



Universidad  
de Oviedo

# **SENSORES INERCIALES: GIRÓSCOPOS Y ACELERÓMETROS**

**Curso de Verano 2007/2008**

**Diseño de sistemas portátiles para la  
monitorización del movimiento**

# ACELERACIÓN

## INTRODUCCIÓN

- ¿Qué es la aceleración?
- ¿En qué unidades se expresa?
- ¿Qué es un “g”?



# ACELERACIÓN

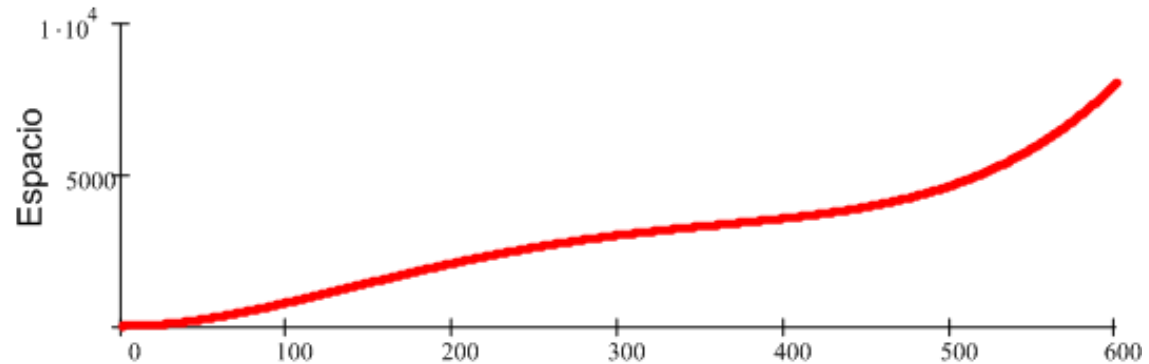
## INTRODUCCIÓN

- Aceleración de la gravedad 1 g
- Pasajero de un coche en curva 1 g
- Pasajero de coche en bache 2 g
- Coche de Fórmula 1 en curva 3 g
- Bobsled en curva 5 g
- Pérdida de conciencia 7 g
- Transbordador espacial 10 g

