

# Instrumentación I: *Sensores mecánicos*

---

Juan J. Rojas

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
18 de septiembre de 2025



## Deformación unitaria (strain)

Cambio en longitud respecto a la longitud original al aplicar una fuerza

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

donde:

$\epsilon$  es la deformación unitaria, adimensional,

$\Delta L$  es el cambio en la longitud después de aplicar la fuerza, y

$L_0$  es la longitud original antes de aplicar la fuerza

# Esfuerzo (stress)

Presión interna en un material

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

donde:

$\sigma$  es el esfuerzo en  $\text{Nm}^{-2}$

$F$  es la fuerza en N, y

$A$  es el área trasversal en  $\text{m}^2$

## Módulo de elasticidad (Young module)

Relación entre esfuerzo y deformación en una dirección. Usando esto podemos escribir la Ley de Hooke

$$\sigma = E\varepsilon$$

donde:

$\sigma$  es el esfuerzo en  $\text{Nm}^{-2}$

$E$  es el módulo de elasticidad en  $\text{Nm}^{-2}$ , y

$\varepsilon$  es la deformación unitaria, adimensional,

# Galgas extensométricas

La resistencia es una función de la deformación aplicada. La relación entre la resistencia y la fuerza aplicada está definida por:

$$\frac{dR}{R} = g\varepsilon$$

donde:

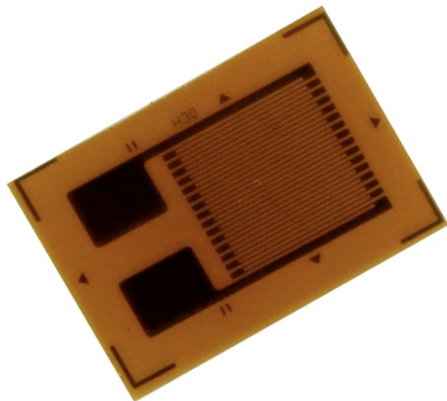
$g$  es la sensibilidad o factor de galga, adimensional

$\varepsilon$  es la deformación unitaria, adimensional, y

$R$  es la resistencia en  $\Omega$

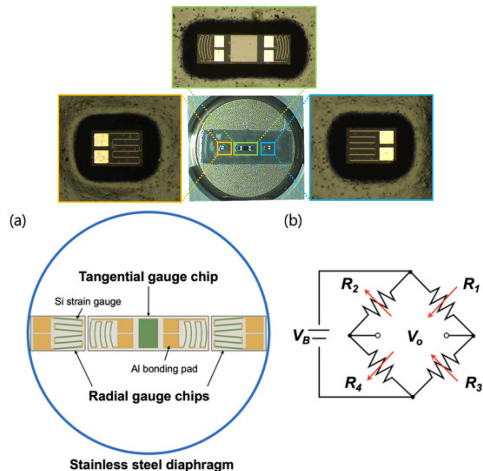
## Galgas extensométricas: tipo lámina

Parámetro	Valor
Modelo	BF350-3 AA
Resistencia	350 $\Omega$
Material base	Fenólico
Espesor	32 $\mu\text{m}$
Material res.	Constantán
Resistencia aisl.	10 k $\Omega$
Sensibilidad ( $g$ )	2,1 $\pm$ 1 %
Coeficiente transv	0,4 %
Deformación max	2,0 %
Tamaño (mm)	7,1 $\times$ 4,5



# Galgas extensométricas: semiconductor

Parámetro	Valor
Resistencia	desconocida
Material base	SiO
Espesor	10 $\mu\text{m}$
Material res.	Si
Sensibilidad ( $g$ )	103 c/u
Tamaño ( $\mu\text{m}$ )	15 $\times$ 300



Han, Ji-Hoon, Sung Joon Min, Joon Hyub Kim, and Nam Ki Min.  
2023. "Reciprocating Arc Silicon Strain Gauges" *Sensors* 23, no. 3:  
1381. <https://doi.org/10.3390/s23031381>

## Celdas de carga

La resistencia es una función de la deformación aplicada. La relación entre la resistencia y la fuerza aplicada está definida por el efecto *piezorresistivo*:

$$\frac{dR}{R} = g\varepsilon$$

donde:

$g$  es la sensibilidad o factor de galga, adimensional

$\varepsilon$  es la deformación unitaria, adimensional, y

$R$  es la resistencia en  $\Omega$



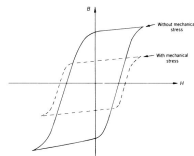
# Sensores magnetoelásticos

- La inducción magnética  $B$  y el campo magnético  $H$  están relacionados por:

$$B = \mu H$$

donde  $\mu$  es la permeabilidad magnética del material en H/m

- En un sensor magnetoelástico se mide la diferencia en la permeabilidad magnética del material al ser sometido a una fuerza externa



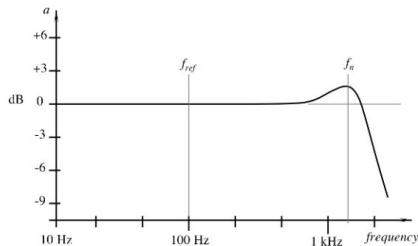
Tomado de [?]



