

Galgas Extensiométricas

El principio básico de una celda de carga esta basado en el funcionamiento de cuatro sensores **strain gage**, dispuestos en una configuración especial que se explicará en los párrafos siguientes.

1. Qué significa Strain?

Strain(tensión) es la cantidad de deformación de un cuerpo debido a una fuerza aplicada. Más específicamente, la tensión (ϵ) se define como el cambio fraccionario en longitud, según lo demostrado en el Figura 1.1. abajo.

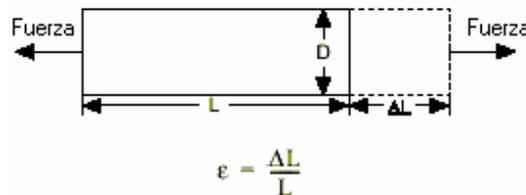


Figura 1.1. Definición de Strain

La tensión puede ser positiva (extensible) o negativa (compresiva). Aunque es adimensional, la tensión se expresa a veces en unidades tales como in./in. o mm/mm. En la práctica, la magnitud de tensión medida es muy pequeña.

La tensión se expresa a menudo como microstrain ($\mu\epsilon$), que es $\epsilon \times 10^{-6}$.

Cuando una barra es tensionada con una fuerza uniaxial, como en el cuadro 1, aparece un fenómeno conocido como Poisson, que es causado por la variación del espesor de la barra "D", la cual se contrae en la dirección transversal, o perpendicular a la fuerza. La magnitud de esta contracción transversal es una característica del material indicada por el cociente ν de Poisson. El cociente ν de Poisson de un material se define como el cociente negativo de la tensión en la dirección transversal (perpendicular a la fuerza) a la tensión en la dirección axial (paralelo a la fuerza), o $\nu = \epsilon_T / \epsilon$. El cociente de Poisson para el acero, por ejemplo, se extiende desde 0,25 a 0,3.

1.1 El Strain Gage(o galga de tensión)

Mientras que hay varios métodos de medir la tensión, el más común es con un strain gage, un dispositivo que su resistencia eléctrica varíe en proporción con la cantidad de tensión aplicada en el dispositivo. La galga más extensamente usada es la galga de tensión metálica consolidada.

El strain gage metálico consiste en un fino alambre o, más comúnmente, hoja metálica dispuesta en un patrón de rejilla. El patrón de rejilla maximiza la cantidad de alambre metálico u hoja conforme a la tensión en la dirección paralela (cuadro 2). El área representativa de la rejilla se reduce al mínimo para reducir el efecto de la tensión del esquileo y de la tensión de Poisson. La rejilla se enlaza a un forro fino, llamado el portador, que se une directamente al espécimen de la prueba. Por lo tanto, la tensión experimentada por el espécimen de la prueba se transfiere directamente a la galga de tensión, que responde con un cambio lineal en resistencia eléctrica. Las galgas de tensión están disponibles comercialmente con valores nominales de la resistencia desde 30 hasta 3000Ω, siendo 120, 350, y 1000Ω los valores más comunes en el mercado.

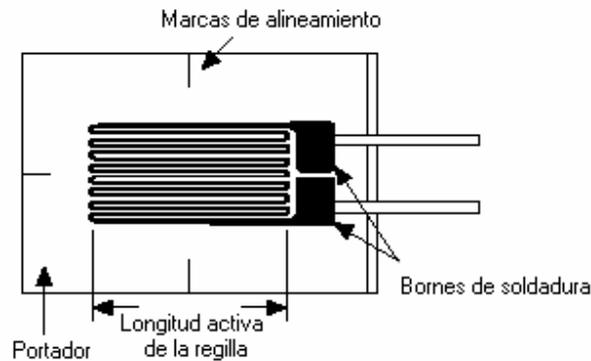


Figura 1. 2. Strain Gage metálico

Es muy importante que la galga de tensión esté montada correctamente sobre el espécimen de la prueba.

Un parámetro fundamental de la galga de tensión es su sensibilidad a la tensión, expresado cuantitativamente como el factor de galga (GF). Se define el factor de la galga como el cociente del cambio fraccionario en resistencia eléctrica al cambio fraccionario en la longitud (tensión):

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

El factor de la galga para las galgas de tensión metálicas es típicamente alrededor 2.

1.3 Medición en Strain Gage

En la práctica, las medidas de la tensión implican raramente cantidades más grandes que algunos millistrain($\epsilon \times 10^{-3}$). Por lo tanto, medir la tensión requiere la medida exacta de cambios muy pequeños en resistencia. Por ejemplo, suponga que un espécimen de la prueba experimenta una tensión de $500 \mu\epsilon$. Una galga de tensión con un factor de la galga de 2 exhibirá un cambio en resistencia eléctrica de solamente $2 (500 \times 10^{-6}) = 0,1\%$. Para una galga de 120Ω , éste es un cambio de solamente $0,12 \Omega$.

