

**Galgas extensométricas: sus tipos y principios.**

En este capítulo se estudiara el tema de los transductores de fuerza. Para entender lo que es un transductor de fuerza es necesario definir lo que es un transductor:

**Transductor**, dispositivo al que se aplica una energía de entrada y devuelve una energía de salida; esta energía de salida suele ser diferente al tipo de energía de entrada. Por ejemplo, en un medidor de temperatura una espiral metálica convierte la energía térmica aplicada, en el movimiento mecánico de la aguja del marcador. Debido a la facilidad con la que se transmite y amplifica la energía eléctrica, los transductores más utilizados son los que convierten otras formas de energía, como calor, luz o sonido, en energía eléctrica. Algunos ejemplos son los micrófonos, que convierten la energía sonora en energía eléctrica; los materiales fotoeléctricos, que convierten la luz en electricidad, y los cristales piroeléctricos, que convierten calor en energía eléctrica<sup>8</sup>.

**3.1 Tipos de transductores<sup>(9)</sup>**

Existen muchos tipos de transductores y son usados con su instrumentación dependiendo de su complejidad. En el diseño de un sistema de medición de fuerzas, para una aplicación. Es útil entender el principio de operación del transductor a usar, así como sus características de operación.

Para nombrar algunos de ellos y sus subtipos se hizo la siguiente tabla:

1. Galgas extensométricas ( células de carga)
  - Elementos elásticos
  - Galgas extensométricas de resistencia eléctrica
  - (Galgas extensométricas de hoja
  - Galgas extensométricas semiconductoras.
  - Galgas extensométricas de capa delgada
  - Galgas extensométricas de cable.
2. Cristales piezoeléctricos
  - Transductores multi-componentes de fuerza
3. Medidores de fuerza a través de presión
  - Células de carga hidráulica
  - Células de carga neumática
4. Otros tipos
  - Elementos elásticos
  - Elementos magneto- elásticos
  - Elementos vibratorios.
  - Elementos dinámicos
  - Elementos de deformación plástica.

### **3.1.1 Células de carga.** <sup>(9)</sup>

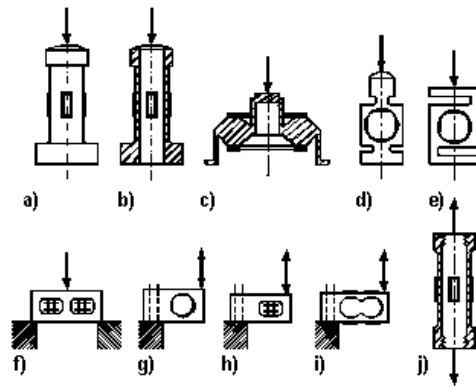
Este es el tipo más común de transductor de fuerza, y un claro ejemplo de un elemento elástico. Cada célula está basada en un elemento elástico, a los cuales se les adhiere varias galgas de resistencia eléctrica. La forma geométrica y el módulo de elasticidad del elemento determinan la magnitud del campo de deformación producido por la acción de la fuerza. Cada extensómetro, responde a la deformación local y su posición, y la medida de la fuerza es determinada por la integración de estos valores individuales.

Las capacidades de carga de estos extensómetros varían de 5 N a 50 MN. Estas galgas son las más usadas en el mercado y pueden ser usadas con indicadores de alta resolución digital.

### **3.1.2 Los elementos elásticos.** <sup>(9)</sup>

La forma del elemento elástico usado en estos extensómetros depende de muchos factores incluyendo los rangos de fuerza a medir, límites dimensionales, e incluso el costo de producción.

La siguiente figura muestra una selección de diferentes elementos elásticos y nos proporciona sus rangos típicos de carga. Las flechas indican el eje de cada elemento.



Typical strain elements

- a) Cilindro de compresión 50 kN a 50 MN
- b) Cilindro de compresión (hueco) 10 kN a 50 MN
- c) Anillo toroidal 1 kN a 5 MN
- d) Anillo 1 kN a 1 MN
- e) Viga-S 200 N a 50 kN- tambien llamado tipo Z
- f) Flexión 20 kN a 2 MN
- g) Cizalladura 500 N a 50 kN
- h) Cizalladura 1 kN a 500 kN
- i) Cizalladura doble 100 N a 10 kN
- j) Cilindro a tensión 50 kN a 50 MN

**Figura 3.1** Formas de células de carga.

Cada elemento esta diseñado para medir la fuerza a lo largo de su eje principal y que no sean afectadas por otras fuerzas.

