

DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UN BANCO PARA MEDIR
DEFORMACION Y ESFUERZOS ORIGINADOS POR CARGA AXIAL



FREDDY JAVIER ESTUPIÑAN PATIÑO
SEBASTIAN SILVA GARCIA

UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
FLORIDABLANCA
2018

DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UN BANCO PARA MEDIR
DEFORMACION Y ESFUERZOS ORIGINADOS POR CARGA AXIAL

FREDDY JAVIER ESTUPIÑAN PATIÑO
SEBASTIAN SILVA GARCIA

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

Director:

ALFONSO SANTOS JAIMES

Ingeniero Mecánico.

UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
FLORIDABLANCA

2018

Nota de aceptación:

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, mayo 29 de 2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A nuestras familias por ser el pilar fundamental de nuestras vidas, por su comprensión y apoyo incondicional.

A Alfonso Santos por ser nuestro director y coordinador en todo el proceso.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por brindarnos la oportunidad de desarrollar capacidades, competencias y poder optar al título de ingenieros mecánicos.

Y a todos nuestros amigos y personas cercanas que de una u otra forma nos apoyaron en la realización del trabajo.

A Carolina Tarazona por ser el apoyo en toda la carrera y mi mano derecha en toda mi etapa como estudiante.

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GENERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	14
3. MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. CARGA AXIAL.....	16
3.2. LEY DE HOOKE	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.3. ESFUERZO NORMAL	17
3.4. DEFORMACIÓN LONGITUDINAL.....	18
3.4. GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS.....	19
3.5. PUENTE DE WHEASTONE.....	21
3.6. TIPOS DE MATERIAL.....	19
3.7. EQUIPOS COMERCIALES.....	19
4. METODOLOGÍA.....	24
4.1. NECESIDAD	25
4.1.1. Clasificar el problema y elaboración de especificaciones.....	26
4.2. ESPECIFICACIONES	27
4.2.1 Identificar problemas esenciales.....	27
4.2.2. Establecer estructuras funcionales.....	28
4.3. CONCEPTO	32
4.3.1. Desarrollar arreglos preliminares y diseños de forma.....	32
4.3.2. Seleccionar	33
4.3.3. Refinar y evaluar por criterios técnicos y económicos	33
4.4. ARREGLO PRELIMINAR	33
4.4.1 Finalizar detalles.....	37
4.4.2. Completar dibujos y documentos de producción	37
4.5. ARREGLO DEFINITIVO.....	41
4.5.1 Finalizar tareas.....	44

4.5 DOCUMENTACIÓN	44
4.6 SOLUCIÓN	45
5. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.....	44
6. CALCULOS DE PORCENTAJE ERROR	51
7. GUIA BASE DE LABORATORIO.....	62
8. RECOMENDACIONES.....	68
9. CONCLUSIONES.....	69
10. BIBLIOGRAFÍA.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Carga axial sobre un elemento mecánico.....	16
Figura 2. Esfuerzo normal sobre un elemento sometido a carga axial.....	18
Figura 3. Principio de funcionamiento de un puente de Wheatstone.....	22
Figura 4. Modelo de Pahl y Beitz.....	24
Figura 5. Toma microscópica del aluminio a 20 micrómetros.....	30
Figura 6. Grafica de energía vs Cps/eV	30
Figura 7. Rodillo industrial.....	32
Figura 8. Vista isométrica y superior del modelo.....	34
Figura 9. Vista frontal y lateral del modelo.....	34
Figura 10. Modelo Solidworks vista isométrica.....	35
Figura 11. Modelo SolidWorks vista frontal.....	36
Figura 12. Plano de la lámina de aplicación de los pesos.....	36
Figura 13. Análisis estructural de la lámina.....	38
Figura 14. Análisis de la probeta sometida a la máxima carga.....	38
Figura 15. Materiales utilizados para la construcción	40
Figura 16. Soldadura TIG.....	40
Figura 17. Datos técnicos ofrecidos por la empresa Omega de la galga.....	42
Figura 18. Galga extensiométrica KFH-6-120-C1-11L1M2R.....	43
Figura 19. Puente de Wheatstone con la conexión de la galga.....	43
Figura 20. Transductor en funcionamiento y posición de la galga.....	44
Figura 21. Toma de datos mediante los transductores	45
Figura 22. Soporte guía de la probeta.....	46
Figura 23. Lámina soporte de los pesos a aplicar.....	47
Figura 24. Ensamble de estructura de la máquina.....	48
Figura 25. Vista lateral de la estructura.....	49
Figura 26. Montaje total de uso con la probeta.....	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuerza axial requerida para originar.....	28
Tabla 2. Porcentaje de masa en elementos	31
Tabla 3. Resultados de esfuerzo de ANSYS.....	39
Tabla 4. Medición en milivoltios dada por el transductor para diferentes aplicaciones.....	53
Tabla 5. Toma de datos obtenidos a partir del transductor.....	54
Tabla 6. Datos obtenidos mediante la diferencia de peso en la primera toma de datos.....	55
Tabla 7. Datos obtenidos del diámetro externo e interno de la probeta en centímetros.....	56

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y COMPROBACIÓN DE UN BANCO PARA MEDIR LA DEFORMACIÓN Y LOS ESFUERZOS QUE SURGEN DE LA CARGA AXIAL

AUTOR(ES): SEBASTIAN SILVA GARCIA
FREDDY JAVIER ESTUPIÑAN PATIÑO

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): ALFONSO SANTOS JAIMES

RESUMEN

Este documento presenta el diseño, prueba y construcción de un banco de laboratorio; cuyo resultado permite cuantificar la deformación y la tensión normal que soporta un elemento mecánico en condiciones de carga axial; a través de galgas extensiométricas, que permiten medir la deformación longitudinal unitaria de un elemento y a partir de esta magnitud, las ecuaciones que rigen el comportamiento de los elementos ubicados en el rango elástico; además de un material, cuantifique la tensión y la deformación que soportan cuando se aplica una carga axial céntrica.

PALABRAS CLAVE:

Carga axial, deformación de la unidad, rango elástico.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DESIGN, CONSTRUCTION AND PROOF OF A BANK TO MEASURE DEFORMATION AND EFFORTS ARISING FROM AXIAL LOAD

AUTHOR(S): SEBASTIAN SILVA GARCIA
FREDDY JAVIER ESTUPIÑAN PATIÑO

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: ALFONSO SANTOS JAIMES

ABSTRACT

This document presents the design, testing and construction of a laboratory bench; whose result allows to quantify the deformation and the normal stress that a mechanical element supports under conditions of axial load; through extensometric gauges, which allow to measure the longitudinal unitary deformation of an element and from this magnitude, the equations that govern the behavior of elements located in the elastic range; as well as a material, quantify the strain and deformation that they are supporting when a centric axial load is applied

KEYWORDS:

Axial load, unit deformation, elastic range.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCION

Este proyecto se realiza para la construcción de un banco de pruebas que permita obtener una base de datos respecto de la deformación, con lo cual se crea la posibilidad de un comparativo con los datos teóricos.

De lo anterior, teniendo en cuenta que la universidad no cuenta con un laboratorio de pruebas que permita experimentar y hallar deformaciones por medio de la carga axial.

De esta manera, se va dotar a la universidad del banco de pruebas que le permitirá mejorar las condiciones de aprendizaje mejorando los niveles de comprensión del conocimiento y optimizando las valoraciones que de las mediciones se tengan; anterior a la construcción de este laboratorio se tenía que realizar pruebas en los laboratorios apropiados solo para ingeniería civil, con lo cual no hay una medición exacta; de ahí la importancia de laboratorio.

De tal suerte que los conocimientos adquiridos permitan llevar a la práctica todos los conceptos teóricos en un ambiente controlado con mediciones exactas; por esta razón el proyecto abarca los parámetros de diseño, desarrollo metodológico para permitir cuantificar la deformación unitaria longitudinal, la deformación y el esfuerzo de las probetas ensayadas en el banco construido a través del uso de galgas extensiométricas.

Su posterior sometimiento a pruebas para corroborar la exactitud entre los datos obtenidos experimentalmente y los datos teóricos calculados a través de las ecuaciones de esfuerzo y deformación que se encuentran reportados en la literatura, lo que permitan proyectar a grandes escalas los resultados en estructuras reales y de ahí que se verán relacionados todos los conceptos adquiridos en la cátedra de Resistencia de Materiales.

Como resultados esperados se tenía la creación del banco de laboratorio el cual se presenta en el cuerpo de este trabajo; igualmente el banco de pruebas quedara ubicado en las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana, pues es allí donde se llevaran a cabo las pruebas de laboratorio; además de la entrega de la guía que permita implementar esta práctica en el laboratorio de la asignatura Resistencia de Materiales, la cual se adaptará al formato que posee el documento guía que siguen los docentes que imparten este laboratorio, que permitirá las mejoras y exactitud en la catedra atrás misionada, con lo cual el proyecto presenta un aporte al desarrollo académico de los futuros estudiantes de ingeniería mecánica con su consecuente guía de laboratorio.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la facultada de ingeniería mecánica en la catedra de Resistencia de Materiales no se está llevando un correcto laboratorio de pruebas, ya que sus trabajo de campo se hace a través del laboratorio de Ciencia de los Materiales; con lo cual las mediciones y resultados son inexactos para la materia que se aborda, en el entendido que no se realizan mediciones que permitan la determinación de esfuerzos y deformación originados por los diferentes tipos de cargas que pueden actuar sobre un elemento mecánico. Debido a este problema las valoraciones y mediciones pueden llegar a ser inapropiadas además de dificultar la aprensión del conocimiento; y por ende se plantea la viabilidad de ¿Construir un banco para medir deformación y cuantificar esfuerzos en probetas sometidas a carga axial céntrica a través del uso de galgas extensiométricas?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Construir un banco para medir deformación y cuantificar esfuerzos en probetas sometidas a carga axial céntrica a través del uso de galgas extensiométricas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Diseñar un banco de laboratorio que permita aplicar cargas axiales céntricas en probetas de sección transversal maciza o tubular, a través de las ecuaciones básicas de diseño y que tenga como mínimo un factor de seguridad de 1.5 **Resultado:** Planos detallados del banco de laboratorio. **Indicador:** El factor de seguridad del banco será como mínimo de 1.5.
- Desarrollar una metodología que permita cuantificar la deformación unitaria longitudinal, la deformación y el esfuerzo de las probetas ensayadas en el banco construido a través del uso de galgas extensiométricas. **Resultado:** Metodología desarrollado. **Indicador:** La metodología debe permitir cuantificar de manera indirecta el esfuerzo y la deformación que soporta un elemento cuando está sometido a condiciones de carga axial.
- Realizar pruebas para corroborar la exactitud entre los datos obtenidos experimentalmente y los datos teóricos calculados a través de las ecuaciones de esfuerzo y deformación que se encuentran reportados en la literatura. **Resultado:** Tabla comparativa entre los datos obtenidos experimentalmente y los resultados teóricos calculados. **Indicador:** Se relacionará el porcentaje de error encontrado entre los datos teóricos y los datos experimentales.
- Entregar una guía que permita implementar esta práctica en el laboratorio de la asignatura Resistencia de Materiales, la cual se adaptará al formato que posee el documento guía que siguen los docentes que imparten este

laboratorio. **Resultado:** Guía de laboratorio. **Indicador:** Se utilizará el formato con el cual está desarrollado el Manual Laboratorio Resistencia de Materiales

3. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo del proyecto es necesario realizar un análisis bibliográfico referente a los temas de carga axial, ley de Hooke, esfuerzo normal, deformación longitudinal y galgas extensiométricas.