Para medir tales cambios pequeños en resistencia, las galgas de tensión se utilizan casi siempre en una configuración puente con una fuente de excitación de voltaje. El puente general de Wheatstone, ilustrado abajo, consiste en cuatro brazos de resistencias con un voltaje de la excitación, V_{EX} , que se aplica a través del puente.

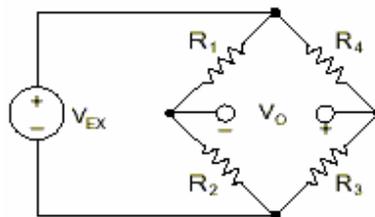


Figura 1. 3. Puente de Wheatstone

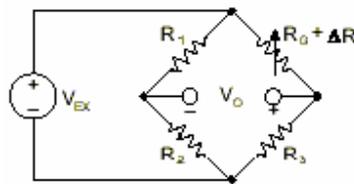
El voltaje del puente, V_o de la salida , será igual a:

$$V_o = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \cdot V_{EX}$$

De esta ecuación, es evidente que cuando $R_1 / R_2 = R_4 / R_3$, el voltaje de salida V_o será cero. Bajo estas condiciones, se dice que el puente esta balanceado. Cualquier cambio en resistencia en cualquier brazo del puente dará lugar a un voltaje de salida distinto a cero.

Por lo tanto, si sustituimos R4 en el cuadro 3 por una galga de tensión activa, cualquier cambio en la resistencia de la galga de tensión desequilibrará el puente y producirá un voltaje distinto a cero

de la salida. Si la resistencia nominal de la galga de tensión se señala como R_G , entonces el cambio de tensión inducido en la resistencia, ΔR , se puede expresar como $\Delta R = R_G \cdot GF \cdot \epsilon$. El asumir que $R_1 = R_2$ y $R_3 = R_G$, la ecuación del puente arriba se puede describir para expresar V_o / V_{EX} en función de la tensión (ver figura 4). Observe la presencia del $1/(1+GF \cdot \epsilon / 2)$ es el término que indica la no linealidad del cuarto-puente con respecto a la tensión.



$$\frac{V_o}{V_{EX}} = \frac{-GF \cdot \epsilon}{4} \left(\frac{1}{1 + GF \cdot \frac{\epsilon}{2}} \right)$$

Figura 1. 4. Circuito de cuarto puente

Idealmente, quisiéramos que el cambio en la resistencia de la galga de tensión se deba solamente a la respuesta de la tensión aplicada. Sin embargo, el material de la galga de tensión, también como el material del espécimen a el cual se aplica la galga, también responderá a los cambios en temperatura. Los fabricantes de la galga de tensión procuran reducir al mínimo la sensibilidad a la temperatura procesando el material de la galga para compensar en el rango de temperatura del material del espécimen para el cual se piensa la galga. Mientras que las galgas compensadas reducen la sensibilidad termal, no la quitan totalmente.

Usando dos galgas de tensión en el puente, el efecto de la temperatura puede ser reducido al mínimo más a fondo. Por ejemplo, el cuadro 5 ilustra una configuración de la galga de tensión donde está activa una galga ($R_G + \Delta R$), y una segunda galga es transversalmente colocada a la tensión aplicada. Por lo tanto, la tensión tiene poco efecto en la segunda galga, llamada la galga fantasma. Sin embargo, cualquier cambio en temperatura afectará ambas galgas de la misma manera. Porque los cambios de temperatura son idénticos en las dos galgas, el cociente de su resistencia no cambia, el voltaje V_o no cambia, y los efectos del cambio de temperatura se reducen al mínimo.

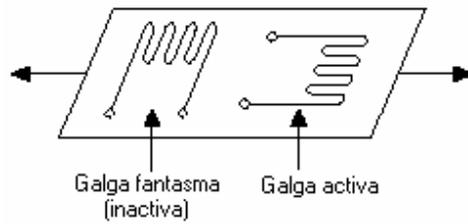


Figura 1. 5. Uso de la galga fantasma para eliminar los efectos de la temperatura

La sensibilidad del puente puede ser doblada haciendo ambas galgas activas en una configuración de mitad-puente. Por ejemplo, el cuadro 6 ilustra un uso de flexión de la viga con un puente montado en la tensión ($R_G + \Delta R$) y el otro montado en la compresión ($R_G - \Delta R$).

Esta configuración de mitad-puente, que su esquema circuital también se ilustra en el cuadro 6, posee un voltaje a la salida que es lineal y dobla aproximadamente la salida del circuito del cuarto- puente.

