

**VALIDACIÓN DE DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PLATAFORMA PORTÁTIL
PARA MEDIR FUERZAS DE REACCIÓN EN LOS TRES EJES ORTOGONALES**

DIEGO FERNANDO FIERRO PANTEVE

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
SANTIAGO DE CALI
2005**

**VALIDACIÓN DE DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PLATAFORMA PORTÁTIL
PARA MEDIR FUERZAS DE REACCIÓN EN LOS TRES EJES ORTOGONALES**

DIEGO FERNANDO FIERRO PANTEVE

Trabajo presentado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director
MIGUEL ÁNGEL HIDALGO
Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
SANTIAGO DE CALI
2005**

Nota de Aceptación

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecánico.

INGENIERO HÉCTOR JARAMILLO
Jurado

INGENIERO JUAN CARLOS PERAFÁN
Jurado

Santiago de Cali, 14 de febrero de 2.005

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a MIGUEL ANGEL HIDALGO, Ingeniero Mecánico, HECTOR MARIO BRAVO, Ingeniero Electrónico, por su apoyo y ayuda, y a todas las demás personas que de una u otra manera colaboraron para que este proyecto saliera adelante.

DEDICATORIA

A Dios, a María Nelcy Panteve y José Hermes Fierro mis padres, quienes con su apoyo, sacrificio y sabiduría señalaron el camino que hoy recorro, a mi hermana Marcela quien con sus consejos siempre me acompañó en este proceso.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. DISEÑO DE LA COMPONENTE MECANICA	2
Metodología para el diseño de la componente mecánica	4
2. PRINCIPALES COMPONENTES ELECTRONICOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO	6
2.1 GALGAS DE EXTENSIÓN	6
2.2 TARJETA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL PARA GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (<i>STRAIN GAUGE</i>)	8
2.3 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN	10
2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS AMPLIFICADORES INSTRUMENTALES	11
3. BASES METODOLOGICAS	13
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y TEORÍA	13
3.2 CÁLCULOS TEÓRICOS PARA HALLAR LAS DEFORMACIONES Y VOLTAJES EN LA VIGA A DIFERENTES CARGAS	16
3.3 DEFORMACIÓN UNITARIA Y ESFUERZO NORMAL	17
3.4 FICHA TÉCNICA PARA ALEACIÓN DE ALUMINIO 6063 T5	17
3.5 DISEÑO DEL PUENTE WHEATSTONE	18
3.6 DESARROLLO PRACTICO PARA HALLAR VOLTAJES A DIFERENTES CARGAS	20
3.6.1 Calibración del Strain Gauge	20
3.6.2 Montaje y Ensayo	20
3.6.3 Comportamiento de Celda de Carga por Elementos Finitos	22

4.	CONCLUSIONES	24
	BIBLIOGRAFÍA	25
	ANEXOS	26

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Ficha técnica del Strain Gauge utilizado	7
Tabla 2.	Composición química de la Aleación de Aluminio 6063 T5	17
Tabla 3.	Propiedades y Características de la Aleación de Aluminio 6063 T5	17
Tabla 4.	Tabla realizada por medio del programa creado en Excel	19
Tabla 5.	Cargas y voltajes experimentales	21

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Configuración general de la celda de carga para sensar la fuerza en uno de los ejes	3
Figura 2. Detalle de la disposición de las celdas de carga en una de las esquinas	3
Figura 3. Diseño mecánico de la Celda de Carga, Montaje Final de la Plataforma de fuerza	4
Figura 4. Partes que componen un Strain Gauge	6
Figura 5. Puente de Wheatstone	8
Figura 6. Tarjeta de Adquisición de Datos	9
Figura 7. Circuito para acondicionamiento de Galgas Extensométricas	9
Figura 8. Montaje final del circuito de Acondicionamiento con todos sus componentes	10
Figura 9. Circuito básico Amplificador de Instrumentación INA 101	10
Figura 10. Imagen del Amplificador de Instrumentación INA 101	11
Figura 11. Geometría de celda de carga	15
Figura 12. Vista lateral de la celda de carga	15
Figura 13. Sección de la viga central de la celda de carga	15
Figura 14. Diagrama de Esfuerzos cortantes y Momentos	16
Figura 15. Puente Wheatstone	18
Figura 16. Gráfica teórica Voltaje-vs-Carga	20
Figura 17. Conexión para calibrar Strain Gauge	20

Figura 18. Montaje para llevar a cabo los ensayos	21
Figura 19. Grafica experimental Voltaje-vs-Carga	22
Figura 20. Comportamiento de la viga por elementos finitos	23

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
Anexo A. Planos de la Celda de Carga	26
Anexo B. Programa realizado en Excel, para cálculo de voltajes, deformaciones, momentos, etc.	27
Anexo C. Software para tarjeta de adquisición de datos	28

RESUMEN

Apoyados en metodologías de diseño, se desarrolló un prototipo de plataforma de fuerza portátil, logrando la configuración completa y detallada del producto, con técnicas de prototipado y utilizando materiales equivalentes se construyó un prototipo técnico que permite evaluar los requerimientos de instrumentación de la plataforma, este prototipo involucra un desarrollo mecánico, electrónico e informático. Todos los conceptos se concentraron en poder medir la fuerza de reacción en los tres ejes ortogonales para aplicaciones deportivas y de rehabilitación.

El presente documento desarrolla la parte experimental mecánica, electrónica e informática en lo referible al conjunto de piezas que soportarán las cargas de los atletas en cada salto hecho por los mismos, para lograr obtener la fuerza de reacción en los tres ejes ortogonales.

INTRODUCCION

La determinación confiable de valores puntuales de fuerza así como también de sus cambios a lo largo del tiempo durante la ejecución del movimiento, es uno de los procedimientos más útiles en el análisis biomecánico. Dentro de estas fuerzas, la fuerza de reacción es una fuerza externa que constantemente afecta el movimiento humano. Las plataformas de fuerza son usadas comúnmente en la medición de dicha fuerza de reacción¹.

Uno de los tópicos importantes en el análisis de la fuerza de reacción es el sistema de coordenadas. Algunos fabricantes de plataformas de fuerza utilizan el llamado sistema **acción orientado** a diferencia de otros que usan el sistema **reacción orientado**. El nombre de cada uno de ellos depende del vector de fuerza usado como base para establecer la orientación del sistema de referencia y de manera general el sistema mas utilizado es el **reacción orientado** puesto que, como se menciona, la fuerza de reacción es uno de los parámetros más importantes en el análisis de movimiento².