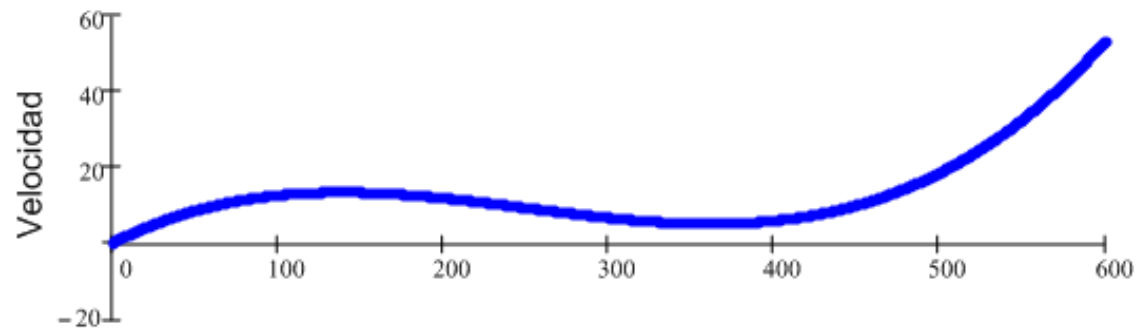


# ACELERACIÓN INTRODUCCIÓN

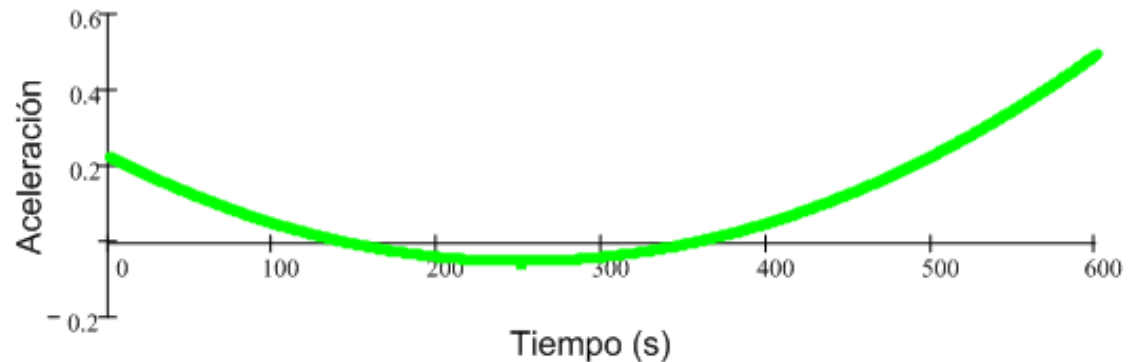
$$\text{Espacio} = x$$



$$\text{Velocidad} = \frac{dx}{dt}$$

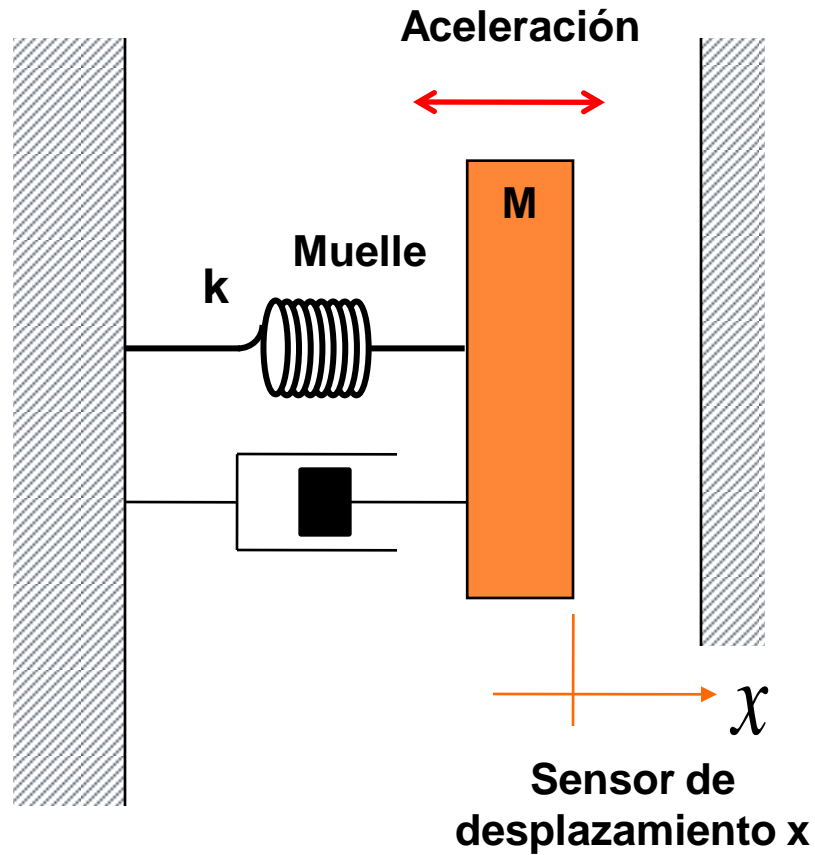


$$\text{Aceleración} = \frac{d^2x}{dt^2}$$



# ACELERÓMETROS

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



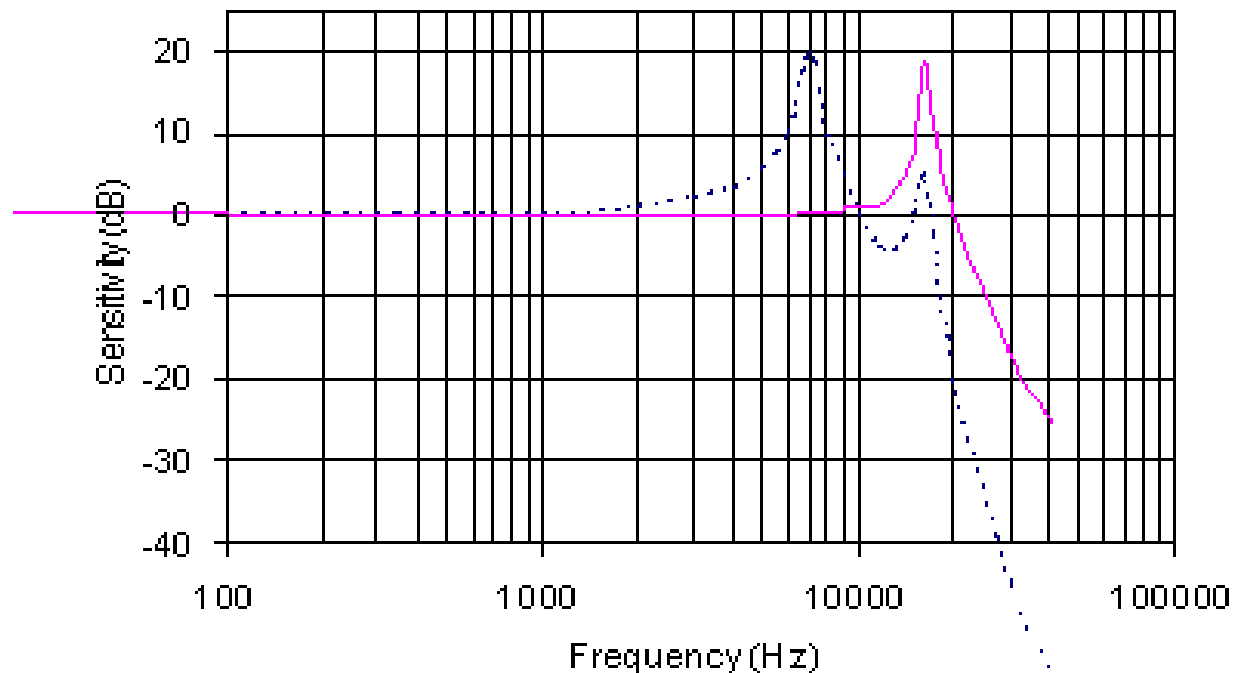
$$kx = ma$$



# ACELERÓMETROS

## RESPUESTA EN FRECUENCIA

XL105 Sensitivity vs. Frequency



--- XL105 on PC Board    — XL105 on PC board, Glued down



# ACELERÓMETROS

## TIPOS

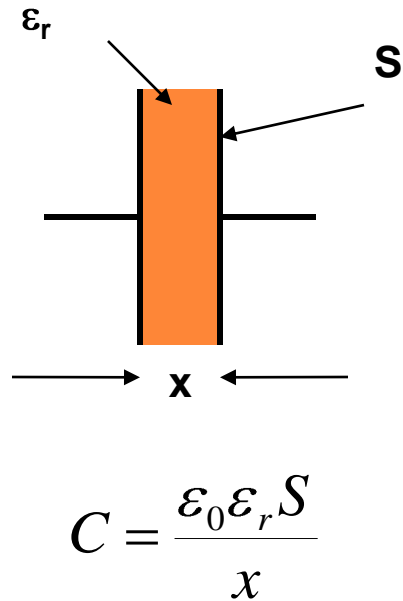
- Según el sensor de desplazamiento
  - Capacitivos
  - Piezoeléctricos
  - Piezorresistivos
  - Otros: transferencia de calor, efecto Hall, LVDT, ...

<https://www.youtube.com/watch?v=i2U49usFo10>

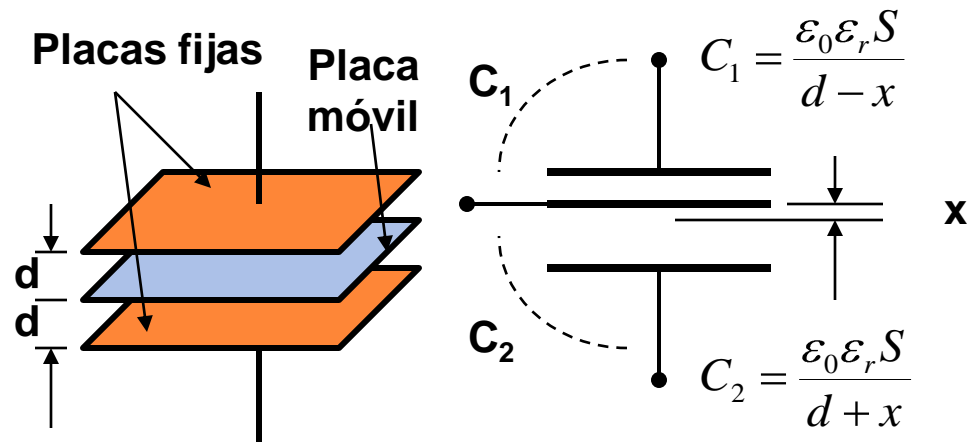


# ACELERÓMETROS CAPACITIVOS

## ○ Simple

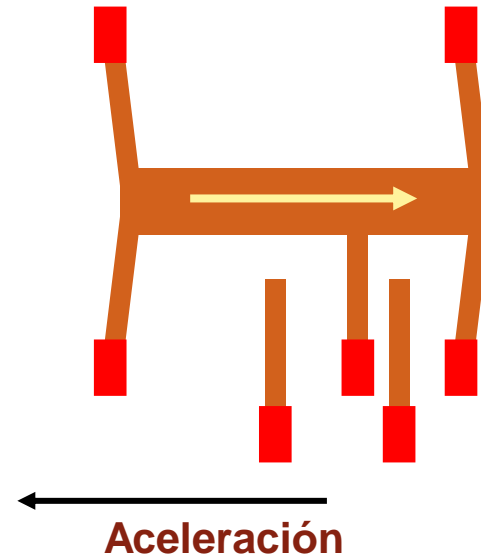
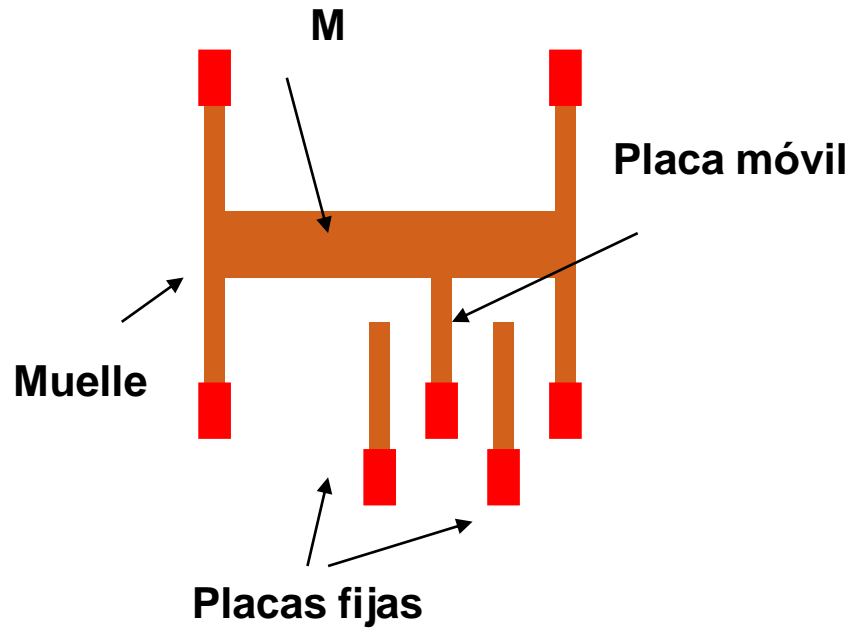


