pt | <ul style="list-style-type: none">• Coste alto | <ul style="list-style-type: none">• Medida a altas temperaturas |

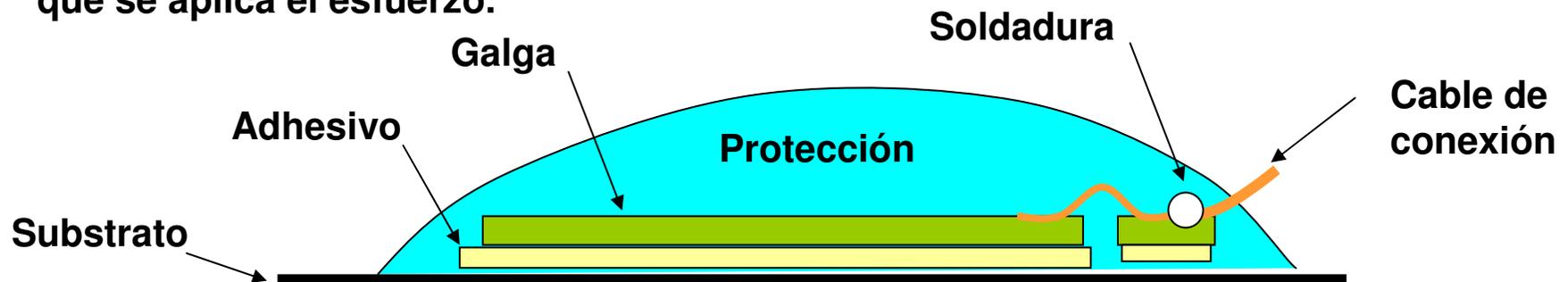
| Materiales utilizados en el soporte de galgas metálicas | | |
|---|---|---|
| Material | Características | Aplicaciones |
| Poliamida | <ul style="list-style-type: none">• Es el soporte estándar• No soporta condiciones extremas de trabajo• Espesor habitual de 0.025mm | <ul style="list-style-type: none">• Medidas estáticas• Aplicaciones habituales |
| Epoxy | <ul style="list-style-type: none">• Minimiza el error introducido por el soporte• Instalación delicada• Requiere mano de obra especializada | <ul style="list-style-type: none">• Medidas precisas |
| Fibra de vidrio reforzada con epoxy | <ul style="list-style-type: none">• Soporta temperaturas moderadas• Soporta muy bien el trabajo a fatiga | <ul style="list-style-type: none">• Medidas cíclicas y de fatiga |



GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

Tal como se indica anteriormente, el esfuerzo aplicado no debe llevar a la galga fuera del margen elástico. Por ello no debe exceder del 1 % de la longitud de la galga que corresponde aproximadamente a 3000 μe para las galgas semiconductoras y a 40.000 μe para las metálicas.

- El esfuerzo debe ser transmitido totalmente a la galga.
- La galga debe estar pegada mediante un adhesivo elástico estable con el tiempo y la temperatura.
- La galga debe estar protegida del ambiente y aislada eléctricamente del objeto al que se aplica el esfuerzo.



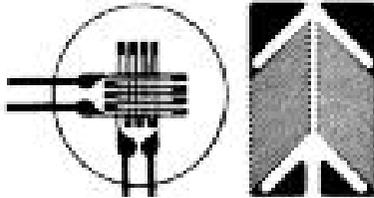


GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

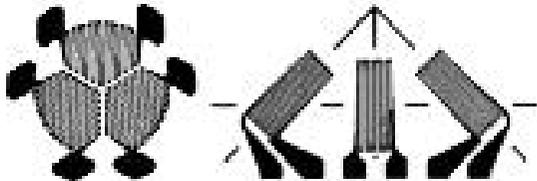
Geometría de las galgas



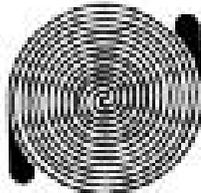
Uniaxiales: Miden deformaciones a lo largo de la galga. Son casi insensibles a las deformaciones transversales.



Rosetas de dos elementos: Miden simultáneamente esfuerzos en dos direcciones.



Rosetas de tres elementos: Se utilizan para determinar la dirección y magnitud de las tensiones que resultan de cargas complejas.