El material usado para el elemento elástico es usualmente, acero para herramientas, acero inoxidable, aluminio o cobre, en general materiales que tengan la ayuda de tener una relación linear entre esfuerzo y deformación, con baja histéresis. También tiene que tener una larga vida de fatiga para asegurar un buen elemento de medición. Para lograr estas características es usual que se someta el material a tratamientos térmicos especiales.

### 3.1.3 Galgas extensométricas de resistencia eléctrica. <sup>(9 y10)</sup>

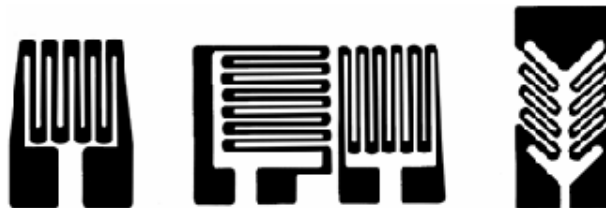
En términos eléctricos, todas las galgas extensométricas de resistencia eléctrica pueden ser consideradas como una longitud de conducto en el material, ó como un cable. Cuando una longitud de cable es sujeta a la tensión dentro de su límite de tensión, esta longitud se incrementa con el correspondiente decremento de su diámetro y cambio de su resistencia eléctrica, si el material conductor es unido a un elemento elástico bajo deformación entonces el cambio en la resistencia puede ser medido, y usado para calcular la fuerza desde la calibración del elemento.

Los materiales más usados para la manufactura de las galgas son las aleaciones de Cobre-Níquel, Níquel-Cromo, Níquel-Cromo-Molibdeno y Platino-Tungsteno y generalmente se refieren a ellas por el nombre de su marca. Ahí hay una gran variedad de galgas extensométricas de resistencia eléctrica disponibles para varias aplicaciones, algunas de las cuales están descritas abajo.

Cada galga extensométrica es diseñada para medir la deformación a lo largo de un eje claramente definido, por lo que puede ser alineado adecuadamente.

### 3.1.4 Galgas de hoja.

Estos son los Extensómetros más usados y algunos de los diseños se muestran en la figura.



**Figura 3.2** Patrones de extensómetros de hoja

Estos tienen ventajas significativas sobre los demás tipos de galgas extensométricas y son ocupadas en la mayoría de las de células de precisión. Consisten en una hoja de metal con un patrón determinado, montado sobre material aislante, construidos por una unión entre una delgada hoja de metal rolado ( $2-5\mu\text{m}$ ) en una hoja o lamina de respaldo de  $10 - 30\mu\text{m}$  de espesor. El patrón de la malla de medición es producida por medio de luz.

Las técnicas de producción son similares a las usadas en la manufactura del circuito, lo cual guía a la automatización y por lo tanto a bajos costos. Los materiales típicos de respaldo o de base son la epoxia, poliamida y resinas epoxicas - fenolicas reforzada con cristal. Esta base provee de aislamiento eléctrico entre la hoja y el elemento elástico, facilita su manejo y una fácil unión de la superficie. Algunas veces las galgas son manufacturadas con un adhesivo incluido, reduciendo su manejo y así el tiempo consumido.

Una gran variedad de Extensómetros de hoja son comercialmente adquiribles para el usuario común.

### **3.1.5 Galgas extensométricas semiconductoras. <sup>(9)</sup>**

Estas son manufacturadas a base de tiras de silicón semiconductor, ya sea en forma de “n” o de “p”. La salida de la galga semiconductor es bastante alta comparada con la de la galga de hoja o de cable. El “ gage factor “ es una medida de la salida para una deformación dada y es generalmente de  $100 - 150$  para un semiconductor y de  $2 - 4$  para una galga de hoja o cable. La salida de los extensómetros semiconductores no es lineal con respecto a la deformación unitaria pero no exhiben histéresis y tienen una muy larga vida con respecto a la fatiga. Este tipo de galga es comúnmente usada en pequeños transductores tales como transductores de fuerza, acelerómetros, y sensores de presión.

### **3.1.6 Extensómetros de capa delgada.** <sup>(9)</sup>

Son producidas por medio de la evaporación de delgadas capas de metales o aleaciones sobre el elemento elástico. En este proceso se pasa por varias etapas de evaporación y por esto es posible encontrar hasta ocho capas de material. Existen varios tipos de estas galgas cubriendo un rango de medida de 0.1 – 100N en la forma de viga en pandeo ya sea sencilla o doble, estos elementos tienen un alto costo, debido a las técnicas de manufactura usadas. Esto las hace ideales para el uso en productos con alto volumen como los transductores de presión.

