

**UPC – Dept. Resistencia de Materiales
ETSEIAT**

PRÁCTICA 2

- Extensometría de $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ puente
- Medición del coeficiente Poisson
- Medición con roseta de 3 direcciones
- Medición dinámica

GRUPO	NOMBRE Y APELLIDOS	FECHA REALIZACIÓN

EXTENSOMETRÍA DE ¼ DE PUENTE

1. Objetivo de la práctica.

La extensometría es un método muy preciso que se utiliza para medir deformaciones en un punto.

El objetivo de la práctica es presentar una técnica muy extendida en la medición de tensiones como es la extensometría eléctrica. Esta técnica experimental permite conocer el estado tensional a partir de los desplazamientos que son las variables que realmente se miden.

2. Fundamentos teóricos. Bandas extensométricas.

Existen diferentes extensómetros eléctricos donde la deformación un material puede producir sobre él variaciones de la resistencia óhmica, inducción magnética o capacidad eléctrica que pueden ser medidas por medio de un circuito eléctrico apropiado. Estas variaciones son leídas, amplificadas e incluso registradas. De los distintos extensómetros, los basados en la variación de resistencia óhmica son los más extendidos, los cuales reciben el nombre de *galgas extensométricas*.

Las galgas extensométricas fueron introducidas por Runge y Simmons a finales de los años treinta en Estados Unidos. Fundamentalmente, una galga extensométrica es un hilo conductor muy fino colocado sobre un soporte aislante y formando una rejilla en la que la mayor parte de su longitud está orientada en una dirección (ver figura). Los extremos del hilo son más gruesos y sirven para conectar la galga con el exterior. Mientras que la base aislante se encola sobre la superficie del cuerpo donde se desea realizar la medición y en la dirección en la que se quieren conocer, transmitiéndose de esta manera las deformaciones de la pieza al hilo conductor de la galga.

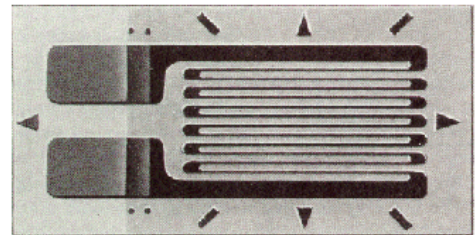


Figura 1. Galga extensométrica.

Cuando la galga se une a la pieza, se admite que la deformación del hilo es la misma que la deformación que experimenta la superficie donde está ubicada. Para ello, la cola que une la galga con el cuerpo a estudiar debe transmitir las deformaciones del cuerpo a la galga. En estas condiciones la cola trabaja bajo un esfuerzo cortante, siendo importante que la cola tenga una buena resistencia a este tipo de esfuerzos. Además, conviene que la capa de cola sea lo más delgada posible a fin que la deformación de la galga sea fidedigna.

Galga extensométrica

Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia eléctrica que sufre un hilo metálico cuando éste se estira como consecuencia de un esfuerzo externo.

La resistencia eléctrica R de un alambre metálico de resistividad ρ , longitud l y área de sección S está dada por la expresión:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

tomando logaritmos neperianos y diferenciando se tiene:

$$\ln R = \ln \rho + \ln l - \ln S \quad \Rightarrow \quad \frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S}$$

La variación de la sección S del hilo se debe a la contracción lateral. Si el hilo tiene un diámetro d_0 antes de la deformación y d después de la deformación:

$$\varepsilon = \frac{dl}{l} \quad \& \quad \varepsilon_d = \frac{d\phi}{\phi} \quad \& \quad \varepsilon_d = -\nu \varepsilon_l \quad \Rightarrow \quad \frac{d\phi}{\phi} = -\nu \frac{dl}{l}$$

Sustituyendo,

$$S = \frac{1}{4} \pi \phi^2 \quad \Rightarrow \quad dS = \frac{1}{2} \pi \phi d\phi \quad \Rightarrow \quad \frac{dS}{S} = \frac{\frac{1}{2} \pi \phi d\phi}{\frac{1}{4} \pi \phi^2} = 2 \frac{d\phi}{\phi} = -2\nu \frac{dl}{l}$$

Por otro lado, la ley de Bridgman establece una relación proporcional entre la variación relativa de la resistividad ρ y la variación relativa del volumen del hilo conductor V :

$$\frac{d\rho}{\rho} = C \frac{dV}{V}$$

siendo C una constante de proporcionalidad denominada *constante de Bridgman*.

Dado que:

$$\frac{dV}{V} = \frac{l dS}{l S} + \frac{S dl}{S l} = \frac{dS}{S} + \frac{dl}{l} = -2\nu \frac{dl}{l} + \frac{dl}{l} = (1 - 2\nu) \frac{dl}{l}$$

Sustituyendo,

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S} = C(1 - 2\nu) \frac{dl}{l} + \frac{dl}{l} + 2\nu \frac{dl}{l} = [C(1 - 2\nu) + (1 + 2\nu)] \frac{dl}{l} = K \frac{dl}{l}$$

tomando la aproximación de los diferenciales como incrementos:

$$\boxed{\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} = K \varepsilon} \quad (1)$$

Esta expresión proporciona la variación de la resistencia eléctrica de la galga extensométrica en términos de la variación de la longitud del hilo o la deformación ε en la dirección del hilo. Por tanto, si se dispusiese de un equipo que permita medir la variación de la resistencia eléctrica del hilo se obtendría de una lectura de la deformación unitaria de la superficie a la cual está adherida el hilo conductor.