## ○ Diferencial



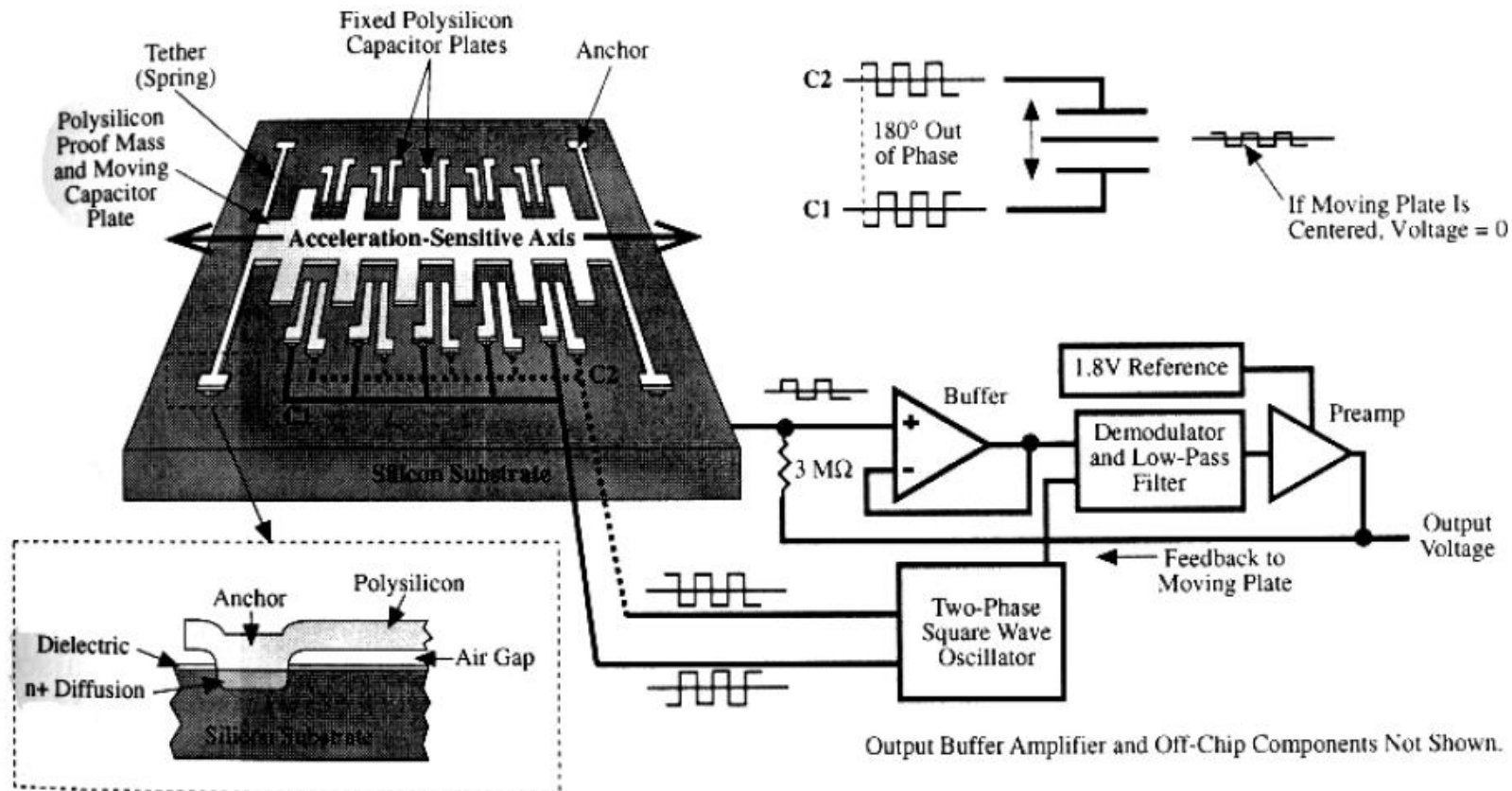


# ACELERÓMETROS CAPACITIVOS

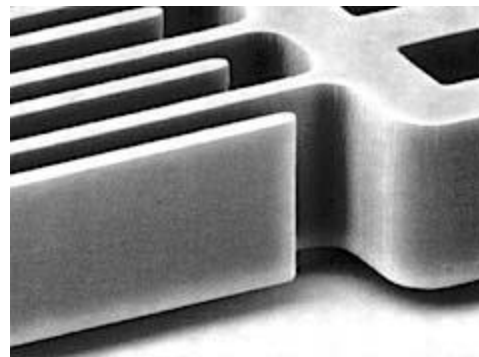
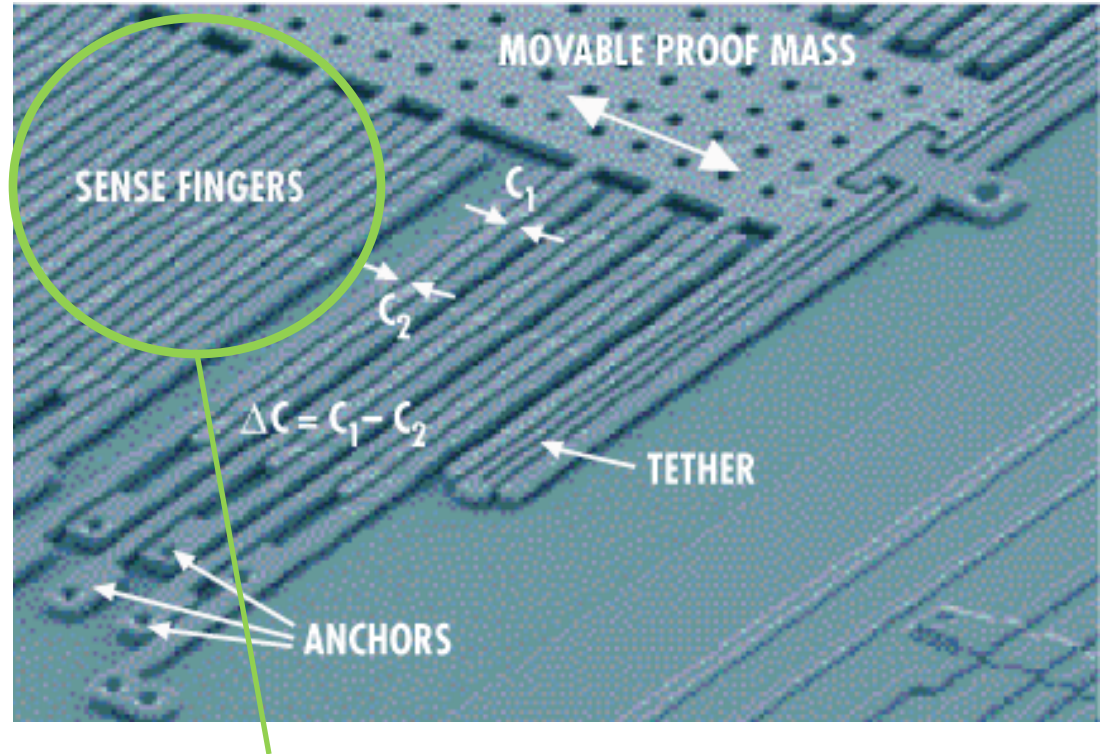