3.1 CARGA AXIAL

Una carga axial es aquella fuerza que actúa sobre el eje longitudinal de un elemento mecánico [1,2], tal como se observa en la figura 1.

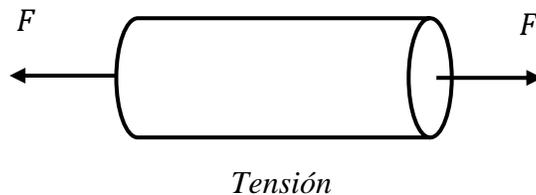


Figura 1. Carga axial sobre un elemento mecánico
Fuente: Autores

Las fuerzas axiales pueden ser de tensión si originan un alargamiento de la longitud del elemento o de compresión si originan un acortamiento de la longitud del elemento; en todos los casos la carga axial debe actuar sobre el eje centroidal de la sección transversal, con el fin de evitar esfuerzos originados por momentos flectores [2-4].

3.2 LEY DE HOOKE

La mayor parte de los elementos mecánicos se diseñan para sufrir deformaciones relativamente pequeñas, las cuales involucran sólo la parte recta del diagrama de esfuerzo – deformación unitaria [6,7], es decir, en el rango elástico del material; en esta región el esfuerzo (σ) es directamente proporcional a la deformación unitaria

(ε), y puede escribirse a través de la ley de Hooke, tal como se muestra en la ecuación 1.

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (1)$$

El coeficiente E se denomina módulo de elasticidad del material involucrado o, también módulo de Young. Como la deformación unitaria es una cantidad adimensional, el módulo E se expresa en las mismas unidades que el esfuerzo (σ), es decir, en pascales en el sistema internacional o psi en el sistema inglés.

3.3. ESFUERZO NORMAL

El esfuerzo es una magnitud física con unidades de fuerza por unidad de área; En general los esfuerzos que actúan sobre una superficie plana pueden ser uniformes en el área o pueden variar de intensidad de un punto a otro [2].

Existen 2 clases de esfuerzos; el esfuerzo normal (σ), que se origina cuando la fuerza es perpendicular al área del elemento y origina un alargamiento o acortamiento de la misma, y el esfuerzo cortante (τ) que se origina cuando la fuerza es paralela al área del elemento y origina una tendencia a cortar la pieza [3, 4].

La ecuación que expresa la intensidad del esfuerzo normal uniforme en una barra con carga axial de forma arbitraria en su corte transversal es, se relaciona en la ecuación 2.

$$\sigma = \frac{F \text{ (Carga Axial)}}{A \text{ (Area transversal dada)}} \quad (2)$$

La fuerza interna F , de la figura 2, representa la resultante de las fuerzas elementales distribuidas a lo largo del área A de la sección transversal [3].

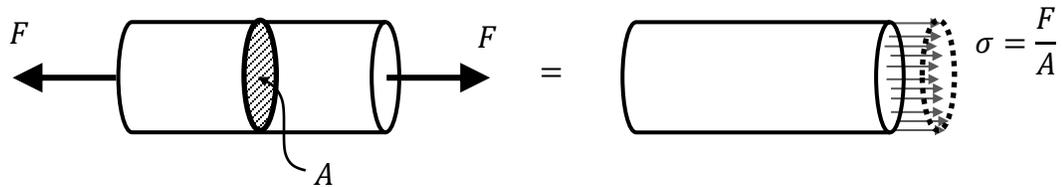


Figura 2. Esfuerzo normal sobre un elemento sometido a carga axial
Fuente: Autores

La intensidad promedio de la fuerza distribuida es igual a la fuerza por unidad de área (F/A), el hecho de que el elemento falle o no bajo la carga depende de la capacidad que tenga el material de soportar el valor correspondiente a F/A [8].

3.4. DEFORMACIÓN LONGITUDINAL

En el rango elástico la deformación no es permanente, por consiguiente, si la carga se retira, en teoría, el elemento recuperará sus dimensiones iniciales; en el rango plástico esto no se cumple y el análisis que se debe realizar para determinar la deformación presente en el elemento es diferente [3].

Todos los análisis que se realizarán en este documento serán considerados en el rango elástico; es decir donde se cumple la relación de Hooke, la cual enuncia que el esfuerzo es igual al módulo de elasticidad multiplicado por la deformación unitaria, siendo estos dos términos propiedades del material del cual es fabricado el elemento; esta afirmación se puede expresar a través de la ecuación 3.

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (3)$$

Recordando que el esfuerzo normal es igual a $\sigma = F/A$, y la deformación unitaria se define como $\varepsilon = \delta/L$; y reemplazando en la ley de Hooke se tiene [2]:

$$\sigma = E * \varepsilon \Rightarrow \frac{F}{A} = E * \frac{\delta}{L}$$

Despejando la deformación de la relación anterior se tiene la ecuación 4.

$$\delta = \frac{F * L}{A * E} \quad (4)$$

Donde F es la fuerza interna, L la longitud, A el área de la sección transversal y E el módulo de elasticidad del material. La ecuación anterior se cumple si F , A y E son constantes [2].

3.5. GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

En 1856 Lord Kelvin descubrió que al aplicar una fuerza sobre un hilo conductor o un semiconductor se presenta una variación en su resistencia eléctrica. Este principio permite realizar mediciones de fuerzas muy tenues que provoquen pequeñas deformaciones en el conductor.

La utilidad de este principio se manifiesta en la construcción de las galgas extensiométricas, estos dispositivos son transductores pasivos, que, aplicados sobre un espécimen, permiten medir el esfuerzo ejercido sobre él a partir de la deformación resultante. Así, fuerzas de compresión, tracción o torsión, aplicadas sobre materiales elásticos, generan deformaciones que son transmitidas a la galga, respondiendo ésta con una variación de su propia resistencia eléctrica. Las galgas se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones a nivel industrial, de investigación en ingeniería y en todos los campos donde se requieran mediciones precisas [9].

Las galgas extensiométricas usan la propiedad física de la resistencia y su dependencia de la resistividad del conductor, esta es una propiedad del material, y también de la geometría del conductor. Cuando se deforma un conductor eléctrico dentro de su límite de elasticidad, haciendo que no se produzca rotura o deformación permanente, éste cambiara. Este hecho incrementa su resistencia eléctrica. Análogamente, cuando el conductor es comprimido se acorta y ensancha, reduciendo así su resistencia al paso de corriente eléctrica. Entonces se puede afirmar que, midiendo la resistencia eléctrica de la galga, puede deducirse la magnitud del esfuerzo aplicado sobre el objeto.

Existen muchos tipos de galgas, pero entre ellas existen 5 que son las más comerciales: metálicas, por resistencia, por capacitancia, fotoeléctricas y semiconductoras.

- Las galgas metálicas están constituidas por una base delgada y fina unidas a un hilo que se conecta a los transductores. Este hilo tiene sus restricciones ya que puede soportar una carga de 25 mA máximo si es bobinado y de 5 Ma si no lo es. La resistencia de esta galga está dada por la relación entre resistividad y longitud respecto al área. Existen diversos tipos de aleaciones para estas galgas, entre las más usadas están la de cobre-hierro, platina-silicialista y costantán.

El Constantán es una aleación de níquel y cobre, esta aleación es utilizada para grandes elongaciones.

- Las galgas por resistencia consisten en que al ser deformadas aumenta su resistencia. Mediante el puente de Wheatstone convertimos esa resistencia en un valor de voltaje absoluto, mientras se cumpla la ley de Hooke, estarán relacionados por algo llamado el factor de galga.

- Las galgas por capacitancia están asociadas a características geométricas las cuales se usan para medir esfuerzo y deformación. Estas galgas pueden ser

calibradas ya que los materiales usados para estas se pueden despreciar sus propiedades eléctricas. Esto permite tener una mejor calibración a comparación de las de tipo eléctrico.

- Las galgas fotoeléctricas utilizan un extensómetro el cual se encarga de amplificar el movimiento del espécimen, mientras un rayo de luz es pasado por una apertura variable y directamente a una célula fotoeléctrica. A medida que va cambiando la abertura también cambia la cantidad de luz, lo que provoca que varíe la intensidad de luz y con ella la energía generada por la celda.

- Las galgas semiconductoras tienen un elemento semiconductor en vez de hilo metálico. Lo que las diferencia de las demás galgas es su tamaño reducido. Los elementos que más se utilizan en la construcción de estas galgas es el silicio y el germanio. Su resistencia es de entre 1000Ω y 5000Ω , aproximadamente.

3.6. PUENTE DE WHEATSTONE

Se utiliza en la presente investigación debido a que es una herramienta que nos permite enlazar el transductor con la galga, de vital importancia para el laboratorio debido a que se aplica frecuentemente en sistemas de instrumentación; lo que permite lograr medidas de deformación y cuya resistencia varía según la deformación que se detecte.

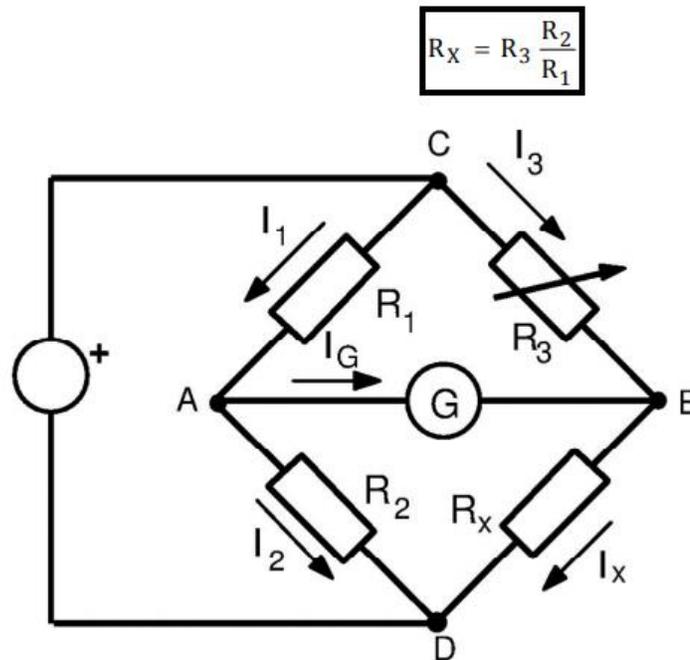


Figura 3. Principio de funcionamiento un puente de Wheatstone
 Fuente: <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Puente%20de%20Wheatstone.pdf>

El puente de Wheatstone es una herramienta muy importante que permite ser ese enlace entre la galga y el transductor para poder obtener nuestras mediciones de voltaje.