La constante K es la constante de proporcionalidad entre la variación relativa de la resistencia de la galga y la deformación unitaria y se la denomina **factor de sensibilidad** de la galga. Esta constante depende de la geometría del hilo conductor y de propiedades del material. Por tanto, el factor de sensibilidad es un valor que varía para cada modelo de galga y es un dato proporcionado por el fabricante. Además, el factor de sensibilidad únicamente es constante para algunos materiales y en determinadas condiciones, aunque en las galgas extensométricas se escogen metales que poseen un factor de sensibilidad prácticamente constante en las condiciones de trabajo.

Normalmente, el factor de sensibilidad K de distintos modelos de galgas oscila entre 2 y 4. Mientras que los valores típicos de la resistencia óhmica de las galgas son: 60 Ω , 120 Ω o 350 Ω , aunque el más frecuente es el de 120 Ω .

Obsérvese que la expresión (1) relaciona variaciones relativas de la resistencia con variaciones relativas de longitud (o deformaciones unitarias) y no con variaciones absolutas de longitud. Desde este punto de vista el tamaño de la galga no interviene en la expresión y, por tanto, en las mediciones efectuadas. Ello no quiere decir que el tamaño de la galga no influya en la medición ya que de existir un gradiente de deformaciones importante se mide una deformación media en la extensión de la galga.

La mayoría de la longitud del hilo está orientada en la dirección de la deformación que se desea medir, por lo que el incremento de resistencia se debe principalmente a la deformación en esa dirección. No obstante, la deformación en la dirección transversal a la galga también provoca un incremento de resistencia, dando lugar a la llamada *sensibilidad transversal*. Si una galga está sometida a unas deformaciones ε en la dirección de la medición y ε_t en la dirección transversal, la variación relativa de la resistencia será:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon + K_t\varepsilon_t$$

En realidad, K_t es muy pequeña frente a K . Esto se comprueba fácilmente observando que la longitud del hilo en la dirección de ε es mucho mayor que con respecto a la dirección transversal. Su consideración o no depende entre otras cosas del grado de precisión que se desee alcanzar. Frecuentemente, su influencia es despreciable debiendo únicamente tenerse en cuenta para grados de precisión elevado.

Efectos térmicos

Además de las variaciones de resistencia debidas a los efectos mecánicos, las variaciones de temperatura también afectan al comportamiento de la galga. Por un lado, las variaciones de temperatura producen deformaciones sobre la galga sin que se produzcan tensiones. Por otro lado, las variaciones de temperatura afectan también a la galga en sí misma, provocando variaciones en la resistencia independientes del alargamiento. Por lo que son variaciones que originan errores.

Una solución es utilizar galgas denominadas *autocompensadas*. Están construidas con un material especial al que se ha sometido a unos procesos metalúrgicos singulares. En este tipo de galgas, el efecto de la variación de temperatura en la conductividad de la galga tiene una influencia casi nula dentro de un cierto margen de temperaturas. Esto se consigue compensando el efecto de la dilatación con un efecto de variación de resistencia de la galga. En la figura 2 se muestra una gráfica de las que normalmente se adjuntan en los paquetes de galgas y que proporcionan la variación de salida (deformación aparente) en función de la temperatura.

Según se desprende de esta figura, a pesar de la compensación existe una pequeña dependencia a la temperatura como consecuencia que la dilatación y la variación de conductividad no presentan la misma respuesta a las variaciones térmicas. En la práctica, conseguir una compensación perfecta es imposible.

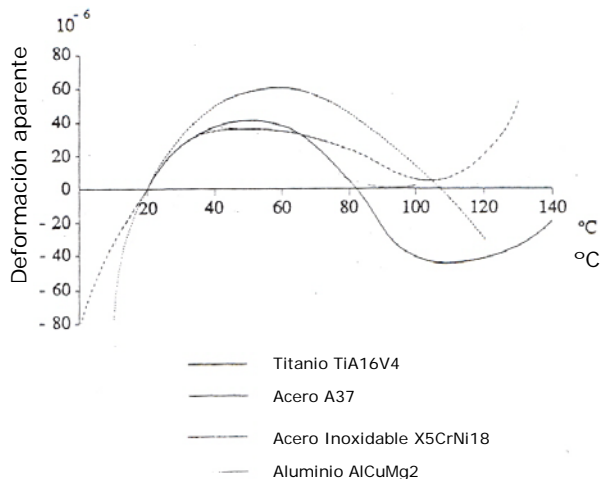


Figura 2. Deformación aparente vs Temperatura.

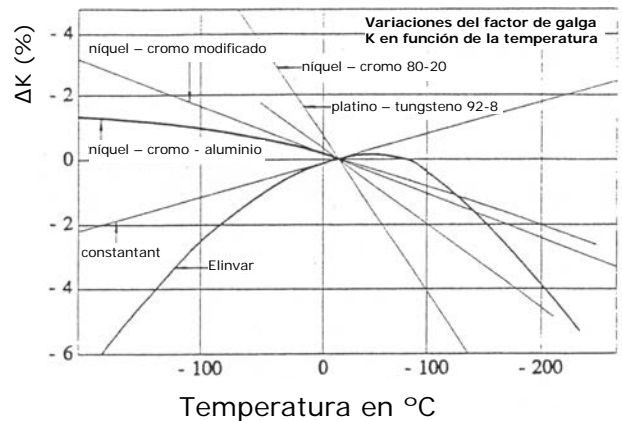


Figura 3. Variación en % del factor de sensibilidad vs temperatura ambiente.