La determinación de la fuerza de reacción y su comportamiento durante el tiempo de ejecución de una actividad física es particularmente útil cuando se desean estudiar y analizar saltos con tendencia vertical, tales como salto en squat (SQ) y el salto libre con contra-movimientos (LCM). El SQ se define como el salto con tendencia vertical que parte sin ningún contra-movimiento de las piernas y sin pasos previos y en el momento de impulsión el ángulo inter-segmental formado en la rodilla es de 90° localizando las manos en las caderas durante todo el movimiento. El LCM se describe como un salto libre sin pasos previos donde no se presentan restricciones de contra-movimientos a nivel de muslos, extremidades superiores, tronco y cabeza-nuca³.

Particularmente en el estudio del fenómeno del **Déficit Bilateral (DBL)**, el cual consiste en la diferencia en los niveles de fuerza producida unilateral y bilateralmente, la fuerza producida bilateralmente ha sido reportada como menor que la suma de las acciones unilaterales máximas, como lo reportan varios investigadores los análisis se han desarrollado a nivel deportivo. Algunos estudios desde el punto de vista clínico se han centrado en el origen neurofisiológico del **DBL**, pero en el campo de la rehabilitación y la determinación objetiva y confiable

¹ ACERO José, MURILLO Henry, LOZANO Berley. El fenómeno del Déficit Bilateral (DBL) en el deportista. Congreso Internacional de Medicina del Deporte y Ciencias Aplicadas, Bogotá, Abril 2002. p. 4-5.

² Ibid.

³ Ibid.

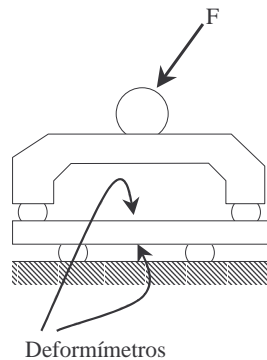
de una evolución progresiva de la disminución de un estado de paresia aun no se han hecho desarrollos.

La parte experimental de todas las investigaciones ocupa un lugar muy importante, ya que con esta, se sabe si el camino recorrido hasta el momento es el correcto, también si es el más indicado y eficiente, además se sabe si el dispositivo en investigación funcionará o no.

1. DISEÑO DE LA COMPONENTE MECÁNICA

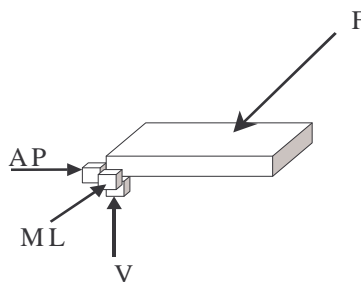
El diseño conceptual del elemento que hace las veces de celda de carga se basó en la restricción mecánica de una transmisión puntual de la fuerza para lograr una micro deformación sensada por un arreglo de deformímetros (*strain gauges*) dispuestos sobre una pequeña viga sometida a deflexión simple usando balines como elementos de apoyo, los cuales se asientan sobre agujeros de fondo esférico⁴.

Figura 1. Configuración general de la celda de carga para sensar la fuerza en uno de los ejes, mostrando la ubicación de los deformímetros



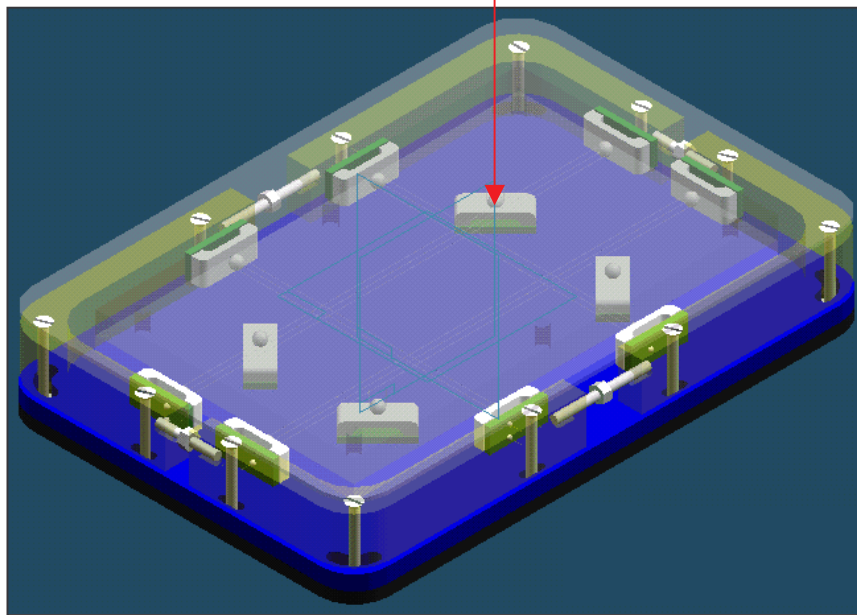
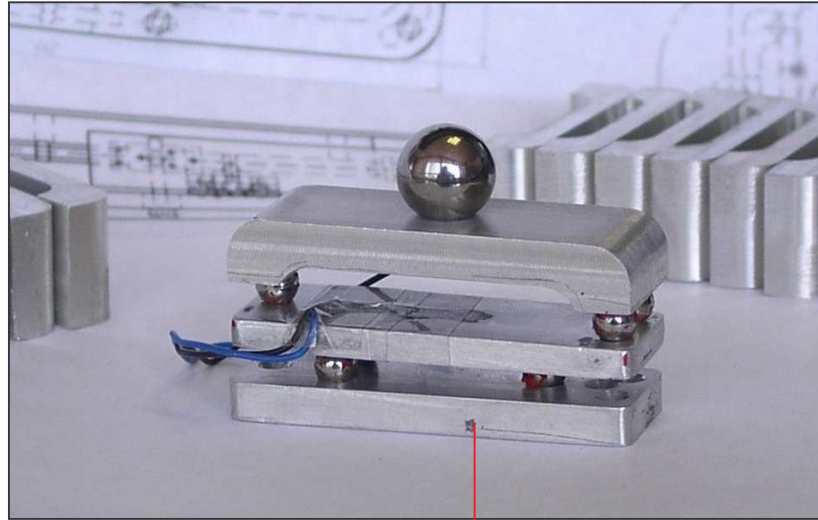
El sensado de la fuerza en los tres ejes se logra mediante un arreglo de tres celdas de carga en cada una de las esquinas de cada plataforma, orientadas de tal manera que cada una puede registrar solo una de las componentes ortogonales de la fuerza total aplicada.

