

SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL DEL PESO APLICADO A MUELLES DE BALLESTA AUTOMOTRIZ

REAL-TIME MONITORING SYSTEM FOR WEIGHT APPLIED TO AUTOMOTIVE CROSSBOW SPRINGS

María de Lourdes Rivas Becerra

Universidad de Guadalajara, México
maria.rivas@alumnos.udg.mx

Juan José Raygoza Panduro

Universidad de Guadalajara, México
juan.rpanduro@academicos.udg.mx

Edwin Christian Becerra Álvarez

Universidad de Guadalajara, México
edwin.becerra@academicos.udg.mx

José Luis González Vidal

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México
jlvidal@uaeh.edu.mx

Jaime David Ríos Arrañaga

Universidad de Guadalajara, México
jaime.rios@alumnos.udg.mx

Recepción: 2/noviembre/2021

Aceptación: 28/febrero/2022

Resumen

El exceso de peso colocado en vehículos contribuye a que las muelles de ballesta automotriz, tengan un desgaste apresurado, causando la ruptura de las muelles o un desequilibrio en el vehículo al momento de conducirlo, que podría causar un accidente como el de volcadura. Este trabajo, muestra la metodología para la implementación de sensores en un prototipo de muelles de ballesta. Para medir la deformación de las ballestas mediante galgas extensiométricas adheridas a los extremos de la segunda hoja de las ballestas. Las galgas están conectadas al diseño de un circuito de calibración, conmutación y monitoreo en tiempo real para hacer la validación del peso aplicado. Se obtuvo el promedio de los datos obtenidos de las galgas sometidas a un ambiente controlado con sensación térmica de 19 a

26 °C. Con los resultados, se demuestra si es conveniente la aplicación en vehículos con este tipo de muelles en la suspensión.

Palabras Clave: Deformación, galgas extensiométricas, muelles de ballesta automotriz.

Abstract

The excess weight placed in vehicles contributes to the automotive crossbow springs, have a hasty wear, causing the rupture of the springs or an imbalance in the vehicle at the time of driving it, which could cause an accident such as overturning. This work shown the methodology for the implementation of sensors in a prototype of crossbow springs. To measure the deformation of the crossbow springs using strain gauges attached to the ends of the second blade of the crossbow spring. The strain gauges are connected to the design of a calibration, switching and monitoring circuit in real time to do the validation of the applied weight. The average of the data obtained from the strain gauges subjected to a controlled environment with a thermal sensation of 19 °C to 26 °C was obtained. The results show if it is convenient to apply in vehicles with this type of crossbow springs in the suspension.

Keywords: Automotive crossbow springs, deformation, strain gauges.

1. Introducción

Los avances tecnológicos en el sector automotriz contribuyen en el desarrollo para la implementación de sensores en las diferentes partes del vehículo, llegando a tener desde 60 a 100 sensores [Tyler, 2016]. Se han convertido en una parte muy importante para los vehículos, porque brindan información sobre parámetros que permiten que las funciones del automóvil sean reguladas y controladas, garantizando seguridad, protección y comodidad [Global Automotive Sensor Market Size, 2022]; como los sensores ubicados en la suspensión, que dan confort al usuario, remplazando las suspensiones pasivas por suspensiones semi-activas o activas [Huang, 2019].

Las suspensiones semi-activas, son una combinación de las suspensiones pasivas y activas, que hacen uso de sensores y módulos electrónicos, sin la necesidad de

un canal externo de energía. Se caracterizan por usar amortiguadores regulables y elementos elásticos como los resortes helicoidales o muelles de ballesta [Ming, 2020] y las suspensiones activas almacenan, disipan e introducen energía que es regulada por sensores y controladores [Hurel, 2013], [Zhou, 2018]. En la figura 1, se observa un ejemplo de muelle de ballesta, que forma parte de la suspensión y algunos de los elementos que la conforman, como: las abrazaderas, que evitan el rebote de la hoja maestra y permiten el deslizamiento cuando existe deformación inducida por el peso; tornillo de centro, usado como guía de posición; bujes, para evitar el contacto con pernos de sujeción al columpio o percha por el roleo de la hoja, entre otros [Terán, 2017].

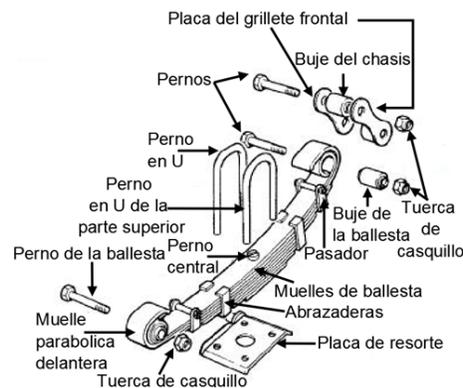


Figura 1 Partes que conforman a las muelles de ballesta automotriz.

Los sensores que se utilizan para determinar el peso del vehículo son adheridos al chasis para hacer la medición directamente con la carga que tiene. Es posible medir diferentes variables como la distancia que hay entre la suspensión y el bastidor, como lo hace el sensor de carga de la empresa GEOMBO. También son muy usadas las celdas de carga para medir la fuerza de las vueltas del vehículo, carga fuera del eje, etcétera [Kondratjevs, 2016], [Safdar, 2015].