Otro efecto de la temperatura sobre las galgas es la variación del factor de sensibilidad K . En la figura 3 se pueden ver las variaciones del factor de sensibilidad K para aleaciones usuales en la fabricación de galgas. Para las temperaturas de trabajo usuales, la variación del factor K con la temperatura hay que tenerla en cuenta cuando se desea un elevado grado de precisión.

Otra solución es montar una galga sobre un material idéntico al de estudio y bajo las mismas condiciones de temperatura pero sin solicitarlo. Esta galga se conecta sobre un ramal adyacente al de la galga de estudio. Ambas galgas captan las mismas deformaciones de origen térmico, pero las galgas están en ramales de signos contrarios como se verá en el siguiente apartado, siendo la aportación a la señal de salida nula. Este método tiene el inconveniente de usar dos galgas, pero permite compensar los efectos de temperatura en todo el rango de utilización de la galga.

Equipo de medición

Las galgas extensométricas pueden considerarse como un dispositivo que transforma el problema de medir deformaciones ε a un problema cuyo objetivo es medir variaciones en la resistencia ΔR . Los instrumentos para medir la variación de la resistencia eléctrica están basados en los fundamentos del puente de Wheatstone, descubierto por el físico inglés Charles Wheatstone el año 1843. En particular, se trata de medir el desequilibrio provocado sobre un puente de Wheatstone equilibrado.

En la figura 4 se representa un esquema del puente Wheatstone. El puente se compone de cuatro ramales que se etiquetan como ramal 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

En la práctica, la resistencia de algunos de estos ramales son en realidad galgas extensométricas. Cuando se sustituyen los ramales del puente por una o dos galgas se dice que se tiene un montaje de $\frac{1}{4}$ y de $\frac{1}{2}$ puente respectivamente. Cuando se sustituyen los cuatro ramales por galgas se dice que se tiene un montaje de puente completo.

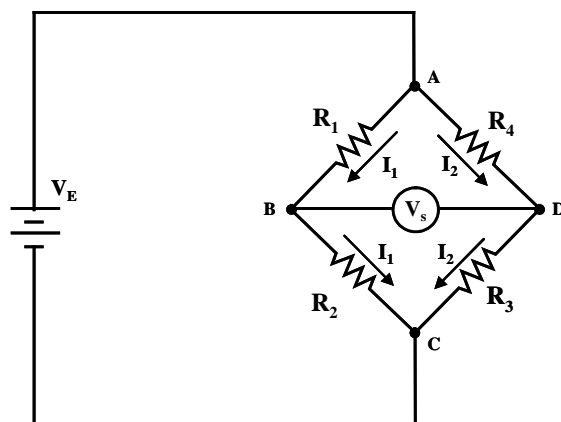


Figura 4. Esquema del puente de Wheatstone.

El punto de partida es el puente de Wheatstone equilibrado, siendo por tanto la tensión de salida V_s nula. Cuando alguna de las resistencias del puente equilibrado varía, aparece una diferencia de tensión entre los nodos B y D. La medición de esta diferencia de tensión V_s es la que permitirá conocer la variación de resistencia y, por tanto, la deformación que sufre la galga.

La corriente que circula por los nodos B y D del puente equilibrado se puede determinar como:

$$I_1 = \frac{1}{R_1 + R_2} V_E$$

$$I_2 = \frac{1}{R_3 + R_4} V_E$$

El potencial de los nodos B y D se determina de la forma:

$$V_{AB} = I_1 R_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_E$$

$$V_{AD} = I_2 R_4 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_E$$

A partir de aquí, la tensión V_s está dada por la expresión:

$$V_s = V_{AB} - V_{AD} = V_E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) = V_E \frac{R_1 R_3 - R_4 R_2}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

donde inicialmente es $V_s=0$ si $R_1 R_3 = R_2 R_4$ (puente equilibrado). Para pequeñas variaciones de ΔR_1 , ΔR_2 , ΔR_3 y ΔR_4 se puede hacer un desarrollo de Taylor de la primera de la ecuación anterior:

$$\Delta V_s = V_E \left(\frac{\Delta R_1 (R_1 + R_2) - R_1 (\Delta R_1 + \Delta R_2)}{(R_1 + R_2)^2} - \frac{\Delta R_4 (R_3 + R_4) - R_4 (\Delta R_3 + \Delta R_4)}{(R_3 + R_4)^2} \right)$$

Si inicialmente el puente estaba equilibrado, entonces $R_1 R_3 = R_2 R_4$ y se tiene:

$$\Delta V_s = V_E \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

Si se da el caso en que $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, entonces:

$$\Delta V_s = \frac{V_E}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

Relacionándolo con las deformaciones:

$$\Delta V_s = \frac{K V_E}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (2)$$

donde K es el factor de galga y ε_i es la deformación longitudinal unitaria en el ramal i . De esta expresión se aprecia que los alargamientos producen incrementos de voltaje positivos en los ramales 1 y 3, y negativos en los ramales 2 y 4. Esta propiedad del puente de Wheatstone resulta muy práctica a la hora de hacer medidas extensométricas.

Conviene destacar la linealidad de la expresión (2), relacionando ΔV_s con las deformaciones longitudinales. No obstante, esta linealidad únicamente es válida para pequeñas deformaciones y variaciones de la resistencia óhmica en virtud de las sucesivas simplificaciones y aproximaciones realizadas en su deducción.