Figura 2. Detalle de la disposición de las celdas de carga en una de las esquinas de una de las plataformas para sensar las componentes de la fuerza aplicada, en los ejes Vertical (V), Medial-Lateral (ML) y Antero-Posterior (AP)



⁴ Hidalgo Miguel Ángel, Campo Oscar. Diseño de un prototipo de plataforma portátil para medir fuerza de reacción en los tres ejes ortogonales. Artículo del Grupo de Investigaciones en Ingeniería Biomédica, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, 2002.p.100

Figura 3. Diseño mecánico de la Celda de Carga, Montaje Final de la Plataforma de fuerza



METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA COMPONENTE MECÁNICA

Inicialmente se necesitaron maquinar el grupo de piezas que componen la celda de carga; estas piezas son de una aleación de Aluminio (6063 T5), las cuales deben ensamblarse. Una Galga Extensométrica en la platina central se adicionó con el fin de medir la deformación de las piezas al aplicarse la fuerza sobre la plataforma.

Estas piezas llevarán unas huellas que tendrán una forma esférica, en las cuales van depositados unos balines de 5mm de diámetro y uno en la pieza superior de 11 mm de diámetro, como lo muestra la Figura 3.

Al tener las piezas ya maquinadas, pues se procede a hacer las huellas en las piezas, de tal manera que al unir las, estas queden fijas.

Primero se tomaron las medidas en las cuales van las huellas y se trazan con un rayador de acero; al tener todas las medidas ya trazadas, pues procedemos a hacer los orificios en donde irán los balines.

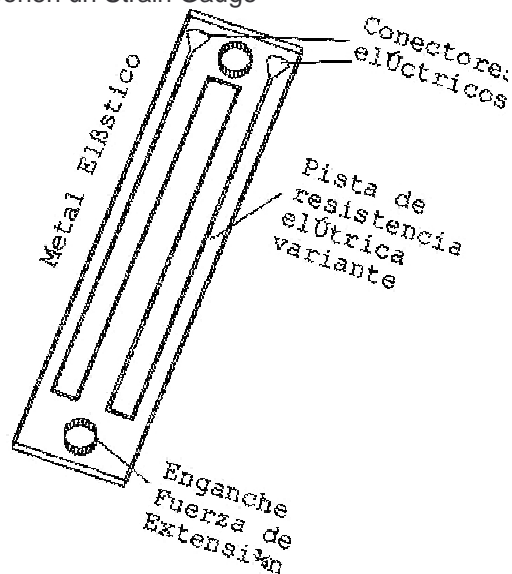
La máquina utilizada para realizar dichas huellas es la fresadora que se encuentra en el laboratorio de Ingeniería de Producción.

2. PRINCIPALES COMPONENTES ELECTRÓNICOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO

2.1 GALGAS DE EXTENSIÓN (*STRAIN GAUGE*)

Según se observó, las propiedades de elasticidad de los materiales pueden dar origen a sistemas de medición de fuerzas (y por ende, también presión). El manómetro de Bourdon utiliza, precisamente, la propiedad de elasticidad de los materiales sólidos (en particular, metálicos sólidos); pero, ese manómetro no permite producir una señal eléctrica directamente, si bien se podría adaptar algún sistema. El método de construcción de sensores de presión modernos depende del principio de elasticidad pero la deformación es convertida en una señal eléctrica mediante las galgas de extensión, conocidas a menudo como "celdas de torsión" o, en inglés, como strain gauges.

Figura 4. Partes que componen un Strain Gauge



Una galga de extensión se construye sobre un metal de coeficiente de elasticidad dado, adosándole un alambre, una tira semiconductoras o pistas conductoras. Al deformarse el soporte de la galga, se "estira" o se "comprime" el sensor, variando así su resistencia. El cambio de resistencia será, precisamente, el reflejo de la deformación sufrida. En términos de su caracterización, dada la resistencia R sin deformación, la aplicación de una fuerza F deformante producirá un cambio de resistencia, ΔR , cuya medición permite calcular la fuerza mediante

$$F = A \cdot E \cdot s = \frac{A \cdot E}{G} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (1)$$

Donde se ha definido una constante "G", conocido como la constante de la galga y que suele variar entre 2 y 2,2 para galgas de soporte metálico. Es muy importante que la galga de tensión esté montada correctamente sobre el espécimen de la prueba.

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

$$G = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta L / L} \quad (2)$$

Naturalmente, la posibilidad de medir fuerza permite construir, con estas galgas, balanzas electrónicas tanto como sistemas de medición de presión.

Habitualmente se utilizan circuitos en puentes, diseñados para los valores típicos de estas galgas (resistencias nominales de 120Ω , 350Ω , 600Ω y 1000Ω) utilizando corrientes que no excedan los 10 mA.

Tabla 1. Ficha técnica del Strain Gauge utilizado

Resolución (Excitación)	F _{Máx.} / 255
Temperatura de trabajo	(Optima) 25°C – 40°C
Error	± 1 BIT
Resistencia de entrada	120Ω ± 1Ω
Medida mínima	1μϵ = 1x10-9mm/mm
Excitación	5V DC
Máxima sobrecarga	1mm (tensión)
Estructura	¼ de puente

Donde:

- **255** en la Resolución son el número de datos de la tarjeta de adquisición.
- La **Temperatura** es óptima en el rango dicho, además esta Temperatura se comporta lineal.
- El **μϵ** es una micro deformación.

La deformación (**ϵ**) de las galgas se obtiene de la siguiente manera:

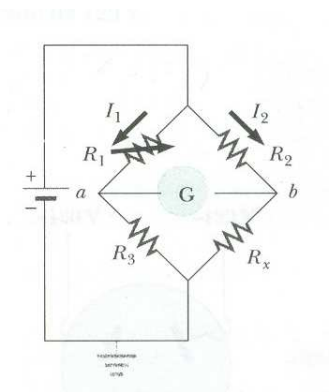
$\Delta R = 0,19 \mu\Omega \rightarrow 1 \mu\varepsilon$; es decir, con un delta de resistencia se obtiene una micro deformación.

También encontramos una constante de las galgas (G) que varia entre (2,10 – 2,15), generalmente se trabaja con un valor de 2,12. Entonces $G = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta L / L}$ donde L es la longitud de la galga, y R es la resistencia de la galga, las cuales tienen una resistencia $R = 120 \Omega$.

2.2 TARJETA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL PARA GALGAS EXTENSOMÉTRICAS (STRAIN GAUGE)

Los Strain Gauges deben ser sometidos a un acondicionamiento de señal, ya que estos dispositivos se encuentran por decirlo así de una manera estándar. Este acondicionamiento se realiza para que el Strain Gauge me genere un voltaje mínimo de cero voltios, y un máximo de cinco voltios, como lo exige la tarjeta de adquisición de datos con la que vamos a trabajar (**SIPAD**). Este acondicionamiento se hace a partir de un **Puente de Wheatstone** (Figura 5), que es un circuito que se emplea a menudo para medir una resistencia desconocida R_x en términos de resistencias conocidas R_1 , R_2 y R_3 . Cuando el puente está balanceado, no hay corriente de galvanómetro⁵.