### **3.1.7 Transductores piezoeléctricos.** <sup>(10 y 11)</sup>

Efecto piezoeléctrico, fenómeno físico por el cual aparece una diferencia de potencial eléctrico entre las caras de un cristal cuando éste se somete a una presión mecánica. El efecto funciona también a la inversa: cuando se aplica un campo eléctrico a ciertas caras de una formación cristalina, ésta experimenta distorsiones mecánicas. Pierre Curie y su hermano Jacques descubrieron este fenómeno en el cuarzo y la sal de Rochelle en 1880 y lo denominaron 'efecto piezoeléctrico' (del griego piezein, 'presionar').

El efecto piezoeléctrico se produce en varias sustancias cristalinas como el bario, el titanio o la turmalina. El efecto se explica por el desplazamiento de iones en cristales que tienen una celda unitaria asimétrica (la celda unitaria es el poliedro más simple que compone la estructura de un cristal). Cuando se comprime el cristal, los iones de las celdas se desplazan, provocando la polarización eléctrica de la misma. Debido a la regularidad de la estructura cristalina, estos efectos se acumulan, produciendo una diferencia de potencial eléctrico entre determinadas caras del cristal. Cuando se aplica al cristal un campo eléctrico externo, los iones de cada celda son desplazados por las fuerzas electrostáticas, produciendo una deformación mecánica. Dada su capacidad de

convertir la deformación mecánica en voltaje eléctrico y un voltaje eléctrico en movimiento mecánico, los cristales piezoeléctricos se utilizan en dispositivos como los transductores, que se emplean en la reproducción de discos, y en los micrófonos. Los cristales piezoeléctricos también se usan como resonadores en osciladores electrónicos y amplificadores de alta frecuencia ya que, si se tallan estos cristales de una determinada manera, la frecuencia de resonancia es estable y bien definida. <sup>(8)</sup>

Cuando una fuerza es ejercida sobre cierto material cristalino, se forman cargas eléctricas en las superficies del cristal en proporción a la razón de cambio de la fuerza. Para hacer uso de esta pieza se requieren amplificadores de carga para integrar las cargas eléctricas para dar una señal proporcional a la fuerza aplicada y suficientemente grande para medirla. Los primeros transductores para aplicar el efecto piezoeléctrico para mediciones usaba cuarzo natural, hoy en la mayoría se usa cuarzo artificial, de ahí que estos transductores son conocidos como transductores de fuerza de cuarzo o transductores piezoeléctricos. Estos sensores de cristal piezoeléctricos son diferentes a la mayoría de las demás formas de sensor. No se necesitan alimentar de poder o energía y la deformación para generar una señal es muy pequeña, lo cual tiene la ventaja de una respuesta de alta frecuencia del sistema de medición sin la introducción de cambios geométricos al patrón de la medición de la fuerza.

Cuando se encuentra en forma de chumacera y esta se carga con una fuerza de compresión con un valor de 10kN, un transductor piezoeléctrico normal se deforma .001mm. La alta frecuencia de respuesta ( por encima de 100kHz) dada por la dureza y otras cualidades del material y del efecto piezoeléctrico hacen que estos transductores sean muy apropiados para la toma de mediciones dinámicas.

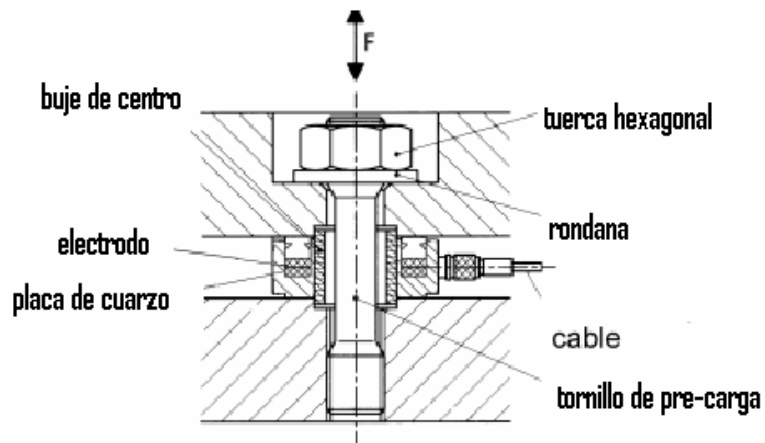




**Figura 3.3** Célula piezoeléctrica.

Eventos extremadamente rápidos tales como impactos y golpes en las prensas pueden ser medidos con estos elementos . Los sensores piezoeléctricos operan con una pequeña carga eléctrica y requieren un cable de alta impedancia para la interfase eléctrica.

