



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

**Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica**

CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE STRAIN GAGES Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA MECÁNICA.

**Seminario de Título presentado en
conformidad a los requisitos para
obtener el título de Ingeniero de
Ejecución en Mecánica.**

**Profesor Guía:
Sr. Juan Carlos Figueroa Barra**

Claudio Andrés Sandoval Rodríguez.

Concepción 2013.

TABLA DE CONTENIDOS **PAG.**

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1.	Objetivo General.	1
1.2.	Origen del tema.	1
1.3.	Objetivos específicos.	1

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA CADETECH S.A.

2.1	Reseña Histórica.	3
2.2	Principios de la Empresa	3
2.3	Políticas de la Empresa.	3

CAPÍTULO III: ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

3.1.	Introducción.	5
3.2.	Esfuerzo.	5
3.3.	Deformación unitaria.	6
3.4.	Ley de Hooke.	6
3.5.	Diagrama esfuerzo deformación del acero común.	8
	3.5.1. Comportamiento elástico.	9
	3.5.2. Fluencia.	10
	3.5.3. Endurecimiento por deformación.	10
	3.5.4. Formación del cuello o estricción.	11
3.6.	Razón de Poisson.	12

CAPÍTULO IV: STRAIN GAGES

4.1	Definición de strain gage.	14
4.2	Selección de strain gage.	17
4.3.	Parámetros del strain gage.	18
4.4.	Compromiso de selección de strain gage.	18
4.5.	Tipos de aleaciones para strain gage.	19
	4.5.1. Tabla de aleaciones de strain gage.	19
4.6.	Autocompensación de temperatura.	21
4.7.	Material de respaldo o carrier.	22
	4.7.1. Poliamida.	23
	4.7.2. Fibra de vidrio reforzada.	23
4.8.	Concentración de esfuerzo.	23
	4.8.1. Longitud de una galga.	24
	4.8.2. Galgas cortas.	25
	4.8.3. Galgas largas.	25
4.9	Patrón de grilla.	26
	4.9.1. Galgas uniaxiales.	26
	4.9.2. Rosetas.	28

CAPÍTULO V: RECOPIACIÓN DE STRAIN GAGES EMPLEADOS EN CADETECH S.A.

5.1	Criterio de selección del modelo de strain gage.	31
	5.1.1. Selección longitud de banda.	31
	5.1.2. Selección de forma de banda.	32
	5.1.3. Selección de serie de banda.	33
	5.1.4. Selección de características opcionales.	33
	5.1.4.1 Tabla de características opcionales de los strain gages.	34
	5.1.5. Selección de resistencia de la banda.	35
	5.1.6. Número de Autocompensación de temperatura.	35

5.1.6.1. Tabla de número de Autocompensación de temperatura y de coeficientes de expansión térmica de los metales.	36
5.2. Strain gages Omega.	37
5.2.1. Tabla de especificaciones strain gage Omega.	38
5.2.2. Adhesivo Omega.	39
5.2.3. Designación estándar para los strain gages Omega.	40
5.2.4. Formas de banda y sus respectivos números de Autocompensación de temperatura de los strain gages Omega.	41
5.2.4.1. Forma de banda LY.	41
5.2.4.2. Forma de banda DY.	41
5.2.4.3. Forma de banda RYB.	42
5.2.4.4. Forma de banda XY.	42
5.2.4.5. Forma de banda RY.	43
5.2.4.6. Forma de banda TY.	43
5.3. Strain gages Kyowa.	44
5.3.1. Tabla de especificaciones strain gages Kyowa.	45
5.3.2. Adhesivos Kyowa.	46
5.3.2.1. Tabla de adhesivos Kyowa y sus aplicaciones.	46
5.3.3. Designación estándar para los strain gages Kyowa.	48
5.3.4. Formas de banda, color y sus respectivos números de Autocompensación de temperatura de los strain gages Kyowa.	49
5.3.4.1. Forma de banda C1.	49
5.3.4.2. Forma de banda D1.	49
5.3.4.3. Forma de banda D2.	50
5.3.4.4. Forma de banda D16.	50
5.3.4.5. Forma de banda D17.	51
5.3.4.6. Forma de banda C20.	51

CAPÍTULO VI: MEDICIONES CON STRAIN GAGES.

6.1. Consideraciones al medir con strain gages.	53
6.2 Corrección de la salida térmica para medición de deformación en una viga.	54
6.3. Corrección de la salida térmica para medición de deformación en una barra a torsión pura.	56
6.4. Corrección de salida térmica para medición de deformación en una columna.	57
6.5. Puente de wheatstone.	58

CAPÍTULO VII: PROCEDIMIENTO PARA INSTALAR UN STRAIN GAGE.

7.1. Procedimiento para instalar un strain gage pegado.	60
7.1.1. Elementos.	60
7.1.2. Selección del strain gage.	62
7.1.3. Preparar superficie.	62
7.1.4. Decidir ubicación del strain gage.	63
7.1.5. Pulir superficie.	63
7.1.6. Limpiar superficie.	65
7.1.7. Marcar superficie.	66
7.1.8. Ubicar strain gage en la zona que será pegado.	67
7.1.9. Limpiar superficie.	68
7.1.10. Pegado del strain gage.	69
7.2. Procedimiento para instalar un strain gage soldado.	72
7.2.1. Selección del strain gage.	72
7.2.2. Preparación adhesivo epóxico.	73
7.2.3. Pegado del strain gage en lámina de acero.	75
7.2.4. Fijación del strain gage con máquina soldadora de punto Kyowa.	80

CAPÍTULO VIII: EQUIPOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

8.1. Introducción.	87
8.2. Adquisición de datos en forma inalámbrica.	87
8.2.1. Descripción de procedimiento de adquisición de datos con nodos Micro Strain.	89
8.2.2. Conectar estación base.	89
8.2.3. Abrir programa node commander.	89
8.2.4. Habilitar nodos.	91
8.2.5. Calibración de nodos.	94
8.3. Medición de deformación a barra de estudio instrumentada con nodos inalámbricos.	108
8.3.1. Datos obtenidos con Nodos Microstrain.	110
8.4. Adquisición de datos en forma alámbrica.	111
8.4.1. Adaptador NI 9945.	111
8.4.2. Adaptador alternativo del adaptador NI 9945.	113
8.4.3. Conector RJ 50.	118
8.4.4. Módulo de puente NI 9237.	119
8.4.5. Carrier NI USB 9162.	120
8.4.6. Programa de adquisición USB.	122
8.5. Descripción del procedimiento de adquisición de datos con programa de adquisición USB.	123
8.5.1. Conectar los cables del strain gage al adaptador NI 9945.	123
8.5.2. Conectar módulo NI 9237.	124
8.5.3. Seleccionar canales.	126
8.5.4. Configurar el módulo de puente 9237.	129
8.5.5. Programa calibrado.	131
8.5.6. Medición de deformación a barra de estudio instrumentada con programa de adquisición USB.	132
8.5.7. Datos obtenidos con programa adquisición USB.	134

CAPÍTULO IX: DESCRIPCIÓN Y CÁLCULO TEÓRICO DE DEFORMACIÓN DE LA BARRA DE ESTUDIO.

9.1. Descripción de la barra de estudio.	135
9.2. Cálculo teórico de deformación de la barra.	136
9.2.1. Cálculo teórico de deformación de la barra empleando una fórmula más directa.	137

CAPÍTULO X: ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO.

10.1. Introducción.	138
10.2. Software Samcef.	139
10.3. Datos obtenidos con modelo de elemento finito.	140
10.3.1. Condiciones de borde.	140
10.3.2. Resultados generales.	143
10.4. Tabla resumen de datos obtenidos a barra de estudio instrumentada.	147

CAPÍTULO XI: OBTENCIÓN TEÓRICA Y PRACTICA DEL COEFICIENTE DE POISSON.

11.1. Descripción de la barra para obtener el coeficiente de Poisson.	148
11.2. Cálculo teórico de deformación de la barra para obtener el coeficiente de Poisson.	149
11.2.1. Cálculo de la deformación longitudinal.	149
11.2.2. Cálculo de la deformación transversal.	150
11.3. Medición de deformación a barra instrumentada con nodos micro strain para obtener el coeficiente de Poisson.	151

11.4. Datos obtenidos.	152
11.4.1. Cálculo del coeficiente de Poisson.	152
CAPÍTULO XII: CONCLUSIONES	153
BIBLIOGRAFÍA.	

AGRADECIMIENTOS

Quisiera en primer lugar agradecer a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y cumplir mis objetivos propuestos en la vida.

Agradecer a mi esposa Elisa, mis hijas Yamilet y Javiera, por todo su apoyo en los momentos difíciles, por su confianza y por su constante motivación, sin ustedes presentes en mi vida esto no sería posible.

A mi madre, que desde pequeño sus concejos y sus valores me enseñaron a ser una persona de bien, pero principalmente por su amor.

A los Señores de la gerencia de la empresa CADETECH S.A. por brindarme la posibilidad de realizar mi seminario de título en dicha empresa.

A Don Nelson Miranda Villegas, Jefe de Proyecto mediciones empresa CADETECH S.A. por su constante apoyo, motivación y por impulsar cada día mi desarrollo profesional durante la elaboración de este trabajo.

A todo el personal del Departamento de Mediciones e Instalaciones de la Empresa CADETECH S.A.: Oscar Carvajal, Manuel Benavides, Oscar Fuentes y Álvaro Neira, gracias por todos los conocimientos entregados.

Agradecer a mi profesor guía, Don Juan Carlos Figueroa Barra.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una clasificación y selección de strain gages, identificar sus usos y características principales, además orientar a una aplicación eficiente frente a las mediciones de deformación en la industria mecánica.

Para cumplir con este objetivo, se hacen aplicaciones prácticas de mediciones experimentales de deformación con strain gages a una barra de estudio instrumentada, con un extremo fijo y con carga centrada en el extremo libre.

En la obtención de datos durante la medición de deformación se emplean dos métodos y en uno de ellos se emplea tecnología de última generación como son los nodos inalámbricos cuya metodología permite que la señal viaje en forma inalámbrica sin pérdida de datos.

Además se obtienen resultados de deformación de la barra en forma teórica y luego se procede a realizar un análisis de deformación utilizando el software de elemento finito Samcef en los puntos de instalación de los strain gages.

Finalmente se obtiene en forma teórica y práctica el coeficiente de Poisson a la barra de estudio instrumentada.

INTRODUCCIÓN

El siguiente estudio fue propuesto con la necesidad de saber los procedimientos de clasificación, selección, instalación y adquisición de datos frente a las aplicaciones de mediciones de deformación con strain gages.

1.1. Objetivo general

Se plantea como objetivo general realizar mediciones de deformación empleando strain gages a una barra de estudio instrumentada bajo carga centrada, lo anterior permitirá aplicar diferentes equipos de adquisición de datos, obtener valores de deformación en forma teórica y comparar los resultados obtenidos con un modelo de elemento finito.

1.2. Origen del Tema

El tema se genera en la empresa CADETECH S.A. de servicios de ingeniería, la cual presta servicios a diferentes empresas especialmente relacionada con la gran minería, especializada en la aplicación de las más modernas metodologías para el mantenimiento de la integridad de activos físicos, dentro de los cuales se encuentra el servicio de medición de deformaciones mediante strain gages.

1.3. Objetivos Específicos

- Realizar una recopilación de los diferentes tipos de strain gages ofrecidos por los principales proveedores de CADETECH S.A. y seleccionar los de mayor uso.
- De la selección identificar sus aplicaciones y características especiales para una mayor eficiencia.
- Efectuar en forma práctica el pegado de strain gages con adhesivo epóxico y con Etil cianoacrilato.

- Realizar medición de deformación con strain gages a barra de estudio instrumentada con equipos de adquisición de datos en forma alámbrica e inalámbrica.
- Hacer un análisis de elemento finito con software Samcef de la barra de estudio en los puntos de instalación de strain gage.
- Efectuar descripción y cálculo teórico de deformación de la barra de estudio en los puntos de instalación de strain gages.
- Efectuar comparación de datos obtenidos a barra de estudio.
- Obtención teórica y práctica del coeficiente de Poisson.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA CADETECH S.A.

2.1. Reseña Histórica

CADETECH S. A. Es una empresa de servicios y productos de ingeniería especializada en la aplicación de las más modernas herramientas y metodologías para el mantenimiento de la integridad de activos físicos, el diseño de nuevos productos y el aumento de la productividad de los clientes.

2.2. Principios de la Empresa

- Asumimos que la seguridad personal, la de nuestro equipo de trabajo y la de los clientes esta antes que todo y actuamos en consecuencia.
- Nos gusta lo que hacemos, somos rigurosos y lo hacemos bien.
- Compartimos el conocimiento con nuestros clientes.
- Buscamos alternativas, para proponer a nuestros clientes formas de hacer mejor las cosas y más eficientemente.
- Respondemos a los requerimientos de los clientes con actitud positiva y disponibilidad.
- Estamos orientados al logro de los objetivos y buscamos superar las dificultades e imprevistos que impidan alcanzarlos.

2.3. Políticas

Políticas de calidad

- Calidad en los clientes: Poseemos tecnologías únicas que son constantemente actualizadas para cumplir los requerimientos de nuestros clientes.
- Calidad en los procesos: Nuestros procesos son adaptables a los requerimientos de nuestros clientes.

- Calidad en las personas: El conocimiento obtenido y generado por las personas en un entorno colaborativo hace la diferencia competitiva.

Políticas HSEC

Política de salud ocupacional, seguridad, medio ambiente y comunidad (HSEC)

En el marco de su misión, CADETECH se compromete a una gestión enfocada a las personas, protegiendo la integridad física y la salud de los trabajadores propios y los de las otras empresas con las que se interactúa. Igualmente se compromete a considerar y minimizar el impacto al medio ambiente de sus operaciones así como a colaborar al desarrollo de la comunidad.

CAPÍTULO III

ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

3.1. Introducción.

La mecánica de materiales es una rama de la mecánica que estudia las relaciones entre las cargas externas aplicadas a un cuerpo deformable y la intensidad de las fuerzas internas que actúan dentro del cuerpo, este estudio implica el análisis de las deformaciones del cuerpo. El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas.

3.2. Esfuerzo.

Los conceptos fundamentales de mecánica de materiales son el esfuerzo y la deformación unitaria. Una barra prismática es un miembro estructural recto con sección transversal constante en toda su longitud. Una fuerza axial es una carga dirigida a lo largo del eje de la barra que se somete a tensión. El esfuerzo puede definirse como una fuerza interna de repulsión generada en respuesta a una fuerza externa aplicada a un objeto, estructura o maquinaria para mantener su forma original. Se denota con la letra griega σ (sigma), la ecuación expresa la intensidad del esfuerzo uniforme en una barra prismática cargada axialmente.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ = Esfuerzo aplicado a la barra. (N/m²).

P= Tensión, Fuerza, Peso, Carga (N).

A= Área transversal de la barra. (m²).

Cuando la barra es estirada por la fuerza P, el esfuerzo es de tensión. Si las fuerzas son invertidas en sentido, ocasionando que la barra se comprima, se obtiene un esfuerzo de compresión.

3.3. Deformación unitaria.

Una barra recta cambia de longitud al cargarla axialmente, volviéndose más larga en tensión y más corta en compresión, este concepto adimensional se llama deformación unitaria, se denota con la letra griega ε (épsilon) y está dada por la siguiente ecuación:

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

Donde:

ε = Deformación unitaria.

ΔL = Cambio en la longitud del objeto (m).

L = Longitud inicial del objeto (m).

Si la barra está bajo tensión, la deformación unitaria se llama deformación unitaria a tensión, que representa un alargamiento o estiramiento de un material. Si la barra está bajo compresión, la deformación unitaria es una deformación unitaria a compresión y la barra se acorta.

3.4. Ley de Hooke.

La relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria en una barra sometida a tensión o compresión se denomina ley de Hooke.

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$\frac{P}{A} = E \times \frac{\Delta L}{L}$$

$$\Delta L = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

σ = Esfuerzo aplicado al objeto (N/m^2).

E = Módulo de elasticidad del material (N/m^2).

ε = Deformación unitaria.

Lo importante de la ley de Hooke es que predice el cambio que tendrá la longitud de un objeto en función de la tensión aplicada. De esta manera, si por algún medio se mide la variación de longitud, se puede medir en forma directa la tensión aplicada. En la Figura 3.4.1 se observa una barra que es sometida a una tensión (P), esta tensión provoca un cambio de longitud (ΔL) en la barra. Conociendo el módulo de elasticidad de la barra y la tensión aplicada a la misma, se puede conocer el cambio de longitud que sufrió la barra aplicando la ley de Hooke.

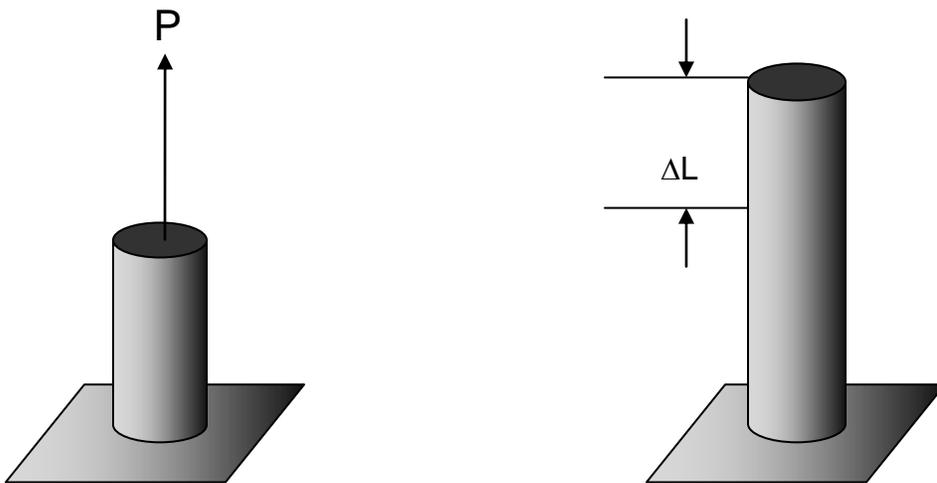


Figura 3.4.1 ley de Hooke.

3.5. Diagrama esfuerzo deformación del acero común.

Muchos materiales estructurales (metales, madera, plástico y cerámicos) se comportan elásticamente y linealmente en las primeras etapas de carga (región lineal), un ejemplo de esto se observa en el diagrama esfuerzo deformación unitaria para el acero estructural en tensión, (Figura 3.5.a) en la cual se observa que el diagrama comienza con una línea recta, lo que significa que la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria en esta región es elástica y proporcional. La pendiente de esta línea se llama módulo de elasticidad. Como la pendiente tiene unidades de esfuerzo dividido entre deformación unitaria (adimensional), el módulo de elasticidad posee las mismas unidades que el esfuerzo (N/m^2).

Diagrama esfuerzo deformación.

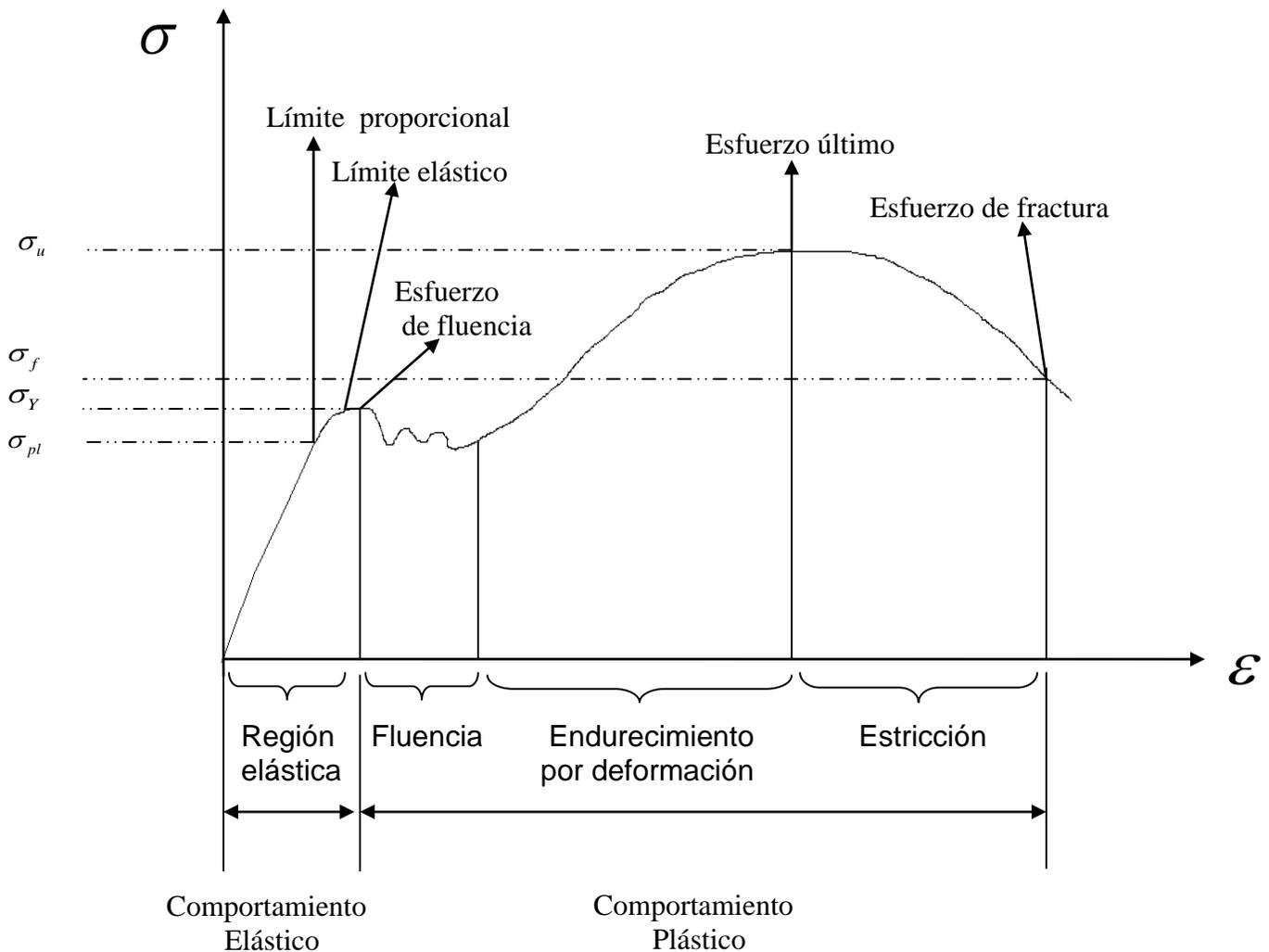


Figura 3.5.a. Diagrama esfuerzo deformación.

En este diagrama pueden distinguirse ciertas zonas determinadas:

3.5.1. Comportamiento elástico.

Se dice que el material responde elásticamente si retorna a su longitud o forma original cuando se retira la carga que actúa sobre él. Este comportamiento ocurre cuando la deformación está dentro de la región elástica. Se puede ver que la curva es en realidad una línea recta en toda esta región, así que el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria, o sea el material es linealmente elástico. El límite superior del esfuerzo en esta relación lineal se llama límite proporcional, σ_{pl} .

Si el esfuerzo excede un poco el límite proporcional, el material puede todavía responder elásticamente; sin embargo, la curva tiende a aplanarse causando un incremento mayor de la deformación unitaria con el correspondiente incremento del esfuerzo. Esto continúa hasta que el esfuerzo llega al límite elástico.

3.5.2. Fluencia.

Un ligero aumento en el esfuerzo más allá del límite elástico provocará un colapso del material y causará que se deforme permanentemente. Este comportamiento se llama fluencia. El esfuerzo que origina la fluencia se llama esfuerzo de fluencia o punto de fluencia σ_y , y la deformación que ocurre se llama deformación plástica. Al contrario de la carga elástica, una carga que ocasione la fluencia del material cambiará permanentemente las propiedades del mismo. En los aceros con bajo contenido de carbono o en aquellos que sean laminados o rolados en caliente, se distinguen dos valores para el punto de fluencia, punto superior de fluencia ocurre primero, seguido por una disminución en la capacidad de soportar carga hasta un punto inferior de fluencia. Una vez que se ha alcanzado el punto inferior de fluencia el material continuará alargándose sin ningún incremento de carga. Cuando el material está en este estado se dice que es perfectamente plástico.

3.5.3. Endurecimiento por deformación.

Cuando la fluencia ha terminado, puede aplicarse más carga a la probeta, resultando una curva que se eleva continuamente pero se va aplanando hasta llegar a un esfuerzo máximo, llamado esfuerzo último σ_u . La elevación en la curva de esta manera se llama endurecimiento por deformación. Mientras el material se está alargando, el área de su sección transversal disminuirá. Esta disminución de área es bastante uniforme en toda la longitud del material.

3.5.4. Formación del cuello o estricción.

Es el esfuerzo último, el área de la sección transversal comienza a disminuir en una zona localizada del material, en lugar de hacerlo en toda su longitud. Este fenómeno es causado por planos de desplazamiento que se forman dentro del material y las deformaciones producidas son causadas por esfuerzos cortantes. Como resultado, tiende a desarrollarse una estricción o cuello en esta zona a medida que el material se alarga cada vez más (Figura 3.5.4a). Como el área de la sección transversal en esta zona está decreciendo continuamente, el área más pequeña puede soportar sólo una carga siempre decreciente. De aquí que el diagrama esfuerzo-deformación tiende a curvarse hacia abajo hasta que el material se rompe (Figura 3.5.4b) en el punto del esfuerzo de fractura σ_f .



Figura 3.5.4a. Estricción

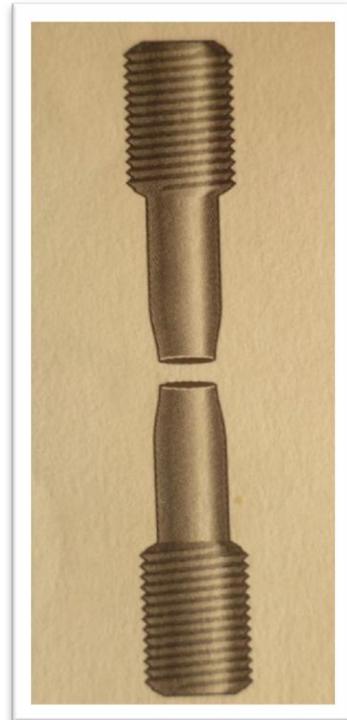


Figura 3.5.4b. Falla de un
Material dúctil

El módulo de elasticidad tiene valores grandes para materiales muy rígidos como el acero (210 G Pa) y aluminio (70 G Pa), los materiales más flexibles como: plástico y madera, tienen un módulo de elasticidad menor (0.7 y 14 G Pa respectivamente).

3.6 Razón de Poisson.

Cuando un cuerpo deformable está sometido a una fuerza axial de tensión, no sólo se alarga sino que también se contrae lateralmente. (Figura 3.6.1.) Por ejemplo, si una tira de hule se alarga, puede notarse que el espesor y el ancho de la tira disminuyen. Igualmente una fuerza de compresión (Figura 3.6.2.) que actúa sobre un cuerpo ocasiona que éste se contraiga en la dirección de la fuerza y que se expanda lateralmente. Estos dos casos se ilustran para una barra con radio r y longitud L iniciales.

Cuando la carga P se aplica a la barra, la longitud de la barra cambia una cantidad ΔL y su radio una cantidad Δr . Las deformaciones unitarias en la dirección axial o longitudinal y en la dirección lateral o radial son respectivamente:

$$\epsilon_{long} = \frac{\Delta L}{L} \quad \text{y} \quad \epsilon_{lat} = \frac{\Delta r}{r}$$

Poisson descubrió que dentro del rango elástico, la razón de esas dos deformaciones unitarias es constante. A esta constante se le llama razón de poisson, ν (nu), y tiene un valor numérico que es único para un material particular que sea homogéneo e isotrópico.

$$\nu = -\frac{\epsilon_{lat}}{\epsilon_{long}}$$

El signo negativo se usa ya que un alargamiento longitudinal (deformación unitaria positiva) ocasiona una contracción lateral (deformación unitaria negativa), y viceversa, esta deformación unitaria lateral es la misma en todas las direcciones laterales.

La razón de Poisson es adimensional y un material ideal sin movimiento lateral cuando se alargue o contraiga tendrá $\nu=0$, también debemos tener presente que el valor máximo posible para la razón de Poisson es 0.5, por lo tanto, $0 \leq \nu \leq 0.5$.

Fuerza axial de tensión.

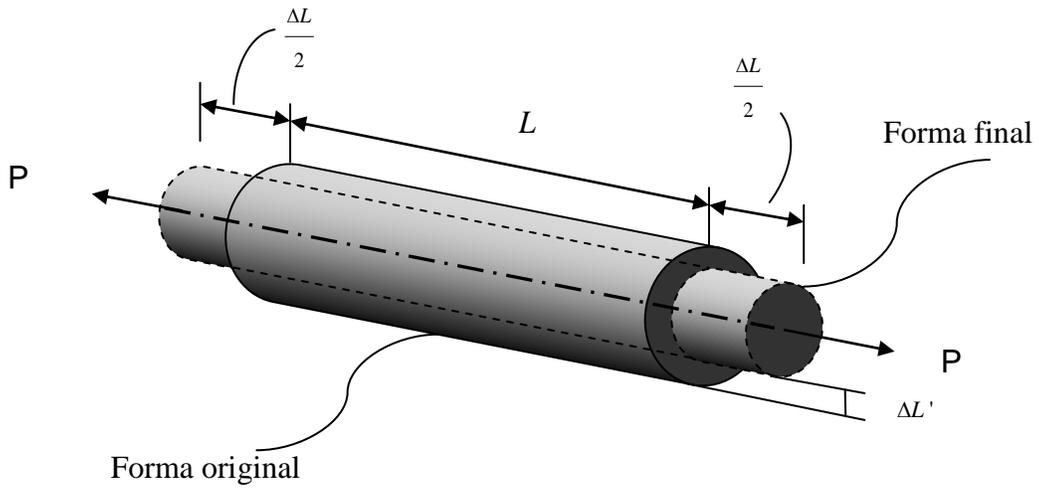


Figura 3.6.1. Fuerza axial de tensión.

Fuerza de compresión

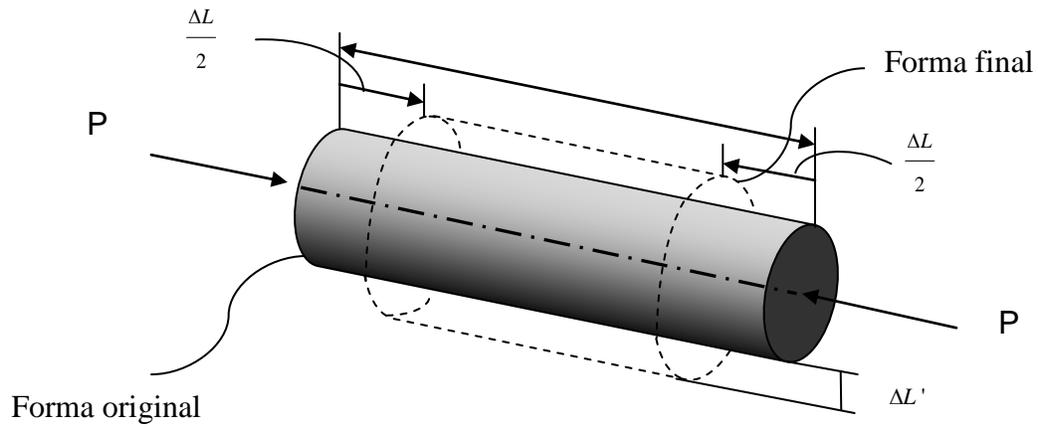


Figura 3.6.2. Fuerza de compresión.

CAPÍTULO IV

STRAIN GAGES

4.1. Definición de Strain Gage

Un extensómetro, galga extensiométrica o Strain Gage es un dispositivo de medida universal que se utiliza para la medición eléctrica de diversas magnitudes mecánicas como: Presión, carga, torque, deformación, etc.

Se entiende por Strain a la cantidad de deformación de un cuerpo producto de la fuerza aplicada sobre él, en términos matemáticos Strain (ε) se define como la tasa de cambio en longitud. (Figura 4.1.1)

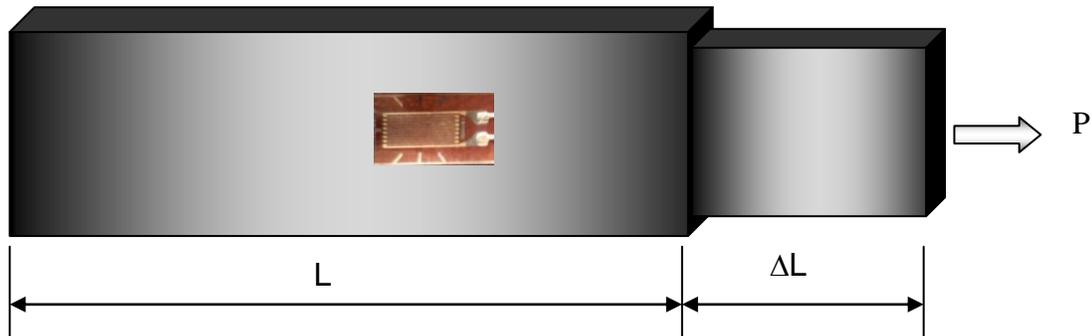


Figura 4.1.1 barra sometida a tracción.

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

Para medir con un Strain Gage se cumple:

$$\varepsilon = \frac{R}{\Delta R} \times GF$$

Donde:

ε : Deformación

GF: Gage Factor

ΔR : Variación de resistencia

R: Resistencia Strain Gage

El parámetro Strain puede ser positivo (tensión) o negativo (compresión), en muchos casos se suele expresar en unidades de milímetros. En la práctica la magnitud de medida del Strain es muy pequeña por lo que usualmente se expresa como microstrain ($\mu \varepsilon$) que es $\varepsilon \times 10^{-6}$

Se conocen varios métodos para medir deformación, pero el más utilizado es mediante un Strain Gage, el cual es un dispositivo cuya resistencia eléctrica varía de forma proporcional a la deformación a que éste es sometido.

El Strain Gage más ampliamente utilizado es el confinado en papel metálico y consiste en un cable muy fino o papel aluminio dispuesto en forma de grilla. Esta grilla, maximiza la cantidad de metal sujeto a la deformación en la dirección paralela. La grilla está pegada a un fino respaldo llamado carrier, el cual está sujeto directamente a la pieza que se desea medir. (Figura 4.1.2) Por lo tanto, la deformación experimentada por la pieza es transferida directamente al Strain Gage, el cual responde con cambios lineales de resistencia eléctrica, por esto es de suma importancia que el Strain Gage sea apropiadamente montado sobre la pieza

Los Strain Gages se encuentran en el mercado con valores nominales de resistencia de 30 a 3000 Ω , siendo los de 120, 350 y 1000 Ω , los valores más comunes.

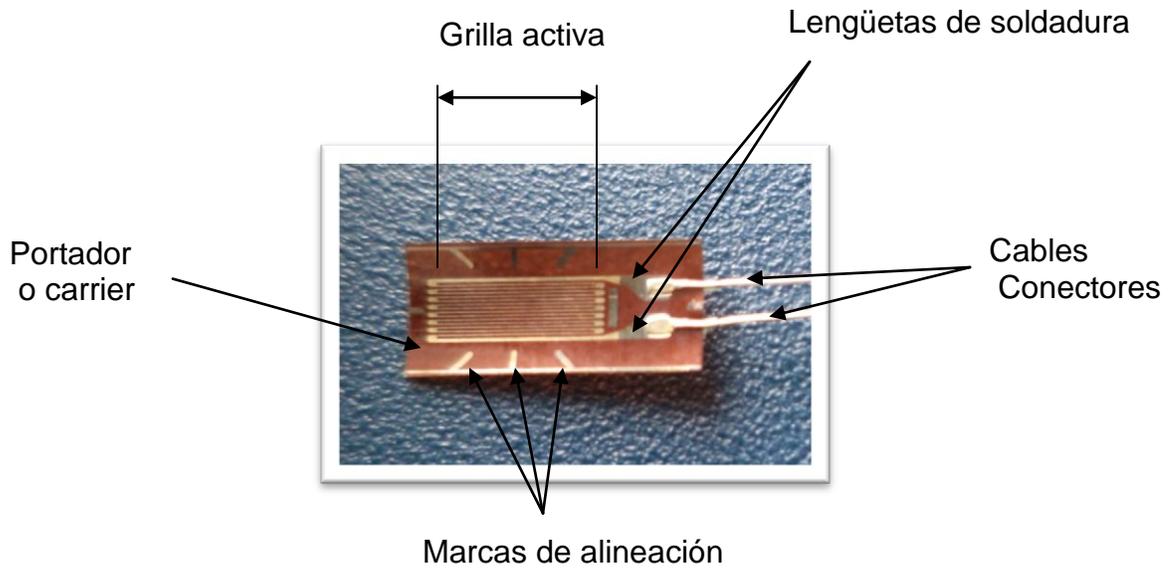


Figura 4.1.2. Strain Gage formado por la grilla y su respaldo o carrier.

Un parámetro fundamental de los Strain Gage es la sensibilidad a la deformación, expresado cuantitativamente como el factor de galga (GF). El factor de galga es definido como la relación de variación fraccional de resistencia eléctrica y la variación fraccional de longitud.

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon}$$

4.2. Selección del Strain Gage

El paso inicial para preparar la instalación de cualquier Strain Gage es la elección de la galga apropiada para la tarea específica. Puede parecer en principio que dicha tarea es un ejercicio simple, pero en realidad no es así. Una selección racional y cuidadosa de las características y parámetros del Strain Gage puede ser muy importante en lo que respecta a:

- La optimización del Strain Gage para condiciones de operación y condiciones ambientales específicas.
- La obtención de una medida de deformación confiable y precisa.
- Facilidad de instalación.
- Minimizar el costo de instalación del Strain Gage.

Básicamente, el proceso de selección de una Galga consiste en determinar una combinación particular de parámetros que sea lo más compatible con las condiciones ambientales y de operación, y al mismo tiempo, que mejor satisfaga la instalación y requerimientos. Estos requerimientos pueden ser:

- Durabilidad
- Estabilidad
- Elongación
- Facilidad de instalación
- Precisión
- Resistencia cíclica
- Resistencia ambiental

El valor no es una consideración primaria en la selección del Strain Gage, pues una significativa economía en la medición se logra con el valor del equipo completo, donde el Strain Gage es solo una pequeña fracción. En muchos casos, es preferible elevar el costo del Strain Gage para disminuir el de la instalación.

4.3. Parámetros del Strain Gage

La instalación y las características de operación del Strain Gage están afectadas por los siguientes parámetros que pueden ser seleccionados en diferentes grados:

- Sensibilidad a la deformación de la aleación.
- Autocompensación de la temperatura.
- Material de respaldo (carrier).
- Resistencia de la grilla.
- Longitud de la galga.
- Patrón de galga.

4.4. Compromiso de selección de Strain Gage

Debemos notar que el proceso de selección de un Strain Gage trae aparejado compromisos. Esto es porque la elección de parámetros que tienden a satisfacer algún requerimiento, puede obrar en contra de otros. Por ejemplo en lugares donde el espacio disponible para la instalación del Strain gage es limitado y el gradiente de esfuerzo es extremadamente elevado, una de las galgas disponibles más cortas parece ser la opción más obvia, sin embargo, las galgas más pequeñas de 3 mm están generalmente caracterizadas por una elongación máxima pequeña, vida útil reducida por fatiga, comportamiento menos estable y mayor dificultad para su instalación. Es necesario llegar a un compromiso global para satisfacer cualquier conjunto de circunstancias, y juzgar ese compromiso en la validez y precisión de los datos obtenidos.

4.5. Tipos de aleaciones para Strain Gages.

El componente principal que determina las características de operación de un strain Gage es la aleación sensible a la deformación que compone la grilla de papel metálico. Sin embargo, la aleación no es en todos los casos un parámetro de selección independiente. Esto es porque cada Strain Gage se diseña como un sistema completo, compuesto por la combinación de un respaldo y un papel metalizado particular.

- Aleación A: Constantan, una aleación de cobre y nickel, autocompensado por temperatura.
- Aleación P: Constantan templado.
- Aleación D: Aleación isoelástica de cromo y nickel.
- Aleación K: Aleación de cromo y nickel, Karma autocompensado por temperatura.

4.5.1. Tabla de aleaciones de Strain Gages.

Tipos aleaciones	Características
<p>Aleación A constantan autocompensado por temperatura.</p>	<p>Esta aleación es la más antigua, y la más usada. Provee la mejor combinación de propiedades para la mayoría de las aplicaciones de los Strain Gages, tiene por ejemplo: alta sensibilidad a la deformación es relativamente insensible a la temperatura, muy buena vida útil, buena capacidad de elongación. Está disponible con los siguientes números de autocompensación de temperatura: 00, 03, 05, 06, 09, 13 y 15 para metales. 18, 30, 40 y 50 para plásticos.</p>

Tipos aleaciones	Características
Aleación P constantan templado.	Esta aleación se emplea en las mediciones de deformación muy grandes (50.000 microstrain), es muy dúctil y en Strain Gages de 3 mm o más puede ser tensado más de un 20%. Esta aleación no es recomendada para emplearla en medidas de deformación producto de esfuerzos cíclicos.
Aleación D isoelástica	Se emplea principalmente en medidas dinámicas de deformación, Posee larga vida útil soportando la fatiga, alto factor de galga (aproximadamente 3.2) lo que mejora la relación señal-ruido en pruebas dinámicas. Esta aleación no posee autocompensación de temperatura por lo tanto no se emplea en medidas estáticas de esfuerzo.
Aleación k autocompensado por temperatura	Se caracteriza por una buena vida útil y excelente estabilidad, se emplea en mediciones estáticas de deformación de alta precisión durante periodos prolongados de tiempo (meses o años). Esta aleación se emplea solo en metales.