El puente de Wheatstone este compuesto por cuatro resistencias, de las cuales solo se utiliza ¼ del puente. Este se utiliza para poder colocar la galga, esto garantiza que utilizando solo esa parte el puente estará totalmente en equilibrio

3.7 TIPO DE MATERIAL

Aunque existen diversos materiales a la hora de construir una estructura, la selección para este proyecto fue de un acero comercial, más conocido como acero aguas negras. Este acero se acomodó a la necesidad del proyecto, ya que, al ser un banco de pruebas didáctico, no se necesitaba de un material muy resistente puesto que las cargas no superan los 50 kilogramos.

Esta tubería es una aleación de acero de bajo carbono, de acuerdo con la norma ASTM1011 Y ASTM A36, de la cual se puede garantizar que este acero tiene buenas propiedades mecánicas y de alta sostenibilidad. Según estudios, se precisó utilizar tubería cuadrada de 2,54 cm x 2,54 cm y lamina de acero de espesor 3/16 para garantizar una alta resistencia en la estructura.

Para la probeta fue necesaria tubería de aluminio de 2,54 cm de diámetro, el aluminio es un material abundante en la tierra, con aleaciones puede llegar a tener una resistencia mecánica de 690 MPa. Cuenta con características muy particulares que hacen que sea un metal muy utilizado en la industria, bien sea por su precio o por su peso entre otros.

3.8 EQUIPOS COMERCIALES

Se encuentra un gran grupo de variedad de equipos comerciales a la venta, en la página de servicios científico-técnico de la UPC ofrece un modelo **Marca:** Cooper **Modelo:** CRT-CTM-250-II el cual dice “Equipo que permite la realización de ensayos convencionales de compresión y que también permite calcular el módulo de rigidez en probetas cilíndricas y en testimonios de construcción, de dimensiones comprendidas entre 100 y 150 mm de diámetro.”

Direct Industry ofrece gran variedad de equipos que la cual ofrece una máquina de prueba universal a compresión que dice “El RTF de TENSILON es una máquina de prueba universal nueva que ofrece las posibilidades de medir diferentes propiedades, basadas en conocimiento tecnológico desarrollado recientemente y extenso de A&D. La serie del RTF es una máquina de prueba de la clase 0.5. Mejorando el diseño total y la estructura de la máquina, alcanza una dureza muy alta del marco de la carga permitiendo exactitud muy alta-alta en la medida.

4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se empleará la metodología basada en el modelo de Pahl y Beitz, porque permite ser modificada durante el proceso de diseño para adaptarla a una situación particular, usando el modelo prescriptivo de la teoría del sistema para sustentar la propuesta de trabajo; a través de funciones y sub funciones “que cambian los efectos físicos con las características geométricas y los materiales, para que surja el principio de solución.” (Alcaide, Diego y Artacho, 2001). Proceso que se sitúa en las fases preliminares: Aclaración de tareas, definición y selección de ideas productivas; a continuación, se desarrolla el modelo de Pahl y Beitz.

A continuación, se presenta el modelo de Pahl y Beitz:

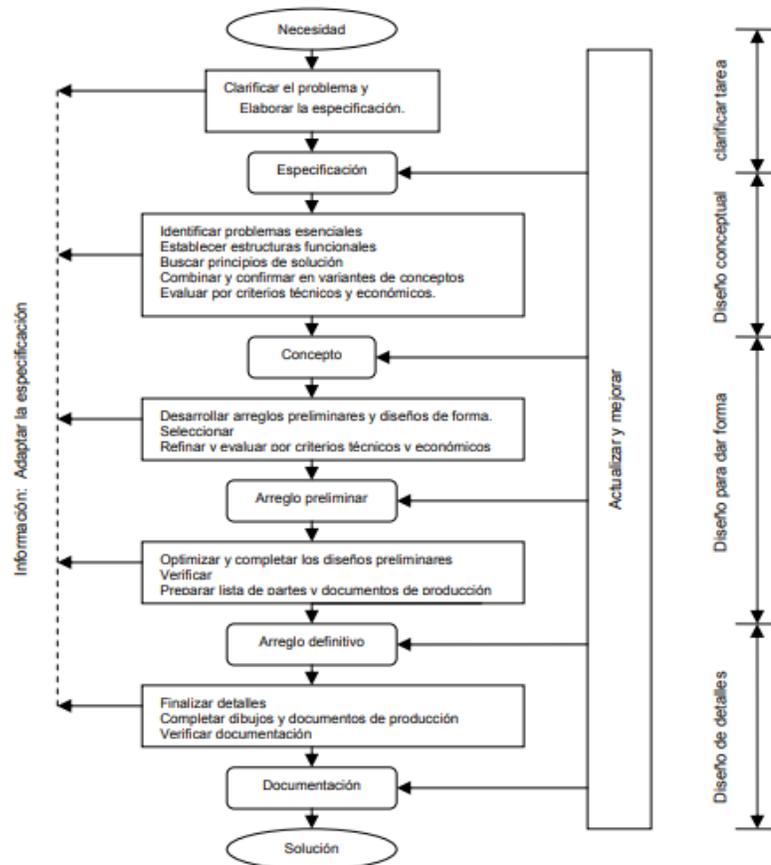


Figura 4. Modelo Pahl y Beitz

Fuente: Cross 1999

4.1. NECESIDAD

No existe en la universidad pontificia bolivariana de Bucaramanga un laboratorio de pruebas para la cátedra de Resistencia de Materiales; que permita evaluar el esfuerzo y la deformación; de acuerdo a la carga aplicada; hasta el momento estos análisis y prácticas se realizan únicamente para determinar las propiedades mecánicas de los materiales entre los que se mide la dureza, tenacidad, resistencia a la fluencia, módulo de elasticidad, etc.; por eso el laboratorio que se desarrolla es el de Ciencia de los Materiales, con lo cual se deja de lado la determinación de esfuerzos y deformación originados por los diferentes tipos de cargas que pueden actuar sobre un elemento mecánico.

Así se dota a la universidad de un laboratorio que entrega a los estudiantes de ingeniería mecánica herramientas apropiadas para el análisis, con lo cual se puede comprobar los efectos originados por una carga axial, sobre un elemento mecánico y de esta forma se relacionan de una mejor manera el contenido teórico con el experimental.

Por petición del docente de la asignatura se deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Diseñar y construir un banco de pruebas de carga axial didáctico de laboratorio, que pueda ser manipulado por los estudiantes y de fácil uso.
2. La carga por aplicar no debe ser superior a 50 kilogramos por que las cargas se aplican manualmente.
3. La probeta que se usará debe ser de un material que presente alta deformación para poder mirar el comportamiento y que exista una alta variación en los datos.
4. Se debe garantizar que la carga aplicada sea céntrica para utilizar correctamente las ecuaciones de carga axial céntrica, de lo contrario se originaría otro tipo de esfuerzos en la probeta.

5. La probeta debe tener la facilidad de poder cambiarse, para tener la posibilidad de realizar diferentes pruebas con otro tipo de probetas, tanto cuadradas, como de mayor espesor, entre otras variantes.
6. El banco de pruebas ya que es didáctico debe tener medidas no superiores a los 150 centímetros de alto para su fácil acceso a cualquier persona y que pueda manipular con facilidad los elementos del banco de pruebas.

4.1.1. Clasificar el problema y elaboración de especificaciones

En la facultad de ingeniería mecánica en la cátedra de Resistencia de Materiales no se está llevando un correcto laboratorio de pruebas ya el trabajo de campo se hace a través del laboratorio de Ciencia de los Materiales; con lo cual las mediciones y resultados son inexactos para la materia que se aborda, en el entendido que no se realizan mediciones que permitan la determinación de esfuerzos y deformación originados por los diferentes tipos de cargas que pueden actuar sobre un elemento mecánico. Debido a este problema las valoraciones y mediciones pueden llegar a ser inapropiadas además de dificultar la aprensión del conocimiento; y por ende se plantea la viabilidad de ¿Construir un banco para medir deformación y cuantificar esfuerzos en probetas sometidas a carga axial céntrica a través del uso de galgas extensiométricas?

A partir de los requerimientos de diseño se evaluaron diferentes alternativas de solución, se estableció un concepto de forma, dimensión, componentes y funciones. Se seleccionaron los componentes, se hicieron cálculos mecánicos, se simuló los diseños preliminares mediante estrategia de elementos finitos, se adquirieron y mecanizaron piezas.

4.2. ESPECIFICACIONES

En esta fase se recopila la información acerca de los requerimientos y restricciones que deben incorporarse en el producto.

Se plantea crear una estructura de 1.50 m en acero que permita la adecuada interacción de los estudiantes; usando cargas céntricas para pesos no tan grandes, debiendo ser proporcionales al tamaño de la estructura, cuyos resultados pueden ser proyectados a grandes escalas; el tamaño utilizado para la probeta se considera el adecuado debido a que una estructura muy pequeña las deformaciones son mínimas y en estructuras muy grandes la probeta puede fallar. Se utiliza una galga capaz de medir pequeñas deformaciones por tanto es una de solo un cuarto del puente de Wheatstone, debido a que la galga se encuentra en un costado del puente para poder encontrar el equilibrio del mismo.

4.2.1 Identificar problemas esenciales

Se propone trabajar con material de acero para la estructura teniendo en cuenta que es un material de bajo costo y cuyas propiedades son adecuadas para realizar el proyecto, con lo que los esfuerzos serán determinantes a la hora de deformar la estructura; la estructura se puede realizar en diversos materiales como cobre, aceros de bajo nivel de carbono, o aluminio; el primero de ellos se descarta por su fragilidad, en el caso del acero inoxidable es un material costoso que puede generar mayor resistencia e incluso más calidad, sin embargo como se trata de un equipo de laboratorio su inversión sería muy costosa, por último en aluminio, aunque su inversión sería menor la probeta sería más débil y no soportaría la carga y el peso. Por eso se plantea realizar las pruebas con aluminio ya que sus propiedades hacen que sea un material exequible por su bajo costo y nos va a garantizar que tenga mayor deformación a la hora de realizar las pruebas comparado con el acero estructural.