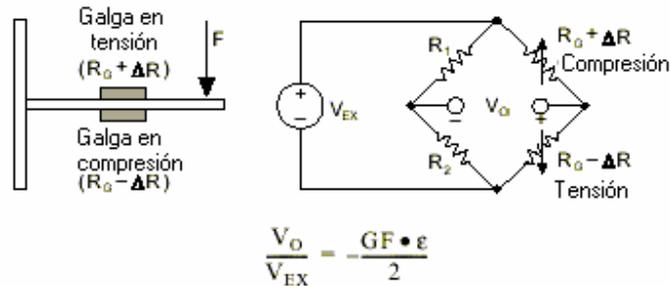


Figura 1. 6. Circuito de medio Puente

Finalmente, se puede aumentar la sensibilidad del circuito haciendo los cuatro brazos de las galgas de tensión activas en una configuración de puente completo. El circuito se muestra en la figura 1.7.

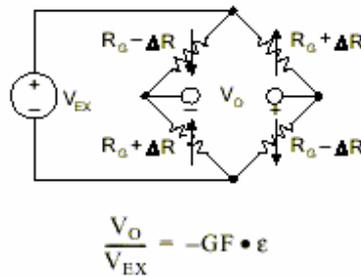


Figura 1. 7. Circuito de puente completo

Las ecuaciones dadas aquí para los circuitos de puente de Wheatstone asumen un puente inicialmente balanceado que genere la salida cero cuando no se aplica ninguna tensión. En la práctica sin embargo, las tolerancias de la resistencia y la tensión inducida por el uso de la galga generarán un cierto voltaje, llamado de offset . Este voltaje de offset inicial se maneja típicamente de dos maneras. Primero, es posible utilizar un circuito denominado offset-nulling especial, o balancing, para ajustar la resistencia en el puente y así reequilibrar este obteniendo una salida nula. Alternativamente, se puede medir la salida sin deformación del circuito y compensar en software.

Las ecuaciones dadas arriba para las configuraciones del cuarto, media, y de puente completo asumen que la resistencia del alambre es insignificante. Mientras que no hacer caso de estas resistencias puede ser beneficioso para entender los fundamentos de las medidas de la galga de tensión, pero hacer tal suposición en la práctica puede ser una fuente de error importante. Por ejemplo, considere la conexión de dos hilos de una galga de tensión demostrada en la figura 1.8a. Suponga que cada alambre conectado con la galga de tensión es de 15m de largo con una resistencia R_L igual a 1Ω .

Por lo tanto, se agregan 2Ω de resistencia a ese brazo del puente. Además de agregar un error compensado, la resistencia también desensibiliza la salida del puente.

Se puede compensar este error midiendo la resistencia R_L y teniéndola en cuenta en los cálculos de la tensión. Sin embargo, un problema más difícil se presenta en los cambios en la resistencia debido a las fluctuaciones de la temperatura. Según los coeficientes típicos dados de la temperatura para el alambre de cobre, un cambio leve en temperatura pueden generar un error de medida de varios $\mu\epsilon$.

Usar una conexión del tres-alambre puede eliminar los efectos de la resistencia variable del alambre porque las resistencias afectan las ramas adyacentes del puente. Según lo considerado en la figura 1.8b, los cambios en la resistencia, R_2 , no cambian el cociente de las

ramas R_3 y R_G del puente . Por lo tanto, cualquier cambio en la resistencia debido a la temperatura se cancela.

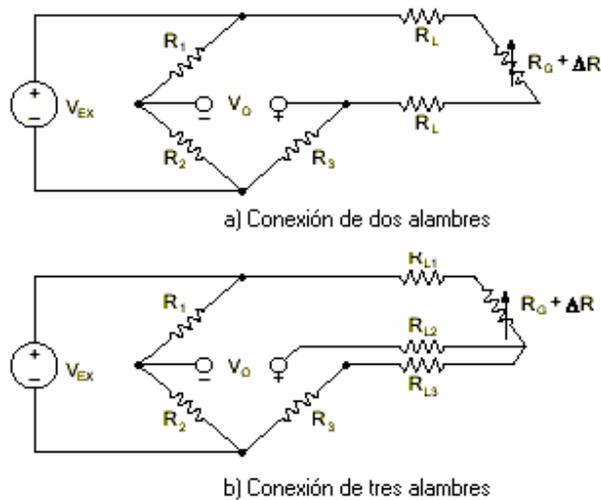


Figura 1. 8. Conexión de dos y tres alambres en circuito de cuarto Puente

1.4 Acondicionamiento de señal para Strain Gages

La medida de la galga de tensión implica la detección de cambios extremadamente pequeños en resistencia. Por lo tanto, la selección y el uso apropiados del puente, del condicionamiento de señal, y de los componentes de la adquisición de datos es necesario para obtener medidas confiables. Para asegurar medidas exactas de la tensión, es importante considerar lo siguiente:

- Terminación del Puente
- Excitación
- Sensado Remoto
- Amplificación
- Filtrado
- Offset
- Calibración Shunt

Terminación del puente - a menos que se esté utilizando un sensor de galga de tensión de lleno-puente con cuatro galgas activas, se necesitará terminar el puente con resistores de referencia. Por lo

tanto, los acondicionadores de señal de la galga de tensión proporcionan típicamente las redes de la terminación de mitad-puente que consisten en resistores de alta precisión (de referencia). En el cuadro 9 se muestra el diagrama del cableado de un circuito de galga de tensión de mitad-puente con un acondicionador que posee los resistores R1 y R2 de terminación.

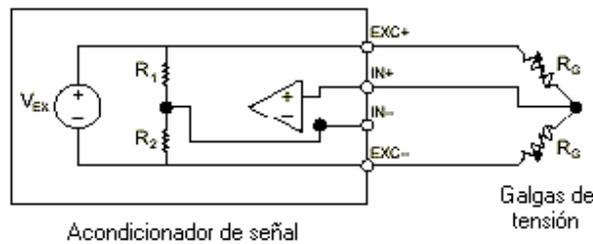


Figura 1. 9. Circuito de conexión de medio puente

Excitación - los acondicionadores de señal de la galga de tensión proporcionan típicamente una fuente constante del voltaje para accionar el puente. Mientras que no hay un nivel de tensión estándar en la industria, los niveles comunes de excitación están entre 3 y 10 V. Mientras que un voltaje más alto de la excitación genera un voltaje proporcionalmente más alto de la salida, el voltaje más alto puede también causar errores más grandes debido a self-heating.

Sensado Remoto – Si el circuito strain gage está ubicado lejos del acondicionamiento de señal y de la fuente de excitación, una posible fuente de error es la caída de tensión causada por la resistencia de los cables que conectan la excitación con el puente. Por lo tanto, algunos acondicionadores de señal incluyen un accesorio llamado remote sensing para compensar este error. Los cables del sensor remoto son conectados en el punto donde se conectan los cables de la excitación con el circuito puente. Los alambres extras del sensado sirven para regular la fuente de excitación a través de la realimentación negativa del amplificador, compensando la pérdida en los alambres y entregando al puente el voltaje necesario.

Amplificación – La salida del strain gage y del Puente es relativamente pequeña. En la práctica la mayoría de los puentes strain gage tienen una salida menor que 10 mV/V (10 mV de salida por volt de excitación). Con 10 V de excitación, la salida será de 100 mV. Por lo tanto, el acondicionamiento de señal del strain gage generalmente incluye amplificadores para aumentar el nivel de señal,

incrementando la resolución de la medida y mejorando la relación señal a ruido.

Filtrado – Los strain gages están a menudo en lugares eléctricamente ruidosos, por lo tanto deben ser capaces de eliminar el ruido que pueda acoplarse a estos. Filtros pasa –bajos usados en conjunto con los strain gage, pueden eliminar el ruido de alta frecuencia que prevalece en ambientes ruidosos.

Anulación del offset – Cuando se instala un puente es muy improbable que su salida sea exactamente cero cuando no tiene ninguna fuerza aplicada. Pequeñas variaciones entre las resistencias de las ramas del puente generaran una salida inicial distinta de cero. La anulación del offset puede realizarse por hardware o software.

1. Compensación por software – con este método se toma una medida inicial antes de que alguna fuerza sea aplicada, y se usa este offset para compensar medidas posterior. Este método es simple, rápido, y no requiere ajuste manual. La desventaja de este método es que no elimina el offset del Puente. Si el nivel del offset es demasiado grande, este limita la ganancia del amplificador que se aplica a la tensión de salida, limitando entonces el rango dinámico de la medida.

2. Circuito de anulación de offset – El Segundo método usa una resistencia ajustable, o potenciómetro, que ajusta físicamente la salida del puente a cero. Variando la resistencia del potenciómetro se puede controlar el nivel de la salida del Puente y llevar su salida inicial a cero volt

Shunt Calibración – El procedimiento normal para verificar el sistema de medida relativo a una entrada mecánica, o fuerza predeterminada, es llamada calibración shunt. La calibración shunt implica simular una fuerza de entrada, cambiando la resistencia de una de las ramas del puente por un valor conocido. Esto es efectuado conectando un gran resistor de valor conocido en una de las ramas del Puente, produciendo así un ΔR conocido. La salida del puente puede entonces ser medida y comparada con el valor de voltaje esperado. Los resultados son usados para corregir todos los errores a lo largo de la medición o para simplemente verificar la operación general ganando confianza en el setup.