



# ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

"Impulsando la Sociedad del Conocimiento"



## Medición de Esfuerzos y Deformaciones en Barras Metálicas Utilizando Galgas Extensométricas

Miguel Yapur M. Sc. (1), José Israel Orellana García (2), David Héctor Tello Salazar (3)  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (1) (2) (3)  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) (1) (2) (3)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral (1) (2) (3)  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador (1) (2) (3)  
myapur@espol.edu.ec (1), iorellan20@gmail.com (2), davidhectortello@hotmail.com (3).

### Resumen

*El proyecto que se ha desarrollado trata acerca de los esfuerzos físicos aplicados a un tipo de transductor muy utilizado: "las galgas extensométricas" y sus respectivas mediciones y aplicaciones.*

*Para la captura de mediciones de las galgas extensométricas, se involucra el sensado de cambios muy pequeños en su resistencia. Para esto se debe primeramente realizar el acondicionamiento de esta señal; las galgas están colocadas en una celda de carga y con el uso de un puente resistivo, además de un filtrado y un amplificador de la señal, se podrá visualizar el valor de la fuerza aplicada a la celda de carga en un despliegue visual.*

*En este trabajo práctico se verá su definición formal, el principio de funcionamiento y los parámetros más importantes que se deben conocer de estos sensores; además y como medida de prueba de este transductor, se realizará el prototipo de una balanza electrónica con visualización en una pantalla LCD, para la medición en gramos; donde se utiliza para la adquisición de datos, se utiliza el convertidor analógico digital de un PIC 16F877A.*

**Palabras Claves:** *Transductor, galgas extensométricas, microcontrolador.*

### Abstract

*The project that has been developed is about the physical stresses applied to a type of transducer very used: "the strain gages" and their respective measurements and applications.*

*To capture measurements of the strain gages, it involves the sensing of very small changes in resistance. For this is primarily due to perform the conditioning of this signal; the gages are placed on a load cell and the use of a resistive bridge, besides one filtering and a signal amplifier, the value of the applied force the load cell in shown in a visual display.*

*In this practical work will be explained its formal definition, the principle of operation and the most important parameters that should be known about these sensors; also, and as measure of test of this transducer, there will be a prototype of an electronic balance with a screen display LCD for measuring in grams. For data acquisition, the analog to digital converter of a PIC 16F877A will be used.*

**Keywords:** *Transducer, strain gage, microcontroller.*

### 1. Introducción.

Lord Kelvin en 1856 descubrió que al aplicar una fuerza mecánica sobre un conductor se presentaba una variación en su resistencia eléctrica. La utilidad de este principio se manifiesta en la construcción de las galgas extensométricas. Estos dispositivos son transductores

pasivos que, aplicados sobre un algún material fijo o elástico, permiten medir la fuerza ejercida sobre él a partir de la deformación resultante. Así, fuerzas de compresión o torsión, aplicadas sobre algún material, generan deformaciones que son transmitidas a una galga extensométrica, respondiendo ésta con una variación de su propia resistencia. Las galgas se utilizan ampliamente

en diversas aplicaciones a nivel industrial, de investigación, ingeniería, instrumentación biomédica, en sistemas de pesaje automático y en todos los campos donde se requieran mediciones precisas de fuerza aplicada sobre alguna superficie. En el presente trabajo se detalla generalmente la definición de las galgas extensométricas y el parámetro más importante que es el “factor de galga”. También se describe el acondicionamiento de la señal por la deformación de la galga, las diferentes etapas del circuito como el amplificador de instrumentación y el filtrado. Se muestra la importancia de las galgas extensométricas y las diferentes aplicaciones de este transductor en la Medicina.

## 2. Marco Teórico.

En este apartado se verá la definición formal y el factor de galga de este transductor.

### 2.1 Galgas Extensométricas.

Una galga extensométrica o “strain gage” (en inglés) es un dispositivo transductor universal que se utiliza para la medición electrónica de diversas magnitudes mecánicas, como pueden ser: presión, carga, torque, deformación, posición, etc. Se entiende por strain o esfuerzo, a la cantidad de deformación de un cuerpo debida a la fuerza aplicada sobre él. Si se lo pone en términos matemáticos, strain ( $\epsilon$ ) se define como la fracción de cambio en longitud, como de demuestra la figura 1 a continuación:

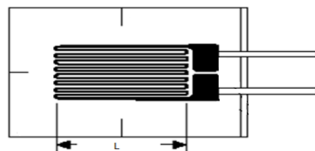


Figura 1. Galga extensométrica.