Los sensores de cristal piezoeléctrico están diseñados, principalmente para aplicaciones usando un tornillo pre-tensionado el cual permite la medición de fuerzas en ambas direcciones, tensión y compresión. El ensamble de este tipo de chumacera es mostrado en la figura 3.4.



**Figura 3.4** Ensamble de la chumacera piezoeléctrica

La precarga es importante para asegurar linealidad y el sensor debe ser calibrado después del montaje. Una extensión de este principio es el uso de pernos de medición de

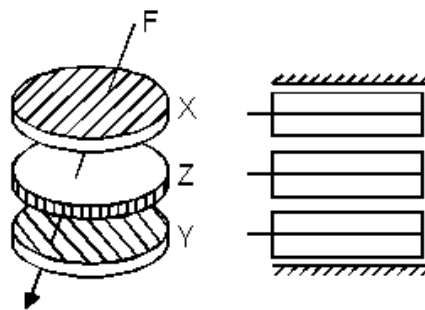
fuerza los cuales son colocados dentro de la estructura de una máquina o herramienta y responden a las fuerzas dentro de la estructura.

Existe una pequeña fuga de carga en el amplificador de carga esto influye en que esta es la razón por la cual no son muy aptos para medir cargas estáticas y son mucho más recomendados para cargas dinámicas, por largos periodos pueden hacer una buena medición y a esto se le llama cargas o mediciones quasi-estáticas.

Los sensores de cristales piezoeléctricos son ideales para mediciones tanto en laboratorios como en proyectos industriales. El rango de medida es bastante amplio y estos transductores soportan bastante sobrecarga ( típicamente  $> 200\%$  de la escala de salida). Los pequeños sensores de largo rango de medida son muy fáciles de usar y sobreviven a temperaturas mayores a  $350^{\circ}\text{C}$ .

### 3.1.7.1 Transductores de fuerza de multicomponentes. <sup>(9 y 10)</sup>

Estos transductores son capaces de medir la fuerza en tres ejes con direcciones ortogonales y en la siguiente figura se muestra el principio de operación y trabajo de estos elementos.

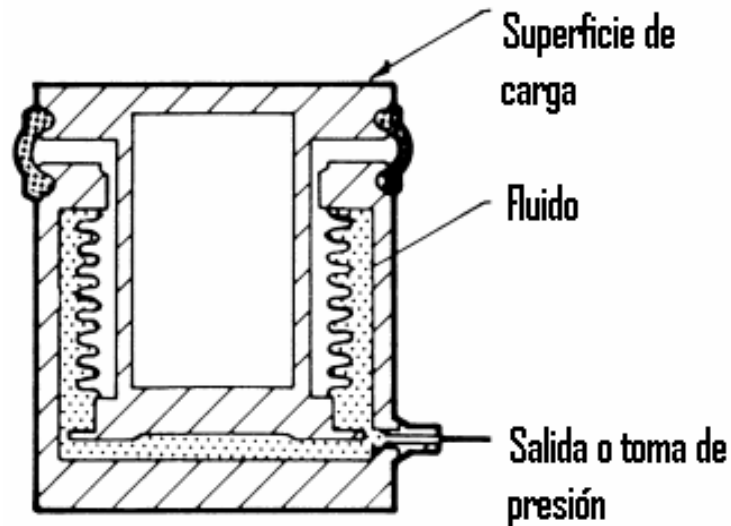


**Figura 3.5** Funcionamiento de multi-componentes piezoeléctricos.

La fuerza  $F$  actúa sobre el transductor y es transmitida a cada uno de los tres discos con la misma magnitud y dirección. Cada uno de estos cristales piezoeléctricos han sido

cortados a lo largo de un eje específico y la orientación del eje sensitivo coincide con el eje de las componentes de la fuerza a ser medidas. Cada una de estas produce una carga proporcional a la componente de la fuerza que recibe cada disco. La carga total es colectada por electrodos insertados dentro del armazón.

### 3.1.8 Midiendo fuerza con presión. <sup>(9)</sup>



**Figura 3.6** Transductores de fuerza por presión.

Las células hidráulicas de carga son un dispositivo llenó de un líquido (generalmente aceite) que tiene una presión de precarga. La aplicación de la fuerza aumenta la presión del líquido que es medida por un transductor de presión o exhibida en un dial de la galga de presión vía un tubo del bordón. Cuando están utilizadas con un transductor de presión, las células de carga hidráulicas son intrínsecamente muy duras, se deforman solamente cerca de 0,05 milímetros bajo condiciones de fuerza completa. La mayoría de los dispositivos caen adentro de la gama de 500 N a 200kN . La galga de presión usada para supervisar la fuerza se puede situar a varios metros del dispositivo, por el uso de una manguera llena de fluido especial. Las células de carga hidráulicas son autónomas y

no necesitan ninguna energía externa. Son convenientes para el uso en atmósferas potencialmente explosivas y se pueden usar para medir la tensión o la compresión.