4.6. Autocompensación de temperatura

Una importante propiedad compartida tanto por los Strain Gages de constantan como los de Karma es su respuesta a procesos especiales gracias a su autocompensación de temperatura. Las galgas autocompensadas son diseñadas para producir una salida térmica mínima (la temperatura induce a deformaciones aparentes) sobre un rango de temperatura que va desde los -45°C a los $+200^{\circ}\text{C}$ (Figura 4.6.1).

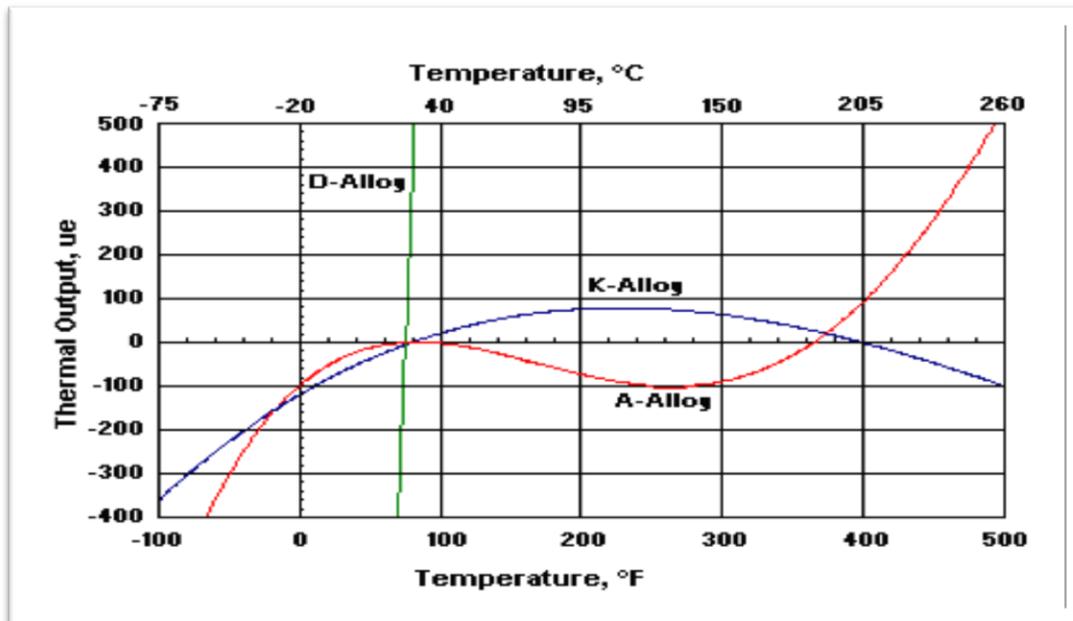


Figura 4.6.1 Curvas de salida en función de la temperatura.

El gráfico térmico de salida ilustra las características térmicas típicas de salida para aleaciones de tipo A y K. La salida térmica de aleaciones no compensadas isoelástica D se incluye en el mismo gráfico con propósitos comparativos. En la práctica el número STC para una galga tipo A o K, se elige lo más próximo posible al coeficiente de expansión termal de la pieza de prueba.

4.7. Material de respaldo o carrier

La confección de Strain Gages se realiza mediante un grabado del papel metálico sobre un material de respaldo o “carrier” que cumpla con las siguientes funciones:

- Proveer el medio de sustento a la grilla metálica durante la instalación.
- Presentar una superficie para confinar y pegar la galga al material de prueba.
- Proveer un aislamiento eléctrico entre la grilla y el material de prueba.

Los materiales de respaldo para Strain Gages son básicamente de dos tipos: poliamida y fibra de vidrio reforzada con epoxi-fenólico. En el caso de las aleaciones sensibles a la deformación, los materiales de respaldo no son parámetros independientes, se presentan en combinaciones de aleaciones y material de respaldo con características constructivas especiales a los que llaman sistemas y se les aplican designadores de series. Como resultado, cuando se llega a un tipo óptimo de galga para una aplicación en particular, el proceso no permite la combinación arbitraria de aleación con material de respaldo sino que requiere la especificación de una de las series disponibles en particular.

A continuación se detallan los diferentes materiales de respaldo, y dado que anteriormente se habló de las distintas aleaciones, se pretende ayudar a la comprensión de las distintas combinaciones.

4.7.1. Poliamida.

La poliamida es un material de respaldo duro, extremadamente flexible y puede ser contorsionado para caber en pequeños radios. Además, debido a la gran resistencia del conjunto material de respaldo- aleación a base de polímeros estas galgas son mucho menos sensibles a ser dañadas durante la instalación. Son una opción ideal para medidas de deformación tanto estáticas como dinámicas con un rango de temperatura que va desde -195 a +175 °C. Este material de respaldo es capaz de soportar grandes elongaciones plásticas excesivas hasta de un 20%.

4.7.2. Fibra de vidrio reforzada.

Los materiales de respaldo de fibra de vidrio reforzada son la mejor elección para un buen desempeño sobre un amplio rango de temperaturas, pueden ser usados tanto para medidas estáticas como dinámicas con un rango de temperatura que va desde -269 a +290 °C. La máxima elongación aceptable por el material es limitada al 1 o 2%.

4.8. Concentración de esfuerzo

La longitud de la galga es usualmente un factor muy importante a la hora de determinar su rendimiento. Las medidas de deformación son realizadas generalmente en los puntos más críticos de una máquina o estructura y frecuentemente las piezas más fatigadas son las que se encuentran sometidas a mayor esfuerzo, donde la gradiente de deformación es más pronunciada y el área de mayor deformación se circunscribe a una pequeña región. Los Strain Gages tienden a promediar el área cubierta por la grilla, por ello el promedio de la distribución de deformación es siempre menor al máximo, un Strain Gage que es más larga que la máxima región de deformación indicará una magnitud de deformación muy bajo.

La figura siguiente (Figura 4.8.a) ilustra de forma representativa la distribución de deformación en la vecindad de la concentración de esfuerzo, y demuestra el error en la deformación indicado para un Strain Gage demasiado largo con respecto a la zona de máximo deformación.

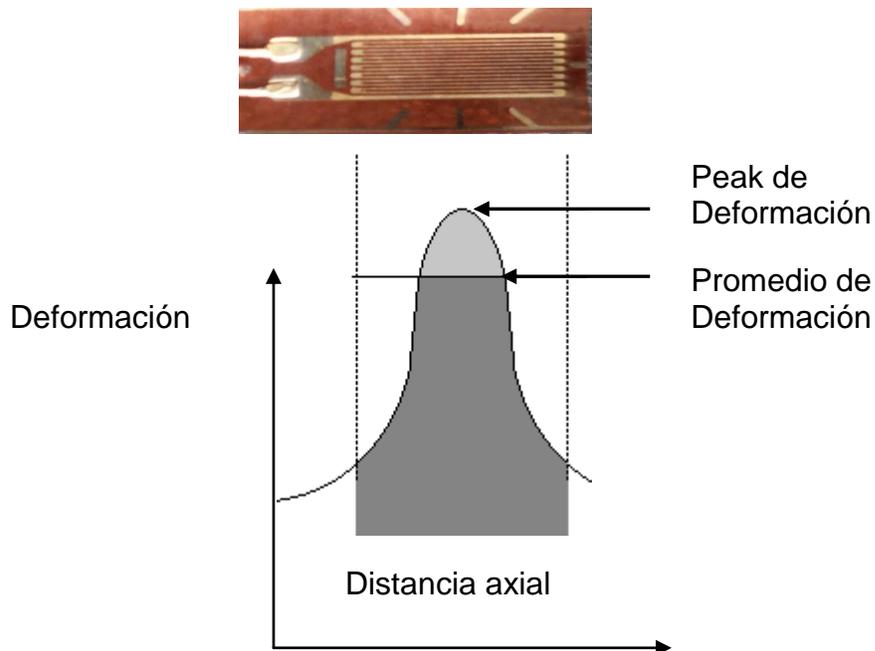


Figura 4.8.a. Strain gage largo con respecto a la zona de máximo deformación.

Como regla general, en lo posible, la longitud de la galga no debe ser mayor a la dimensión del área de máxima deformación para que la medición sea aceptable.

4.8.1. Longitud de una galga

Es la región activa o longitud de la grilla (Figura 4.8.1a) sensible a la deformación de una galga. Los codos y almohadillas de soldadura no se consideran sensibles a la deformación debido a su gran sección transversal y su

baja resistencia eléctrica. Para satisfacer las amplias necesidades de análisis de deformación se ofrecen longitudes de galgas que van de 0.2 mm a 100 mm.

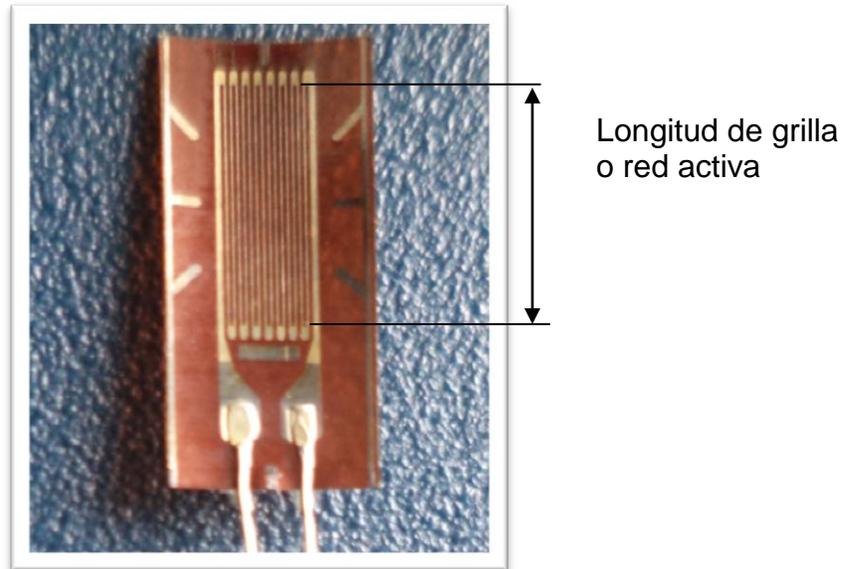


Figura 4.8.1a. Longitud activa de la grilla.

4.8.2. Galgas cortas

Los Strain Gages cuya longitud es de alrededor de 3 mm tienden a exhibir su rendimiento un tanto degradado particularmente con respecto a su máxima elongación, su estabilidad y durabilidad bajo mediciones de deformación cíclicas. Cuando cualquiera de estas características empobrece la precisión de la medición se justifica la utilización de una galga de mayor longitud.

4.8.3. Galgas largas

Las galgas largas ofrecen ciertas ventajas que valen la pena mencionar, son más fáciles de manipular en todos los aspectos de la instalación y cableado, proveen una mejor disipación del calor. Estas consideraciones pueden ser muy importantes a la hora de trabajar sobre materiales plásticos u otros con pobre disipación de calor. Una inadecuada disipación de calor trae una sobre elevación de temperatura en la grilla, material de respaldo, adhesivo y superficie de prueba, y puede afectar notablemente el rendimiento y la precisión.

4.9. Patrón de grilla

El patrón de grilla se refiere a la forma de la grilla, el número y orientación de las grillas en las galgas multi-grillas o rosetas y la configuración de las almohadillas. La gran variedad de patrones disponibles se han diseñado para satisfacer el amplio rango de instalaciones de Strain Gages.

4.9.1. Galgas uniaxiales

Consiste en una galga de simple grilla (Figura 4.9.1a) y en análisis experimentales de deformación, una galga de simple grilla se utilizaría si sólo se conoce de forma fehaciente que el esfuerzo en el punto de medida es uniaxial y la dirección es conocida con una precisión razonable. Estos requerimientos limitan seriamente el campo de aplicación de los Strain Gages de simple grilla en el análisis de deformación y la no consideración de esfuerzos biaxiales pueden llevar a grandes errores de medición.

Una aplicación de Galgas uniaxiales depende particularmente de:

- Almohadillas: Deben ser compatible en tamaño y orientación con el espacio disponible. Además, es importante que el arreglo de almohadillas sea tal que facilite al operario realizar las conexiones pertinentes.
- Ancho de grilla: Cuando existen severos gradientes de deformación perpendiculares al eje de la galga sobre la superficie de prueba, una grilla estrecha minimizará el error por promediación. Las grillas amplias, cuando sean apropiadas para la instalación, mejorarán la disipación de calor y reforzarán la estabilidad, principalmente cuando la galga se instale sobre un material con pobre transferencia de calor.
- Resistencia de galga: En ciertas instancias, la única diferencia entre dos galgas disponibles es la resistencia eléctrica (típicamente 120 Ω contra 350 Ω). Cuando existen estas opciones, la galga con mayor resistencia se prefiere pues reduce la generación de calor por un factor de tres. Además cuando las galgas incluyen fuentes aleatorias de resistencia variable, la

relación señal ruido se ve mejorada con galgas con resistencia mayor para el mismo nivel de potencia.

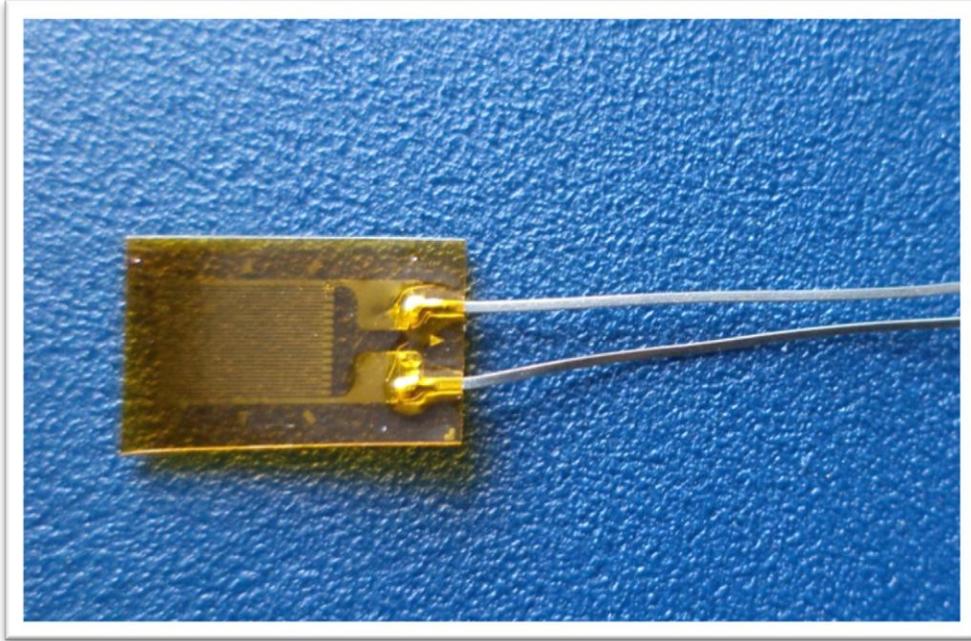


Figura 4.9.1a. Galga uniaxial.

4.9.2. Rosetas

Para estados biaxiales de esfuerzos, una roseta de dos o tres elementos puede ser requerida para determinar las principales deformaciones. Cuando las direcciones de las deformaciones se conocen de antemano, una roseta de dos elementos, 90° , puede ser empleada con las direcciones de los ejes alineadas con las deformaciones (Figura 4.9.2a)

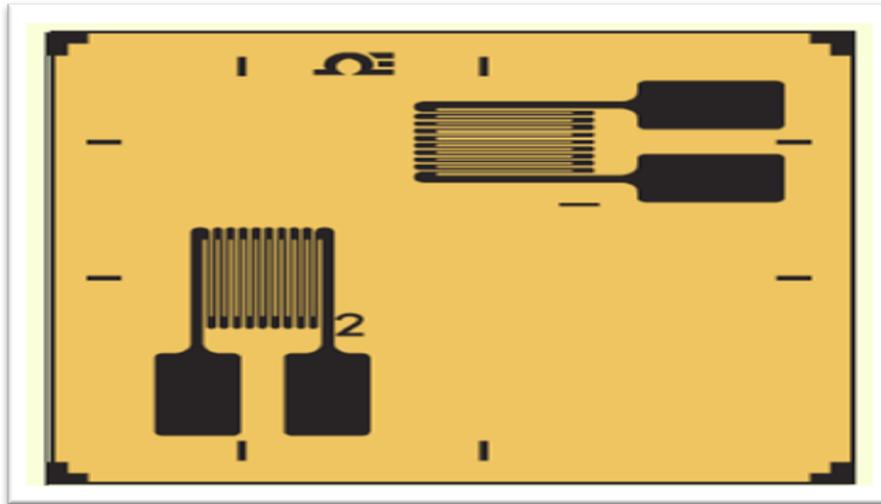


Figura 4.9.2a. Roseta simple - plana de dos elementos 90° .

Las direcciones principales de las deformaciones pueden ser determinadas con suficiente precisión por varios métodos. Por ejemplo, la forma de un objeto y el modo en que se carga pueden ser de manera tal que resulten obvias por la simetría del problema.

En la mayoría de los casos cuando las direcciones principales de las deformaciones no son conocidas se debe emplear una roseta de tres elementos (Figura 4.9.2b) Dicha roseta puede ser ubicada con cualquier orientación, pero usualmente se dispone de manera que una de sus grillas se encuentre alineada con un eje principal de la pieza a medir.

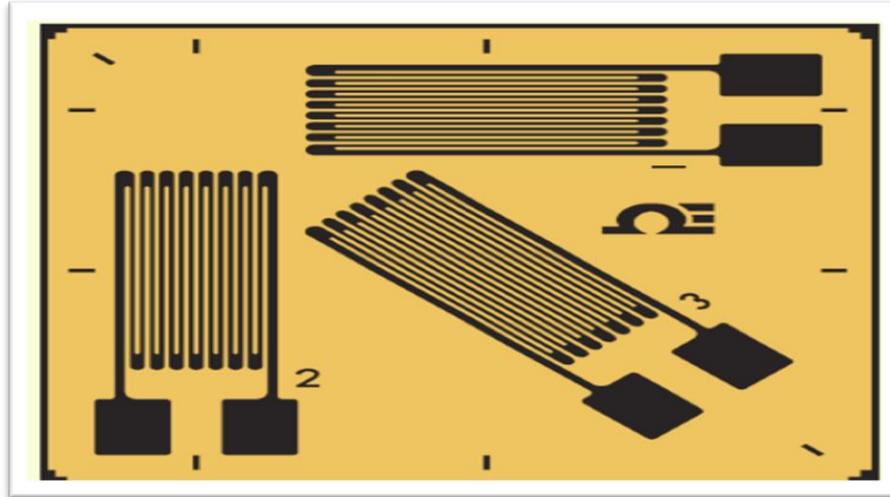


Figura 4.9.2b. Roseta simple - plana de tres elementos 0°/45°/90°.

Cuando se piensa utilizar una roseta, debemos ser cuidadosos y tener en consideración si es simple-plana o es apilada. La roseta simple plana (Figura 4.9.2c) es mejor que la apilada en la transferencia de calor a la pieza de prueba y generalmente provee de mejor estabilidad y precisión para mediciones estáticas de deformación. Más aún, cuando existe una gradiente de esfuerzo significativo perpendicular a la superficie de esfuerzo (estanques de almacenamiento de gas), la roseta simple-plana arroja datos de deformación más precisos pues todas las áreas se encuentran más próximas a la superficie de la pieza de prueba.

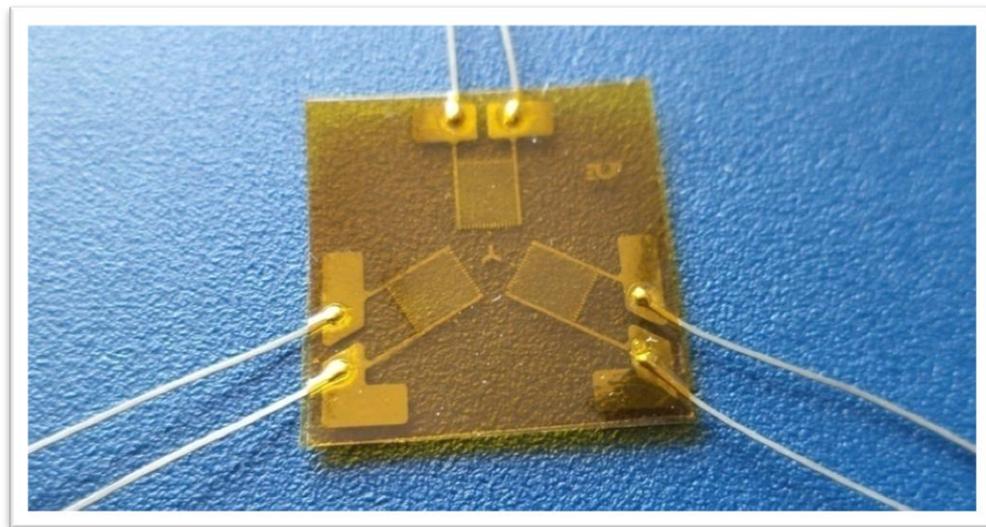


Figura 4.9.2c. Roseta simple-plana 0°/120°/240°.

Por otro lado, cuando hay largos gradientes de esfuerzo sobre la superficie de la pieza de prueba, la roseta simple-plana puede producir errores en la indicación de deformación puesto que las grillas muestrean la deformación sobre diferentes puntos, para este tipo de aplicaciones se recomienda la roseta apilada (Figuras 4.9.2d y 4.9.2e).

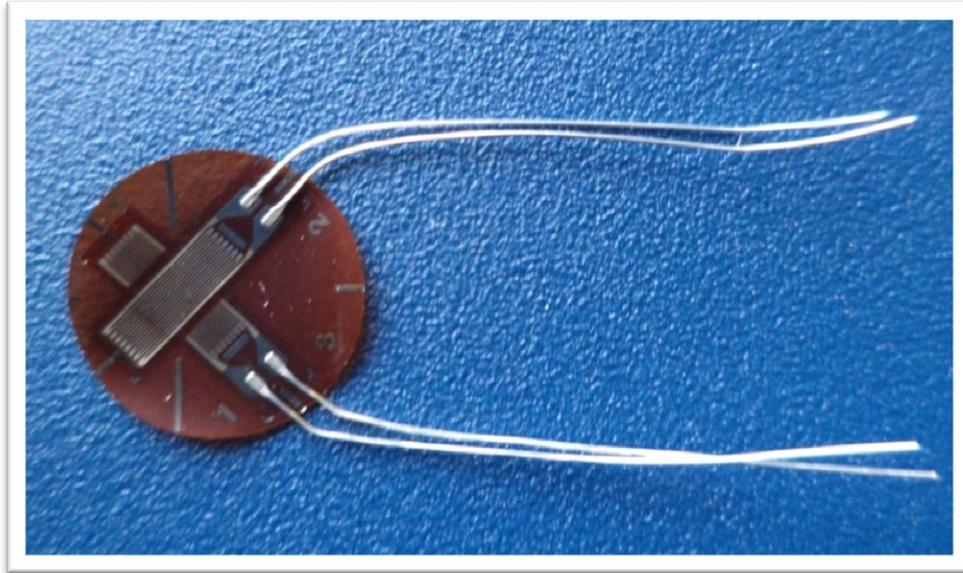


Figura 4.9.2d. Roseta apilada de dos elementos 90°.

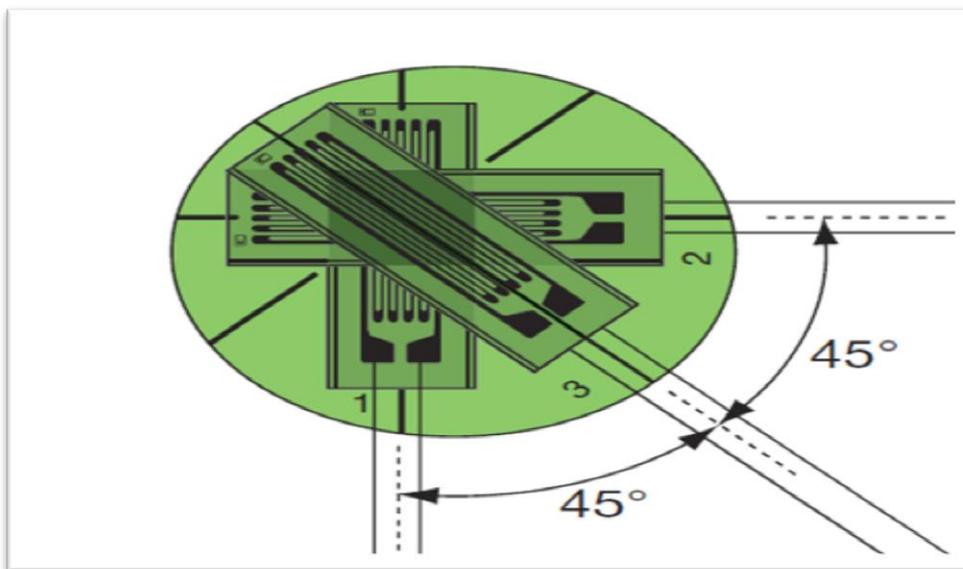


Figura 4.9.2e. Roseta apilada de tres elementos a 45°.

CAPÍTULO V

RECOPIACIÓN DE STRAIN GAGES EMPLEADOS EN CADETECH S.A.

5.1. Criterios de selección de modelo de Strain Gages.

El rendimiento de un strain gage para cualquier aplicación se ve afectado por cualquier elemento que interviene en el diseño y manufactura, existe una gran variedad de tipos de strain gages para cumplir con un amplio rango de medidas de deformación. A pesar del gran número de variables en juego, el proceso de selección de un Strain Gage se puede resumir en unos pocos pasos.

Basándonos en el sistema de designación de modelo de strain Gages aplicados por OMEGA, KYOWA proveedores de la empresa CADETECH S.A. se pueden ver seis criterios, con sus diferentes parámetros que son:

- Longitud.
- Patrón de galga.
- Serie.
- Opciones.
- Resistencia.
- Número STC.

5.1.1.-Selección longitud de banda.

La longitud de banda es un factor muy importante, ya que las medidas de deformación se hacen en los puntos más críticos de una parte de una estructura o máquina, y el área de máxima deformación está limitada a una región muy pequeña. El strain Gage tiende a promediar la deformación cubierta por la grilla de este modo una banda más larga que la región de deformación máxima, indicará una magnitud de deformación demasiado baja.

Las bandas de longitud menor a 3 mm. Tienden a presentar un funcionamiento menos confiable en lo que respecta a elongación máxima, estabilidad y resistencia, por ello las longitudes de banda de mayor uso son entre 3 a 5 mm.

Parámetros:

- Área de deformación máxima.
- Precisión requerida.
- Elongación máxima.
- Disipación térmica
- Espacio para la instalación.
- Facilidad de instalación.

5.1.2.- Selección de forma de la banda.

La forma de la banda incluye: la forma de la grilla, el número de grillas y la orientación de estas. Cuando la dirección de la tensión es uniaxial y conocida con precisión se emplea una galga con una sola grilla alineada en la dirección de la tensión. Para estados de tensión biaxial se requiere una roseta de dos o tres elementos para poder determinar las deformaciones principales.

Al utilizar una roseta debemos tener presente que una roseta simple plana brindara mejor estabilidad y precisión en gradientes de deformación perpendiculares a la superficie de ensayo junto con una mayor disipación de la temperatura. Con la roseta apilada se obtienen mejores datos cuando hay gradientes de deformación en el plano de la superficie que se desea medir, además es una ventaja cuando el espacio para una roseta simple plana es limitado.

Parámetros:

- Gradientes de deformación.
- Biaxialidad de esfuerzo.
- Disipación térmica.
- Espacio para instalación.
- Facilidad de instalación.

5.1.3.- Selección de serie de banda.

Como se dijo en las secciones anteriores, la aleación sensible a la deformación y el material de respaldo no son parámetros independientes, ni pueden ser sometidos a una combinación arbitraria, cada serie existente incorpora diseño o características de construcciones especiales.

Parámetros:

- Tipo de aplicación de medida de deformación (estática, dinámica).
- Temperatura de operación.
- Tipos de conexión.
- Factor de galga.
- Máxima deformación.
- Fatiga.

5.1.4.- selección de características opcionales.

Se ofrecen una selección de artículos opcionales para las bandas extensométricas, la adición de opciones a la construcción básica de la banda normalmente aumenta el costo, pero este es generalmente compensado con los beneficios (ver tabla de opciones) Son ejemplos:

- Reducción significativa del tiempo de instalación.
- Reducción del nivel de destreza necesario para conseguir instalaciones seguras.
- Aumento de la protección de la banda en el manejo durante la instalación, y una protección contra el medio ambiente durante la medición.
- Aumento en la seguridad de las aplicaciones, ya que permiten la adhesión de conductores de mayor diámetro de sección y más largos.

Parámetros:

- Tipo de medida (estática, dinámica).
- Requerimiento de estabilidad.
- Espacio disponible para la instalación.
- Restricciones de tiempo de instalación.

5.1.4.1 Tabla de características opcionales de los Strain gages.

OPCIÓN	BREVE DESCRIPCIÓN
W	<p>Terminales integrales:</p> <p>Los terminales integrales están soldados al final de las lengüetas de soldadura del Strain Gage, permiten la adhesión directa de conductores más largos y de diámetros más grandes, además permiten un alivio de tensiones en la conexión del Strain Gage.</p>
E	<p>Encapsulado con lengüetas al descubierto:</p> <p>El encapsulado protege a la grilla de huellas dactilares y agentes contaminantes durante la instalación y su traslado, con lo que contribuye a la estabilidad de la banda a largo plazo.</p>
SE	<p>Soldadura por puntos y encapsulado:</p> <p>La opción SE es para bandas pequeñas que deben ser instaladas en áreas restringidas, ya que los conductores pueden ser colocados a las soldaduras por puntos en cualquier dirección.</p>
L	<p>Conductores preadheridos:</p> <p>Esta opción provee cintas de conducción de cobre blando y bandas de cara abierta con protección de poliamida, lo que da como resultado una banda más delgada y más adaptable, la cinta está diseñada de modo que funcione en cualquier dirección</p>
LE	<p>Conductores preadheridos y encapsulación:</p> <p>La opción LE además de proveer cintas de conducción de cobre blando, proporciona un encapsulado que le brinda protección tanto en el traslado como en la instalación permitiendo a la banda una estabilidad a largo plazo.</p>

5.1.5- Selección de resistencia de la banda.

La resistencia de la galga tiene valores típicos de 120 Ω o 350 Ω . Existen ventajas al seleccionar una banda de 350 Ω de resistencia, si esta es compatible con los instrumentos para realizar la medición. Esta resistencia en comparación con la de 120 Ω reduce el coeficiente de generación de calor por un factor de tres, además mejora la relación señal ruido.

Valores de resistencia de 1000 Ω son usados cuando el objeto en estudio tiene bajas características de conducción de calor (plástico).

Parámetros:

- Disipación térmica
- Relación señal ruido.

5.1.6.- Número de autocompensación de temperatura (STC).

Las propiedades de algunas aleaciones de bandas extensométricas tienen la particularidad de minimizar la salida térmica en un amplio rango de temperaturas, cuando se adhieren a materiales con coeficiente de expansión térmica para los cuales han sido pensadas. El número STC (número de auto compensación de temperatura) es una aproximación al coeficiente de expansión térmica del material estructural sobre el cual la banda mostrará la mínima salida térmica, este número en algunos casos es asignado por cada fabricante de Strain gage.

Parámetros:

- Material del elemento a medir.
- Rango de temperatura de operación.
- Precisión requerida.

5.1.6.1 Tabla de números de autocompensación de temperatura (STC) y de coeficientes de expansión térmica de los metales.

NÚMERO STC	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA °C	MATERIAL
00	1.4 0.5 0.03	Invar Cuarzo fundido Silicato de titanio
03	5.4 4.9 4.3 5.6	Alúmina cosida Molibdeno Tungsteno Zirconio
05	9.2 9.9 8.6 8.8	Vidrio Acero inoxidable Ferrítico (410) Titanio puro Aleación de titanio
06	11.5 10.8 12.6 12.1 13.5 11.9 11.3 12.1 10.8 10.3 9.0	Berilio puro Hierro fundido Aleación Inconel forjado Aleación Inconel X Aleación Monel Aleación Niquel A Acero 4340 Acero carbono, 1008, 1018 Acero inoxidable (17-4PH) Acero inoxidable (17-7PH) Acero inoxidable (PH 15-7Mo)
09	16.7 18.4 16.5 17.3 14.4 16.0	Berilio cobre Bronce Cobre Acero inoxidable 304 Acero inoxidable 310 Acero inoxidable 316
13	23.2 20.0 23.4	Aleación de Aluminio 2024-T4 / 7075-T6 Latón Estaño puro
15	26.1	Aleación de Magnesio AZ-31B

5.2. STRAIN GAGE OMEGA.

Los strain gage Omega están disponibles en una variedad de modelos que cubren la mayoría de las aplicaciones de mediciones de deformación. Su construcción resistente y flexible lo hace adecuado para la medición estática y dinámica de alta precisión. La grilla o rejilla de medición está formada por una aleación de Constantan que luego se sella completamente con un medio de soporte o carrier (portador) compuesto de una película de poliamida o de Kapton, de acuerdo a la serie del Strain Gage.

El número de compensación de temperatura de los strain gages Omega son asignados de acuerdo al modelo y a la aleación para la cual fue diseñado.

La siguiente tabla muestra las especificaciones de las dos series que componen Los modelos de Strain gages Omega.

5.2.1 Tabla de especificaciones Strain Gages OMEGA.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	SERIE SGD	SERIE KFG
GRILLA Y PORTADOR		
Aleación de la grilla	Constantan	Constantan
Aleación del portador	Poliamida	Kapton
Tipos de conexión	Cables de cinta o soldadura por puntos	Cables de polivinilo con aislamiento
RESISTENCIA		
Resistencia nominal	120, 350, 1000 Ω	120, 350 Ω
Factor de galga	Aprox. 2.0	2.1 \pm 10 %
PROPIEDADES TÉRMICAS		
Temperatura de referencia	23 °C	23 °C
Temperatura de servicio mediciones estáticas	- 30 a 250 °C	- 20 a 100 °C
Temperatura de servicio mediciones dinámicas	- 30 a 300 °C	- 20 a 100 °C
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Máxima deformación	3% o 30.000 $\mu\epsilon$	5% o 50.000 $\mu\epsilon$
Fatiga a \pm 1.500 $\mu\epsilon$	> a 10.000.000 ciclos	> a 10.000.000 ciclos
Radio de flexión	3mm (1/8 plg.)	3mm (1/8 plg.)

5.2.2 Adhesivos OMEGA.

Omega ofrece tres tipos de adhesivos para su aplicación en Strain Gages: TT300, SG496 Y SG401.

Cemento TT300.

Cemento adhesivo epóxico que consta de dos componentes que se utiliza para unir bandas con respaldo de poliamida a la pieza a la cual se mide la deformación. El kit incluye dos botellas: Una de resina y otra de endurecedor, se mezclan ambas botellas y se agitan durante un minuto.

La vida útil de la mezcla es de seis semanas a temperatura ambiente, la vida útil de los componentes por separado es indefinida, siempre que las botellas se mantengan cerradas herméticamente. El rango de temperatura de aplicación es hasta los 200°C.

El kit incluye:

- 2 oz. De acetona.
- Cebador de ácido.
- Neutralizador.
- Colofonia para limpieza y preparación de superficie.
- 2 embudos.
- 2 cepillos.

El valor del kit es de US \$ 220.

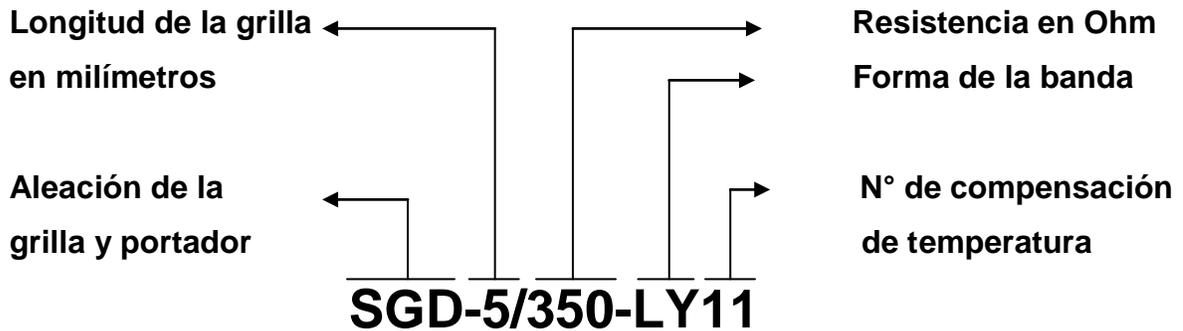
Adhesivo instantáneo SG496 y SG401.

Son adhesivos de uso general y de curado en frío. Ellos son los adhesivos más comúnmente utilizados para las bandas extensométricas, su curado es en un minuto. El adhesivo SG496 es un cianoacrilato basado en metilo y el SG401 es un cianoacrilato basado en etilo. Tienen una vida útil de un año a temperatura ambiente, pero la vida útil puede ser más larga a temperaturas más frías. El rango de temperaturas de aplicación de estos adhesivos es de -54 a 82 °C.

El valor: SG496 US\$ 28.

SG401 US\$ 10.

5.2.3 Designación estándar para los Strain Gage OMEGA.

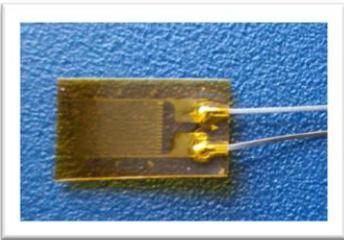


Observando la designación estándar se elige la galga SGD-5/350-LY 11 de la marca OMEGA. Esta galga es de la serie SGD, esto significa que la grilla es de aleación de Constantan, combinada con una base de Poliamida resistente y flexible. Este tipo de Galga está diseñada para el análisis de medición estática y dinámica de propósito general.

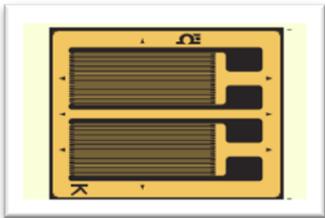
El rango de temperatura de operación es de -30 a 250 °C para mediciones estáticas y de -30 a 300 °C para mediciones dinámicas. El rango de deformación máxima es de un 3%. La longitud de la grilla es de 5 milímetros, su resistencia es de 350 Ω , el modelo de la banda es LY lo que significa que es una galga para mediciones de deformación en un estado de esfuerzo uniaxial y el número 11 que es el número de compensación de temperatura significa que está diseñada para medir deformación en aleaciones de acero.

Es importante mencionar que la marca OMEGA tiene para cada forma de banda sus números de compensación de temperatura, los cuales se muestran a continuación.

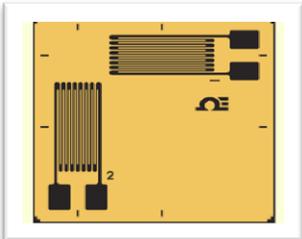
5.2.4 Formas de banda y sus respectivos números de autocompensación de temperatura de Strain Gage OMEGA

FORMA DE BANDA	TERMINALES	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
<p style="text-align: center;">LY</p> 	Cables de cinta	11 Acero
	Cables de cinta	13 Aluminio
	Soldadura por puntos	41 Acero
	Soldadura por puntos	43 Aluminio

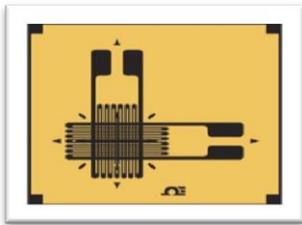
5.2.4.1 Forma de banda LY: Consiste en una galga de simple grilla. Disponible en una variedad de medidas. Se utiliza sólo si se conoce que la deformación en el punto de medida es uniaxial, y la dirección de la deformación es conocida con precisión razonable. Se emplea en mediciones de deformación estáticas con rangos de temperatura de -30 a 250 °C y en mediciones de deformación dinámicas con un rango de temperatura de -30 a 300 °C.

FORMA DE BANDA	TERMINALES	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
<p style="text-align: center;">DY</p> 	Cables de cinta	11 Acero
	Cables de cinta	13 Aluminio
	Soldadura por puntos	41 Acero
	Soldadura por puntos	43 Aluminio

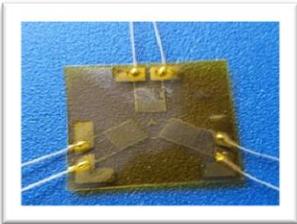
5.2.4.2 Forma de banda DY: Consiste en una galga de doble grilla. Se emplea en la medición de deformación de flexión, muy flexible y resistente mecánicamente. Su rango de temperatura de servicio es de -30 a 250 °C para mediciones de deformación estática y de -30 a 300°C para mediciones de deformación dinámicas.