Sin embargo, la implementación de galgas extensiométricas adheridas directamente a las muelles de ballesta automotriz, permiten medir la deformación acorde al peso aplicado. La medición de la deformación se hace mediante un circuito electrónico, para obtener la relación de resistencia eléctrica–peso. La información obtenida es procesada para tener una respuesta en voltaje, que facilita

la interpretación de los datos y genera una nueva relación de voltaje–peso. Así, se podrá prevenir un desgaste apresurado o ruptura de la muelle tipo ballesta ocasionado por el exceso de peso.

Este trabajo presenta una introducción a las galgas extensiométricas en las cuales se describe su comportamiento. Después, se explica el diseño electrónico para el acondicionamiento de señal de las galgas. Así como la implementación de un prototipo a escala con las galgas pegadas a los extremos de la segunda hoja de las muelles del diseño y una caja puesta sobre las ballestas para simular la caja de una camioneta, que es utilizado para realizar pruebas experimentales. Los datos obtenidos de las mediciones se presentan en la sección de resultados. Los datos analógicos fueron procesados para convertirlos a digitales, por medio del microcontrolador PIC18F4550 y el multímetro *Meterman 38XR*. Se obtuvo en tiempo real la respuesta de cada una de las galgas extensiométricas sin peso aplicado y se graficaron los datos de las galgas expuestas a un ambiente con sensación térmica aproximada de 19 a 26 °C, Con el sistema calibrado se midieron los voltajes de las galgas 1 y 2 al aplicarles diferentes pesos en kilogramos.

Galga extensiométrica

Las galgas extensiométricas, también conocida como *strain gauge*, son sensores resistivos donde la resistencia varía con la deformación a través de la fuerza aplicada. Las galgas se utilizan para medir torque, carga, posición, deformación, entre otros [HBM, 2020]. Existen diferentes tipos de galgas para diferentes propósitos; por ejemplo: extensómetros de hoja, galgas extensiométricas semiconductoras, extensómetros de capa delgada, etcétera. La figura 2 muestra una galga uniaxial, como la que se utilizó para medir la deformación en las muelles de ballesta automotriz.

Para conocer la resistencia eléctrica se utiliza la ecuación 1, que se basa en el efecto piezorresistivo de metales y semiconductores. [Areny, 2005], [Stefanescu, 2011]. Donde, P es la resistividad, l la longitud y A la sección.

$$R = P \left(\frac{l}{A} \right) \quad (1)$$

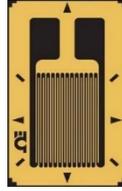


Figura 2 Galga extensiométrica tipo uniaxial.

La ecuación 2 describe el factor galga, 1 es el cambio en la resistencia por el cambio en la longitud; $2u$ es la variación en la resistencia cuando es provocado por la alteración en la sección, y $dP/P/dL/L$ es el cambio en la resistencia por el efecto piezorresistivo [Areny, 2005], [Alzate, 2007], [García, 2010].

$$k = \frac{dR}{R} = 1 + 2u + \frac{dP}{P} \frac{dL}{L} \quad (2)$$

Cuando k (factor de galga) es definido, el cambio de longitud resultante al aplicar una fuerza F surge de la ley de Hooke y el módulo de Young, como se aprecia en la figura 3 y en la ecuación 3, que define las propiedades elásticas de un cuerpo. σ es la constante de rigidez mecánica y E una constante del material.

$$\sigma = \frac{F}{A} = E \cdot \varepsilon = E \left(\frac{dl}{l} \right) \quad (3)$$

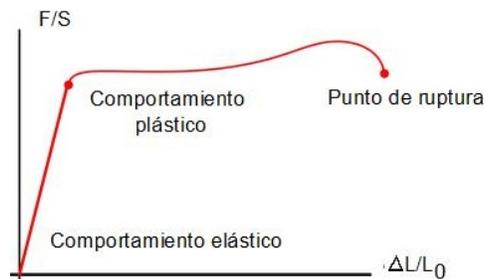


Figura 3 Modulo de Young.

La relación que hay entre el cambio en una pieza con una longitud l , que tiene una dimensión transversal t , al aplicarle un esfuerzo longitudinal, no solo cambia l , también t , que se basa en la ley de Poisson de la ecuación 4 [Areny, 2005], [Alzate, 2007], [García, 2010].

$$\mu = -\frac{\frac{dt}{t}}{\frac{dl}{l}} \quad (4)$$

2. Métodos

El acondicionamiento de señal consiste en modificar una señal de entrada para que pueda ser procesada y visualizada en una salida en voltaje o corriente. [Bolton, 1995].