3. Equipos de medición.

Sistemas de medida

La señal de salida del puente V_s entre A y B de la figura 4 es muy pequeña, del orden de milivoltios, con el agravante que la intensidad de corriente que se puede extraer del puente ha de ser prácticamente nula con tal de no falsear las mediciones. Por ello, se hace necesario amplificar la señal, aumentando la potencia, para poderla leer y/o registrar.

Existen un tipo especial de amplificador que incluye, normalmente en una misma caja, el sistema de alimentación del puente y los sistemas de equilibrado y calibrado. A este sistema de medición se le denomina de *desviación* (ver figura 5). Existe otro sistema de medición que también se emplea frecuentemente denominado de *compensación* (ver figura 6).

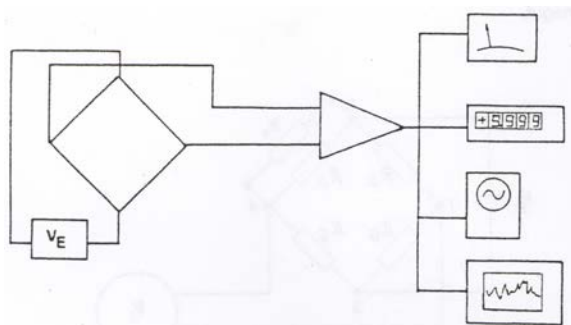


Figura 5. Sistema de medición.

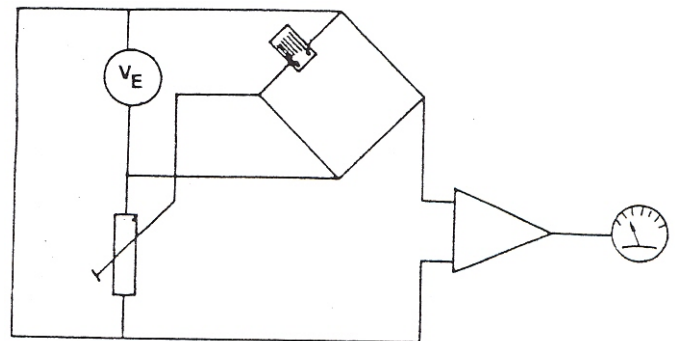


Figura 6. Sistema de medición.

A estos aparatos se los suele denominar *puentes de extensometría*.

Alimentación del puente

La tensión de alimentación del puente V_E ha de ser rigurosamente estable en el tiempo. Si V_E varía, se modifica la constante de proporcionalidad que relaciona deformaciones con voltaje de salida V_s , falseando con ello la medida. Por esta razón, los puentes de extensometría incluyen un estabilizador de tensión, que puede suministrar uno o diversos valores para adecuarse a las necesidades de los montajes. Hay que tener en cuenta al respecto que cuanto más alto sea V_E más alto será V_s a igualdad de deformación.

No obstante, hay que tener en cuenta que cada tipo de galga y el material donde va encolada poseen una capacidad limitada para disipar cierto valor de potencia en forma de calor, que de no disipar produce un calentamiento excesivo de la galga y en casos extremos puede incluso llegar a quemarla.

Los valores más usuales de V_E son entre 1 y 5 voltios y se escogen en función de la resistencia de la galga, de su grosor y resistencia. El valor crítico en este caso es la disipación de potencia por unidad de superficie de galga para un determinado material y ambiente.

La tensión V_E ha de estar también libre de parásitos y ruido eléctrico que de estar presentes se reproducirían en la señal de salida.

Sistemas de equilibrado

Resulta práctico iniciar las medidas con una lectura cero. Esto quiere decir que las cuatro galgas deberían tener exactamente el mismo valor. Sin embargo eso es algo que nunca sucede. Por un lado, no pueden fabricarse galgas rigurosamente iguales y, por otro, aunque las galgas fuesen exactamente iguales al colocarlas se les aplica un esfuerzo que las deforma ligeramente modificando su resistencia, provocando con ello un desequilibrio del puente de Wheatstone.

Para salvar estos inconvenientes e iniciar las medidas en el cero se monta un sistema de equilibrado. En el esquema de la figura 7 aparece uno de los más utilizados. Moviendo el potenciómetro se puede obtener el cero inicial de la lectura.

Frecuentemente se disponen de dos o tres de estos sistemas de manera que tengan un campo de equilibrado más amplio y otros más estrechos (ver figura 8). El más fino es continuo y los bastos acostumbran a ser discretos de manera que un salto del basto suele ser un ligeramente menor al recorrido entero del fino.

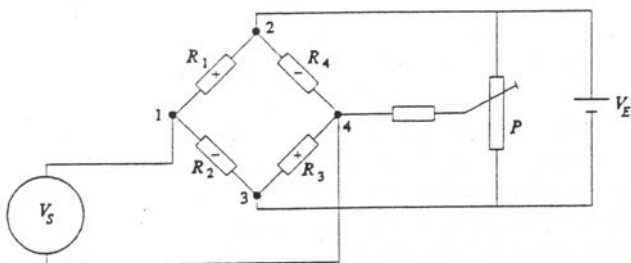


Figura 7. Sistema de equilibrado.

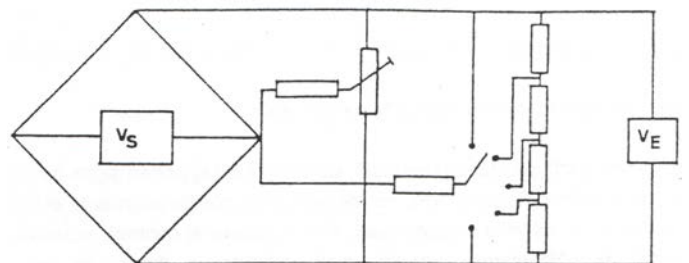


Figura 8. Sistema de equilibrado.

