



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Mecánica

Departamento de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Diploma

*Montaje y puesta a punto del Puente Extensométrico
YE3817*

Autor: Daryl A. Rodríguez Espinosa

Tutor: Dr. Luis I. Negrín Hernández

Curso 2013-2014

Pensamiento

“No necesito saberlo todo, tan solo necesito saber donde encontrar aquello que me hace falta cuando lo necesite.”

Albert Einstein

Dedicatoria

Este Trabajo de Diploma lo quiero dedicar en forma muy especial a mis padres por brindarme su amor, preocupación, apoyo incondicional ante las adversidades y por ver en mí cualidades para llegar a ser Ingeniero Mecánico.

A mi tía por su cariño y confianza en el logro de mis objetivos y aspiraciones.

A mis demás familiares, novia y amigos por darme la fortaleza de seguir adelante en mis propósitos.

A mi tutor por ser mi guía ante lo desconocido y en general a todo el claustro de profesores que de una forma u otra intervinieron de forma positiva en mi superación profesional.

Resumen

Este trabajo tiene como principal objetivo realizar el montaje del puente extensométrico chino marca YE 3817. En el capítulo uno se hizo una búsqueda bibliográfica para conocer los fundamentos de la extensometría eléctrica y su importancia en la medición de tensiones que no pueden ser efectuadas, generalmente, mediante los métodos convencionales de resistencia de materiales. En el capítulo dos se tradujo del inglés al español el manual de trabajo de este puente extensométrico, conociendo de este modo sus características y ventajas, así como los parámetros y requisitos para el montaje del mismo. Posteriormente se prepara una práctica de laboratorio utilizando este equipamiento, que se incluirá en el Plan de Estudios de la asignatura Resistencia de Materiales I. En la preparación de esta práctica se incluye el montaje de las galgas, la técnica operatoria y las tablas y fórmulas que deben utilizar los estudiantes en la realización del ensayo.

Abstract

The main objective of the work is to carry out the assembly of the chinese extensometric bridge YE 3817. In the first chapter a bibliographical search was made to know the base of the electric extensometry and its importance in the mensuration of stress that they cannot be made, generally, by means of the conventional methods of strengs of materials. In the chapter two were translated from English to Spanish the manual of work of this extensométric bridge, knowing their characteristics and advantages this way, as well as the parameters and requirements for the assembly of the same one. Later on it is prepared a laboratory practice using this equipment that will be included in the Plan of Studies of the course Resistance of Materials I. In the preparation of this practice it is included the assembly of the strain gage, the operative technique and the tables and formulas that the students should use in the realization of the test.

Índice

Introducción	1
Capítulo1: Fundamentos Teóricos.	3
1.1. Introducción.....	3
1.2. Evolución de la Extensometría.....	4
1.3. Definición de banda o galga extensométrica.....	9
1.4. Tipos de galgas extensométricas.....	10
1.5. Principio de funcionamiento de las galgas extensométricas.	11
1.6. Circuito de medida de las galgas.	14
1.7. Selección y compromiso de selección de la galga extensométrica.....	14
1.8. Limitaciones de las galgas extensométricas [11].	15
1.9. Ventajas de las galgas extensométricas [11].	16
1.10. Desventajas de las galgas extensométricas [11].	16
1.11. Aplicaciones de las galgas extensométricas.....	16
Capítulo 2: Manual de usuario del puente extensométrico	18
2.1. Características y Propósitos.....	18
2.2. Parámetros Técnicos	18
2.3. Principios de operación	20
2.4. Instrucciones	22
2.4.1. Amplificador de deformaciones YE3817	22
2.4.2. Introducción del Indicador de Voltaje YE1940	23
2.4.3. Panel Trasero del YE3817.....	25
2.4.4. Introducción a el Puente extensométrico YE29003A.....	26
2.5. Cómo se usa	27

2.5.1.	Conexión de entrada	27
2.5.2.	Conexión de salida	33
2.5.3.	Voltaje del Puente	33
2.5.4.	Balance.....	34
2.5.5.	Ganancia	34
2.5.6.	Filtros.....	35
2.5.7.	Calibración.....	35
2.5.8.	Datos de prueba correctos	36
2.6.	Precauciones y mantenimiento	38
2.6.1.	Mantenimiento	38
	Conclusiones parciales	39
Capítulo 3.	Preparación de la práctica de laboratorio.....	40
3.1.	Introducción.....	40
3.2.	Preparación de la superficie.....	40
3.3.	Adhesión de las galgas	42
3.4.	Procedimientos para soldar.....	47
3.5.	Recubrimientos de protección.....	49
3.6.	Instalación de las galgas para el ensayo de laboratorio.....	49
3.6.1.	Puente de Wheatstone	49
3.6.2.	Condición de equilibrio del Puente	50
3.6.3.	Circuitos elementales	51
3.7.	Práctica de laboratorio	55
3.7.1.	Introducción	55
3.7.2.	Descripción del equipo y técnica operatoria	55

3.7.3. Cuadros de anotaciones, procesamiento de datos y resultados	56
Conclusiones Parciales.....	58
Conclusiones Generales	59
Recomendaciones	60
Bibliografía	61
Anexos	63

Introducción

Para poder llevar a cabo el cálculo y diseño, o el análisis, de los diferentes componentes de una máquina o de una estructura sometidos a diferentes cargas es preciso conocer la distribución de fuerzas que tienen lugar en dichos componentes. Así, por ejemplo, para el correcto diseño de ejes, recipientes a presión, soportes para estructuras, etc., debe de tenerse en cuenta la carga que dichos elementos pueden soportar y las deformaciones que pueden admitirse en los mismos. La resistencia de materiales proporciona la base teórica necesaria para predecir estas características básicas de todo diseño mecánico, permitiendo comprender el comportamiento de estos elementos sometidos a cargas.

Sin embargo, en el caso de geometrías o hipótesis de carga complejas, puede ocurrir que el análisis teórico no sea suficiente, y que sea preciso llevar a cabo una serie de medidas de carácter experimental para poder completar el diseño o el análisis.

Un cuerpo sometido a la acción de cargas exteriores sufrirá una serie de deformaciones (elásticas) que darán lugar a la aparición de unas tensiones y, por lo tanto, de unas fuerzas de carácter interno, que equilibren esas cargas exteriores. En este sentido, el diseño de un componente o estructura desde el punto de vista ingenieril tendrá como objetivo conseguir que la distribución de tensiones dentro del material de que está compuesto el elemento sometido a estudio no supere unos determinados límites de seguridad (por ejemplo, no alcance nunca el límite elástico). [1]

En la mayor parte de los casos, las tensiones no podrán ser medidas de forma directa, pero sí podrán obtenerse a partir de las deformaciones que haya sufrido el material.

La cantidad física empleada para la evaluación de componentes estructurales es la tensión mecánica que actúa sobre el material [2]. Resulta prácticamente imposible determinar dichas tensiones en condiciones de servicio. El proceso radiográfico que podría resultar apropiado está sujeto a restricciones a la hora de su aplicación. Un método práctico para la determinación experimental de tensiones mecánicas se basa en un descubrimiento realizado en el año 1678 por el científico inglés *Robert Hooke*

(1635-1703). *Hooke* encontró una relación entre la tensión del material y la deformación resultante. Esta deformación también ocurre en la superficie de los componentes y es, por tanto, accesible para la medición.

Una rama importante del análisis experimental de tensiones se basa en el principio de la medición extensométrica [2].

En la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas (UCLV) se recibieron dos módulos para la realización de mediciones usando la extensometría que aún no se están utilizando, pues no están instalados los puentes extensométricos. Por tal motivo el presente trabajo tiene como objetivo:

Objetivo general

- Realizar la instalación y puesta a punto del equipo YE3817 para la realización de mediciones de tensiones utilizando la extensometría.

Objetivos parciales

- Realizar una revisión bibliográfica sobre el estado del arte de la extensometría.
- Realizar la preparación del manual de usuario del puente extensométrico YE3817 de fabricación china.
- Preparar y montar una práctica de laboratorio para la asignatura Resistencia de Materiales I.

Capítulo1: Fundamentos Teóricos.

1.1. Introducción

La determinación experimental de las tensiones producidas en una pieza en servicio se realiza en dos pasos consecutivos: medida de las deformaciones creadas por tensiones en la superficie del elemento y cálculo de las tensiones a partir de las deformaciones medidas. La técnica experimental más utilizada para medir las deformaciones en el primer paso del proceso descrito es la *Extensometría*. La aplicación de la extensometría en la comprobación de seguridad y el seguimiento de la vida de elementos estructurales se ha incrementado notablemente en los últimos años ya que la medición experimental de deformaciones se ha vuelto esencial para la determinación de su distribución en estructuras complejas, o para comprobar la validez de los resultados obtenidos mediante técnicas computacionales. [3]

El método habitual para evaluar las partes estructurales de máquinas, edificios, vehículos, aviones, etc. (generalizando: de componentes) se basa en los cálculos de la resistencia de materiales.

Este método resulta adecuado mientras se conocen el tipo y la magnitud de la carga que actúa sobre el componente. Los problemas surgen sobre todo cuando la carga es desconocida o solo se puede obtener aproximadamente. Antiguamente el riesgo de sobrecarga se contrarrestaba aumentando los márgenes de seguridad, es decir, sobredimensionando los componentes. Sin embargo, en la actualidad las estrategias de diseño exigen el ahorro de materiales, en parte por razones económicas, en parte para reducir peso. Para poder cumplir con los requisitos de seguridad y para proporcionar una duración adecuada a los componentes, es imprescindible conocer las tensiones a las que están sometidos. Por tanto es necesario realizar mediciones en condiciones de servicio. [1]

1.2. Evolución de la Extensometría.

En sus comienzos se empleaban complicados dispositivos mecánicos para las mediciones de la deformación, que mostraban la deformación utilizando relaciones de palanca de mil o incluso más. La **figura 1.1** muestra un ejemplo.

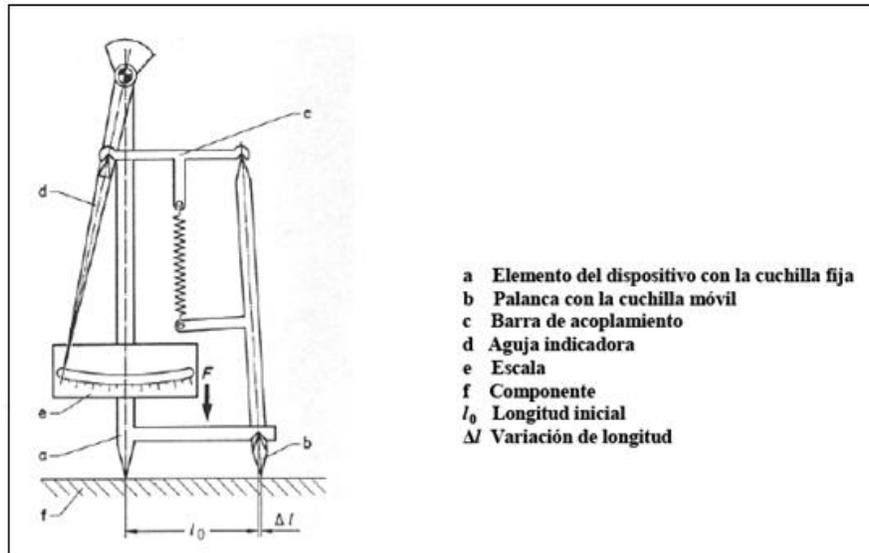


Figura1.1. Tensómetro de Huggenberger con mecanismo de doble palanca.

Durante mucho tiempo este tipo de instrumento fue el único método disponible para realizar las mediciones extensométricas necesarias para el análisis de tensiones. A pesar de su diseño ingenioso y de la precisión de su fabricación, tenían desventajas intrínsecas que limitaron su rango de aplicación y redujeron su importancia [2]:

- Únicamente se pueden medir procesos estáticos
- Se precisan fuerzas elevadas de su fijación para evitar que resbalen en caso de vibraciones.
- La muestra debe estar fija respecto al observador.
- El tamaño de los dispositivos limita su uso en los componentes pequeños y en algunos casos la medición resulta imposible.
- La base de medición relativamente larga únicamente proporciona resultados correctos si en ella la tensión está distribuida de forma uniforme.
- Las condiciones locales pueden ser imposibles para el observador.
- El registro automático de la medición no es posible.

En la segunda mitad de los años treinta se prestó atención a un efecto mencionado por *Charles Wheatstone* en su primera publicación de 1843 sobre el circuito que había inventado. Este efecto es la variación de la resistencia de un conductor eléctrico provocada por la acción de una tensión mecánica. El modelo eléctrico está conformado de cuatro resistencias en un circuito cerrado, en donde una de las resistencias es la que se quiere evaluar siendo esta la resistencia bajo media. Este se utiliza con el fin de medir la resistencia mediante el equilibrio de los brazos del puente. Sir Charles Wheatstone fue un científico e inventor británico que durante la época victoriana realizó una gran contribución con sus inventos, de los cuales el más significativo es el puente de Wheatstone, pero además trabajó en otros inventos como el Estereoscopio, la técnica Playfair de codificación, y el caleidófono. *William Thomson* (1824-1905, desde 1892 *Lord Kelvin*) fue más lejos en un trabajo publicado en 1856.

Existen varias razones por las que pasaron más de 80 años antes de la aplicación técnica de este fenómeno. La variación de la resistencia de un hilo bajo tensión es muy pequeña. Para su medición *Thomson* usaba galvanómetros altamente sensibles que eran inapropiados para un empleo generalizado o para su uso en la industria. Además sólo son adecuados para medir procesos estáticos. No fue hasta el desarrollo de los amplificadores electrónicos que se establecieron las condiciones necesarias.

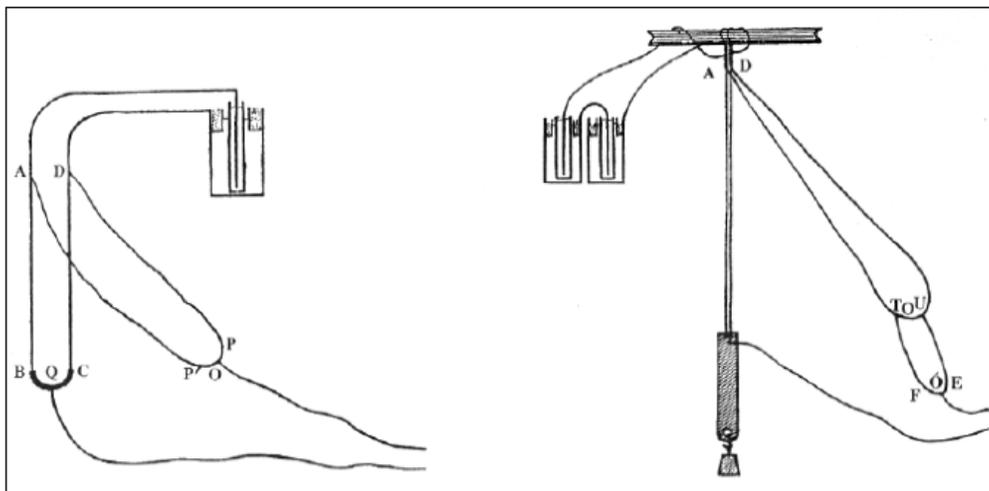


Figura 1.2. Experimento según *William Thomson* para investigar la variación de la resistencia de un conductor eléctrico bajo tensión.

Durante el año 1938 en los EEUU dos personas investigaron, casi al mismo tiempo pero de forma independiente, la idea de aprovechar el “efecto Thomson” para realizar mediciones. Uno de los pioneros, *Edward E. Simmons*, trabajaba en California. Utilizando hilos de seda como urdidumbre y un fino hilo metálico como trama fabricó un tejido que pegó a un cilindro de acero creando así un dispositivo eléctrico para medir las fuerzas ejercidas sobre una muestra por un péndulo de impacto. *Arthur Claude Ruge*, trabajaba en la Facultad de Sismología en el Massachusetts Institute of Technology y quería determinar la tensión producida por las vibraciones de un terremoto simulado sobre un modelo de cisterna resistente a terremotos. Los equipos para la medición de la deformación disponibles en aquella época no se podían utilizar debido a las finas paredes del modelo. Ninguno de los numerosos dispositivos era apropiado. En un último intento Ruge tomó un fino hilo metálico, lo pegó en forma de meandro sobre un trozo de papel de seda fino y terminó las puntas con conexiones más gruesas. Para poder investigar las propiedades del prototipo lo pegó sobre una viga a flexión y comparó las medidas con un dispositivo tradicional de medición de deformación. Observó una buena correlación con una reacción lineal entre la deformación y los valores medidos a lo largo de todo el rango de medición, tanto para deformaciones positivas como para las negativas, incluyendo una buena estabilidad del cero. Así fue como se inventó la “Banda Extensométrica de resistencia eléctrica con rejilla encolada”. La configuración empleada en aquellos primeros ensayos continúa siendo prácticamente la misma en los dispositivos actuales.

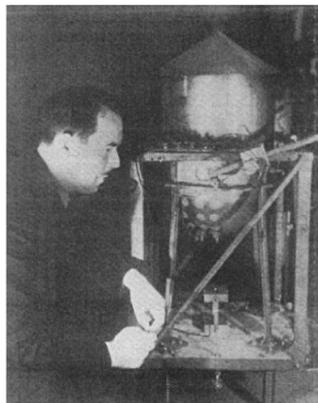


Figura 1.3. Arthur Claude Ruge, inventor de la banda extensométrica durante sus mediciones.