Diseño electrónico para el acondicionamiento de señal

Para medir las variaciones de resistencia de la galga extensiométrica, se implementó un puente de Wheatstone. Para obtener una diferencia de potencial o corriente por los cambios de resistencia. También se implementó un proceso de amplificación para adecuarla. La señal se amplificó con el uso de amplificadores operacionales (OpAmp). Su estructura es una combinación de sub-circuitos analógicos y algunas aplicaciones son el procesamiento lógico, filtros pasa bajas, pasa altas, rechaza banda, entre otros. El voltaje de entrada tipo diferencial, lo amplifica para obtener una salida amplificada [Simancas, 2013], [Márquez, 2013]. El diagrama general del circuito electrónico para el acondicionamiento de señal de las galgas extensiométricas se muestra en la figura 4 y se conforma de cuatro etapas: puente de Wheatstone, OpAmp diferencial, OpAmp inversor y amplificador de instrumentación (InAmp, Instrumentation amplifier). Tiene una etapa de conmutación que se conecta al ADC (Analog Digital converter) del microcontrolador PIC18F4550, para convertir los datos analógicos a digitales. Las salidas digitales del PIC, se conectan al buffer triestado 74LS244, que se utiliza como un amplificador de corriente (buffer), porque el microcontrolador entrega una corriente baja. Las salidas del buffer están conectadas al DAC0800, para suministrar la corriente necesaria al DAC (Digital Analog converter) y devolver la señal de entrada a su estado analógico.

En la etapa 1 de la figura 4, el puente de Wheatstone es alimentado por un regulador de voltaje que a la salida proporciona 5 V. El puente es utilizado para medir los

cambios de resistencia que puede presentar la galga extensiométrica Rx conectada al puente.

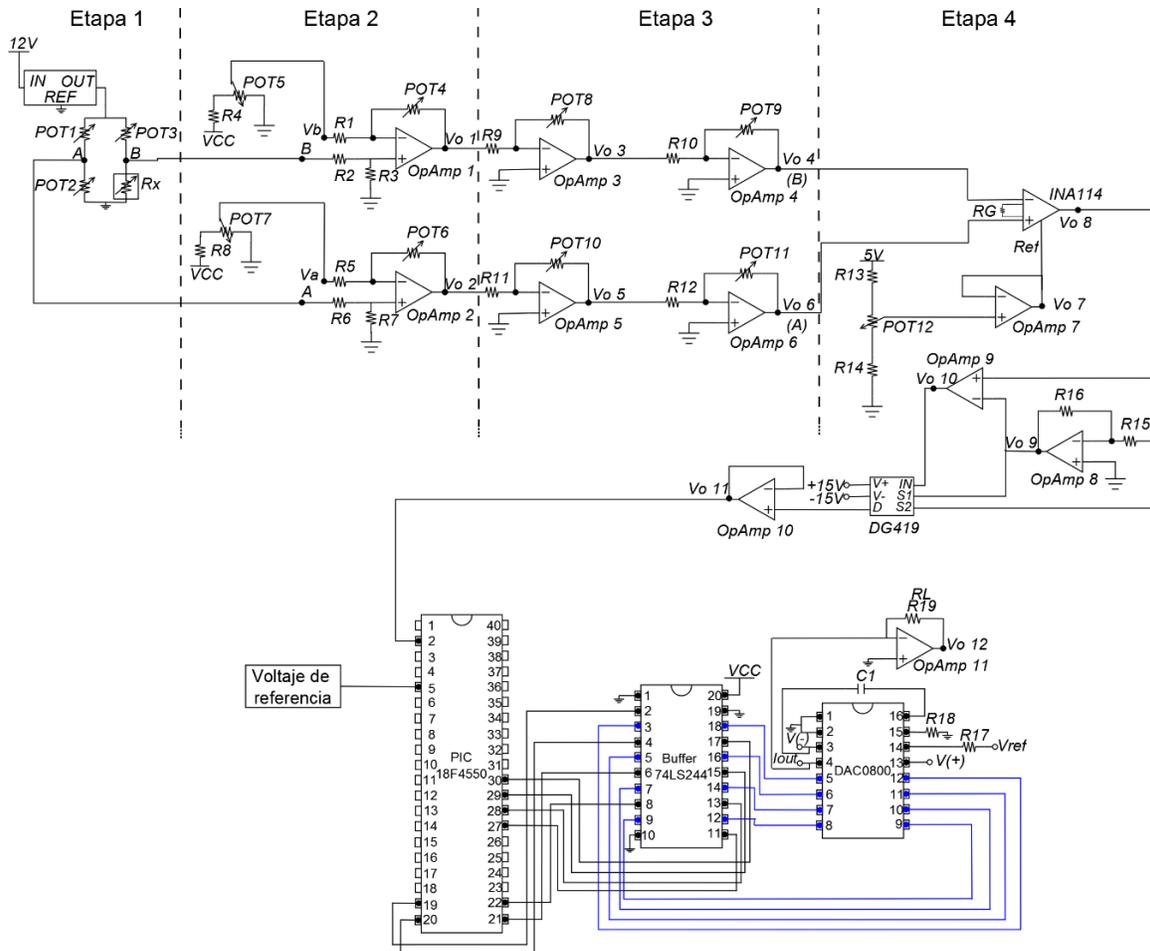


Figura 4 Diseño para la medición de la deformación de la galga extensiométrica.