Los principios de funcionamiento de la célula de carga neumática son similares a las de la célula de carga hidráulica . La fuerza se aplica en un extremo de un pistón o de un diafragma del material flexible y es balanceada por la presión neumática en el otro lado. Esta presión contraria es proporcional a la fuerza y se exhibe en un dial de la presión. El dispositivo de detección consiste en un compartimiento con un casquillo o tapa . La presión de aire se aplica al compartimiento y se acumula hasta que es igual a la fuerza en el casquillo. Cualquier aumento posterior en la presión levantará el casquillo permitiendo que el aire salga alrededor del borde hasta que se alcanza el equilibrio de la presión. En esta posición de equilibrio, la presión en el compartimiento es una indicación de la fuerza en el casquillo y se puede leer por la galga neumática del dial de la presión.

### **3.2 Otros tipos de dispositivos para el sistema de medidas. <sup>(9)</sup>**

#### **3.2.1 Elementos elásticos**

La célula de columna cargada es probablemente el dispositivo elástico más simple, siendo simplemente un cilindro del metal sujeto a una fuerza a lo largo de su eje. En este caso la longitud del cilindro es medida directamente por la galga, una estimación de la fuerza puede ser hecha interpolando entre las longitudes medidas para las fuerzas previamente aplicadas. El anillo probador es funcionalmente muy similar pero la deformación se mide generalmente a través del diámetro interior. Estos transductores tienen la ventaja de ser simples y robustos, pero la desventaja principal es el efecto fuerte de la temperatura en la salida. Tales métodos encuentran uso en la supervisión de las fuerzas en fundaciones del edificio y otros usos similares.

El transductor diferenciado variable lineal (LVDT) se puede utilizar dentro de una célula de carga para medir el desplazamiento de un elemento elástico en vez de usar las galgas de tensión. El LVDT es esencialmente un transformador que proporciona una corriente alterna (CA) en el voltaje de salida como función del desplazamiento de un centro magnético movable separado. La carencia de la fricción y de la baja masa del caparazón da lugar a una alta resolución y baja histéresis, haciendo este dispositivo ideal para usos dinámicos.

Las células de carga capacitivas utilizan un sensor de capacitancia para detectar la deformación de un elemento elástico. En la mayoría de los casos el sensor consiste en dos placas paralelas que están paradas enfrente una de la otra. La longitud cambiante de un miembro de resorte produce un cambio en la holgura entre dos placas, y por lo tanto un cambio en capacitancia eléctrica.

Una galga de tensión óptica se puede formar de una manera similar a una galga de tensión del alambre por el uso de fibras ópticas. La deflexión del miembro elástico con la galga de tensión óptica enlazada a ella dará lugar a cambios de la longitud en las fibras ópticas. Si la luz monocromática se utiliza para alimentar dos galgas de tensión óptica experimentando diferente magnitud de tensión, entonces la diferencia de fase entre los dos rayos que salen de las galgas, en número de medias longitudes de onda, es una medida de la fuerza aplicada.

### **3.2.2 Los dispositivos magneto-elásticos.**

El transductor magneto-elástico de fuerza se basa en el efecto de que cuando un material ferromagnético se sujeta a esfuerzos mecánicos, las características magnéticas del material son alteradas y el cambio es proporcional a la fuerza aplicada. Debido a la construcción robusta, al alto nivel de la señal y a la pequeña resistencia interna, la célula de carga magneto-elástica se puede utilizar en ambientes ásperos y eléctricamente

disturbados por ejemplo en molinos de balanceo. Las capacidades clasificadas de estos dispositivos están en la gama a partir de 2KN a 5KN.

### **3.2.3 Deformación plástica.**

La deformación plástica se puede utilizar como método permanente de registrar una fuerza aplicada. La fuerza se aplica (generalmente a un elemento pequeño de metal) que sufra la deformación permanente más allá del límite elástico del material

Un sistema de la medida de la fuerza se compone de un transductor y de una instrumentación asociada. El transductor se sujeta a la fuerza que se medirá, y un cierto cambio resultante en el elemento es medido por la instrumentación asociada. La instrumentación puede accionar el transductor de una cierta manera y también puede procesar la salida del transductor antes de que se demuestre en un indicador que se leerá por el usuario. Un transductor es terminantemente un dispositivo que recibe un estímulo físico y lo cambia en otra cantidad física mensurable con una relación sabida.