La idea decisiva de Ruge que le distinguiría de Simmons, fue que fijó el hilo de medida sobre un material de soporte creando un instrumento independiente fácilmente manejable, que se podía pegar sobre cualquier superficie. Era muy fino y ligero, no requería ninguna fuerza de fijación y prácticamente no presentaba efectos retroactivos, permitiendo la medición en objetos muy delgados. Combinado con amplificadores electrónicos permitía mediciones tanto estáticas como dinámicas. Incluso los primeros prototipos ya se mostraron muy superiores a los demás instrumentos para la medición de la deformación.

Un segundo logro de Ruge fue desarrollar la banda extensométrica hasta que alcanzó su madurez de producción. Fue el hecho decisivo que inició la supremacía de su invención. Queda, por tanto, justificado bautizar a Ruge como el padre de la banda Eextensométrica. No sólo tuvo la idea, sino que también vio las innumerables posibilidades de su aplicación y la determinación necesaria para convertirla en un instrumento fiable para el análisis de tensiones. Sus trabajos científicos lo certifican. Al principio se creía que era necesario cubrir la delicada estructura con un marco rígido y que los finos hilos de tan sólo los $25\mu\text{m}$ de grosor debían ser protegidos con una cobertura de fieltro. La **figura 1.4** muestra uno de los primeros ejemplares de banda extensométrica producidos en serie.

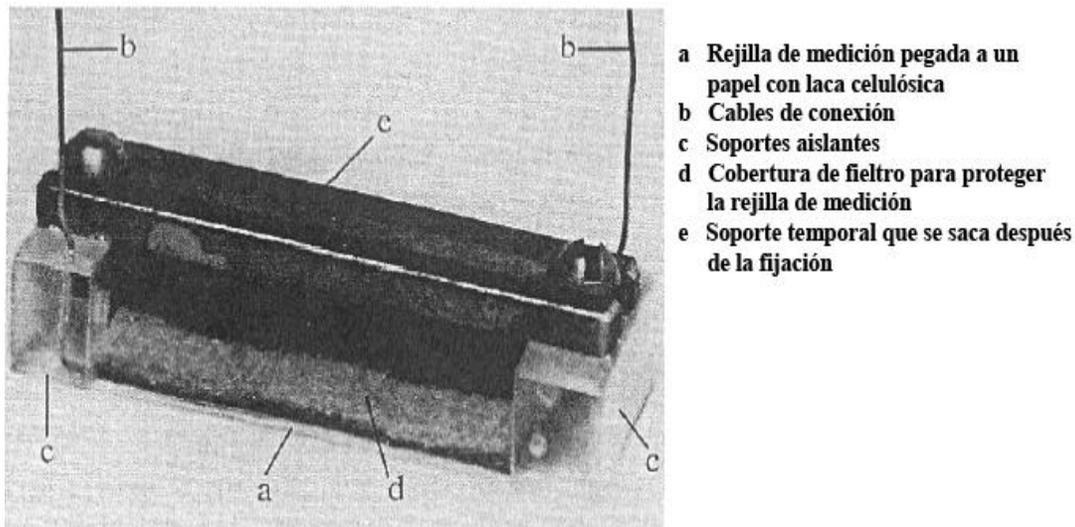


Figura 1.4. El primer diseño de banda extensométrica apto para la producción.

La demanda, especialmente por parte de la industria aeronáutica americana era tan elevada que este tipo de configuración tuvo que ser descartado. Se menciona que hubo un volumen de ventas de 50.000 bandas en dos meses de 1941. Finalmente la experiencia mostró que la complicada estructura de protección era innecesaria y se introdujo el modelo simplificado mostrado en la **figura 1.5**, que se mantuvo durante varias décadas con tan sólo pequeños cambios. Numerosas patentes demuestran los constantes esfuerzos de Ruge por mejorar las propiedades de medición de su instrumento.

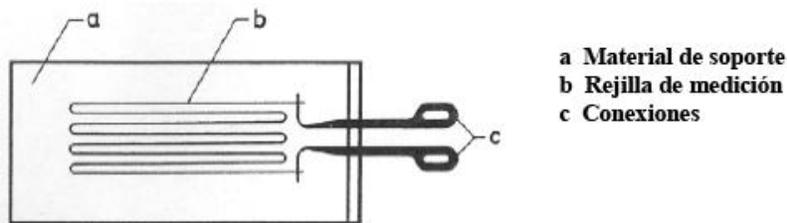


Figura 1.5. Diseño característico de una banda extensométrica con rejilla de medición de hilo.

Posteriormente se probaron varias modificaciones para racionalizar la producción. Particularmente hay que destacar la técnica del “circuito impreso” de *Paul Eisler*, que en su forma refinada llevó al desarrollo de la “banda extensométrica impresa” a partir de 1952. Ver **figura 1.6**.

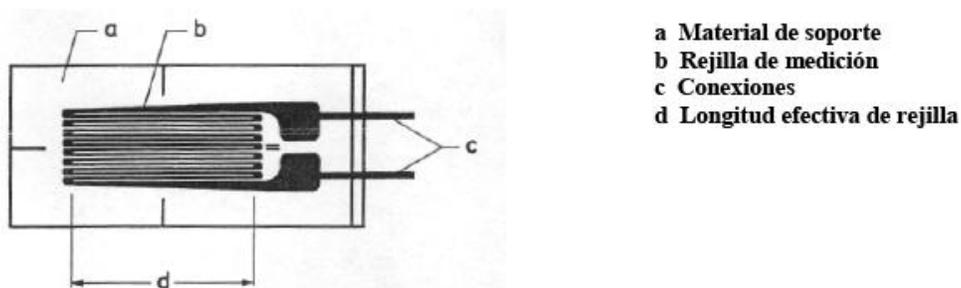


Figura 1.6. Diseño característico de una banda extensométrica con una lámina de metal impreso como rejilla de medición.

Este método amplía considerablemente las posibilidades de diseño a todas las formas representables en un plano que son realizables sin esfuerzos adicionales. Formas en

espiral son tan fácilmente realizables como las redes que se utilizan para los transductores de fuerza, presión, pares de torsión u otras variables mecánicas.

Las bandas extensométricas se fabrican en una multitud de diseños distintos, proporcionando un método adaptable a distintas tareas de medición, incluso bajo las condiciones más difíciles. Las áreas fundamentales de aplicación de las bandas extensométricas son:

- El análisis experimental de tensiones, incluyendo las técnicas de medición de modelos y la biomecánica.
- La producción de transductores.

Mientras que la capacidad de adaptación de las bandas extensométricas contribuyó a su difusión en el área del análisis experimental de tensiones, fue su alta precisión de medición la que las hizo atractivas para la fabricación de transductores. Tanto las de circuito impreso como las de hilo enrollado son conocidas como bandas extensométricas metálicas debido a sus rejillas de medición de aleación metálica [2].

1.3. Definición de banda o galga extensométrica.

Una galga extensométrica o “strain gage” (en inglés) es un dispositivo transductor universal que se utiliza para la medición electrónica de diversas magnitudes mecánicas, como pueden ser: presión, carga, torque, deformación, posición, etc. Se entiende por strain o esfuerzo, a la cantidad de deformación de un cuerpo debida a la fuerza aplicada sobre él. Si se lo pone en términos matemáticos, strain (ϵ) se define como la fracción de cambio en longitud. El parámetro strain puede ser positivo (tensión) o negativo (compresión); este valor es adimensional [4]. En la práctica, la magnitud de medida de una galga es muy pequeña por lo que usualmente se expresa como microstrain o microdeformaciones ($1\mu\epsilon = 10^{-6}$ m/m, es decir una deformación de una micra respecto a un metro) [5].

Las galgas se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones a nivel industrial, de investigación en ingeniería y en todos los campos donde se requieran mediciones precisas de fuerza. Esas mediciones pueden ser de tres tipos:

- **Estáticas:** las referidas a soportes y estructuras resistentes sometidas a cargas fijas.
- **Mixtas:** cuando se realizan sobre soportes y estructuras sometidas a la acción de cargas de variación rápida.
- **Dinámicas:** realizadas sobre acciones de variación rápida: fenómenos de vibración, impacto, etc.

1.4. Tipos de galgas extensométricas.

Galgas metálicas:

Las galgas metálicas se constituyen por una base muy delgada y fina, a la cual se le adhiere un hilo muy fino metálico, puede ser bobinado o plegable, al final los 2 terminales en los que acaba el hilo se unen a los transductores. Estas galgas tienen como ventaja un bajo coeficiente de temperatura, ya que se compensa la disminución de la movilidad de los electrones al aumentar la temperatura con el aumento de su concentración. En las galgas metálicas la corriente máxima es de unos 25 mA si el soporte es buen conductor de calor, y 5mA en el caso contrario; de todas formas en las galgas metálicas hay una gran limitación en la corriente. Las principales características de las galgas metálicas en condiciones habituales establecen que su tamaño tiene una variación entre 0.4mm y 150mm, tienen una resistencia variable entre 120 Ω y 5000 Ω y su tolerancia a la resistencia está en el rango de 0.1% y 0.2%. La resistencia eléctrica de la galga metálica está dada por la relación entre la resistividad y la longitud respecto al área transversal [6].

Estas pueden ser de:

- **Hilo metálico:** Están adheridas a una base con medidas constantes, estas presentan errores cuando existen estados tensionales y son las más sencillas. Están compuestas por una película de protección, un soporte, un hilo de medida y los terminales de conexión.
- **Película metálica:** Esta clase de galgas tiene una característica de fabricación similar a los circuitos impresos que tienen bases flexibles. Se desarrollan por la creación de placas utilizando fotografías, llamado el método de fotograbado.
- **Metal depositado:** Son aplicadas directamente sobre la superficie mediante dos métodos la evaporización o el bombardeo químico.

Galgas semiconductoras:

En las galgas semiconductoras hay un elemento semiconductor en vez del hilo metálico, su gran diferencia respecto a las demás galgas, es su tamaño, ya que su tamaño es más reducido. La potencia máxima disipable en galgas semiconductoras es de unos 250 mW. Las galgas semiconductoras son capaces de soportar una alta resistencia su fatiga de vida es más larga y tiene menor histéresis, que es la capacidad de que el material conserve sus propiedades bajo diferentes estímulos. Existen ciertos aspectos característicos bajo condiciones normales de las galgas semiconductoras, su tamaño varía entre los 1 mm y 5 mm, su resistencia está aproximadamente entre un rango de 1000 Ω a 5000 Ω y su tolerancia a la resistencia está entre 1% y 2% [6].

1.5. Principio de funcionamiento de las galgas extensométricas.

Su principio de funcionamiento se basa en el efecto piezorresistivo de metales y semiconductores, según el cual, su resistividad varía en función de la deformación a la que están sometidos, el material de que está hecho y el diseño adoptado.

Si se considera un hilo metálico de longitud l , sección transversal A y resistividad ρ , su resistencia eléctrica R es:

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

Si se le somete a un esfuerzo en dirección longitudinal, cada una de las tres magnitudes que intervienen en el valor de R cambia, por tanto el cambio de R se puede expresar como:

$$\Delta R = \frac{A(\rho \Delta l + l \Delta \rho) - \rho l \Delta A}{A^2} \quad (2)$$

El cambio de longitud que resulta de aplicar una fuerza F a una pieza unidimensional (siempre y cuando no se supere su límite elástico, Figura 1), está dado por la ley de Hooke.

$$\sigma = \frac{F}{A} = E \varepsilon = E \frac{\Delta l}{l} \quad (3)$$

Donde E es el módulo de elasticidad del material, denominado módulo de Young, σ es el esfuerzo uniaxial y ε es la deformación unitaria.

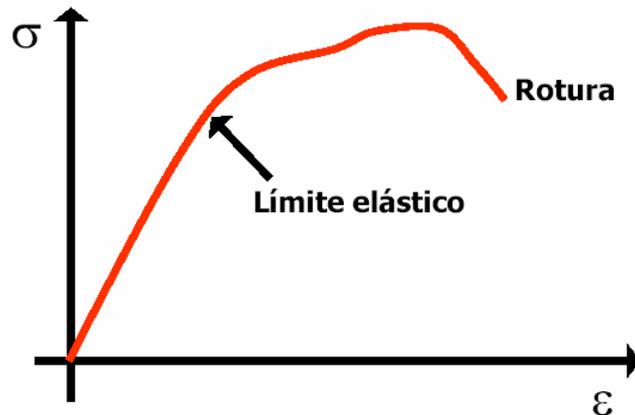


Figura 1.7. Relación entre esfuerzos y deformaciones.

Cuando el hilo se estira en dirección axial, el área de la sección transversal disminuye, ya que la masa total debe conservarse. La razón de la deformación lateral a la deformación axial también es una propiedad del material, esta propiedad se llama razón de Poisson y se define como:

$$\mu = -\frac{\Delta D / D}{\Delta l / l} \quad (4)$$

Donde **D** es el diámetro del hilo y μ es denominado coeficiente de Poisson. Su valor está entre 0 y 0.5, en términos de la razón de Poisson tendremos:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} [1 + 2\mu] + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (5)$$

Los cambios en la resistencia se originan por la modificación de la geometría en la longitud o el área y el cambio en la resistividad. La dependencia de la resistividad en deformación mecánica se expresa en términos del coeficiente de piezoresistencia (π_1) definido por la siguiente expresión:

$$\pi_1 = \frac{1}{E} \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l} \quad (6)$$

Por lo tanto el cambio en la resistencia es:

$$\frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = 1 + 2\mu + \pi_1 E \quad (7)$$

Si un alambre recto se estira elásticamente, la longitud aumentará y la sección transversal se reducirá por el efecto de Poisson. Entonces se observa que ambos efectos son aditivos y causan que la resistencia aumente, permaneciendo la resistividad constante. Por lo tanto sirve para expresar el cambio de resistencia de un conductor en relación con el cambio de longitud que lo causa, el término “sensibilidad de elongación” que se puede expresar como:

$$S_A = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon} \quad (8)$$

La sensibilidad de elongación de un conductor metálico depende en gran parte de las características de la aleación en particular: trabajo en frío, nivel de impurezas en la aleación y el rango de deformaciones sobre el cual se mide [7].

Tabla1: Sensibilidad a la deformación S_A de aleaciones comunes utilizadas en galgas extensométricas.

Material	Composición %	S_A
Advance o Constantan	45 Ni, 55 Cu	2.1
Nichrome	80 Ni, 20Cr	2.2
Isoelastic	36 Ni, 8 Cr, 0.5 Mo, 55.5 Fe	3.6
Karma	74 Ni, 20 Cr, 3 Al, 3 Fe	2.0
Armour D	70 Fe, 20 Cr, 10 Al	2.0
Alloy 479	92 Pt, 8 W	4.1

Dado que la relación de Poisson es aproximadamente 0.3 para la mayoría de las aleaciones usadas como conductores para galgas, la sensibilidad de elongación será de 1.6 cuando sólo se considera el aspecto de cambios dimensionales del conductor. Esto significa que un incremento elástico de 0.1% de longitud producirá un incremento de 0.16% de resistencia. La definición de Sensibilidad de elongación en una galga extensométrica se denomina *factor de galga* (S_g), y es proporcionado por el fabricante [8].

Tabla 2: Factor de S_g , Sensibilidad axial S_a , Sensibilidad transversal S_t , Factor de sensibilidad transversal K_t para diferentes tipos de galgas.

Tipo de galga	S_g	S_a	S_t	K_t
EA-06-015CK-120	2.13	2.14	0.0385	1.8
EA-06-030TU-120	2.02	2.03	0.0244	1.2
WK-06-030TU-350	1.98	1.98	0.0040	0.2
WK-06-062DY-350	1.96	1.96	0.0098	-0.5
EA-06-500AF-120	2.09	2.09	0.0	0.0

1.6. Circuito de medida de las galgas.

La medición de galgas extensométricas es un caso especial de medición de la variación que tienen en su resistencia. Se requiere utilizar un puente resistivo para poder medir los pequeños cambios en su resistencia; para ello se utiliza el puente de Wheatstone, inventado por el físico inglés Charles Wheatstone en 1843 [9].

1.7. Selección y compromiso de selección de la galga extensométrica.

Lo primero que debemos hacer, dependiendo del tipo de trabajo o tarea específica que se vaya a realizar, es seleccionar el tipo de galga para obtener unos resultados apropiados, esto aparentemente puede resultar bastante simple, pero no se debe dejar a un lado que de una selección racional, analizando las características y los parámetros específicos de las Galgas Extensométricas, dependen ciertos elementos como pueden ser:

- La optimización del rendimiento de la galga extensométrica en condiciones específicas, en cuanto a lo que tiene que ver con la operación y el medio ambiente en el que se realiza dicho ensayo.
- La obtención de unos resultados confiables y precisos de los esfuerzos.
- La facilidad de instalación de la galga.
- Minimizar al máximo los costos de instalación de las galgas extensométricas.

Muchos otros factores como los que tienen que ver con la duración en el tiempo, el rango de esfuerzos en el que se esté trabajando y las temperaturas de operación,

deben ser también considerados, para que de esta manera se pueda elegir la mejor combinación de galga extensométrica-adhesivo correspondiente [10].

Debemos tener en cuenta que el proceso de selección de la galga extensométrica, generalmente trae consigo una serie de compromisos. Esto se debe, a que cuando se selecciona una galga con determinados parámetros con el objetivo de satisfacer algún requerimiento en particular, se pueden estar descuidando otros parámetros fundamentales que pueden influir negativamente en dicha selección. Por ejemplo, cuando se va a trabajar en espacios sumamente reducidos, donde la instalación y utilización de la galga se dificulta y el gradiente de esfuerzos es elevado, la utilización de una de las galgas más cortas puede ser la opción ideal para este tipo de trabajo, sin embargo se debe tener en cuenta que las galgas más pequeñas (de 3 mm), están generalmente caracterizadas por tener una elongación máxima pequeña y la vida útil de la galga se ve notablemente reducida cuando esta se somete a condiciones de fatiga. Por estas razones es necesario llegar a un compromiso que ayude a satisfacer cualquier conjunto de circunstancias que se puedan presentar y juzgar este compromiso en la validez y la precisión de los datos obtenidos [10].