FORMA DE BANDA	TERMINALES	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
<p style="text-align: center;">RYB</p> 	Cables de cinta	21 Acero
	Cables de cinta	23 Aluminio
	Soldadura por puntos	81 Acero
	Soldadura por puntos	83 Aluminio

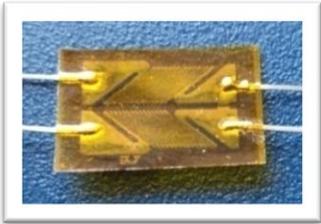
5.2.4.3 Forma de banda RYB: Consiste en una roseta para mediciones de deformación en estados de esfuerzo biaxial, es una roseta a 90° de dos elementos, disponible en una variedad de medidas y de uso general. Se emplea en mediciones de deformación estáticas con rangos de temperatura de -30 a 250 °C y en mediciones de deformación dinámicas con un rango de temperatura de -30 a 300 °C.

FORMA DE BANDA	TERMINALES	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
<p style="text-align: center;">XY</p> 	Cables de cinta	11 Acero
	Cables de cinta	13 Aluminio
	Soldadura por puntos	41 Acero
	Soldadura por puntos	43 Aluminio

5.2.4.4 Forma de banda XY: Consiste en una galga de doble grilla, para medidas de esfuerzo axial 90°. Se emplea cuando la dirección de las deformaciones no es conocida y solo se sabe que son deformaciones de dirección patrón x-y, Se emplea en mediciones de deformación estáticas con rangos de temperatura de -30 a 250 °C y en mediciones de deformación dinámicas con un rango de temperatura de -30 a 300 °C.

FORMA DE BANDA	TERMINALES	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
<p style="text-align: center;">RY</p> 	Cables de cinta	41 Acero
	Cables de cinta	43 Aluminio
	Soldadura por puntos	71 Acero
	Soldadura por puntos	73 Aluminio

5.2.4.5 Forma de banda RY: Consiste en una roseta para medición de deformación en esfuerzos biaxiales de 0°/60°/120° tres elementos. Se emplea cuando la dirección de las deformaciones no es conocida, la roseta de tres elementos puede ser ubicada en cualquier orientación, se debe disponer que una de sus grillas se encuentre alineada con un eje principal de la pieza que se está midiendo. Se emplea en mediciones de deformación estáticas con rangos de temperatura de -30 a 250 °C y en mediciones de deformación dinámicas con un rango de temperatura de -30 a 300 °C.

FORMA DE BANDA	TERMINALES	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
<p style="text-align: center;">TY</p> 	Cables de cinta	47 Acero inoxidable
	Cables de cinta	41 Acero al carbono
	Cables de cinta	43 Aluminio

5.2.4.6 Forma de banda TY: Consiste en una roseta de torque de dos elementos cuatro cables. Se emplea para medir deformación en barras a torsión pura, se debe instalar de modo que la separación central de los dos elementos sea alineado a lo largo del eje principal de la barra. Se utiliza con un rango de temperatura de -30 a 300 °C.

5.3 STRAIN GAGE KYOWA.

Los strain gage KYOWA de la serie KFG están disponibles en una variedad de modelos y son de propósito general. Su excepcional construcción resistente a la humedad y su flexibilidad los hace adecuados para la medición de deformación estática y dinámica de alta precisión tanto en lugares interiores como exteriores. La grilla o rejilla de medición está formada por una aleación de Constantan que luego se sella completamente con un medio de soporte o carrier (portador) compuesto de una película de poliamida.

El número de compensación de temperatura de los strain gages KYOWA es de acuerdo a la aleación para la cual fue diseñado y son representativos de un color con el cual se fabrica el strain gage.

La siguiente tabla muestra las especificaciones de los strain gages KYOWA

5.3.1 Tabla de especificaciones Strain Gage KYOWA.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	SERIE KFG
GRILLA Y PORTADOR	
Aleación de la grilla	Constantan
Aleación del portador	Poliamida
Tipos de conexión	Cables de cobre recubierto con poliéster
RESISTENCIA	
Resistencia nominal	120, 350, 500, 1000 Ω
Factor de galga	Aprox. 2.1
PROPIEDADES TÉRMICAS	
Temperatura de referencia	23 °C
Temperatura de servicio mediciones estáticas y dinámicas.	- 196 a 150 °C
PROPIEDADES MECÁNICAS	
Máxima deformación	5% o 50.000 $\mu\epsilon$
Fatiga a $\pm 1.500 \mu\epsilon$	> a 12.000.000 ciclos

5.3.2 Adhesivos KYOWA.

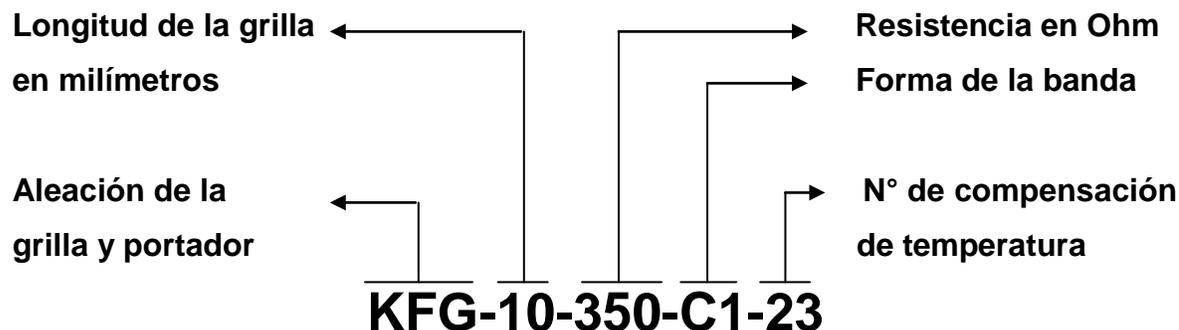
Para obtener buenos resultados en la medición, el medidor de deformación debe estar completamente adherido al objeto de medición. También es importante seleccionar el adhesivo adecuado para cada material.

5.3.2.1 Tabla de adhesivos Kyowa y sus aplicaciones

ADHESIVO	TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO °C	MATERIALES DE MAYOR APLICACIÓN
CC-33	-196 a 120	Metales: Acero, Acero inoxidable, Cobre, Aluminio, Aleaciones A1050/A2024. Plásticos: Acrilato, Cloruro de vinilo, Nylon. Materiales compuestos: CFRP, GFRP, Placas de circuito impreso. Gomas
CC-35	-30 a 120	Concreto, Mortero, Madera
CC-36	-10 a 100	Metales: Acero, Acero inoxidable, Cobre, Aluminio, Aleaciones A1050/A 2024, A 7075, Aleaciones de magnesio. Plásticos: Acrilato, Cloruro de vinilo, Nylon, Polipropileno. Materiales compuestos: CFRP, GFRP, Placa de circuito impreso. Concreto. Mortero. Madera. Goma.
EP-34B	-55 a 200	Metales: Acero, Acero inoxidable, Cobre, Aluminio. Plásticos: Acrilato, Cloruro de vinilo, Nylon, Polipropileno. Materiales compuestos: CFRP, GFRP, Placa de circuito impreso.

ADHESIVO	TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO °C	MATERIALES DE MAYOR APLICACIÓN
EP-18	-50 a 100	Metales: Acero, Acero inoxidable, Cobre, Aluminio. Plásticos: Acrilato, Cloruro de vinilo, Nylon, Polipropileno.
PC-600	-269 a 250	Metales: Acero, Acero inoxidable, Cobre, Aluminio.
PI-32	-269 a 350	Metales: Acero, Acero inoxidable, Cobre, Aluminio.

5.3.3 Designación estándar para los Strain Gage KYOWA.

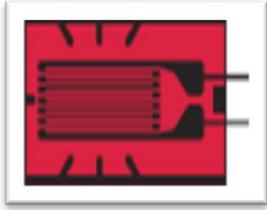


Observando la designación estándar se elige la galga KFG-10-350-C1-23 de la marca KYOWA. Esta galga es de la serie KFG, esto significa que la grilla es de aleación de Constantan combinada con una base de Poliamida resistente y flexible, es de propósito general para la medición estática y dinámica de alta precisión tanto en lugares interiores como exteriores. El rango de temperatura de operación es de -196 a 150 °C.

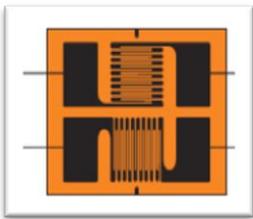
El rango de deformación máxima es de un 5%. La longitud de la grilla es de 10 milímetros, su resistencia es de 350 Ω , el modelo de la banda es C1 lo que significa que es una galga para estado de esfuerzo uniaxial y el número 23 que es el número de compensación de temperatura significa que está diseñada para medir deformación en aleaciones de aluminio.

Es importante mencionar que la marca KYOWA tiene para cada material un color base en sus Strain Gage, con lo que distingue sus números de compensación de temperatura, los cuales se muestran a continuación.

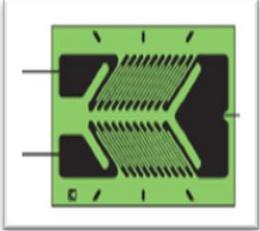
5.3.4 Formas de banda, color y sus respectivos números de autocompensación de temperatura de Strain Gage KYOWA

FORMA DE BANDA	COLOR STRAIN GAGE	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
<p style="text-align: center;">C1</p> 	Rojo	11 Acero común
	Naranja	16 Acero inoxidable
	Verde	23 Aluminio
	Amarillo	27 Aleación de magnesio

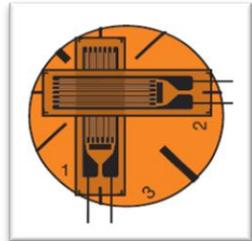
5.3.4.1 Forma de banda C1: Consiste en una galga de simple grilla. Disponible en una variedad de medidas, se utiliza en mediciones de deformación cuando el esfuerzo es uniaxial y la dirección de la deformación es conocida con precisión razonable. Se emplea en mediciones de deformación estáticas y dinámicas con rangos de temperatura de -196 a 150 °C.

FORMA DE BANDA	COLOR STRAIN GAGE	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
<p style="text-align: center;">D1</p> 	Rojo	11 Acero común
	Naranja	16 Acero inoxidable
	Verde	23 Aluminio
	Amarillo	27 Aleación de magnesio

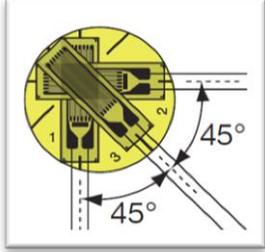
5.3.4.2 Forma de banda D1: Es una roseta para mediciones de deformación en estados de esfuerzo biaxial, de 0°/ 90° dos elementos, disponible en una variedad de medidas y se emplea en diferentes materiales, su principal aplicación es en la medición de deformación en aviones. Para mediciones estáticas y dinámicas con rangos de temperatura de -196 a 150 °C.

FORMA DE BANDA	COLOR STRAIN GAGE	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
<p style="text-align: center;">D2</p> 	Rojo	11 Acero común
	Naranja	16 Acero inoxidable
	Verde	23 Aluminio
	Amarillo	27 Aleación de magnesio

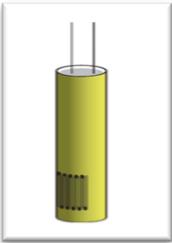
5.3.4.3 Forma de banda D2: Consiste en una roseta de torque de dos elementos tres cables. Se emplea para medir deformación en barras a torsión pura se debe instalar de modo que la separación central de los dos elementos sea alineado a lo largo del eje principal de la barra. Se utiliza en un rango de temperatura de -196 a 150 °C.

FORMA DE BANDA	COLOR STRAIN GAGE	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
<p style="text-align: center;">D16</p> 	Rojo	11 Acero común
	Naranja	16 Acero inoxidable
	Verde	23 Aluminio
	Amarillo	27 Aleación de magnesio

5.3.4.4 Forma de banda D16: Consiste en una roseta apilada de dos elementos de 0°/90° para medidas de deformación en estado de esfuerzo biaxial. Se emplea cuando la dirección de la deformación no es conocida y solo se sabe que son deformaciones de dirección patrón x-y, Se emplea en mediciones de deformación estáticas y dinámicas con rangos de temperatura de -196 a 150 °C.

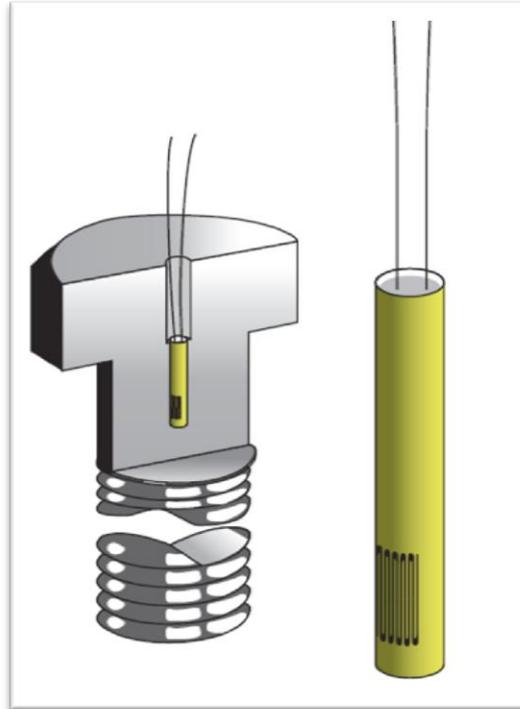
FORMA DE BANDA	COLOR STRAIN GAGE	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
D17 	Rojo	11 Acero común
	Naranja	16 Acero inoxidable
	Verde	23 Aluminio
	Amarillo	27 Aleación de magnesio

5.3.4.5 Forma de banda D17: Consiste en una roseta apilada de tres elementos de 0°/45°/90° para mediciones de deformación en estados de esfuerzo triaxial, se emplea cuando la dirección de las deformaciones no son conocidas, la roseta de tres elementos puede ser ubicada en cualquier orientación, se debe disponer que una de sus grillas se encuentre alineada con un eje principal de la pieza que se está midiendo. Se emplea en mediciones de deformación estáticas y dinámicas con rangos de temperatura de -196 a 150 °C.

FORMA DE BANDA	COLOR STRAIN GAGE	N° DE COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA
C20 	Amarillo	11 Acero común

5.3.4.6 Forma de banda C20: Consiste en una banda extensométrica de simple grilla para mediciones de deformación en estados de esfuerzo uniaxial, se une a la superficie de un perno para medir la deformación producida por el apriete. La banda permite medir incorporándose a través de un agujero de 2 mm de diámetro, el cual se perfora en la parte superior de la cabeza del perno. Se encuentran en dos medidas de longitud de grilla de 1.5 y de 3.0 mm. Son aplicables a materiales que tienen un coeficiente de dilatación térmica de 11 (Acero común).

Su resistencia es de solo 120Ω y su factor de galga es de 1.9.



CAPÍTULO VI

MEDICIONES CON STRAIN GAGES.

6.1. Consideraciones al medir con Strain gages.

Idealmente, un strain Gage pegado a un elemento para obtener medidas de deformación respondería únicamente a la deformación aplicada en el elemento, y no se vería afectada por otras variables del medio ambiente. Desgraciadamente, la resistencia eléctrica del strain gage no solo varía con la deformación, sino también con la temperatura. Esta desviación es importante y puede causar errores significativos sino se tienen en cuenta adecuadamente.

Una vez que un Strain Gage está instalado y conectado a un indicador de deformación y que el instrumento está equilibrado, un cambio posterior en la temperatura de la instalación de la banda producirá normalmente un cambio en la resistencia. Este cambio de la resistencia inducido por la temperatura es independiente y no está relacionado con la deformación mecánica del elemento en el cual está pegado el Strain Gage, esto es llamado salida térmica de la banda.

La salida térmica de la banda es la fuente de error más seria en la práctica de medida de deformación, de hecho al medir deformaciones a temperaturas distantes de la temperatura ambiente o de la temperatura de equilibrio inicial del circuito, el error debido a la salida térmica sino se controla puede ser mayor que la magnitud de la deformación que va a ser medida. A cualquier temperatura o rango de temperatura, este error requiere una consideración y es normalmente necesario compensar o corregir.

La salida térmica es causada por dos efectos: primero, la resistividad eléctrica de la grilla conductora la cual es un tanto dependiente de la temperatura y el segundo efecto es la expansión térmica diferencial entre la grilla conductora y el elemento en medición, ya que con el cambio de temperatura si el elemento se expande o se comprime la grilla es forzada a experimentar los mismos cambios, producto que el Strain Gage está firmemente unido al elemento en medición.

El error se puede corregir con una aplicación de medida de deformación que es particularmente adaptable a la compensación de salida térmica con una segunda banda. Esta clase de aplicaciones se emplea en dos puntos diferentes, pero deben ser adyacentes térmicamente. Se incluyen en esta aplicación a barras a torsión pura, vigas a flexión, columnas, etc. En estas aplicaciones, la banda de compensación con frecuencia se puede localizar estratégicamente en la pieza a medir de forma que se provean dos bandas activas que permanezcan a las mismas variaciones de temperatura, mientras que las deformaciones medidas son contrarias en signos. Las dos bandas con ramas adyacentes del circuito de puente de Wheatstone funcionan como medio puente activo.

6.2. Corrección de la salida térmica para medición de deformación en una viga.

Cuando las medidas de deformación se van a realizar en una viga que es suficientemente delgada para que bajo estas condiciones las temperaturas en las dos superficies normales opuestas al plano de flexión sean las mismas, las dos bandas extensométricas se pueden instalar directamente enfrentadas en estas superficies (Figura 6.2.1). El medio puente activo así formado dará compensación efectiva de temperatura dentro de un rango razonable de temperatura (Figura 6.2.2). Como las deformaciones medidas por las bandas son iguales en magnitud y opuestas en signos, doblarán la señal de salida del puente de Wheatstone.

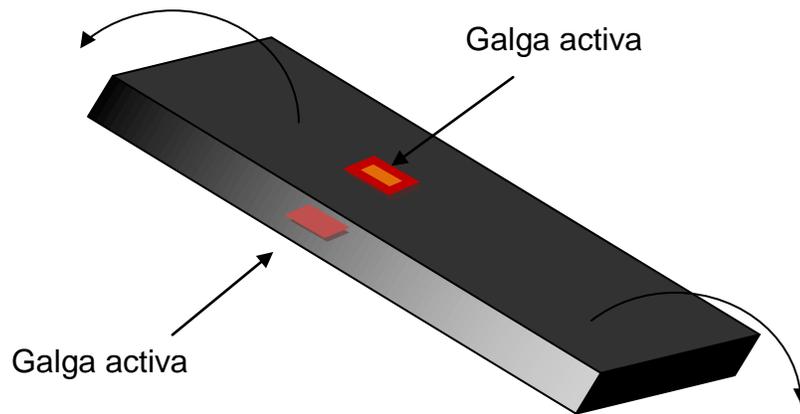


Figura 6.2.1 Viga

Conexión de los Strain gages.

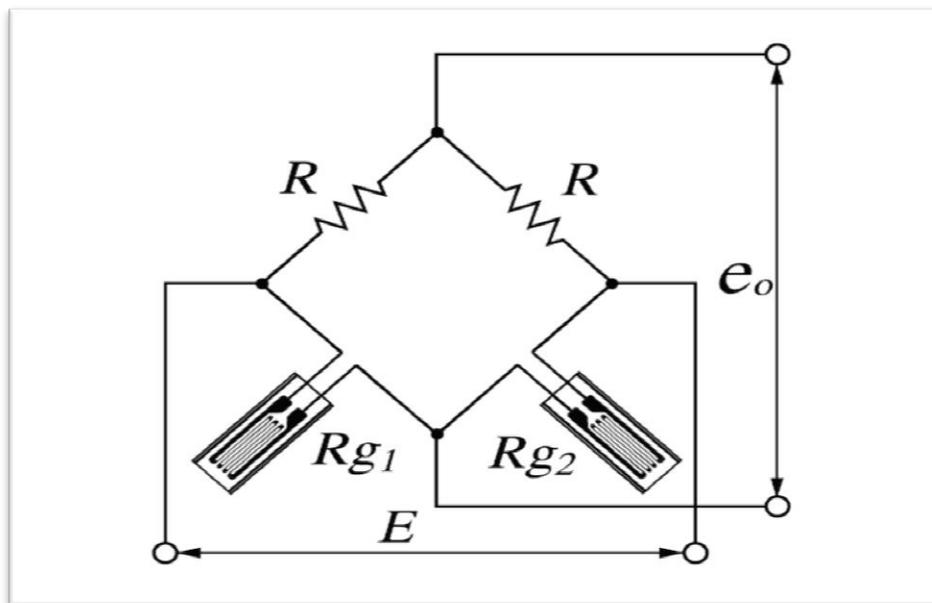


Figura 6.2.2. Medio puente activo

6.3. Corrección de la salida térmica para medición de deformación en una barra a torsión pura.

En forma similar, para una barra a torsión pura (Figura 6.3.1) las dos bandas se pueden instalar en forma adyacentes una a la otra y alineadas a lo largo de los ejes principales de la barra a 45° del eje longitudinal. Como en el caso de la biga, se puede conseguir una compensación excelente de temperatura con el medio puente activo (Figura 6.3.2), con una señal de salida duplicada.

Compensación de temperatura y una señal de salida duplicada en una barra a torsión pura.

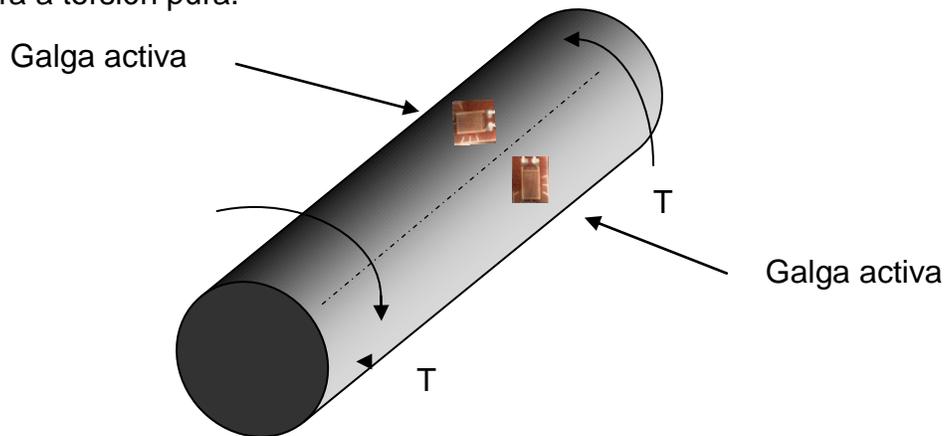


Figura 6.3.1. Barra a torsión.

Conexión de los Strain Gages.

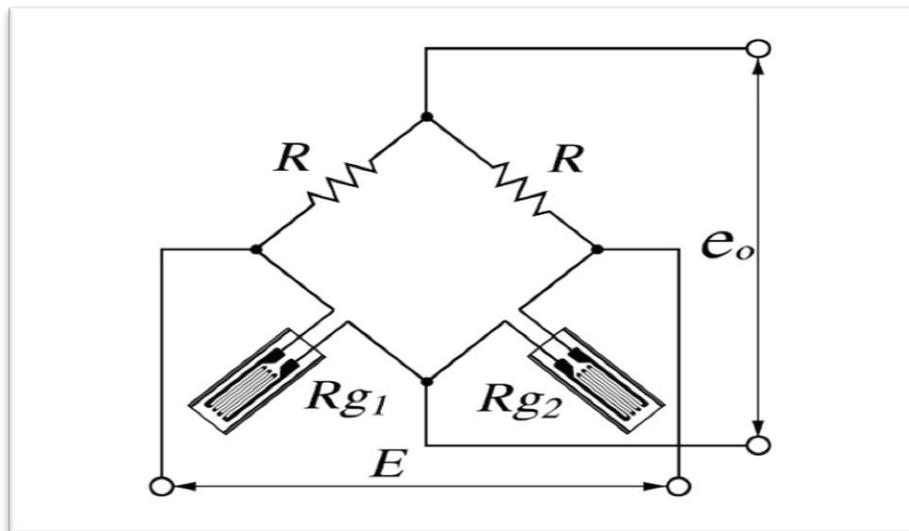


Figura 6.3.2. Medio puente activo

6.4. Corrección de la salida térmica para medición de deformación en una columna.

Otro caso es cuando se quiere realizar la medida de deformación a lo largo del eje de la columna, la banda de compensación se puede montar en la pieza, de forma adyacente a la banda axial y alineada transversalmente al eje longitudinal para medir la deformación de Poisson (Figura 6.4.1). El resultado nuevamente es la compensación de la salida térmica, acompañada por una señal de salida duplicada con un medio puente activo (Figura 6.4.2).

Compensación de temperatura y una señal de salida duplicada en una columna.

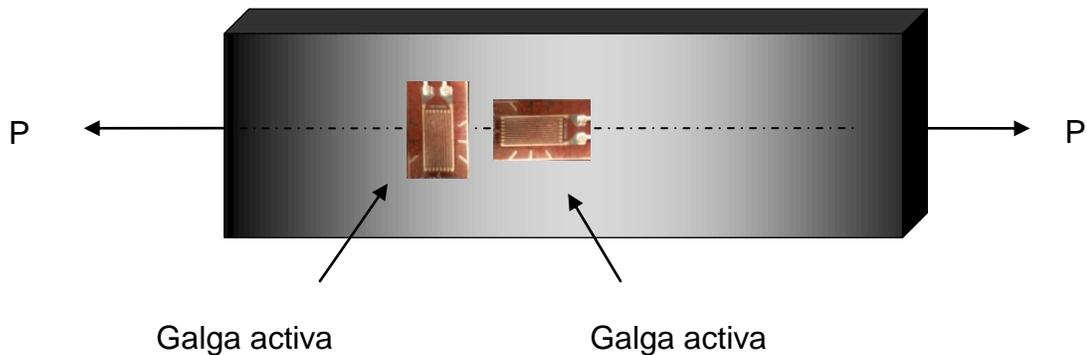


Figura 6.4.1. Columna.

Conexión de los Strain Gages.

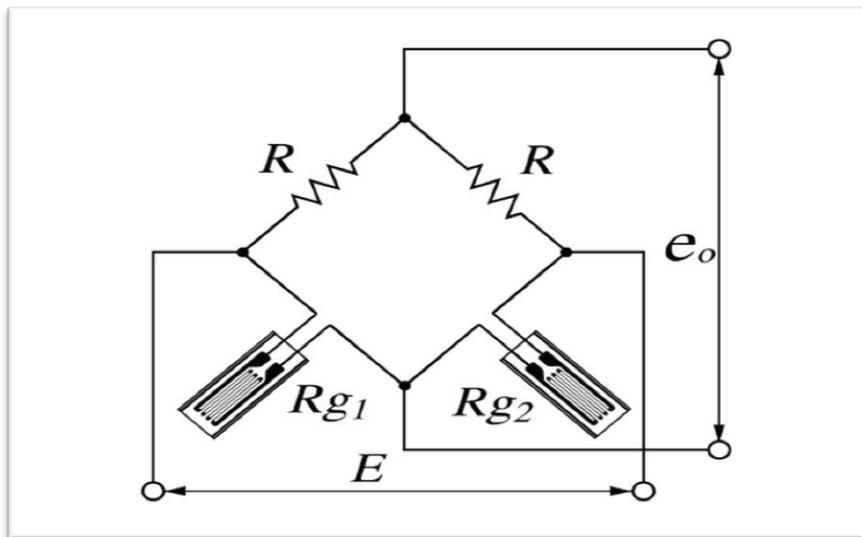


Figura 6.4.2. Medio puente activo.

Las propiedades de ciertas aleaciones de bandas en particular Constantan y Karma (aleaciones A y K mencionadas anteriormente en tipos de aleaciones para Strain Gage) son diseñadas para minimizar la salida térmica en un amplio rango de temperaturas cuando se unen a los materiales con coeficientes de expansión térmica para los cuales han sido pensadas, llamándoles a estas bandas como autocompensadas con la temperatura.

6.5. Puente de Wheatstone.

En la práctica, las mediciones con Strain Gages raramente involucran cantidades mayores que unos pocos milistrain ($m\epsilon$). Por lo tanto, para medir esfuerzo se requiere de máxima precisión sobre pequeños cambios de resistencia.

El factor galga es la sensibilidad a la deformación de un Strain Gage. Supongamos que una pieza de prueba sufre una deformación de $500\mu\epsilon$. Un Strain Gage con un factor de galga de 2 mostrará un cambio de resistencia eléctrica de $2 \times (500 \times 10^{-6}) = 0,001$. Para una galga de 120Ω , es un cambio de solo 0.12Ω . Para medir cambios tan pequeños de resistencia y compensar la sensibilidad térmica, los Strain Gages son casi siempre utilizados en configuración puente con excitación externa.

El circuito general del puente de Wheatstone, consiste en cuatro brazos resistivos con una excitación de voltaje, que se aplica a través del puente (Figura 6.5.1).

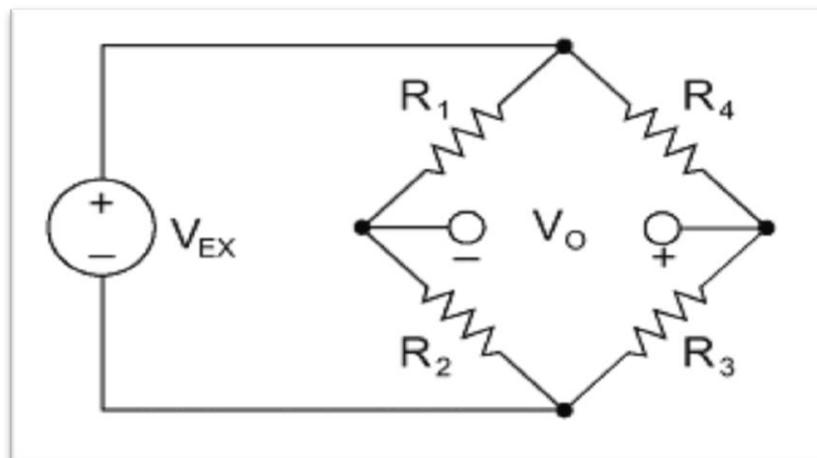


Figura 6.5.1. Puente de Wheatstone.

El voltaje de salida del puente V_o , es igual a:

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

De la ecuación anterior, cuando se da que $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$ el voltaje de salida V_o es nulo. Bajo estas condiciones, se dice que el puente de Wheatstone se encuentra balanceado. Cualquier cambio de resistencia sobre cualquier brazo del puente, resultará en una salida de voltaje no nula.

Por lo que si reemplazamos R_2 con un strain Gage activo (cuarto de puente activo), cualquier cambio en la resistencia del Strain Gage causará el desbalance del puente y producirá una salida no nula proporcional al esfuerzo (Figura 6.5.2).

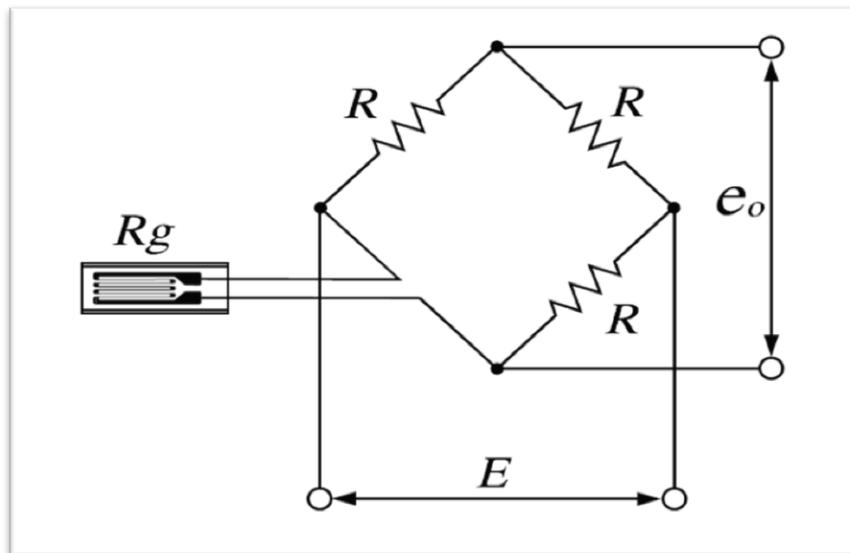


Figura 6.5.2. Puente de Wheatstone con un strain gage activo.

CAPÍTULO VII

PROCEDIMIENTO PARA INSTALAR UN STRAIN GAGE.

7.1 .Procedimiento para instalar un Strain Gage pegado.

Antes de fijar un Strain Gage a la superficie de la pieza o estructura que se desea medir deformación, la superficie debe cumplir ciertos requerimientos de modo de asegurar la correcta unión. La preparación de la superficie antes del pegado es prácticamente la misma para todos los Strain Gage y sus correspondientes adhesivos.

La superficie en la cual el Strain Gage será montado debe estar libre de incrustaciones, óxido, pintura y además debe estar lisa, compacta y bien pulida .

El equipo de instalación de strain gages está compuesto de los siguientes elementos:

7.1.1. Elementos:

Elementos principales para limpieza y pegado de un strain gage (Figura 7.1.1a)

- Espátula
- Brocha
- Papel de lija (N° 80 al N°400)
- Huaípe de seda
- Limpiador de contacto
- Acetona
- Marcador de metal
- Bolígrafo
- Adhesivo para Strain Gage (Loctite 495 o 401)
- Lupa
- Pinza
- Alicata pelacables

- Placa perforada para soldar
- Cable para Strain Gage
- Esmalte aislante eléctrico
- Estaño
- Pasta para soldar
- Polietileno
- Cinta adhesiva
- Agua destilada



. Figura 7.1.1a. Principales elementos para limpieza y pegado

7.1.2 Selección del Strain Gage.

De acuerdo a la medición a realizar se debe seleccionar el strain gage adecuado (Figura 7.1.2a), tomando en cuenta los criterios de selección mencionados en el capítulo V de este documento.

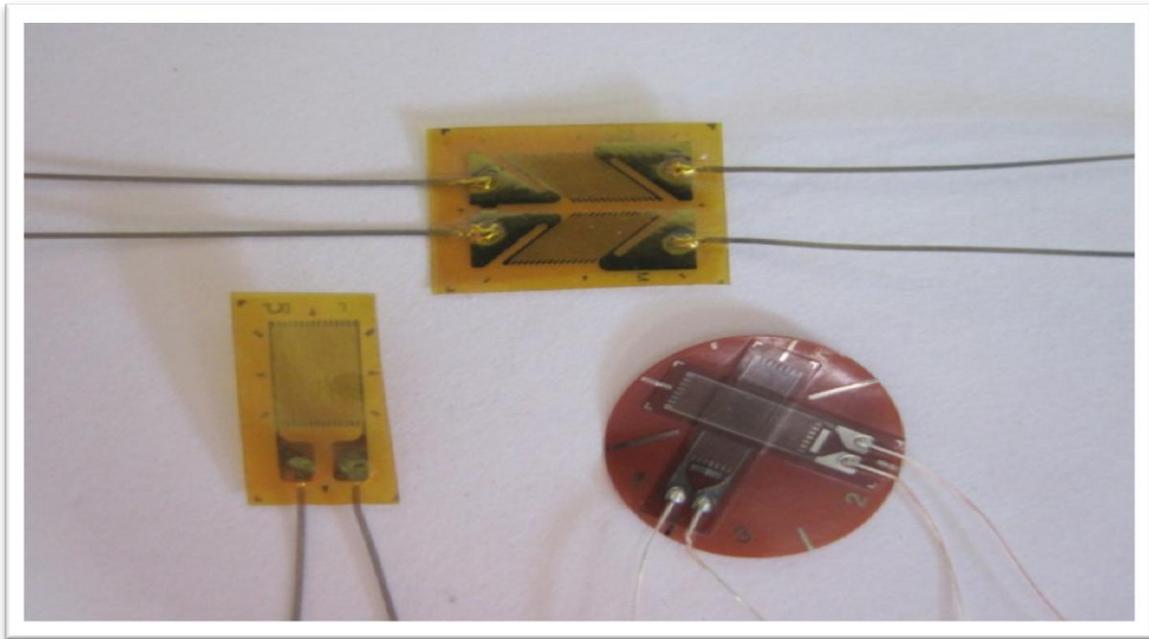


Figura 7.1.2a. Selección Strain Gage.

7.1.3. Preparar superficie.

Utilizando la espátula retirar restos de grasa u otro residuo que se encuentre en la zona donde será adherido el strain gage. Luego, utilizar brocha para preparar la superficie.

7.1.4. Decidir ubicación del Strain Gage.

Marcar con un plumón la zona aproximada donde se ubicará el Strain Gage (Figura 7.1.4a.).

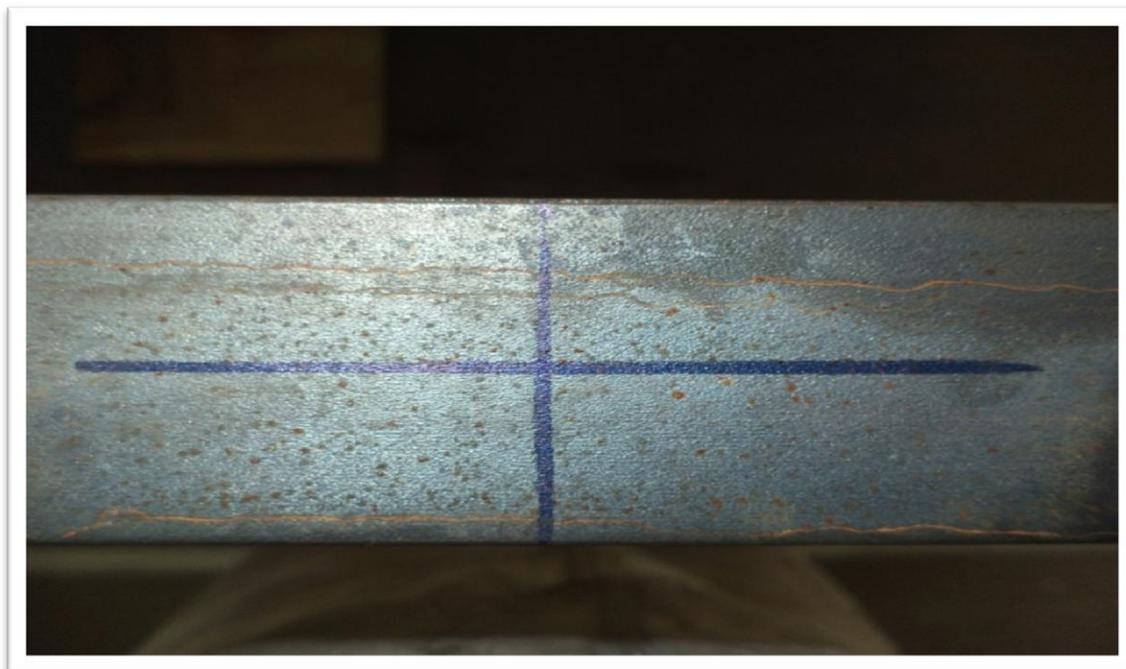


Figura 7.1.4a. Ubicación Strain Gage.

7.1.5 Pulir superficie.

Utilizar lija para pulir la superficie, comenzar con lija N° 80 para luego durante el proceso de pulido ir cambiando hasta terminar con lija entre los N° 300 y 400 (Figura 7.1.5a).

Verificar que la superficie donde se ubicará el Strain Gage no existan poros o rayas, si la superficie está muy rugosa es posible utilizar disco de pulir con algún tipo de herramienta como por ejemplo un Dremel. El acabado superficial debe ser lo más fino y parecido a un espejo (Figura 7.1.5b).



Figura 7.1.5a. Lijado de superficie.

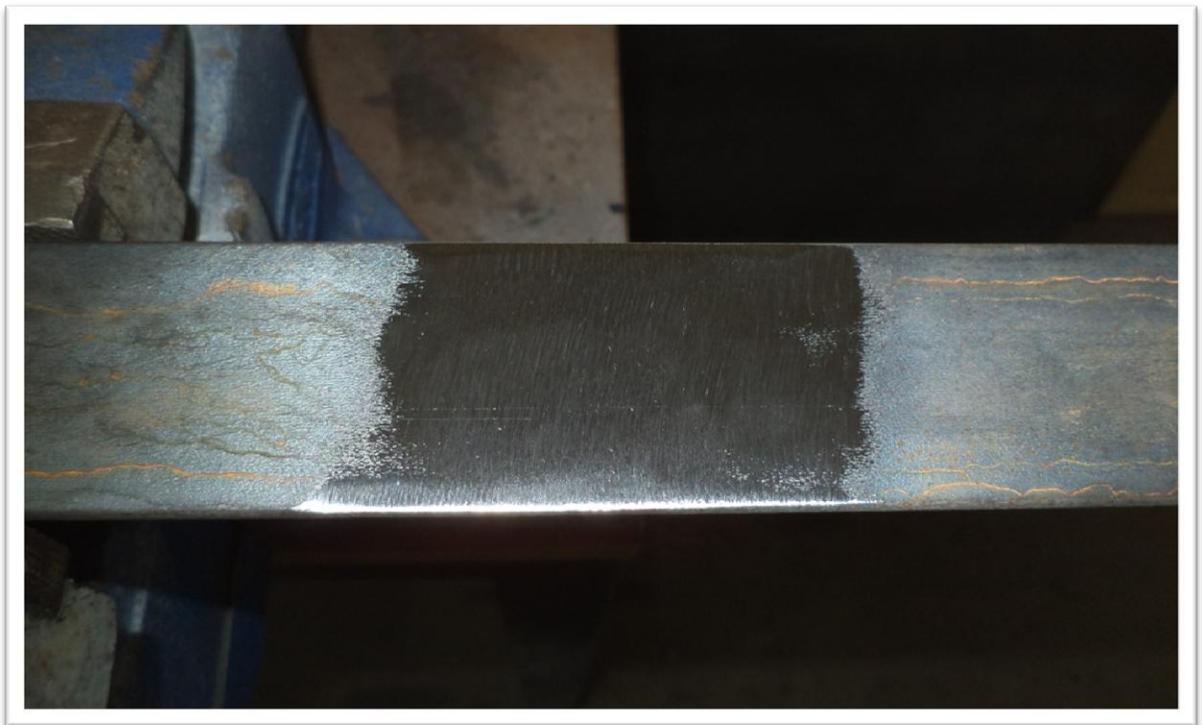


Figura 7.1.5b. Acabado superficial.