Ya citados varios tipos de sistemas de medida es conveniente para el desarrollo de esta investigación enfocarnos a las galgas extensométrica de hoja y resistencia eléctrica (strain gages).

### **3.2.4 Consideraciones de las galgas. <sup>(10)</sup>**

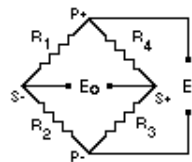
Dentro de estos elementos podemos encontrar diferentes tipos basados en el número de direcciones en las que miden. Por facilidad de colocación es más popular el uso de galgas de una dirección y acomodar una o varias en un sistema ( puente ) para lograr ciertas condiciones de medición.

Los transductores de alta calidad, que utilizan las galgas de tensión como el elemento de medición primario incorporan técnicas sofisticadas para reducir al mínimo efectos termales, no linealidades, histéresis, y otras fuentes de error. Por ahora, sin embargo, las consideraciones serán limitadas a las características únicas del puente.

La salida del puente puede ser expresado como:

$$\frac{E_o}{E} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (3.1)$$

Donde  $E_o$  es el voltaje de salida del puente,  $E$  es el voltaje de excitación del puente y  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , y  $R_4$  son las resistencias de las galgas en el puente.



**Figura 3.7** Diagrama de resistencias

Observe que los cambios de la resistencia en galgas adyacentes ( $R_1$  y  $R_4$ , por ejemplo) tienen el mismo efecto ( numéricamente aditivos) en la salida del puente cuando los cambios son de signo opuesto. Cuando los cambios en brazos adyacentes son del mismo signo, tienen efectos opuestos (numéricamente subtractivos).

Inversamente, los efectos de los cambios de la resistencia en brazos opuestos ( $R_1$  y  $R_3$ , por ejemplo) se invierten: los cambios en resistencia con signos iguales en brazos opuestos tienen los mismos efectos en la salida y los cambios con signos diferentes en brazos opuestos tienen diferentes efectos. Estos fenómenos se utilizan más adelante para eliminar los efectos de los esfuerzos de flexión en la medida de tensiones axiales, los efectos de tensiones axiales en medidas de los esfuerzos de flexión y la no linealidad en la salida del puente.

El puente esta balanceado y no produce salida cuando:

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (3.2)$$

o cuando:

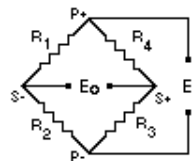
$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \quad (3.3)$$

Un cambio en la resistencia de una o más de las galgas desequilibrará el puente para producir una señal de salida. La ecuación (1) se puede utilizar para determinar la salida de cualquier puente desequilibrado simplemente agregando el cambio de la resistencia de cada resistor al valor inicial de ese resistor.

Ejemplo

Como cálculo de la muestra de la salida de un puente, se asume que R1 sea una galga de tensión activa que ha experimentado un cambio en resistencia, cuando el espécimen de prueba al cual se enlaza, se sujeta a la tensión. La ecuación (1) se puede entonces escribir como:

$$\frac{E_o}{E} = \frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (3.4)$$



**Figura 3.8** Diagrama de resistencias 2



Asumiendo que todas las galgas tienen la misma resistencia inicial, la ecuación se reduce a:

$$\frac{E_o}{E} = \left( \frac{R_1 + \Delta R_1}{2R_1 + \Delta R_1} - \frac{1}{2} \right) = \frac{\Delta R_1/R_1}{4 + 2(\Delta R_1/R_1)} \quad (3.5)$$

Observando que el cambio relativo de la resistencia de una galga de tensión ( $\Delta R/R$ ) es igual al producto del factor de la galga (F) y de la deformación unitaria produciendo el cambio en la resistencia ( $\epsilon$ ), la salida del puente puede expresarse en términos de la deformación:

$$\frac{E_o}{E} = \frac{F \epsilon}{4 + 2F \epsilon} \quad (3.6)$$

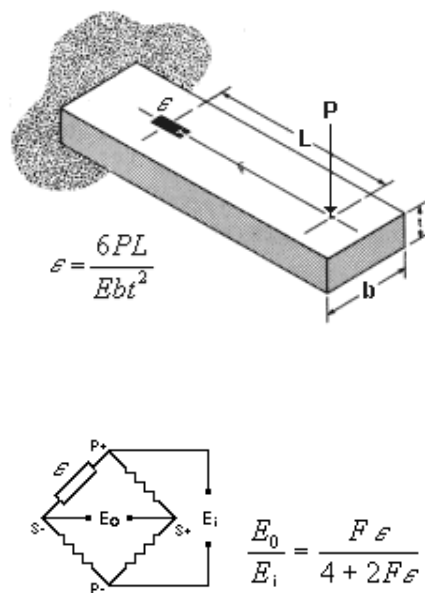
Mientras que generalmente es pequeño en la comparación al número 4, el término 2 en el denominador da lugar a cierta no-linearidad en la salida para esta configuración. La magnitud de este error es aproximadamente 0,1% por cada 1000 unidades de micro-deformación. En la mayoría de los usos del análisis de la tensión este error de medida, muy pequeño, se puede ignorar, especialmente en los niveles bajos de deformación.

Al evaluar un nuevo diseño, el transductor de la tensión medirá generalmente no solamente las tensiones mecánicas en las estructuras a prueba, sino las fuerzas y los esfuerzos de torsión que producen las tensiones también. Esto es especialmente importante, cuando el objetivo es determinar la respuesta del diseño a las condiciones de carga sabidas o anticipadas, con un ojo hacia la reducción del peso y establecer márgenes de seguridad. Para medir éstos parámetros de carga, se optará generalmente por utilizar los transductores comercialmente disponibles diseñados específicamente para ese propósito. Pero cuando el uso de un transductor confeccionado es impráctico o aún imposible las galgas de tensión se pueden instalar a menudo en un cierto componente del accesorio de la estructura a prueba en una configuración que permita

evaluar las fuerzas y los esfuerzos de torsión aplicados que se medirán. Los arreglos físicos y los circuitos eléctricos necesarios para alcanzar estas medidas se describen abajo.

### 3.2.5 Diferentes configuraciones. <sup>(12)</sup>

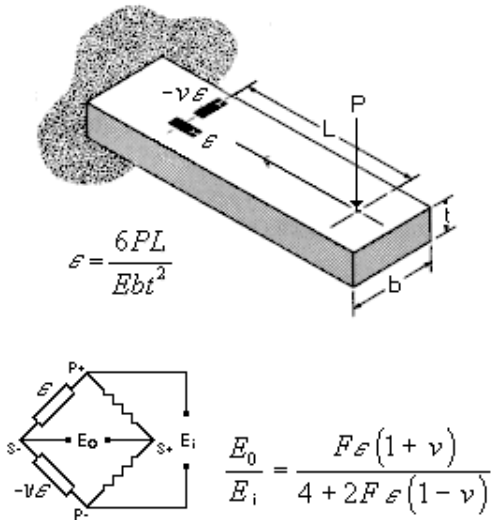
#### Viga en Flexión – Cuarto puente



**Figura 3.9** Cuarto puente

Esta configuración longitudinal de la galga responderá a las cargas de flexión pero es inafectada por las cargas torsionales si la galga se monta en la línea central. Debe tomarse cierta precaución en cómo se aplica la carga, porque los transductores que utilizan esta configuración también responderán a cualquier carga axial que pueda estar presente. Puesto que esta configuración produce una cantidad pequeña de no linealidad y es sensible a los cambios en temperatura, la configuración siguiente de "mitad-puente" se prefiere generalmente.

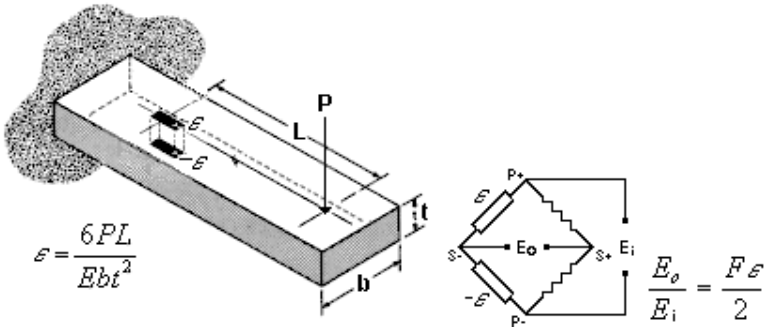
**Viga en Flexión – Puente Medio -Poisson**



**Figura 3.10** Medio-Poisson

Como la galga longitudinal y la galga transversal de "Poisson" están en brazos adyacentes, los cambios en resistencia por orígenes termales serán cancelados.