Figura 5. Puente de Wheatstone



⁵ COUGHLIN, Robert F. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México, 1999. p. 231-232.

Figura 6. Tarjeta de Adquisición de Datos



Figura 7. Circuito para acondicionamiento de Galgas Extensométricas

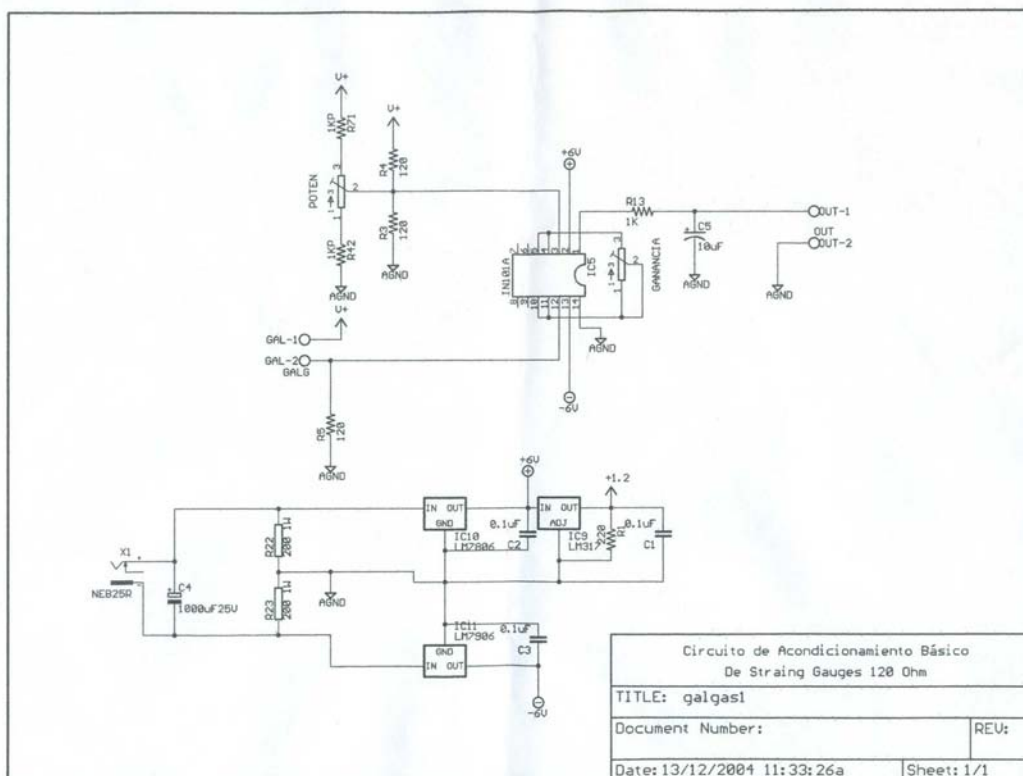
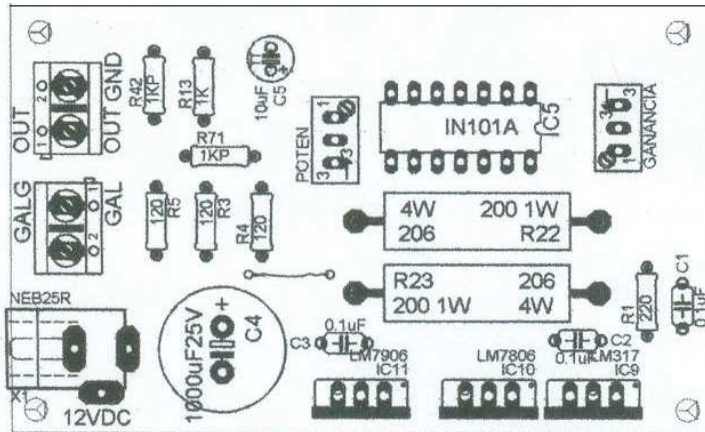


Figura 8. Montaje final de la Tarjeta de Acondicionamiento de señal



2.3 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

En nuestro caso trabajaremos con un Amplificador de Instrumentación INA 101, el cual fue recomendado por el Ingeniero que Diseñó la Tarjeta de Acondicionamiento de señal.

El programa utilizado para el diseño de la Tarjeta de Acondicionamiento de señal fue el IGOL.

Figura 9. Circuito básico del Amplificador de Instrumentación INA 101

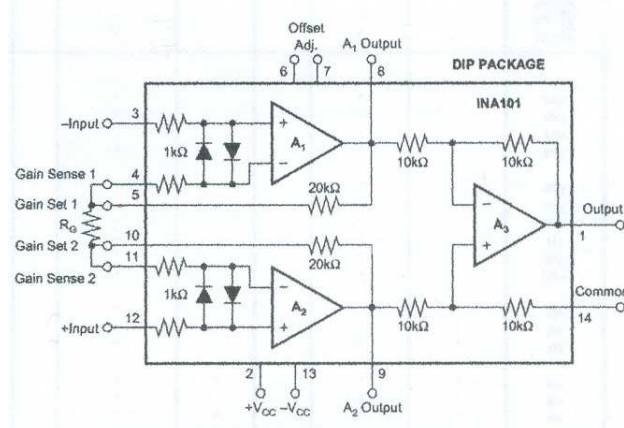
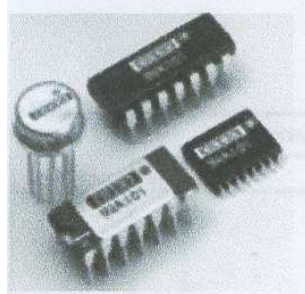


Figura 10. Imagen del Amplificador de Instrumentación INA 101



El amplificador instrumental es de los más útiles, precisos y versátiles disponibles en la actualidad. Encontrará al menos uno de ellos en cada unidad de adquisición de datos⁶.

El amplificador necesita una Resistencia de ganancia, la cual la hallaremos con la siguiente ecuación:

$$G = 1 + \frac{40K\Omega}{R_G}$$

Luego; $R_G = \frac{40001}{8000} = 5,000125\Omega$

Nota: La ganancia es 8000, ya que el procesador del computador obtiene alrededor de 1000 datos por segundo por cada entrada analógica de la tarjeta de adquisición de datos. Esta Tarjeta de Adquisición de Datos posee ocho entradas analógicas, entonces nuestra ganancia es de 8000.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS AMPLIFICADORES INSTRUMENTALES

1. La ganancia de voltaje, desde la entrada diferencial ($E1-E2$) a la salida de extremo único, se establece con la resistencia.
2. La resistencia de entrada de ambas entradas es muy alta y no cambia al variar la ganancia.
3. V_o no depende del voltaje común a $E1$ y $E2$ (voltaje en modo común), solo en su diferencia.