# ACELERÓMETROS CAPACITIVOS

## ACONDICIONAMIENTO

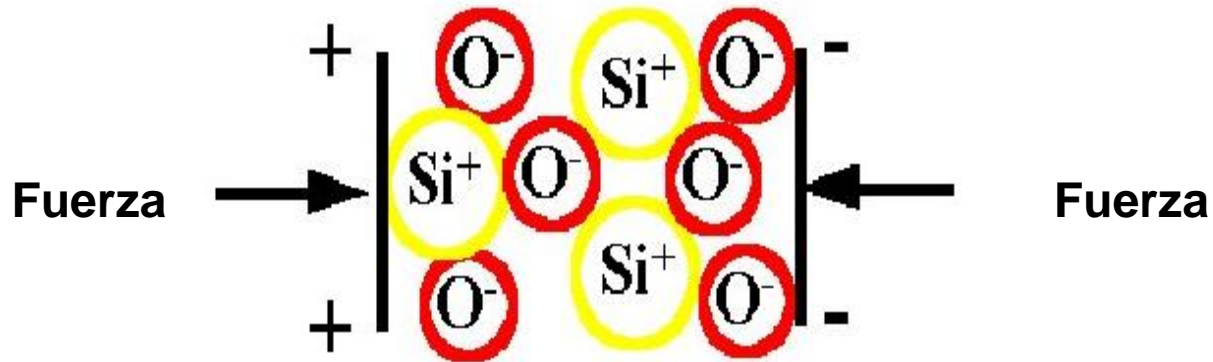


# ACELERÓMETROS CAPACITIVOS



# ACELERÓMETROS PIEZOELECTRICOS

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

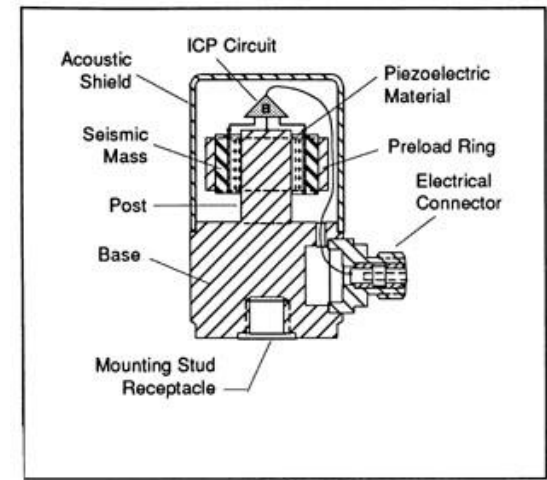
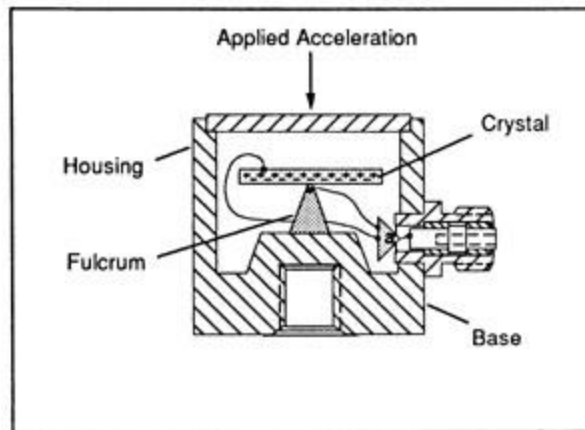
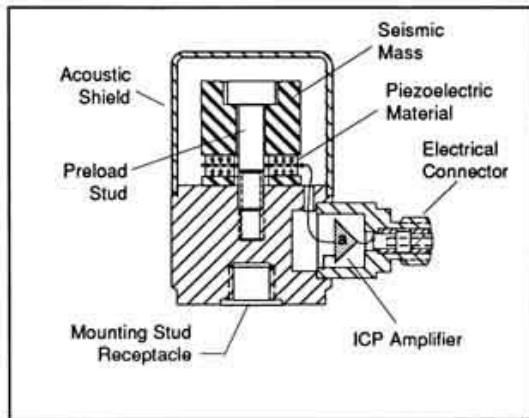
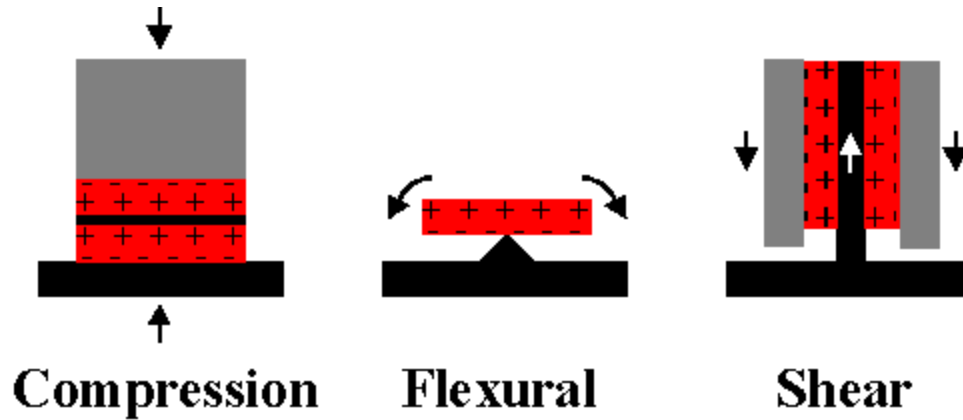


| Cuarzo   | Cerámicos   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Elevada sensibilidad en tensión</li><li>♦ Muy buena estabilizada a largo plazo</li><li>♦ No es piroeléctrico</li><li>♦ Coeficiente de temperatura bajo</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Elevada sensibilidad en carga</li><li>♦ Gran variedad de formas y tamaños</li><li>♦ Pueden llegar a temperaturas de hasta <math>540^{\circ}\text{C}</math></li><li>♦ Son piroeléctricos</li><li>♦ Variaciones acusadas con la temperatura</li></ul> |



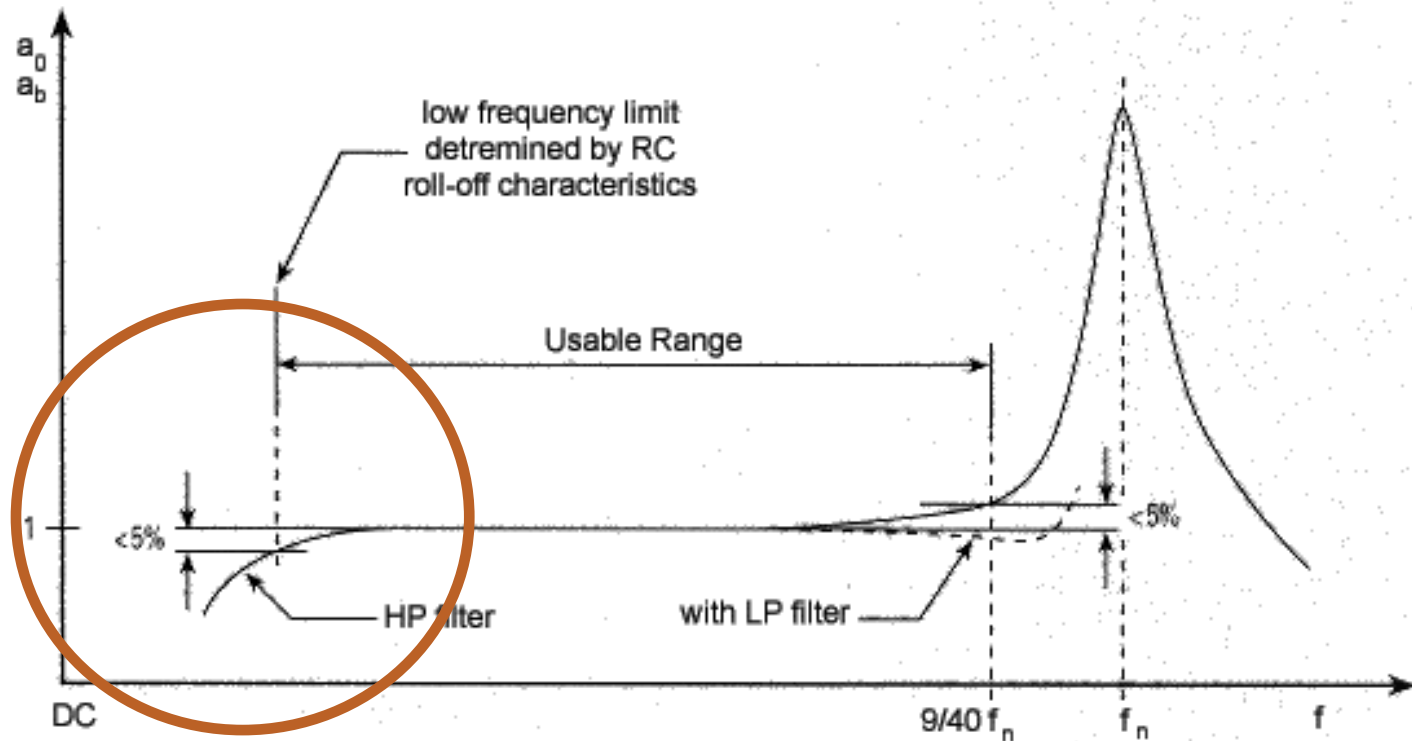
# ACELERÓMETROS PIEZOELECTRICOS

## TIPOS



# ACELERÓMETROS PIEZOELÉCTRICOS

## RESPUESTA EN FRECUENCIA



# ACELERÓMETROS PIEZOELÉCTRICOS

## CARACTERÍSTICAS

- **Sólo son posibles medidas dinámicas**
- **La carga generada es del orden de pC**
- **Tiempos de subida muy reducidos (del orden de microsegundos)**
- **Se pueden llegar a medir frecuencias de decenas kHz**
- **Coeficientes de temperatura 0,01 a 0,05%/°C (típ.)**
- **Suelen presentar derivas del cero**
- **Sensibilidad elevada**
- **Robustez**

