

Inclinómetro económico (galgas extensiométricas).

por Fernando Ot y Silvia Lladó

Proyecto Inclinómetro

por Fernando Ot y Silvia Lladó.
Año 2001 aprox ;)

Motivación:

Diseño de un inclinómetro de bajo precio y con una resolución entre 1° o 2° sobre un intervalo entre [-45°,45°], y con poca generación de ruido.

Documentación previa:

Existe la posibilidad de tener un potenciómetro de bola, o acelerómetros integrados en un chip. Viendo que el acelerómetro tiene un precio alto y que el potenciómetro genera demasiado ruido nos decidimos por diseñar un inclinómetro utilizando galgas extensiométricas, por su bajo precio y ausencia de ruido.

Principio de funcionamiento de una galga:

La galga extensiométrica se basa en la variación de resistencia de un conductor o semiconductor cuando se somete a un esfuerzo mecánico (*lord Kelvin, 1856*).

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{coeficiente de resistividad} * \text{longitud}}{\text{Sección}}$$

Ley de Hooke:

El cambio de longitud que resulta de aplicar una fuerza a una pieza, viene dada por la siguiente fórmula

$$\sigma = \frac{F}{A} = E \epsilon = E \frac{dl}{l}$$

Donde σ es la tensión mecánica, ϵ es la deformación unitaria, F es la fuerza, A es la sección, E es la constante del material y l la longitud.

Entre las características que normalmente ofrece el fabricante de galgas uno de los más importantes es K (factor de sensibilidad de la galga).

Por tanto, para pequeñas variaciones, la resistencia del cable metálico deformado puede expresarse de la forma:

$$R = R_0(1+x)$$

Donde R_0 es la resistencia en reposo, y la $x = K\epsilon$.

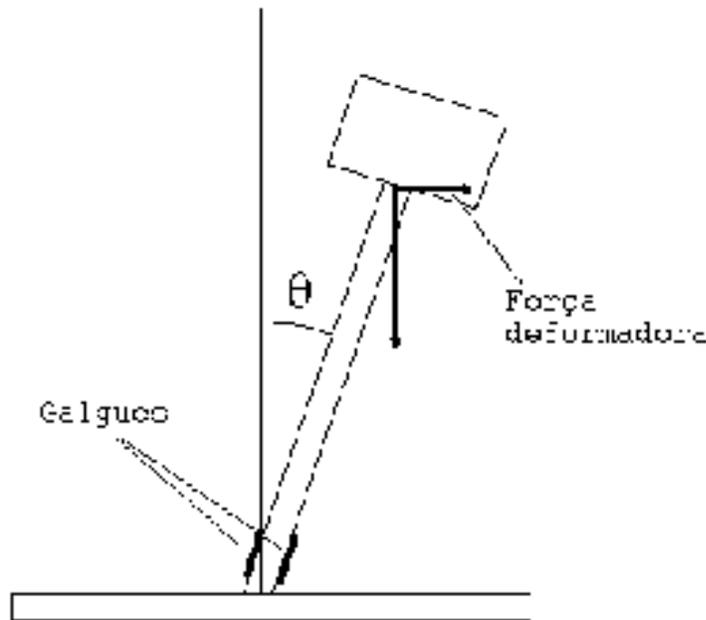
La variación de resistencia no suele exceder del 2% en su torsión máxima de la galga.

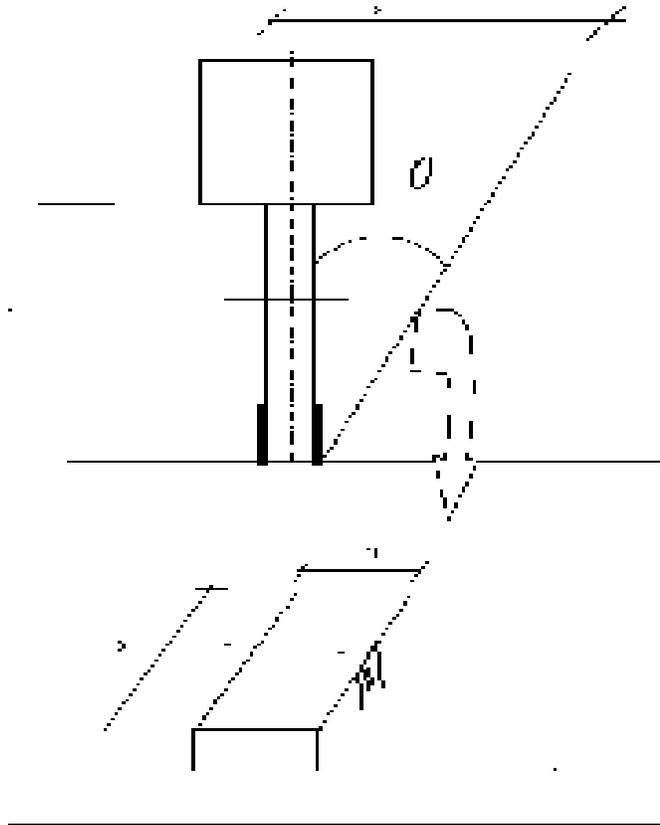
Factores a tener en cuenta:

Es importante al utilizar galgas el factor de temperatura por ser una fuente de interferencias por varias razones: Cambio en la resistencia del material, cambio en las dimensiones de la galga y cambio de las dimensiones del material al que esta adderido. Este cambio de temperatura supone un cmbio en la resistencia sin que intervenga ninguna aplicación de fuerza. La variación de forma puede llegar a ser de $50 \mu\epsilon / C$.

Princio de funcionamiento del inclinómetro:

Se basa en la deformación de una varilla de acero. Esta deformación es debida a la variación de fuerza en relación a la variación de ángulo respecto a la normal que tiene la base del sensor.





Como hemos comentado antes, la tensión mecánica viene dada por:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{M * 6}{h^2 * b}$$

donde M es el momento de fuerza, y viene definido por:

$$M = F * x = F * r * \sin \theta$$

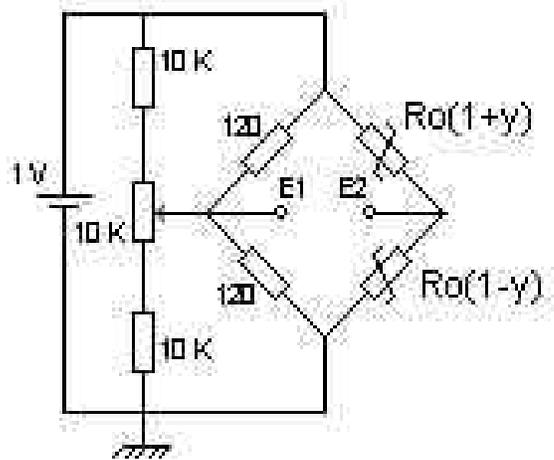
donde r es la distancia entre la aplicación de fuerza (peso) y el centro de la galga.

Hemos puesto dos galgas en contraposición para que contrarreste las interferencias producidas por los cambios de temperatura.

Cálculo del inclinómetro:

Inicialmente tenemos una varilla de 1mm * 5 mm donde pondremos a 50 mm del peso la galga.

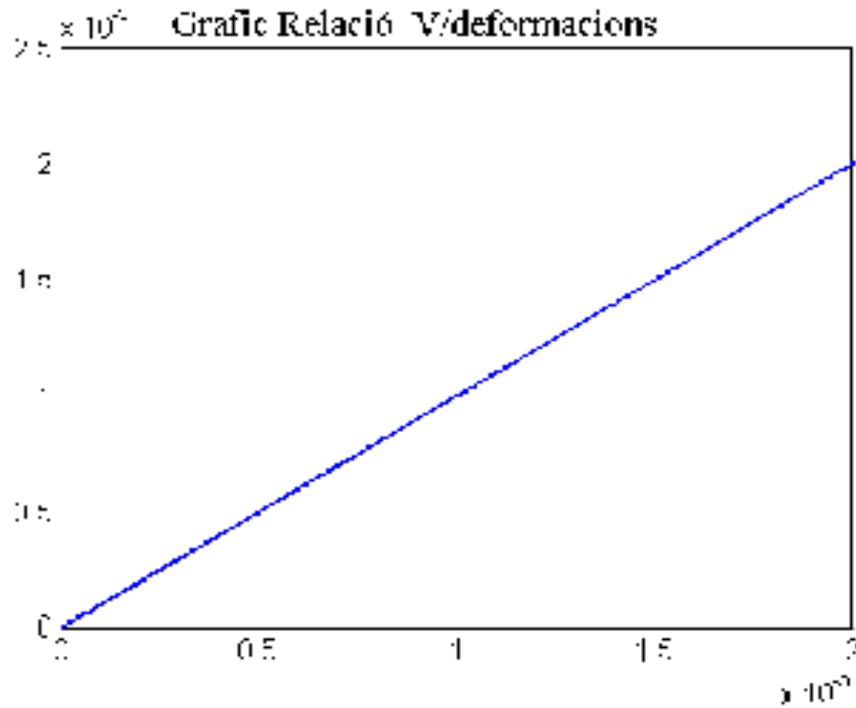
Para acondicionar la señal aplicaremos un puente de Whiston el cual la tensión de salida está en función de las deformaciones de las galgas.