1.8. Limitaciones de las galgas extensométricas [11].

- El esfuerzo aplicado no debe llevar a la galga fuera del margen elástico o también llamado esfuerzo de fluencia.
- La deformación de la galga.
- El incremento en la galga debe ser en la misma dirección al del soporte para evitar tensiones opuestas en lo que alineación de la galga se refiere, ya que mide en una sola dirección.
- La galga solo proporciona los datos para las direcciones a las que la galga ha sido diseñada. Si se quiere medir en direcciones perpendiculares se puede poner otra galga igual a 90° de la inicial, por lo tanto, una sola galga puede medir solamente una dirección.

1.9. Ventajas de las galgas extensométricas [11].

- Pequeño tamaño
- Pueden ser alimentadas con corriente continua o corriente alterna.
- Tienen una excelente respuesta en frecuencia.
- Son simples y adecuadas en medidas estáticas y dinámicas.
- Compensación de temperatura relativamente fácil, al instalar dos galgas idénticas en brazos adyacentes elimina los efectos de temperatura en la galga medidora ya que al tener dos galgas, si se mide la diferencia de resistencia entre ambas, se descarta el efecto de la temperatura.
- No son influidas por los campos magnéticos.

1.10. Desventajas de las galgas extensométricas [11].

- La señal de salida es débil.
- Pequeño movimiento de la galga.
- Son afectadas por muchos factores de variación en condiciones ambientales.
- La galga es ultra sensible a las vibraciones.
- Con el tiempo la galga puede perder adhesión al espécimen de prueba.
- Para umbrales pequeños la técnica de construcción es cara.
- Se ven afectadas por el cambio de temperatura.
- Son afectadas por la presencia de ruido térmico que establece un mínimo para la variación de resistencia detectable.
- Son poco estables.

1.11. Aplicaciones de las galgas extensométricas.

Las aplicaciones de las galgas extensométricas resistivas son casi innumerables, pero su aplicación directa se puede concretar a aquellas situaciones que requieren la medida de esfuerzos y deformaciones en estructuras tales como aviones, vagones de tren, puentes, grúas, hormigón armado, automóviles, edificios, etc. Normalmente hay que estudiar un gran número de puntos y con frecuencia es un factor importante la facilidad de montaje y conexión. Este tipo de aplicaciones de las galgas extensométricas surge, en general, en estudios de investigación o de desarrollo.

También se utilizan con profusión en sensores para la monitorización, y en sistemas de control, donde constituyen la parte activa de un transductor [12].

Conclusiones parciales

- La medición de tensiones en estructuras y componentes de máquinas bajo condiciones de explotación es de gran importancia para el diseño y verificación de la resistencia de estos elementos. La importancia de esta medición de tensiones radica fundamentalmente en que en muchos casos prácticos no es posible estimar las mismas con la aplicación de los métodos de Resistencia de Materiales.
- Dentro de los métodos para la medición experimental de tensiones uno de los más utilizados es el de extensometría eléctrica. Este método se basa fundamentalmente en la propiedad que tienen los conductores eléctricos de variar su resistencia al cambiar sus dimensiones (longitud, diámetro o ambas dimensiones).
- Existen diferentes clasificaciones de las galgas extensométricas, siendo la clasificación más común la que las divide en galgas metálicas y galgas semiconductoras, que tiene fundamentalmente en cuenta el tipo de material del cual son construidas.
- Para la medición de tensiones empleando galgas extensométricas es necesario la utilización del puente de Wheatstone. El montaje del mismo puede ser utilizando el puente completo (cuatro galgas), medio puente (dos galgas) o cuarto de puente (una galga).

Capítulo 2: Manual de usuario del puente extensométrico

2.1. Características y Propósitos

El amplificador de tensiones modelo YE3817 es un acondicionador de señales digital multicanal. En combinación con los *strain gauge* u otra resistencia que actúe como sensor equivalente de tensiones, el amplificador puede medir presión, torsión, desplazamiento, velocidad, aceleración y otras magnitudes físicas. También puede usarse como un amplificador de voltaje DC para medir voltaje de AC y DC al nivel de milivolt. En las tales circunstancias puede equiparse con una variedad de sensores y conversores de salida de voltaje.

El amplificador de tensiones modelo YE3817 viene con la siguiente configuración:

- Selector de voltaje DC multi-pasos.
- Ganancia continua multi-etapas.
- Filtro de bajo-paso multi-etapas (según la frecuencia)
- Cable de entrada largo con compensación automática del puente de voltaje para asegurar la transmisión a larga distancia.
- Auto balance por dobles convertidores D/A de 12 bits.
- Muestra la válvula de salida de PK+,PK-,AC(rms) por 4½ digitales LEDs.
- Sistema antibloqueo fuerte, actuación estable y funcionamiento simple.

2.2. Parámetros Técnicos

Número de canales de mediciones:	4, 6, 8 canales seleccionables (YE1940C: Unidad común de despliegue)
Puente Aplicable	De 60 a 1000; factor de calibración: 2.0 estable
Rango de Frecuencia de Respuesta	DC- 10 kHz (desviación ± 10 %)
Ruido	≤ 3μ VRMS (Referencia para entrar, conectarse a tierra)
Características de entrada	Modo de entrada: diferentes entradas Rango de entrada: 0 para ± 100000 με (2VDC voltaje del puente) 0 para ± 200000 με (1VDC voltaje del puente) Evaluación del voltaje de entrada: 0 para ± 100mV Voltaje máx. permisible de entrada: ±15V Impedancia de entrada: > 100MΩ Enchufe de entrada: Conector de 7 pins
Características de salida	Voltaje de salida: ≤ ±10V (DC o AC valor pico) Corriente de salida: ≤5mA Max.

Características comunes	CMRR: ≥ 100 dB (50 Hz para DC)
Estabilidad	Cero: $\pm 1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$; $\pm 0.1\%$ F.S/2h(corto circuito, medir después de la media hora) Sensibilidad: $\pm 0.01\%$ F.S/ ; $\pm 0.1\%$ F.S/2h
Display	4 ½ digital LEDs, indicación del voltaje de salida del canal seleccionado DC, AC, pK+, Pk- modo seleccionable por el interruptor Error: 1mV
Voltaje del Puente	1V, 2V, 3V, 6V, 10V o 12V seleccionable por el interruptor Exactitud: $\pm 0.3\%$ Corriente de salida: 30mA Max
Rango de Ajuste de Balance	Autobalance: ± 5000 Balance manual: $\pm 100 \mu\epsilon$ (Muy Bien) Resistencia: dentro de $\pm 1\%$
Beneficios (Sensibilidad)	8 pasos de OFF, 100,200,500,1000,2000 con buenos resultados de control (VERN): 1 para 2.5; Exactitud: $\pm 0.3\%$ Poca linealidad: $\pm 0.05\%$ Distorsión: $\pm 1\%$
Calibración	1000 $\mu\epsilon$ (normal) 200 $\mu\epsilon$ (aumenta por encima de 500, puente de voltaje por encima de 6V) Exactitud: $\pm 0.5\%$
Filtro Pasa Bajos	Modo: La segunda orden tipo Butterworth Recorte frecuencia: 8 pasos de 10Hz.100Hz.1KHz.WB (10kHz) Relación de amplitud en el punto de corte: $-3 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$ La atenuación: $-12 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB} / \text{Oct}$
Temperatura	Temperatura de trabajo: 0°C a 40°C Temperatura de almacenamiento: -55°C a $+85^\circ\text{C}$
Humedad	20% a 95%RH
Requerimiento de energía	AC220V $\pm 10\%$; 50Hz; 0.5A; AC110V $\pm 10\%$; 60Hz; 1A
Dimensiones	Caja de 4 canales: 132.5mm (W) \times 132.5mm (H) \times 320mm (D) Caja de 6 canales: 284.5mm (W) \times 132.5mm (H) \times 320mm (D) Caja de 8 canales: 355.5mm (W) \times 132.5mm (H) \times 320mm (D)
Peso	Alrededor de 5 Kg

2.3. Principios de operación

Un diagrama de bloque y el principio de operación es mostrado en la Fig. 3-1

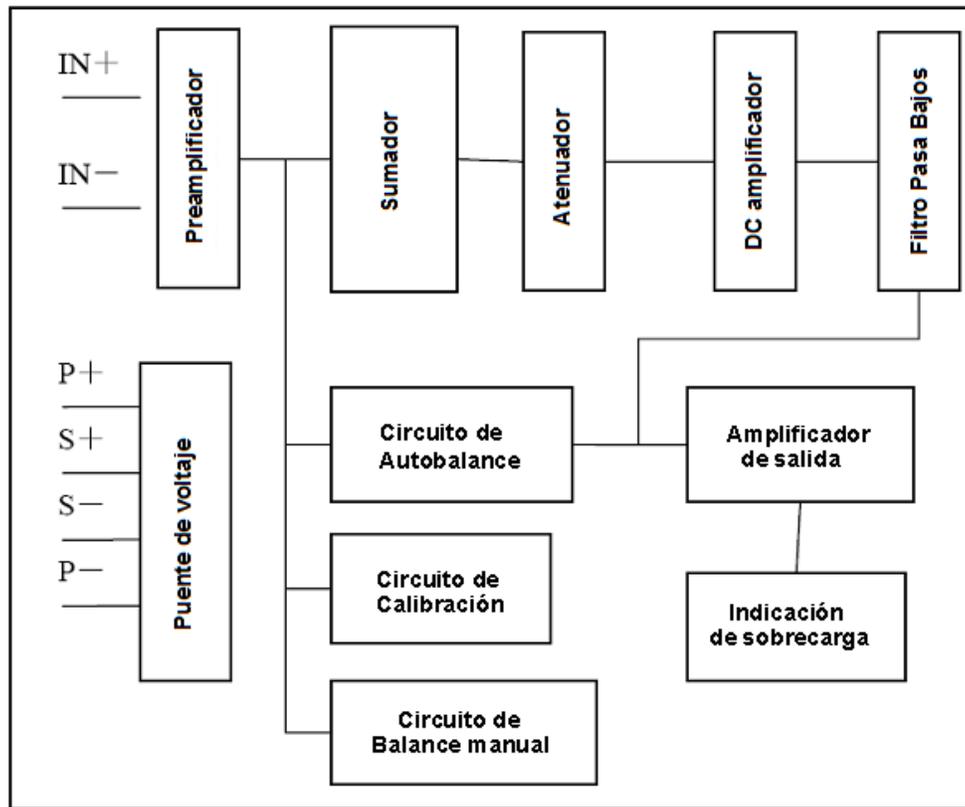


Fig. 3-1

El principio de operación de cada unidad es como se indica:

1- Pre-amplificador

El preamplificador es un amplificador de alto rendimiento. Puede amplificar la menor señal de deformación hasta un nivel apropiado para asegurar la exactitud y fiabilidad de procesos subsecuentes.

2- Sumador

Cuando el circuito puente está desbalanceado, el circuito de auto balance envía un voltaje contrario de compensación al sumador para asegurar que la salida del amplificador sea cercana a cero.

3- Atenuador y amplificador medio

El atenuador, una parte esencial para la medida de tensión dinámica, se usa para cambiar el rango de la medición y asegura el amplificador para operar en el rango lineal.

El amplificador medio amplificará de nuevo para elevar la Señal de la Proporción del Ruido (SNR)

4- Filtro de bajo-paso

El equipo proporciona un filtro 2-polo tipo Butterworth con selector de frecuencia. Puede atenuarse la alta frecuencia innecesaria eficazmente y puede mejorar SNR.

5- Amplificador de salida e indicación de sobrecarga

El dispositivo es fijo con un amplificador de salida de primera-calidad, y tiene las medidas preventivas para restringir la salida. El amplificador de salida se diseña para manejar el instrumento subsiguiente. Tiene la corriente de salida que limita la función. Cuando la salida del amplificador excede el límite de la válvula, se encenderá el LED de sobrecarga para indicar un ajuste conveniente de la ganancia.

6- El circuito de auto balance, el balance manual (Fine) y la calibración

El circuito de auto balance está compuesto por el comparador de cero predeterminado, un contador, convertidor D/A etc. Después de presionar el botón "Auto", el circuito de auto balance brinda un voltaje DC conveniente para ajustar la salida al punto cero.

"Fine" (ajuste Manual del equilibrio) se usa para lograr el equilibrado fino después de que el auto equilibrio fue ejecutado.

YE3817 proporciona 200 $\mu\epsilon$ y 1000 $\mu\epsilon$ valores de calibración. La calibración es independiente de la medición así se puede calibrar proceso de medición.

7- Puentes de voltaje

La alta precisión y estabilidad de la fuente del puente de voltaje son muy importantes en la medición de la deformación. Para la medición a larga distancia, la resistencia de alambre largo afectará los resultados del ensayo. Así que YE3817 proporciona una alta precisión y estabilidad de la fuente del puente de voltaje. Y usando el modo de medición con seis alambres, con compensación automática de la longitud del alambre no afectaría los resultados del ensayo.

2.4. Instrucciones

2.4.1. Amplificador de deformaciones YE3817

Introducción

El panel delantero de YE3817 es mostrado como sigue (Fig.4-1):

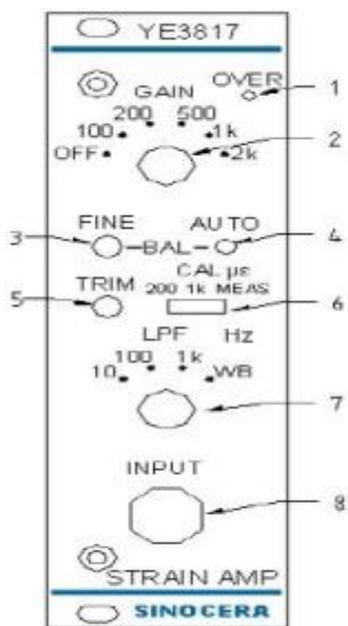


fig.4-1

1 — El indicador de sobrecarga

Cuando el amplificador de salida de AC o DC alcanza valores máximos de $\pm 10V$, las luces de la lámparas indican que el valor de entrada es superior u otros problemas. Como el valor de entrada es superior, o el circuito del puente está abierto o en corte. Usted debe comprobar que sucedió.

2—El selector GAIN

El amplificador provee seis rangos en total. Ellos son: OFF, 100, 200, 500, 1k, 2k.

El menor valor convierte un rango determinado, el mayor aumenta la ganancia.

Si el botón está en OFF, ninguna calibración o ganancia estará disponible.

Por lo tanto, la ganancia podría ser seleccionada de acuerdo a la equivalencia de la señal de tensión que va a ser medida.

3 — Botón FINE

Ajuste exacto del punto cero. Mientras el punto cero de salida no puede ser mucho menor por el Auto balance, después de estabilizado, se ajusta con el botón FINE el potenciómetro que puede ser menor que 1mV.

4 —Botón de Autobalance

En el puente extensométrico existe una señal de desbalance resistivo de los componentes. Este desbalance de los componentes puede ser eliminado a través del balanceo para lograr una mejor calidad de la medición.

Para empezar, seleccione el Modo DC (YE1940 Indicador de voltaje), apretando el botón auto-balance, esto ajustaría automáticamente la salida para aproximadamente ponerla en cero.

Si una vez balanceado no es suficiente, repita balancear varias veces. Usted debería ajustar el potenciómetro para obtener un valor de salida lo más cercano a cero posible.

5 —Ganancia óptima

Con el selector GAIN, se puede ajustar el rango entre 1 ~ 2.5 veces. Usándose para cambiar la ganancia de 100 a 2000.

6 — Selector de calibración

Selector de calibración: 1000 $\mu\epsilon$, 200 $\mu\epsilon$, y MEAS. Las dos primeras son para modos de calibración y MEAS es para modo de medición. En este caso, cuando la calibración está apagada, la salida será el valor de medición.

7 —Selector del filtro pasa- bajos.

Cuatro valores de frecuencias están previstos, estos son 10Hz, 100Hz, 1 kHz, y WB.

WB significa 10 kHz. En el punto del valor de frecuencia seleccionada, la amplitud es reducida aproximadamente el 70 %.

8 —Señal del enchufe de entrada.

2.4.2. Introducción del Indicador de Voltaje YE1940

La función principal de YE1940 es exhibir la señal de voltaje de salida de cada canal.

El panel se muestra en la Fig. 4-2

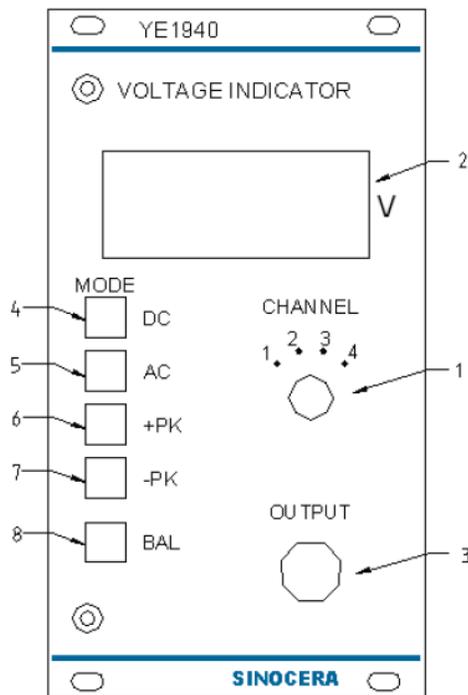


Fig 4-2

1 —Selector de canal

Usado para escoger uno de los canales de YE3817. Se ajusta de izquierda a derecha, la serie numérica de entrada al YE3817 es 1, 2, 3, 4 respectivamente.