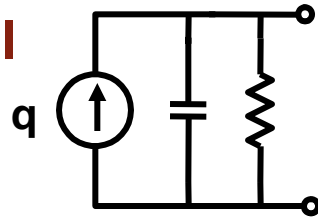




# ACELERÓMETROS PIEZOELÉCTRICOS

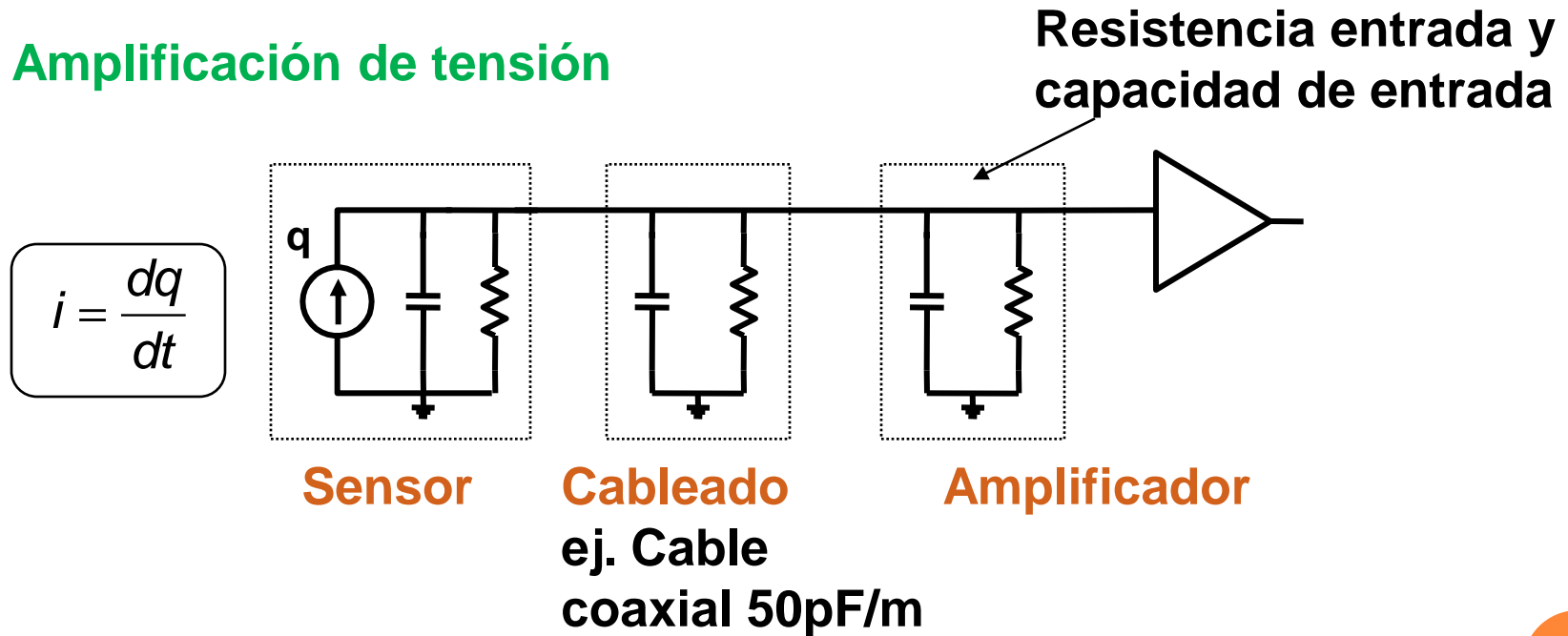
## ACONDICIONAMIENTO

### Modelo habitual



Ejemplo: Sensor de presión  
Kistler 6001.  $q=1\text{pC/psi}$   
 $C=10\text{pF}$

### Amplificación de tensión



La medida estaría muy condicionada por los parásitos

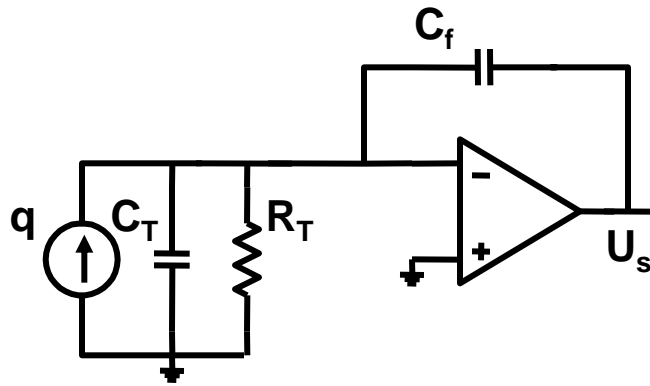




# ACELERÓMETROS PIEZOELÉCTRICOS

## ACONDICIONAMIENTO

### Amplificación de carga (convertidor carga-tensión)



**C<sub>T</sub>:** Capacidad sensor+cable+amplificador

**R<sub>T</sub>:** Resistencia sensor+cable+amplificador

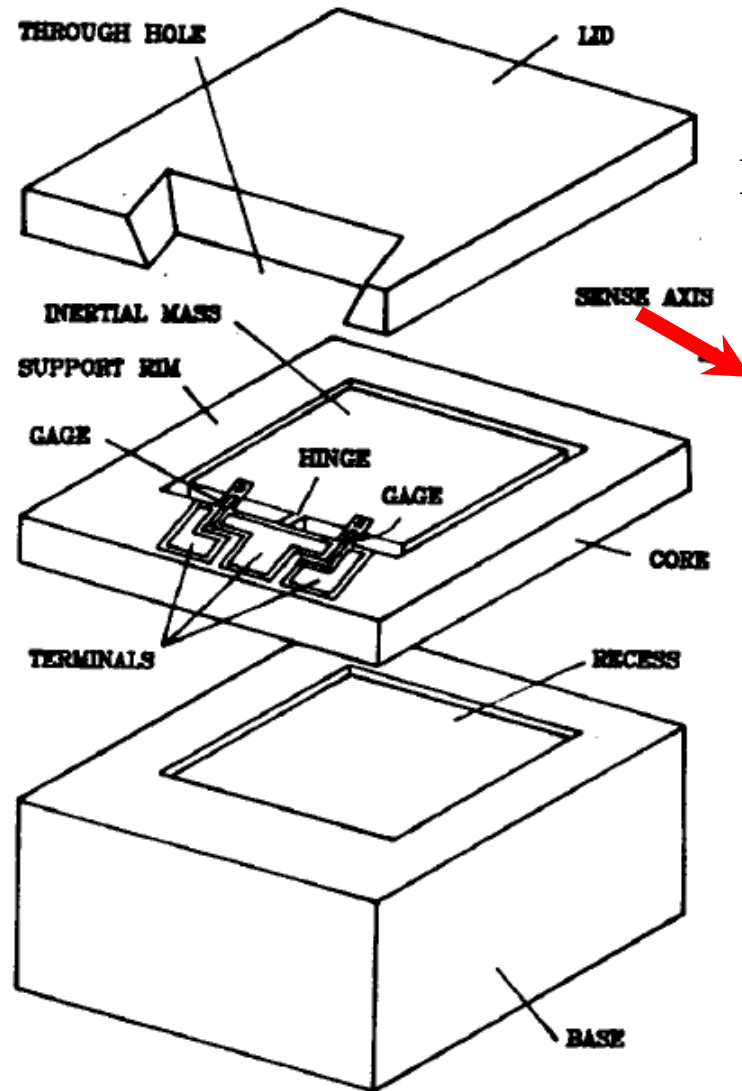
$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$U_s = -\frac{1}{C_f} \int i \cdot dt = -\frac{1}{C_f} q$$