El parámetro strain puede ser positivo (tensión) o negativo (compresión); este valor es adimensional. En la práctica, la magnitud de medida de una galga es muy pequeña por lo que usualmente se expresa como microstrain ( $\mu\epsilon$ ).

Cuando una barra es tensionada por una fuerza uniaxial, como en la figura 2, un fenómeno conocido como esfuerzo de Poisson causa que la parte transversal de la barra se contraiga en la dirección perpendicular.

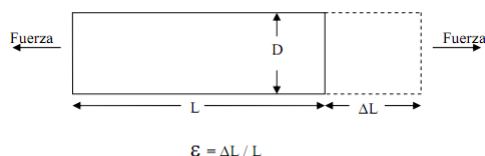


Figura 2. Esfuerzo de Poisson.

Existe un parámetro fundamental entre las características de las galgas extensométricas, que es la sensibilidad de elongación o llamado simplemente factor de galga (G). El factor de galga es definido como la relación de variación fraccional de resistencia eléctrica y la variación fraccional de longitud, como se describe en la siguiente ecuación:

$$G = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}}$$

El factor de galga (G) de un conductor metálico depende en gran parte de las características de la aleación en particular: trabajo en frío, nivel de impurezas en la aleación y el rango de deformaciones sobre el cual se mide. El factor de galga típico para un galga extensométrica metálica es de aproximadamente 2. A continuación se muestra una tabla con algunas sensibilidades.

Tabla 1 Factores de galgas comunes.

Sensibilidad a la deformación (GF) de aleaciones comunes utilizadas en galgas extensométricas.		
Material	Composición %	GF
Advance o Constantan	45 Ni, 55 Cu	2,1
Nichrome V	80 Ni, 20 Cr	2,2
Isoelastic	36 Ni, 8 Cr, 0,5 Mo, 55,5 Fe	3,6
Karma	74 Ni, 20 Cr, 3 Al, 3 Fe	2,0
Armour D	70 Fe, 20 Cr, 10 Al	2,0
Alloy 479	92 Pt, 8 W	4,1

### 2.2 Circuito de Medida de las Galgas.

La medición de Galgas Extensométricas es un caso especial de medición de la variación que tienen en su resistencia. Se requiere utilizar un puente resistivo para poder medir los pequeños cambios en su resistencia; para ello se utiliza el puente de Wheatstone, inventado por el físico inglés Charles Wheatstone en 1843.

## 3. Diseño del Hardware.

Se conoce que la variación en resistencia de este transductor produce una señal muy pequeña, entonces se procedió a diseñar un circuito que se adapte a este transductor. El circuito consta de varias etapas; en la figura 3 se muestra el diagrama de bloques del circuito.

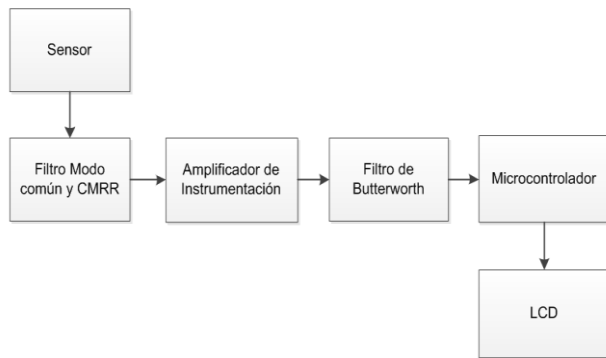


Figura 3. Diagramas de bloques del circuito.

En la primera etapa se encuentra el sensor; este sensor va a generar una señal pequeña que tiene que ser amplificada. Antes de ser amplificada esta señal, tiene que pasar por un filtro pasabajo, para que sea digitalizada por medio de un microcontrolador, y los datos se puedan visualizar en una pantalla LCD.