4.2.2. Establecer estructuras funcionales

En este punto, se propone hacer la probeta tubular y de aluminio, ya que el módulo de elasticidad del aluminio es menor y es más fácil estudiar los efectos de las deformaciones. La sección cuadrada y la lámina de la estructura no influyen y por tanto en acero se pueden hacer sin que afecte los resultados finales, además de permitir una buena presentación y tener un costo razonable para el uso que se le dará. Al haber establecido ya que la estructura tenga 1,50 metros, se opta porque la probeta de aluminio sea de 1 metro de longitud. Esta decisión se toma teniendo en cuenta que, si la probeta es muy pequeña, será más difícil que las galgas nos arrojen resultados porque su deformación sería mínima. También se tiene en cuenta que el tamaño de la probeta es adecuado para el fácil manejo de los estudiantes.

Para seleccionar las dimensiones que se ajustan más a las necesidades del problema que se pretende resolver se realizó un análisis de las opciones disponibles comercialmente a través de la comparación de la carga necesaria para obtener en la probeta una deformación de 1 mm, tomando como base una longitud unitaria de 1 m. Los datos obtenidos de este análisis se relacionan en la tabla 1.

Tabla 1. Fuerza Axial requerida para originar una deformación Axial de 1 mm sobre la probeta

Sección	Dimensión Exterior (mm)	Espesor (mm)	Área (m ²)	E (Pa)	Fuerza Requerida (N)
Circular	12.7	2.00	$6.72 \cdot 10^{-5}$	$70 \cdot 10^9$	4710
	25.4	1.00	$7.67 \cdot 10^{-5}$	$70 \cdot 10^9$	5370
	25.4	1.00	$7.67 \cdot 10^{-5}$	$200 \cdot 10^9$	15300
	25.4	1.21	$9.20 \cdot 10^{-5}$	$70 \cdot 10^9$	6440
	25.4	1.21	$9.20 \cdot 10^{-5}$	$200 \cdot 10^9$	18400
	25.4	1.32	$9.99 \cdot 10^{-5}$	$70 \cdot 10^9$	6990
	38.1	1.21	$1.40 \cdot 10^{-4}$	$200 \cdot 10^9$	28000
	38.1	1.32	$1.53 \cdot 10^{-4}$	$70 \cdot 10^9$	10700
Cuadrada	25.4	0.90	$4.49 \cdot 10^{-5}$	$200 \cdot 10^9$	8980
	25.4	1.20	$5.95 \cdot 10^{-5}$	$200 \cdot 10^9$	11900

	25.4	1.60	$7.87 \cdot 10^{-5}$	$200 \cdot 10^9$	15700
	25.4	2.00	$9.76 \cdot 10^{-5}$	$70 \cdot 10^9$	6830
Rectangular	50.8 X 25.4	0.90	$6.78 \cdot 10^{-5}$	$70 \cdot 10^9$	13600
	50.8 X 25.4	1.20	$9.00 \cdot 10^{-5}$	$70 \cdot 10^9$	6300
	50.8 X 25.4	1.20	$9.00 \cdot 10^{-5}$	$200 \cdot 10^9$	18000
	76.2 X 25.4	1.10	$1.11 \cdot 10^{-4}$	$70 \cdot 10^9$	7740
	76.2 X 25.4	1.10	$1.11 \cdot 10^{-4}$	$200 \cdot 10^9$	22100
	38.1 X 38.1	2.00	$1.48 \cdot 10^{-4}$	$70 \cdot 10^9$	10400

Fuente: Autores del Proyecto

De la tabla 1 se puede observar que de las opciones de materiales y dimensiones disponibles comercialmente para la fabricación de la probeta se requiere descartar aquellas que sean de Acero, ya que las cargas requeridas para lograr una deformación específica son mucho mayores que las disponibles de aluminio. La opción que requiere menor carga es la sección circular tubular de 12.7 mm de diámetro exterior y espesor de 2 mm; sin embargo, debido a que el diámetro interno es de 8.7 mm y se requiere colocar una guía interna para garantizar la centricidad de la carga se considera que el espacio disponible es muy pequeño y por consiguiente esta opción se descarta. La segunda mejor opción en cuanto a carga requerida para alcanzar la deformación de 1 mm es la sección circular tubular de 25.4 mm de diámetro exterior y 1 mm, la cual no cuenta con la restricción de la primera opción analizada y por este motivo es la seleccionada para fabricar la probeta que se va a implementar dentro del banco de pruebas.

La probeta que se eligió fue en aluminio por su capacidad de generar una alta deformación, la cual se hizo un estudio mediante la herramienta de Espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS) la cual se encarga de que los rayos x generados por la interacción del haz de electrones de un microscopio electrónico de barrido con material sometido a análisis para poder identificar y cuantificar rayos x característicos de elementos, como se observa en la figura 5.

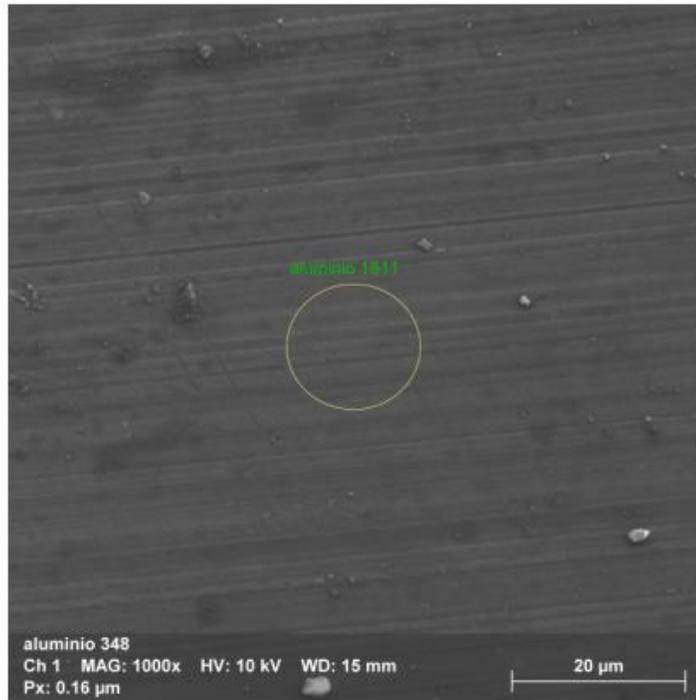


Figura 5. Toma microscópica del aluminio a 20 micrómetros.

Fuente: Análisis EDS

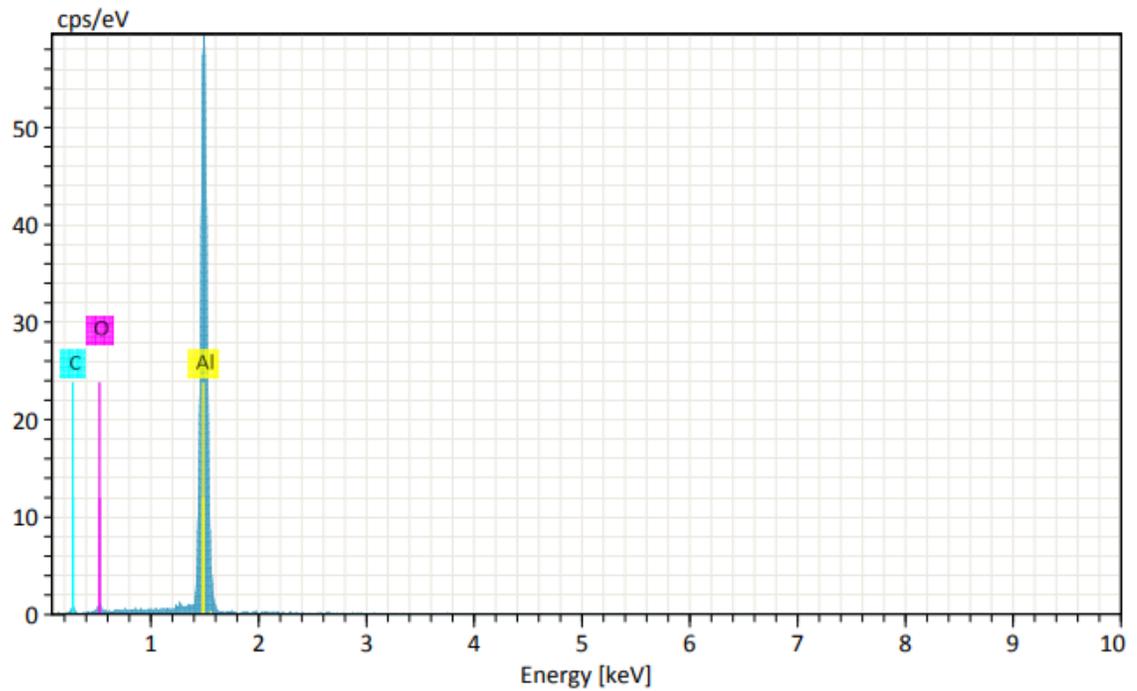


Figura 6. Grafica de energía vs cps/eV de los materiales compuestos en nuestra probeta, aluminio, oxígeno y carbono.

Fuente: Análisis EDS

La figura 6. Muestra una gráfica en la cual se puede observar la cantidad de conteos por segundo sobre electrón voltio en una determinada energía expresada en kilo electrón voltio.

Las especificaciones del porcentaje de masa obtenido en la probeta se observan en la tabla 2, las cuales dan detalle para determinar qué tipo de aluminio se va a trabajar.

Elemento	At. No	Line S.	Netto	Mass[%]	Mass Norm[%]	Atom[%]
Carbon0	6	K-Serie	267	3,99	2,27	8,39
Oxigeno	8	K-Serie	296	2,45	1,8	2,83
Aluminio	13	K-Serie	38707	74,92	95,93	88,78
			Sum 80,36		100	100

Tabla 2. Porcentaje en masa de elementos contenidos en la probeta.

El aluminio comercial 6061 es una aleación de aluminio que es bastante resistente a la corrosión, el cual tiene las siguientes características:

- Magnesio, mínimo 0.8%, máximo 1.2%
- Carbón, mínimo 1.8%, máximo 3%
- Zinc, máximo 0.25%
- Aluminio, mínimo 95.85%, máximo 98.56%

Por las características del aluminio 6061 se determina que es el más cercano a el valor de porcentaje de aluminio contendió en el análisis EDS.

A la hora de establecer las cargas que van a actuar en el banco de pruebas se pensó en la elaboración de probetas de acero de 10 kilogramos cada uno, pero al calcular el costo de este se decidió por ir a ferreterías y chatarrerías buscando algún elemento que sirviera.