$$V_s = V_i \left(\frac{1}{2} + \frac{R_0(1-y)}{R_0(1-y) + R_0(1+y)} \right)$$

teniendo en cuenta que $y = K * \epsilon$ y la $K \cong 2.0$

En el gráfico podemos observar que la derivada de la tensión respecto a la microdeformación es casi constante siendo de $1\mu V / 1\mu \epsilon$.



Si queremos tener una relación de $11 \mu V / ^\circ$ necesitaremos generar $495 \mu \epsilon$ a los 45° .

$$F = \frac{E \cdot \epsilon \cdot h^2 \cdot b}{r \cdot \sin \theta \cdot 6} = \frac{207000 \text{ N/mm}^2 \cdot 490 \mu \epsilon \cdot 0.000001 \text{ m}^2 \cdot 0.005 \text{ m}}{0.05 \text{ m} \cdot \sin(45) \cdot 6} = 2.39 \text{ N}$$

2.39 Newtons equivalen aproximadamente a la fuerza que ejerce un peso de 239 Gramos. Para asegurar que se produce fuerza suficiente durante la inclinación pondremos un peso de 250 Gramos.

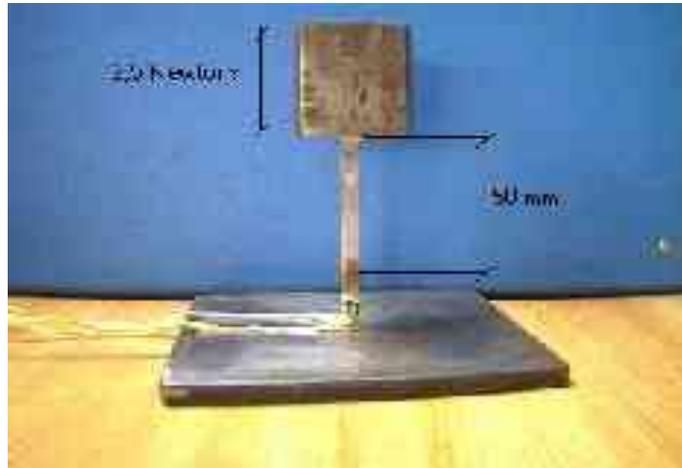


foto 1 real sensor

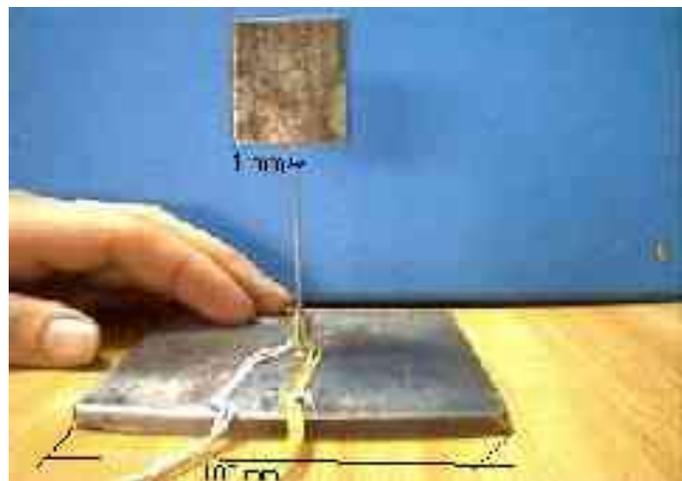


foto 2 real sensor

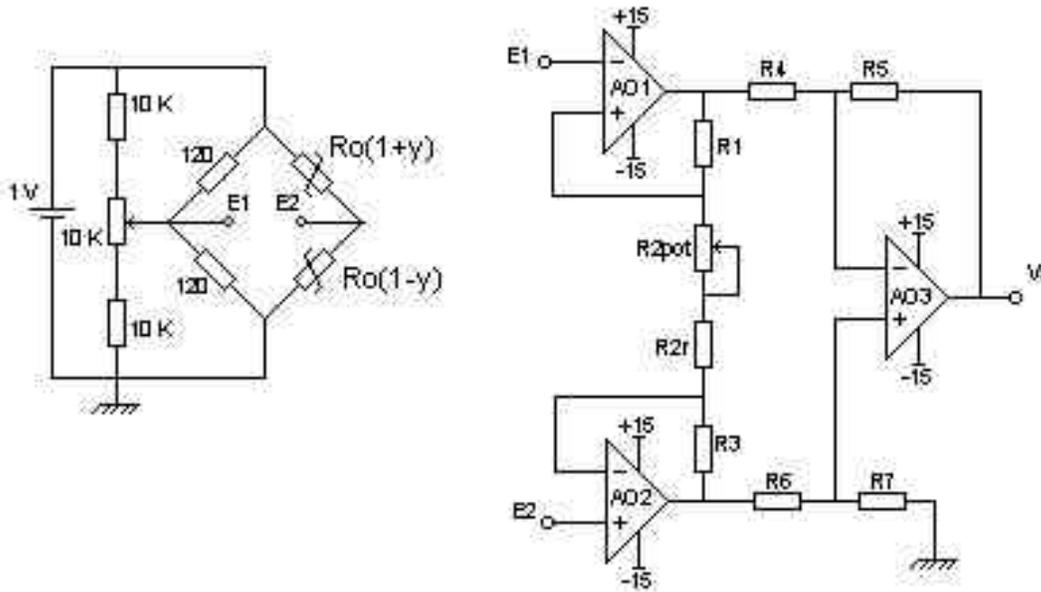
Diseño del circuito amplificador:

Se optó por un diseño basado en tres amplificadores operacionales.

$$V_s = E_d * G_d + E_c * G_c$$

donde E_d es la señal diferencial, E_c es la señal de modo común, G_d es la ganancia diferencial y G_c es la ganancia en modo común.

Sabiendo que $G_d/G_c = CMRR$ y como queremos que la ganancia en modo común sea mínima y no varíe en relación a la variación de ganancia total. Hemos de hacer que G_c



esquema electrónico 3

sea mínima.