⁶ COUGHLIN, Robert F. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México, 1999. p. 231-232.

Voltaje en modo común. La salida del amplificador debe ser cero cuando $E_1=E_2$. El modo mas simple de aplicar voltajes iguales es cablear ambas entradas juntas y conectarlas a la fuente de voltaje (ver figura). Para dicha conexión, el voltaje de entrada se denomina *voltaje de entrada en modo común ECM*. Ahora V_o será 0 si las relaciones de resistencias son iguales (mR a R para la ganancia del amplificador inversor es igual a mR a R del circuito divisor de voltaje). Prácticamente, las relaciones de resistencias se igualan mediante la instalación de un potenciómetro en serie con una resistencia, como se muestra en la siguiente figura. El potenciómetro se afina hasta que V_o se reduce a un valor despreciable. Esto causa que la *ganancia de voltaje en modo común V_o/ECM* , se aproxime a 0. Esta es la característica de un amplificador diferencial que permite que una señal débil se capte extrayéndola de una señal de ruido mas intensa. Es posible arreglar el circuito de modo que la señal más intensa no deseada, sea el voltaje de entrada en modo común y la pequeña señal el voltaje de entrada diferencial. Entonces el voltaje de salida del amplificador diferencial contendrá sólo una versión amplificada del voltaje diferencial de entrada⁷.

⁷ Ibid.

3. BASES METODOLOGICAS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y TEORÍA

Se desea hallar teórica y experimentalmente el comportamiento de la celda de carga, cuando esta es sometida a distintas cargas de compresión.

El conjunto pieza-strain gauges, me debe permitir hallar las diferentes deformaciones y voltajes al aplicar variedad cargas, esto con el hecho de encontrar las curvas Voltaje-Carga teórica y experimental, para luego compararlas.

La celda de carga (Strain Gauges), con ayuda de la tarjeta de adquisición de datos y la tarjeta de acondicionamiento de señal, me arrojará datos de voltajes a distintas cargas, las cuales se observaran a través de la computadora que llevará el software creado para la tarjeta de adquisición de datos.

- **Teoría para el Diseño de la Celda de Carga**

Las leyes del funcionamiento de cuerpos bajo la acción de fuerzas y diferentes medios ambientes constituyen una parte de la ciencia de la Mecánica. Sin embargo muchos objetos simples se diseñan bajo una base puramente empírica o estática; el tipo de diseño para el que los ingenieros estarán preparados va más allá de éste, y hace el mejor uso posible de las leyes de la Mecánica, junto con los datos empíricos o experiencias pasadas⁸.

Clasificación de estados de carga:

1. Axial (Tensión o Compresión)
2. Transversal (Cortante)
3. Momento (Flexión)
4. Torsión (Alabeo)

Nota: Para este caso, se trabajó la pieza como una viga con apoyos y cargas, por lo tanto la carga será transversal y de flexión.

El esfuerzo normal en cualquier punto sobre la sección transversal se especifica con la siguiente ecuación⁹:

⁸ SHIGLEY, Joseph Edward y MITCHELL, Larry D. Manual de Diseño Mecánico. MacGraw Hill Interamericana, México, 1989. p.42-43-52-53-54.

⁹ Ibid.

$$\sigma = \frac{MC}{I}$$

Esta es la forma general de la ecuación usada para calcular los esfuerzos en una viga de sección transversal simétrica, sujeta a un momento por flexión pura, cuando los esfuerzos permanecen en el rango elástico.²

La anterior depende solamente de la linealidad de la distribución de esfuerzo sobre la sección transversal.

Ejemplo: $\sigma = By$; donde B es una constante desconocida.

Para guardar el equilibrio interno de momentos:

$$M = \int_A \sigma y \cdot dA = B \int_A y^2 \cdot dA = B \cdot I \quad ; \text{ Por tanto } B=M/I$$

Ahora sustituyo B en σ y obtengo $\sigma = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{M \cdot C}{I}$

Esta expresión muestra que la ecuación de esfuerzo por flexión es independiente del valor E (Modulo de Young), dado que el material tiene una relación lineal de esfuerzo-deformación¹⁰.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Donde E es el modulo de elasticidad o de Young, y ϵ la deformación.

¹⁰ Ibid.