### 3.1 Diseño del Circuito.

El diseño del circuito se lo realiza por etapas; para ello se necesita conocer el tipo de señal proveniente del puente. Esta señal se encuentra en el rango de los milivoltios, por lo cual se tendrá que amplificarla y para ello se necesitará un amplificador de instrumentación. Luego esta señal se la digitaliza por medio de un microcontrolador.

Las etapas más importantes en el acondicionamiento de la señal son las siguientes:

- Excitación.
- Filtrado.
- Amplificación.
- Digitalización.

Este conjunto de etapas es utilizado en el acondicionamiento de señales de ciertos transductores.

#### 3.1.1 Amplificador de Instrumentación.

La exigencia de medir señales muy pequeñas de ciertos transductores, ha llevado a implementar un buen sistema de amplificación para este tipo de señales. Una de las mejores opciones es utilizar un Amplificador de Instrumentación con una adecuada Relación de Rechazo al Modo Común (CMRR).

## 4. Diseño del Software.

La programación del PIC se realizó en lenguaje C, usando el compilador mikroC PRO for PIC. La programación en lenguaje C es muy flexible, fácil de entender y ejecutar.

### 4.1 Programa del Microcontrolador.

Las principales funciones del microcontrolador son: adquirir por medio del A/D y también, mostrar mensajes de pesos y voltaje en el LCD.

Las tareas que debe realizar el microcontrolador son las siguientes:

- Configuración de recursos.
- Presentación de mensajes.
- Adquisición de datos.
- Validaciones.
- Filtrado digital.
- Presentación en la pantalla LCD.

Estas tareas en la programación se las diseñó como subrutinas o partes del programa principal que se ejecuta.

El programa principal cuenta con los siguientes procesos:

1. Configuración de los recursos del microcontrolador donde se configuran los pines de los periféricos, como por ejemplo: la pantalla LCD y el convertor A/D.
2. Encendido de la pantalla LCD y mensajes de inicio.
3. Inicialización del convertor análogo digital.
4. Adquisición y estabilización de la señal de entrada en el convertidor.
5. Conversión del valor del voltaje de entrada en gramos, por medio de una ecuación matemática.
6. Validación del peso.
7. Mostrar en la pantalla LCD el voltaje y el peso.

#### 4.1.1 Programación para el convertidor A/D.

En la programación del convertidor analógico digital se debe primero reiniciar los puertos como entradas o salidas; en este trabajo, el puerto A (PORTA) se configuró como entrada; luego se procedió a configurar los registros de control del PIC. El funcionamiento del convertidor A/D está bajo el control de los registros ADCON0, registro de control 0; y ADCON1, registro de control 1.

#### 4.1.2 Filtrado Digital.

La principal función de este proceso es adquirir, por medio del convertidor A/D y realizar un registro de la señal proveniente del sensor, para obtener un mejor resultado final; es decir, se realiza un muestreo de la señal que ingresa al PIC.

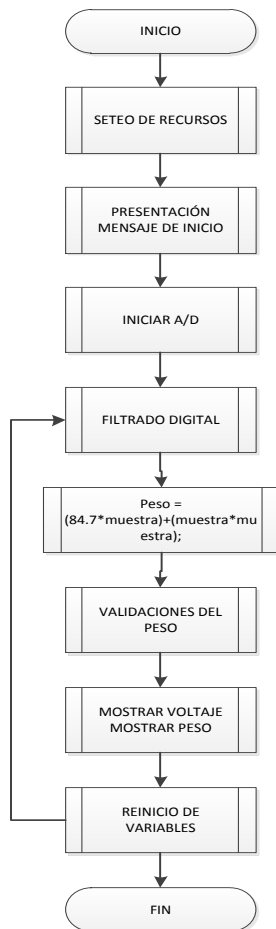


Figura 4. Diagramas de bloques del circuito.

El programa principal del microcontrolador con sus subrutinas se resume en el diagrama de flujo de la figura 4.

## 5. Aplicaciones y Pruebas.

Las galgas extensométricas tienen diversas aplicaciones en numerosos campos; éstas se las encuentra en: construcción, aeronáutica, medicina, etc.