Figura 7. Rodillo industrial
Fuente. Autores

En la búsqueda de elementos que sirvieran en la aplicación de la carga se encontró que había unos rodillos los cuales pesan 12 kilogramos cada uno tal como se observa en la figura 7. Teniendo en cuenta la función y el desempeño que estos pueden dar, se optó por la compra de estos, ya que son más económicos y muy prácticos a la hora de su utilización en el banco.

4.3. CONCEPTO

Se baso en los conceptos orientados por el profesor, guías, tablas, apoyándose mediante modelos ya existentes en la universidad, como es el banco de pruebas de Ing. civil. Al ser un banco de pruebas didáctico procedió a hacer un boceto para poder llevarlo a cabo y se toma como posición crear un modelo en un programa de diseño.

4.3.1. Desarrollar arreglos preliminares y diseños de forma

Se realizan estudios para modelos a tensión y compresión; en donde se verifica cuál de las dos estructuras es la más factible para su construcción, teniendo en cuenta ventajas en costos, tiempo de elaboración y precisión de los resultados.

4.3.2. Seleccionar

Entre los dos modelos estudiados y evaluados se seleccionó el modelo a compresión.

4.3.3. Refinar y evaluar por criterios técnicos y económicos

Se estudiaron dos propuestas para la creación del laboratorio de pruebas de Resistencia de Materiales: la primera de ellas manejaba un modelo a tensión, el estudio demostró que este modelo era más susceptible a fallas y su elaboración o construcción es más compleja lo que demandaba mayor esfuerzo y costos, así mismo, la medición era más imprecisa, la carga no generaba estabilidad.

El modelo a compresión es más preciso, su elaboración y construcción ahorra esfuerzo, tiempo y costos, permite una medición precisa de la carga lo que genera estabilidad en los resultados, además de ser un modelo que se puede formar en el programa SolidWorks, con el cual se facilita el diseño y del mismo su posterior análisis.

4.4. ARREGLO PRELIMINAR

Se hace un diseño con cotas y distancias especificadas en SolidWorks como primer bosquejo, se hizo varios diseños y finalmente se optó por el diseño más adecuado. Prueba del comportamiento de elementos mecánicos sometidos a carga axial y ubicados en el rango elástico de los materiales utilizados.

Para poder llevar a cabo este proyecto se tuvo en cuenta cual era el diseño más viable, tomando dos prototipos base haciéndole a cada uno su respectivo análisis y así poder determinar que prototipo se iba a construir.

A continuación, presentamos el diseño y análisis de un banco de pruebas de carga axial a tensión:

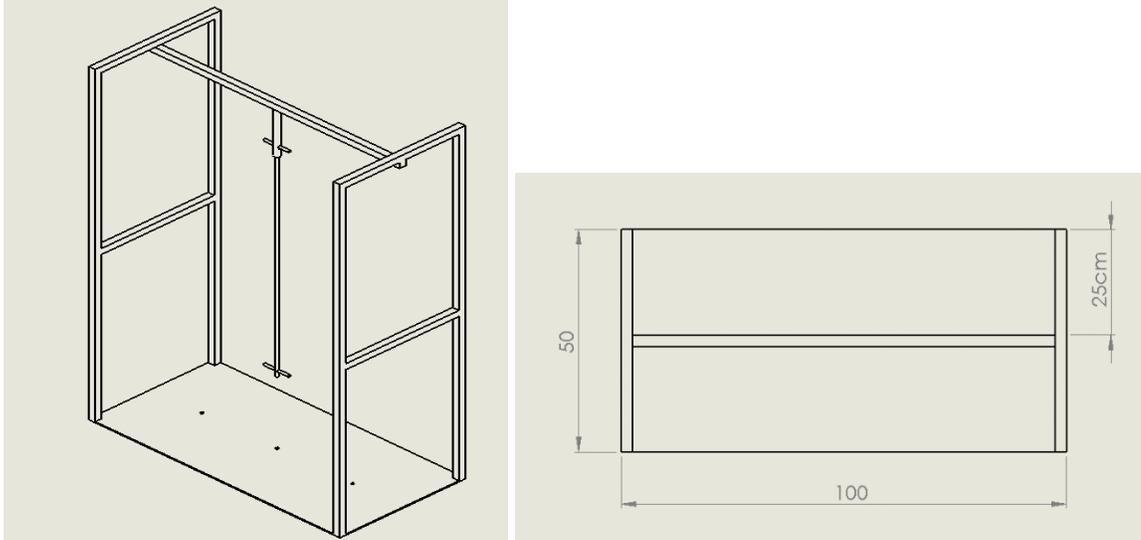


Figura 8. Vista isométrica y superior planos en SolidWorks del banco de pruebas a tensión.

Fuente: Elaboración propia de los autores

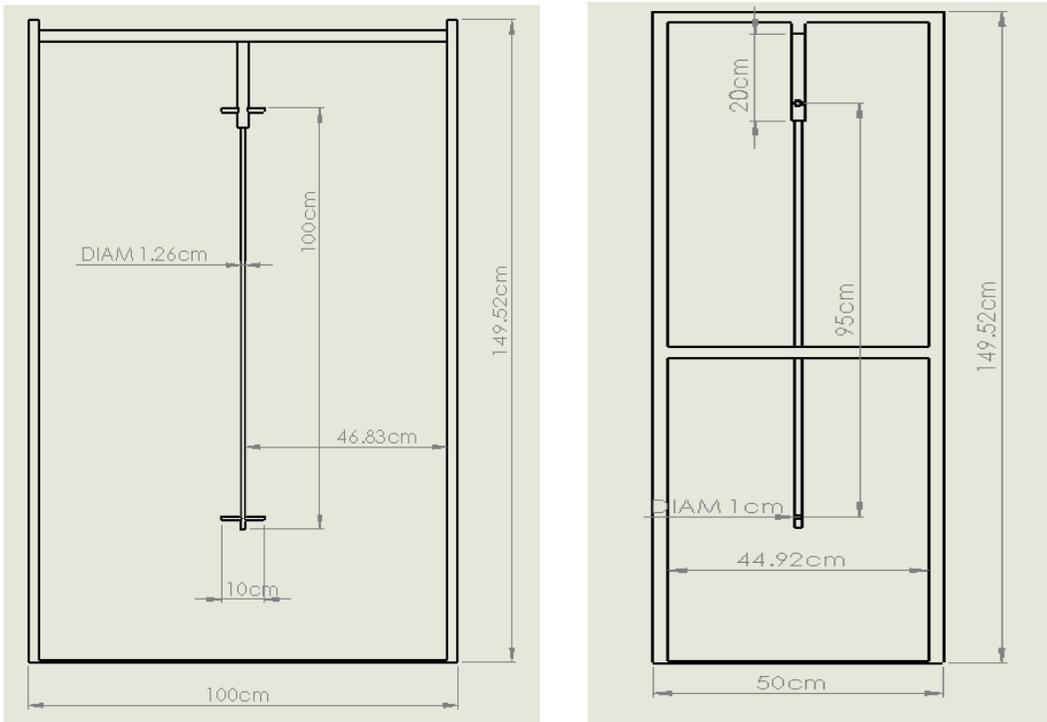


Figura 9. Vista frontal y lateral de Modelo SolidWorks banco de pruebas a tensión

Fuente: elaboración propia de los autores

El diseño a tensión se basaba en colocar dos pines donde iba ubicada la probeta la cual por un lado se sostenía a la estructura y el otro pin servía para colocar los pesos en la probeta.

Para el diseño de los dos prototipos del banco de pruebas de carga axial a compresión y tensión se tuvo en cuenta la misma estructura, pero se cambió el modo de aplicación de la carga.

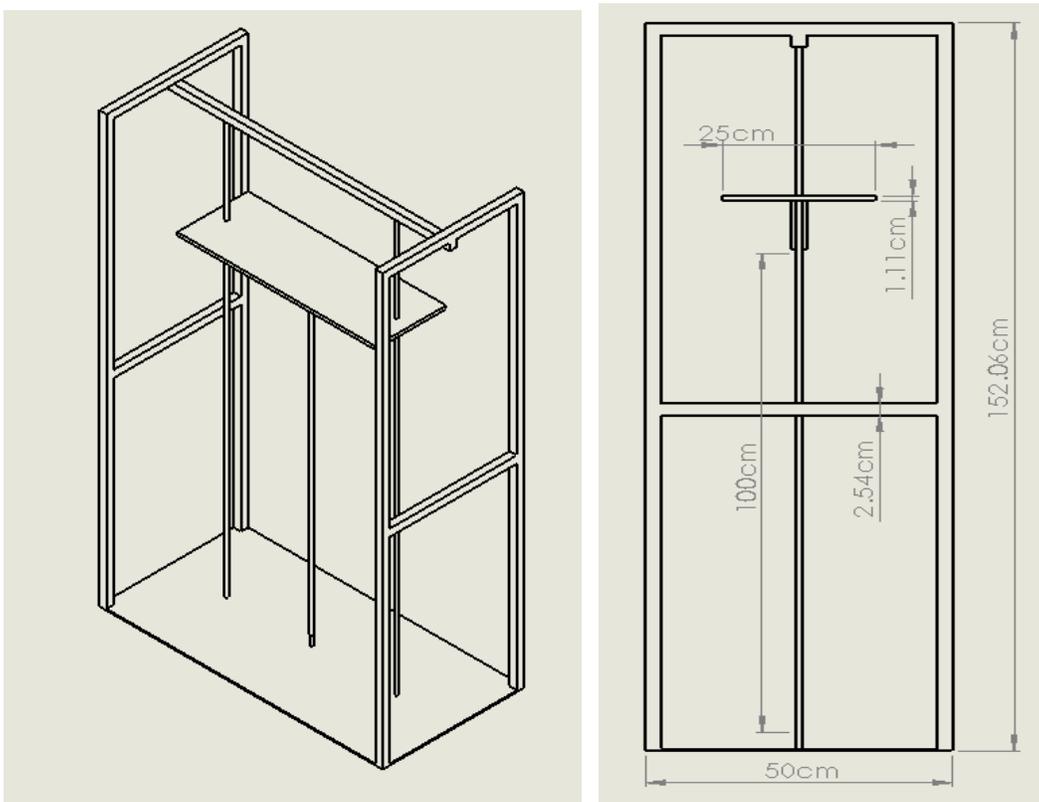


Figura 10. Modelo SolidWorks vista isométrica y lateral del banco de pruebas a compresión.