Tomado de [acá](#)

# Acelerómetros

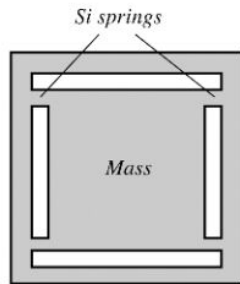
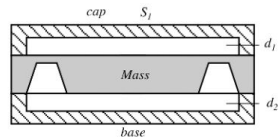
- La vibración es un fenómeno mecánico dinámico en el que existe un movimiento oscilatorio periódico en torno a una posición de referencia
- En algunos casos se puede medir aceleración no vibratoria como la que se obtiene en un impacto o un movimiento lineal
- Los sensores que se utilizan para medir aceleración consisten en un sistema masa resorte amortiguado
- El acelerómetro debe ser usado en la parte plana de su curva de respuesta, lejos de su frecuencia natural



Tomado de [?]

# Acelerómetros capacitivos

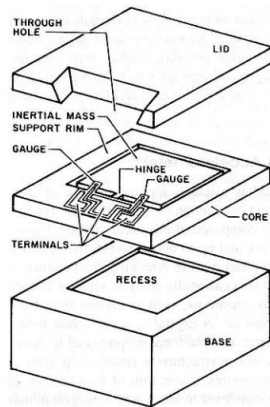
- Estos sensores consisten de una placa estática y otra placa que esta conectada a una masa inercial, estas dos placas forman un capacitor
- La membrana es a su vez la masa inercial, cuando se mueve modifica la capacitancia y esto se relaciona con la aceleración
- Típicamente se integran dos capacitores en un solo sensor para incrementar la precisión
- A la derecha se muestra su fabricación como sensor MEMS en silicio, con dos capacitores, uno entre la masa el *cap* y otro entre la masa y la *base*



Tomado de [?]

# Acelerómetros piezoresistivos

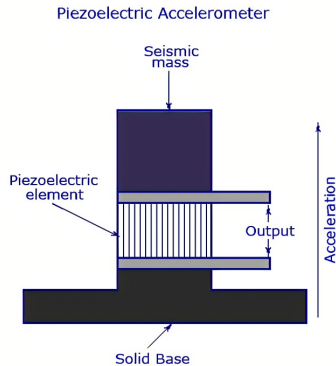
- Estos sensores consisten en galgas extensométricas que miden la deformación en los resortes del sistema masa-resorte
- Su precisión es mucho mayor cuando son microfabricados (MEMS)
- A la derecha se muestra su fabricación como sensor convencional, cuando la aceleración se aplica sobre el eje sensible la masa inercial gira en torno a la bizzagra, al mismo tiempo las galgas experimentan deformación que se relaciona con la aceleración experimentada por la masa inercial



Tomado de [?]

# Acelerómetros piezoeléctricos

- Estos sensores consisten de un cristal piezoeléctrico intercalado entre la base y la masa inercial, la fuerza producida por la masa en el piezoeléctrico produce una señal eléctrica entre los electrodos
- Es un sensor directo, la energía mecánica se convierte directamente en energía eléctrica
- Los materiales más comunes son los materiales cerámicos piezoeléctricos como el titanato de bario, el circonato-titanato de plomo (PZT) y la metaniobita de plomo

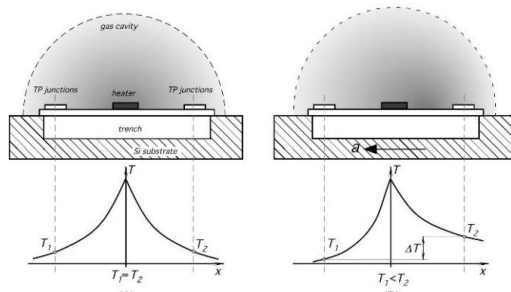


www.InstrumentationToday.com

Tomado de [acá](#)

# Acelerómetros de gas caliente

- Estos sensores usan un gas caliente como masa inercial
- El gas se calienta en el centro del sensor y se mide la temperatura en dos extremos equidistantes, los cambios de temperatura entre los extremos representan aceleración de la masa de gas, pues sin aceleración la distribución de la temperatura debe ser uniforme
- Estos sensores son microfabricados (MEMS)



Tomado de [?]

# Referencias