### 5.1 Aplicaciones de las Galga.

Las aplicaciones de las galgas extensométricas son abundantes, pero su aplicación directa está en la medición de esfuerzos y deformaciones aplicados sobre cualquier superficie. Cada vez son más los equipos y dispositivos donde se encuentran las galgas extensométricas, para la medición de un sin número de parámetros, como por ejemplo: cuando se valora parámetros biológicos como presión, temperatura y flujo en diferentes órganos y partes corporales. A continuación se verán algunas aplicaciones donde se utilizan estos sensores, aplicadas dentro del campo de la Medicina.

#### 5.1.1 Aplicaciones en Medicina.

En Medicina se ha dado una variedad de aplicaciones a este transductor, ya sea para el tratamiento de dolencias, estudio de diferentes partes del cuerpo o en equipos médicos. En el mercado existe una gran variedad de empresas que se dedican al diseño y desarrollo de estos transductores, dando así la oportunidad de implementarlos en diversas aplicaciones que hoy en día son muchas, ya sea en cirugía robótica de alta precisión, perfeccionamiento de imágenes medicas, bombas de infusión, etc.

A continuación se enlistan algunas de las aplicaciones en Medicina, donde tienen participación estos transductores.

- Sensores dentales.
- Dispositivos de oftalmología.
- Transfusión de sangre.
- Bombas de infusión.
- Aparatos ortopédicos.
- Pinzas de mano.
- Sensores en tendones y ligamentos.
- Transductores de túnel carpiano.
- Simuladores de articulación.
- Verificación de dispositivos de torque.
- Pesaje de sustancias.

Una de las primeras aplicaciones donde se utilizan las galgas extensométricas, es en la medición del flujo sanguíneo. Actualmente muchos de los transductores de presión sanguínea comerciales utilizan este principio.

### 5.2 Prueba de funcionamiento de la celda de carga.

En este apartado se realizan los cálculos para comprobar el correcto funcionamiento de la celda de carga; con los datos que se tomen a partir del circuito, se podrá definir la ecuación que se fijó en el desarrollo del programa del microcontrolador. La capacidad de la celda de carga que se utilizó es de 500 g, que es el máximo peso que puede tolerar. La sensibilidad depende del voltaje que alimenta al sensor, el valor teórico de la sensibilidad es de 1.5mV.

El valor teórico de la señal máxima que entregue la celda de carga es de:

$$\text{Señal Máx.} = \text{Sensibilidad} \times \text{Voltaje Excitación}$$

$$\text{Señal Máx.} = 1.5 \text{ [mV/V]} \times 12 \text{ [V]} = 18 \text{ mV}$$

El valor real de la señal máxima que entrega la celda de carga es de:

$$\text{Señal Máx.} = 1.35 \text{ [mV/V]} \times 11.51 \text{ [V]} = 15.54 \text{ mV}$$

La señal de salida de la celda de carga para cualquier carga está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Señal} = \text{Sensitividad} \times \text{Voltaje Excitación} \times \frac{\text{Carga [g]}}{0.5 [\text{Kg}]}$$

Los límites de la celda de carga están dados por carga y ruptura; éstos obedecen al comportamiento de la celda de carga misma; para este caso se indican los siguientes valores:

$$\text{Limite Carga} = (1.5) \times (0.5 [\text{Kg}]) = 0.75 \text{ Kg}$$

$$\text{Limite Ruptura} = (3) \times (0.5 [\text{Kg}]) = 1.5 \text{ Kg}$$

Esta prueba consiste en tomar valores de los diferentes voltajes que ingresan al microcontrolador, donde se realiza la digitalización de la señal. Esto se hace colocando pesos conocidos en la bandeja de pesaje, para luego medir la respuesta del voltaje de entrada al PIC. Con estos datos se puede determinar el funcionamiento de la celda de carga, así como el comportamiento de la misma. Con la ayuda de estos datos se pudo obtener la ecuación matemática que representa el comportamiento de la celda de carga.

En la tabla 2 se detallan las mediciones realizadas; aquí se encuentra el peso en gramos y el peso calculado con su respectivo voltaje. El peso calculado se lo obtiene de la ecuación matemática. Los parámetros principales son, Peso y Voltaje. Esta tabla también incluye el porcentaje de error entre los dos pesos, el teórico y el práctico.