Fuente: elaboración propia de los autores

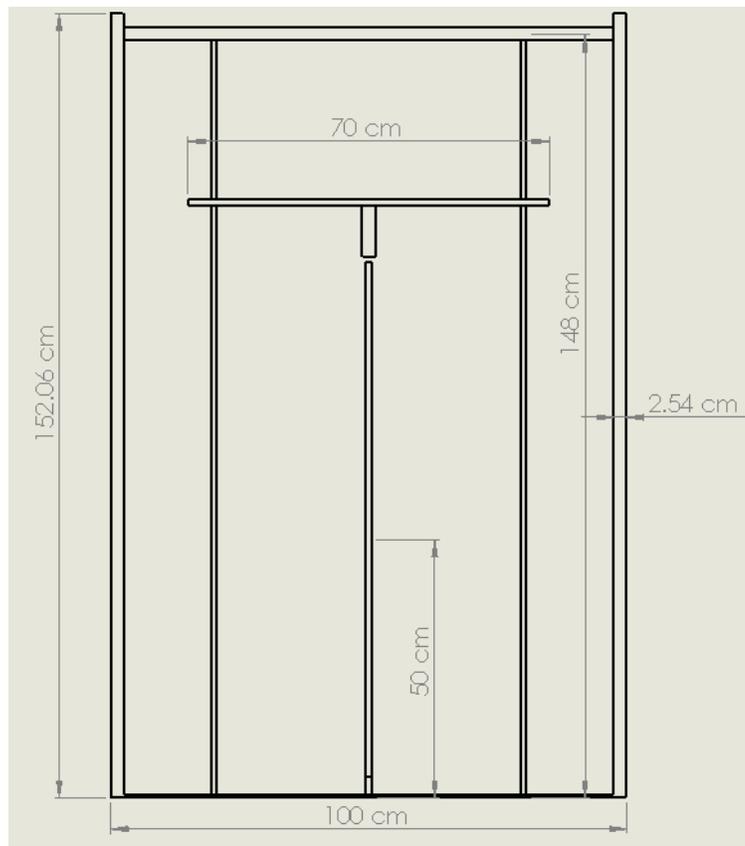


Figura 11. Modelo SolidWorks vista frontal banco de pruebas a compresión
Fuente: Autores

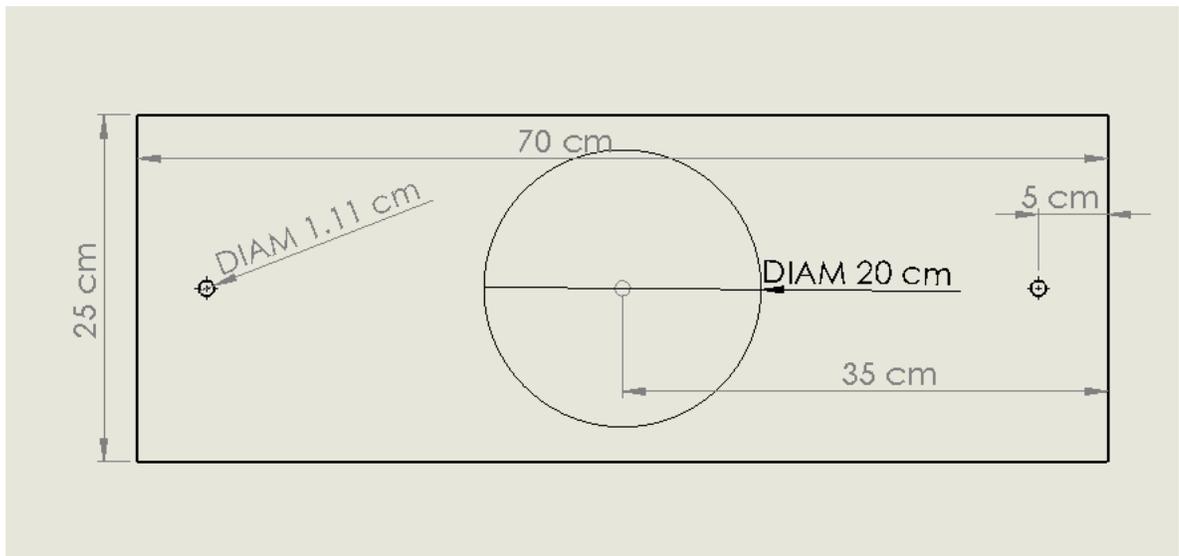


Figura 12. Plano de la lámina de aplicación de los pesos.

Fuente: Autores

Ya teniendo el diseño de los dos modelos se llegó a la conclusión de que el banco de pruebas más viable es el de compresión.

La razón por la cual se escogió el banco de compresión es porque el banco de pruebas de tensión tiene muchos factores en contra que alterarían la medición de la deformación, además de que tiene más complejidad al construirlo.

Al diseñar el banco de pruebas a tensión podemos ver que la carga no solo se verá aplicada en la probeta, sino que también este esfuerzo lo recibe la estructura, lo cual hace que la deformación a calcular no sea exacta. Otro factor que influye en el banco de pruebas a tensión es que no se garantiza que la carga sea céntrica, ya que para colocar las cargas mediante un gancho no garantiza su centricidad y su aplicación es errónea para el desarrollo del banco. Por estas y otras razones se decidió que la mejor opción es construir el banco de prueba a compresión.

Por tanto, se decide proceder a construir y hacer las pruebas con el banco de pruebas de compresión, ya que garantiza que el sistema aplique la carga céntricamente.

4.4.1 Finalizar detalles

Una vez seleccionado el modelo a compresión se seleccionó para optimizar los diseños de forma, así como sus eficacias en costos para la lista de productos preliminares y documentos de producción.

4.4.2. Completar dibujos y documentos de producción

El diseño se realizó en SolidWorks, los análisis de deformación están hechos en el programa ANSYS donde el punto rojo representa los puntos de falla de acuerdo con la figura.

El estudio en ANSYS se realizó a la lámina encargada de soportar los pesos que se le aplican a la probeta. Sometiendo esta base de los pesos a las cargas obtenemos una deflexión del material la cual se puede apreciar en la imagen 13.

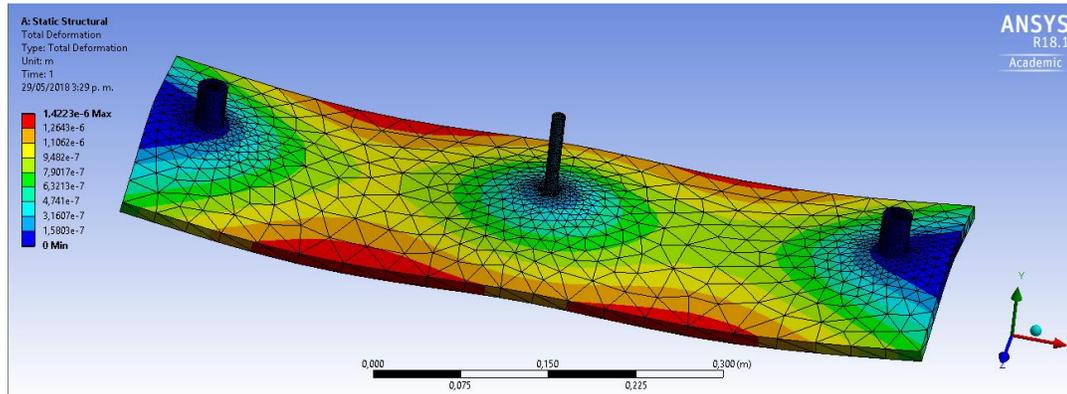


Figura 13. Análisis estructural de la lámina.

Fuente: Software ANSYS

Teniendo en cuenta que es una carga céntrica y que la lámina la atraviesan unos tubos guía a los costados, se puede apreciar como la carga deforma nuestra lamina cuando se le aplica la carga máxima. Esta no es como tal la deformación que queremos hallar, esta deformación de la base no influye en los resultados ya que la carga como tal se aplica es a la probeta, la cual si sufre la deformación que queremos calcular.

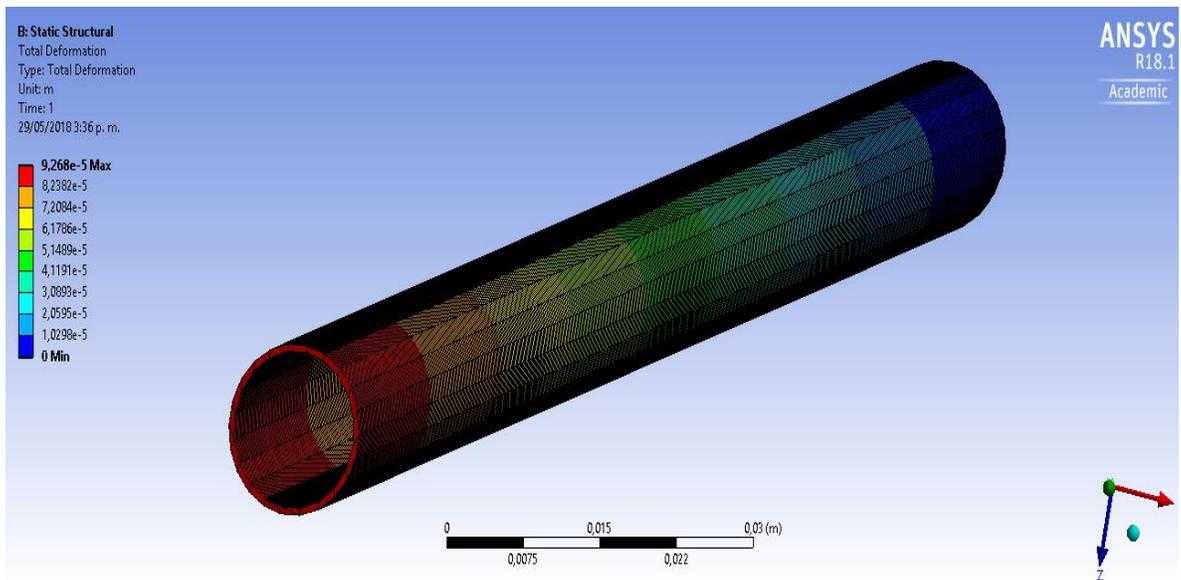


Figura 14. Análisis a la probeta sometida a la máxima carga

Fuente: Software ANSYS

La herramienta ANSYS permite obtener resultados reales en base al material y las cargas aplicadas. Dependiendo del estudio se pueden calcular distintas fuerzas que actúen sobre el elemento. A continuación se presenta la tabla número 3 que arroja valores de esfuerzo sometidos a la estructura

Object Name	Total Deformation	Maximum Principal Elastic Strain
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Maximum Principal Elastic Strain
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0, m	2,1486e-007 m/m
Maximum	9,727e-005 m	4,1041e-005 m/m
Minimum Occurs On	Solid	
Maximum Occurs On	Solid	
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	

Tabla 3. Resultados de esfuerzo de ANSYS.
Fuente: ANSYS

La fuerza aplicada por los pesos hace que nuestra probeta sufra unas deformaciones las cuales son medidas por dos galgas ubicadas a 30 y 60 centímetros con el fin de garantizar la medición en dos puntos de la probeta.