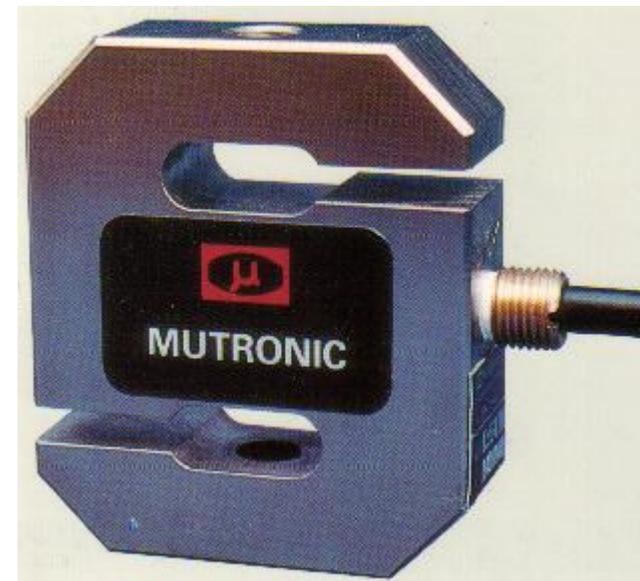
Tangenciales: Diafragma. Se utiliza en membranas, cuando no hay direcciones principales de esfuerzo.



GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

Comercialmente, las galgas se venden integradas en sensores completos denominados células o celdas de carga.

En la **célula de carga (Load cells)**, la galga está adherida a un elemento metálico y suele tener incorporado un circuito electrónico acondicionador basado en un amplificador de instrumentación.

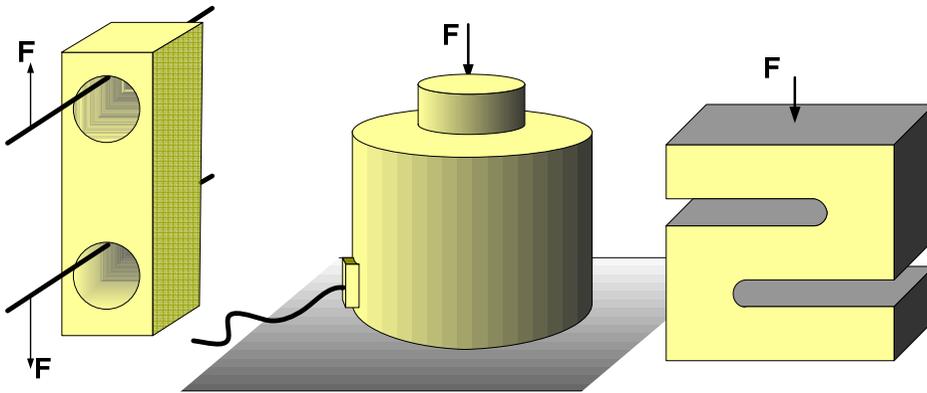




GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

Aplicaciones

Medida de variables que se convierten en una fuerza capaz de provocar deformaciones: fuerza, par, presión, etc. Dos de las aplicaciones más importantes son las medidas de peso y de presión.



Celdas de carga para la medida de peso



Sensor de presión de Siemens basado en una galga extensiométrica



GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

VENTAJAS

- Pequeño tamaño.
- Pueden alimentarse con CC o CA.
- Excelente respuesta en frecuencia.
- Pueden utilizarse en medidas estáticas y dinámicas.
- Se compensan fácilmente en temperatura..
- No son influidas por campos magnéticos.

DESVENTAJAS

- Proporcionan una señal desalida de reducida amplitud.
- Su desplazamiento es reducido.
- Son sensibles a las vibraciones.
- Su estabilidad a lo largo del tiempo depende del envejecimiento de los adhesivos.
- Su fabricación es difícil cuando se quieren medir esfuerzos pequeños.



GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

Limitaciones

- **El esfuerzo aplicado no debe llevar a la galga fuera del margen elástico.**
- **Se necesita una buena adhesión de la galga al soporte, para que la medida de la deformación sea correcta.**
- **El incremento de la temperatura produce una variación de la resistencia aunque no se aplique ningún esfuerzo.**
- **El coeficiente de dilatación de la galga debe ser del mismo orden de magnitud que el del soporte para evitar tensiones mecánicas.**
- **Hay que evitar el autocalentamiento de la galga debido a la potencia disipada en ella.**



GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

Cuestiones

- 1.- ¿En que efecto se basa el funcionamiento de las de galgas extensiométricas semiconductoras?
 - a) Efecto piezorresitivo.
 - b) Efecto piezoelectrico.
 - c) Efecto magneto-elástico.

- 2.- Para que la resistencia eléctrica en una galga sea apreciable ¿qué se hace?
 - a) Se utilizan materiales de alta resistividad.
 - b) Se disponen de varios tramos longitudinales en serie.
 - c) Las galgas no deben tener una resistencia elevada.

- 3.- ¿Que galgas tienen mayor sensibilidad?
 - a) Cerámicas.
 - b) De silicio.
 - c) Metálicas.