**!!! Independiente de C<sub>T</sub> y de R<sub>T</sub> !!!**



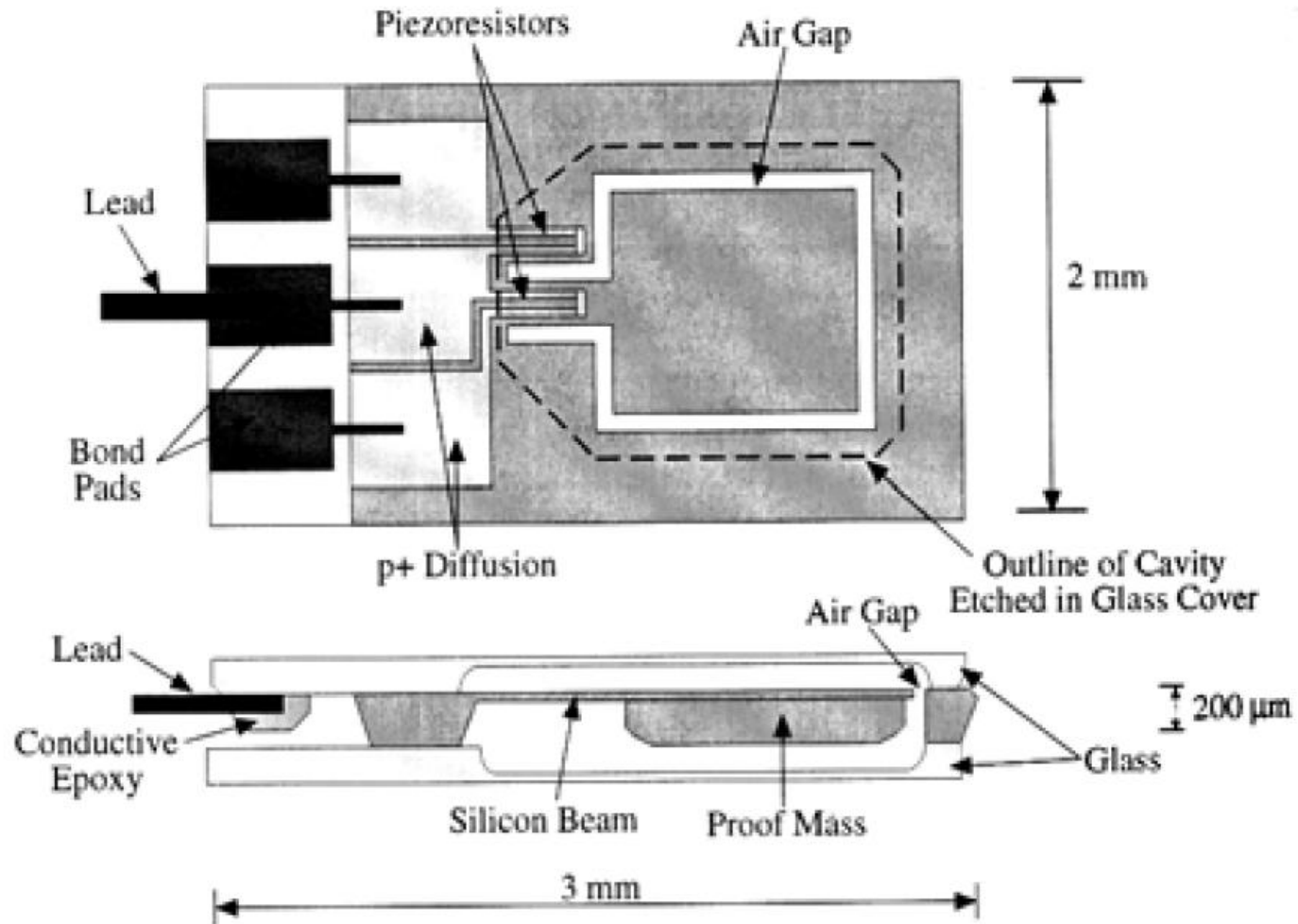
# ACELERÓMETROS PIEZORRESISTIVOS



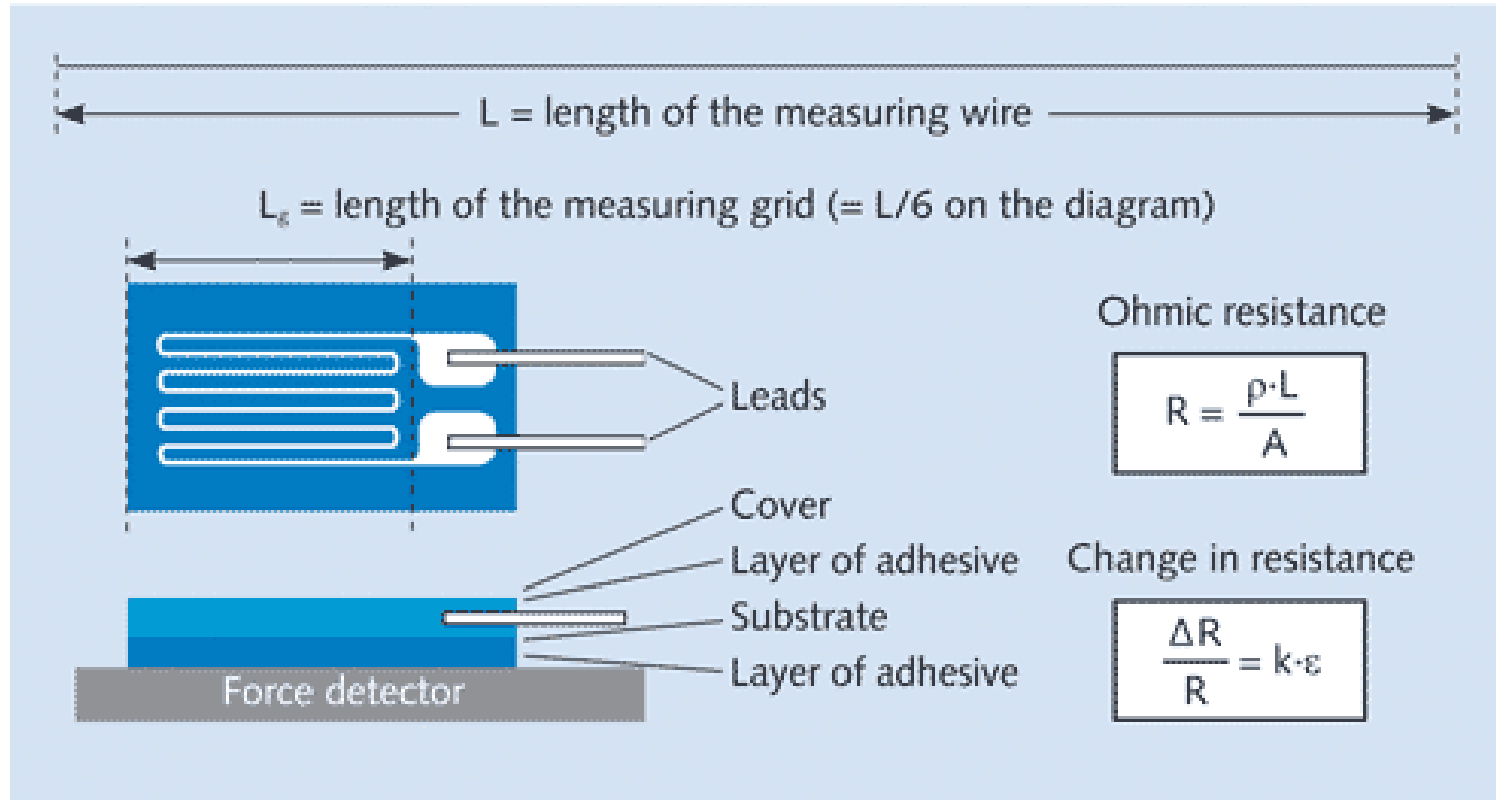
Desde DC hasta 13 kHz



# ACELERÓMETROS PIEZORRESISTIVOS



# ACELERÓMETROS PIEZORRESISTIVOS



# APLICACIONES



**Tilt**



**Inertial Acceleration**



**Shock and Vibration**

**Mobile phones  
and PDAs**



**Portable  
media players**



**Toys and  
games**



**Audio and  
video devices  
Laptop and  
pocket PCs**



**Automotive**



**Home appliances**



**Sports and  
health**

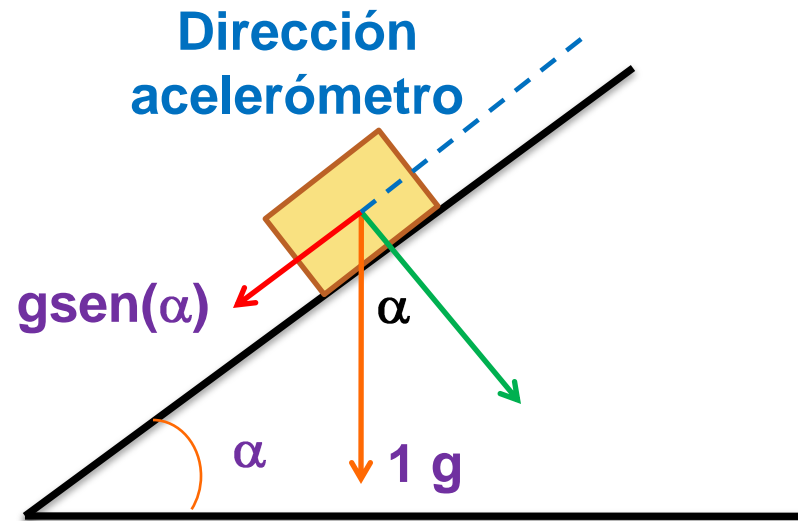


**Home security  
systems**



# ACELERÓMETROS

## EJEMPLO – MEDIDA DE INCLINACIÓN

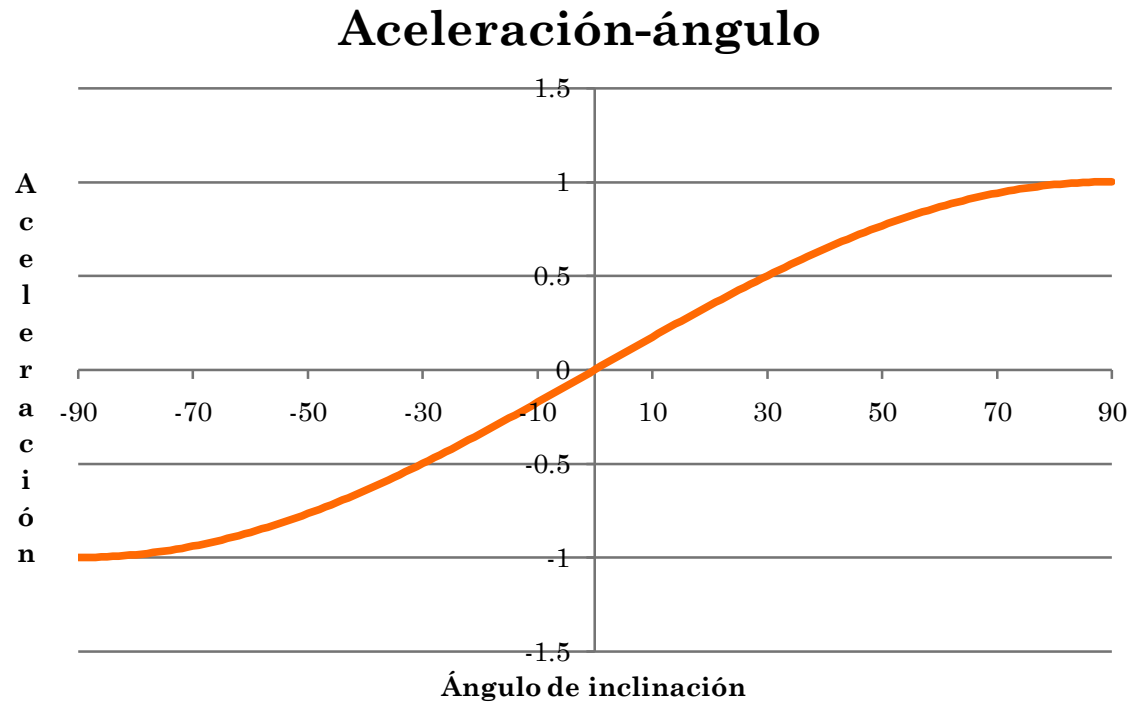


$$\alpha = \arcsin(A)$$