Figura 11. Geometría de la celda de carga

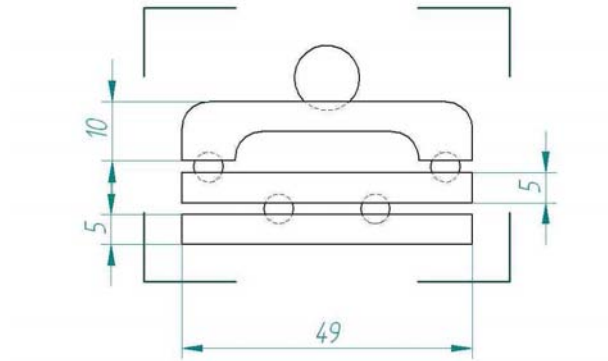


Figura 12. Vista lateral de la celda de carga

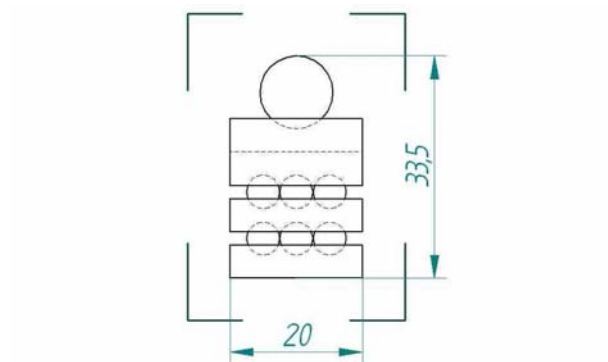
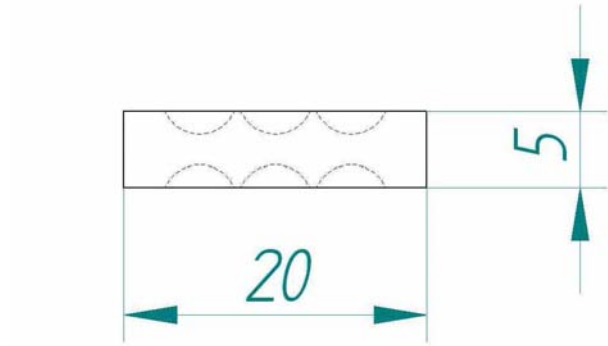
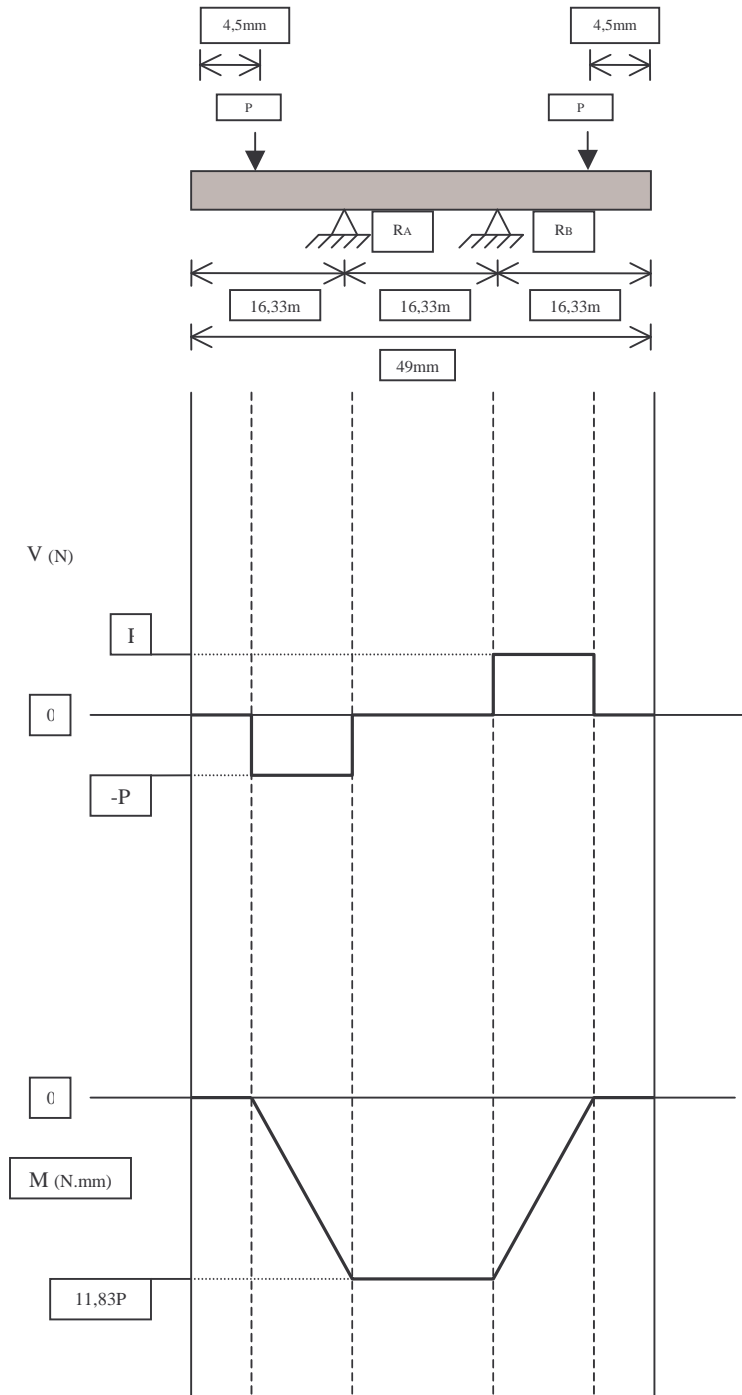


Figura 13. Sección de la viga central de la celda de carga



3.2 CÁLCULOS PARA HALLAR LAS DEFORMACIONES Y VOLTAJES EN LA VIGA A DIFERENTES CARGAS

Figura 14. Diagrama de Esfuerzos cortantes y Momentos



3.3 DEFORMACIÓN UNITARIA Y ESFUERZO NORMAL

Citamos la (Fig 3.3) que es la que contiene el Strain Gauges y es la pieza a la que se realizara el estudio, además se necesita las ecuaciones (4-5) que se encuentra en la página 12.

$$\sigma = \frac{MC}{I} \rightarrow \sigma = E\varepsilon \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{MC/I}{E} = \frac{MC}{EI}; \text{ Donde } I = \frac{bh^3}{12} \text{ y } C = \frac{h}{2}$$

$$\text{Luego } \frac{I}{C} = \frac{\frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^2}{6}; \text{ Reemplazando } \varepsilon = \frac{6M}{Ebh^2}$$

$$\text{Ahora el Esfuerzo normal quedaría: } \sigma = E\varepsilon = \frac{6EM}{Ebh^2} \rightarrow \sigma = \frac{6M}{bh^2}$$

Nota: Estos valores quedan en función de la carga P.

La pieza que esta siendo estudiada, esta hecha de una **Aleación de Aluminio 6063 T5** que tiene las siguientes propiedades:

3.4 FICHA TÉCNICA DE ALEACIÓN DE ALUMINIO 6063 T5

Tabla 2. Composición química de la Aleación de Aluminio 6063 T5

% Si	%Fe	%Mn	%Mg	%Cr	%Ti	%Zn	Otros	%Al
0,20-0,6	0,35	0,10	0,45-0,9	0,10	0,10	0,10	0,05	Reman

Tabla 3. Propiedades y Características de la Aleación de Aluminio 6063 T5

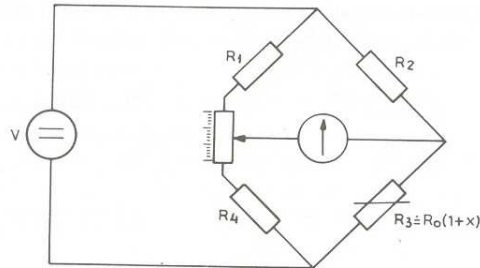
Peso específico (Kg/dm3)	Intervalo de fusión (°C)	Coficiente de dilatación (m°C)	de	Módulo de elasticidad (N/mm2)
2,69	618-655	23,4x10-6		69 500

Coficiente de Poisson	Conductividad térmica (estado cero) (W/m2°C)	Resistividad térmica (estado cero) (mV.m)	Calor específico (J/Kg.°C)
0,33	218	29x10-3	900

Carga de Rotura (Rm)(N/mm2)	Limite elástico (Rp 0,2)(N/mm2)	Alargamiento (A 5,65%)	Limite de fatiga (N/mm2)	Dureza Brinell (HB)
215	175	14	150	60

3.5 DISEÑO DEL PUENTE WHEATSTONE (MEDIDAS POR DEFLEXIÓN)

Figura 15. Puente Wheatstone



La forma habitual de obtener una señal eléctrica como resultado de una medida empleando un puente de Wheatstone, es mediante el método de deflexión. En éste, en lugar de valorar la acción necesaria para restablecer el equilibrio en el puente, se mide la diferencia de tensión entre ambas ramas o la corriente a través de un detector dispuesto en el brazo central.^{1,3}

$$R2=R4=R_0(1-G.\varepsilon)$$

$$R1=R3=R_0(1+G.\varepsilon)$$

$$V = V_s \left(\frac{R3}{R2 + R3} - \frac{R4}{R1 + R4} \right)$$

Factor de las galgas extensométricas¹¹ $G = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta L / L} \approx 2$

Generalmente el factor de calibración de las galgas es 2; donde $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$.