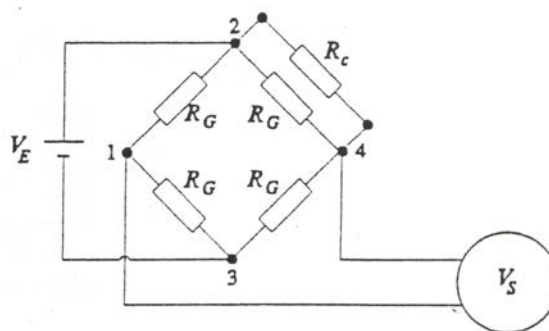


Figura 9. Sistema de calibrado.

Sistema de calibración

Otro sistema que disponen los puentes de extensometría es el sistema de calibración. Esto sirve para calibrar el puente, comprobando así que las lecturas son correctas.

Un sistema muy empleado consiste en poner en paralelo sobre uno de los ramales del puente una resistencia de calibración R_c de valor conocido (ver figura 9).

El ramal correspondiente con una resistencia inicial R_g sufre un incremento de resistencia ΔR como consecuencia de la resistencia de calibración:

$$\Delta R = \frac{R_g R_c}{R_g + R_c} - R_g$$

emulando una deformación ε_c que según la ecuación (1) posee un valor:

$$\varepsilon_c = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{K} \frac{\frac{R_g R_c}{R_g + R_c} - R_g}{R_g} = -\frac{1}{K} \frac{R_g}{R_g + R_c}$$

El signo de la lectura obtenido es de compresión porque el sistema equivale a disminuir la resistencia de la galga.

Sistemas de lectura y registro

A la salida del amplificador se pueden conectar diferentes tipos de instrumentos para la visualización del valor de la deformación.

Un condicionante para escoger el un sistema de lectura depende de si el fenómeno es estático o cuasi-estático, es decir, si el valor de salida no varía o lo hace muy lentamente o si, por el contrario, es dinámico donde el valor de salida varía rápidamente en el tiempo.

En el caso de las mediciones estáticas o cuasi-estáticas se pueden hacer lecturas con instrumentos de aguja o digitales. En el caso de las lecturas dinámicas se deben emplear aparatos distintos en función de la frecuencia del fenómeno. A bajas frecuencias un registrador de papel puede ser suficiente. Si la frecuencia es alta hará falta un osciloscopio o capturar los datos a un soporte informático.

4. Realización de las medidas.

Extensometría de $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ puente

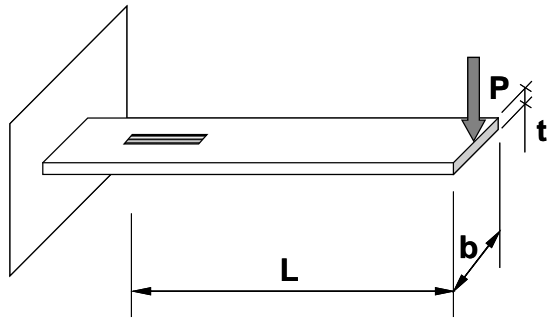


Figura 10. Probeta.

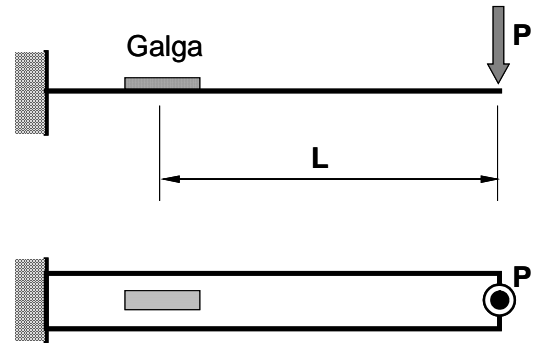


Figura 11. Estructura y dispositivo de medida.

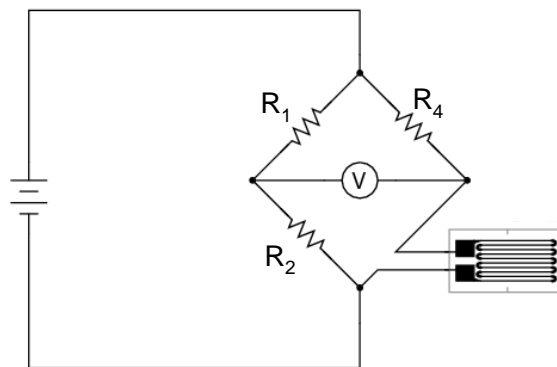


Figura 12. Montaje de $\frac{1}{4}$ de puente.

Las figuras 10 y 11 muestran la probeta objeto de estudio que trabaja como una ménsula. Esta probeta dispone de una galga extensométrica para medir la deformación en la dirección longitudinal. Esta galga se conecta al puente de Wheatstone en el ramal 1 o el ramal 3 formando un montaje de $\frac{1}{4}$ de puente como el mostrado en la figura 12.

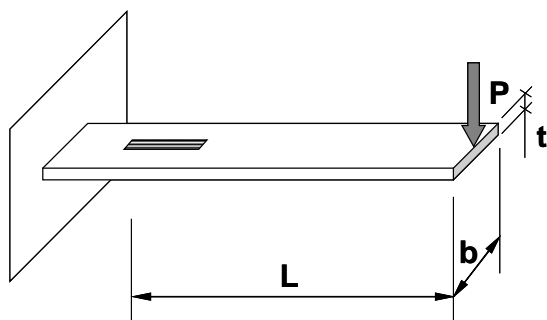


Figura 13. Probeta.