Implementando la ecuación 5 es posible conocer las variaciones que llega a tener, donde R que es la galga utilizada, tiene un valor de 350Ω y X corresponde al producto entre el factor galga $k = 2.02$ y $E = \pm 1\%$. Los potenciómetros (POT) se ajustan al valor de la galga.

$$R_x = R_1 = R_3 (1 \pm X) \quad (5)$$

Para calcular el voltaje de los nodos A y B, se usaron las ecuaciones 6 y 7.

$$U_A = V_{CC} \frac{POT_2}{POT_2 + POT_1} \quad (6)$$

$$UB = V_{cc} \frac{Rx}{Rx + POT3} \quad (7)$$

Los resultados obtenidos se sustituyeron en la ecuación 8, que refleja la diferencia de potencial resultante del voltaje en *B* menos la de *A*, con estos datos es posible saber si el puente de Wheatstone se encuentra en equilibrio.

$$Vo = UB - UA \quad (8)$$

Cada uno de los nodos de la etapa 1, están conectados a la entrada no inversora (+) del OpAmp diferencial de la etapa 2 del circuito. Para la entrada inversora (-), se conectó un divisor de tensión que proporciona 2.45 V al ajustar POT7 para el nodo *A* y POT5 para *B*. Para obtener el voltaje de salida diferencial de la etapa 2, se realizó la ecuación 9. Donde al voltaje de salida *Vb* del divisor de voltaje del OpAmp 1 se le resta el voltaje del nodo *B*; y en la ecuación 10, se resta el voltaje de salida del divisor del OpAmp 2 etiquetado como *Va* con la del nodo *A*.

$$Vo1 = Vb - B \quad (9)$$

$$Vo2 = Va - A \quad (10)$$

La etapa 3 del circuito electrónico, se conforma por dos amplificadores inversores, donde la ganancia se obtiene haciendo la ecuación 11. Los inversores OpAmp 3 y OpAmp 5 multiplican cinco o diez veces el voltaje de salida del amplificador diferencial, para tener una tensión con ganancia de 5 dB o 10 dB. El voltaje amplificado del nodo *B* ingresa al OpAmp 4 y el del nodo *A* al OpAmp 6. Que tienen una ganancia unitaria solo para invertir la polaridad del voltaje de entrada; para ambos casos se efectuó la ecuación 12.

$$\frac{Vout}{Vin} = -\frac{RF}{R1} = \frac{POT8}{R9} \quad (11)$$

$$Vout = (Vin)(A) \quad (12)$$

El amplificador de instrumentación INA114, es usado en la etapa 4 del circuito de calibración. Se basa en una topología diferencial de voltaje en el que la ganancia se establece de forma precisa. En *Vin* (+) entra el voltaje de *A* y en *Vin* (-) el de *B*. En *RG* se conectó una resistencia variable de 50 kΩ, para obtener una ganancia de 2

dB en el voltaje de salida; la ganancia se calculó con la ecuación 13 tomada de la hoja de datos del integrado INA114. En el pin de referencia, etiquetado como *Ref*, se conectó un seguidor de línea con un voltaje de referencia de 10 mV, con la finalidad de mantener una mayor estabilidad en el voltaje de salida [Márquez, 2013], [Carter, 2018].

$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{RG} \quad (13)$$

Los cambios de resistencia que tiene la galga extensiométrica por factores ambientales como el térmico, tienen como consecuencia que el voltaje en el nodo *B* varíe, afectando la polaridad del voltaje de salida del INA114. Por lo tanto, se conectó un circuito de conmutación electrónico a la salida del INA114 y a un amplificador inversor con ganancia unitaria, que se conectan al interruptor analógico single-pole / double-throw DG419. La salida *Vo9* del inversor, se conecta a *S1* y la del INA114 *Vo8* a *S2*. Para activar cada switch, de acuerdo con la hoja de datos, es necesario ingresar un voltaje al pin *IN* (entrada lógica), donde 0 lógico $\leq 0.8 \text{ V}$ y 1 lógico $\geq 2.4 \text{ V}$.

Para obtener los valores lógicos, se conectó el comparador OpAmp 9. Las señales a comparar son las del INA114 y la del inversor OpAmp 8. Cuando *Vo8* es negativo, en *Vo10* se tienen 0 V, permitiendo pasar el voltaje en *S1*. De lo contrario, en *Vo10* se tienen 5 V, desactivando *S1* y abriendo el switch *S2*. Por lo tanto, en la salida (*D*) del interruptor siempre hay voltaje con polaridad positiva. Para convertir la señal que proviene del interruptor DG419, se habilitó el ADC del PIC18F4550. El pin 5 se configuro para ingresar un voltaje de referencia externo de 3.3 V y el pin 2 (*A0*) como entrada analógica; la señal pasa por el proceso de muestreo, retención, cuantificación, error de cuantificación y codificación. Los pines del puerto *D* se habilitaron como salidas del dato digital y se conectaron al buffer 74LS244, que almacena los 8 bits del input con el fin de enviar primero los 4 bits menos significativos y luego los 4 bits más significativos. Las entradas analógicas (5 – 12) del DAC0800, están conectadas a las salidas del buffer; con el DAC es probable obtener un valor analógico que sirve para visualizar el promedio de los datos ingresados por el pin 2 (*A0*) del microcontrolador.