2 —Pantalla

Muestra los valores del voltaje de salida.

3 — Enchufe de salida

La señal de salida se corresponde con el canal que es seleccionado.

4.5.6.7 — Numeración del selector de modo.

4 — Modo “DC”

Al presionar este botón, mostrará el paso de del voltaje de salida de corriente directa.

5 — Modo “AC”

Presione este selector, se muestra el componente de cambio (el valor efectivo) del voltaje de salida del paso X.

6 — Modo “+PK “

Si el patrón se bloque al utilizar "AC", presione este selector, mostrando ahora el valor máximo rectificado y el intercambio de sus componentes.

7 — Modo “-PK”

Si el patrón se bloquea al utilizar "AC", presione este interruptor, mostrando ahora el pico negativo y el intercambio de sus componentes.

Demuestre el pico negativo intercambiando componente ahora.

8 —BAL (Botón de balance total)

Presione este botón, todo los canales del YE3817 serán balanceados de inmediato, no el balance de la señal de cada canal.

2.4.3. Panel Trasero del YE3817

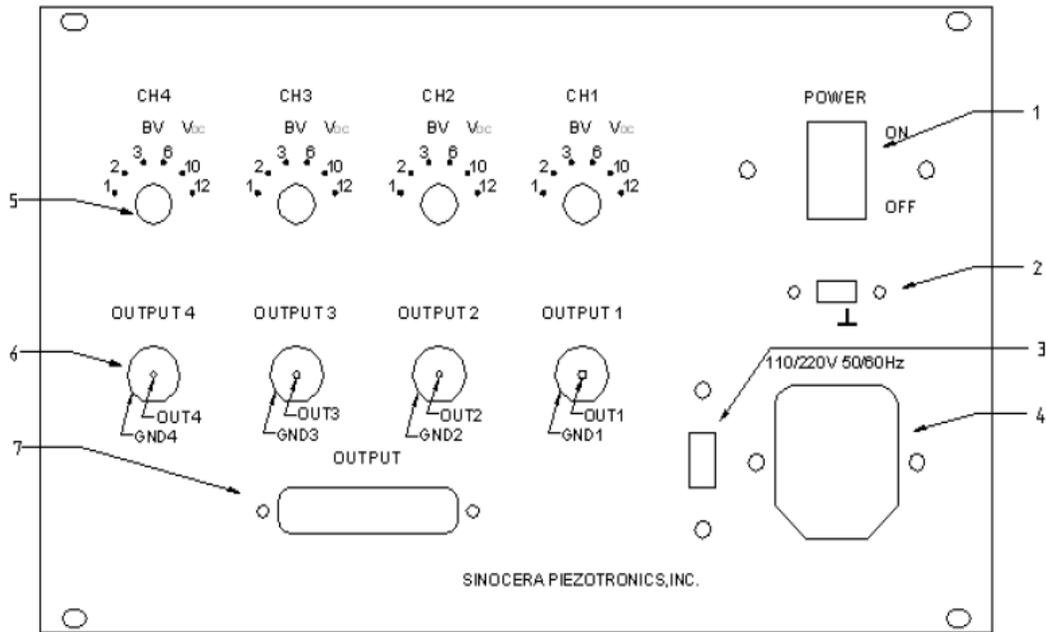


Fig 4-3

1 — Interruptor de energía

2 — Interruptor de tierra

Interruptor para la izquierda, la máquina está en suspensión. Para la derecha, está conectada a tierra.

3 — Interruptor de AC ~ 220V / AC ~ 110V

4 — Enchufe de corriente

5 — Interruptor de selección del puente de voltaje

Cambiar a 1 V, 2 V, 3 V, 6 V, 10 V, y 12 V para el puente de voltaje

6 — Canal de salida de interfaz de señal

Interfaz BNC 9

7 — Interfaz DB-25

DB-25 Ver definición de Pins Fig. 4-4:

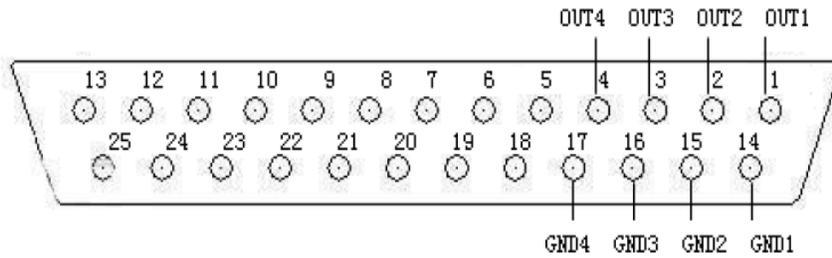


Fig. 4-4

Entonces, OUT 1-4, GND 1-4 corresponde con OUT 1-4, GND 1-4 en Fig. 4-3

2.4.4. Introducción a el Puente Extensométrico YE29003A

La estructura interna del puente extensométrico se muestra en la Fig. 4-5

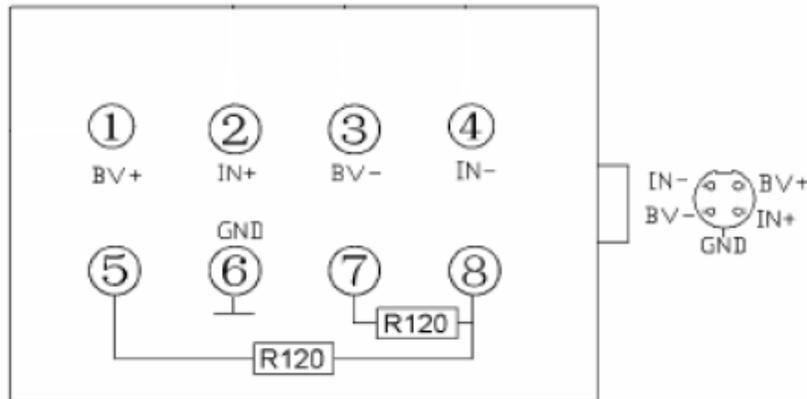


Fig. 4-5

R120: La resistencia de precisión es colocada en el interior,

La conexión entre el puente extensométrico y el *strain gauge* se muestra en la Fig. 4-6

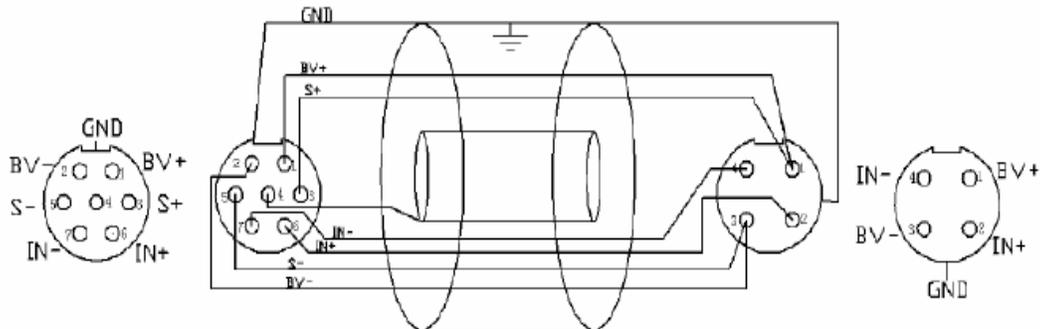


Fig. 4-6

2.5. Cómo se usa

2.5.1. Conexión de entrada

1) Conexión del *strain gauge* o del sensor de tensión del puente completo con el método de 4 calibradores, la conexión entre los calibradores en funciones y el puente extensométrico se muestran en la Fig. 5-1:

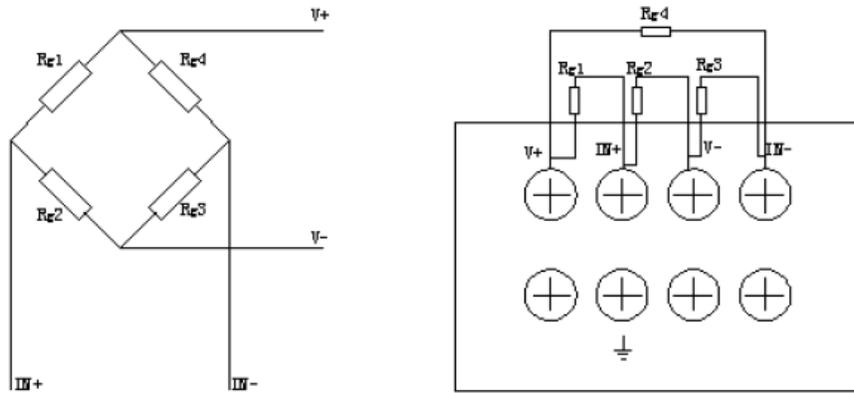


Fig. 5-1

Al conectarse a los sensores de tensión, se enlaza el sensor de energía $V+$ con el terminal del puente extensométrico $V+$, la energía GND con el terminal $V-$ del puente extensométrico, el polo positivo de la señal de salida con el puente extensométrico $IN+$ y el polo negativo de la señal de salida con el puente extensométrico $IN-$, ver en la Fig. 5-2:

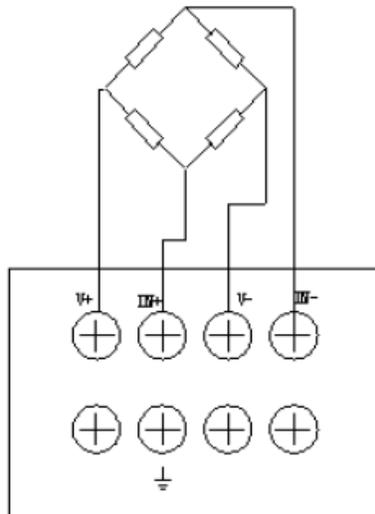


Fig. 5-2

Método de 4 calibradores, la relación correspondiente entre la tensión de entrada y el voltaje del amplificador de salida es:

$$\varepsilon = \frac{U_0}{E_g K K_F}$$

Dónde:

E_g- Voltaje del puente (V)

U₀- Voltaje de salida del amplificador

K_f- Ganancia óptima

K- Coeficiente de sensibilidad del *Strain Gage*

ε- Tensión de entrada (με)

El método de 4 calibradores es aplicable en las siguientes situaciones:

1. Para medir solamente tensiones de tracción y compresión.
2. Por la cancelación de tensión flectora, esta tiene la función de compensar la temperatura.
3. Para medir solamente tensiones flectoras,
Por la cancelación tensiones de tracción y compresión, esta tiene la función de compensar la temperatura.
4. Para medir tensiones de torsión.
Por la cancelación de las tensiones de tracción, compresión y flexión, esta tiene la función de compensar la temperatura.

2) Método de 2 calibradores, uno es el calibrador en funcionamiento y el otro es el calibrador de compensación

Aplicable para simples mediciones de tensiones de tracción, compresión y flexión, con compensación de temperatura. La conexión de este circuito y el puente extensométrico se muestra en la Fig. 5.3

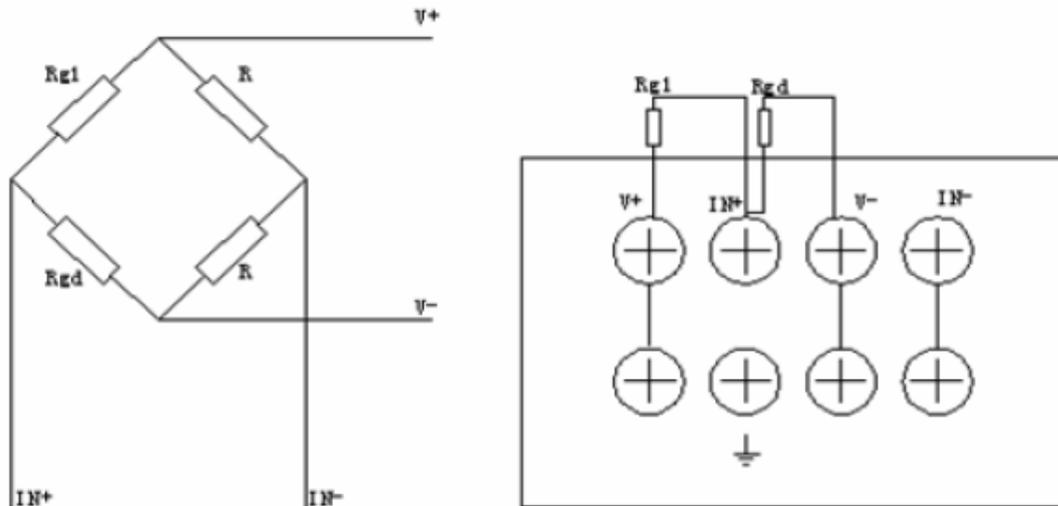


Fig.5-3

Donde, R quiere decir resistencia medida, Rg1 quiere decir resistencia de *strain gauge*, y Rgd quiere decir resistencia del calibrador de compensación.

La relación correspondiente entre la tensión de entrada y el voltaje del amplificador de salida es:

$$\varepsilon = \frac{4U_0}{E_g K K_F}$$

Dónde:

Eg- Voltaje del puente

Uo- Voltaje de salida del amplificador

Kf- Ganancia óptima

K- Coeficiente de sensibilidad de *Strain gauge*

ε - Tensión de entrada ($\mu\varepsilon$)

3) Método de 2 calibradores, ambos calibradores funcionando.

Aplicable para medir solamente simples tensiones de tracción, compresión y flexión, con compensación de temperatura.

La conexión de este circuito y el puente extensométrico se muestra en la Fig. 5-4

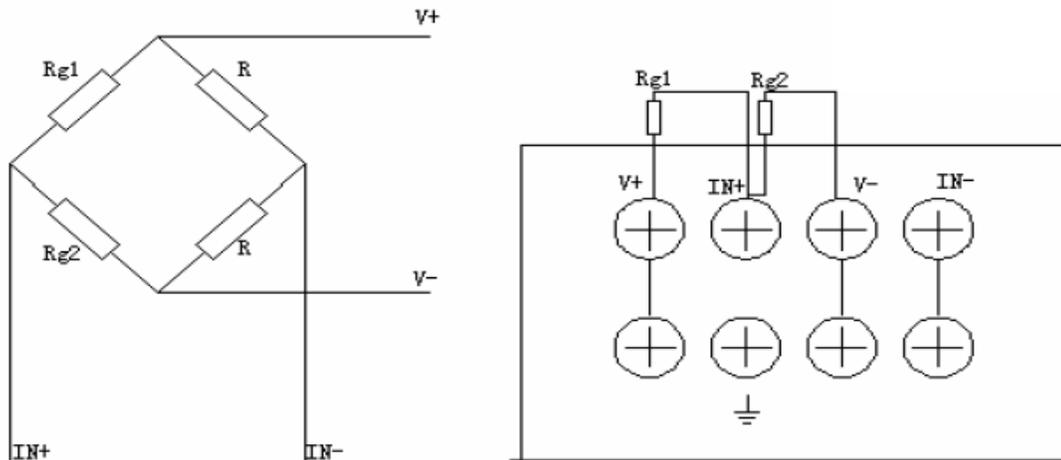


Fig.5-4

Dónde, R quiere decir resistencia medida, Rg1 y Rg2 quiere decir resistencia de *strain gage*.

La relación correspondiente entre la tensión de entrada y el voltaje del amplificador de salida es:

$$\varepsilon = \frac{2U_0}{E_g K K_F}$$

Dónde:

Eg- Voltaje del puente

Uo- Voltaje de salida del amplificador

Kf- Ganancia óptima

K- Coeficiente de sensibilidad de *Strain gauge*

ε - Tensión de entrada ($\mu\varepsilon$)

Método de 1 calibrador, Un solo calibrador en función.

Aplicable para medir tensiones simples de compresión, torsión o tracción, también es usado con el objetivo de menores cambios de temperatura.

La conexión de este circuito y el puente extensométrico se muestra en la Fig. 5-5

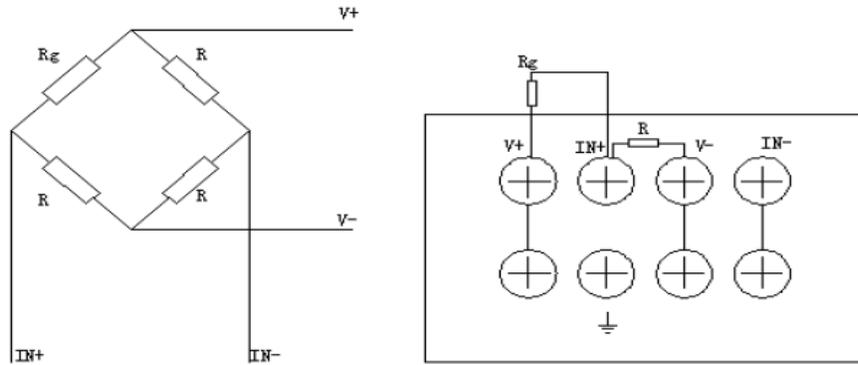


Fig.5-5

Donde, R quiere decir resistencia medida, Rg quiere decir resistencia de *strain gage*.