Tabla 2. Medición de Respuesta de la Celda de Carga.

Peso	Voltaje	Peso Calculado	Error(%)
10	0,11	9,329	-6,709
20	0,23	19,534	-2,330
30	0,35	29,768	-0,775
40	0,46	39,174	-2,066
50	0,58	49,462	-1,075
60	0,69	58,919	-1,802
70	0,81	69,263	-1,053
80	0,92	78,770	-1,537
90	1,04	89,170	-0,923
100	1,16	99,598	-0,402
110	1,28	110,054	0,049
120	1,39	119,665	-0,279
130	1,51	130,177	0,136
140	1,62	139,838	-0,115
150	1,73	149,524	-0,317
160	1,84	159,234	-0,479
170	1,95	168,968	-0,607
180	2,07	179,614	-0,215
190	2,19	190,289	0,152
200	2,30	200,100	0,050
210	2,42	210,830	0,395
220	2,54	221,590	0,723
230	2,63	229,678	-0,140
240	2,76	241,390	0,579
250	2,85	249,518	-0,193
260	2,97	260,380	0,146
270	3,07	269,454	-0,202
280	3,18	279,458	-0,193
290	3,29	289,487	-0,177
300	3,40	299,540	-0,153
310	3,51	309,617	-0,124
320	3,62	319,718	-0,088
330	3,74	330,766	0,232
340	3,85	340,918	0,270
350	3,95	350,168	0,048
360	4,07	361,294	0,359
370	4,18	371,518	0,410
380	4,30	382,700	0,711
390	4,40	392,040	0,523
400	4,51	402,337	0,584

Los pesos están en una escala de 10 g y llega a los 400 g en esta escala. Cabe recalcar que este peso incluye el peso de la superficie donde se colocan los pesos a medir y la bandeja de pesaje. La figura 5 muestra la curva de los valores tomados del circuito. La tendencia de los

datos de esta curva es la que proporciona los valores prácticos.

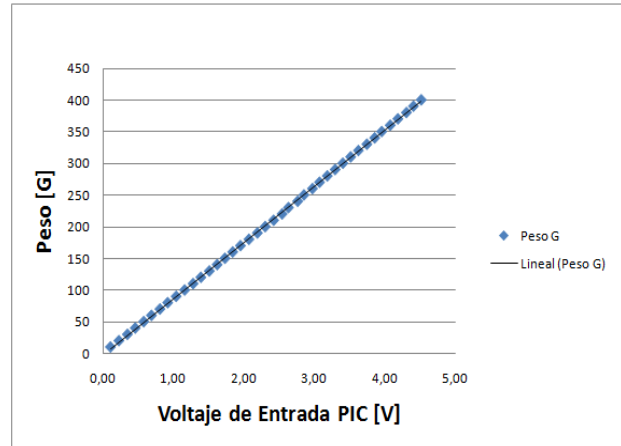


Figura 5. Respuesta de la Celda de Carga.

Con este rango de peso las galgas extensométricas están dentro del límite lineal. La ecuación de funcionamiento de la celda se la calculó utilizando un software apropiado. Una ecuación de segundo orden, como la que observa a continuación se utilizó, ya que presenta excelentes características estadísticas:

$$\text{Peso [g]} = \text{Voltaje}^2 + 84.7 * \text{Voltaje}$$

Para esta ecuación el coeficiente de correlación es de 0.99, el cual es un valor aceptable; esto quiere decir que no habrá mucha diferencia entre el valor calculado y el valor real. En la figura 6 se muestra el Peso Calculado vs Voltaje de entrada al PIC con los valores de la ecuación calculada.

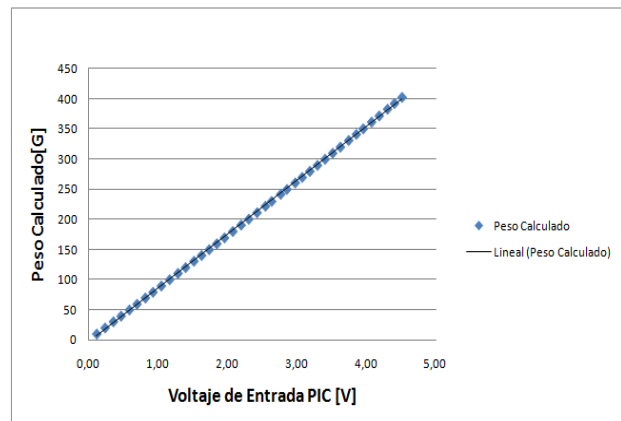


Figura 6. Curvas de Funcionamiento Calculada.