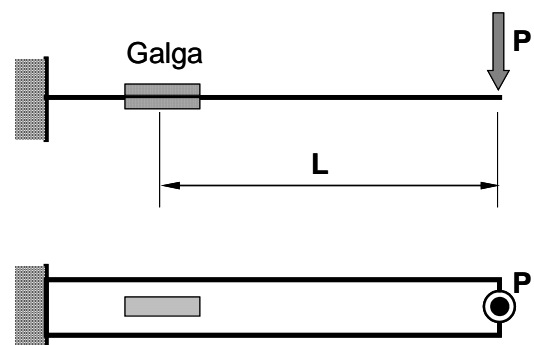


Figura 14. Estructura y dispositivo de medida.

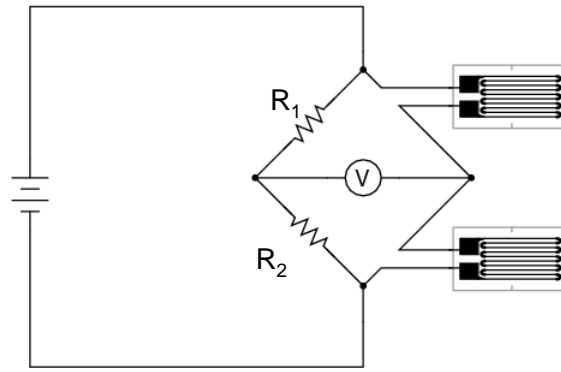


Figura 15. Montaje de ½ puente.

Las figuras 13 y 14 muestran la probeta objeto de estudio que trabaja como una ménsula. Esta probeta dispone de dos galgas extensométricas para medir la deformación en la dirección longitudinal de la probeta, una situada en la superficie superior y la otra en la superficie inferior. Estas galgas se conectan al puente de Wheatstone en los ramales 1 y 2 o en los ramales 3 y 4 formando un montaje de ½ puente como el mostrado en la figura 15.

En la posición de la galga, se puede demostrar que la teoría predice una tensión:

$$\sigma = \frac{6L}{bt^2} P$$

si se mide en la superficie superior de la viga, mientras que si se mide en la superficie inferior:

$$\sigma = -\frac{6L}{bt^2} P$$

donde L es la distancia de la galga al punto de aplicación de la carga, b es el ancho de la probeta y t es el espesor de la misma.

Medición del coeficiente de Poisson

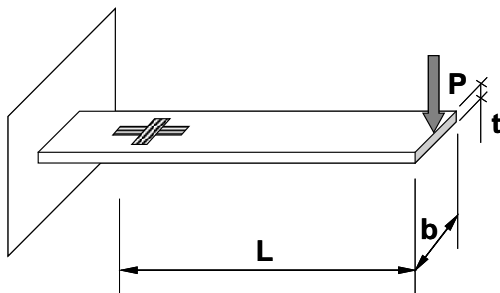


Figura 16. Probeta.

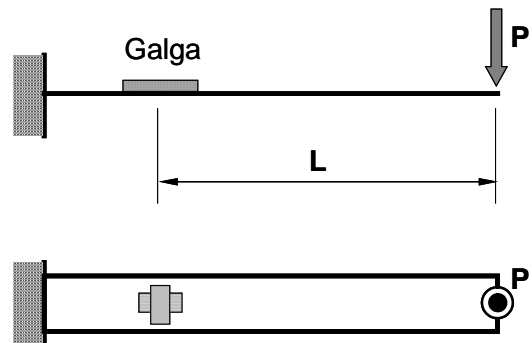


Figura 17. Estructura y dispositivo de medida.

Figura 18. Estructura y dispositivo de medida.

Las figuras 16 y 17 muestran la probeta objeto de estudio que trabaja como una ménsula. Esta probeta dispone de una roseta de dos galgas extensométricas, como la mostrada en la figura 18, para medir la deformación en la dirección longitudinal y en la dirección transversal de la probeta. Estas galgas se conectan al puente de Wheatstone bien en el ramal 1 o bien en el ramal 3 formando un montaje de $\frac{1}{4}$ de puente como el mostrado en la figura 12. No obstante, estas galgas no están conectadas al puente de Wheatstone simultáneamente. Por tanto, primero se conecta la galga longitudinal para medir la deformación longitudinal, después se desconecta del puente y se repite la operación con la galga transversal para medir la deformación transversal.

Las mediciones del coeficiente de Poisson se realizan en base a la expresión:

$$\nu = -\frac{\epsilon_{\text{trans}}}{\epsilon_{\text{long}}}$$

Medición con roseta de 3 direcciones

La figura 19 muestra la roseta de tres galgas ubicada en la misma posición que la mostrada en las figuras 16 y 17. Con esta roseta se miden el alargamiento en tres direcciones, las cuales pueden referenciarse al eje x con los ángulos β_A , β_B y β_C descritos en la figura 19. Esta roseta permite conocer el tensor deformación en el punto objeto de estudio:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_A &= \epsilon_{xx} \cos^2 \beta_A + \epsilon_{yy} \sin^2 \beta_A + 2\epsilon_{xy} \sin \beta_A \cos \beta_A \\ \epsilon_B &= \epsilon_{xx} \cos^2 \beta_B + \epsilon_{yy} \sin^2 \beta_B + 2\epsilon_{xy} \sin \beta_B \cos \beta_B \\ \epsilon_C &= \epsilon_{xx} \cos^2 \beta_C + \epsilon_{yy} \sin^2 \beta_C + 2\epsilon_{xy} \sin \beta_C \cos \beta_C \end{aligned} \right\}$$

Conocidos los ángulos β_A , β_B y β_C pueden determinarse las componentes del tensor deformación resolviendo este sistema de ecuaciones ya que ϵ_A , ϵ_B y ϵ_C son conocidos.