Implementación del prototipo a escala y circuito de calibración

Para el prototipo a escala de muelles de ballesta automotriz, se utilizaron soleras de aluminio de “1/8 pulgadas”, con diferentes medidas, intercaladas de la más chica a la más grande como se muestra en la figura 5. Para evitar que se desprendan, se tiene un tornillo de centro y abrazaderas en cada uno de los extremos para hacer presión y mantenerlas unidas. Sobre las ballestas se colocó una caja que simula la caja de una camioneta.

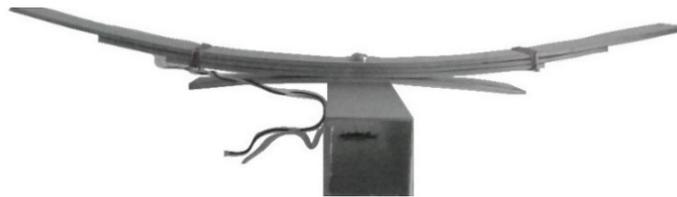


Figura 5 Diseño de la muelle de ballesta automotriz.

El circuito de calibración de la figura 4, fue implementado en físico para realizar pruebas experimentales y corroborar que el sistema completo es funcional, como se observa en la figura 6. Se aplicó peso para provocar la deformación y constatar que al retirarlo las muelles regresarían a su forma original. El peso máximo aplicado fue de 40 kg, en el cual se presentó el límite de deformación, quedando el muelle totalmente alineado; por tal motivo, se decidió trabajar con el rango de 0 kg a 35 kg.



Figura 6 Sistema completo del prototipo a escala para pruebas experimentales.

3. Resultados

La implementación del prototipo a escala permitió realizar pruebas experimentales, para corroborar que tan factible resulta al momento de aplicarlo en

un entorno real. Se adhirieron galgas extensiométricas en cada uno de los extremos de la segunda hoja de las muelles de ballesta automotriz, con el objetivo de medir la deformación que tienen al aplicarle peso en kg a la caja colocada sobre las ballestas. La adquisición de los datos se realizó a través del software *Meterman 38XR Data Acquisition* por comunicación serial. Para leer las señales analógicas del circuito de calibración y visualizar el cambio de voltaje al momento de aplicarle peso.

Comportamiento del sistema sin peso aplicado

Las mediciones de las galgas extensiométricas sin peso aplicado se realizaron sin la caja puesta sobre las ballestas, para obtener el voltaje de salida sin peso y hacer la comparación entre los datos de cada una de las galgas. Se calculó el promedio de cada galga extensiométrica y se obtuvo el promedio general de los datos de las galgas, que se muestran en la tabla 1, con la finalidad de ver la dispersión del voltaje y verificar si el factor térmico afecta la resistencia de las galgas extensiométricas.

Tabla 1 Promedio individual de cada galga extensiométrica y promedio general.

	Galga 1(V)	Galga 2(V)	Galga 3(V)	Galga 4(V)	Promedio general (V)
Promedio individual	2.03044	2.02132	2.01879	2.01279	2.020835

En la figura 7 se aprecia el comportamiento de las galgas 1, 2, 3 y 4 en un ambiente donde la sensación térmica es aproximadamente de 19 a 26 °C.

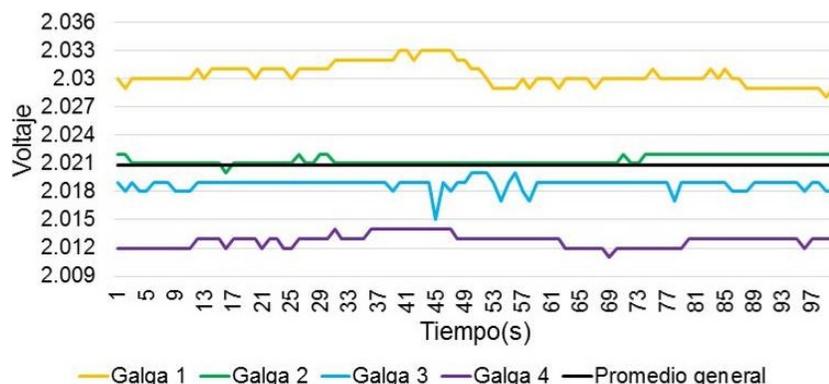


Figura 7 Respuesta de las galgas extensiométricas sin peso aplicado.

Se observa que el conjunto de mediciones se encuentra en un rango de 2.03 V a 2.012 V, mostrando más consistencia la galga 2 que está más cerca del promedio general de los datos. Al hacer la comparación entre los resultados de la gráfica de la figura 7, se observa que las galgas muestran una dispersión en un rango aproximado entre 0.002 a 0.01 V. Lo que indica que el factor térmico afecta de manera mínima a la resistencia de las galgas.