7.1.6. Limpiar superficie.

Utilizar huaipe de seda junto con un limpiador de contacto, acetona pura o alcohol para limpiar la superficie donde se instalará el Strain Gage (Figura 7.1.6a.). Aplicar y luego limpiar en una dirección, hasta que en el huaipe no se observen residuos (Figura 7.1.6b.).



Figura 7.1.6a. Limpieza de superficie.



Figura 7.1.6b. Huaipe sin residuos.

7.1.7. Marcar la superficie.

Con un bolígrafo marcar una línea recta en la superficie donde se instalará el strain gage (Figura 7.1.7a). El objetivo es alinear el strain Gage con la línea marcada en la superficie, luego limpiar nuevamente con huaipé y acetona (Figura 7.1.7b)



Figura 7.1.7a. Marcar superficie.



Figura 7.1.7b. Limpieza de superficie.

7.1.8. Ubicar strain gage en la zona que será pegado.

Sacar el strain gage del envoltorio utilizando pinzas y tomándolo de los conectores. Ubicar el strain gage en la superficie, verificando que se encuentre paralelo a la línea antes trazada y teniendo cuidado que esté en la posición correcta. Luego pegar con cinta adhesiva el strain gage a la superficie, esto ayuda a que se posicione perfectamente con la línea antes trazada (Figura 7.1.8a.).

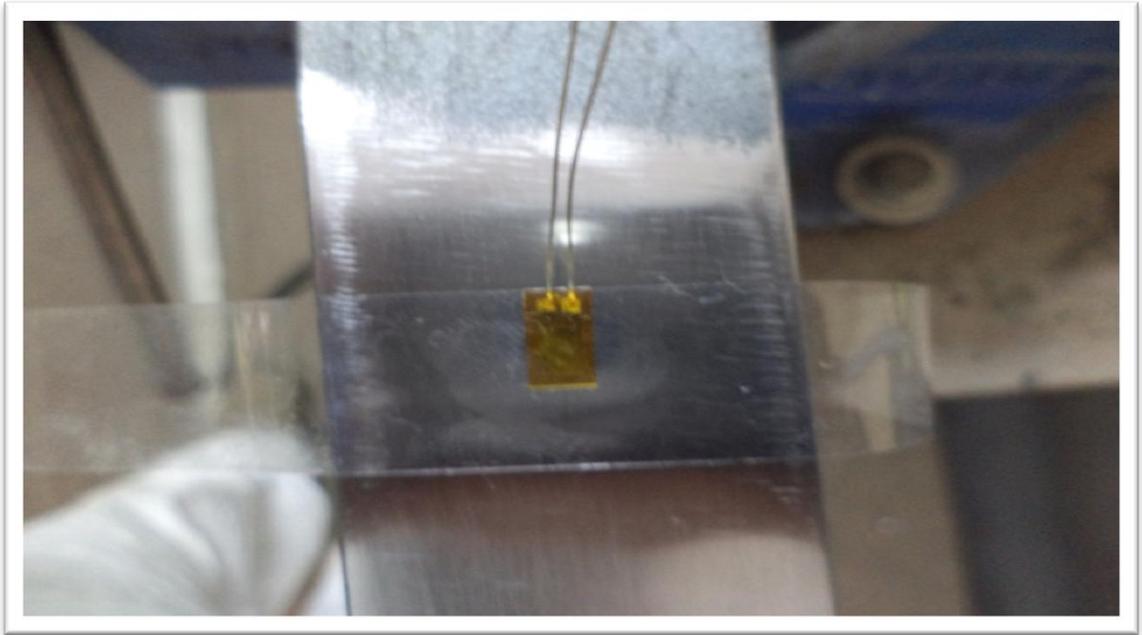


Figura 7.1.8a. Posicionamiento del Strain Gage.

7.1.9. Limpiar superficie.

Levantar el strain gage por una punta dejándolo libre, quedando un extremo de la cinta adhesiva adherida a la superficie. Limpiar nuevamente con un huaípe y acetona en una dirección, la cantidad de veces suficiente para que no queden residuos en la superficie (Figura 7.1.9a.).

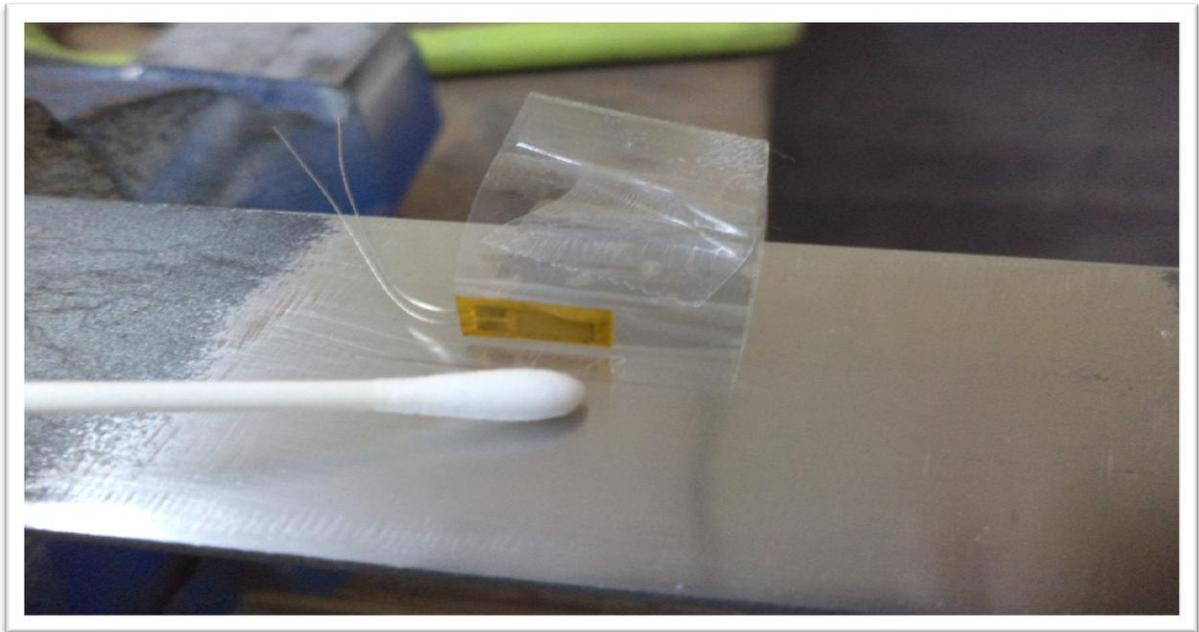


Figura 7.1.9a. Limpieza de superficie.

7.1.10. Pegado del Strain Gage.

Colocar una gota de adhesivo Loctite 401 o 495 sobre la superficie donde se pegará el strain gage (Figura 7.1.10a y 7.1.10b.).



Figura 7.1.10a. Loctite 401.

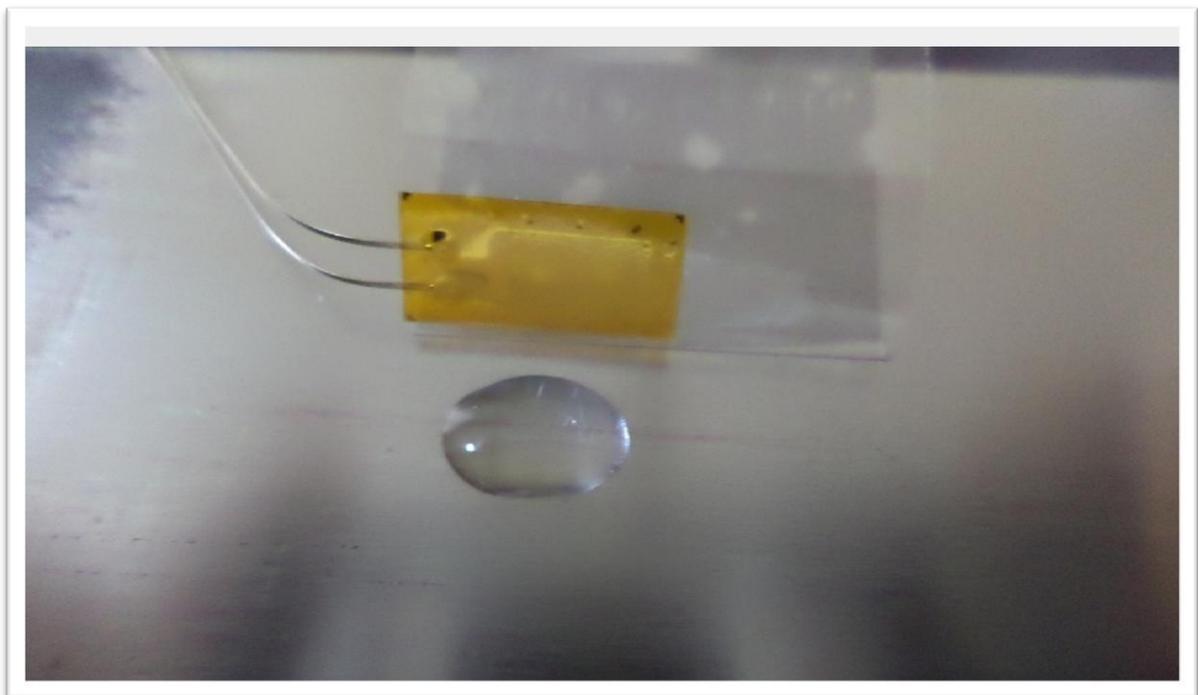


Figura 7.1.10b. Gota de adhesivo.

Volver a pegar el extremo de la cinta adhesiva que estaba despegada (Figura 7.1.10c.). Colocar sobre el strain gage un trozo de polietileno y presionar con un dedo fuertemente en forma de círculos por un periodo de tiempo de aproximadamente dos minutos, hasta que el strain gage se adhiera a la superficie donde se desea medir la deformación. (Figura 7.1.10d.)

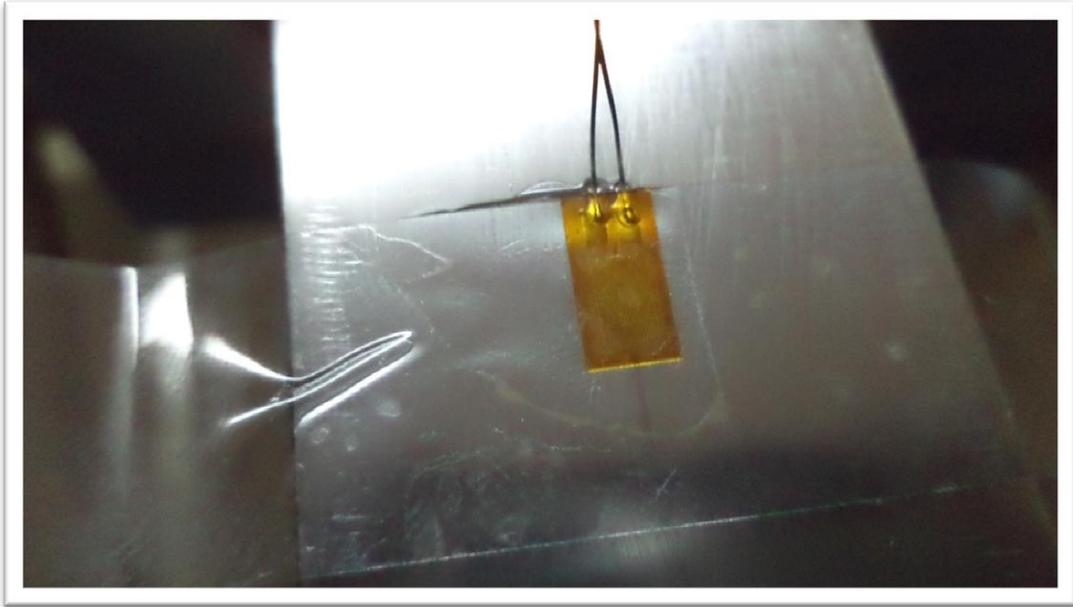


Figura 7.1.10c. Pegar extremo de cinta adhesiva despegada.



Figura 7.1.10d. Colocar trozo de polietileno.

Luego retirar la cinta adhesiva lentamente por una de las puntas (Figura 7.1.10e.). Finalmente el strain gage se encuentra pegado (Figura 7.1.10f.).

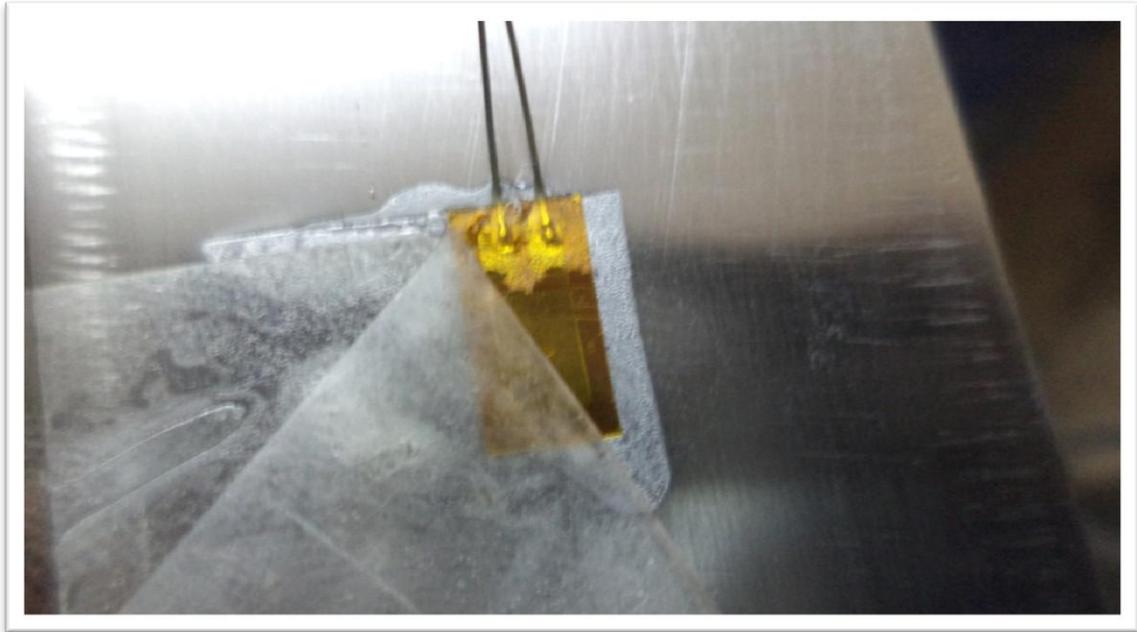


Figura 7.1.10e. Retirar cinta adhesiva.

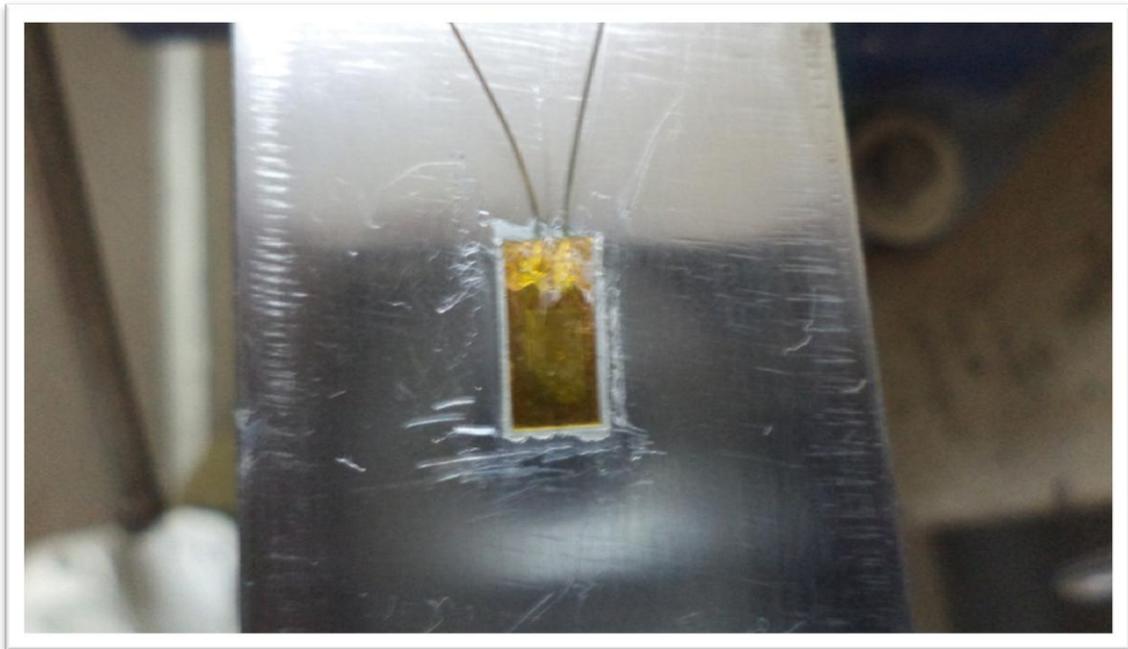


Figura 7.1.10f. Strain gage pegado.

7.2. Procedimiento para instalar un strain gage soldado.

7.2.1. Selección del strain gages.

Para el procedimiento de medición con strain gages soldado a la pieza a evaluar, se debe realizar previamente en los talleres de CADETECH S.A., el proceso de selección (Figura 7.2.1a), pegado en láminas de acero y su posterior proceso de curado.

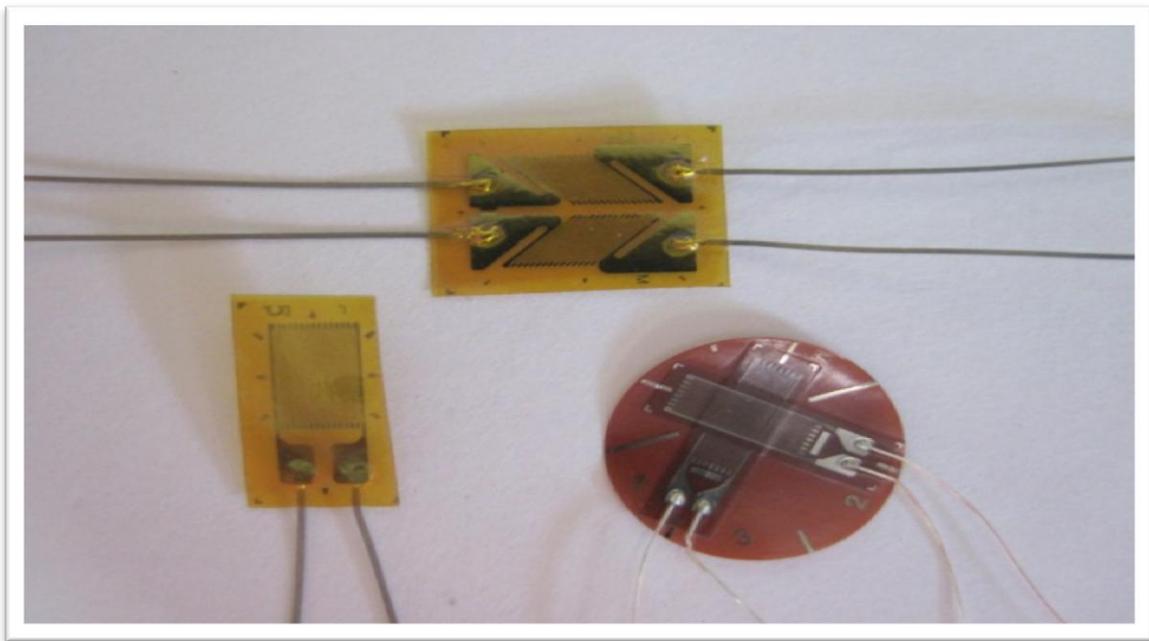


Figura 7.2.1a. Selección del strain gage.

Luego de seleccionar de acuerdo a necesidades el o los tipos de strain gages a utilizar, se debe dimensionar una lámina de acero inoxidable según la cantidad de Strain Gages que van a ser instaladas en el proceso, como experiencia se recomienda trozos de 120 mm de longitud identificando los puntos centros de adhesión para la instalación, se recomienda considerar espacios de 20 mm x 35 mm para cada strain gages a instalar. Si se requiere mayor cantidad de Strain Gages a utilizar, preparar dos o más trozos de láminas de acero. (Figura 7.2.1.b.).



Figura 7.2.1b. Lámina de acero inoxidable.

7.2.2. Preparación Adhesivo Epóxico.

Una vez que tengamos la cantidad de Strain Gages que se desean adherir, se prepara el compuesto de resina epóxica EP-34B marca KYOWA, de acuerdo a dosificación indicada por el fabricante. Por cada parte de componente A, se debe agregar una tercera parte del componente B (Figura 7.2.2a.). Se mezclan ambos componentes hasta lograr una pasta homogénea (Figura 7.2.2b.). Una vez lograda la mezcla, considerar que se dispone de 80 minutos para utilizar el adhesivo preparado.



Figura 7.2.2a. Componentes Adhesivo.



Figura 7.2.2b. Mezclador y pasta resultante.

7.2.3. Pegado de Strain Gage en lámina de acero.

Se debe aplicar una pequeña cantidad de adhesivo en el centro del trazado, luego instalar y presionar suavemente el Strain Gage, verificando que toda la superficie interior de éste se cubra con el compuesto, posteriormente se instala de igual forma todos los Strain Gages en la lámina (Figura 7.2.3a.).

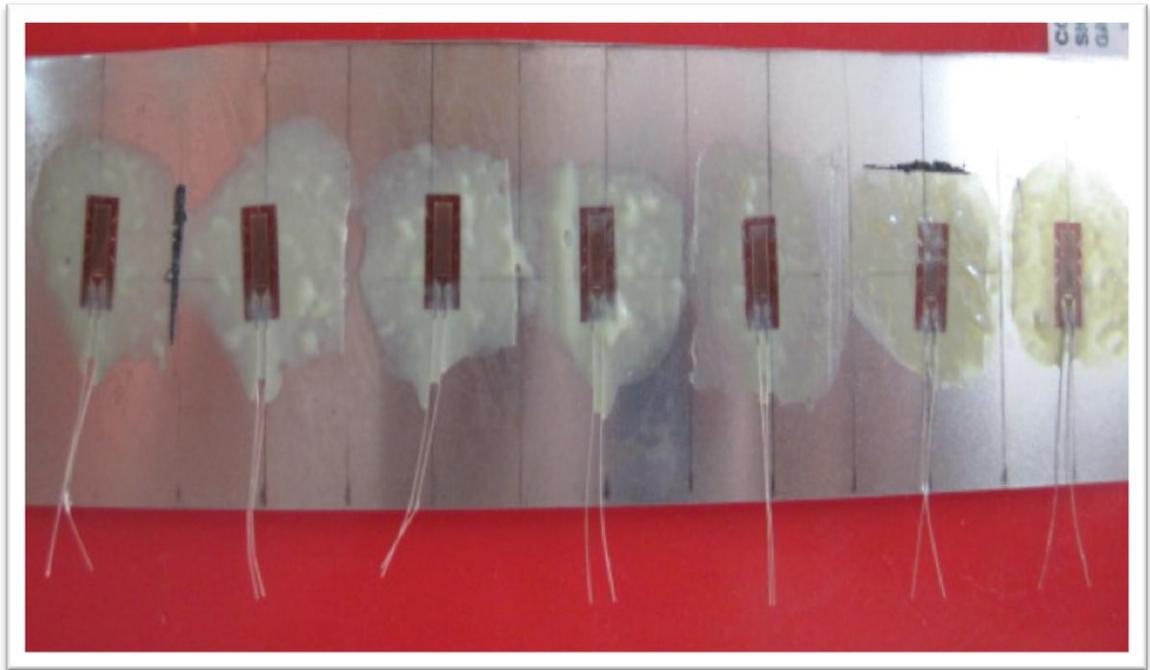


Figura 7.2.3a. Pegado de Strain Gage en lámina de acero.

Una vez ubicados todos los Strain Gages se cubren con una lámina de polietileno (Figura 7.2.3b.) y sobre éstas un trozo de esponja o goma, luego un trozo de metal (Figura 7.2.3c.).

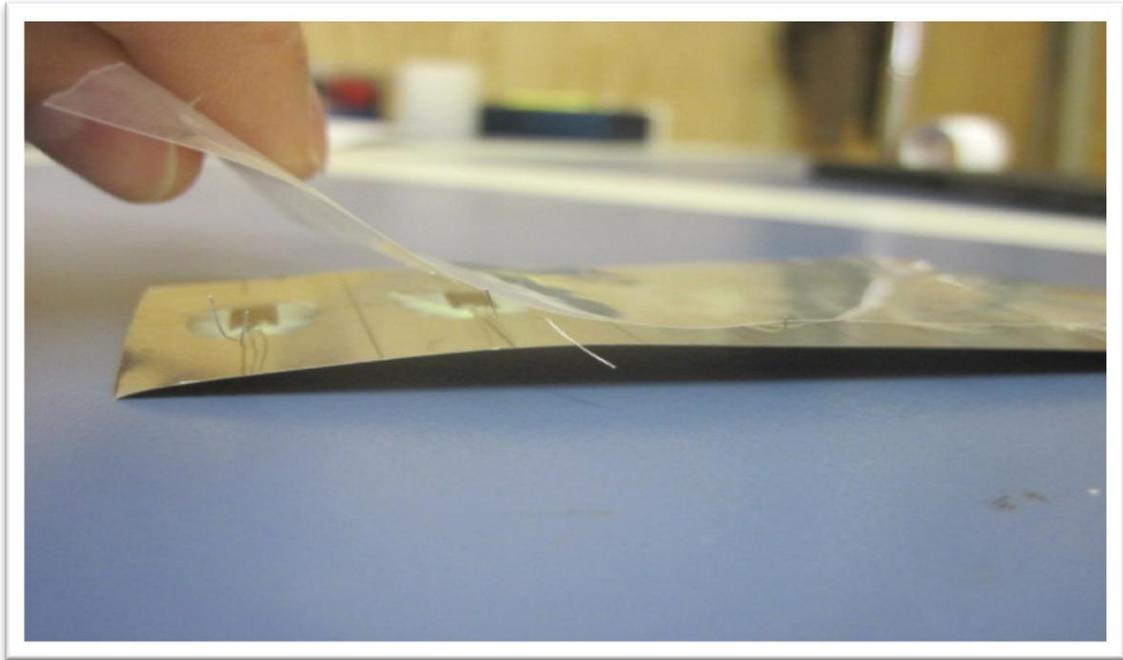


Figura 7.2.3b. Cubierta de Polietileno sobre lámina de acero y Strain Gages pegados.

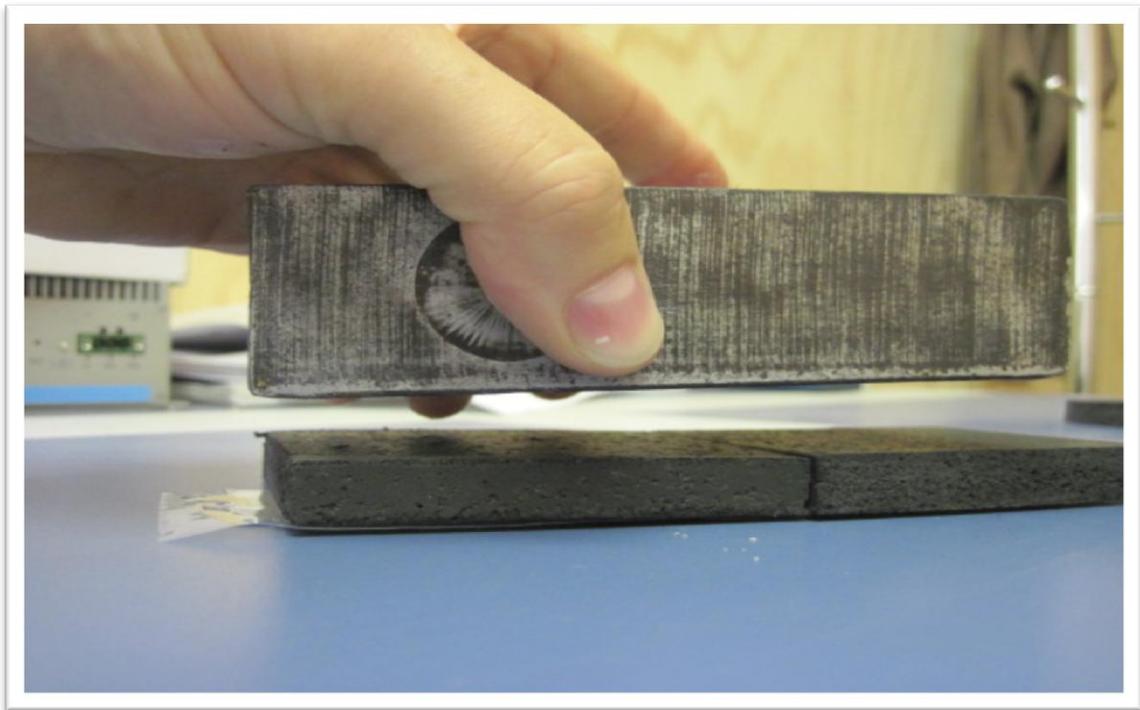


Figura 7.2.3c. Capas de esponja y metal.

Finalmente una carga que cumpla las condiciones de presión indicadas por el fabricante: 0,3 a 0,5 kg/cm² (Figura 7.2.3d.). Esta carga se mantiene por un periodo de tres horas. Luego de este tiempo se retiran las capas instaladas y comienza el proceso de curado.

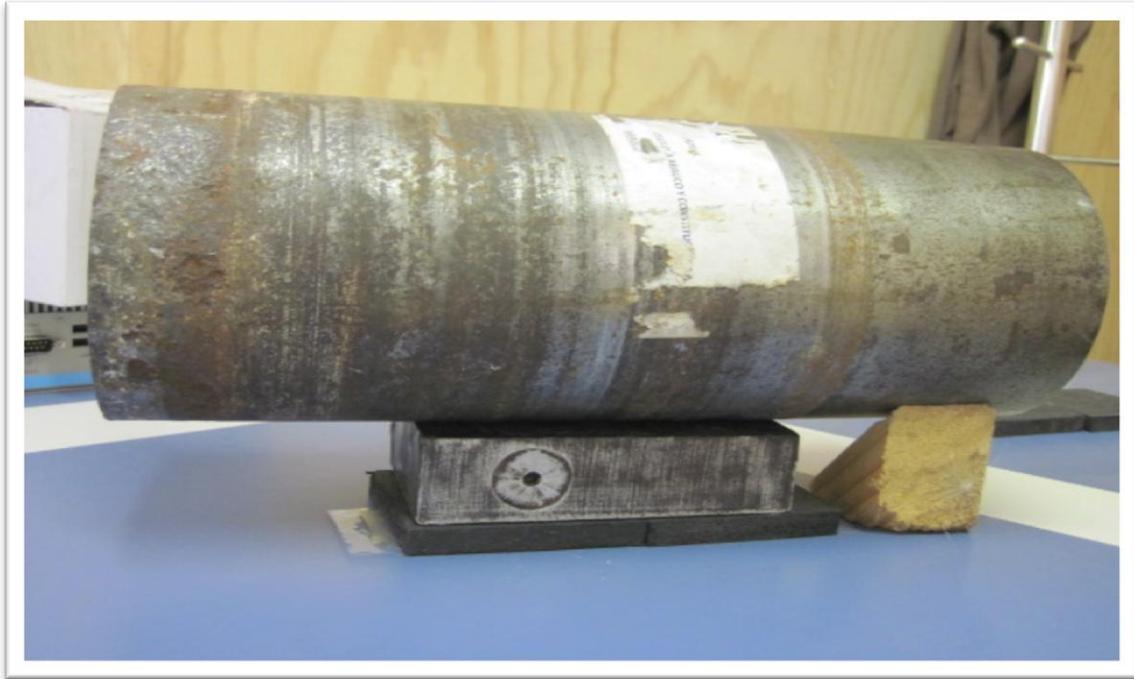


Figura 7.2.3d. Cubierta final para ejercer la presión necesaria en los Strain Gages.

Cabe señalar que el proceso de curado del adhesivo se logra en un periodo de 24 horas bajo temperatura ambiente (sobre 15° C) o por un lapso de tiempo de 3 horas en horno controlado a una temperatura de 80° C (Figura 7.2.3e.).



Figura 7.2.3e. Horno para controlar temperatura.

Una vez cumplido el tiempo de curado del adhesivo EP-34B, se debe retirar el material sobrante alrededor del Strain Gage, con el propósito de despejar el contorno que se utiliza para soldar la lámina de acero inoxidable en la superficie que será sometida a mediciones (Figura 7.2.3f.).

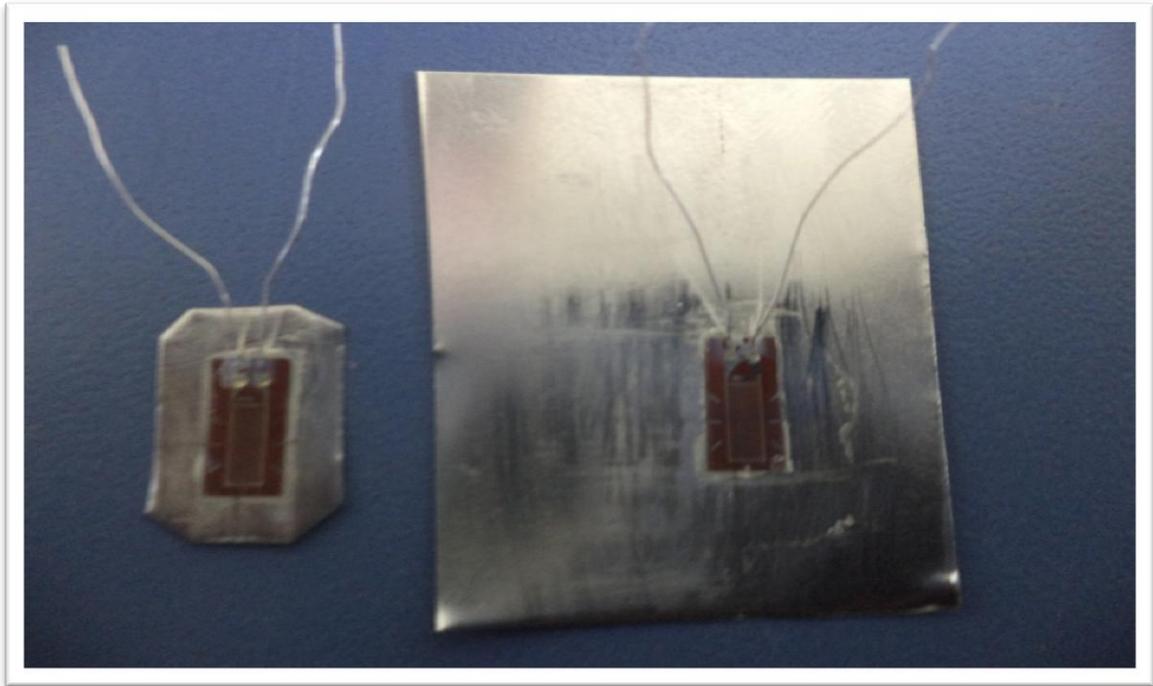


Figura 7.2.3f. Strain gage sin material sobrante.

Terminado el proceso de pegado y curado, se almacenan las láminas de acero con los SG adheridos en sobres de polietileno y en estanterías para dicho propósito, hasta el momento de su utilización en terreno, en esa ocasión se cortarán y soldarán los Strain Gages necesarios para la tarea asignada.

7.2.4. Fijación de Strain Gages con máquina soldadora de punto KYOWA

Con el propósito de lograr una adecuada adhesión y brindar seguridad y confianza al ingeniero de mediciones, se aplica en terreno el procedimiento de pegado de Strain Gages mediante soldadora de punto KYOWA modelo GW-3C. (Figura 7.2.4a.)

Como primera etapa del proceso, se debe considerar tener de antemano y en buenas condiciones físicas y de operación los equipos, materiales, herramientas, manuales y elementos de protección personal (EPP), que serán necesarios para el correcto desarrollo de las actividades de soldadura de punto en terreno.



Figura 7.2.4a. Máquina Soldadora KYOWA GW-3C.

Para el funcionamiento adecuado de la máquina soldadora, se requiere de una fuente de voltaje alterno de 220 V ac 50 Hz, con capacidad para 10 Amperes de consumo de corriente. El conector de entrada de poder eléctrico alterno, se encuentra ubicado en la cara posterior del equipo (Figura 7.2.4b.), sobre este se ubica el fusible de protección del circuito de entrada de la máquina soldadora.



Figura 7.2.4b. Conector de entrada 220 Volts, 50 Hz.

Los conectores para los electrodos positivo y negativo de la máquina tienen sus posiciones en la cara frontal de la misma (Figura 7.2.4c.), debidamente señalados, se debe tener especial atención durante el conexionado de estos terminales, debido a que físicamente son de iguales características, se debe efectuar la conexión en forma individual y verificando en todo momento la correcta posición.

El electrodo positivo consta de dos cables con diferentes conectores, siendo el conector circular para el switch de disparo (FIRING SWITCH) o activación de la máquina y el conector de punta, marcado con cubierta de color rojo (para diferenciar del electrodo negativo de color negro), para ser conectado en la salida de la máquina (OUTPUT +)



Figura 7.2.4c. Conectores de salida de la máquina.

Una vez finalizado el conexionado de los cables de poder y electrodos, se debe graduar los valores de salida de la máquina según el espesor de la lámina a soldar, para lo cual existe un cuadro de ajuste en la cara posterior de la máquina (Figura 7.2.4d.) y dos selectores giratorios en la cara frontal de la misma. Conocido el espesor de la lámina, se verifica la adecuada posición de los selectores giratorios mencionados.

ADJUSTMENT FOR THICKNESS		
STAINLESS STEEL THICKNESS (mm)	COARSE	
	LOW	HIGH
	FINE	
0.1	2	1
0.2	6	3
0.3	/	6

Figura 7.2.4d. Tabla de ajuste según espesor de lámina a soldar.

Una vez regulada la salida de la máquina soldadora, se debe conectar el terminal negativo tipo caimán (Figura 7.2.4e.) a un punto de la estructura debidamente preparada para la conexión, libre de aislamiento eléctrico, objeto de lograr la mejor conductividad entre el electrodo y la masa del equipo o sistema que será sometido a evaluación. Luego de lo anterior y de la preparación de la base metálica donde se fijará el Strain Gage, se está en condiciones de poner en servicio la máquina soldadora, mediante el interruptor principal ubicado en el frontis del equipo (Figura 7.2.4a.).



Figura 7.2.4e. Terminal negativo tipo caimán.

Con la máquina en servicio y el Strain Gage en la posición indicada para su fijación, se procede a realizar la soldadura. Para el propósito se debe tener presente que el electrodo positivo (Figura 7.2.4g.), tiene una posición positiva de trabajo, la cual debe ser debidamente respetada, ya que de lo contrario el equipo no funcionará. Esto debido a que existe en el interior del electrodo positivo un switch que se activa al presionar el electrodo contra la lámina del Strain Gage a soldar. La activación de este switch es lo que hace trabajar al circuito de control de la máquina Kyowa y con esto lograr la unión de las piezas mediante el paso de corriente eléctrica por estas.