La relación correspondiente entre la tensión de entrada y el voltaje del amplificador de salida es:

$$\varepsilon = \frac{4U_0}{E_g K K_F}$$

Dónde:

Eg- Voltaje del puente

Uo- Voltaje de salida del amplificador

Kf- Ganancia óptima

K- Coeficiente de sensibilidad de *Strain gauge*

ε - Tensión de entrada ($\mu\varepsilon$)

5) Un calibrador, sistema de tres alambres, (1 calibrador en funcionamiento)

Aplicable para medir tensiones simples de compresión , tracción o torsión.

La resistencia del alambre del *strain gage* es provista de compensación de temperatura.

La conexión de este circuito y el puente extensométrico se muestra en la Fig. 5-6

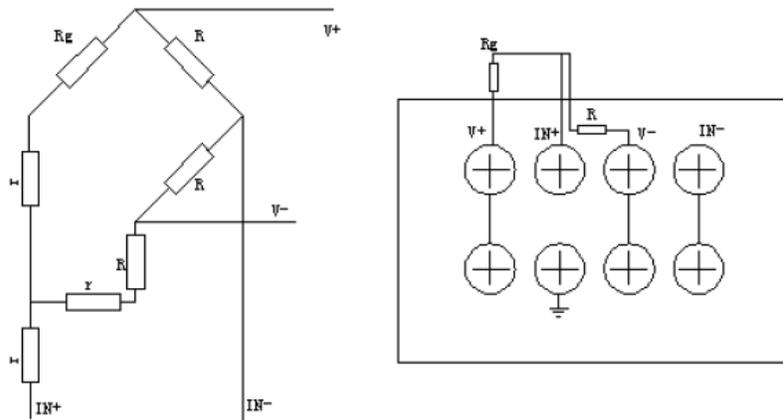


Fig.5-6

Donde, R quiere decir resistencia medida, Rg quiere decir resistencia de *strain gage* y r quiere decir la resistencia guía.

La relación correspondiente entre la tensión de entrada y el voltaje del amplificador de salida es:

$$\varepsilon = \frac{4U_0}{E_g K K_F}$$

Dónde:

Eg- Voltaje del puente

Uo- Voltaje de salida del amplificador

Kf- Ganancia óptima

K- Coeficiente de sensibilidad de *Strain gauge*

ε - Tensión de entrada ($\mu\varepsilon$)

6) Conexión de un extremo a tierra.

El amplificador puede medir voltaje en nivel millivolt (mV). Y puede estar relacionado con los convertidores del sensor de voltaje de salida. La relación del voltaje de entrada es ± 50 mV. Ya que la señal de entrada no puede completamente suspenderse, debe haber una conexión a tierra. Ver la Fig. 5-7:

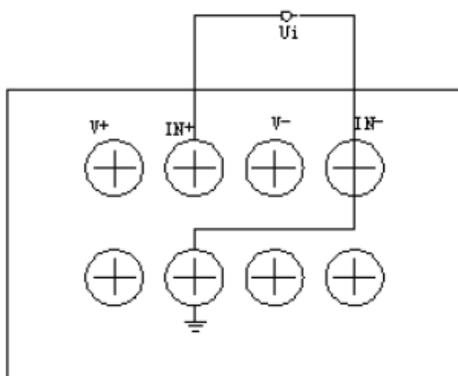


Fig.5-7

2.5.2. Conexión de salida

La relación del voltaje de salida del amplificador es $\pm 10V$. El voltaje máximo podría alcanzar hasta aproximadamente $\pm 13V$ cuando la salida está muy sobrecargada o el amplificador de salida está saturado en el proceso de ajuste del balance, especialmente en el perfil de ganancia alta. Cuando se conecta el dispositivo de registro, si el registrador tiene altos requerimientos de entrada, debería ser enfatizado el balance del amplificador antes de la conexión. La sobrecarga de salida debería ser evitada pero el instrumento con fuertes habilidades para sobrecargar la energía de entrada es algo único en su género

2.5.3. Voltaje del Puente

Después de una buena conexión de entrada y salida, el instrumento debe tener primero un precalentamiento durante 30 minutos antes de utilizarse, con el fin de asegurar una buena exactitud en el valor medido. Entonces se comienzan a definir los parámetros del instrumento. Primeramente escoja apropiadamente el voltaje del puente.

Este amplificador suministra DC interrumpible al Puente de Voltaje y niveles de salidas eléctricas a tierra simétricamente. Por 2V en el Puente de voltaje, los potenciales eléctricos de tierra son +1V y - 1V respectivamente. Ninguno de los terminales puede estar conectado a tierra, de otra manera no habrá salida en el puente de voltaje.

Para mejorar la sensibilidad, bajo las condiciones admisibles, hay que tener en cuenta, que una alta estimulación del voltaje puede hacer que la calibración del voltaje del

puede generar calor y afectar la estabilidad. El voltaje del puente incrementa en 40%, La energía del *strain gauge* incrementa a 100%.

La corriente excitada máxima que este amplificador provee al *strain gauge* es 30 mA DC, el voltaje del puente podría hallarse por la siguiente fórmula:

$$\text{Voltaje del Puente} \leq 4 \times \text{valor de resistencia del strain gauge} \times 30 \text{ mA}$$

La elección correcta es hacer una calibración de tensión al último flujo de corriente dentro de 5 a 25 mA.

2.5.4. Balance

Después de escoger un voltaje del puente adecuado, el amplificador devolverá un

Voltaje de salida desbalanceado. Cambie la ganancia a 2000 y presione el botón Autobalance, el amplificador retornará a cero aproximadamente dos segundos después. Si es necesario un balance de precisión, usted puede afinar "Fine" el potenciómetro, entonces la salida cero puede alcanzar por debajo de 1 mV

Durante la medición, si cambia el voltaje de puente, usted debe ajustar el balance de nuevo.

Mientras ajusta el balance, el transductor debe descargarse primero.

2.5.5. Ganancia

La ganancia óptima puede asegurarse midiendo una mejor señal en relación al sonido.

En general, manteniendo el amplificador de salida dentro de 1 mV a 10 mV se ajusta la ganancia.

Si la ganancia evaluada no cumple los requisitos, usted puede usar el ajuste fino (fine-tuning) de la ganancia "TRIM" para lograrlo, la ganancia correspondiente del instrumento de medición del rango de tensiones se muestra en la tabla 5-6

Ganancia	Ajuste fino	¼ puente Durante el rendimiento completo, medición máxima de valores de tensión (με)					
		1V	2V	3V	6V	10V	12V
2000	X 2.5	4000	2000	1333	666	400	333
	X 1	10000	5000	3333	1666	1000	833
1000	X 2.5	8000	4000	2666	1333	800	666
	X 1	20000	10000	6666	3333	2000	1666

500	X 2.5 X 1	16000 40000	8000 20000	5333 13333	2666 6666	1600 4000	1333 3333
200	X 2.5 X 1	40000 100000	20000 50000	13333 33333	6666 16666	4000 10000	3333 83333
100	X 2.5 X 1	80000 200000	40000 100000	26666 66666	13333 33333	8000 20000	6666 166666

2.5.6. Filtros

Modo: La segunda orden de filtro pasa bajos tipo Butterworth.

Frecuencia corta: 8 pasos de 10 Hz, 100 Hz, 1KHz, WB(10KHz);

Relación de amplitud en el punto de corte: $-3 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$;

Atenuación: $-12 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB} / \text{oct}$

2.5.7. Calibración

Cada amplificador tiene la alternativa de valores de calibración $1000\mu\epsilon$ y $200\mu\epsilon$.

En teoría, cuando la ganancia es 2000, la relación entre el valor de calibración, el voltaje del puente y el valor de tensión se muestra en la Fig. 5-7.

Puente de Voltaje Calibración	1V	2V	3V	6V	10V	12V
	200 $\mu\epsilon$	200mV	400mV	600mV	1.200V	2.000V
1000 $\mu\epsilon$	1.000V	2.000V	3.000V	---	---	---

Fig.5-7

En el proceso de uso real, por varias razones, hay ciertos errores en los valores de calibración real y teóricos.

En la calibración antes, durante o después de la prueba. El valor de la calibración es proporcional a la tensión.

Por ejemplo: la salida del amplificador es h (valor de voltaje) en condiciones de medición. Manteniéndose fija la ganancia y el Puente de voltaje, usando 1000 $\mu\epsilon$ para calibrar, la salida del amplificador es H (valor de voltaje). Así que esta tensión real es:

$$\epsilon = \frac{h}{H} \times 1000\mu\epsilon$$

A través del siguiente método se puede mejorar más allá la precisión de medición del amplificador.

Antes de la medición, debe establecerse la ganancia y el voltaje del puente, luego haga el autobalance y Fine, registren los valores de salida del amplificador (d), cambiar a la condición de prueba, registrar los valores de salida del amplificador (h). La medición de los valores reales de voltaje de salida podría ser (h-d).

Manteniendo la ganancia y el puente fijos sin cambios, usando 1000 $\mu\epsilon$ para calibrar. El valor de salida del amplificador es H, mantener esta condición, poner la ganancia en OFF, registrar el valor de salida D. La salida real del voltaje de calibración es (H - D/Ganancia)

Utilice la fórmula siguiente para calcular la tensión:

$$\epsilon = 1000\mu\epsilon \times (h - d) / (H - D / \text{Ganancia})$$

Hay dos opciones de valores de calibración 200 $\mu\epsilon$ y 1000 $\mu\epsilon$. En general, para esta condición es principalmente usado 200 $\mu\epsilon$: la ganancia es mayor que 500, y el voltaje del puente es mayor que 6V. Otra condición donde se usa principalmente 1000 $\mu\epsilon$: la ganancia es menor que 500, el voltaje del puente esta entre 1V y 3V.

2.5.8. Datos de prueba correctos

1. La corrección de diferentes formas de medición del puente.

Usando la tensión de entrada, la salida del amplificador y las fórmulas correspondientes para calcular, no se necesita corregir. Sólo corrija la sensibilidad de tensión directamente.

Usándola calibración para calcular la tensión, debe corregirse de acuerdo al método de conexión del puente.

No es necesario corregir los valores de la medición en el Modo de 1 calibrador o conectando un transductor de *strain-gage*

En el modo de 4 calibradores o de 2 calibradores, es necesario corregir los valores medidos

$$2 \text{ calibradores (Medio Puente): } \varepsilon' = \frac{\varepsilon}{2}$$

$$4 \text{ calibradores (Puente Completo): } \varepsilon' = \frac{\varepsilon}{4}$$

Dónde: ε' - El valor de medición después de la corrección

ε - El valor de medición.

2. Corrección de coeficiente de sensibilidad del *strain gage*

El valor predeterminado de coeficiente de sensibilidad del calibrador de tensión es $K = 2.00$. Si este no es igual a 2.00, el valor de medición es necesario corregirlo de la manera siguiente:

$$\varepsilon' = \frac{2.00}{Kc} \times \varepsilon$$

Dónde: ε' - El valor de medición después de la corrección

ε - El valor de medición.

Kc - Coeficiente de sensibilidad real del *strain gage*

3. Corrección del cable largo

Cuando el cable entre el *strain gage* y el puente extensométrico es relativamente largo los valores de medición necesitan ser corregidos. La resistencia establecida de este cable es r (Ω), el valor correcto es:

$$\varepsilon' = \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \varepsilon$$

Necesita sólo ser corregido $r \geq 0.05\%R$. Allí R es el valor de la resistencia del *strain gage*, ver figura 6-2:

La relación entre área de sección transversal del cable y su resistencia es de la forma siguiente:

Área de la sección transversal estandar en mm ²	$\Omega/\text{km}(20^\circ\text{C})$
0.12	162
0.20	90
0.30	68.7
0.40	47.8
0.50	41.3

Fig.6-2

2.6. Precauciones y mantenimiento

2.6.1. Mantenimiento

Varios defectos Típicos:

1. La salida desbalanceada
 - 1) Revisar si el Puente de voltaje está bien conectado al calibrador de tensión o no. Y conectar un lado del puente de voltaje a la tierra.
 - 2) Verifique si la conexión eléctrica del calibrador de tensión o el sensor de tensión al puente extensométrico está equivocada o no, y si hay buen contacto.
 - 3) Verifique si el circuito del calibrador de tensión está abierto o no.
2. Tendencia de Salida
 - 1) Si tiende ampliamente en una dirección: primero, verifique la calidad del *strain gage* . Segundo, conecte dos terminales de entrada al amplificador a tierra. Si esta tendencia todavía persiste, por favor devuelva el amplificador a la fábrica para verificarlo.
 - 2) Un alto voltaje en el puente puede causar grandes corrientes a través del *strain gage*, y el calibrador de tensión causará serias afectaciones debido a la alta temperatura. Escoger apropiadamente el voltaje del puente es necesario para reducir la afectación.

3) Evite Algún Ruido

- El aislamiento de calibrador de tensión y el poder de perturbación de frecuencia afectará el sonido del amplificador.
- Si el cable de entrada está próximo a un fuerte campo eléctrico o magnético, provocará un poco de perturbación. Así que tome los métodos apropiados para reducir la tal influencia.

Accesorios normales

El amplificador viene con los siguientes accesorios. Después de desempacar, chequee para tener la seguridad de que sean incluidos.

Cable de entrada.....	1
Cable de salida.....	1
Cable de energía AC.....	1
Fusible (0.5 A).....	2
Certificado calificado.....	1
Manual del usuario.....	1

Conclusiones parciales

- El puente extensométrico YE3817 incluye en su constitución el preamplificador, los filtros, el amplificador de salida, los circuitos de balance, el puente de voltaje y termina con un display que muestra las variaciones de voltaje producidas por la deformación del strain gage.
- El puente de voltaje YE29003A permite la conexión del puente de Wheatstone en forma completa, en medio puente y en cuarto de puente utilizando corriente directa o corriente alterna.
- El puente YE3817 tiene un funcionamiento simple y es fácil su mantenimiento. Para garantizar su correcto empleo y un período largo de explotación es necesario cumplir con las medidas de seguridad establecidas por el fabricante.

Capítulo 3. Preparación de la práctica de laboratorio

3.1. Introducción

La extensometría es uno de los métodos experimentales más utilizados para la determinación de tensiones [13]. Por tal motivo es de gran importancia que los estudiantes de Ingeniería Mecánica conozcan esta técnica y dominen los fundamentos básicos para su aplicación. En este capítulo se realiza la preparación de una práctica de laboratorio que se pretende incluir en el Plan de Estudios de la asignatura Resistencia de Materiales I. Se incluye todo el procedimiento del pegado de los “*strain gage*”, los conocimientos teóricos básicos, la técnica operatoria y las tablas y fórmulas que se utilizarán durante el desarrollo de la práctica.

3.2. Preparación de la superficie

El objetivo de la preparación del material es crear una superficie limpia, libre de imperfecciones y químicamente apropiada. Para alcanzar dichos parámetros se deben seguir al pie de la letra los siguientes procedimientos en orden:

- ✓ **Limpieza burda.** Se debe eliminar todo tipo de pintura, corrosión, oxidación o cualquier otro contaminante que pueda haber para el área de adhesión (más un área de tolerancia) de las galgas.
- ✓ **Suavizar la superficie.** Cualquier tipo de protuberancia, canales, o imperfección mecánica debe ser eliminada por un proceso de pulido, limado, cepillado o lo que sea necesario para el caso.
- ✓ **Eliminar grasas.** Este procedimiento se requiere para eliminar todo tipo de aceites, grasas, contaminantes orgánicos y residuos de productos químicos solubles. La elección del agente de limpieza depende de la naturaleza del contaminante y si la superficie puede ser deteriorada por el limpiador. Entre las opciones más comunes están el tolueno, acetona, alcohol isopropílico, desengrasante en aerosol, baños líquidos agitados ultrasónicamente, métodos desengrasantes por vapor, tricloroetileno y otras sustancias químicas más especializadas.

Para áreas grandes usar primero un polvo limpiador abrasivo como AJAX en polvo. Habiendo hecho esto, se debe enjuagar la superficie con agua de tal manera que al terminar se deje una capa continua de sólo agua sobre la superficie. Ésta se debe secar con papel o con calor. El procedimiento de limpieza consiste en empapar una gasa en el agente limpiador y lavar la superficie cubriendo inicialmente un área mayor a la deseada [14].

Notas importantes:

- El agente limpiador debe estar químicamente limpio y no debe dejar residuos.
- Nunca usar el agente limpiador directamente del recipiente donde se almacena. Una cantidad adecuada debe traspasarse a un recipiente limpio del cual se usará.
- Cada gasa usada debe ser desechada y nunca introducir una gasa usada en el recipiente con el agente limpiador.
- Porciones del agente limpiador sin usarse deben desecharse.
- El área a limpiar debe ser bien delimitada y avanzar progresivamente en esa zona hasta cubrirla completamente sin regresar a limpiar nuevamente para evitar introducir nuevas partículas sucias a la zona limpia.
- ✓ **Lijado.** La adhesión entre dos superficies depende del área de las superficies que se cubre con el adhesivo. Un buen pulido fino de las superficies aumenta la adhesión porque aumenta el área de contacto efectiva. Para lijar la superficie se debe tomar en cuenta que sea un papel de lija apropiado para el material y de un grado adecuado. Para acero se usa un grado 80 a 180 y para aluminio un grado 220 a 360. Para evitar hacer canales en el material este procedimiento debe hacerse en movimientos circulares y de preferencia usando primero un papel de lija más grueso y después uno más fino.
- ✓ **Limpieza fina.** Cualquier residuo de lija, material o polvo generado en el proceso anterior debe ser eliminado cuidadosamente. Se pueden usar los mismos métodos usados en el punto 2.3. Tome cada gasa empapada con pinzas de punta finas o 'tweezers' y pásela por la superficie una sola vez. Este

procedimiento debe ser repetido una y otra vez hasta que la gasa no muestre señas de decoloración al pasarla por la superficie. La superficie debe dejarse seca y libre de residuos de gasa. Debe cuidar no soplar o respirar cerca de la superficie y evitar tocarla.