Resistencia del extensómetro $R_0 = 120\Omega$.

Voltaje de salida $V_s = 5V$

$$\text{Luego; } \rightarrow G = \frac{\Delta R / R_0}{\varepsilon_{M\acute{a}x.}} \rightarrow \rightarrow \Delta R = G \times \varepsilon \times R_0$$

¹¹ COUGHILN, Robert F. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México, 1999. p. 231-232.

Ejemplo:

Para una carga mínima de 500N:

$$\begin{aligned}\Delta R2 &= G \times \varepsilon \times R_0 \\ \Delta R2 &= 2 \times 0,00102131 \times 120 \\ \Delta R2 &= 0,2451144\Omega\end{aligned}$$

Nota: El valor de ε se obtuvo de un programa hecho en Excel que facilita la obtención de deformaciones y voltajes a diferentes cargas. Este programa se anexará al final del documento.

Para una carga máxima de 3500N:

$$\begin{aligned}\Delta R1 &= G \times \varepsilon_{M\acute{a}x} \times R_0 \\ \Delta R1 &= 2 \times 0,00714918 \times 120 \\ \Delta R1 &= 1,7158032\Omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R1 = R3 &= (120\Omega) + \Delta R1 = 121,7158032\Omega \\ R2 = R4 &= (120\Omega) - \Delta R1 = 118,2841968\Omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V &= 5V \left(\frac{121,7158032}{118,2841968 + 121,7158032} - \frac{118,2841968}{121,7158032 + 118,2841968} \right) \\ V &= 0,0715V = 71,5mV\end{aligned}$$

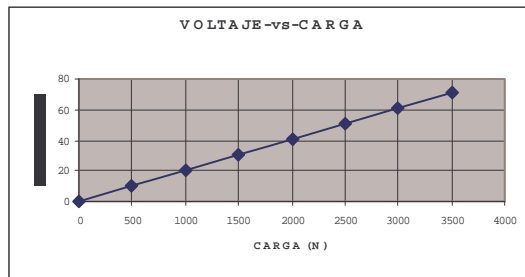
Nota: En este trabajo se realizó un programa en Excel que tiene como fin calcular el Esfuerzo (σ), Deformación (ε), Momentos (M), Resistencias ($R1=R3$ y $R2=R4$) y voltajes, para luego graficar Voltaje-vs-Carga.

Ejemplo:

Tabla 4. Tabla realizada por medio del programa creado en Excel

CARGA (N)	VOLTAJE (V)
0	0
1000	20.4262231
1500	30.6393392
2000	40.8524522
2500	51.0655653
3000	61.2786783
3500	71.4917914

Figura 16. Gráfica teórica Voltaje-vs-Carga

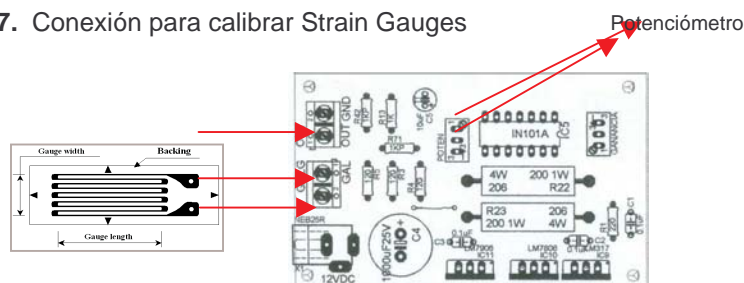


3.6 DESARROLLO PRÁCTICO PARA HALLAR VOLTAJES A DIFERENTES CARGAS

3.6.1 Calibración del Strain Gauge. Para calibrar el Strain Gauge, inicialmente se debe suministrar corriente a la tarjeta de acondicionamiento de señal; esta corriente será de 12 Voltios al igual que la tarjeta de adquisición de datos (SIPAD).

El paso a seguir, es la conexión del Strain Gauge a la entrada de señal de la tarjeta de acondicionamiento de señal para luego, sin aplicarle ninguna carga a la pieza y con ayuda del potenciómetro lineal de precisión, obtener una señal de voltaje mínimo de cero voltios; posteriormente se le debe aplicar la carga máxima que deberá soportar la pieza y de nuevo con el potenciómetro calibramos un valor de cinco voltios.

Figura 17. Conexión para calibrar Strain Gauges

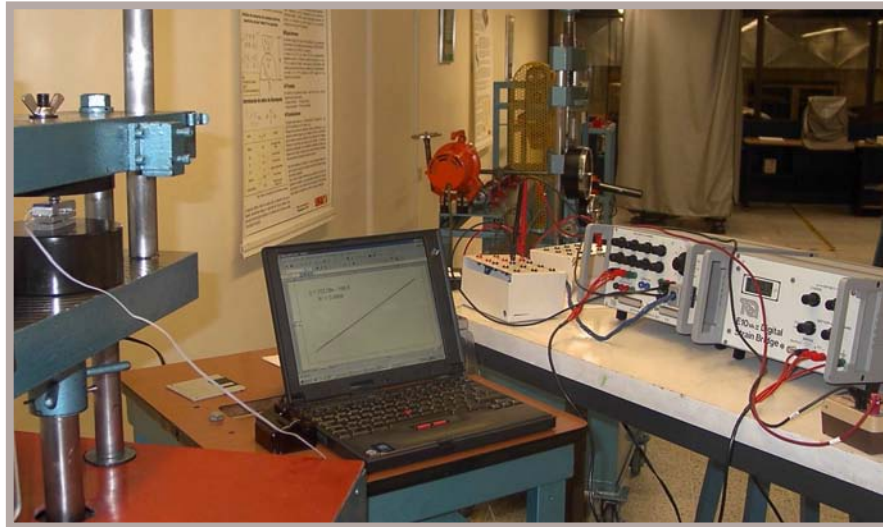


NOTA: Los valores mínimos y máximos de señal que se mencionaron anteriormente (0V – 5V), son los exigidos por la tarjeta de adquisición de datos con la que vamos a trabajar (SIPAD).

SIPAD: Soluciones Integradas Para la Adquisición de Datos.

3.6.2 Montaje y Ensayos. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Sólidos de la facultad de Ingeniería Mecánica, en este se utilizó la maquina universal de ensayos para aplicar las diferentes cargas y así obtener los voltajes y las graficas correspondientes.

Figura 18. Montaje para llevar a cabo los ensayos



Inicialmente se debe hacer el montaje, para luego llevar a cabo la calibración del Strain Gauge y finalmente hacer las pruebas, que consisten en aplicar diferentes cargas y obtener datos para luego graficarlos.