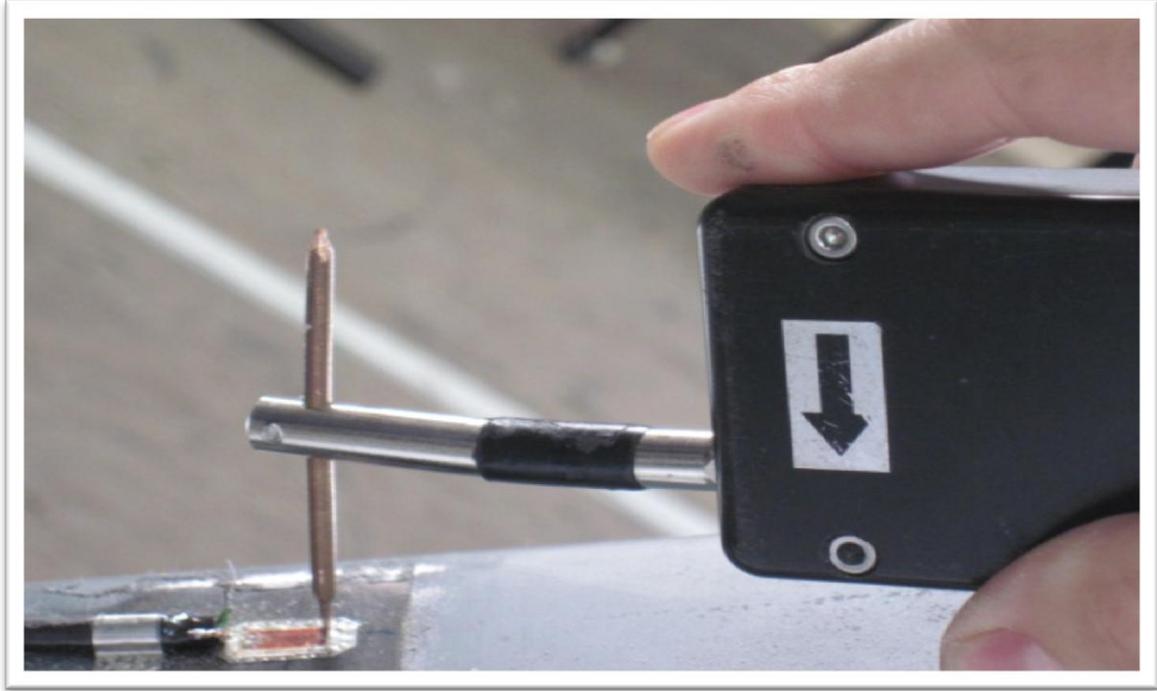


Figura 7.2.4g. Electrodo positivo, posición de trabajo.

En la superficie disponible de la lámina en la que se encuentra el Strain Gage, distribuir uniformemente la ubicación de los puntos de unión con la base metálica del equipo a evaluar hasta lograr la adecuada fijación del Strain Gage y de su cable de conexión. Realizando presión en el punto seleccionado, se activa el switch interno del terminal positivo de la máquina soldadora Kyowa. La Figura 7.2.4.h. ilustra el método de fijación recomendado. En esta ilustración, se detalla que los primeros puntos de fijación se ejecutan en el centro de la lámina, por ambos lados, luego desde el centro superior hacia el círculo 1, se recomienda una distancia entre puntos de entre 0,7 mm a 0,8 mm. Luego desde el centro inferior hacia el círculo de la derecha 2, posteriormente desde el centro superior hacia el círculo 3, y finalmente desde el centro inferior hacia el círculo 4.

La Figura 7.2.4i. muestra un strain gage soldado en terreno.

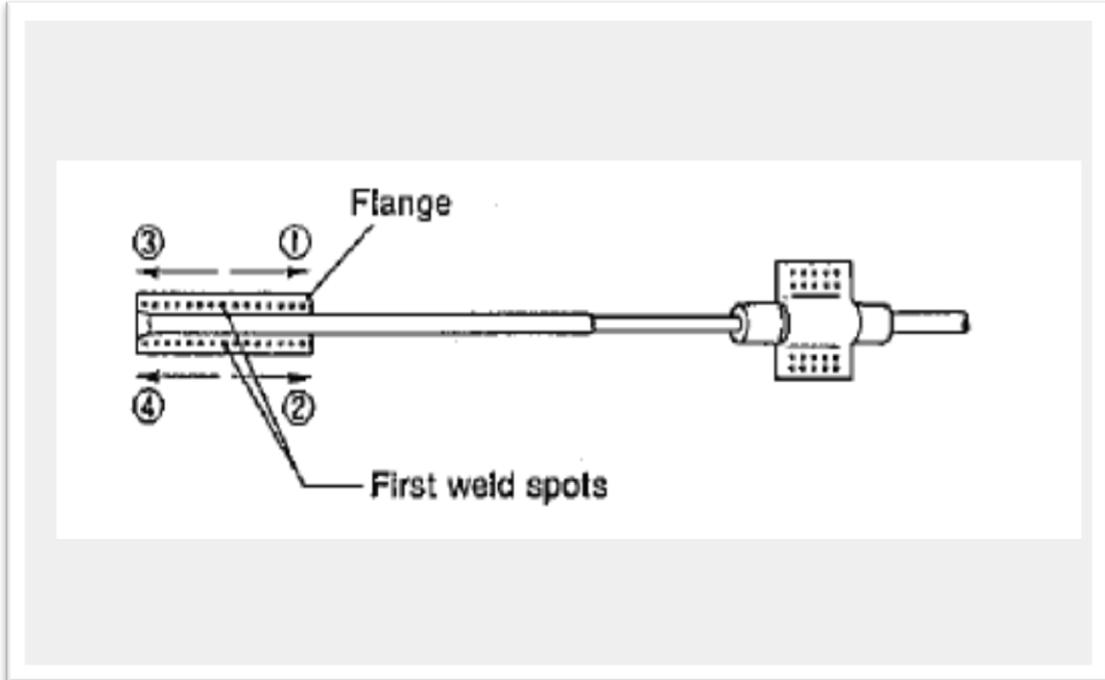


Figura 7.2.4h. Puntos de soldadura.



Figura 7.2.4i. Soldadura en terreno con máquina Kyowa.

CAPITULO VIII

EQUIPOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

8.1. Introducción

Las mediciones con galgas extensiométrica involucran sensor cambios muy pequeños de resistencia y convertirlos a variaciones de voltaje. El uso de un puente de wheatstone con una adecuada amplificación, filtrado y aislamiento de la señal permite obtener una señal de voltaje proporcional a la variación de resistencia. Este hardware se puede diseñar y armar, además cuando se requiere una aplicación rápida y confiable, en el mercado existen fabricantes que suministran estos dispositivos. Las firmas MICROSTRAIN y NATIONAL INSTRUMENTS proveen módulos de acondicionamiento de señales para diferentes transductores, dentro de ellos los Strain Gages.

La empresa CADETECH S.A. emplea dos formas de adquisición de datos para sus aplicaciones de Strain gages: Adquisición de datos en forma inalámbrica y adquisición de datos en forma alámbrica.

8.2. Adquisición de datos en forma inalámbrica.

Para la adquisición de datos en forma inalámbrica se emplea una estación base USB WSDA 104 LXRS, un nodo sensor SG LINK LXRS y el programa NODE COMMANDER 2.6.0 de la firma MICROSTRAIN.

La estación base USB WSDA 104 LXRS funciona como una parte integral en la micro deformación, ya que proporciona una comunicación fluida, sin pérdidas entre un PC y los nodos inalámbricos.

El programa NODE COMMANDER instalado en el PC a través de La estación base permite la configuración de los nodos inalámbricos esto incluye: detección del nodo, inicialización, respuesta, frecuencia de muestreo, calibración de nodos y control de ciclos de actividad e inactividad de los nodos.

El nodo sensor SG LINK LXRS es un conjunto que permite procesar y acondicionar la señal para que finalmente esta pueda viajar en forma inalámbrica sin pérdida de datos.

Los nodos inalámbricos operan en forma rápida y sincronizados a una distancia de 1 kilómetro de la estación base, incluyen una batería recargable y pueden medir: Tensión, torque, carga y presión.

Aplicaciones:

- Monitoreo y control de máquinas y aviones.
- Vigilancia de las condiciones de estructuras civiles.
- Pruebas y mediciones experimentales.
- Robótica y automatización de máquinas.
- Vibración y prueba de ruido acústico.
- Redes de seguridad distribuidas.

8.2.1. Descripción de procedimiento de adquisición de datos con nodos Micro Strain.

Previo al procedimiento de adquisición de datos con nodos Micro Strain, se deben realizar actividades de calibración, configuración y conexionado del equipamiento.

8.2.2. Conectar estación base.

Conectar el cable de comunicaciones USB en el puerto USB del PC. Encender estación base si esta cuenta con selector on- off. (Figura 8.2.2a.).



Figura 8.2.2a. Estación base.

8.2.3. Abrir programa node commander.

Una vez activada y conectada la estación base Micro Strain, se debe abrir el programa node commander. En la pantalla que se presenta, ubicar puntero en cuadro blanco a la izquierda de la ventana y presionar botón secundario (Figura 8.2.3a.), seleccionar Scan Com Ports.

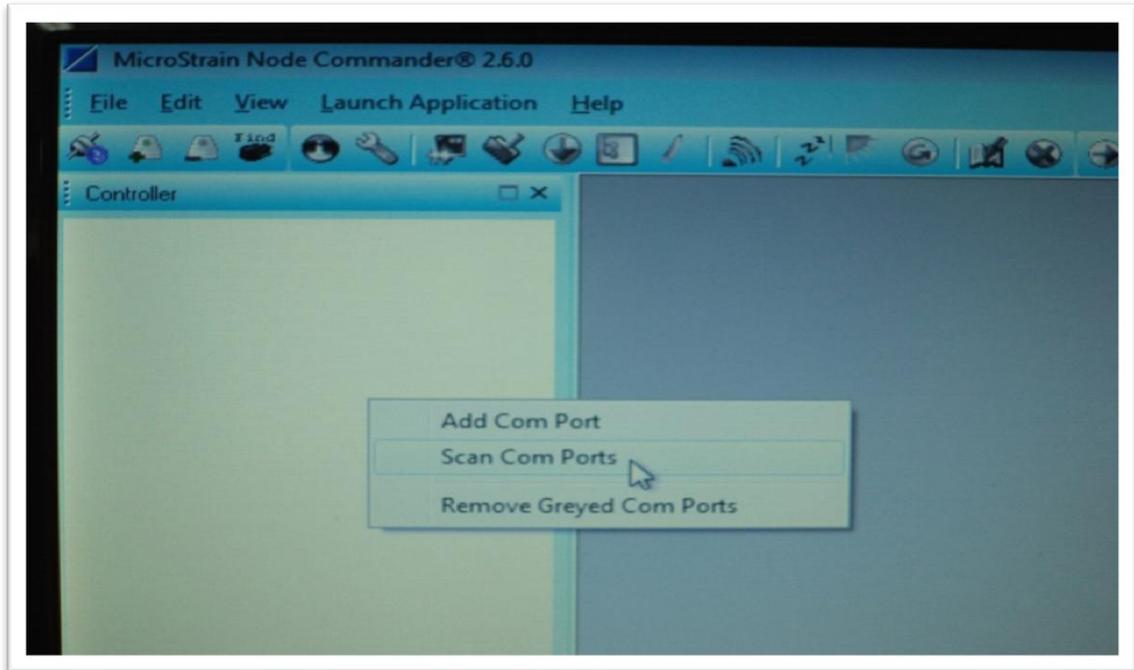


Figura 8.2.3a. Abrir programa.

Debe aparecer en la parte superior del cuadro Base Station Com x (Figura 8.2.3b). Si esta condición no se presentara, verificar estado físico del cable conector, chequear además el encendido de la estación y la fuente de tensión interna, si la tuviera.

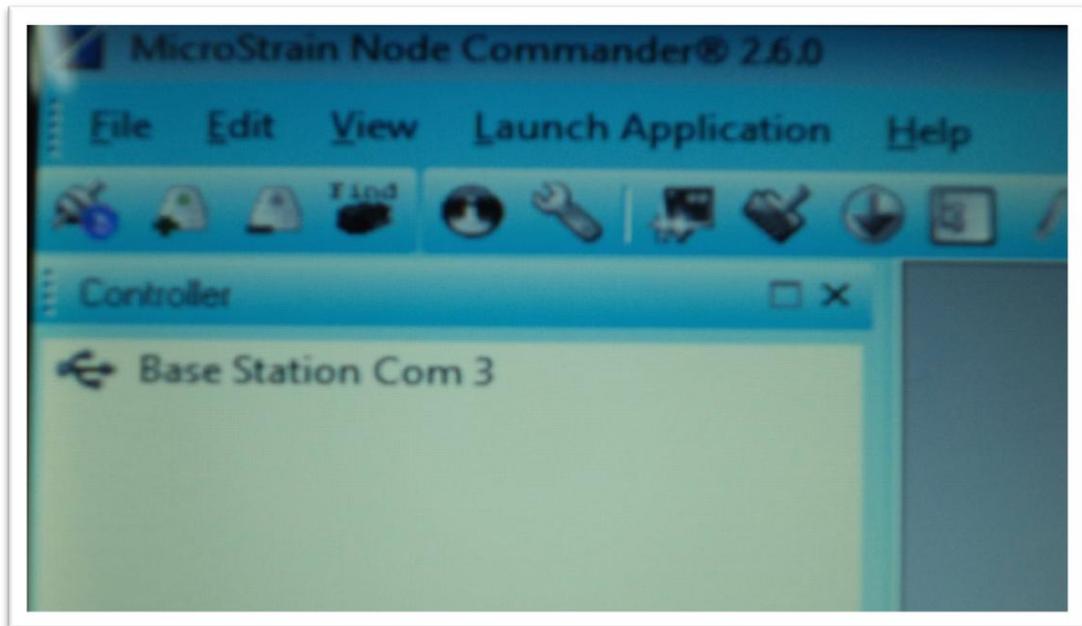


Figura 8.2.3b. Base Station com x.

8.2.4. Habilitar nodos.

Verificar el selector de alimentación eléctrica, interna o externa, este selector se ubica en la base del nodo. (Figura 8.2.4a.).

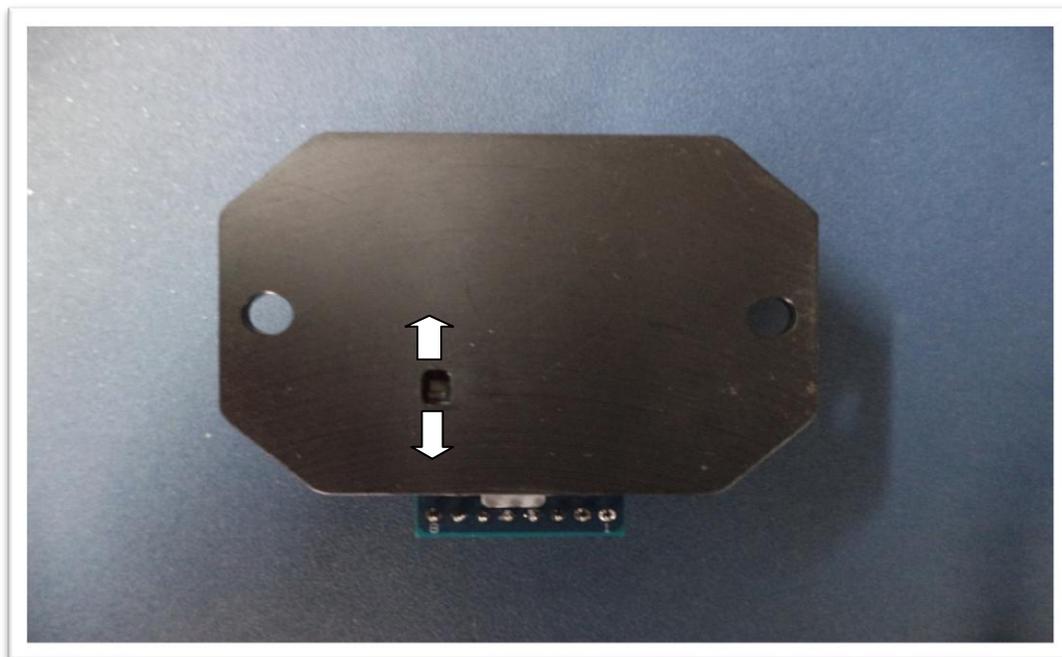


Figura 8.2.4a. Selector alimentación eléctrica.

Si se trabaja con alimentación de tensión externa, conectar en bornes 7 (-) y 8 (+) la batería o fuente de poder externa, voltaje desde 3,2 Vdc Hasta 9 Vdc para nodos SG-Link.

Conectar en bornera del nodo el elemento correspondiente: puente de Wheatstone y la celda de carga, si operara con alimentación de tensión externa. (Figura 8.2.4b.)



Figura 8.2.4b. Nodo con puente de Wheatstone y la celda de carga.

Encender nodo mediante selector de encendido ubicado en un costado de de la unidad, junto al conector de entrada para carga de batería interna (Figura 8.2.4c.). El primer led a la izquierda de los cuatro que se encuentran en la parte superior del nodo comenzará a parpadear en forma lenta.



Figura 8.2.4c. Selector de encendido.

Habilitados el o los nodos a utilizar, posicionar puntero sobre Base Station Com x y presionar botón derecho, seleccionar Add Node ► Scan Network, en casillas From y To ingresar rango de números que comprendan al nodo de menor serie (From) y al de mayor serie (To) (Figura 8.2.4.d).

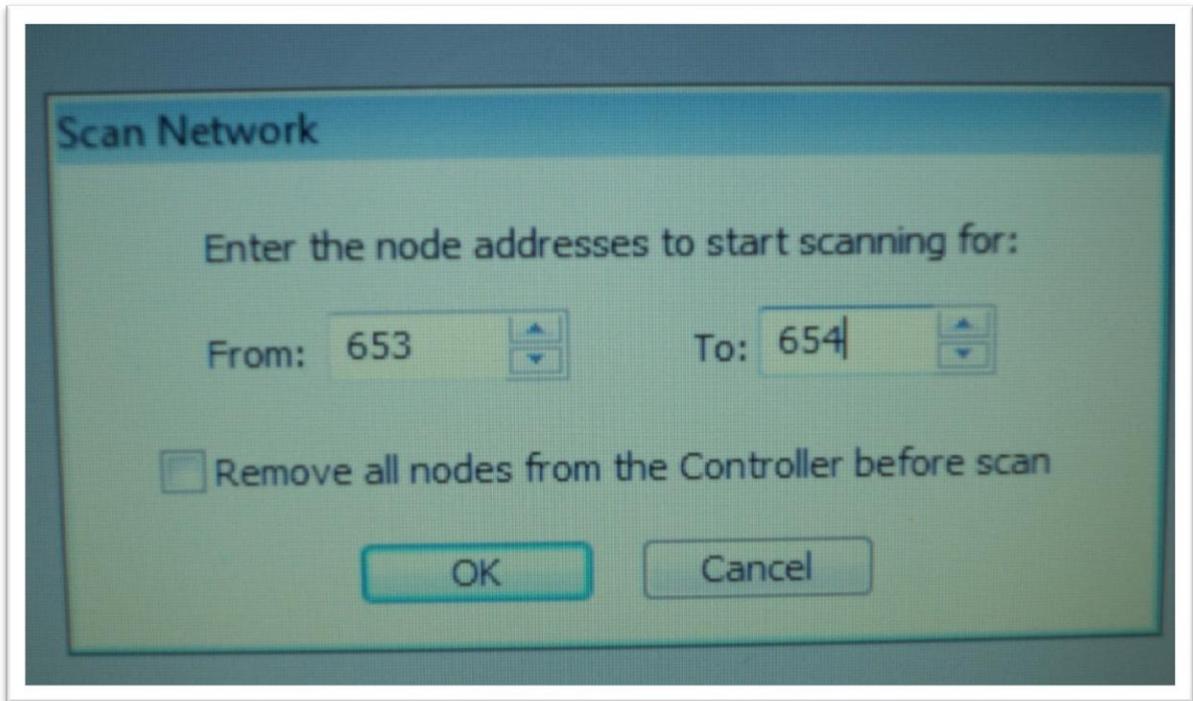


Figura 8.2.4d. Habilitar los nodos.

Si se trabaja solo con un nodo identificar su número de serie e ingresarlo en la opción Add node ► Add single node.

Los nodos que se encuentran correctamente habilitados se desplegarán inmediatamente bajo Base Station Com X (Figura 8.2.4e).

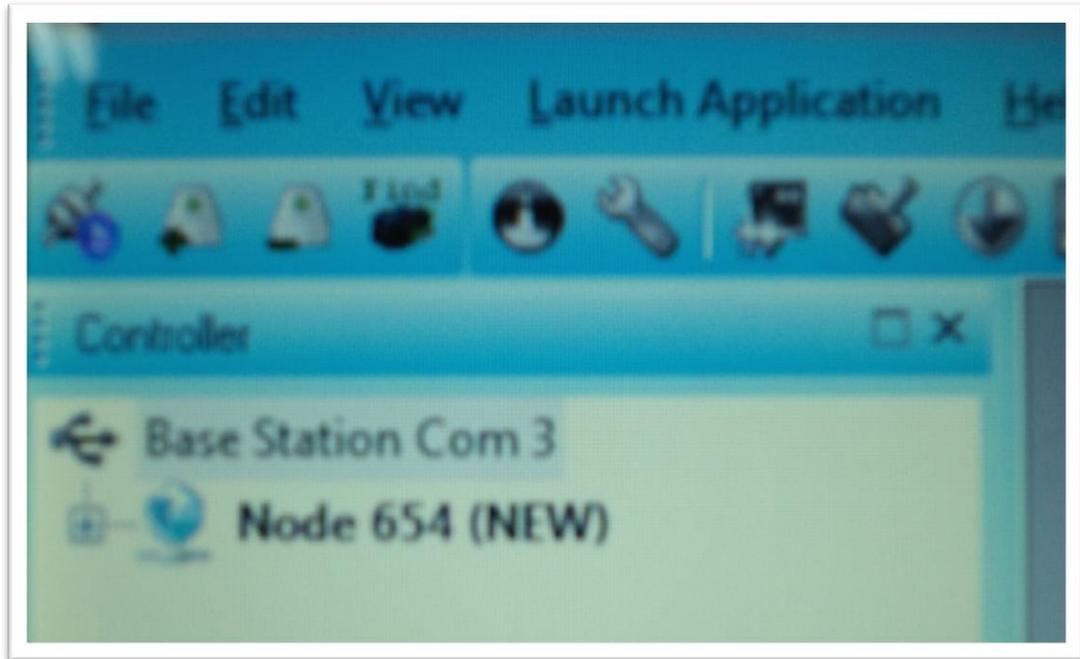


Figura 8.2.4e. Ingresar número de serie del nodo o de los nodos.

8.2.5. Calibración de nodos.

Primero se debe verificar la correcta comunicación de la estación base y el nodo, para lo cual ubicar puntero sobre Node xx desplegado bajo Base Station Com x, con botón derecho seleccionar Comunicate ► Range Test. (Figura 8.2.5a.).

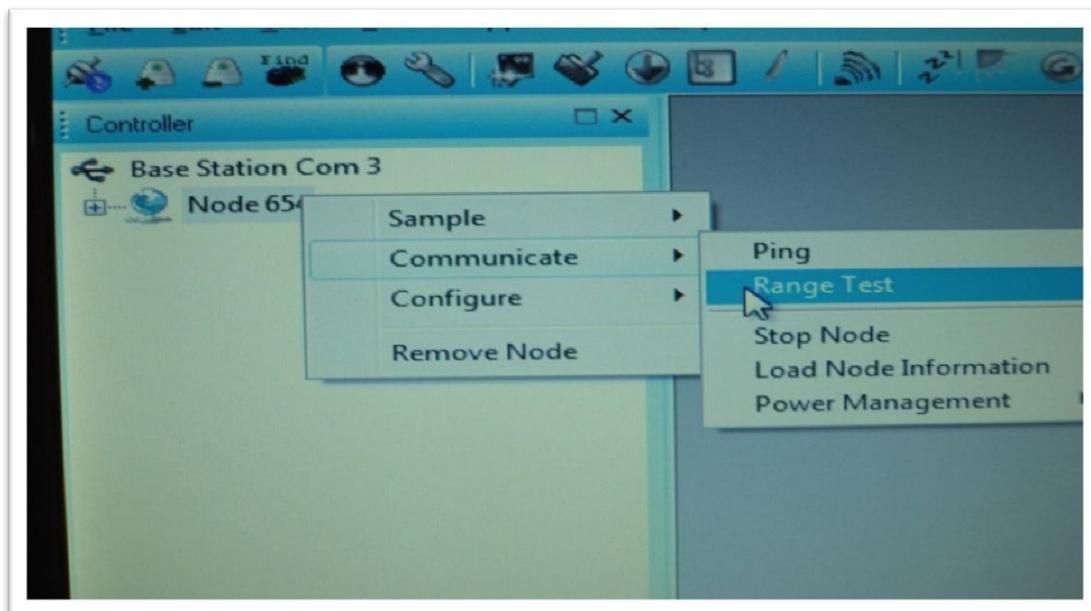


Figura 8.2.5a. Verificar comunicación entre la estación base y el nodo.

Esta ventana entrega información del porcentaje de paquetes de información correctamente recibidos. (Good Pings) para salir seleccionar cancel. Si la comunicación no es satisfactoria, mayor porcentaje de Bad Pings, verificar batería, fuente de poder o antena del nodo (Figura 8.2.5b.).

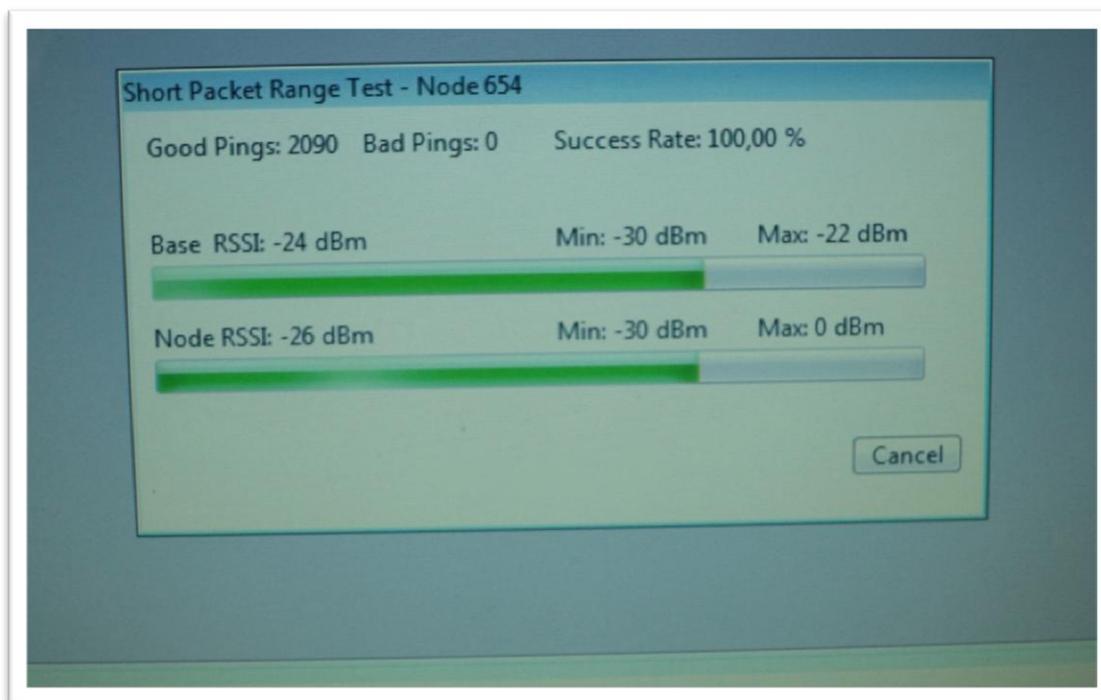


Figura 8.2.5b. Porcentaje de información correcta recibida.

Posicionarse sobre Node xx, presionar botón secundario Configure ► Calibration Coefficients ► Strain Wizard (Figura 8.2.5c.).

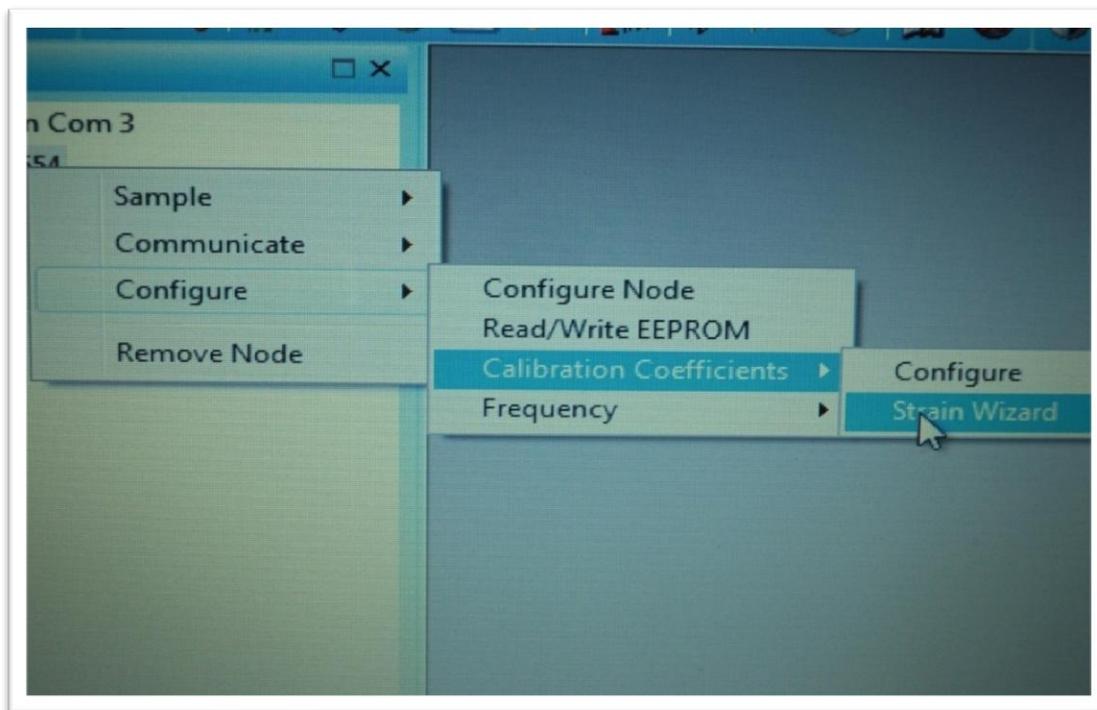


Figura 8.2.5c Configuración del nodo.

Se presenta en pantalla ventana Strain Wizard en esta primera ventana se debe seleccionar Test Settings. Bajo el cuadro Test Settings deberá desplegarse la siguiente información: Node settings successfully tested, presionar next >, (Figura 8.2.5d.).

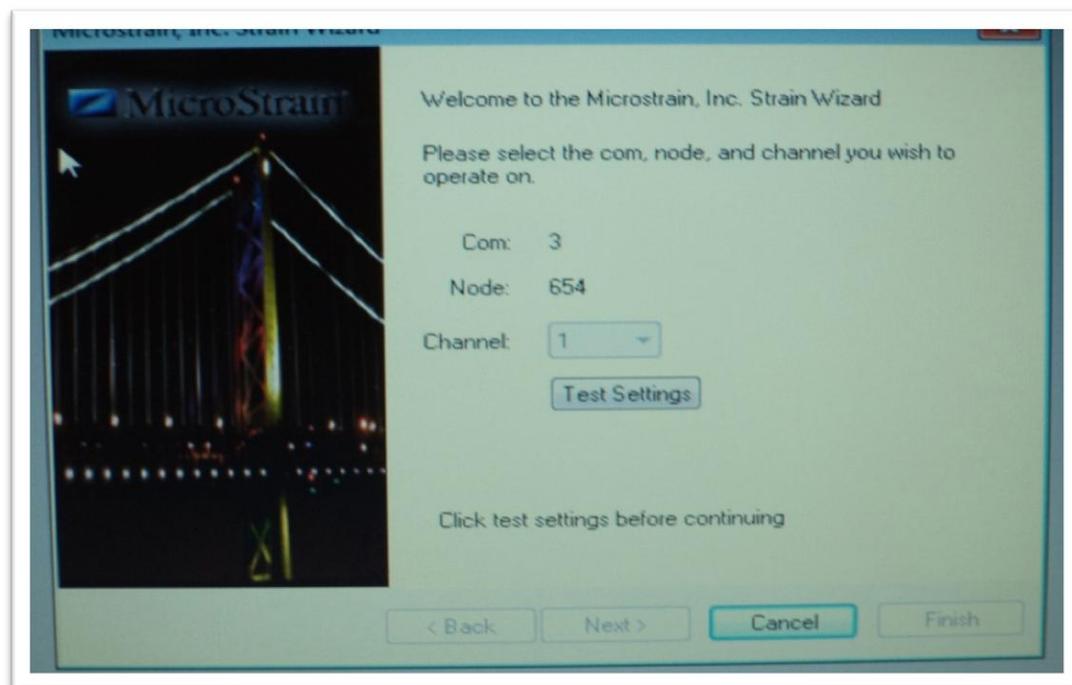


Figura 8.2.5d. Test settings.

Finalizado Test Settings se presentará una nueva ventana en la que se selecta el tipo de puente a utilizar (Figura 8.2.5e).

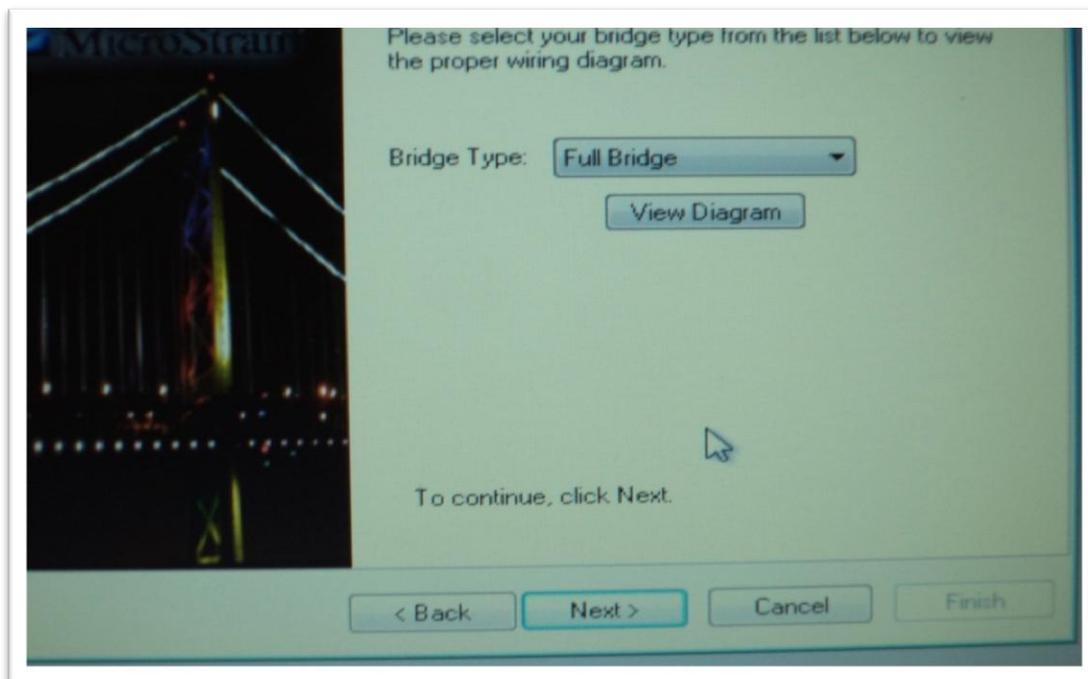


Figura 8.2.5e. Selectar tipo de puente.

Luego de seleccionar el tipo de puente a utilizar presionar next >, se presentará una nueva ventana, se debe pulsar botón Auto-balance. Si no existen problemas, se despliega información satisfactoria en color verde: Auto-balance completed sucessfully (Figura 8.2.5f.).

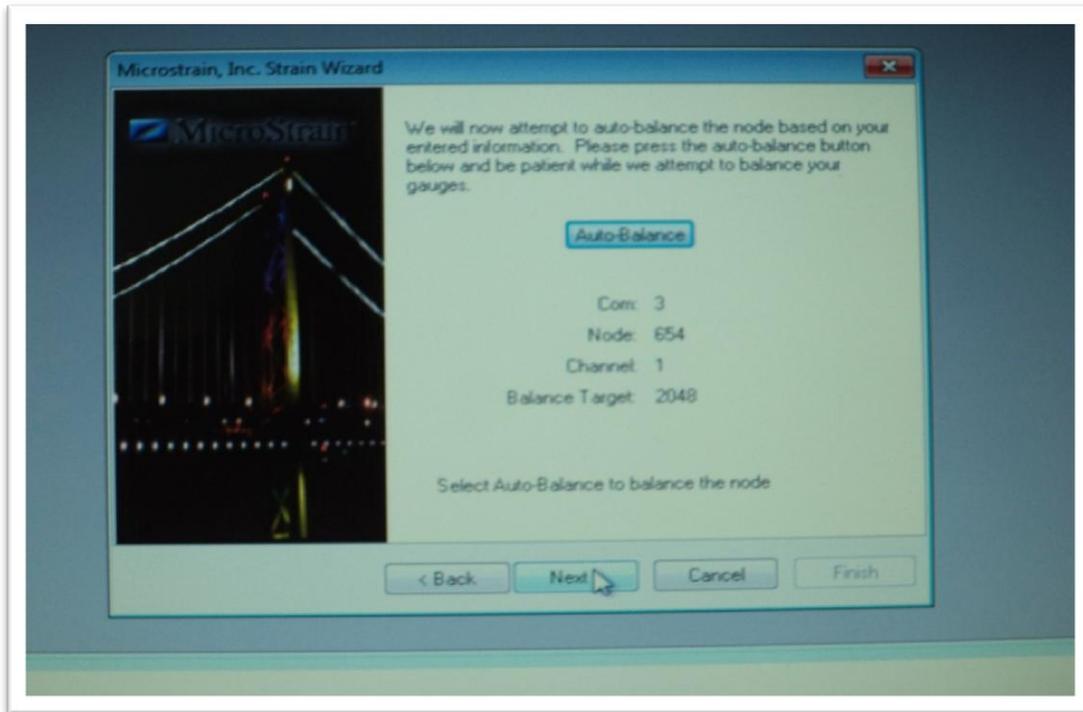


Figura 8.2.5f. Auto-balance.

Una vez verificada la información de Auto-Balance satisfactorio, presionar botón Next >, se presentará una nueva ventana, en la cual se debe seleccionar entre dos opciones de configuración de la medición, vía Strain Wizard o manualmente. Seleccionar primera opción (Use Strain Measurements Wizard), luego presionar botón Next > (Figura 8.2.5g).

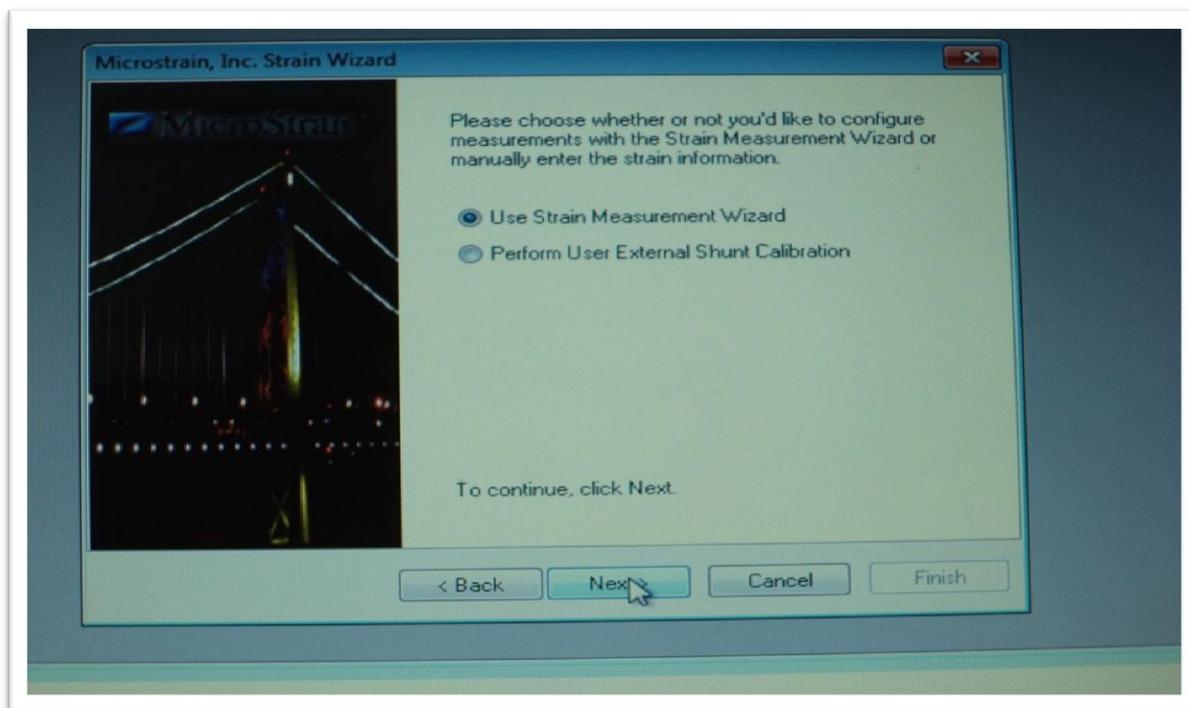


Figura 8.2.5g. Opciones de configuración de la medición.

La siguiente ventana que se presenta tiene relación con el elemento sensor a utilizar: La cantidad de galgas activas, valor de la resistencia, factor de galga. Se debe ingresar la información requerida y luego seleccionar botón calíbrate (Figura 8.2.5h.).