Para conseguir que G_c sea mínima, o lo que es lo mismo $CMRR$ sea máximo se ha de cumplir:

$$\frac{R_5}{R_4} = \frac{R_7}{R_6} = k$$

Si además se cumple $2R_1/R_2 = 2R_3/R_2 = G$ en el caso anterior obtenemos:

$$G_d = k(1+G)$$

Esto supone que podemos variar la ganancia en modo diferencial sin que afecte al CMRR.

Resistencias utilizadas:

$$R1 = 2,5K\Omega$$

$$R2 = R2_{pot} + R2r$$

$$R2_{pot} = \text{Potenciómetro de } 5K\Omega [0..5K] \Omega$$

$$R2r = 57\Omega$$

$$R3 = 2,5K\Omega$$

$$R4 = 10K\Omega$$

$$R5 = 100K\Omega$$

$$R6 = 10K\Omega$$

$$R7 = 100K\Omega$$

Operacionales utilizados:

AO1, AO2, AO3 son operacionales 761.

Conversión analógica digital:

Para la conversión analógica-digital hemos utilizado una placa de adquisición PCL-812PG.

Hemos utilizado el rango de medida de [0..5v] ya que la salida del circuito está comprendida en [0,5..3,5v] , a 0° (posición horizontal) el circuito suministra 2v, a -90° suministra 3.5v .

Tratamiento de datos digitales:

Para tratar los datos digitales hemos hecho un pequeño programa en LabWindows CVI. En el driver de la tarjeta PCL-812PG ya existen las funciones de conversión entre el valor entero que devuelve la tarjeta y lo que equivale ese número en voltios.

Se implementó un timer para que cada 25 ms se lea el valor de tensión que ofrece el circuito. Como filtro se utiliza la media de las últimas 20 lecturas para amortiguar las oscilaciones que sufre el acero por el efecto del peso.