En la figura 8a se muestra la gráfica de los datos obtenidos, y en la figura 8b la representación gráfica del lugar en el que se encuentran adheridas las galgas en el prototipo de las muelles de ballesta automotriz; las galgas 1 y 2 están pegadas en la segunda hoja del mismo muelle de ballesta. Hay más consistencia en los datos de la galga 2 en comparación con los de la galga 1, donde se observa que el voltaje máximo para la galga 1 es de 2.032 y 2.028 V como mínimo, con una diferencia de 0.004 V. La galga 2 tiene 2.022 V de voltaje máximo y 2.02 V como mínimo, la diferencia ente los voltajes es de 0.002 V. En la tabla 2 se muestran las diferencias de los voltajes máximos y mínimos para cada galga y el promedio de los datos.

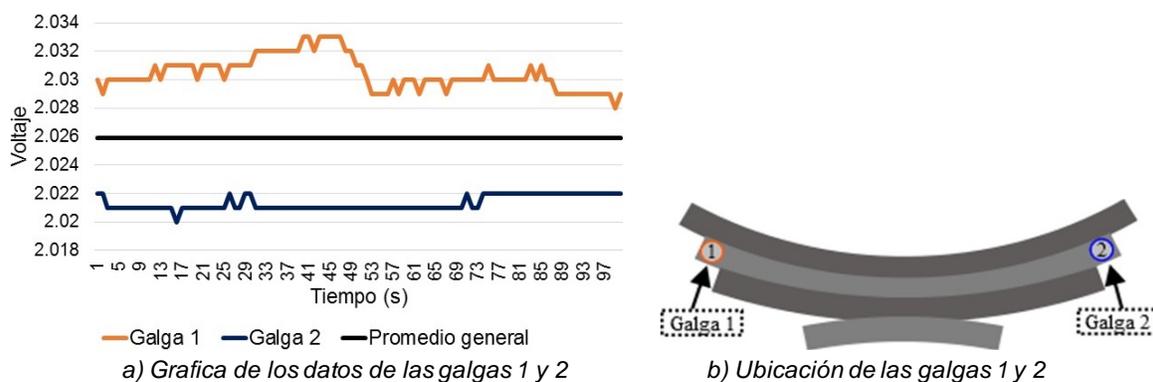


Figura 8 Respuesta de las galgas extensiométricas 1 y 2 sin peso aplicado.

Tabla 2 Diferencia entre voltaje máximo, mínimo y promedio de las galgas 1 y 2.

	Galga 1 (V)	Galga 2 (V)	Diferencia
Voltaje máximo	2.032	2.022	0.010
Voltaje mínimo	2.028	2.020	0.008
Diferencia	0.004	2.002	
Promedio	2.03044	2.02132	0.00912

Los resultados de las galgas 3 y 4, se aprecian en la tabla 3. En la figura 9a se observan los datos graficados y en la figura 9b una representación gráfica del lugar en donde se encuentran adheridas. De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas experimentales sin peso, la galga 4 muestra menor dispersión en las mediciones, con una diferencia de 0.003 V entre el voltaje máximo y el mínimo, en comparación con la galga 3 que tiene una diferencia de 0.005 V, tabla 3.

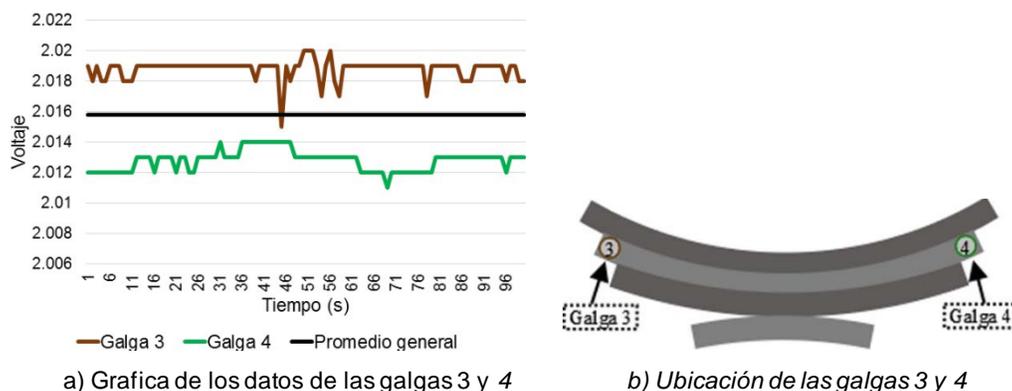


Figura 9 Respuesta de las galgas extensiométricas 3 y 4 sin peso aplicado.

Tabla 3 Diferencia entre voltaje máximo, mínimo y promedio de las galgas 1 y 2.