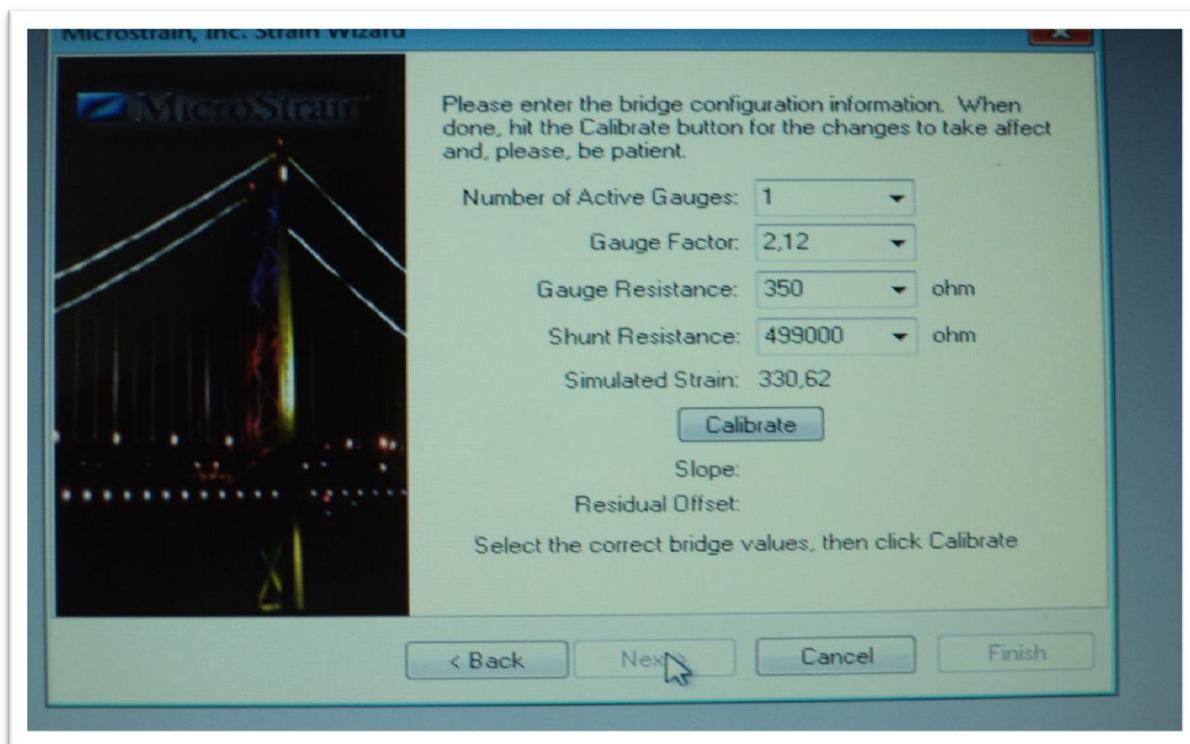


Figura 8.2.5h. Características del elemento sensor.

Se presenta una nueva ventana (Figura 8.2.5i.), en la cual se debe seleccionar nuevamente el botón calíbrate y se realiza la calibración. Finalizada se presenta un mensaje en color verde en el sector bajo a la izquierda de la ventana. (To accept calibration, click Accept). Seleccionar Accept para salir de la ventana de calibración.



Figura 8.2.5i. Imagen que indica una correcta calibración del nodo.

Con esta última acción, se vuelve a presentar la ventana de la figura 8.2.5h., la cual expone la información de los valores de Slope y Residual Offset en color verde (Figura 8.2.5j). Seleccionar botón Next >.

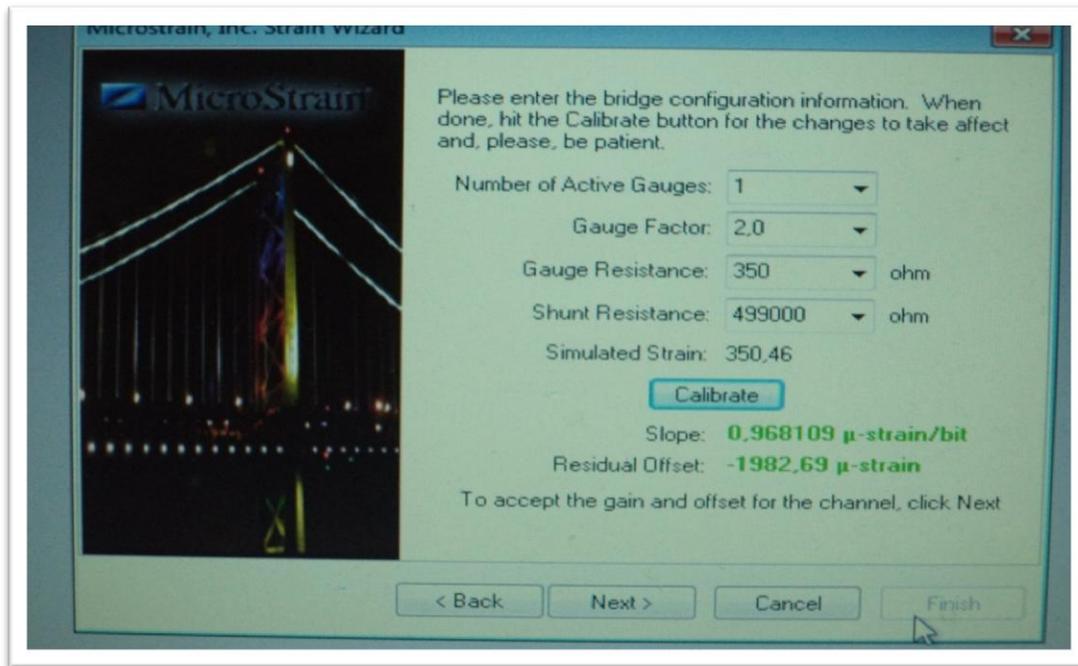


Figura 8.2.5j. Valores Slope y Offset.

Con este último comando se presentará una nueva ventana interrogativa que advierte que se borrarán los valores anteriores presentes en la memoria del nodo (Figura 8.2.5k.). Presionar botón Si.

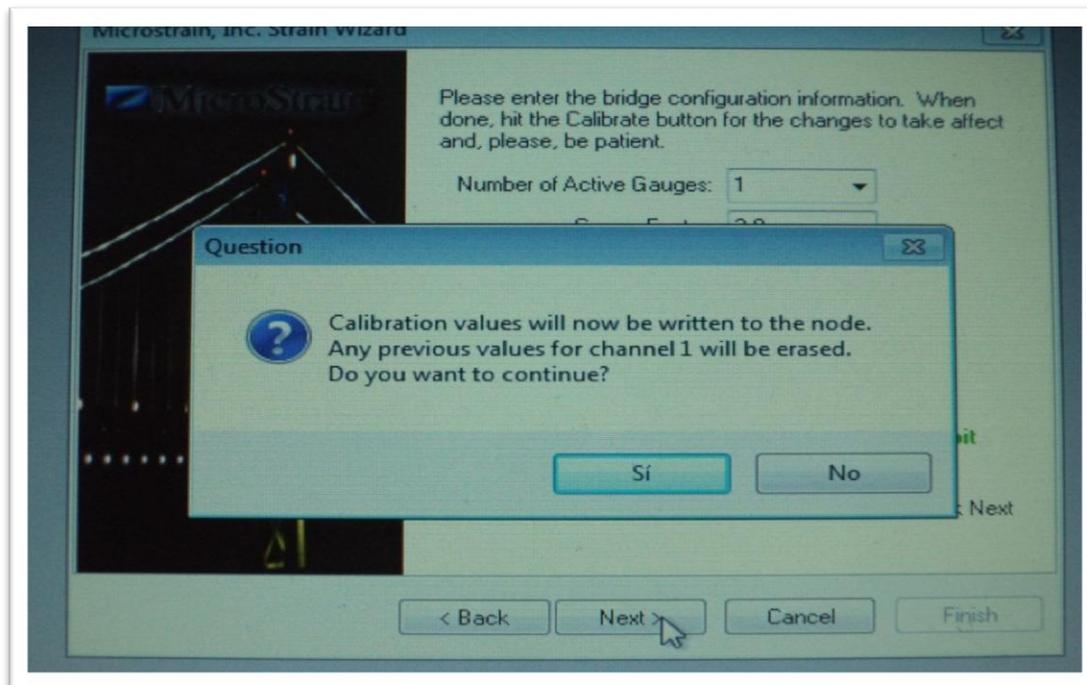


Figura 8.2.5k. Advertencia que se borrarán los valores anteriores presentes en la memoria del nodo.

Se despliega enseguida una nueva ventana: congratulations, la cual indica que se realizó satisfactoriamente la calibración del nodo. Para terminar el proceso de calibración se debe presionar el botón Finish (Figura 8.2.5I).

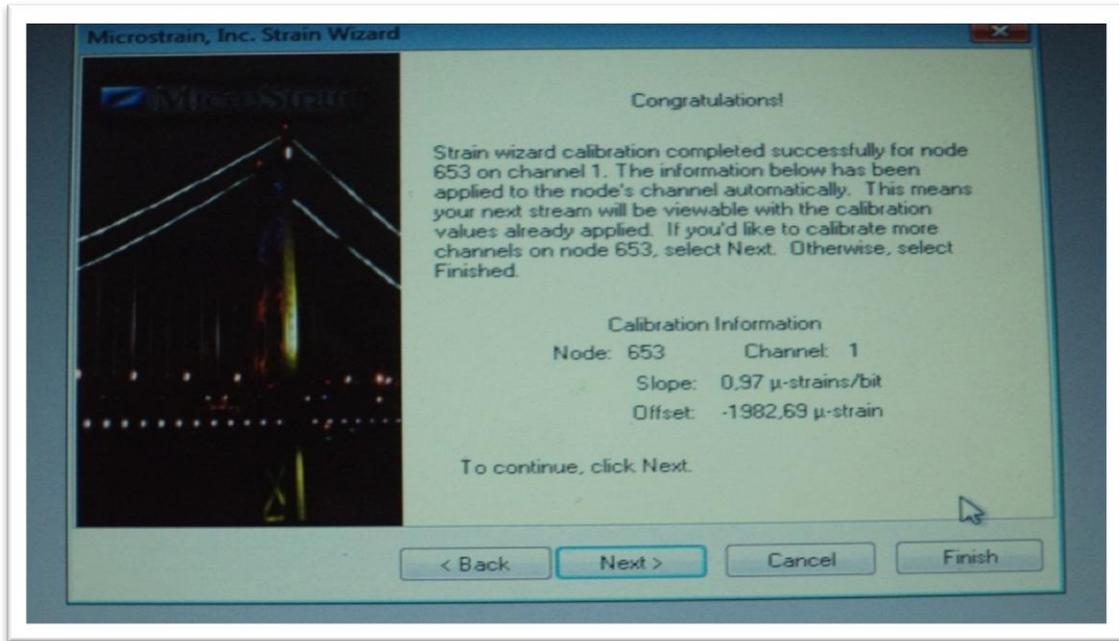


Figura 8.2.5I. Nodo calibrado.

Luego de finalizar los procedimientos de calibración y configuración, se está en condición de comenzar el tipo de medición configurada, para esto se debe ubicar el puntero sobre el nodo a utilizar, presionar botón secundario y seleccionar el tipo de medición a realizar (Figura 8.2.5m).

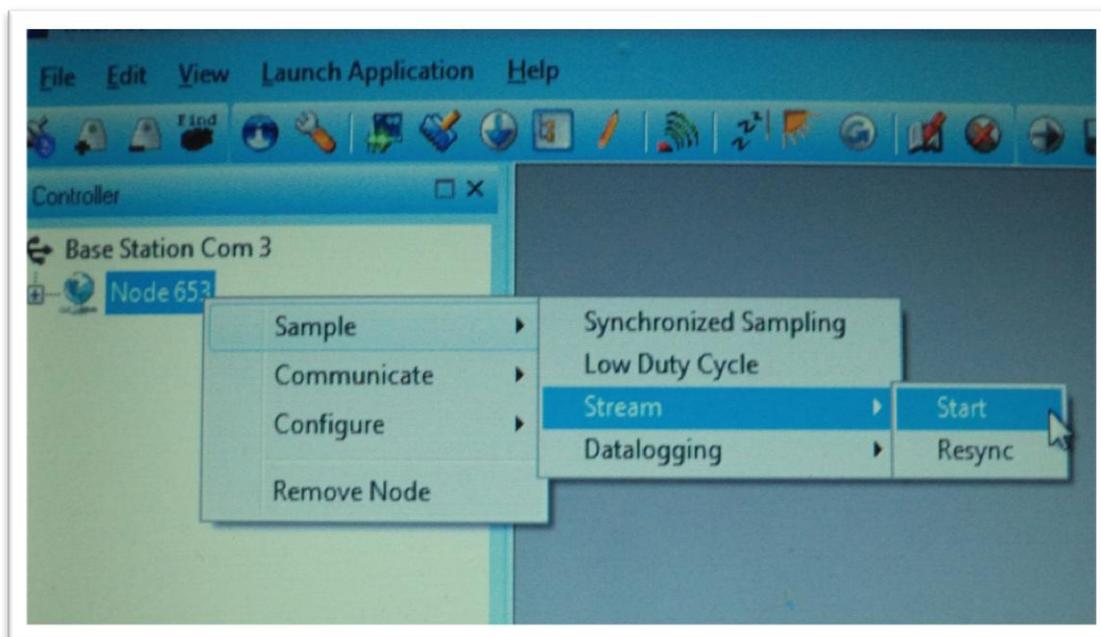


Figura 8.2.5m. Comienzo de la medición.

Se presentará en pantalla la ventana que indica que el nodo esta calibrado, este procedimiento se realiza sin carga ni torque en la pieza que se desea medir.

Posteriormente a esto estamos en condiciones de realizar mediciones (Figura 8.2.5n.)

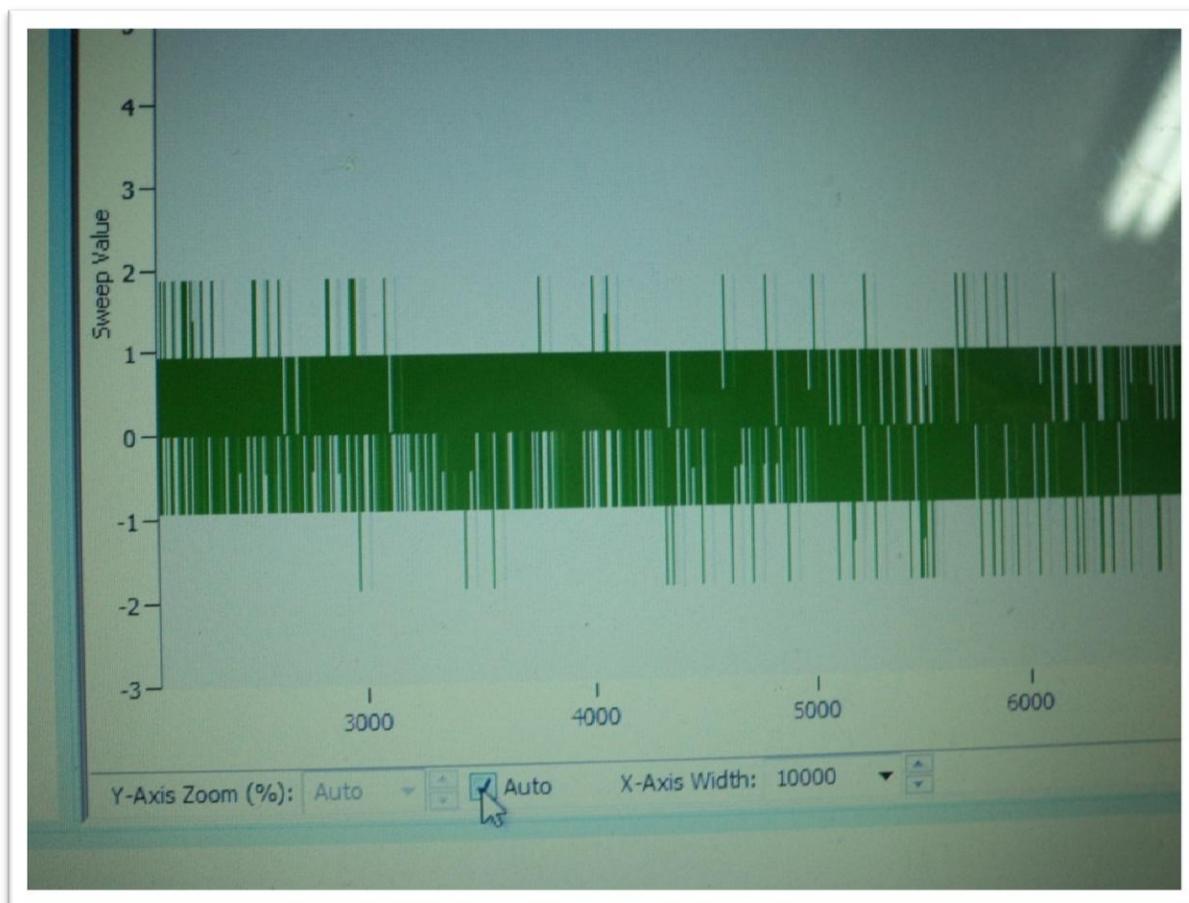


Figura 8.2.5n. Nodo calibrado correctamente.

8.3. Medición de deformación a barra de estudio instrumentada con nodos inalámbricos.

Para esta medición se empleó un Strain Gage marca OMEGA de 350Ω soldado a la barra (Figura 8.3a.) y un peso de 0.5 kilogramos (Figura 8.3b.).

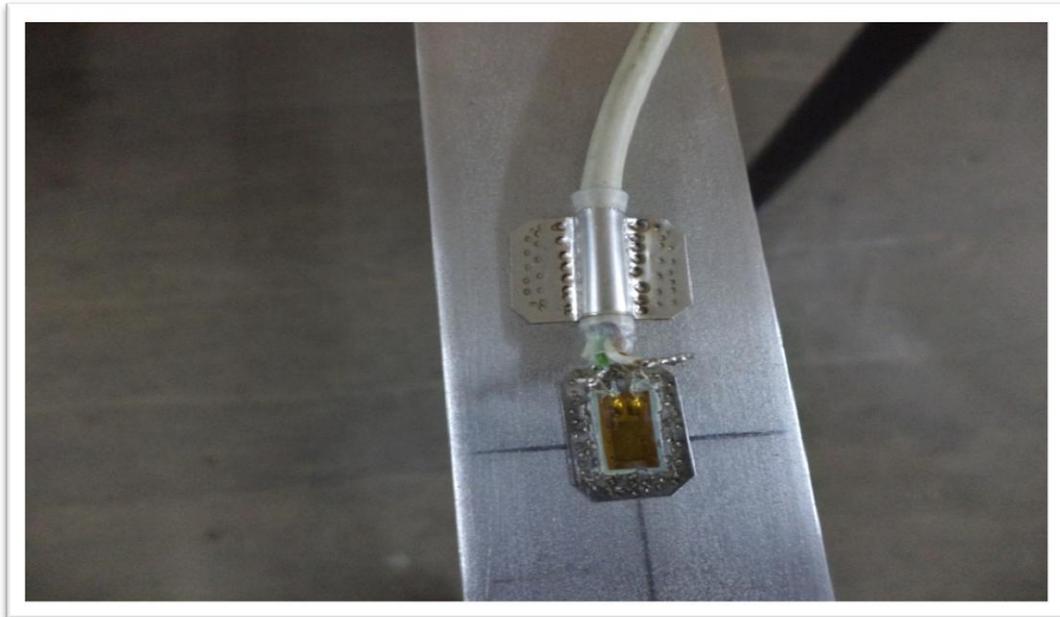


Figura 8.3a. Strain gage.



Figura 8.3b. Carga aplicada a la barra de estudio instrumentada.

Conexión de los dispositivos adecuados y procedimiento de adquisición de datos (Figuras 8.3c. y 8.3d.).



Figura 8.3c. Conexión de los dispositivos adecuados

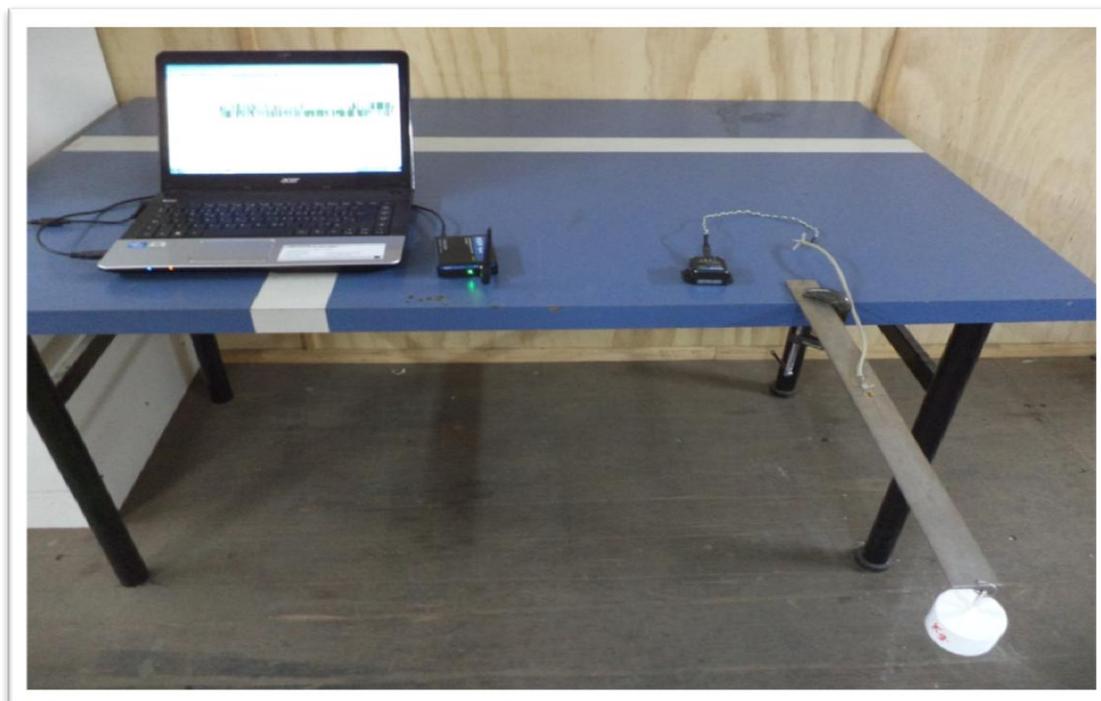


Figura 8.3d. Procedimiento de adquisición de datos.

8.3.1. Datos obtenidos con Nodos inalámbricos Microstrain.

Datos obtenidos de la barra de estudio instrumentada con nodo inalámbrico (Figura 8.3.1a.).

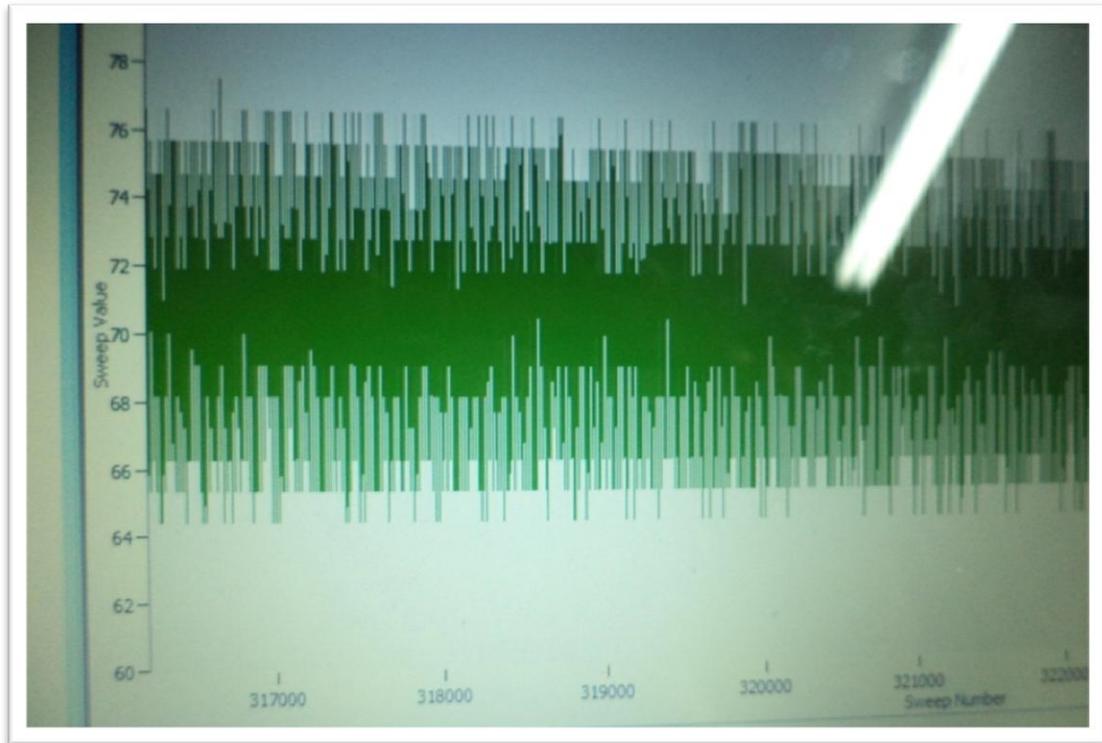


Figura 8.3.1a. Datos obtenidos con nodo inalámbrico.

8.4. Adquisición de datos en forma alámbrica.

Para la adquisición de datos en forma alámbrica se emplea: un adaptador NI 9945, un cable RJ 50 para módulo, un módulo NI 9237, un carrier NI USB-9162. Todos estos elementos son de la empresa NATIONAL INSTRUMENTS. Además del programa adquisición USB en labVIEW y un PC.

8.4.1. Adaptador NI 9945:

El adaptador NI 9945 es un módulo para usar con sensores de cuarto de puente, este módulo tiene terminales de tornillo en un extremo (Figura 8.4.1a.) y un conector RJ 50 hembra en el otro, (Figura 8.4.1b.). Posee una resistencia interna de 350Ω .



Figura 8.4.1a. Terminal de tornillo del adaptador NI 9945.



Figura 8.4.1b. Conector hembra del adaptador NI 9945.

En el extremo de terminal de tornillos se conectan los cables del Strain Gage y se ocupan los tornillos 0, 1 y 2. (Figura 8.4.1c) En el otro extremo se conecta el terminal macho del cable RJ 50.

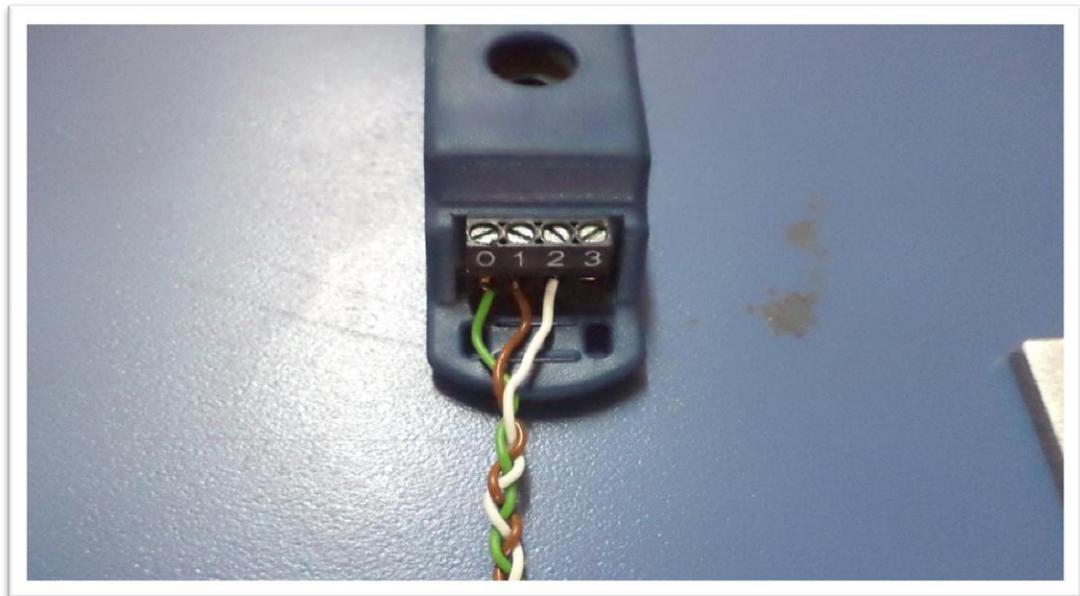


Figura 8.4.1c. Conexión de los cables del strain gage en el adaptador NI 9945.

8.4.2. Adaptador alternativo del adaptador NI 9945.

Cuando no es posible contar con el adaptador de cuarto de puente NI 9945 se debe diseñar un módulo que cumpla con las características necesarias para la conexión, para este caso debemos cortar el cable RJ 50 y solamente ocupar los cables de color: morado (Ex -), naranja (Rs -), gris (Al +), rojo (Rs +) y azul (Ex +) (Figura 8.4.2a.).

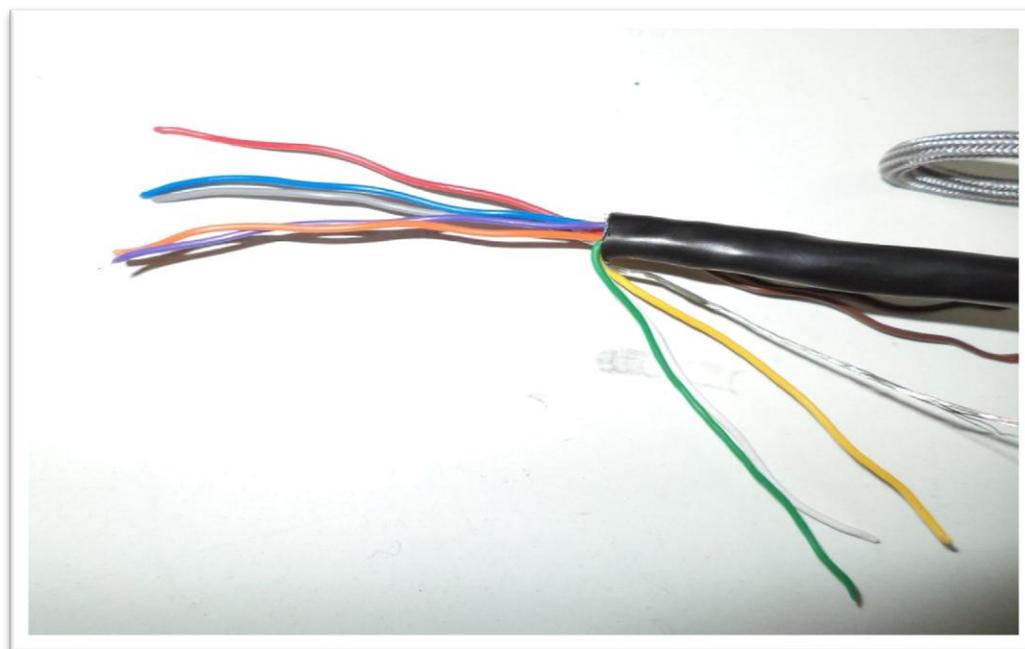


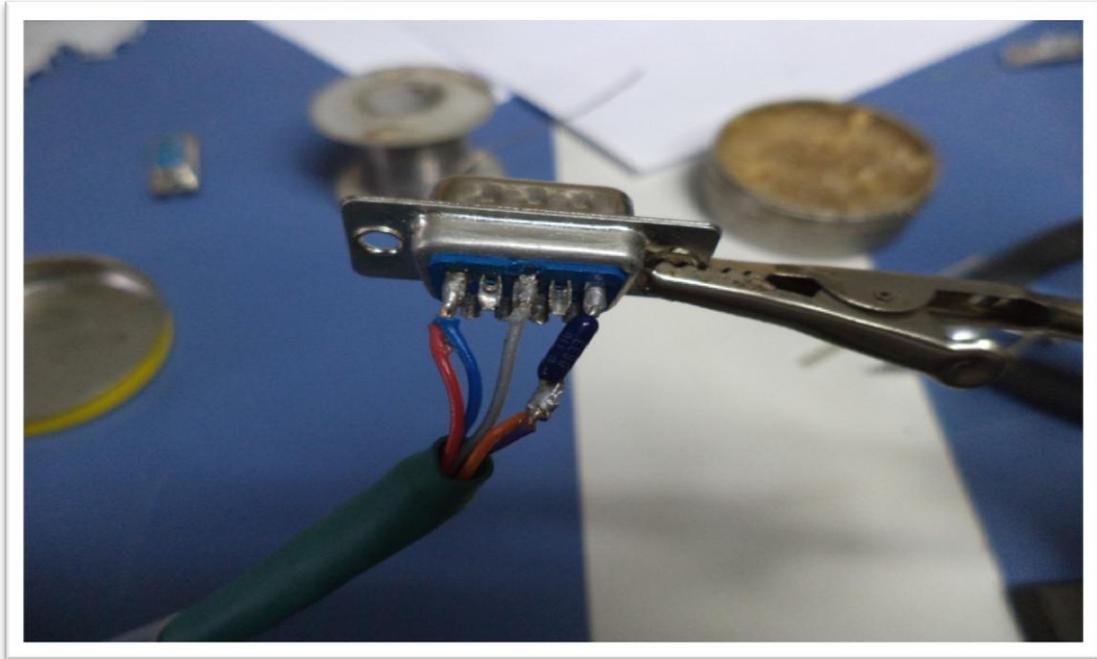
Figura 8.4.2a. Cable RJ 50 cortado.

Se emplea para el diseño de este módulo un conector de computador DB-9 VGA hembra- macho para soldar (Figura 8.4.2b.).



Figura 8.4.2b. Conector de computador DB-9.

Se debe Soldar el cable morado con el naranja y una resistencia de $350\ \Omega$ al 0.1% para después soldarlos al pin 1, luego soldar el cable color gris al pin 3 y finalmente unir el cable color rojo y azul y soldarlo al pin 5 del conector macho (Figura 8.4.2c.).



. Figura 8.4.2c. Conexión de los cables y resistencia al extremo macho del conector DB-9.

Posteriormente se deben soldar los cables que provienen del Strain Gage al conector hembra, para ello los cables blanco y café que provienen de un terminal de la grilla del Strain Gage se sueldan a los pines 1 y 3 respectivamente, el otro cable de color verde se conecta al pin 5 (Figura 8.4.2d.).

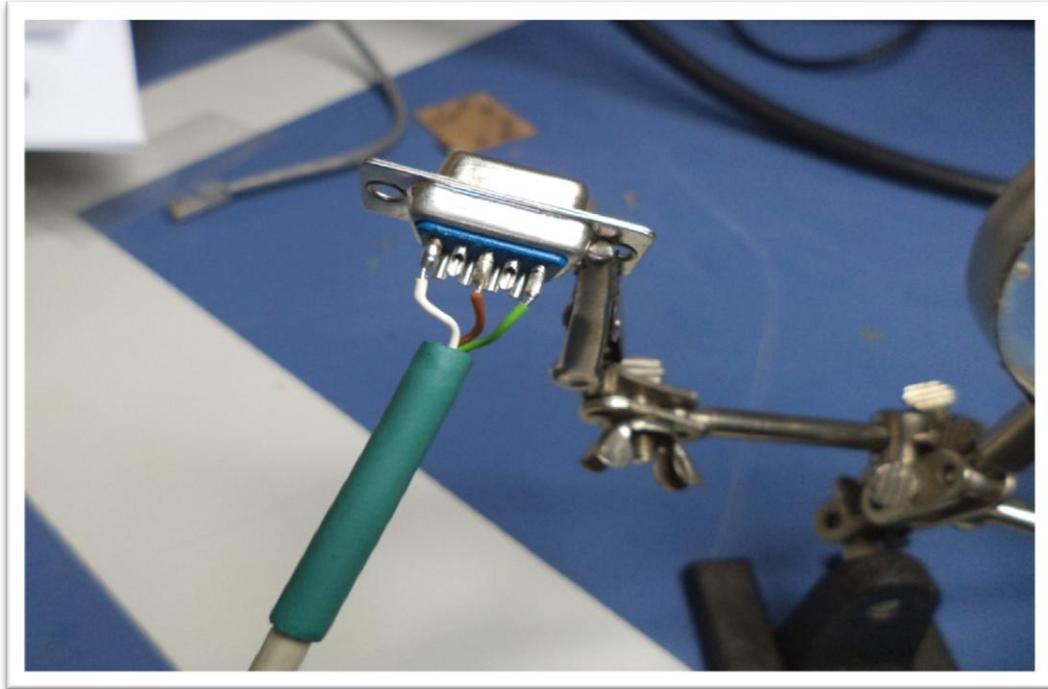


Figura 8.4.2d. Conexión de los cables al extremo hembra del conector DB-9.

Conector DB-9 con cables soldados sin carcasa, (Figura 8.4.2e).

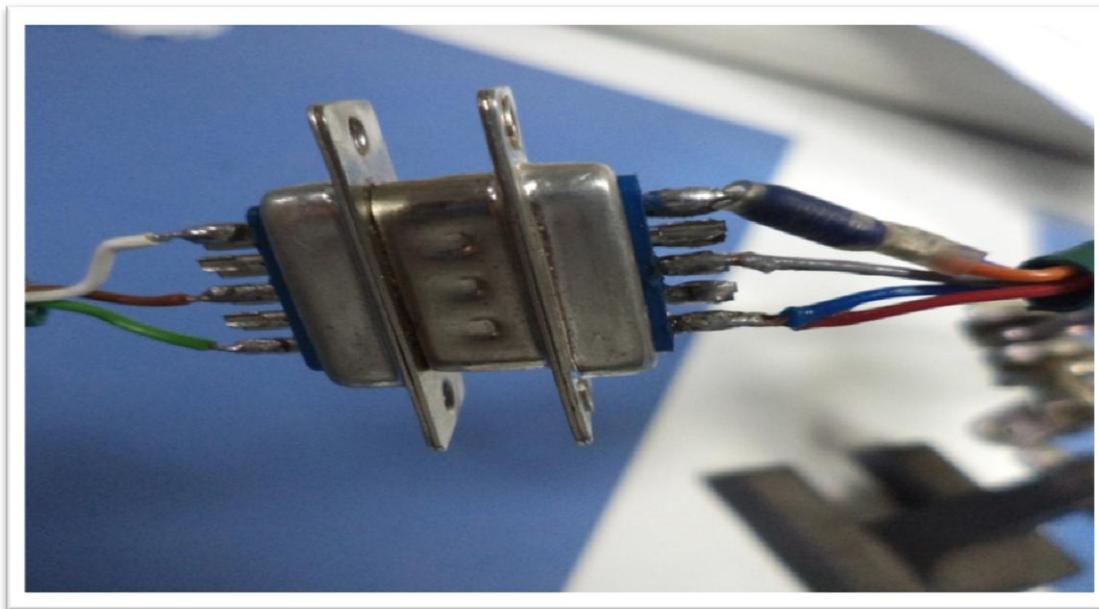


Figura 8.4.2e. Conector con cables soldados.

Conector terminado con carcasa, (Figura 8.4.2f.).

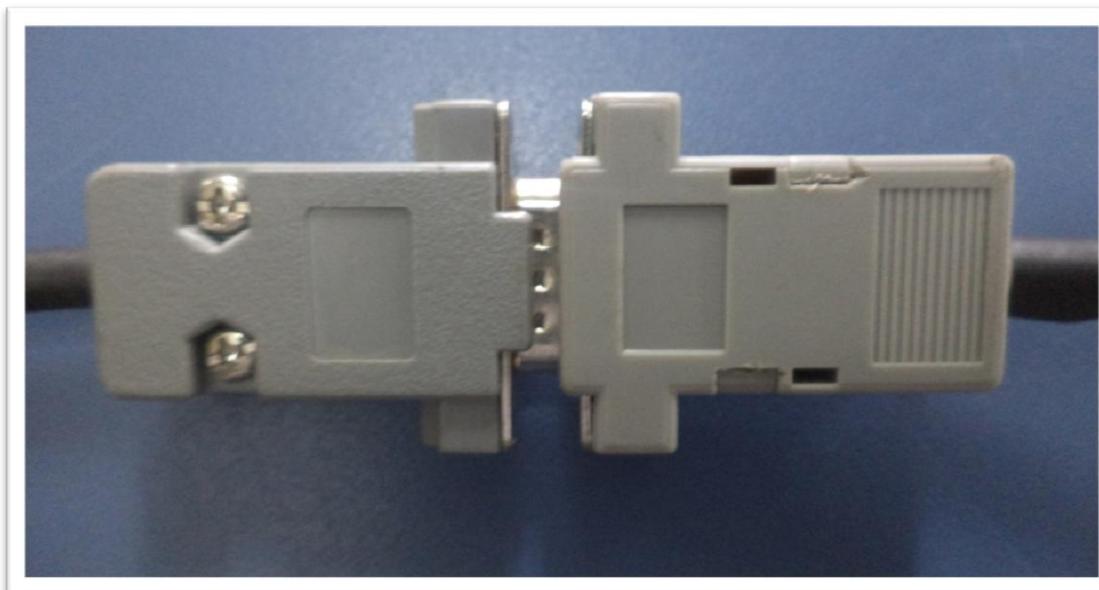


Figura 8.4.2f. Conector terminado.

8.4.3 Conector RJ 50.

El RJ 50 es un conector estándar de tipo cable, lo que significa que se puede adquirir en otros proveedores y además se puede instalar la longitud de cable requerida con las herramientas propias (Figura 8.4.3a.).



Figura 8.4.3a. Conector RJ 50.

8.4.4. Módulo de puente NI 9237.

Este módulo contiene todo el acondicionamiento necesario para alimentar y medir simultáneamente hasta cuatro sensores basados en puente. Los cuatro conectores RJ 50 proporcionan conexión directa a celdas de par de torsión o carga. La alta velocidad de muestreo y ancho de banda ofrecen un sistema de medida de alta calidad, con un alto rechazo de ruido y es muy seguro para el operador.