- ✓ **Marcar la superficie.** La superficie del espécimen donde se van a aplicar las galgas debe marcarse ligeramente para poder alinear las galgas según la deformación que se desea medir. Utilícese un lápiz 4H para aluminio y un bolígrafo para acero para hacer unas ligeras marcas en la periferia del lugar de aplicación de las galgas. Tenga presente que las galgas contienen también señales de alineación.
- ✓ **Alcalinidad óptima.** Si es el caso, la superficie debe ser tratada para poner su valor de alcalinidad de 7 a 7,5 pH. Se aplica un neutralizador líquido libremente sobre la superficie limpia, se talla y seca con gaza o con palillos con punta de algodón. Tallar y secar debe hacerse siempre en una sola dirección y sin reusar el algodón o gaza.

Si los procedimientos anteriores se han seguido con atención y cuidado, la superficie está ya lista para que las galgas se adhieran. A partir de este momento las galgas deben ser adheridas tan pronto sea posible para minimizar contaminación [14].

3.3. Adhesión de las galgas

1. Posicionamiento de la galga

Tome la galga con unas pinzas finas y colóquela en una superficie químicamente limpia con la superficie de adhesión hacia abajo. Si va a usar terminales para soldar se recomienda colocarlas a 1.6 mm del límite de la galga y alineadas en el centro.

Tome un pedazo de cinta adhesiva de unos 10 ó 15 cm de largo y póngala sobre la galga y terminal de tal manera que queden centradas en la cinta. Levante la cinta cuidadosamente en un ángulo de aprox. 45° de la superficie, trayendo consigo la galga y terminal adheridas, como lo muestra la **figura 3.1**.

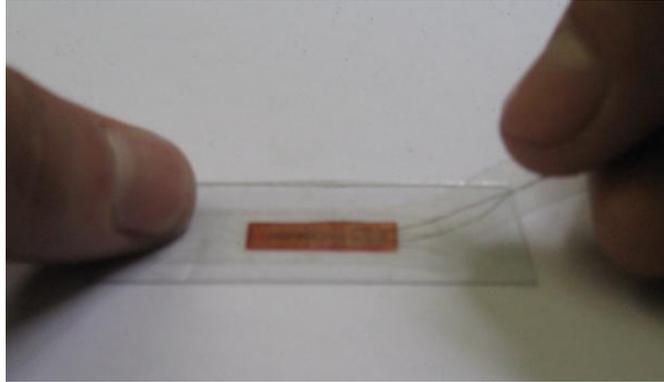


Figura 3.1. Galga y terminal adheridas a la cinta.

2. Alineación de la galga

Posicione la cinta con la galga y terminal en el espécimen de tal manera que las marcas de alineación coincidan con las marcas del espécimen y pegue firmemente un extremo de la cinta como se muestra en la **figura 3.2**. Si la alineación no coincidiera a satisfacción, levante la cinta de un extremo manteniendo un ángulo igual o menor a 45° hasta despegar la cinta completamente. Repita el procedimiento de alineación hasta quedar satisfecho. Para técnicos principiantes se recomienda usar cinta adhesiva especializada para estas aplicaciones ya que ésta no deja residuos de adhesivo cuando se despega.



Figura 3.2. Galga y terminal alineados en la probeta.

3. Preparación final

Levante la cinta con la galga en un ángulo agudo (**figura 3.3**) hasta que el terminal quede aproximadamente 1 cm libre. Doble la cinta sobre sí misma y pegue el otro

extremo sobre la superficie de la viga de tal manera que la galga y terminal queden expuestas en una superficie plana con la parte a adherirse hacia arriba (**figura 3.4**).

Nota 1: Se deben revisar las especificaciones del fabricante para saber si la galga misma requiere de limpieza en la superficie de adhesión. Si la galga ha sido contaminada entonces debe ser limpiada con algodón y un neutralizador.

Nota 2: Algunos adhesivos requieren que se le aplique a la galga un catalizador para que el adhesivo tome mejor efecto. Si este es el caso, siga los procedimientos marcados por el fabricante o consulte las guías técnicas publicadas por The Measurements Group, Inc.

Nota 3: Los siguientes tres pasos deben ser realizados en la secuencia mostrada y en un lapso de 3 a 5 segundos. Lea y memorice estos pasos antes de iniciar el procedimiento.

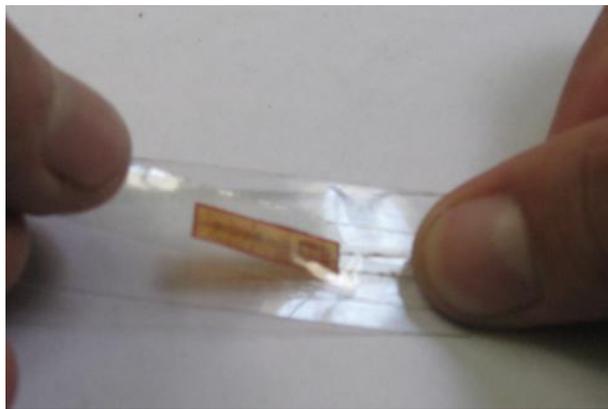


Figura 3.3. Levantar la cinta en un ángulo agudo.

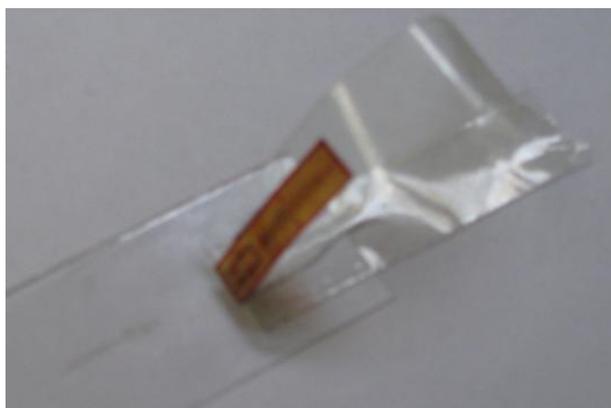


Figura 3.4. Posicionar la cinta para que la parte de debajo de la galga quede expuesta.

4. Aplicación del adhesivo

Levante la cinta del lado que ha sido doblada sobre sí misma. Tomando la cinta sin jalar ni doblar. Aplique una o dos gotas de adhesivo en la unión de la cinta con el espécimen a aproximadamente 1 cm. de la periferia de la galga con terminal (vea la **figura 3.5**). Esto permite que la polimerización instantánea del adhesivo al contacto con el espécimen no provoque imperfecciones en la homogeneidad y uniformidad de la película de adhesivo.

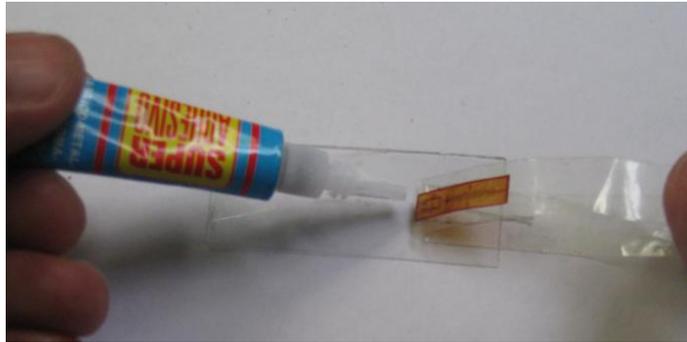


Figura 3.5. Aplicación del adhesivo.

5. Adhesión

Inmediatamente desdoble la cinta adhesiva para que esta quede aproximadamente a 30° de la superficie del espécimen con la galga y terminal haciendo un 'puente' sobre el lugar de instalación. Mientras se sostiene la cinta con una ligera tensión, aplique una presión deslizando con sus dedos y un pedazo de gasa que vaya oprimiendo la galga y terminal sobre su posición y alineación deseadas (ver la **figura 3.6**). Use una presión firme al recostar la galga sobre su posición ya que se requiere una película muy delgada y uniforme de adhesivo para resultados óptimos.

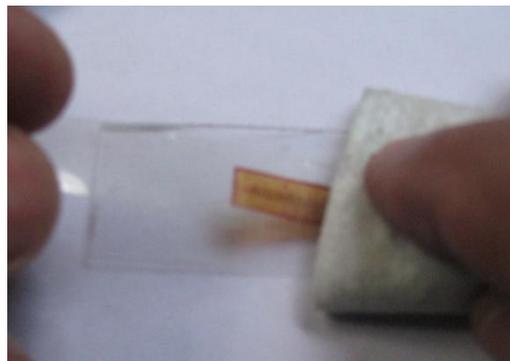


Figura 3.6. Adhesión.

6. Aplicación de presión

Inmediatamente después de la acción deslizante y ya con la galga en su posición y alineación correctas, aplique una presión firme con el dedo pulgar sobre la galga y terminal (ver **figura 3.7**). Esta presión se debe ejercer por lo menos por espacio de un minuto. En condiciones de humedad baja (menos de 30% de HR) o en temperaturas menores a 20°C la presión debe extenderse a varios minutos, dependiendo de las condiciones. Cuando se tienen galgas de tamaño grande o superficies no uniformes puede requerirse de un dispositivo mecánico para aplicar la presión, por lo que también se requiere aplicar presión por más tiempo. El calor del dedo humano ayuda a una rápida polimerización del adhesivo. Espere por lo menos dos minutos para quitar la cinta después de retirar la aplicación de presión.

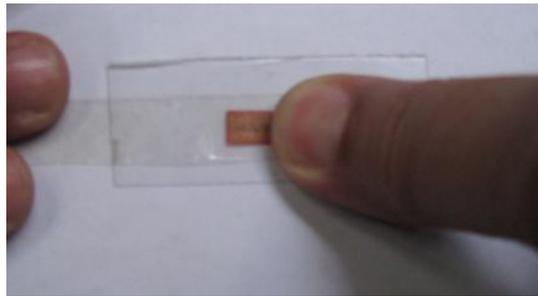


Figura 3.7. Aplicación de presión.

7. Retirar la cinta

La galga y terminal ya deben estar firmemente adheridas al espécimen. Para retirar la cinta, júlela directamente sobre sí misma de forma continua y lenta para evitar ejercer fuerzas innecesarias sobre la galga. Realmente no es necesario retirar la cinta inmediatamente después de la instalación y puede permanecer como protección mecánica hasta que se vaya a proceder a soldar.



Figura 3.8. Cómo retirar la cinta.

3.4. Procedimientos para soldar

1. Herramienta y técnica para soldar

Se debe cuidar que la punta del cautín sea de terminación plana o tipo desarmador plano (figura 3.9) y que se suelde usando la parte plana (figura 3.10). Se debe cuidar que se tenga una temperatura adecuada en el cautín y que no se haga contacto con los terminales de la galga por más de un segundo [15].

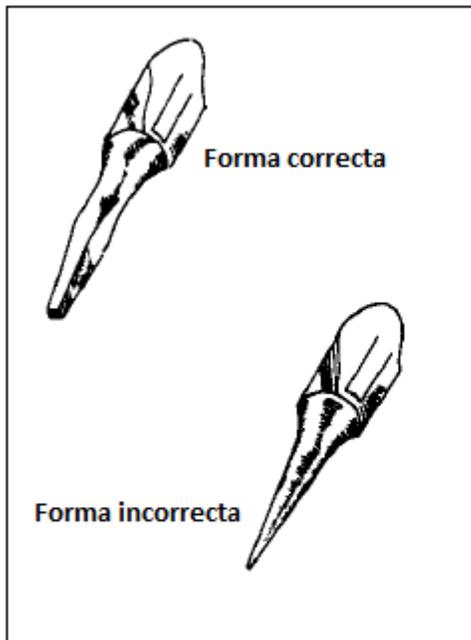


Figura 3.9. Formas correcta e incorrecta de la punta del cautín

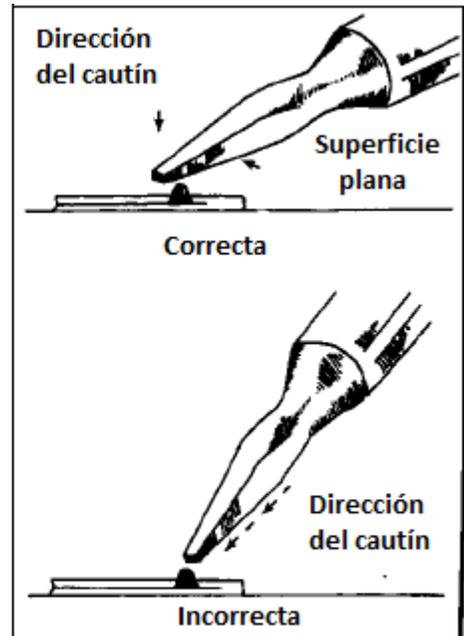


Figura 3.10. Formas correcta e incorrecta de aplicar la soldadura

2. Procedimiento para soldar

Este procedimiento debe realizarse con cuidado para evitar cualquier eventual daño a la galga. Como paso previo a soldar cables a las galgas los cables a soldar y las terminales deben ser recubiertos de soldadura para obtener una mejor transferencia de calor y una soldadura más rápida y nítida. En el caso de tener galgas extensiométricas no encapsuladas, antes de soldar se debe cubrir el área de la galga con cinta adhesiva, dejando la mitad de los terminales de la galga expuestos para soldar, como en la figura 3.11. Procure usar un cautín con temperatura controlada. Temperaturas muy altas tienden a oxidar la punta y a evaporar instantáneamente la pasta de soldar lo cual hace

la operación más difícil. Se recomienda fijar el cable a soldar con una cinta adhesiva también para tener los cables a soldar en el lugar correcto y dispone de ambas manos para soldar. Coloque el cautín a un ángulo de 30° o menor sobre la terminal de la galga y cable y al mismo tiempo alimente aproximadamente 3mm de soldadura (figuras 3.10 y 3.12). Al terminar levante simultáneamente la punta del cautín y la soldadura. La soldadura debe ser de la que contiene flujo antioxidante en su interior. El procedimiento de soldadura de cada terminal debe durar aproximadamente 1 segundo. La soldadura debe quedar como un pequeño montículo sobre el terminal (figura 3.13) y la punta del cable y debe tener un aspecto suave y brillante. Deben evitarse picos y soldaduras opaca.



Figura 3.11. Protección del área de la galga y parte superior de los terminales con cinta adhesiva.

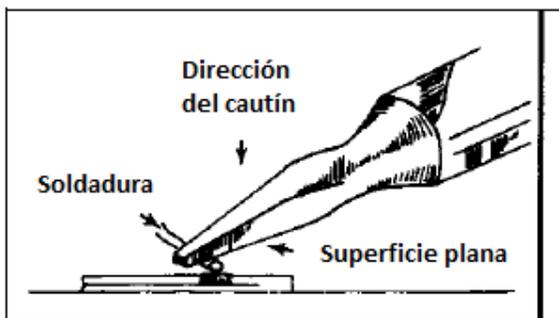


Figura 3.12. Colocación del cautín y la soldadura

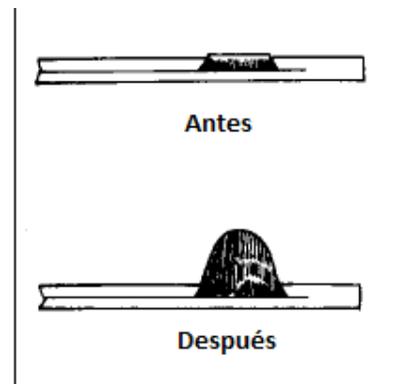


Figura 3.13. Forma correcta del montículo de soldadura

3.5. Recubrimientos de protección

1. Barniz de recubrimiento.

La instalación completa debe protegerse mediante recubrimientos especializados. El tipo y técnica de recubrimiento depende de la aplicación y el ambiente de uso del sensor. En general se requiere de al menos un barniz protector y podría llegar a requerirse una capa de silicón o cera para protección mecánica y contra la humedad.

3.6. Instalación de las galgas para el ensayo de laboratorio

3.6.1. Puente de Wheatstone

Para evaluar las variaciones de resistencia experimentadas por las galgas cuando se deforman, éstas se conectan en un circuito eléctrico y se mide la variación de la tensión eléctrica en ellas. Las resistencias de las bandas tienen valores comprendidos entre 0.001Ω y 0.72Ω , por lo que las variaciones que se producen son muy pequeñas y exigen métodos capaces de detectar incrementos de resistencia de 0.0001Ω . El circuito en *Puente de Wheatstone* que se representa en la **figura 3.14** permite medir estas diferencias de potencial y, según cuántas galgas se utilicen y dónde se conecten, amplificar la señal producida por la deformación para facilitar su lectura.

El puente de Wheatstone está formado por cuatro resistencias unidas en serie – paralelo, de las cuales una o varias de ellas son galgas eléctricas o extensómetros, mientras que las restantes son simples resistencias eléctricas que completan el diseño del puente. La **figura 3.14** muestra dos ilustraciones diferentes del puente de Wheatstone que son idénticas eléctricamente [16].