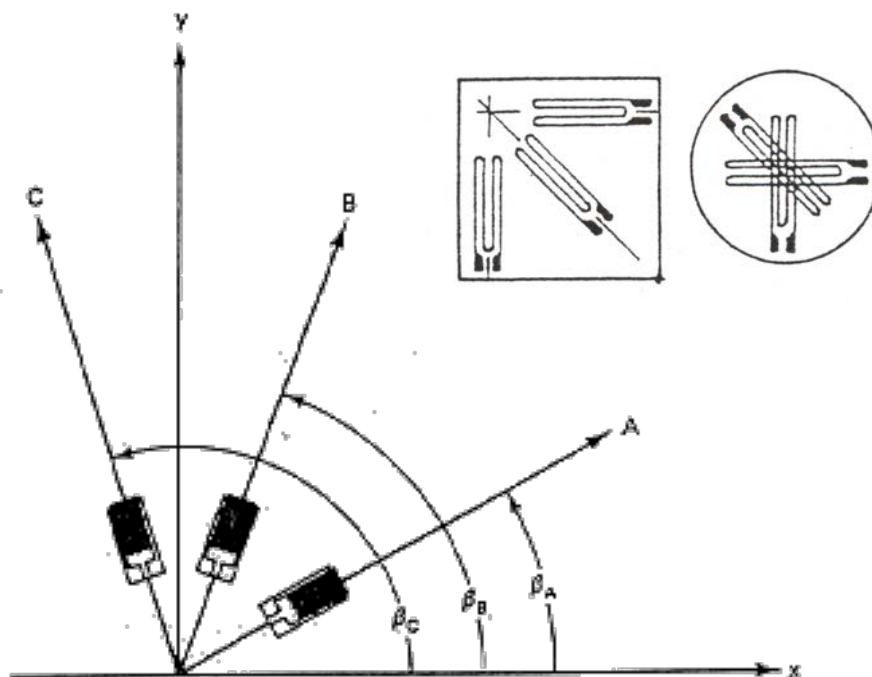


Figura 19. Roseta de tres galgas.

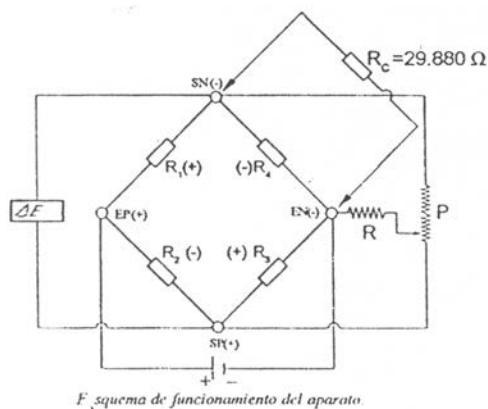
INFORME DE PRÁCTICAS

1.- Introducción

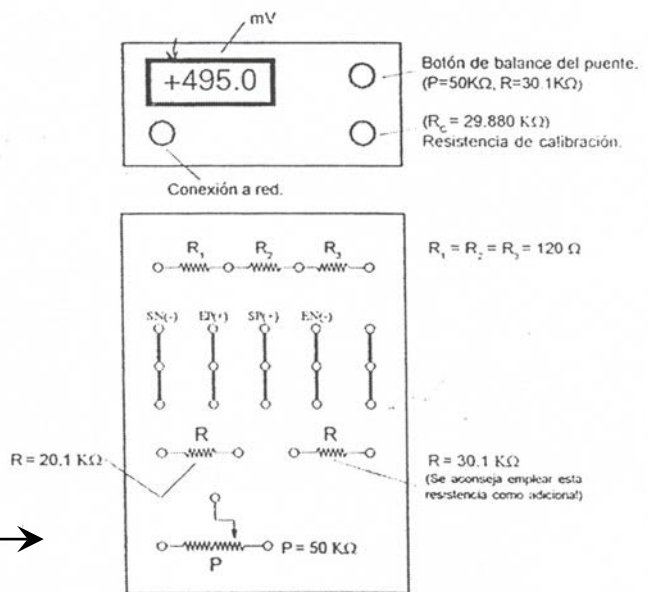
Dado el carácter didáctico de las experiencias resulta oportuno realizar una breve revisión de las herramientas que se necesitan y el procedimiento a seguir para la realización de los ensayos:

- Equipos de medición
- Metodología:
 - Montaje extensométrico para conexiones de $\frac{1}{4}$ puente.
 - Montaje extensométrico para conexiones de $\frac{1}{2}$ puente.
- Mediciones:
 - Balance: $E=0$
 - Calibración: $R_c \rightarrow \Delta R/R = K\epsilon_c$
 - Mediciones: ΔE