Se puede configurar en modo de cuarto de puente, medio puente y puente completo, los voltajes de excitación son: 2.5 v, 3.3 v, 5 v y 10 v.

Este módulo puede ser usado con NI CompactDAQ y CompactRIO (Figura 8.4.4a.).

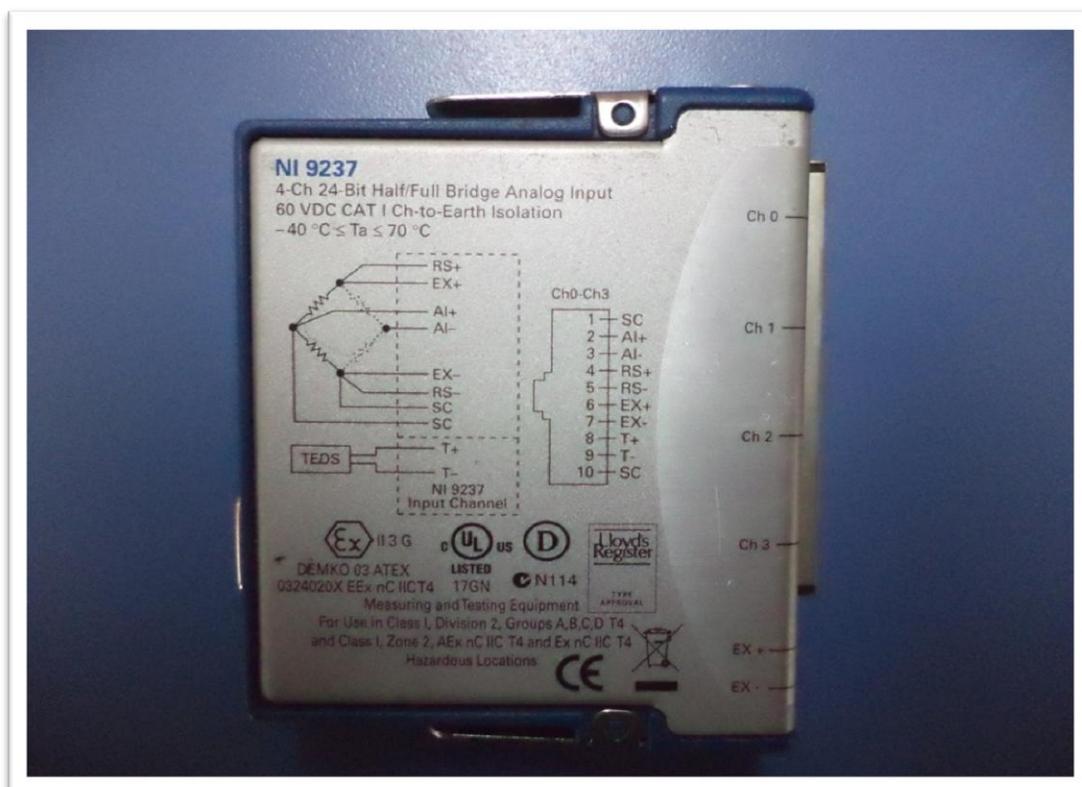


Figura 8.4.4a. Módulo de puente 9237.

Carrier NI USB 9162 de la serie C.

El sistema USB es una solución de bajo costo y altamente portátil. Además de la aplicación autónoma, se puede desplegar como un dispositivo de depuración para grandes sistemas o para conexiones de sensor antes de integrar los módulos en un sistema NI CompactRIO (Figura 8.4.5a.).



Figura 8.4.5a. Carrier NI USB 9162.

Módulo NI 9237 montado en el Carrier NI USB 9162 (Figura 8.4.5b)



Figura 8.4.5b. Módulo montado en el carrier.

8.4.6. Programa de adquisición USB.

Los Strain Gages son sensores que presentan una variación de resistencia eléctrica de forma proporcional a la deformación a la cual es sometida y esto se traduce en una variación de voltaje. Estas variaciones son muy pequeñas pero significativas para lo cual CADETECH S.A. implemento una aplicación basada en el programa labVIEW que se denominó “Adquisición USB”, con esta aplicación se miden las variaciones de voltaje que presenta el puente de wheatstone para cada canal del módulo NI 9237, teniendo también otros usos para diferentes módulos NATIONAL INSTRUMENT. El resultado de la medición obtenido en el PC es representado como curva de voltaje y se le debe aplicar un factor dos para obtener el resultado en microstrain en el pos procesamiento.

8.5 Descripción del procedimiento de adquisición de datos con programa de adquisición USB.

Previo al procedimiento de adquisición de datos se debe realizar conexión y configuración del equipamiento.

8.5.1. Conectar los cables del Strain Gage al adaptador NI 9945.

Conectar los cables del Strain Gage al adaptador NI 9945, insertando el cable de color verde en el calzo 0, el cable color café en el calzo número 1 y el cable color blanco en el calzo número 2 del terminal de tornillo (Figura 8.5.1a)

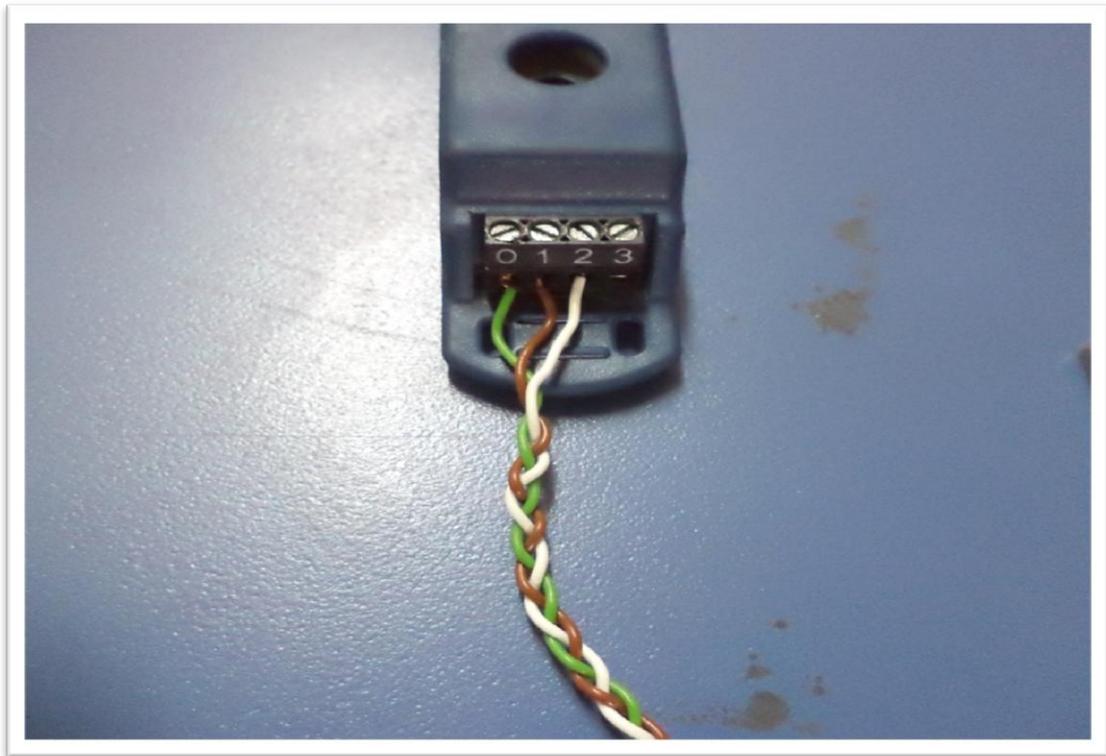


Figura 8.5.1a. Adaptador NI 9945.

8.5.2. Conectar módulo NI 9237.

Para conectar el módulo NI 9237 se debe insertar el módulo en el carrier NI 9162, luego conectar un extremo del cable RJ50 en uno de los cuatro canales del módulo 9237 y el otro extremo del cable en el lado hembra del adaptador NI 9945 (Figura 8.5.2a).

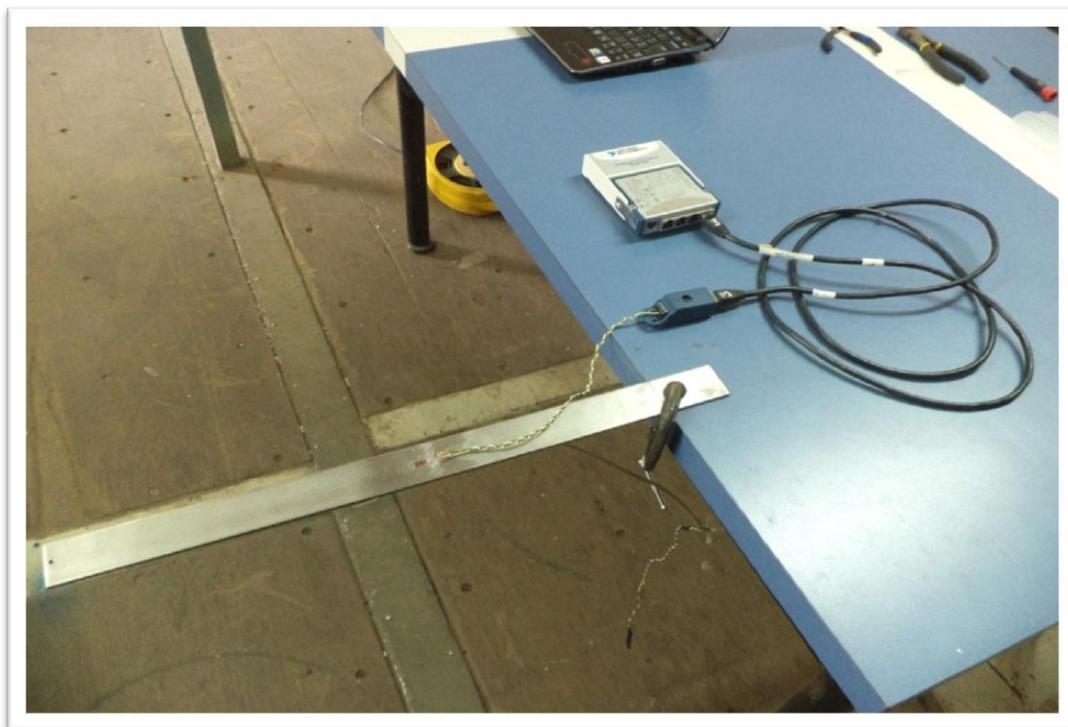


Figura 8.5.2a. Conectar módulo NI 9237.

Luego se conecta el carrier NI 9162 con el cable USB al PC (Figura 8.5.2b.).

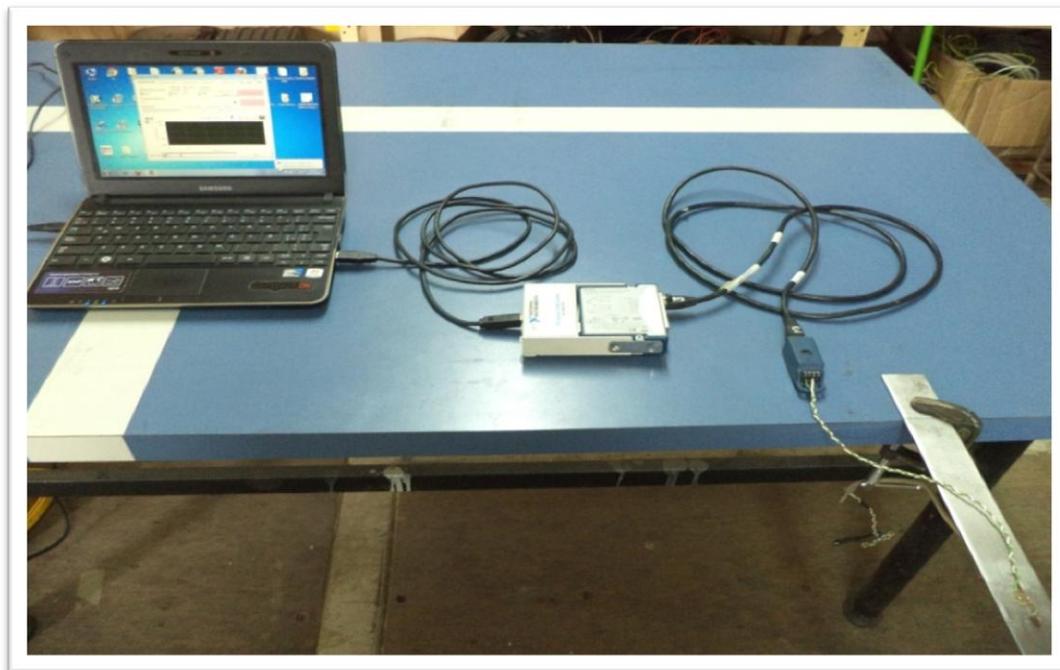


Figura 8.5.2b. Conexión del carrier al PC con cable USB.

8.5.3. Seleccionar canales.

Abrir programa adquisición USB. Se presenta la siguiente pantalla (Figura 8.5.3.a.).

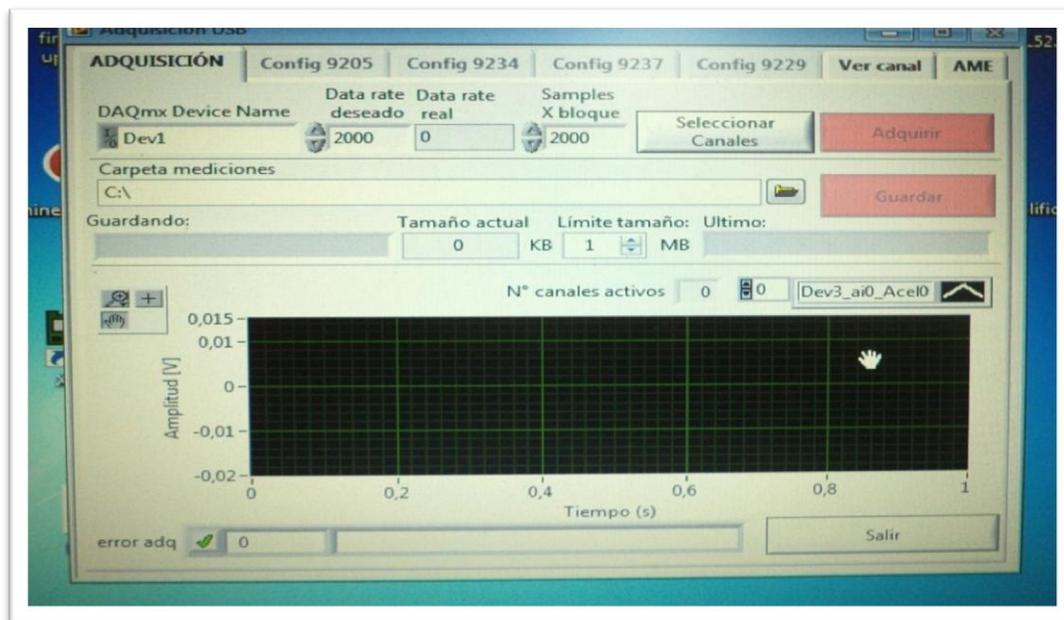


Figura 8.5.3.a. Abrir programa.

Se debe reconocer el módulo y el canal en el cual se mide, para lo cual se selecta el cuadro seleccionar canales (Figura 8.5.3b.).

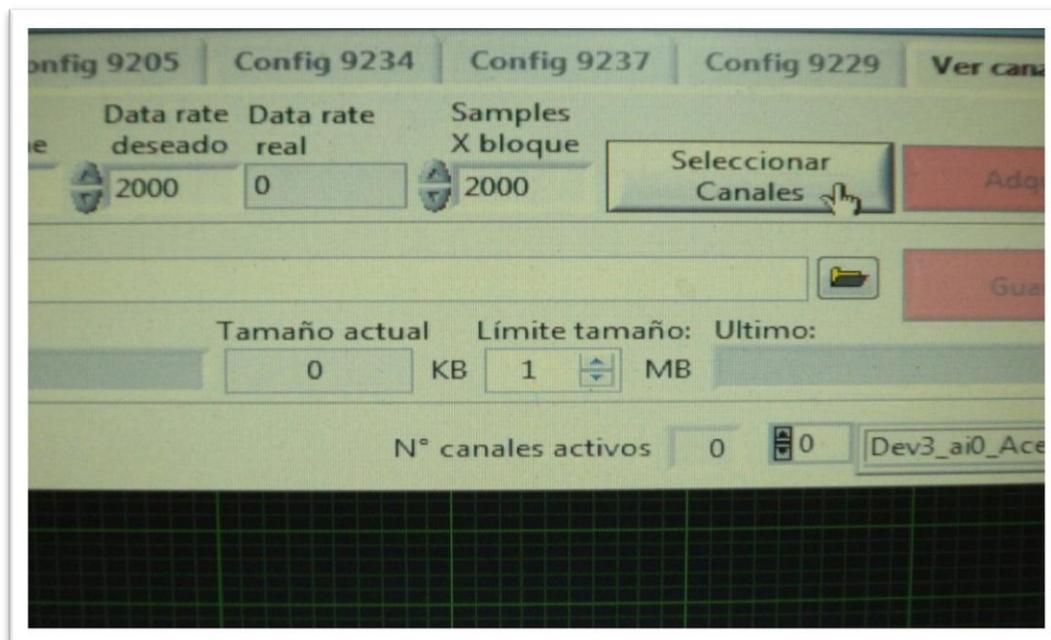


Figura 8.5.3b. Seleccionar canal.

Se debe seleccionar el o los canales de trabajo de los cuatro canales disponibles en el módulo NI 9237 (Figura 8.5.3c.)



Figura 8.5.3c. Canal de trabajo.

Seleccionado el canal de trabajo en el módulo, se debe seleccionar el canal en los canales disponibles del programa (Figura 8.5.3d.).

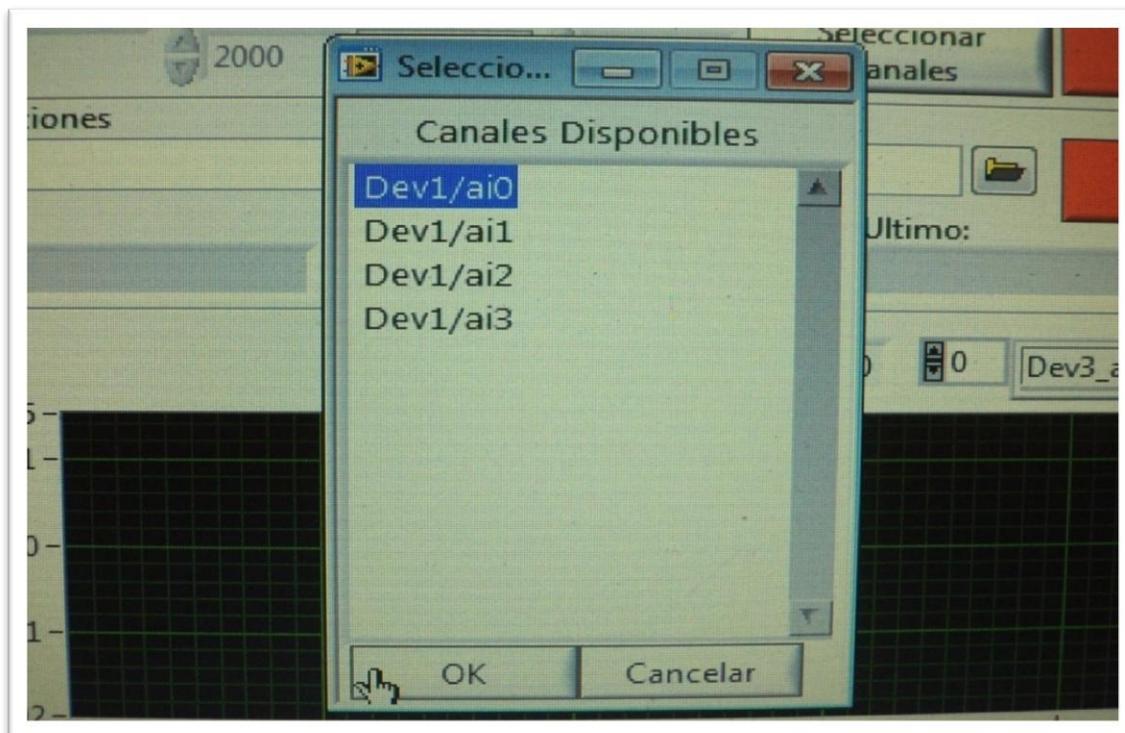


Figura 8.5.3d. Canales disponibles.

8.5.4 Se debe configurar el módulo de puente 9237.

Se debe configurar el voltaje de excitación, resistencia, factor de galga y el tipo de puente y seleccionar enter. (Figura 8.5.4a.), luego seleccionar adquisición.

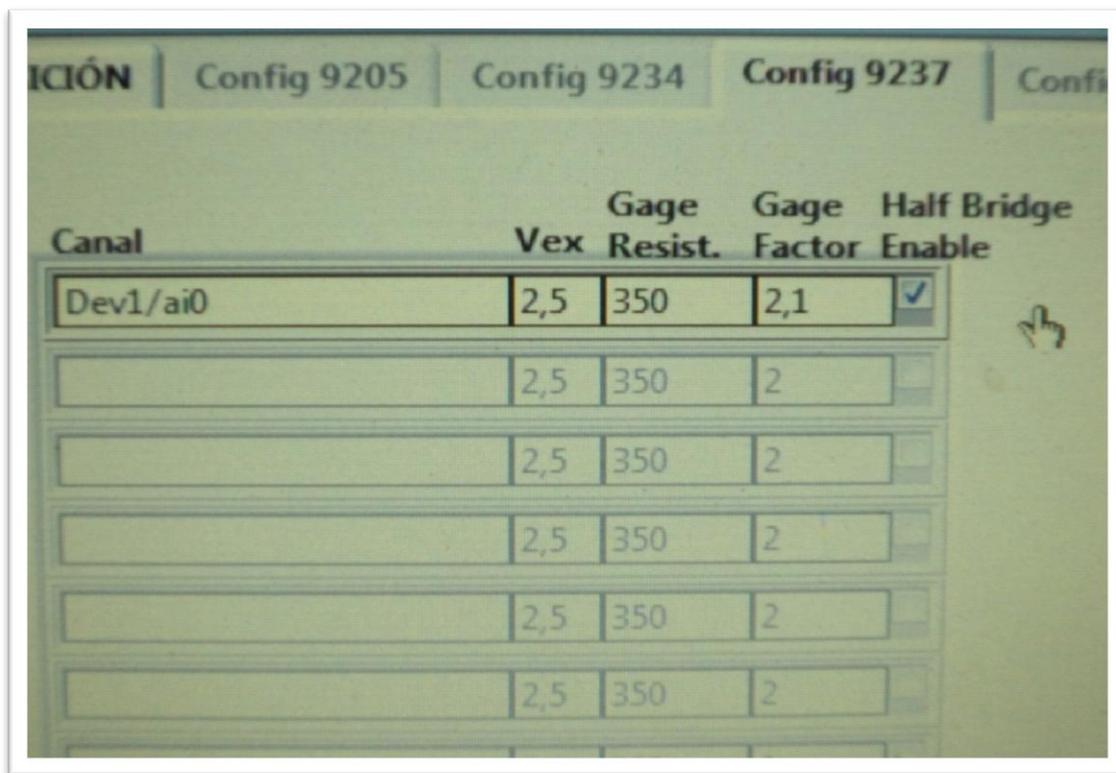


Figura 8.5.4a. Configurar módulo de puente NI 9237.

Luego se selecciona adquirir para verificar amplitud y estado inicial de medición (Figura 8.5.4b).



Figura 8.5.4b. Seleccionar adquirir.

8.5.5. Programa calibrado.

Se presentará la ventana que indica que el programa está calibrado y debemos registrar el valor presentado en pantalla (Figura 8.5.5a.).

Este procedimiento se realiza sin carga en la pieza que se desea medir, posteriormente a esto estamos en condiciones de realizar mediciones.

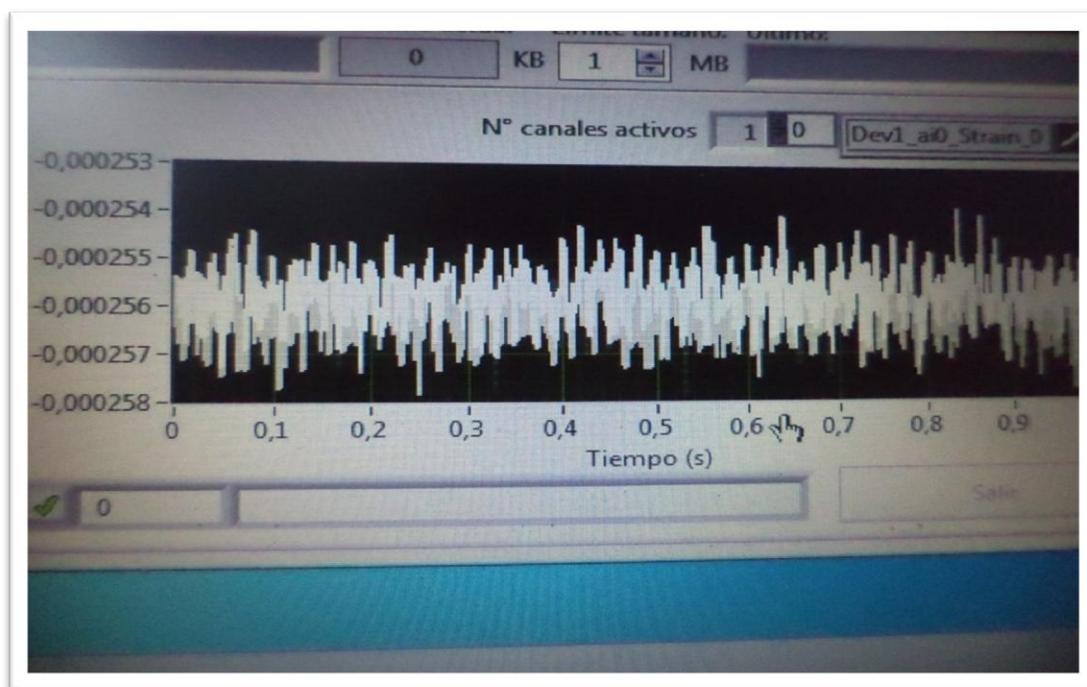


Figura 8.5.5a. Calibrado del programa.

8.5.6 Medición de deformación a barra de estudio instrumentada con programa de adquisición USB.

Para esta medición se empleó un Strain Gage marca KYOWA de 350Ω pegado a la barra (Figura 8.5.6a.) y un peso de 0.5 kilogramos (Figura 8.5.6b.).

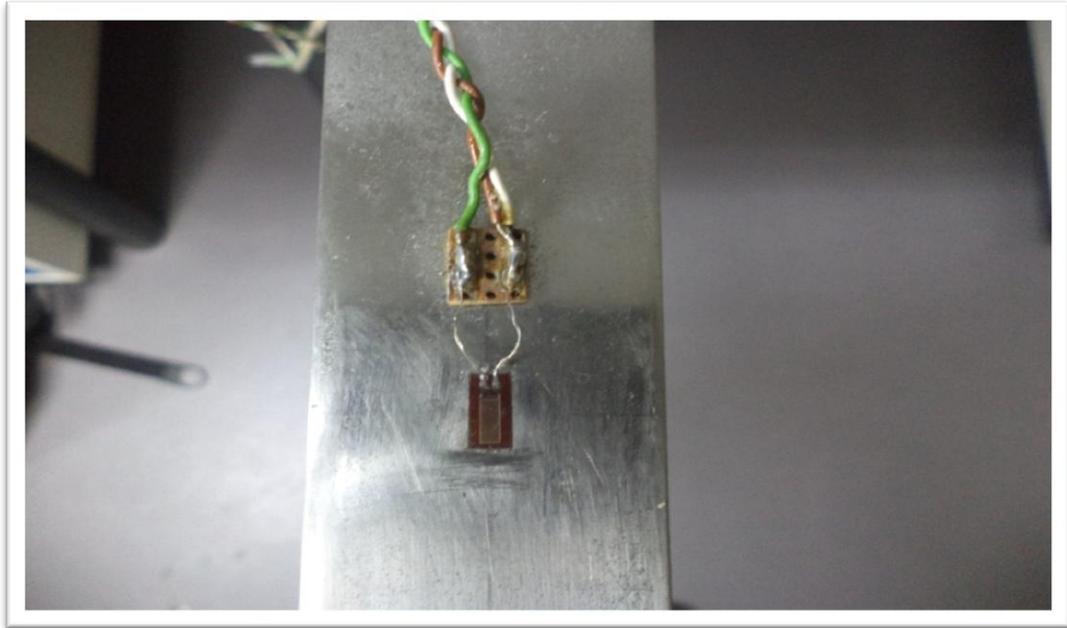


Figura 8.5.6a. Strain Gage pegado en la barra.



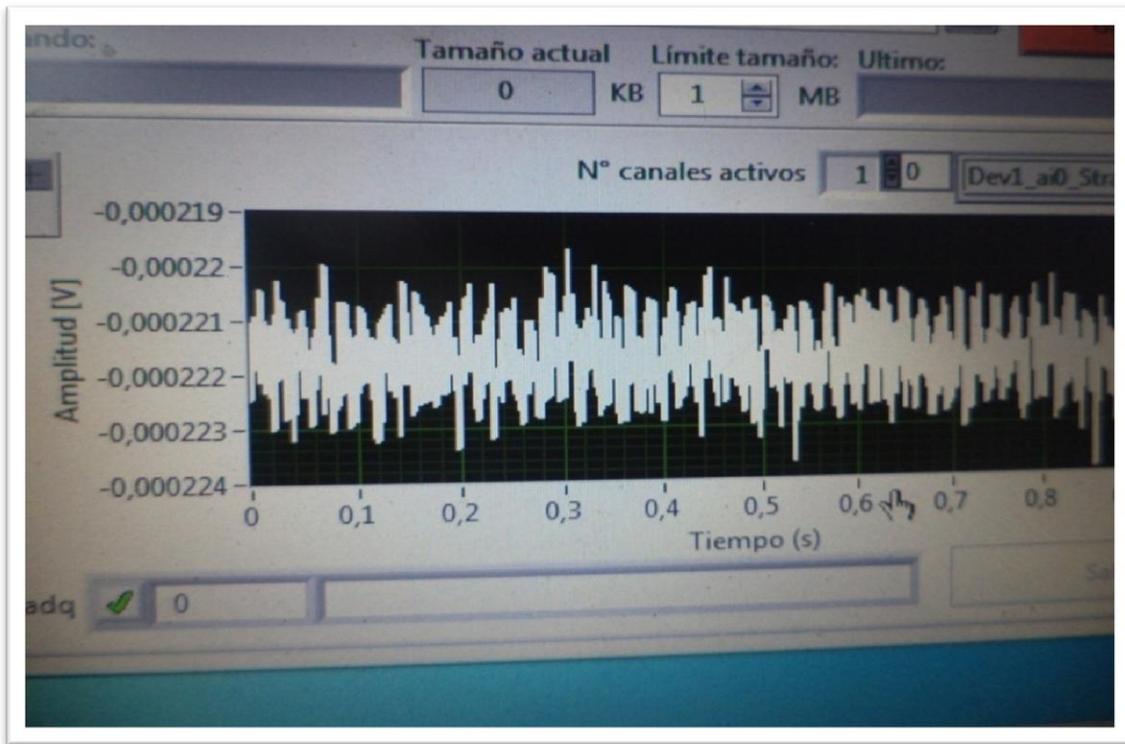
Figura 8.5.6b. Peso o carga aplicada a la barra.

Conexión de los dispositivos adecuados. (Figura 8.5.6c).



Figura 8.5.6c. Conexión.

8.5.7. Datos obtenidos con programa Adquisición USB.



Finalmente, al valor registrado de la calibración del programa sin carga se le debe restar los datos obtenidos de la medición con carga, estos valores en el programa son representados como una curva de voltaje y se le debe aplicar un factor dos para obtener el resultado en microstrain, por lo tanto:

$$\varepsilon = (\text{Amplitud (V) sin carga} - \text{Amplitud (V) con carga}) \times 2$$

$$\text{Amplitud (V) sin carga} = -0.000256$$

$$\text{Amplitud (V) con carga} = -0.000222$$

$$\varepsilon = (0.000256 - 0.000222) \times 2$$

$$\varepsilon = 6.8 \times 10^{-5}$$

$$\varepsilon = 68 \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon = 68 \mu\varepsilon$$

CAPÍTULO IX.

DESCRIPCIÓN Y CÁLCULO TEÓRICO DE DEFORMACIÓN DE LA BARRA DE ESTUDIO.

9.1. Descripción de la barra de estudio.

La estructura es una barra prismática que se encuentra en voladizo, esta barra se encuentra con un extremo fijo y con carga centrada de 0.5 Kilógramos en el extremo libre.

La barra es de acero inoxidable AISI 304, su módulo de elasticidad es de $187N/m^2$ y sus medidas son: 500 mm de largo, 35.7 mm. de ancho y 4 mm. de espesor.

Para la medición teórica de deformación se emplea un strain gage, cuyo centro se encuentra a una distancia de 248 mm. de la carga centrada (Figura 9.1.1)

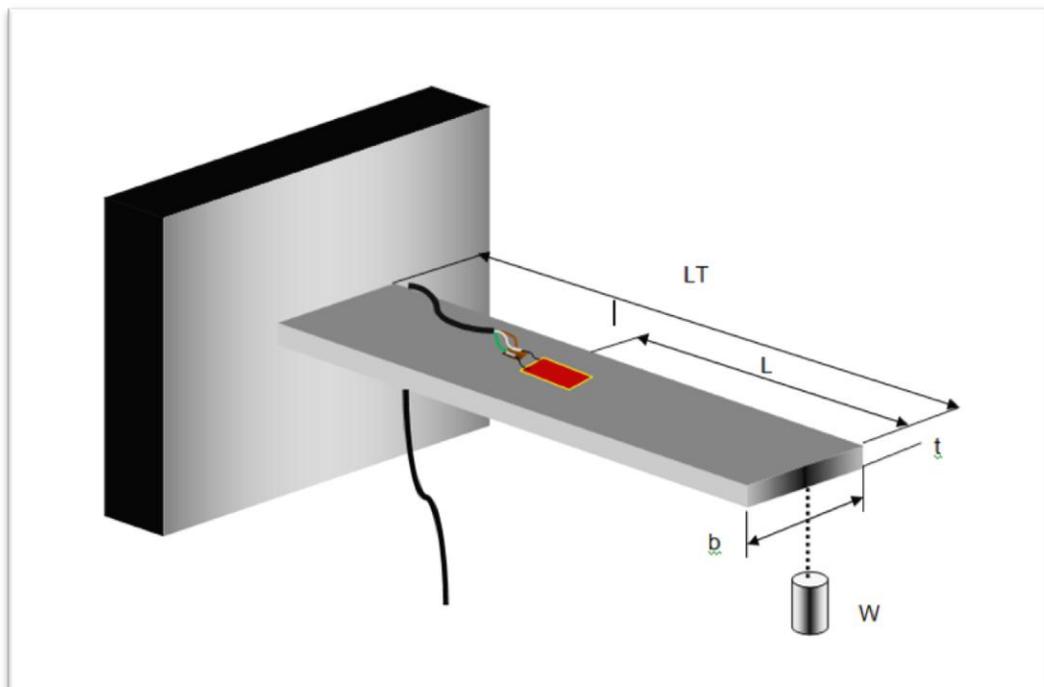


Figura 9.1.1. Barra de estudio.

9.2. Cálculo teórico de deformación de la barra.

Donde:

W = Peso de la carga centrada.

LT = Largo total de la barra.

E = Módulo de elasticidad de la barra de acero.

b = Ancho de la barra.

t = Espesor de la barra.

Desarrollo y fórmulas

$$W = 500\text{grs} \rightarrow 0.5\text{kgs} \rightarrow 4.9\text{N} .$$

$$LT = 496\text{mm} . \rightarrow 0.496\text{m} .$$

$$E = 187 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} .$$

$$b = 35.7\text{mm} \rightarrow 0.0357\text{m} .$$

$$t = 4\text{mm} . \rightarrow 0.004\text{m} .$$

$$\sigma = E \times \varepsilon_l \quad \sigma = \frac{M \times c}{I} \quad M = \frac{W \times LT}{2} \quad c = \frac{t}{2} \quad I = \frac{b \times t^3}{12}$$

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} \rightarrow \sigma = \frac{\frac{W \times LT}{2} \times \frac{t}{2}}{\frac{b \times t^3}{12}}$$

$$\sigma = \frac{\frac{4.9(\text{N}) \times 0.496(\text{m})}{2} \times \frac{0.004(\text{m})}{2}}{\frac{0.0357(\text{m}) \times (0.004\text{m})^3}{12}}$$

$$\sigma = 12764705 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\varepsilon_l = \frac{12764705 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{187 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \rightarrow \varepsilon_l = 68.26 \times 10^{-6} \rightarrow \varepsilon_l = 68.26 \mu\varepsilon$$

9.2.1 Cálculo teórico de deformación de la barra, empleando una fórmula más directa.

En esta fórmula se reemplaza el largo total de la barra (LT) por la distancia desde el centro del strain gage hasta la carga centrada en el extremo libre (L).

$$\varepsilon = \frac{6 \times W \times L}{E \times b \times t^2}$$

$$W = 500 \text{grs} \rightarrow 0.5 \text{kgs} \times 9.8 \rightarrow 4.9 \text{N}$$

$$L = 248 \text{mm.} \rightarrow 0.248 \text{m.}$$

$$b = 35.7 \text{mm.} \rightarrow 0.0357 \text{m.}$$

$$t = 4 \text{mm.} \rightarrow 0.004 \text{m.}$$

$$E = 187 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\varepsilon = \frac{6 \times 4.9(\text{N}) \times 0.248(\text{m})}{187 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.0357(\text{m}) \times (0.004(\text{m}))^2}$$

$$\varepsilon = 6.82 \times 10^{-5}$$

$$\varepsilon = 68.2 \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon = 68.2 \mu\varepsilon$$

CAPÍTULO X

ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO.

10.1. Introducción.

Los componentes mecánicos en forma de vigas, barras simples, etc., se pueden analizar con bastante facilidad por medio de métodos básicos de la mecánica que proporcionan soluciones aproximadas. Sin embargo los componentes reales rara vez son tan sencillos, y el diseñador se ve forzado a realizar aproximaciones menos eficaces mediante soluciones cercanas, experimentación o métodos numéricos. En diseño mecánico, donde el software de diseño asistido por computadoras (CAD) se utiliza de manera considerable, el método de análisis que se integra perfectamente con el CAD es el de análisis de elemento finito (FEA).

Existe una gran cantidad de aplicaciones del FEA tales como análisis estático y dinámico, lineal y no lineal, de esfuerzo y de deformación, Vibraciones libres y forzadas, transferencia de calor, inestabilidad elástica (pandeo), etc.

Un componente mecánico real es una estructura elástica continua. El FEA divide (discretiza) la estructura en pequeñas subestructuras (elementos) de tipo elástico, bien definidas. Al emplear funciones polinomiales en conjunto con operaciones matriciales, el comportamiento elástico continuo de cada elemento se desarrolla en términos del material y las propiedades geométricas del elemento. Las cargas se pueden aplicar dentro del elemento, en la superficie del elemento o en los nodos del mismo. Estos nodos son las entidades fundamentales de gobierno del elemento, es donde se conecta un elemento con los otros, donde finalmente se establecen las propiedades elásticas de los mismos, donde se asignan las condiciones de frontera y donde por último se aplican las fuerzas. Una vez que cada nodo dentro de la estructura está definido en forma matricial, entonces los elementos se ensamblan a través de sus nodos en común en una matriz global del sistema. Las cargas aplicadas y las condiciones de fronteras se especifican y mediante operaciones matriciales se determinan los valores de todos los grados de libertad de desplazamiento desconocido, una vez que se ha

realizado este procedimiento se puede hacer uso de estos desplazamientos para determinar las tensiones y esfuerzo por medio de las ecuaciones constitutivas de elasticidad.

10.2 Software Samcef.

SAMCEF es un paquete de software que proporciona análisis de ingeniería de estructuras. Históricamente, ha sido objeto de desarrollo a partir de 1965 por los profesores e investigadores de la universidad de Lieja en Bélgica, en estrecha colaboración con la industria. Actualmente se está desarrollando, manteniendo y comercializando por SAMTECH SA.

SAMCEF es un software de propósito general de elementos finitos para el análisis estructural y transferencia de calor. Sus aplicaciones son de uso generalizado en la industria mecánica, ingeniería eléctrica, aeronáutica, nuclear y naval, así como en los ámbitos de transporte, la ingeniería civil y en alta mar.