	Galga 3 (V)	Galga 4 (V)	Diferencia
Voltaje máximo	2.015	2.011	0.004
Voltaje mínimo	2.020	2.014	0.006
Diferencia	0.005	2.003	
Promedio	2.01879	2.01279	0.006

Comportamiento del sistema con peso aplicado

Con el sistema calibrado, se evaluó el comportamiento de las galgas 1 y 2 al aplicarle diferentes pesos entre 0 a 35 kg de manera ascendente. El peso de la caja puesta sobre las ballestas es de 1.760 kg; sin embargo, no afecta al voltaje inicial de las galgas. Por lo tanto, se procedió a colocarle pesos de 10, 20 y 30 kg inclinados hacia la galga 1, manteniendo un peso constante de 5 kg con inclinación hacia la galga 2 y viceversa como se muestra en la figura 10. El objetivo es medir los cambios de voltaje que tienen las galgas 1 y 2 al inclinar el peso hacia un solo lado, y como esto contribuye a que el ángulo de inclinación de ambas galgas cambie. En la gráfica de la figura 11 se aprecia cómo va en aumento el voltaje de

las galgas 1 y 2 al aplicarles los pesos de 10 en 10 kg, y en la tabla 4 se muestran el promedio de los datos al aplicarles los diferentes pesos y la diferencia que tienen entre el promedio de una galga y otra.

Galga 1	Galga 2	Galga 1	Galga 2
10kg	5kg	5kg	10kg
20kg	5kg	5kg	20kg
30kg	5kg	5kg	30kg

Figura 10 Distribución de pesos colocados en las galgas 1 y 2.

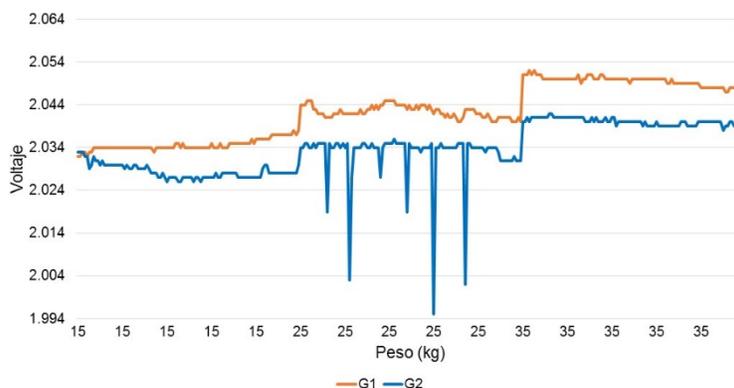


Figura 11 Relación peso – voltaje de las galgas 1 y 2.

Tabla 4 Promedio de las galgas 1 y 2.

Peso (kg)	10	20	30
Promedio G1 (V)	2.03462	2.04244	2.04972
Promedio G2 (V)	2.02839	2.03256	2.04002
Diferencia (V)	0.00623	0.00988	0.0097

Se obtuvo el ángulo de inclinación al aplicarle cada uno de los pesos, como representación de la deformación de la ballesta, y se observó como el peso inclinado hacia un solo lado afecta de manera indirecta el lado opuesto; provocando que el ángulo aumente o disminuya, como se muestra en los resultados de la tabla 5. El aumento de peso en cualquiera de los lados de la ballesta hace que la inclinación vaya en decremento, llegando a tener 7.75 cm para la galga 1 y 5.55 cm para la galga 2, cuando se le aplica un peso de 3 kg. Esto afecta de manera indirecta la

inclinación del lado opuesto en donde se le aplico un peso constante de 5 kg para ambos casos. Es decir, que mientras a la galga 1 se le aplicaban 10 kg, 20 kg y 30 kg, la galga 2 mantenía un peso contante de 5 kg. Así para el caso contrario, donde el mayor peso se le aplicaba a la galga 2 y los 5 kg a la galga 1; afectando indirectamente el lado con mayor peso. Al quitar los pesos, la ballesta regreso a su inclinación inicial, que es de 9.3 cm para la galga 1 y 8.55 cm para la galga 2.

Tabla 5 Inclinación de las muelles de ballesta.

Peso (kg)	Inclinación		Peso (kg)	Inclinación	
	G1	G2		G2	G1
10	-5.14	-7.68	5	-10.75	-4.57
20	-4.14	-6.13	5	-11.30	-3.43
30	-2.95	-5.71	5	-21.30	-10.20

4. Discusión

La falta de distribución del peso en los vehículos presenta una deformación no uniforme sobre las muelles, lo que puede causar un desgaste prematuro o ruptura de las partes de la suspensión. Por lo tanto, es recomendable contar con un monitoreo en tiempo real que permita conocer la deformación de cada una de ellas. Para monitorizar el peso se utilizan las galgas extensiométricas como sensores de deformación. Se observo que éstas son sensibles al factor térmico, o factor de galga, lo que provoca en el circuito de acondicionamiento de señal una continua calibración. En este trabajo se implementó un sistema de monitoreo el cual corrige los problemas dados por factores térmicos y de instrumentación, dejando fuera del alcance de este trabajo factores como: vibración, humedad, o polvo ambiental, entre otros. Se realizaron mediciones experimentales de variaciones de distribución de peso en la caja sostenida por las muelles automotrices para el análisis de inclinación causada por sobre peso.