# ACELERÓMETROS

## EJEMPLO – MEDIDA DE LA INCLINACIÓN



# ACELERÓMETROS

## EJERCICIOS

- Obtener los parámetros más importantes de un acelerómetro a partir de las hojas de características
- Indicar cómo se modifica el ancho de banda del acelerómetro
- Indicar cuánto varía la tensión que proporciona si se utiliza como inclinómetro y se pasa de una inclinación de  $0^\circ$  a  $1^\circ$ , ¿y si pasa de  $89^\circ$  a  $90^\circ$ ?





# ACELERÓMETROS NAVEGADORES INERCIALES

- Integrado la aceleración obtenemos la velocidad

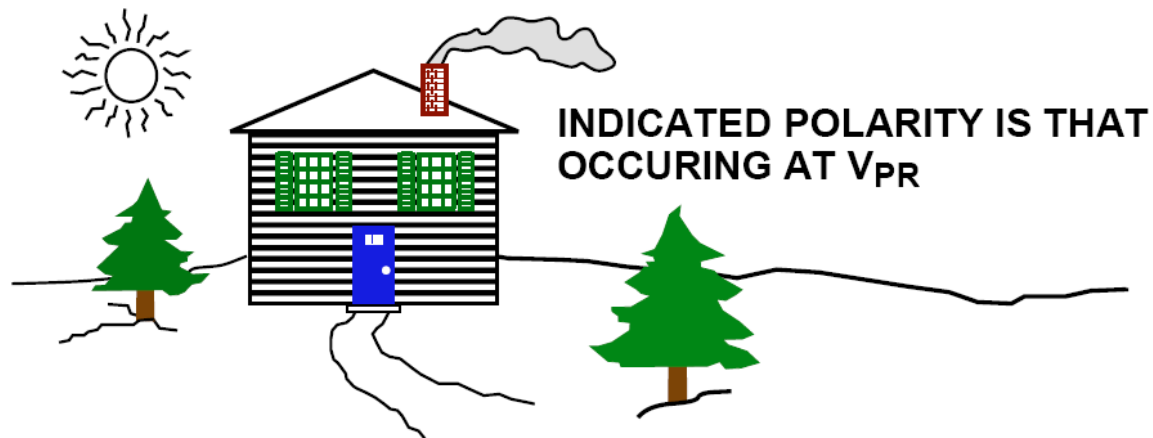
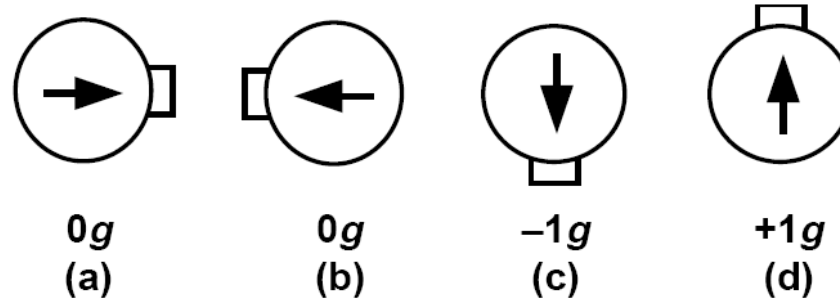
$$v = \int_0^t a \, dt$$

- Integrando la velocidad obtenemos el espacio recorrido

$$x = \int_0^t v \, dt = \int_0^t \int_0^t a \, dt \, dt$$



# ACELERÓMETROS CALIBRACIÓN



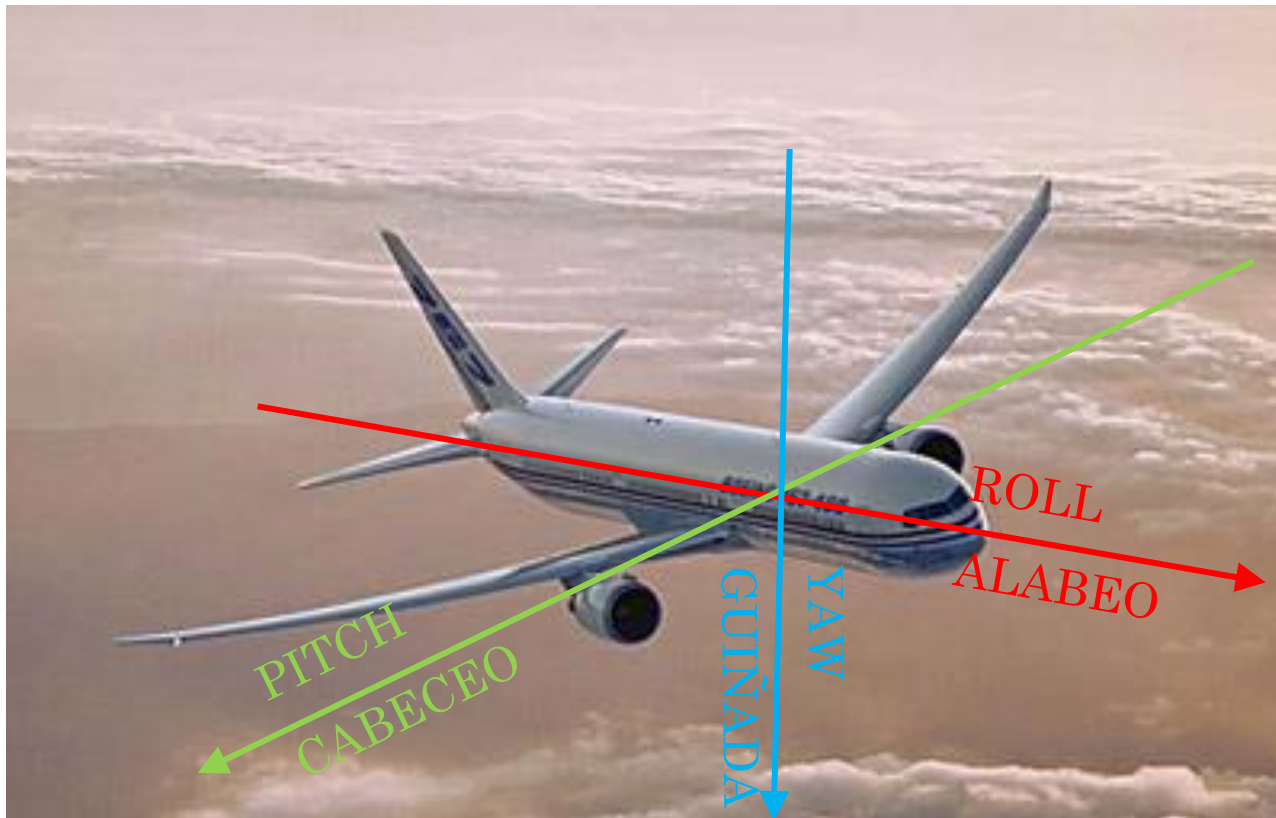
# GIRÓSCOPOS

## INTRODUCCIÓN

- ¿Qué miden?
- ¿En qué unidades se expresa el resultado?