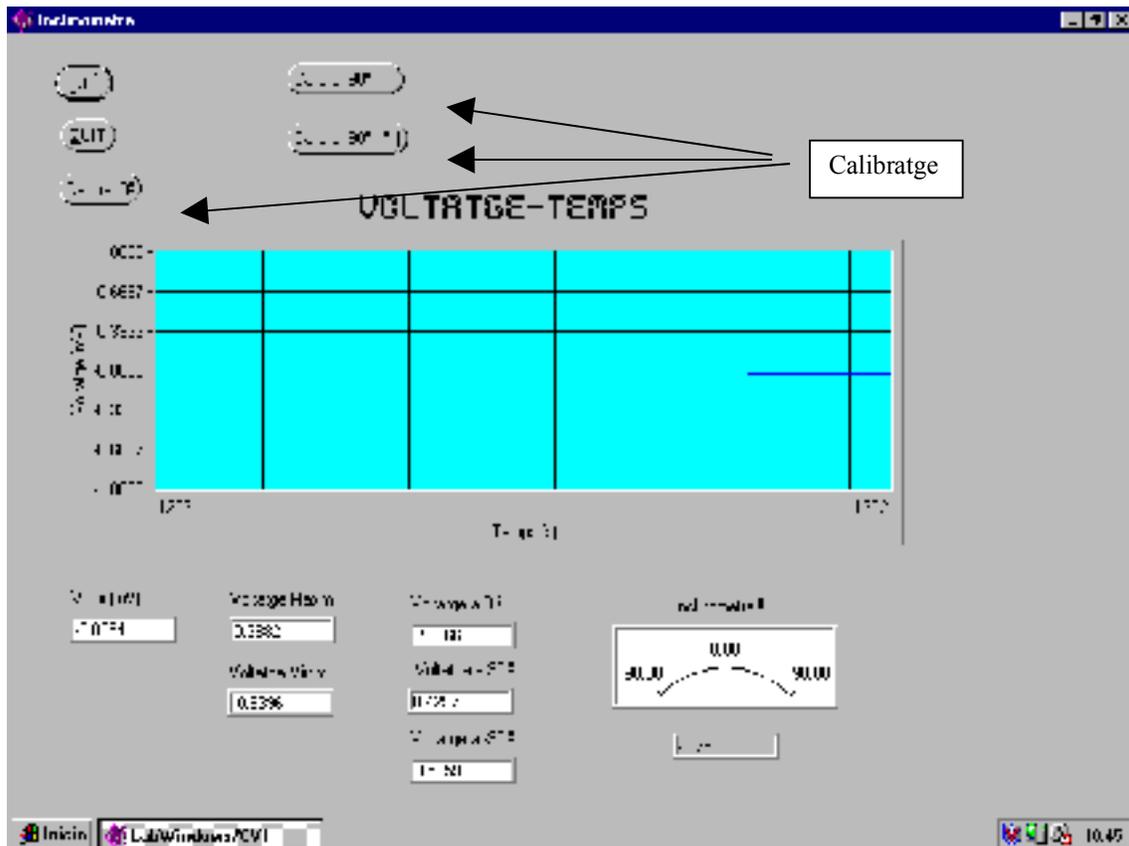
El sistema necesita ser calibrado antes de su uso. El proceso pide que se pulse un boton posicionando el inclinómetro a 0° , -90° y 90° . Con estos tres valores sabemos el rango de tensiones que ofrece y al ser un sistema con comportamiento lineal tension/inclinacion podremos dar por finalizado a fase de calibrado.

Manual de funcionamiento:

- 1- Poner el inclinómetro a 0° y esperar a que desaparezcan las oscilaciones. Pulsar el boton (Calibrar 0°).
- 2- Poner el inclinómetro a 90° y esperar a que desaparezcan las oscilaciones. Pulsar el boton (Calibrar 90°).
- 3- Poner el inclinómetro a -90° y esperar a que desaparezcan las oscilaciones. Pulsar el boton (Calibrar -90°).
- 4- Iniciar la aplicación (GO).

En la gráfica se puede observar los valores de inclinación una vez realizado el filtrado.

- 5- Finalizar aplicación (QUIT).



Tareas inmediatas para la mejora del inclinómetro:

- Mejora del circuito de amplificación.
- Minituarización del inclinómetro,
- Diseño de un medidor de vibración.
- Implementación de un filtro pasa baja a nivel de hardware.
- Mejora en la conversión Voltaje/(grado de inclinación).

Documentación:

- Manual PCL-812PG.
- Amplificadores compuestos de instrumentación: análisis y aplicación. Mundo electrónico, num 209 , Septiembre 1990.
- Catálogo empresa RS.

Observaciones:

Haciendo un tratamiento derivativo sobre los datos leídos por el inclinómetros podríamos desarrollar un velocímetro y un acelerómetro.