2.- Equipos de medición



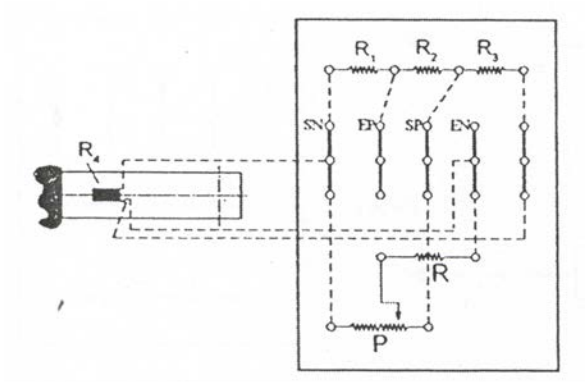
INSTRUMENTO →



3.- Metodología

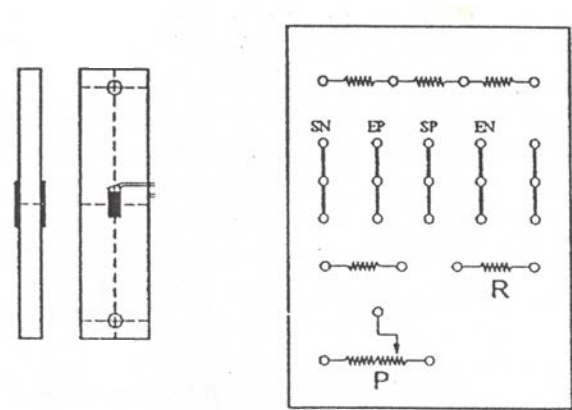
CONEXIONES PARA ¼ DE PUENTE

Conexiones para ¼ de puente (con dos hilos)



Conexiones para ¼ de puente (con tres hilos)

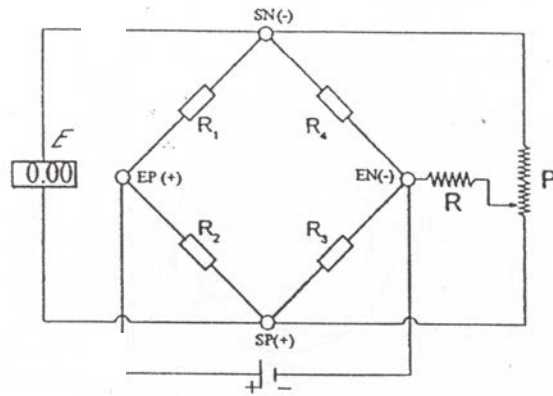
CONEXIONES PARA ½ PUENTE



Conexiones para ½ puente

4.- Mediciones

1° BALANCE DEL PUENTE

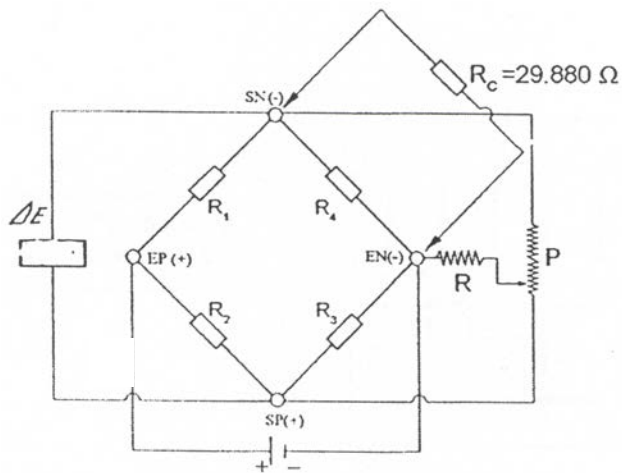


$$P = 50\Omega$$

$$R = 31.1\Omega - 20.1\Omega$$

NOTA: El potenciómetro y la resistencia a instalar dependen del desequilibrio del puente.

2° CALIBRACIÓN



$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} \Rightarrow \Delta E \neq 0$$

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R}$$

3° EFECTUAR MEDICIONES

5.- Ensayos

Todos los ensayos que siguen se van a desarrollar con probetas de **aleación de aluminio**, cuyas características elásticas orientativas son las siguientes:

$$E = 67 - 75 \text{ GPa}$$

$$\nu = 0.32 - 0.33$$

$$\sigma_e = 173.3 \text{ MPa}$$

$$\gamma = 2 \text{ (Coeficiente de seguridad)}$$

Dada la probeta de estudio pertinente, hallándose ya instaladas las bandas extensométricas correspondiente al ensayo, se pide:

1. Determinar la Carga máxima (P_{max})
2. Determinar para un montaje de $\frac{1}{4}$ de puente y $\frac{1}{2}$ puente y para distintos estados de carga (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 y 4.0 Kg) los siguientes parámetros:
 - ε : Deformación longitudinal
 - σ : Tensión
 - Gráfica tensión vs. deformación ($\varepsilon - \sigma$)
 - E_ξ : módulo de elasticidad y compararlo con el del material.
3. Comparar los resultados obtenidos en los dos montajes y en el caso de presentarse diferencias importantes *justificarlas*.
4. Determinar para las cargas (1.0, 2.0 y 3.0 Kg) y en montaje de $\frac{1}{4}$ de puente el **coeficiente de Poisson**.
5. Con la probeta que tiene instalada la **roseta rectangular** y para una carga de 2Kg determinar:
 - ε_{long} : Deformación en la dirección longitudinal de la probeta
 - Deformaciones principales
 - Coeficiente de Poisson.
 - Tensiones principales
 - Direcciones principales.
 - Tensión equivalente y coeficiente de seguridad.
 - Contrastar las tensiones y deformaciones principales obtenidas con las teóricas.
6. Conclusiones de cada tipo ensayo.