A los datos obtenidos para cada carga, se les debe sacar su **promedio**, para luego generar la grafica Voltaje-vs-Carga.

El promedio se da en voltios, ya que la Tarjeta de Adquisición de Datos, transforma la deformación a voltaje.

Nota: Cuando se capturan los datos por medio de la tarjeta de adquisición de datos, esta me genera alrededor de 1000 datos por segundo por entrada analógica. Nosotros capturamos alrededor de 5000-7000 datos en 5 segundos, entonces para sacar dicho promedio, se deben tomar los datos a partir del 10% del total de los datos, esto con el hecho de tener en cuenta la incertidumbre, es decir el momento en que se estabiliza la señal de voltaje.

- **Pruebas:** Los valores que se mostrarán a continuación son los promedios de los datos generados por la Tarjeta de Adquisición de Datos (SIPAD) para cada carga.

Tabla 5. Cargas y voltajes experimentales

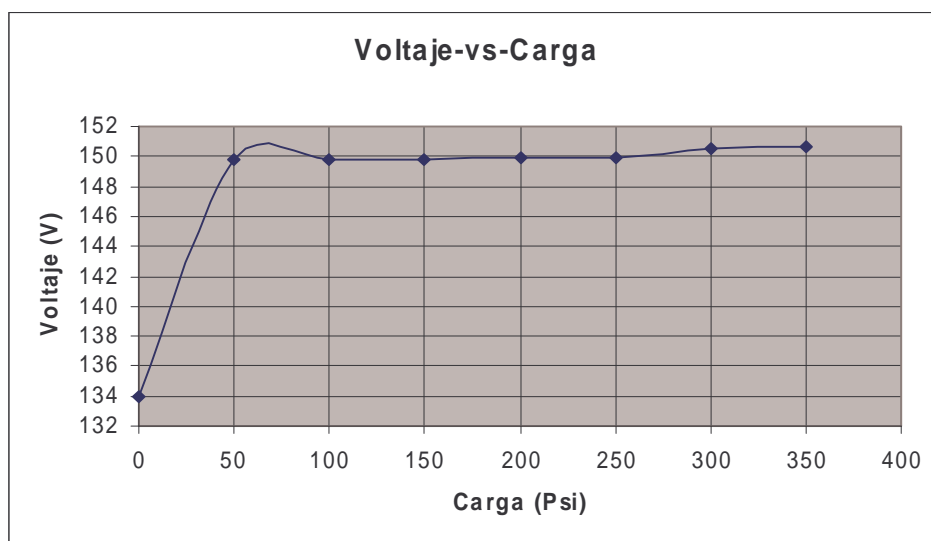
Carga (N)	35.811	425,656 (50psi)	815,501 (100psi)
Promedio (V)	133,906102	149,751585	149,746577
Carga (N)	1205,346 (150psi)	1595,191 (200psi)	1985,036 (250psi)

Promedio (V)	149,830363	149,893223	149,883369
---------------------	------------	------------	------------

Carga (N)	2374,881 (300psi)	2764,726 (350psi)
Promedio (V)	150,525694	150,680324

Graficando los voltajes generados por cada carga, el grafico obtenido es el siguiente:

Figura 19. Grafica experimental Voltaje-vs-Carga

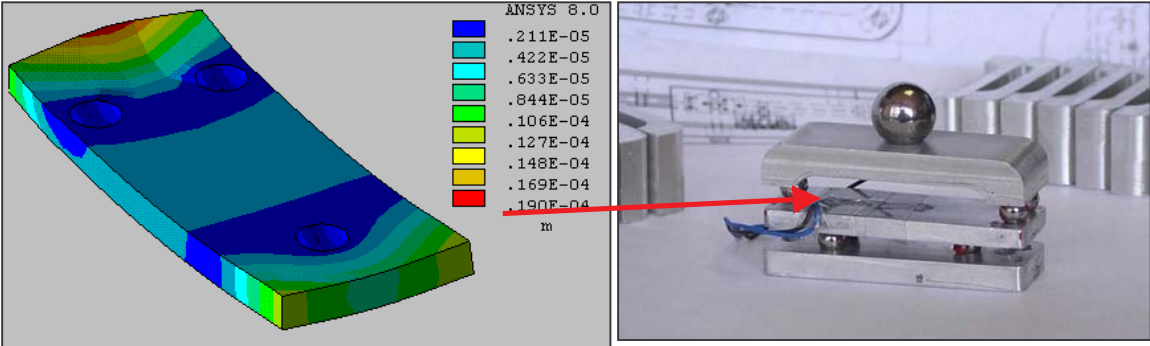


3.6.3 Comportamiento de celda de carga por elementos finitos. El comportamiento de la Celda de Carga cuando se le aplica fuerza de compresión se puede analizar por medio de Elementos Finitos.

En este proyecto, el análisis de la celda de carga se llevó a cabo por medio del programa Ansys.

Nota: Para el caso, no es necesario analizar toda la celda ya que solamente se debe realizar el análisis a la pieza que contiene el Strain Gauge.

Figura 20. Comportamiento de la viga por elementos finitos



4. CONCLUSIONES

- Se diseñaron todos los componentes mecánicos, electrónicos e informáticos, para posteriormente llevar a cabo el ensamble de la plataforma portátil, en la cual se multiplicaran los conceptos desarrollados en este trabajo.
- La tarjeta de acondicionamiento de señal no estuvo a las condiciones ideales de trabajo, como que el ambiente estuviera entre 25 y 35°C, que no haya humedad, que el ruido sea mínimo.
- Se logró que todo el conjunto celda de carga, tarjeta de acondicionamiento de señal, tarjeta de adquisición de datos, capturara los datos cuando dicha celda estaba sometida a carga, y además las exportara al Software de la tarjeta de adquisición de datos y luego a Excel para posteriormente graficarlos.

BIBLIOGRAFIA

ACERO, José; MURILLO, Henry; LOZANO, G Berley. El fenómeno del Déficit Bilateral (DBL) en el deportista. Congreso Internacional de Medicina del Deporte y Ciencias Aplicadas, Bogotá, Abril de 2002.p.100.

COUGHILN, Robert F. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México, 1999. p. 231-232.

HIDALGO, Miguel Ángel, CAMPO, Oscar. Diseño de un prototipo de plataforma portátil para medir fuerza de reacción en los tres ejes ortogonales. Artículo del Grupo de Investigaciones en Ingeniería Biomédica, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, 2002.

SHIGLEY, Joseph Edward y MITCHELL, Larry D. Manual de Diseño Mecánico. MacGraw Hill Interamericana, México. Págs. 42-43-52-53-54.

Anexo A. Planos de la Celda de Carga