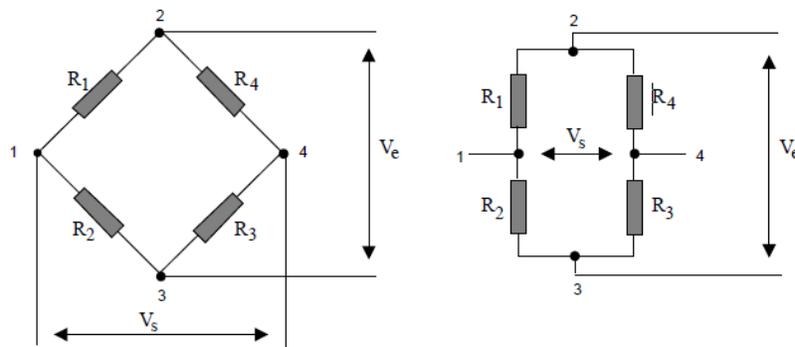


Figura 3.14. Puente de Wheatstone

Las cuatro ramas del circuito están formadas por las resistencias R_1 , R_2 , R_3 y R_4 . Los puntos 2 y 3 del puente designan las conexiones para el voltaje de excitación del puente (V_e). La señal de medida es voltaje de salida del puente (V_s), que se obtiene en los puntos 1 y 4.

La alimentación del puente se puede realizar en corriente continua ó alterna.

3.6.2. Condición de equilibrio del Puente

Se dice que el puente está equilibrado cuando no hay diferencia de potencial entre los puntos 1 y 4, es decir, $V_s = 0$. Para ello, se debe cumplir la condición:

$$(3.1) \quad R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

Partiendo de esta condición, una sollicitación de la estructura dará lugar a una deformación que afectará al extensómetro adosado a la misma. De esta deformación se derivará un cambio de resistencia eléctrica que desequilibrará el puente, haciendo variar la aguja del voltímetro de la posición inicial cero, al haberse originado una diferencia de potencial entre 1 y 4.

Ley de signos:

La expresión que define el comportamiento del puente de Wheatstone para el caso más general en el que las cuatro resistencias sean bandas extensométricas pegadas a un sólido elástico que se deforma es:

$$(3.2) \quad \frac{\Delta V_s}{V_e} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

De esta expresión se deduce que las variaciones de resistencia influyen con distinto signo sobre la tensión de salida según la rama considerada. Partiendo de una resistencia cualquiera, se cumple la regla de que las resistencias situadas en ramas adyacentes influyen en sentido contrario, mientras que la de la rama opuesta lo hace en el mismo sentido. En la **figura 3.15** se representa esta regla, llamada “regla de los signos”, muy importante a efectos prácticos, pues indica cómo tienen que estar montadas las galgas en cada caso [17].

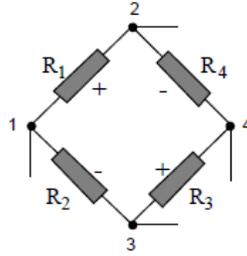


Figura 3.15. Ley de los signos

La expresión anterior también muestra que los cambios relativos de resistencias de cada rama del puente es el factor gobernante en el equilibrio del puente y no los cambios absolutos de resistencia.

Teniendo en cuenta (3.2), la ecuación de comportamiento del puente (3.3) puede reescribirse en función de las deformaciones longitudinales (ϵ):

$$(3.3) \quad \frac{\Delta V_s}{V_e} = \frac{1}{4}(\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4)$$

Esta ecuación indica que la variación unitaria del voltaje que se mide entre los puntos 1 y 4 es directamente proporcional a la suma algebraica de las deformaciones que sufren las bandas que componen el puente de medida.

3.6.3. Circuitos elementales

De acuerdo con el problema de medida que se presente, se conectarán al puente una o varias bandas. Las denominaciones de circuito en *puente completo*, *medio puente* o *cuarto de puente*, indican que las cuatro, dos o una de las resistencias del circuito respectivamente son galgas extensométricas. En las restantes ramas se disponen resistencias eléctricas de valor fijo para completar el puente.

Las configuraciones en medio puente y puente completo permiten amplificar la señal producida por la deformación de las galgas, con lo que se facilita la medida de la misma, o bien filtrar unas componentes de la deformación y amplificar otras. La medida la que se amplifica la señal en una determinada configuración se denomina factor de sensibilidad del puente. A las ramas de un circuito en puente de Wheatstone cuya resistencia eléctrica puede variar por causa de una deformación se las denomina

ramas activas. En caso contrario se dirá que es una rama pasiva. En las figuras siguientes que muestran las diferentes configuraciones de circuitos se representará esta diferencia por medio de un tono gris que indica banda activa [18].

Viga en flexión- Cuarto Puente:

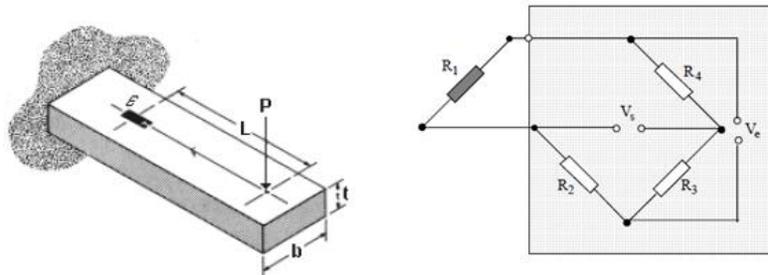


Figura 3.16. Viga en flexión y circuito en cuarto puente

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Vbt^2} \qquad \frac{V_s}{V_e} = \frac{K\varepsilon}{4 + 2K\varepsilon}$$

Esta configuración longitudinal de la galga responderá a las cargas de flexión pero es inafectada por las galgas torsionales si la galga se monta en 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 “medio puente” se prefiere generalmente.

Viga en flexión- Medio Puente- Poisson:

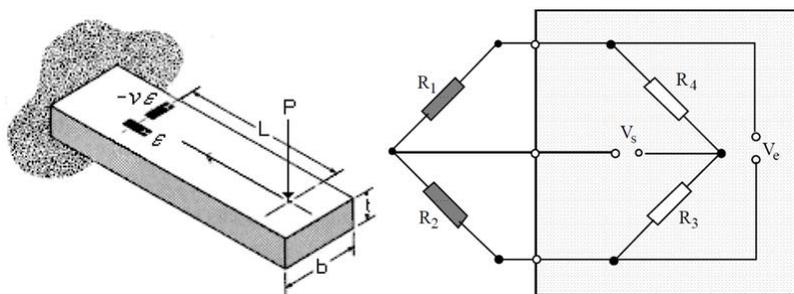


Figura 3.17. Viga en flexión- Medio Puente- Poisson.

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Vbt^2} \qquad \frac{V_s}{V_e} = \frac{K\varepsilon(1 + \nu)}{4 + 2K\varepsilon(1 - \nu)}$$

Como la garga longitudinal y la garga transversal de “Poisson” están en brazos adyacentes, los cambios en resistencias por orígenes termales serán cancelados.

Viga en flexión- Medio Punte:

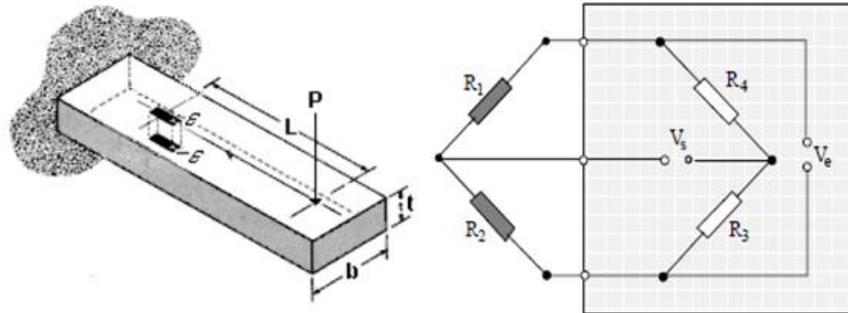


Figura 3.18. Viga en flexión y Medio puente.

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Vbt^2} \quad \frac{V_s}{V_e} = \frac{K\varepsilon}{2}$$

En esta configuración, se utilizaran dos gargas axiales. La garga en la superficie interior se coloca exacto debajo de la garga 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 gargas activas, que resultan de las tensiones producidas por las cargas axiales, será cancelado porque las dos gargas activas están en brazos adyacentes del puente. Asimismo, los cambios de la resistencia de origen termales serán negados cuando ambas gargas y el espécimen experimentan los mismos cambios en temperatura.

Viga en flexión- Punte completo:

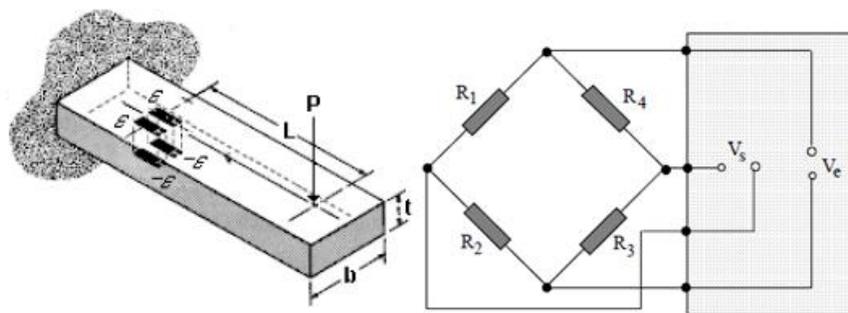


Figura 3.19. Viga en flexión y Punte completo

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Vbt^2} \quad \frac{V_s}{V_e} = K\varepsilon$$

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. Obsérvese que las dos galgas en la superficie superior están en los brazos opuestos del puente, al igual que las dos galgas en la superficie inferior.

Columna Axial- 2 Galgas en Brazos opuestos:

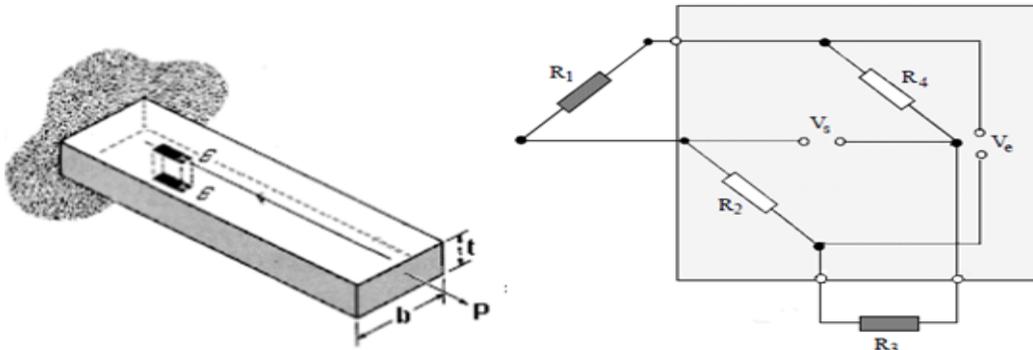


Figura 3.20. Viga a tracción y Medio puente

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Vbt^2} \qquad \frac{V_s}{V_e} = \frac{K\varepsilon}{2 + K\varepsilon}$$

La configuración física de la 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 los signos opuestos. La magnitud de salida es alta pero es no lineal.

Columna Axial- Puente completo- Poisson:

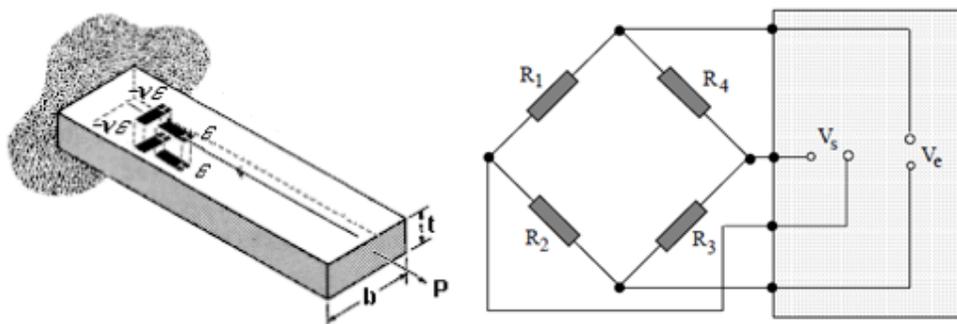


Figura 3.21. Viga a tracción y Puente completo- Poisson

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Vbt^2} \qquad \frac{V_s}{V_e} = \frac{K\varepsilon(1+\nu)}{2 + K\varepsilon(1-\nu)}$$

Esta configuración del puente completo 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.

3.7. Práctica de laboratorio

3.7.1. Introducción

En este acápite se realizará el laboratorio que se propone para que sea desarrollado por los estudiantes (**Anexo 1**). Este formato debe tener el informe que se entregará por los estudiantes al realizar este laboratorio.

3.7.2. Descripción del equipo y técnica operatoria

En el caso de una barra prismática de eje recto sometida a flexión simple como se muestra en la figura se producen esfuerzos iguales y opuestos: la superficie convexa está sometida a tracción mientras que la superficie cóncava está sometida a compresión. Primeramente se realizan las mediciones de las dimensiones de la probeta y otros datos necesarios como los mostrados en la tabla de Datos Iniciales. En esta práctica los extensómetros han sido montados previamente por el profesor como se muestra en las figuras siguientes, así como las conexiones tanto a la fuente de corriente (E) como al voltímetro (V) donde se realizaran las mediciones del voltaje de salida (v_s), el cual se anotará en la columna correspondiente en la tabla de Resultados Experimentales, en la medida que se apliquen las cargas en el extremo en voladizo de la viga.

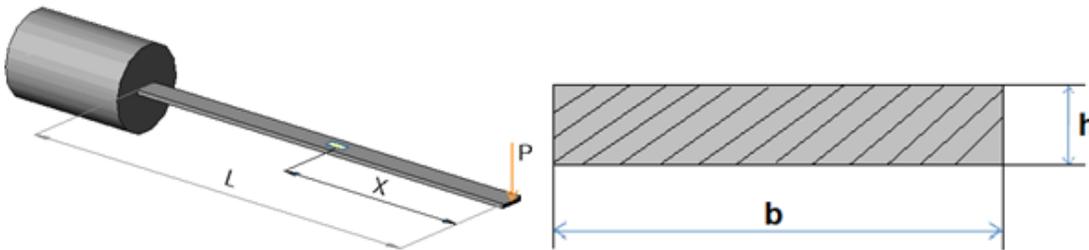


Figura 3.22. Viga de ensayo y sus parámetros a medir.

3.7.3. Cuadros de anotaciones, procesamiento de datos y resultados

Datos iniciales:

Material	Módulo de Elasticidad (Kgf/ cm ²)	L (cm)	X (cm)	B (cm)	H (cm)
Acero 30	2×10^6	49	23	3	0,6

Resultados Experimentales

Para la realización del ensayo se toma como voltaje de entrada 1 V, una ganancia de 100 y $K = 2.05$.

No.	Carga P (Kgf)	Voltaje de salida $V_s \times 10^{-3}$ (Volts)	Incremento de Voltaje de salida $\Delta V_s \times 10^{-3}$
1	1	3	3
2	2	6	3
3	3	9	3
4	4	12	3
5	5	15	3
6	6	18	3
7	7	21	3
			$\sum \Delta V_s = 18$
			$\Delta V_s \text{ prom} = 3$

Cálculo teórico de la tensión:

Expresiones:

$$\boxed{Mf = P \cdot X}, \quad \boxed{\sigma = \frac{M_F}{W_X}}, \quad \boxed{W_X = \frac{b \cdot h^2}{6}}, \quad \sigma = E \cdot \varepsilon, \quad \Delta\sigma = E \cdot \Delta\varepsilon_T, \quad \boxed{\Delta\varepsilon_T = \frac{\Delta\sigma}{E}}$$

$$Mf = 10 \text{ N} \cdot 23 \text{ cm} = 230 \text{ N.cm}$$

$$W_X = \frac{3 \cdot (0,6)^2}{6} = 0,18 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_T = \frac{230 \text{ N.cm}}{0,18 \text{ cm}^3} = 12.777 \text{ MPa}$$

Cálculo real de la tensión:

Expresiones:

$$\varepsilon_p = \frac{4 \cdot \Delta V_s \text{ prom}}{V_e \cdot K \cdot K_f} \text{ (cuarto puente)}$$

Dónde:

V_e - voltaje de entrada (1 Volts.)

K - factor del extensómetro (lo da el fabricante)

$\Delta V_s \text{ prom}$ – Valor promedio del Voltaje de salida.

K_f - Ganancia

$$\varepsilon_p = \frac{4(0,003)}{1 \cdot 2,05 \cdot 100} = 5,85 \cdot 10^{-5}$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\sigma_R = 2 \cdot 10^5 \cdot 5,85 \cdot 10^{-5}$$

$$\sigma_R = 11,7 \text{ MPa}$$

Porcentaje de error:

$$\boxed{\% \text{ error} = \frac{\sigma_T - \sigma_P}{\sigma_T} \cdot 100}$$

$$\%Error = \frac{12,77 - 11,7}{12,77} \cdot 100 = 8,3 \%$$

Como se aprecia el % de error está dentro del rango de ± 10 que se establece para definir que el ensayo es correcto.

Conclusiones Parciales

- Para lograr que un puente extensométrico funcione correctamente es fundamental el correcto montaje de las galgas en la superficie de la pieza que se va a analizar. Se debe seguir la secuencia propuesta en este trabajo y auxiliarse con las fotos que se muestran.
- Se desarrolla una práctica de laboratorio en la que se utiliza el puente extensométrico YE3817. En el montaje de la misma se utilizó el puente de Wheatstone, específicamente se montó el sistema de un cuarto de puente.
- Se determina la deformación unitaria (ϵ) en una barra sometida a flexión y a partir de esta se calcula la tensión a que está sometida esa zona de la viga. Estos resultados experimentales se comparan con los resultados teóricos obtenidos a partir de las fórmulas utilizadas en Resistencia de Materiales y se garantiza un 8,3 % de error, por lo que se considera que son correctos los resultados obtenidos.