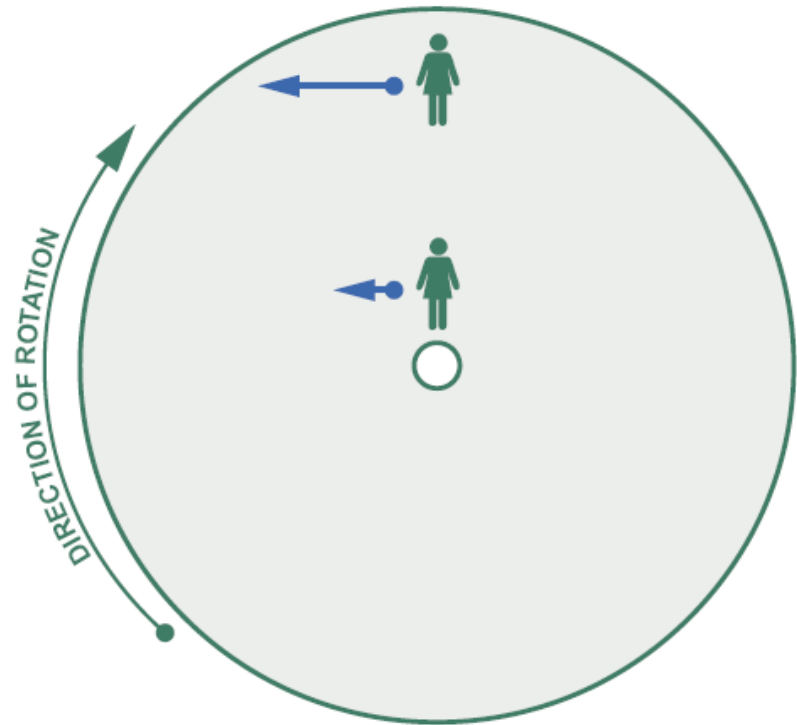


# GIRÓSCOPOS REFERENCIAS



# GIRÓSCOPOS

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO (MEMS)

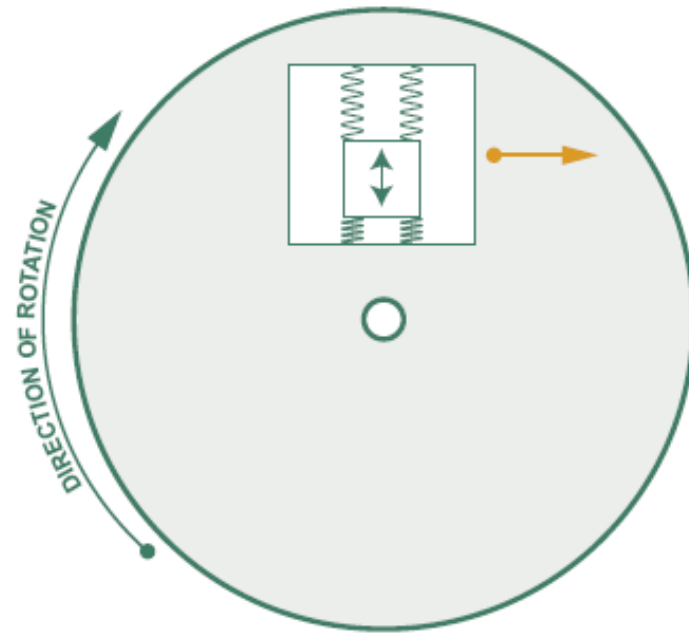
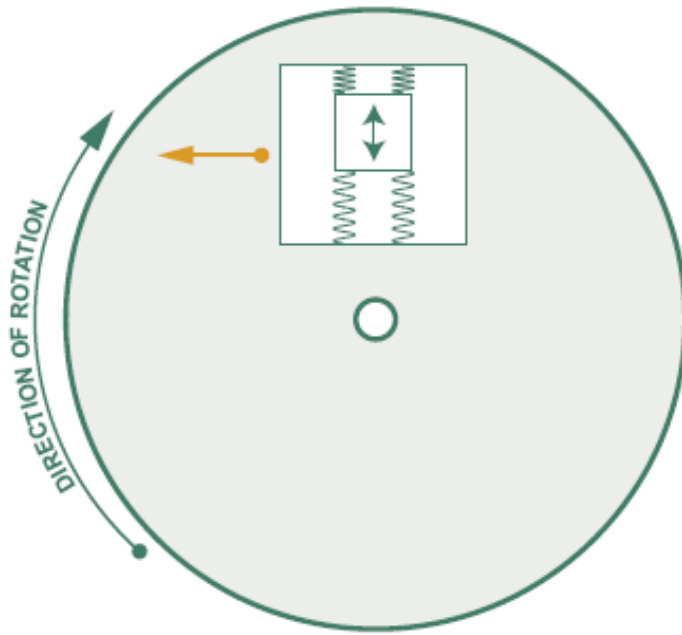


**Fuerza de  
Coriolis**



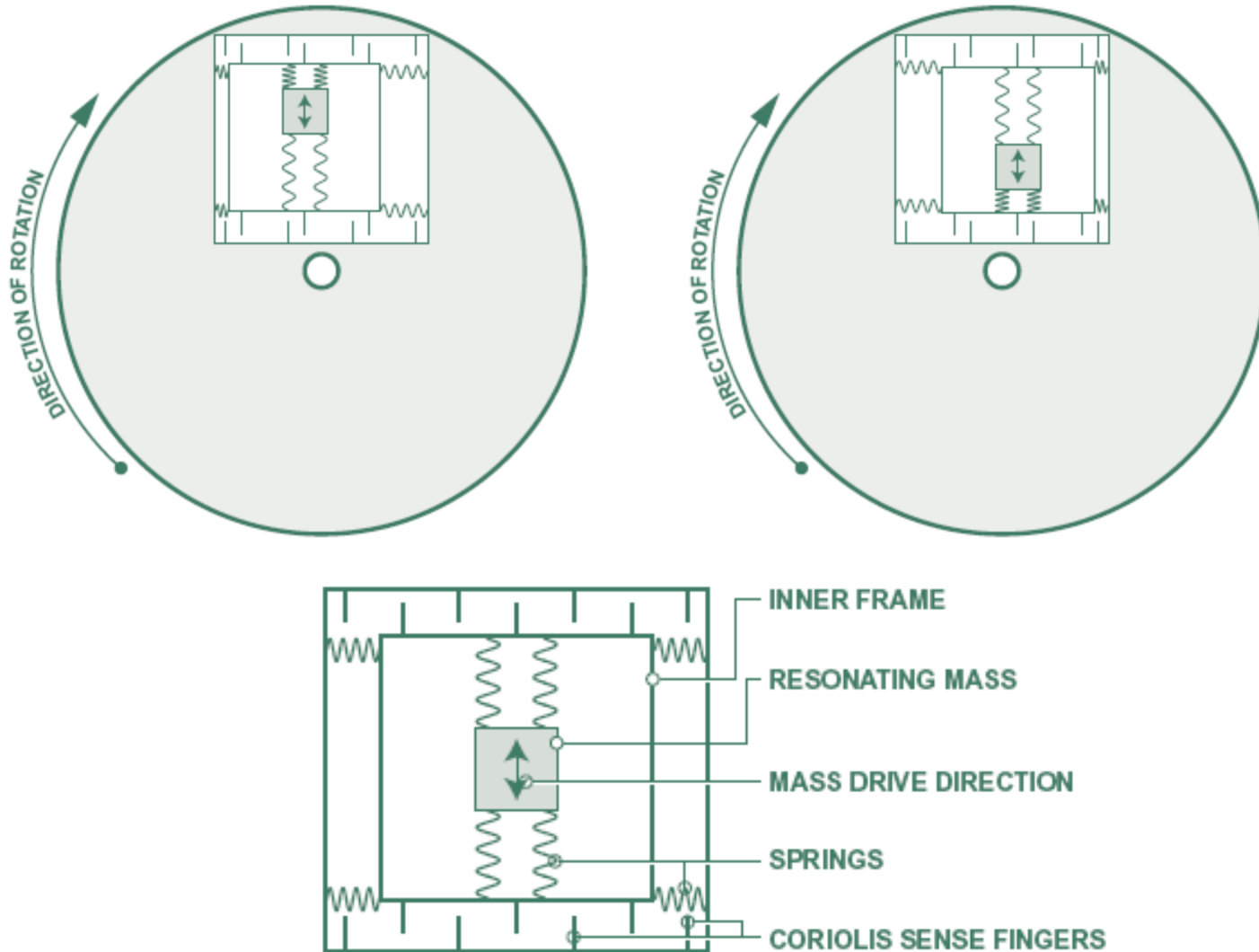
# GIRÓSCOPOS

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO (MEMS)



# GIRÓSCOPOS

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO (MEMS)





# GIRÓSCOPOS

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO (MEMS)