El sistema SAMCEF lo componen una serie de módulos interrelacionados y enlazados a un procesador, cuyas capacidades de análisis permiten que el usuario pueda hacer frente a los problemas de la estática y la dinámica, estabilidad, lineales o no lineales. También contiene módulos de análisis más especializados, los cuales permiten el estudio de las máquinas rotativas, redes de cable, las tensiones electromagnéticas en los sistemas eléctricos

10.3. Datos obtenidos con modelo de elemento finito.

10.3.1. Condiciones de borde.

Extremo empotrado y carga (Figura 10.3.1a)

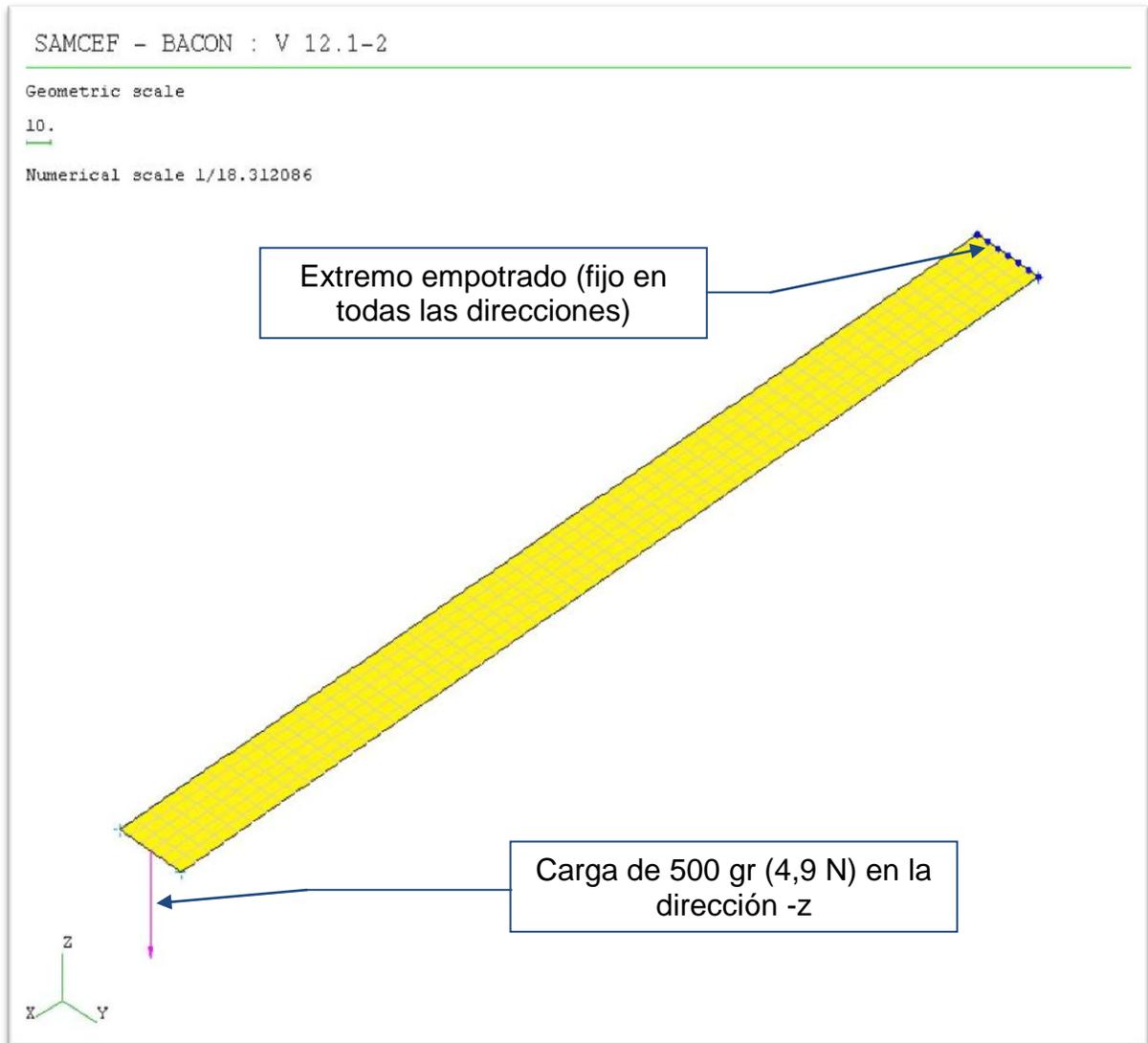


Figura 10.3.1a Extremo empotrado y carga.

Mallado. (Figura 10.3.1b.)

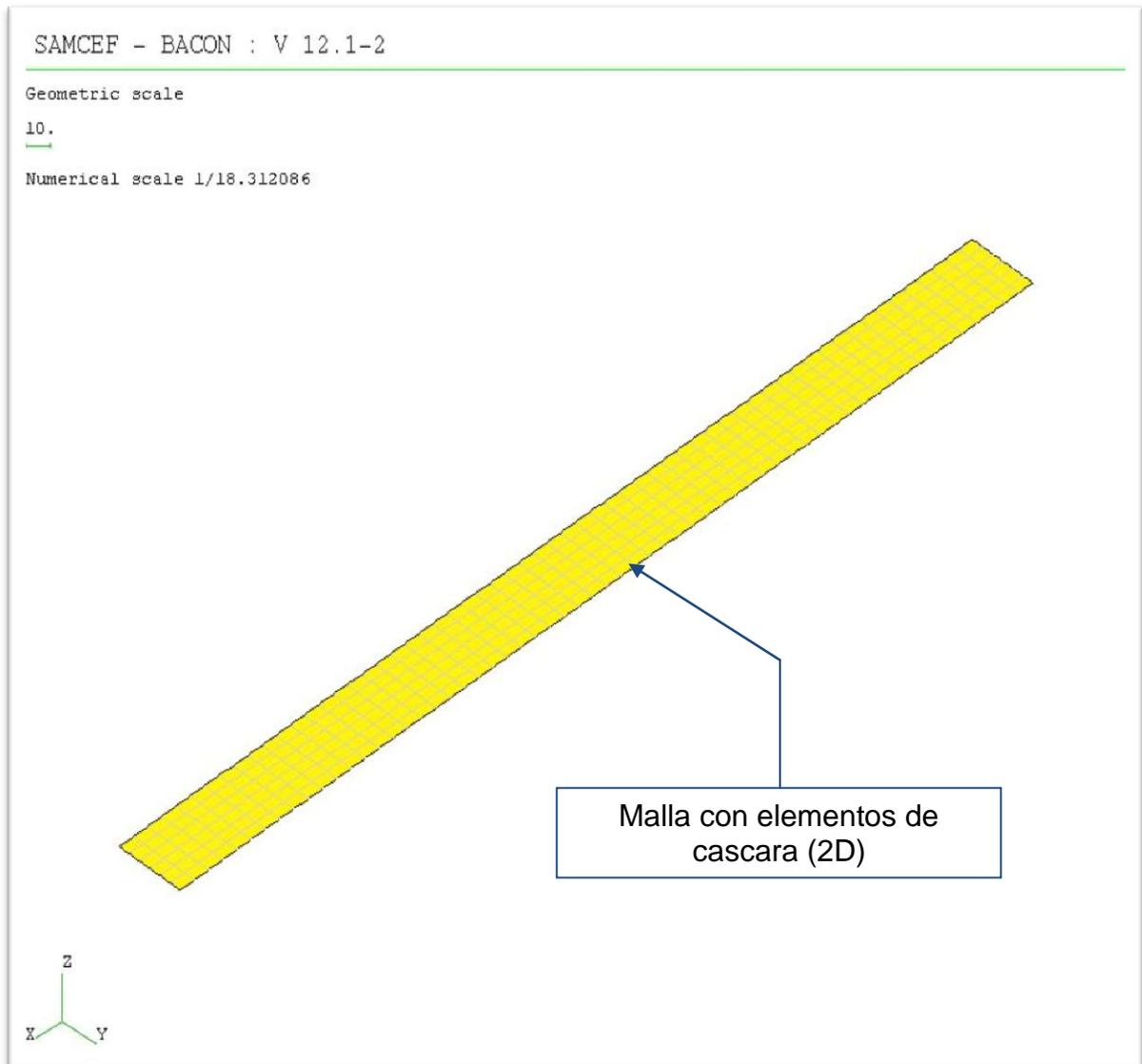


Figura 10.3.1b. Mallado.

Espesor. (Figura 10.3.1c.)

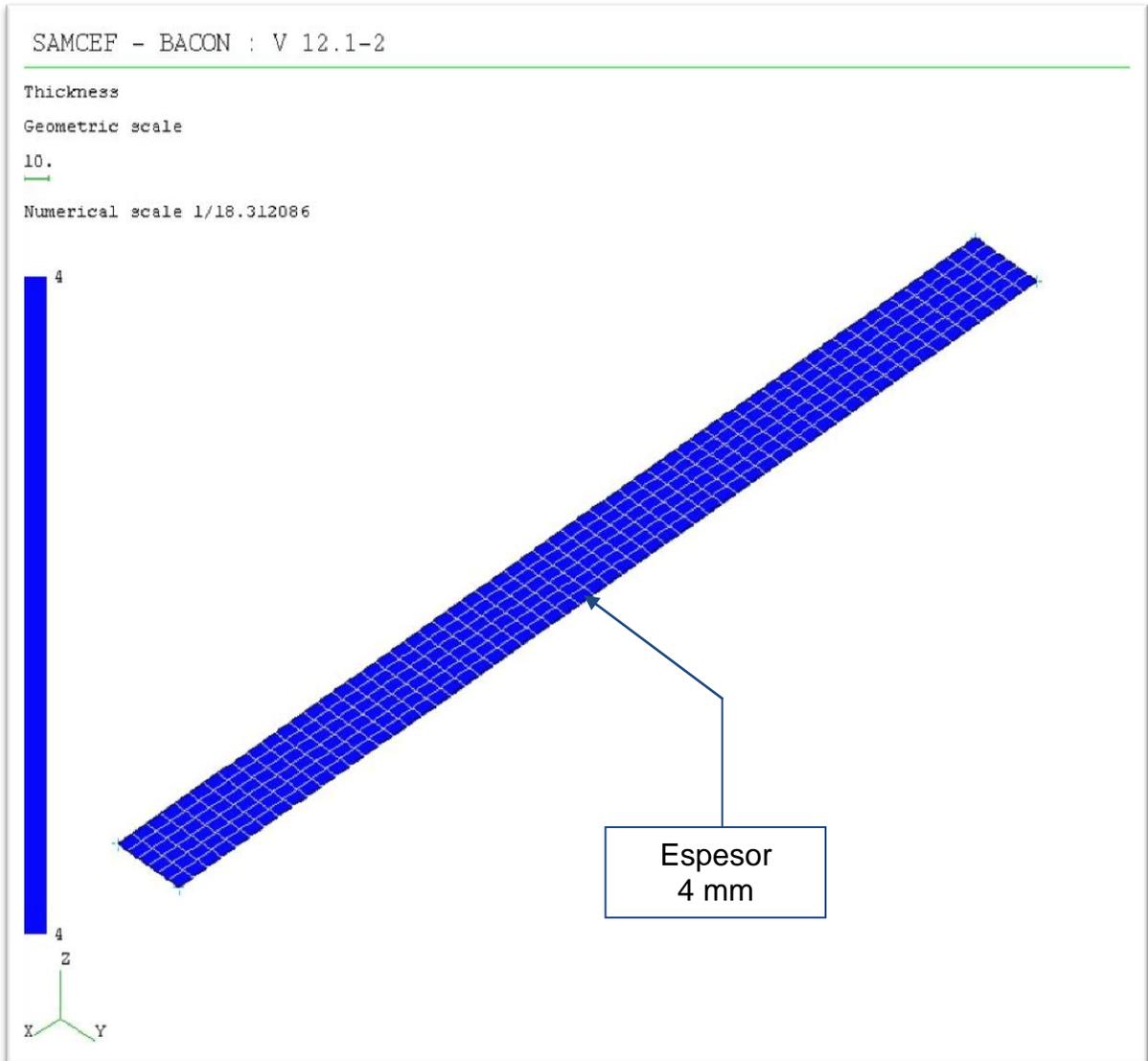


Figura 10.3.1c. Espesor.

10.3.2. Resultados generales.

Deformación axial (Figura 10.3.2a.).

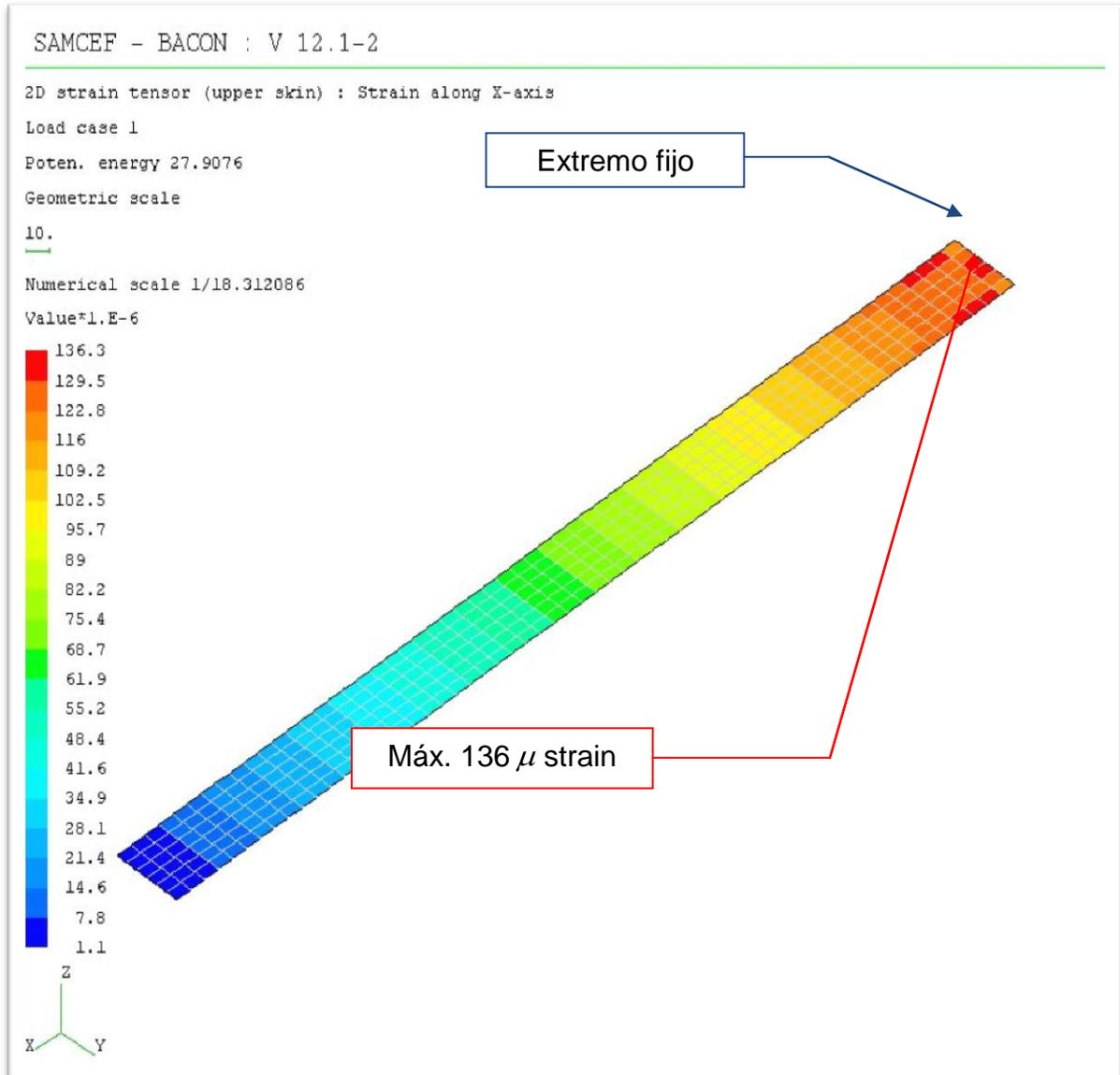


Figura 10.3.2a. Deformación axial.

Desplazamiento (Figura 10.3.2b.).

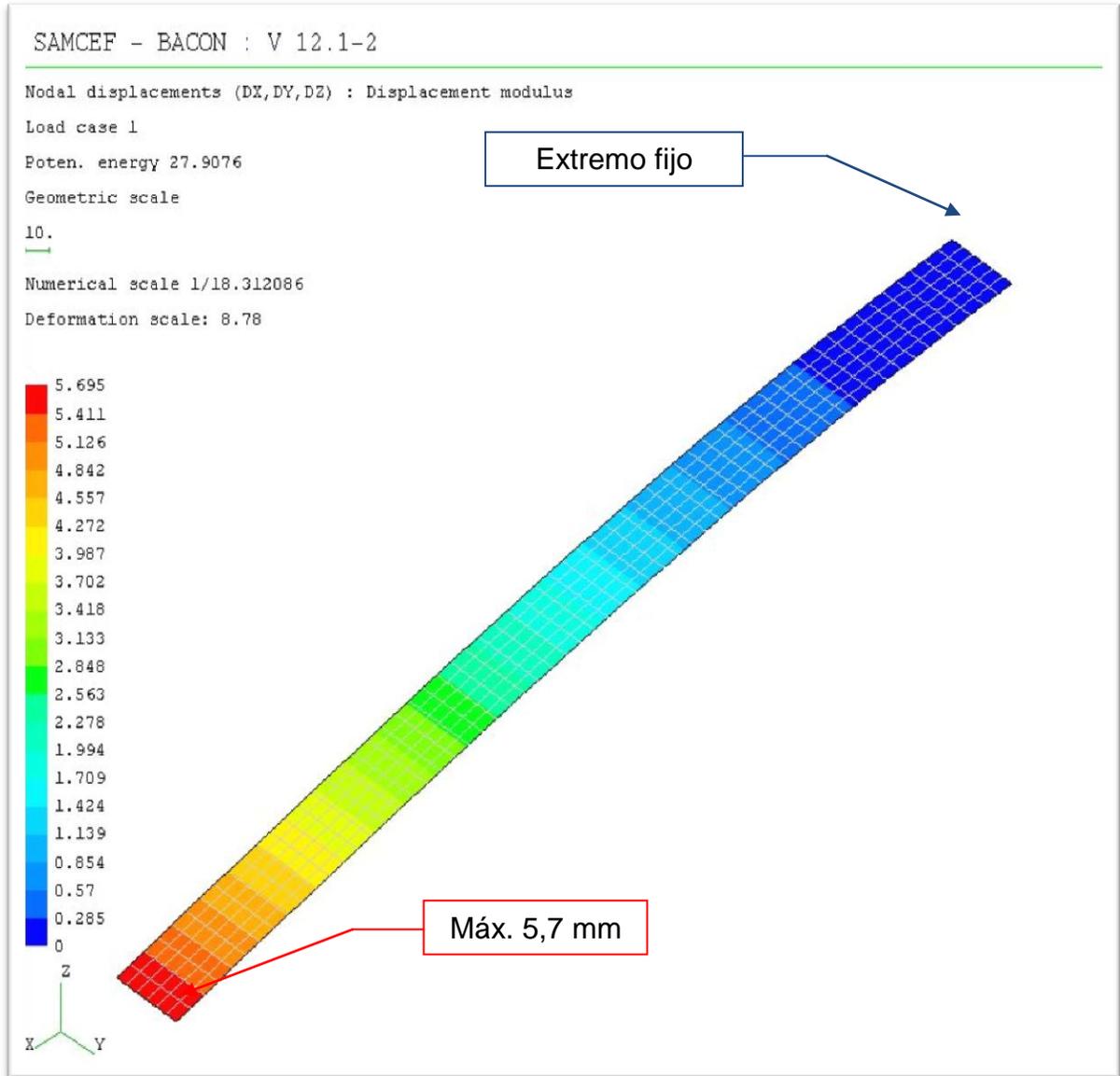


Figura 10.3.2b. Desplazamiento.

Deformación axial en la zona instrumentada (Figura 10.3.2c.)

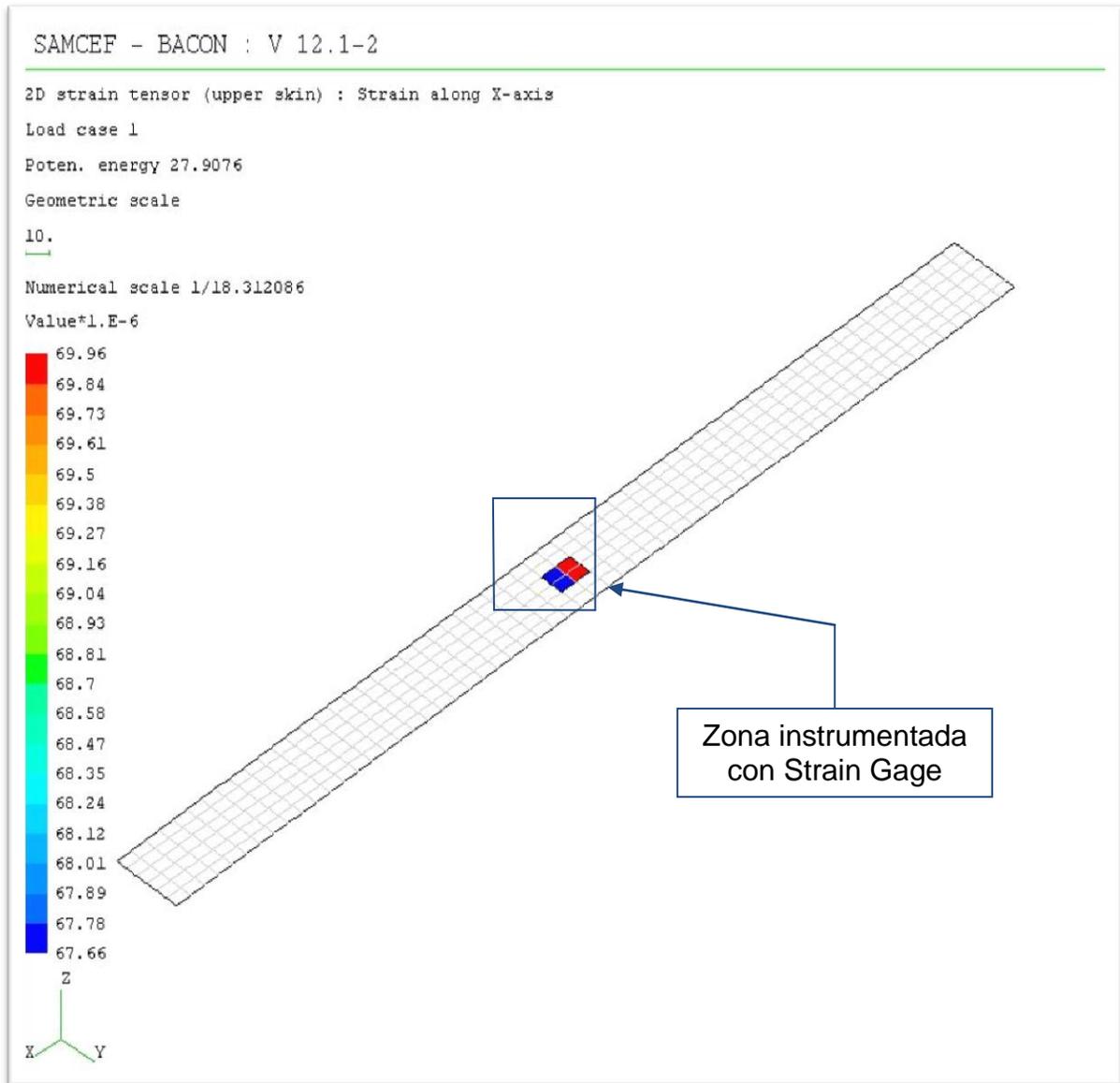
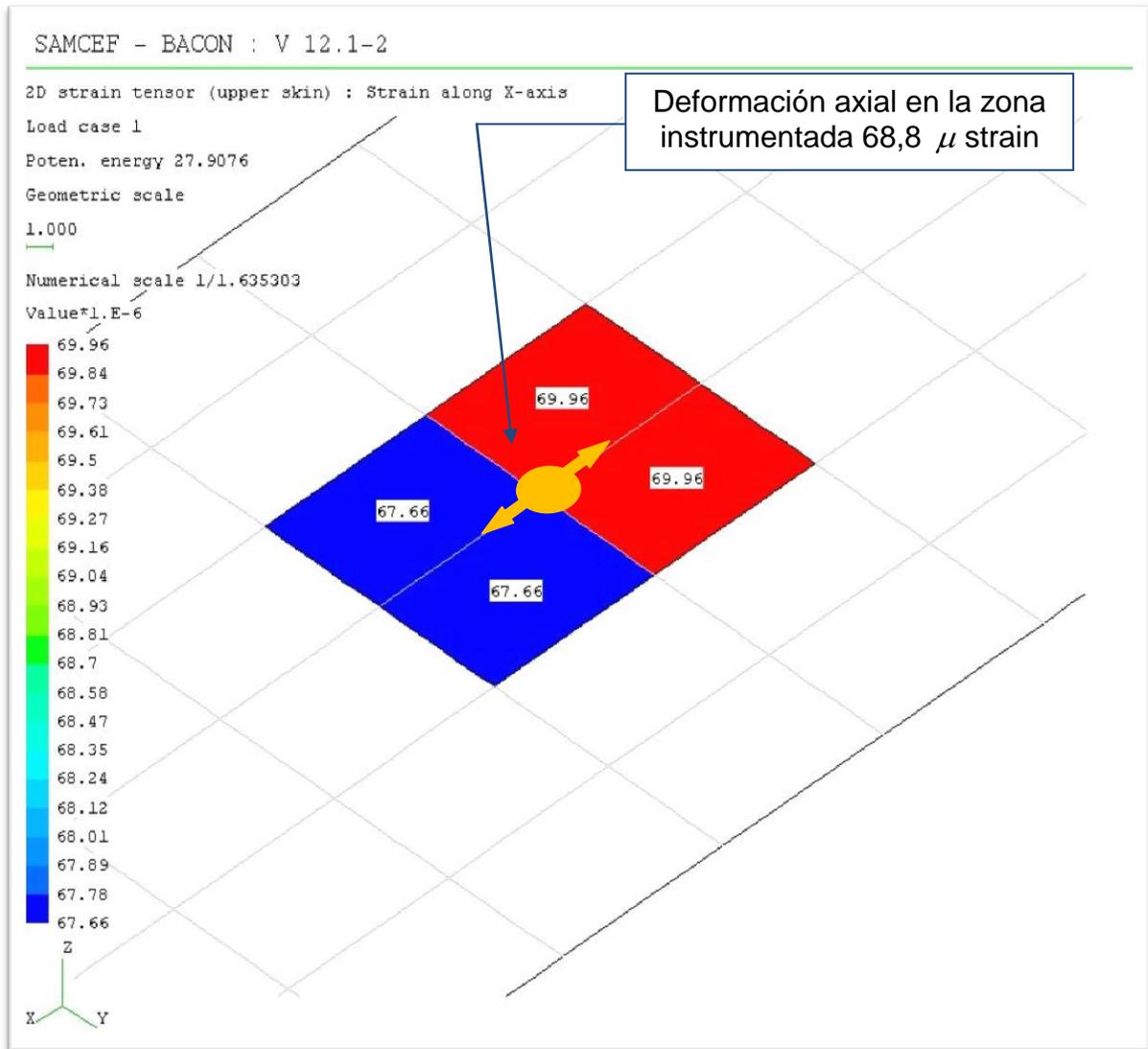


Figura 10.3.2c. Deformación axial en la zona instrumentada.

Detalle deformación axial de la zona instrumentada (Figura 10.3.2d.).



Deformación [μ strain]		Diferencia
Modelo EF	Analítica	[%]
68.8	68.2	0.9%

Figura 10.3.2d. Detalle de la zona instrumentada.

10.4. Tabla resumen de datos obtenidos a barra de estudio instrumentada.

A continuación se muestra una tabla resumen de los datos obtenidos a la barra de estudio, con los cuatro modos de adquisición de datos de deformación empleados. Además se obtienen los valores de esfuerzo en la zona instrumentada con strain gages.

$$\sigma = E \times \varepsilon \qquad E = 187 \times 10^9 \frac{N}{m^2}$$

Donde:

$\sigma =$ Esfuerzo.

$E =$ Módulo de elasticidad.

$\varepsilon =$ Deformación.

MODO DE ADQUISICIÓN DE DATOS	DATOS OBTENIDOS	
	DEFORMACIÓN (ε) EN LA ZONA INSTRUMENTADA	ESFUERZO (σ) EN LA ZONA INSTRUMENTADA
Forma inalámbrica.	70.5 $\mu\varepsilon$	$\sigma = 1.328 \times 10^7 \frac{N}{m^2}$
Forma alámbrica.	68.0 $\mu\varepsilon$	$\sigma = 1.272 \times 10^7 \frac{N}{m^2}$
Cálculo teórico.	68.2 $\mu\varepsilon$	$\sigma = 1.275 \times 10^7 \frac{N}{m^2}$
Modelo de elemento finito.	68.8 $\mu\varepsilon$	$\sigma = 1.287 \times 10^7 \frac{N}{m^2}$

CAPÍTULO XI

OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE POISSON.

11.1. Descripción de la barra de estudio para obtener el coeficiente de poisson.

La estructura es una barra prismática que se encuentra en voladizo, esta barra se encuentra con un extremo fijo y con carga centrada de 0.5 Kilógramos en el extremo libre.

La barra es de acero inoxidable AISI 304, su módulo de elasticidad es de $187N/m^2$ y sus medidas son: 270 mm de largo, 24.3 mm. de ancho y 4 mm. de espesor.

Para la medición tanto teórica como práctica de deformación se emplean dos strain gages, uno longitudinal y uno transversal adheridos a la barra, ambos se encuentran instalados en las superficies opuestas enfrentadas directamente entre si, cuyos centros se encuentra a una distancia de 135 mm. de la carga centrada. (Figura 11.1a).

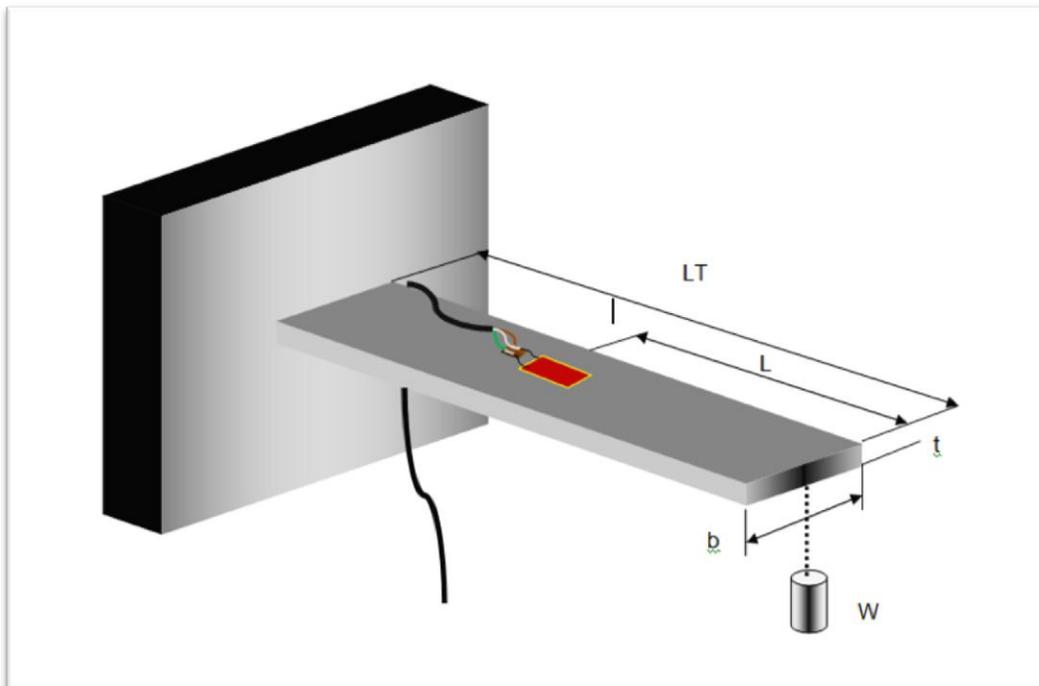


Figura 11.1a. Barra con carga centrada.

11.2. Cálculo teórico de deformación de la barra para obtener el coeficiente de Poisson.

Como lo habíamos anunciado anteriormente, Poisson descubrió que dentro del rango elástico la razón de la deformación longitudinal (ε_l) y la deformación transversal (ε_t) es constante. A esta constante se le llama **razón de poisson**, ν (nu), y tiene un valor numérico que es único para un material particular que sea homogéneo e isotrópico.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_l}$$

11.2.1. Cálculo de la deformación longitudinal.

Donde:

W = Peso de la carga centrada.

LT = Largo total de la barra.

E = Módulo de elasticidad de la barra de acero.

b = Ancho de la barra.

t = Espesor de la barra.

Desarrollo y fórmulas.

$$W = 500 \text{ grs} \rightarrow 0.5 \text{ kgs} \rightarrow 4.9 \text{ N} .$$

$$LT = 270 \text{ mm.} \rightarrow 0.27 \text{ m.}$$

$$E = 187 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} .$$

$$b = 24.3 \text{ mm} \rightarrow 0.0243 \text{ m.}$$

$$t = 4 \text{ mm.} \rightarrow 0.004 \text{ m.}$$

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad \varepsilon_l = \frac{\sigma}{E} \quad \sigma = \frac{M \times c}{I} \quad M = \frac{W \times LT}{2} \quad c = \frac{t}{2} \quad I = \frac{b \times t^3}{12}$$

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} \rightarrow \sigma = \frac{W \times LT}{\frac{b \times t^3}{12}} \times \frac{t}{2}$$

$$\sigma = \frac{\frac{4.9(N) \times 0.27(m)}{2} \times \frac{0.004(m)}{2}}{\frac{0.0243(m) \times (0.004m)^3}{12}}$$

$$\sigma = 10208333 \frac{N}{m^2}$$

$$\varepsilon_l = \frac{10208333 \frac{N}{m^2}}{187 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}$$

$$\varepsilon_l = 54.5 \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon_l = 54.5 \mu\varepsilon$$

11.2.2. Cálculo de la deformación transversal.

$$\varepsilon_t = \varepsilon_l \times 0.29$$

$$\varepsilon_t = 54.5 \mu\varepsilon \times 0.29$$

$$\varepsilon_t = 15.8 \mu\varepsilon$$

11.3. Medición de deformación a barra instrumentada con Nodos Micro strain, para obtener el coeficiente de Poisson.

Para esta medición se emplearon dos strain gages marca KYOWA de 350Ω soldados a la barra, uno longitudinal y otro transversal, además de un peso de 0.5 kilogramos. Los nodos se emplearon en forma sincronizada, uno para la medición de deformación longitudinal y otro para la medición de deformación transversal (Figura 11.3a).



Figura 11.3a. Barra instrumentada con nodos micro strain.

11.4. Datos obtenidos de la barra instrumentada con nodos micro strain.

Datos obtenidos, el nodo 659 indica el valor de la deformación longitudinal y el nodo 654 indica el valor de la deformación transversal (Figura 11.4a.)

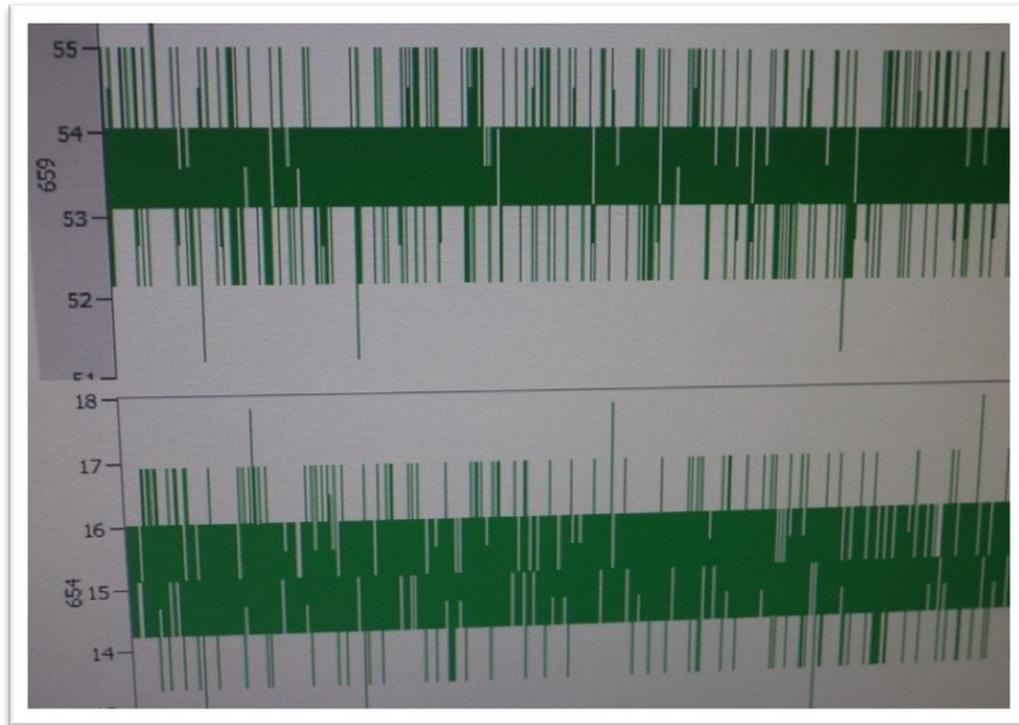


Figura 11.4a. Datos obtenidos.

Finalmente, los valores registrados por el programa node commander son los siguientes:

$$\text{Deformación longitudinal } (\varepsilon_l) = 53.6 \mu\varepsilon$$

$$\text{Deformación transversal } (\varepsilon_t) = 15.2 \mu\varepsilon$$

11.4.1. Cálculo del coeficiente de Poisson.

$$\nu = - \left[\frac{-\varepsilon_t}{\varepsilon_l} \right]$$

$$\nu = - \left[\frac{-15.2 \mu\varepsilon}{53.6 \mu\varepsilon} \right]$$

$$\nu = 0.284$$

CAPÍTULO XII

CONCLUSIONES.

Durante el desarrollo de este trabajo se realizaron una serie de ensayos de mediciones de deformación con strain gages, a medida que se fueron ejecutando se realizaron procedimientos de instalación de strain gage pegado a la barra de estudio con dos tipos de pegamentos, uno con adhesivo epóxico (EP-34B) y otro con Etil cianoacrilato de curado en frío (SG496 o SG401), ambos con muy buenos resultados de adherencia del strain gage a la barra de prueba, sin embargo, el adhesivo con Etil cianoacrilato tiene ventajas importantes ya que su procedimiento de preparación, aplicación y tiempo de curado es mucho más rápido, además que no requiere de condiciones ambientales especiales lo que se traduce en una gran ventaja frente a instalaciones de strain gage en terreno con condiciones ambientales adversas y además con tiempo limitado.

También se realizaron fijaciones de strain gage a la barra de estudio con una máquina soldadora de punto con muy buenos resultados de adherencia y de fácil manejo, con esto se brinda mayor seguridad y confianza al ingeniero de mediciones en terreno, la única limitante presente en este tipo de fijación es que no se puede aplicar a ningún tipo de eje.

En las mediciones de deformación se emplearon dos formas de adquisición de datos, una alámbrica con un programa de adquisición USB y otra inalámbrica con nodos inalámbricos Microstrain. Ambas formas con muy buenos resultados de mediciones, ya que al compararlas con los resultados teóricos y con el análisis de elemento finito su diferencia es mínima. Al preguntarnos cuál de las dos formas de adquisición de datos es la más conveniente, eso dependerá de las condiciones en terreno donde se realizará la medición, ubicación de la pieza, si la medición a realizar es estática o dinámica, etc.

Aplicando todos estos conocimientos, también se obtuvo el coeficiente de Poisson de una barra de estudio instrumentada con strain gage, dando como resultado un coeficiente muy cercano al resultado teórico obtenido.

En el análisis de los datos obtenidos por los métodos mencionados anteriormente, nos damos cuenta que las mediciones experimentales de deformación mediante strain gages nos entregan datos correctos y comprobables en las condiciones de operación a las que está sometido un equipo, estructura o maquinaria.

Además, este tipo de mediciones de deformación mediante strain gages puede ser utilizado en aplicaciones de pequeña, mediana y gran escala, y en diferentes condiciones climáticas respetando ciertos criterios de selección respecto del strain gage a utilizar.

BIBLIOGRAFÍA.

- Recomendaciones, procedimiento y criterios en la selección de bandas extensométricas (creative commons license, 2012).
<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/calculo-de-maquinas/material-de-clase-1/04Tema4.pdf>
- Salida térmica de las bandas extensométricas y variaciones con la temperatura del factor de banda (creative commons license, 2012).
<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/calculo-de-maquinas/material-de-clase-1/07Tema7.pdf>
- Strain gages specifications chart (Omega, s.a).
http://www.electro.fisica.unlp.edu.ar/temas/pnolo/STRAIN_GAUGES.pdf
- Strain gages (Kyowa, s.a).
http://www.kyowa-ei.co.jp/eng/product/strain_gages/gages.
- Strain gage technical date (Omega engineering, 2003).
<http://www.omega.com/techref/strain-gage.html>.
- Strain gage, accessories and instrumentation (Omega engineering, 2003)
http://www.omega.com/toc_esp/subsectionsc.asp?subsection=e02&book=pressure.
- Productos y servicios (National Instruments, 2012)
<http://www.ni.com/gettingstarted/setuphardware/dataacquisition/esa/straingages.htm>

- Strain gage technology technical data interactive
Vishay micro-measurements VSE –DB0088-0708
Copyright 2006.

- Mecánica de materiales
R.C. Hibbeler
Editorial Pearson año 1997. (Tercera edición).