En la figura 7 se encuentran graficadas ambas curvas; como se puede notar son casi idénticas.

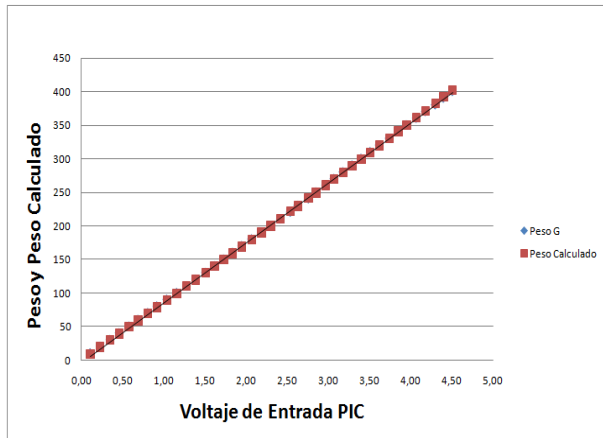


Figura 7. Curva Medida vs Curva Calculada.

Una vez que la balanza se encuentra en funcionamiento, el microcontrolador realiza los cálculos del peso con la ecuación obtenida, permitiendo obtener mediciones con un rango de 0 a 400 g. con una resolución de 1g.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones.

1. El aprendizaje comprendido en este presente trabajo se llevo a cabalidad, y se pudo abarcar todos los temas propuestos; además se pudo entender el comportamiento de las galgas extensométricas.
2. Las galgas extensométricas están ubicadas en la celda de carga para su respectivo análisis; actualmente existe un sin número de aplicaciones, en donde se utilizan las celdas de carga, especialmente si se quiere obtener una medida precisa de un peso. Las celdas conforman una parte fundamental en un sistema de pesaje, encontrándose éstas en la mayoría de balanzas electrónicas.
3. El microcontrolador 16F877A forma parte fundamental en el diseño de este sistema; este cuenta con una gran cantidad de recursos, además de un buen tiempo de respuesta en el procesamiento de datos.
4. Actualmente en el desarrollo de equipos se da mucha importancia a la facilidad de manejo del usuario, por esta razón es importante incluir dispositivos amigables tanto para manejo como para visualización, esto lo hace el microcontrolador aunque se puede mejorar este proyecto incorporando una comunicación con una computadora, por medio del RS232, para visualizar la curva del comportamiento del sensor.

## 7. Bibliografía.

- [1] Barea Navarro, Rafael, Introducción y Conceptos Básicos de la Instrumentación Biomédica,

<http://fit.um.edu.mx/jorgemp/clases/ingbiomedica/unidad1/Tema1.pdf>, fecha de consulta diciembre 2010.

- [2] A. Sanz y J. I. Artigas, Diseño de filtros activos 1, [http://www.cps.unizar.es/~te/Docencia\\_archivos/eaa\\_archivos/t4\\_filtros.pdf](http://www.cps.unizar.es/~te/Docencia_archivos/eaa_archivos/t4_filtros.pdf), fecha de consulta enero 2011.
- [3] Analog Devices, Data Acquisition Databook, Published by Analog Devices, Inc., 1984
- [4] Omega, Introduction to Load Cells, <http://www.omega.com/prodinfo/loadcells.html>, fecha de consulta enero 2011.
- [5] Foros de Electrónica, Celdas de Carga, <http://www.forosdeelectronica.com/about35.html>, fecha de consulta enero 2011.
- [6] National Instruments, Acondicionamiento de Señales, <http://www.ni.com/signalconditioning/esa/>, fecha de consulta febrero 2011.
- [7] Sosa, Javier, Galgas Extensiométricas Strain Gages 1, [www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/Strain\\_Gages\\_1.pdf](http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/Strain_Gages_1.pdf), fecha de consulta febrero 2011.