5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, el factor térmico es un causante de los cambios de resistencia de las galgas extensiométricas, que ocasiona un cambio

constante en la polaridad del voltaje de salida V_{o8} de la figura 4. Para dar una solución a los cambios de polaridad de voltaje, se diseñó un circuito de conmutación para obtener a la salida únicamente voltaje con polaridad positiva; esto permitió realizar las pruebas experimentales de las galgas extensiométricas en ambientes donde la sensación térmica era de 19 a 26 °C.

Con los resultados de las mediciones se concluyó que se logró corregir las variaciones causadas por el factor térmico en las galgas extensiométricas colocadas en las muelles de ballesta automotriz. Con las mediciones con peso aplicado en un rango de 0 kg a 35 kg, se demostró que la inclinación de ambos lados de la ballesta se ve afectada en una escala de proporcionalidad del ángulo respecto al peso aplicado, en un intervalo de -5.14 a -3.71 para la galga 1 y -7.68 a -5.71 para la galga 2.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Alzate Rodríguez, E., Montes Ocampo, J., & Silva Ortega, C., (2007). Medidores de deformación por resistencia: galgas extensiométricas. *Scientia Et Technica*, 1(34). Doi: <https://doi.org/10.22517/23447214.5519>.
- [2] Areny, R. P., (2005). Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona. Marcombo Ed, 2007. 60 - 67. ISBN: 9788426713445.
- [3] Bolton, W., (1995). Mediciones y Pruebas Eléctricas y Electrónicas. Barcelona. Marcombo. ISBN: 9788426710321.
- [4] Carter, B., & Mancini, R., (2018). Development of the Ideal Op Amp Equations. In *Op Amps for Everyone*, pp. 7–19. Elsevier. ISBN: 9780128116470.
- [5] García Casado, F. J., (2010). Galgas Extensiométricas: Funcionamiento y Circuitos de Medida. <http://hdl.handle.net/10251/7747>.
- [6] Global Automotive Sensor Market Size, Share | Industry Report, (2022): www.grandviewresearch.com/industry-analysis/automotive-sensors-market.
- [7] Kondratjevs, K., Kunicina, N., Patlins, A., Zabasta, A., & Galkina, A., (2016). Vehicle weight detection sensor development for data collecting in sustainable city transport system. 2016 57th International Scientific

- Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON).1-5. Doi: 10.1109/RTUCON.2016.7763136.
- [8] HBM, (2020). ¿Cómo funciona una galga extensométrica eléctrica?: www.hbm.com/es/7328/como-funciona-una-galga-extensometrica-electrica/.
- [9] HBM, (2020). El Puente de Wheatstone: <https://www.hbm.com/es/7163/el-puente-de-wheatstone-galgas-extensometricas/>.
- [10] Huang, C., Du, X., Xue, J., Fu, J., Wen, M., and Yu, M., (2019). Kalman Filtering for Sprung Mass Velocity Estimation of Magnetorheological Suspension for All -Terrain Vehicle. 2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC). China. 1097-1101. Doi: 10.1109/CCDC.2019.8832380.
- [11] Hurel Ezeta, J., Mandow, A., & García Cerezo, A., (2013). Los Sistemas de Suspensión Activa y Semiactiva: Una Revisión. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 10(2) ,121-132. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.riai.2013.03.002>.
- [12] Márquez Flores, J., (2013). Amplificadores operacionales. CCADET-UNAM: <http://www.academicos.ccadet.unam.mx/jorge.marquez/cursos/Instrumentacion/AmplificadoresOperacionales.pdf>.
- [13] Ming, L., Yibin, L., Xuwen, R., Shuaishuai, Z., & Yanfang, Y., (2020). Semi-active suspension control based on deep reinforcement learning. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 8, 9978–9986. Doi: 10.1109/ACCESS.2020.2964116.
- [14] Safdar, M., (2015). Mobile vehicle weight sensor and its application in transportation (case study: Municipal solid waste collection vehicles). *Proceedings of 1st International Electronic Conference on Remote Sensing*. Doi: 10.3390/ecrs-1-d015.
- [15] Simancas García, J., (2013). Diseño de un amplificador operacional CMOS de amplio ancho de banda y alta ganancia para aplicaciones de alta velocidad. *INGE CUC*, 9(1): <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/151>.
- [16] Stefanescu, D. M., (2011). Strain gauges and Wheatstone bridges — Basic instrumentation and new applications for electrical measurement of non-

- electrical quantities. Eighth International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices. Doi: 10.1109/SSD.2011.5767428.
- [17] Terán Tobar, S., (2017). Modificación de los sistemas de suspensión, dirección y transmisión en un Toyota Land Cruiser RJ 70 para uso severo. Quito: USFQ, 2017. URI: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6511>.
- [18] Tyler, N., (2016). Safe and secure, Newelectronics. Diciembre 13 de 2016. Pp. 24 – 25: <https://assets.markallengroup.com//article-images/149323/P24-25.pdf>.
- [19] Zhou, C., Liu, X., Chen, W., Xu, F., & Cao, B., (2018). Optimal sliding mode control for an active suspension system based on a genetic algorithm. *Algorithms*, 11(12), 205. Doi: 10.3390/a11120205.