Conclusiones Generales

- La aplicación de la extensometría eléctrica para la medición de tensiones es de gran importancia, pues permite conocer realmente la magnitud de los esfuerzos en estructuras y elementos de máquinas durante su funcionamiento. Esto resulta imposible, en muchos casos, utilizando los métodos convencionales de Resistencia de Materiales.
- La elaboración del manual de usuario del puente extensométrico chino marca YE3817 permitirá explotar la técnica de la extensometría en la facultad de Ingeniería Mecánica de la UCLV, tanto para la impartición de este tema en el pregrado, así como para el postgrado y la investigación.
- A partir de la necesidad de insertar la extensometría para la medición de las tensiones y deformaciones en los materiales se creó una guía y se realizó el montaje de una práctica de laboratorio utilizando el puente extensométrico YE3817 que se puede incluir en el Plan de Impartición de la asignatura Resistencia de Materiales. Esta práctica consiste en la determinación de la deformación unitaria en una viga en voladizo y a partir de esta se determina la tensión máxima en la misma cuando es sometida a una carga en el extremo.

Recomendaciones

- Ampliar los conocimientos acerca del tema de la extensometria, asi como de las diversas aplicaciones de las galgas extensométricas para la medición de esfuerzos en circunstancias diversas.
- Realizar el montaje de otras prácticas de laboratorio donde se aplique el puente de Wheatstone para la medición con galgas extensométricas pero en este caso conectando los circuitos en medio puente y en puente completo.

Bibliografía

1- Badiola V. "Extensometría". 2004.

www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/ asignaturas/DyCDM_Cap7.pdf

2- Hoffman K. "Una introducción a la medición mediante bandas extensométricas". Editor Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH. 1989.

3- Hidalgo F. "Análisis experimental de esfuerzos, aplicaciones con galgas extensométricas". Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 1995

4- Yapur, M., Orellana, J., Tello, D. "Medición de esfuerzos y deformaciones en barras metálicas utilizando galgas extensométricas".

www.dspace.espol.edu.ec/.../1/Medición%20de%20Esfuerzos%20y%20

5- Sosa J. "Galgas extensométricas".

www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/Strain_Gages_1.pdf

6- Orellana García José Israel y, Tello Salazar David Hector. «Medición de esfuerzos y deformaciones en barras metálicas utilizando galgas extensométricas» (en español). Tesis de Grado - FIEC.

7- Alzate E. et al. Medidores de deformaciones por resistencia: Galgas extensométricas. Scientia et Técnica. Año XIII, No 34. Mayo 2007. ISSN 0122-1701.

8- Dally J. Riley W. Experimental Stress Analysis. Editora McGraw Hill.

9- Gittins N. Short Guide to Strain Gauging Methods. HBM measurement with confidence. www.hbn.com

10- VISHAY PRECISION GROUP. Strain Gage Selection: Criteria, Procedures, Recomendations. Tech Note TN-TN-505-4

11- Galgas extensométricas. www.wikipedia.com

- 12- Moreno I. Galgas extensiometricas. www.ib.cnea.gov.ar/...de.../22-Galgas%20extensiometricas.pdf?
- 13- Vishay Measurements Group. "Student Manual for Strain Gage Technology". Bulletin 309D 1992
- 14- Leal R. Implantación de galgas extensiométricas. www.desi.iteso.mx/elec/instru/galgas.pdf?
- 15- Murcia S. Guía de laboratorio. Medición de torque y deformación. Universidad Don Bosco. 2011.
- 16- Implantación de galgas extensométricas. www.desi.iteso.mx/elec/instru/galgas.pdf
- 17- Ciscar V. Galgas extensométricas. www.infoplcn.net/files/.../infoPLC_net_Galgas_extensiometricas.pdf
- 18- Ferrero, F.J. «ELECTRÓNICA DE POTENCIA Y MEDIDA» (en español). ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS DE OVIEDO.
- 19- Fernández G. Resistencia de materiales. Editorial Pueblo y Educación. 1987.
- 20- Feodosiev V. Resistencia de materiales. Editorial Pueblo y Educación. 1988.
- 21- Gunt. "Juego de aplicación galgas extensométricas". Manual, 2009. www.gunt.de

Anexos

Práctica de laboratorio

Tema: “Métodos Experimentales”

Título: “Determinación de Deformaciones mediante la Extensometría”

Tiempo de duración: 2 horas

Objetivos:

- Conocer todos los equipos presentes en el laboratorio de Resistencia de Materiales, especificando, para la determinación de qué característica o propiedad se utiliza.
- Determinar experimentalmente las deformaciones en una viga sometida a flexión plana mediante el método extensométrico.
- Comparar los resultados teóricos con los obtenidos experimentalmente.
- Conocer el Polarizador y observar en él la distribución de tensiones en un elemento de máquina.

Indicaciones:

- Realizar un estudio del tema mediante el libro Mecánica de Materiales de Beer & Johnston, las notas de la conferencia y el estudio además de este folleto.
- Tener resueltos los cálculos teóricos, sin ellos el estudiante no podrá realizar la práctica.
- Debe tener claro dominio de la técnica operatoria para poder realizar el ensayo.
- Llevar al laboratorio el equipamiento necesario para trabajar en el mismo como es, lápiz, goma de borrar, regla o cartabón, tablas matemáticas o calculadora.

1. Fundamentos teóricos

El desarrollo de los métodos de medida de esfuerzos es de historia reciente. De hecho ha venido impuesto por las necesidades de la producción masificada, que recibió un impulso definitivo a raíz de la II Guerra Mundial. En el prólogo de un libro de Resistencia de Materiales de 1930 ya es patente esa situación: ... los tipos de máquinas y estructuras cambian muy rápidamente, con preferencia en las nuevas ramas de la industria y por lo general, el tiempo no permite que se reúnan los datos empíricos necesarios. El tamaño y costo de las estructuras aumentan constantemente, lo que origina una exigencia cada vez mayor en la seguridad de las mismas. Cada vez tiene más importancia en el proyecto el factor economía, dadas las condiciones actuales de competencia. La construcción debe reunir las condiciones necesarias de solidez y seguridad, y sin embargo, reducir al mínimo el gasto de material. La reducción de peso implica un aumento de las fatigas en la estructura y la investigación experimental de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados... (S.Timoshenko Resistencia de Materiales. Madrid. 1944).

El sobredimensionado en el diseño y el análisis empírico por ensayo y error son técnicas inaplicables en los sectores más avanzados de la industria. Se requieren vehículos veloces, máquinas sometidas a altos regímenes de trabajo, estructuras gigantescas, etc. Y todo ello rápido y barato. De ahí la necesidad de instrumentos capaces de determinar esfuerzos experimentales, bajo condiciones reales.

2. Definición de Extensometría

Robert Hooke estableció en 1678 la relación que existe entre tensiones y deformaciones en los cuerpos sometidos a sollicitaciones mecánicas. Si el material es isótropo y homogéneo y no se sobrepasa su límite elástico, entonces la relación es lineal.

Basándonos en este principio, la extensometría es el método que tiene por objeto la medida de las deformaciones superficiales de los cuerpos [19].

3. Clasificación de las mediciones extensométricas

Tomaremos como criterio la evolución en el tiempo de los esfuerzos a medir:

- a) *Medidas estáticas*: Comprenden el estudio de esfuerzos que varían lentamente en función del tiempo, como es el caso de la estructura de una presa cuando crecen las aguas.
- b) *Medidas estáticas dinámicas*: consisten en la medida simultánea de esfuerzos sujetos a variación rápida (choques, vibraciones) y de esfuerzos de desarrollo lento. En el caso de un puente cuando soporta el paso de un vehículo.
- c) *Medidas dinámicas*: Se limitan a las componentes de variación rápida. Un caso típico es la medida de vibraciones en el equilibrado de rotores.

En cuanto a los esfuerzos podemos clasificarlos según el estado de sollicitación considerado (tracción, compresión, flexión, torsión, cortante, etc. Y sus diferentes combinaciones).

4. Las galgas extensométricas

De entre los diferentes procedimientos que existen para convertir las deformaciones en señales eléctricas proporcionales, el más extendido es el que utiliza elementos cuya resistencia eléctrica varía en función de pequeños cambios de longitud. Esos elementos van adheridos a la superficie del material de prueba formando un conjunto solidario, y reciben el nombre de galgas extensométricas.

5. Tipos de galgas extensométricas

1- Galgas Metálicas:

El principio de medida de las galgas metálicas se basa en tres premisas:

- El valor de la resistencia de un conductor está en función de sus características geométricas (efecto enunciado por Lord Kelvin).
- A todo aumento de longitud corresponde una disminución de la sección transversal (efecto de Poisson).
- La variación de resistividad es proporcional a la variación relativa de volumen (efecto enunciado por Bridgman).

De todo ello resulta la ecuación:
$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

Dónde: K es el factor de la galga, cuyo cálculo corre a cargo del fabricante.

- a) Galgas de filamento (wire strain gauge): el elemento sensible es un hilo conductor metálico (aleaciones de níquel con cobre o cromo) con una sección circular de 0.025 mm aproximadamente de diámetro, y encolado sobre un soporte aislante de resina epóxica, poliéster o material análogo. Para ofrecer la máxima longitud activa dentro de un área reducida, el hilo presenta varios pliegues siguiendo la disposición de la siguiente figura.

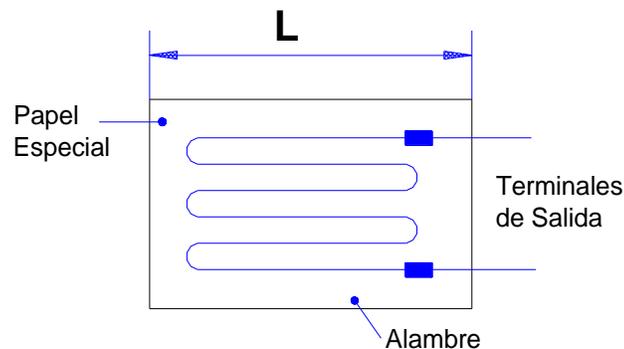


Figura 1. Esquema de una galga

- b) Galgas de trama pelicular (foie strain gauge): el elemento sensible es una película de metal de pocas micras de espesor, recortada mediante ataque fotoquímico.

2- Galgas Semiconductoras: el elemento sensible es una banda de cristal semiconductor con un cierto grado de contaminación. También existen galgas de filamento y de trama.

6. Puente de Wheatstone (conexión de las galgas en un cuarto de puente)

Para medir la variación de la resistencia se emplea el puente de Wheatstone con preferencia a cualquier otro circuito. El puente de Wheatstone es un sistema pasivo formado por cuatro impedancias montadas dos a dos en serie, tal y como se muestra en la figura. La tensión de alimentación V_e es aplicada a dos vértices opuestos y en los dos restantes se recoge la tensión de medida V_s .

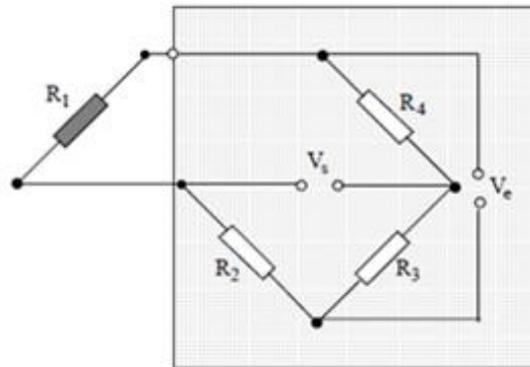


Figura 2. Circuito cuarto puente

7. Fuentes de error

Los materiales experimentan deformaciones de origen térmico que no corresponden a esfuerzo alguno y que sin embargo repercuten en la resistencia de los extensómetros provocando errores en las mediciones. Se fabrican galgas autocompensadas cuya resistencia tiene un coeficiente de temperatura negativo, de manera que, dentro de ciertos límites, pueden contrarrestar un coeficiente de dilatación del mismo valor.

Otros aspectos de interés:

Los extensómetros deben colocarse de modo que midan las deformaciones en las direcciones de las Tensiones Principales, que son las magnitudes más importantes a conocer.

En ocasiones no es posible conocer la dirección de todas las Tensiones Principales, pero sí al menos de una de ellas. En estos casos se utilizan las llamadas Rosetas, colocando la dirección de una de sus ramas coincidiendo con la dirección principal conocida y aplicando la Ley de Hooke generalizada, se pueden conocer las deformaciones en el resto de las direcciones y por tanto las tensiones.

8. Manipulación de las galgas

Para medir las deformaciones mediante extensómetros eléctricos, es necesario tener mucho cuidado al fijarlos a la pieza. Cada fabricante hace recomendaciones especiales, que deben seguirse estrictamente. El lugar de fijación del extensómetro en la pieza debe estar limpio y debe dejarse después de pegado el tiempo recomendado para el secado. Esta es una labor cuidadosa y de ello depende posteriormente la precisión de las medidas [20].

Antes de medir con los extensómetros es necesario calibrarlo si no se conoce su K. Para ello se coloca el mismo en una probeta cuya deformación puede ser calculada con suficiente exactitud por los métodos de Resistencia de Materiales o medida con elementos mecánicos. Comparamos el registro del extensómetro (Δ) con la deformación calculada o medida (ε) y así es posible determinar el Coeficiente de Sensibilidad del extensómetro:

$$K = \frac{\Delta L}{L\varepsilon} = \frac{\Delta}{\varepsilon}$$

Es posible tener mayor exactitud, no con una medida, sino con varias y construir un gráfico. El valor de K es válido para todo el grupo de extensómetros con las mismas características. Se recomienda calibrar el 10 % de los extensómetros a utilizar. Es recomendable también, utilizar el mismo elemento de medición de la deformación que se utilizó en la calibración [21].

9. Descripción del equipo y técnica operatoria

En el caso de una barra prismática de eje recto sometida a flexión simple como se muestra en la figura se producen esfuerzos iguales y opuestos: la superficie convexa está sometida a tracción mientras que la superficie cóncava está sometida a compresión. Primeramente se realizan las mediciones de las dimensiones de la probeta y otros datos necesarios como los mostrados en la tabla de Datos Iniciales.

En esta práctica los extensómetros han sido montados previamente por el profesor como se muestra en las figuras siguientes, así como las conexiones tanto a la fuente de corriente (E) como al voltímetro (V) donde se realizaran las mediciones del voltaje

de salida (vs.), el cual se anotará en la columna correspondiente en la tabla de Resultados Experimentales, en la medida que se apliquen las cargas en el extremo en voladizo de la viga.

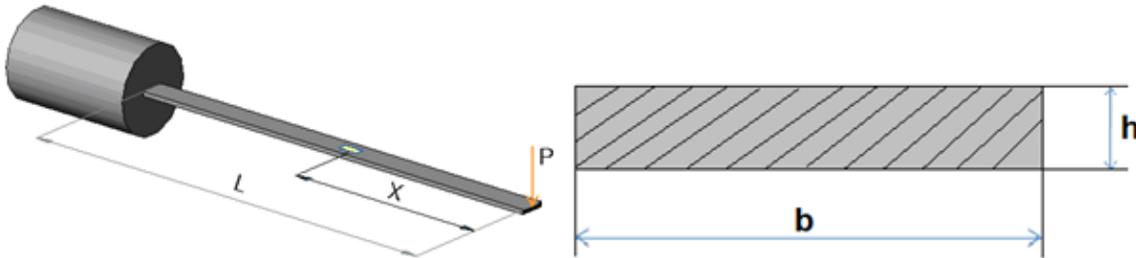


Figura 3. Viga de ensayo y sus parámetros a medir.

Cálculo teórico de la tensión:

Expresiones:

$$M_f = P \cdot X, \quad \sigma = \frac{M_f}{W_x}, \quad W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad \sigma = E \cdot \varepsilon, \quad \Delta \sigma = E \cdot \Delta \varepsilon_T, \quad \Delta \varepsilon_T = \frac{\Delta \sigma}{E}$$

Cálculo real de la tensión:

Expresiones:

$$\varepsilon_p = \frac{4 \cdot \Delta V_s \text{ prom}}{V_e \cdot K \cdot K_f} \text{ (cuarto puente)} \quad \sigma = E \cdot \varepsilon$$

Dónde:

V_e - voltaje de entrada (1 Volts.)

K - factor del extensómetro (lo da el fabricante)

$\Delta V_s \text{ prom}$ - Valor promedio del Voltaje de salida.

K_f - Ganancia

Porcentaje de error:

$$\% \text{ error} = \frac{\Delta \varepsilon_T - \Delta \varepsilon_p}{\Delta \varepsilon_T} * 100$$

Cuadros de anotaciones, procesamiento de datos y resultados

Datos iniciales:

Material	Módulo de Elasticidad (Kgf/ cm ²)	L (cm)	X (cm)	B (cm)	H (cm)
Acero 30	2 x 10 ⁶	49	23	3	0,6

Resultados Experimentales

No.	Carga P (Kgf)	Voltaje de salida $V_s \times 10^{-3}$ (Volts)	Incremento de Voltaje de salida $\Delta V_s \times 10^{-3}$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
			$\sum \Delta V_s =$
			$\Delta V_s \text{ prom} =$

Preguntas de autocontrol

1. Defina el concepto de extensometría.
2. Clasifique las mediciones extensométricas.
3. Mencione los tipos de galgas que Ud. Conoce.
4. Realice un esquema del puente de Wheatstone en cuarto de puente.
5. Mencione algunas de las fuentes de error que pueden existir en las mediciones extensométricas.
6. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de las galgas metálicas y de los extensómetros en general?