**Viga en Flexión – Medio puente**

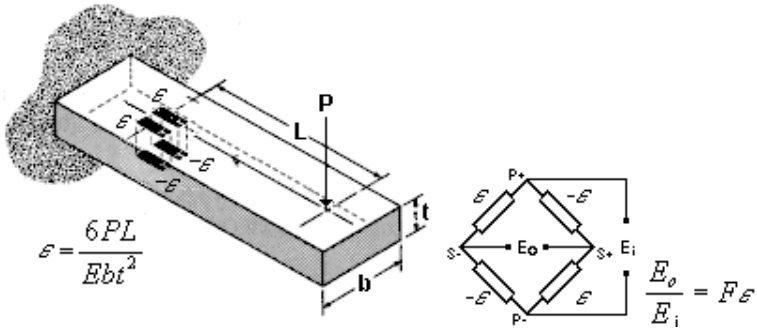


**Figura 3.11** Medio puente.

En esta configuración, se utilizan dos galgas axiales. La galga en la superficie inferior se coloca exacto debajo de la galga en la superficie superior, estas miden los esfuerzos de flexión que son de magnitudes iguales pero signos opuestos. Cualquier cambio de la resistencia en las galgas activas, que resultan de las tensiones producidas por las cargas

axiales, será cancelado porque las dos galgas activas están en brazos adyacentes del puente. Asimismo, los cambios de la resistencia de orígenes termales serán negados cuando ambas galgas y el espécimen experimentan los mismos cambios en temperatura.

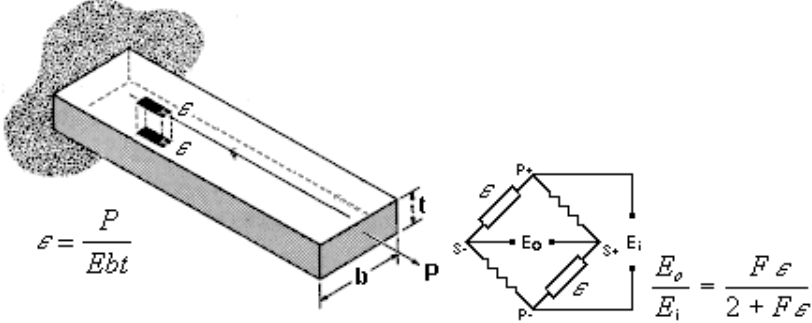
**Viga en Flexión – Puente entero**



**Figura 3.12** Puente entero.

Esta versión de cuatro galgas, es la configuración de flexión más popular de viga. La salida lineal del puente es dos veces la de la versión anterior. Observe que las dos galgas en la superficie superior están en los brazos opuestos del puente, al igual que las dos galgas en la superficie interior.

**Columna Axial - 2 Galgas en Brazos Opuestos**

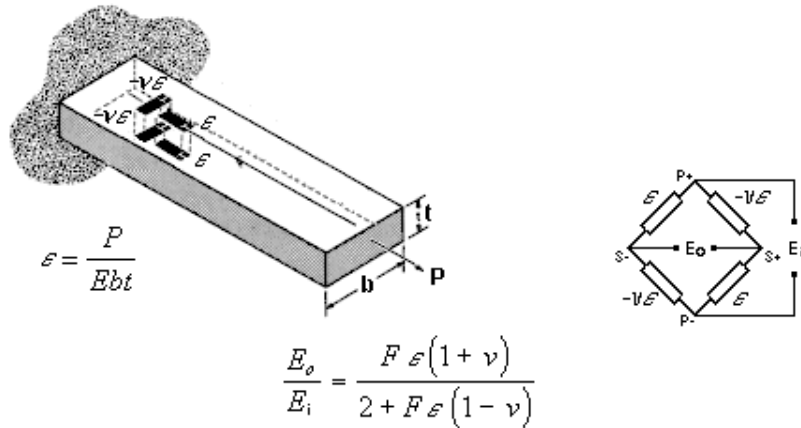


**Figura 3.13** Dos galgas en brazos opuestos

La configuración física de las galgas es igual que la usada para el medio puente de flexión. Pero como las dos galgas activas ahora están conectadas eléctricamente en los brazos opuestos del puente, la configuración cancela deformaciones por pandeo o

flexión con magnitudes iguales y las signos opuestos. La magnitud de salida es alta pero es no lineal.

### Columna Axial – Puentes Lleno-Poisson



**Figura 3.14** Lleno-Poisson

Esta configuración del "puente-lleno" con una galga longitudinal y la galga transversal de "Poisson" en ambas superficies es la más popular para las cargas axiales. La salida es no solamente más alta sino que también es más lineal.