¿Porque la ubicación de las galgas así? Queremos tener un dato más certero en la medición, por esta razón dividimos la probeta en 3 partes y ubicamos estratégicamente estas galgas, pues la medición en distintas partes de la probeta nos permitirá tener unos datos más certeros a la hora de calcular nuestra deformación.

Materiales comprados para la construcción:



Figura 15. Materiales de utilizados para la construcción.

Fuente: Autores

4.5. ARREGLO DEFINITIVO

Se realizaron el proceso de construcción: en donde como primera medida se realizaron cortes de láminas, previa medición hecha por SolidWorks, se cortaron los tubos de acero gracias a las medidas obtenidas por el programa.

Se utilizo un tipo de soldadura TIG mostrada en la figura 16, debido a que en de una alta calidad lo que permite la obtención de mejores acabados superficiales.



Figura 16. Soldadura TIG

Fuente: Autores

Diseño de un equipo de laboratorio que permite cuantificar la deformación unitaria y el esfuerzo originado por una carga axial. De aspecto es el de una estructura metálica en acero, con forma rectangular; de 1.50 m de alto, por 1 m de ancho, con 50 cm de profundidad; en el centro de la estructura se puede apreciar la probeta de mediciones en aluminio con una lámina en la parte superior que sostiene los pesos para las mediciones, los cables de medición para los datos de compresión están adheridos al tubo de aluminio, los que están conectados al aparato de medición.

La empresa Omega ofrece una gran variedad de galgas dependiendo de la necesidad de sus clientes. En base a toda esta variedad, se seleccionó una galga que cumpliera con los requerimientos del proyecto, los cual, por cuestiones de economía y cumplimiento de los requerimientos, se seleccionó la galga OMEGA KFH-6-120-C1-11L1M2R.

La galga extensiométrica se seleccionó en base a los datos suministrados por la empresa OMEGA que se pueden apreciar en la Figura 13.

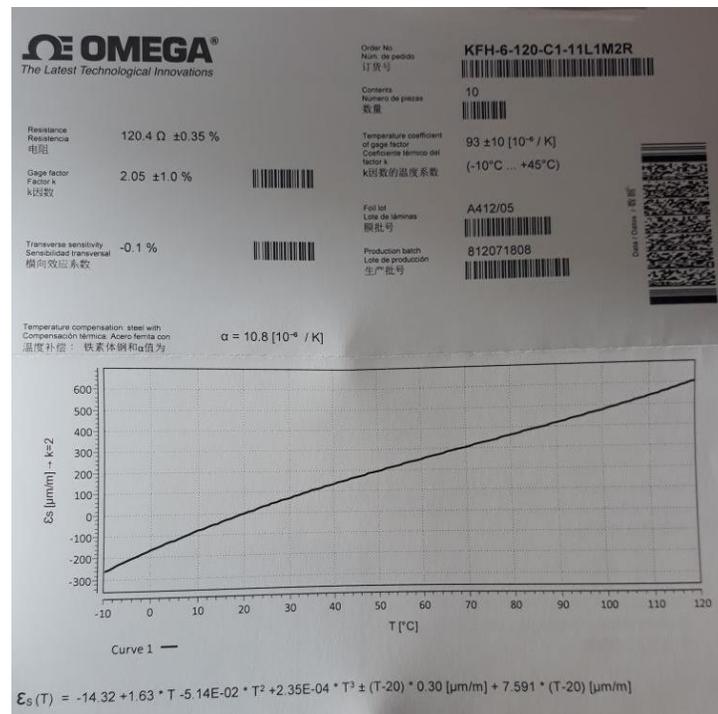


Figura 17. Datos técnicos ofrecidos por la empresa OMEGA de la galga extensiométrica

Fuente: OMEGA

En la figura 14. se puede apreciar físicamente la galga extensiométrica KFH-6-120-C1-11L1M2R. que se va a utilizar.

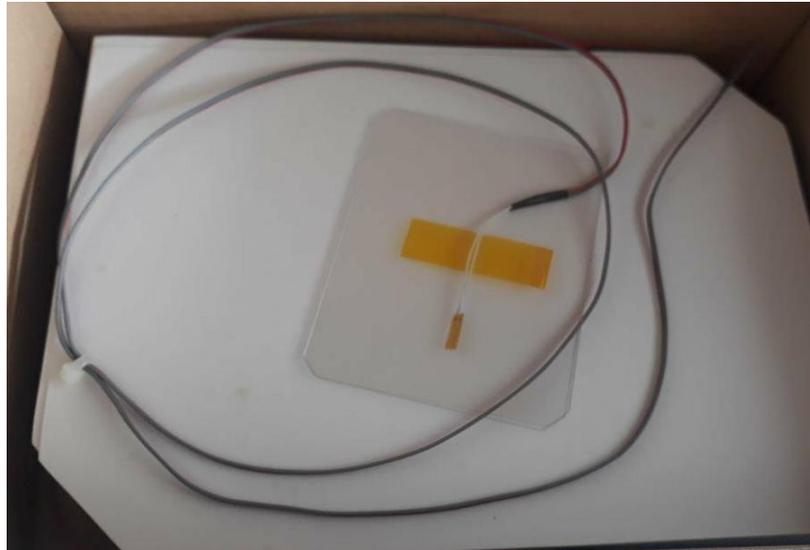


Figura 18. Galga extensiométrica KFH-6-120-C1-11L1M2R.

Fuente: Autores

En la figura 15 se aprecia la conexión del puente de Wheatstone junto con la galga extensiométrica que fue necesaria para realizar la medición.

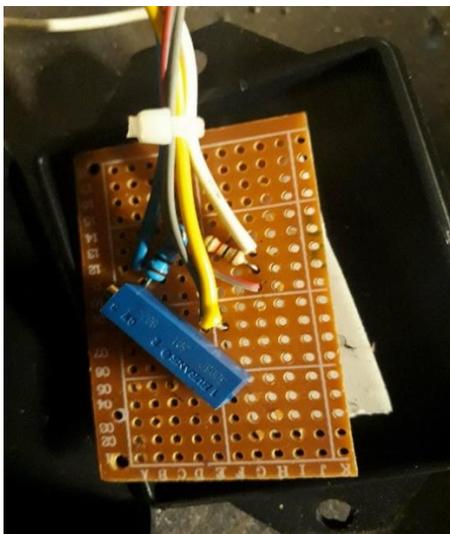


Figura 19. Puente de Wheatstone con la conexión de la galga extensiométrica y el transductor.

Fuente: Autores

4.5.1 finalizar tareas

Se realizaron las pruebas teniendo en cuenta los datos obtenidos, en cada una de las mediciones se sacó un promedio único; para trabajar la fórmula experimental y obtener un único valor que permita comparar los resultados de la prueba teórica. Como se puede apreciar en la imagen y el posicionamiento de la galga vertical para mayor efectividad en los resultados obtenidos.

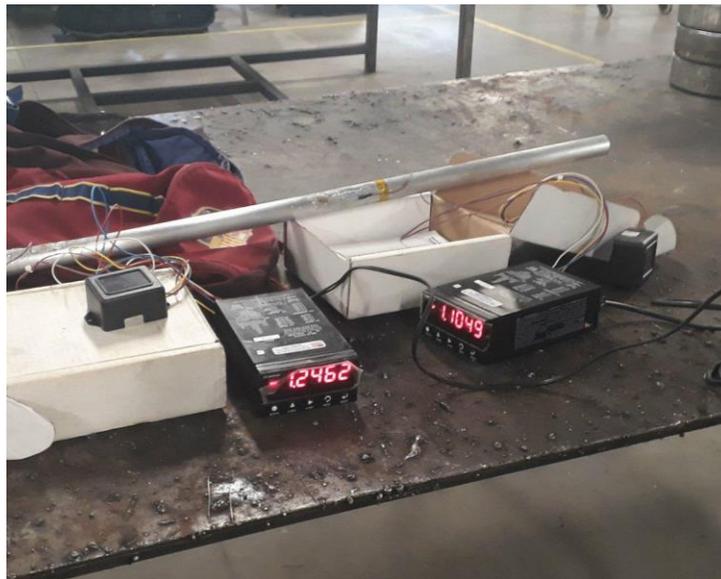


Figura 20. Transductor en funcionamiento y la posición de la galga extensiométrica.

Fuente: Autores

4.5 DOCUMENTACIÓN

La tabulación de datos y desarrollo de resultados que hay en el documento. La toma de datos se obtiene mediante una diferencia de voltaje, esperamos que los valores se estabilicen y se toma la medición en mili voltios; se realizaron 40 tomas de muestras adicionales para poder ver su comportamiento y tener un dato de valor en mili voltios, para aplicarlo posteriormente en la fórmula.

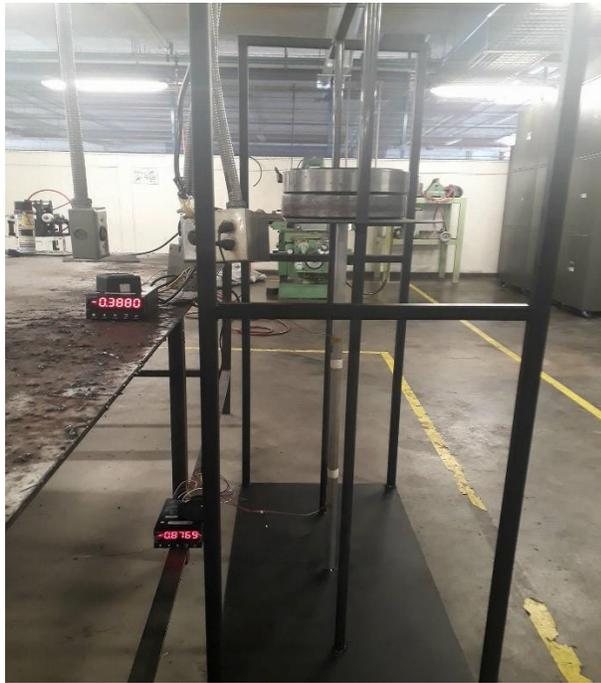


Figura 21. Toma de datos mediante los transductores.

Fuente: Autores

4.6 SOLUCIÓN

El análisis de resultados y conclusiones se encuentran el punto de porcentaje error en cuyas fórmulas se de muestran los resultados obtenidos y como se aplica cada una de ellas; para esto se utilizará las ecuaciones básicas de diseño de elementos sometidos a esfuerzos estáticos y software Solid Works.

5. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Para la construcción del proyecto se desarrolló mediante varias etapas

1. Se hizo un corte en plasma a una lámina de acero de 50 centímetros de ancho por 100 de largo que es la base de la máquina, la cual se observa en la figura 23.
2. Se soldaron con TIG cuatro tubos de sección cuadrada en cada una de las esquinas de la lámina con un valor de 152 centímetros de alto y se soldó un tubo pequeño de 25 centímetros en el centro de la lámina la cual sirve de guía para la probeta, la cual se observa en la figura 23 señalada con la flecha azul.
3. A la lámina a una distancia de 20 centímetros de cada lado se soldaron dos tubos de sección circular de 150 centímetros de alto, los cuales son guía de la placa donde irán ubicados los pesos.



Figura 22. Soporte guía de la probeta
Fuente: Autores

4. Se secciono una lámina de acero con un corte en plasma de 70 centímetros de largo y 25 centímetros de ancho(imagen 24), la cual fue utilizada como soporte para la ubicación y aplicación de pesos para la probeta, que posteriormente se le hicieron dos orificios de 2.54 centímetros de diámetro, a 5 centímetros del borde de la lámina, para coincidir con los tubos guía y servir de apoyo para la misma, para concluir se demarco la zona central donde se ubica los pesos de manera centrada y que la lámina no vaya a generar ninguna inclinación o desvió, lo cual afecta en la medición de la galga y genere algún otro tipo de esfuerzo en la probeta.



Figura 23. Lamina soporte de los pesos a aplicar
Fuente: Autores

5. La estructura para tener estabilidad, se cortaron dos tubos cuadrados de acero los cuales fueron ubicados a 70 centímetros de alto y en el tope de la estructura en cada lado del ancho de la lámina, que se soldaron con TIG para tener una mayor estabilidad en ella y no generar ninguna vibración o molestia a la hora de la medición, los cuales están señalados en la siguiente imagen.



Figura 24. Ensamble de estructura de la maquina
Fuente: Autores

6. Se soldó un tubo cuadrado el cual se observa en la figura 26, el cual unía los dos tubos de la parte superior de la estructura y también de soporte a los tubos guía de la lámina los cuales fueron soldados de manera que estuvieran fijos a la hora de subir o bajar la lámina.



Figura 25. Vista lateral de la estructura
Fuente: Autores

7. Se aplicó pintura negra a toda la estructura para lograr un mejor acabado y evitar la oxidación del acero.

8. Se introduce el tubo probeta en la guía soldada el cual mediante un pegante se le adhieren las galgas a una distancia de 20 centímetros de cada extremo, se procede a colocar la lámina sobre la probeta, mediante un nivelador se comprueba que está totalmente horizontal y posteriormente se colocan los pesos sobre la lámina centradamente lo cual permite hacer una medición sin errores (figura 27).

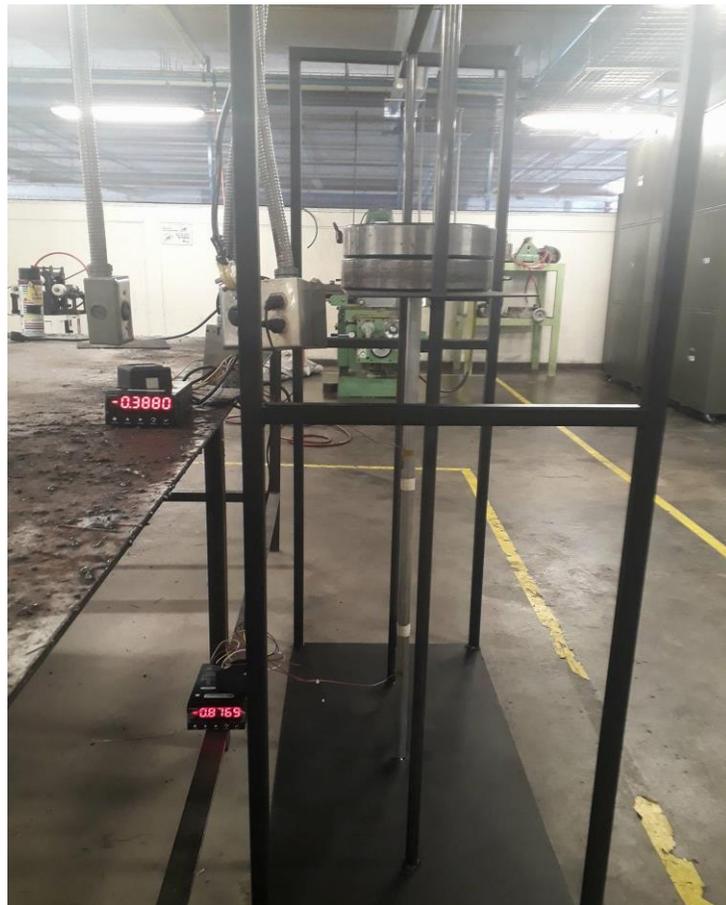


Figura 26. Montaje total con uso de la probeta
Fuente: Autores

6. CALCULOS DE PORCENTAJE ERROR

Análisis de la probeta como columna

Debido a que el sistema seleccionado para realizar ensayos que permitan corroborar las ecuaciones de esfuerzo normal y deformación de elementos sometidos a carga axial requiere que la probeta esté soportando carga de compresión y debido a que el fenómeno de falla presente en este tipo de elementos es el pandeo se hace necesario cuantificar cuál es la carga crítica que puede soportar la probeta seleccionada.

Para el análisis se tiene en consideración las siguientes características de la probeta:

- Sección circular tubular de diámetro externo 25.4 mm y espesor 1 mm
- El Material de fabricación es Aluminio 6061 cuya resistencia a la fluencia es 55 MPa y módulo de elasticidad 70 GPa
- Longitud de la probeta 1 m

La razón de esbeltez de la columna es:

$$C_c = \left(\frac{l_e}{r_g} \right)$$

Donde l_e es la longitud efectiva de la columna, según la tabla 9.1 del libro de diseño de elementos de máquinas de Hamrock en este caso es 0.5 veces la longitud de la probeta; y r_g es el radio de giro, magnitud que se calcula de la siguiente manera:

$$r_g = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi}{4}(r_{ext}^4 - r_{int}^4)}{\pi(r_{ext}^2 - r_{int}^2)}} = \sqrt{\frac{(0.0127^4 - 0.0117^4)}{4(0.0127^2 - 0.0117^2)}} \Rightarrow r_g = 8.634 * 10^{-3}m$$

Reemplazando los valores en la ecuación de razón de esbeltez de la columna se tiene:

$$C_c = \left(\frac{0.5 * 1m}{8.634 * 10^{-3}m} \right) \Rightarrow C_c = 57.91$$

Para definir si la probeta se comporta como una columna larga (Euler) o una columna intermedia (Johnson) es necesario determinar el punto tangencial T, en el cual las dos ecuaciones se igualan y define el límite entre estas dos clases de columnas; si la C_c es menor que su magnitud se dice que es una columna intermedia y si es mayor se dice que es larga.

$$\left(\frac{l_e}{r_g} \right)_T = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 70 * 10^9}{55 * 10^6}} = 158.5$$

Como el valor de C_c de la probeta es menor al valor del punto tangencial entonces se comporta como una columna intermedia, la ecuación de Johnson indica:

$$(P_{cr})_J = \left[S_y - \frac{S_y^2}{4\pi^2 E} \left(\frac{l_e}{r_g} \right)^2 \right] * A$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$(P_{cr})_J = \left[55 * 10^6 - \frac{(55 * 10^6)^2}{4 * \pi^2 * 70 * 10^9} \left(\frac{0.5}{8.634 * 10^{-3}} \right)^2 \right] * 7.67 * 10^{-5}$$

$$(P_{cr})_J = 3937 \text{ N}$$

La carga máxima permitida para los ensayos está definida en los requerimientos estipulados por el docente a cargo de la asignatura y es de 490.5 N, por consiguiente, el factor de seguridad de la probeta contra fallas por alabeo es de 8, valor que se encuentra por encima del recomendado para aplicaciones industriales y que generalmente tiene una magnitud de 2.

Para la toma de datos fue necesario tener en cuenta varios datos de medición para saber cómo fluctúan los datos y que tendencia existe en ellos para poder sacar un valor promedio y proceder a realizar los cálculos experimentales y poder hallar nuestro porcentaje error.

Como primera medida se tomaron 20 datos los cuales se desarrollaron en 3 fases, la primera era tomar los datos mediante el transductor únicamente de la probeta sin ninguna carga aplicada, la segunda fase era colocar sobre la probeta la lámina solamente y se procedía a tomar el valor en el transductor y por último se aplicaba una carga de 12 kilogramos y se tabulaba el valor de variación.

Tabla 4. Medición en milivoltios mediante el transductor para diferentes aplicaciones en la probeta.

Medición	Sin Carga	Con lamina	Con 12kg
1	-0.7598	-0.7883	-0.8485
2	-0.7642	-0.7869	-0.8393
3	-0.7662	-0.7939	-0.8219
4	-0.755	-0.779	-0.8189
5	-0.4569	-0.4632	-0.5056
6	-0.464	-0.474	-0.5036
7	-0.4652	-0.4718	-0.488
8	-0.4148	-0.4228	-0.4942
9	-0.9486	-0.9742	-1.0285
10	-0.8744	-0.8908	-0.8987
11	-0.7025	-0.7239	-0.7324
12	-0.717	-0.7052	-0.6887
13	-0.4648	-0.474	-0.5036
14	-0.4142	-0.4228	-0.4942
15	1.1571	1.1301	1.0789
16	1.1507	1.1371	1.0887
17	1.3789	1.3668	1.3336
18	1.3824	1.3633	1.3181
19	1.4025	1.3965	1.3282
20	1.4403	1.4208	1.3681

Fuente: creación de los autores

Para una segunda toma de datos, se hizo una toma de 20 datos, para 3 cargas aplicadas, primero se aplicaba una carga de 12 kilogramos se anotaba su valor, luego se aplicó otra carga de 12 kilogramos lo que se sumaba a la carga anterior aplicada y se hacia la toma del dato y por último se aplicaba otra carga de 12 kilogramos que se sumaba a los 24 kilogramos anteriores, se tabulaba el valor dado por el transductor y repetir la prueba 20 veces más.

Tabla 5. Toma de datos obtenidos a partir del transductor.

Medicion	12 kilos	24 kilos	36 kilos
21	2.339	2.2742	2.264
22	2.302	2.2838	2.254
23	2.3158	2.2828	2.2688
24	2.3256	2.3046	2.2878
25	2.3254	2.3097	2.2928
26	2.3538	2.3442	2.3234
27	2.3933	2.3648	2.3259
28	2.3895	2.3528	2.3198
29	2.3922	2.3686	2.3442
30	2.4334	2.3914	2.3674
31	2.4524	2.4198	2.3952
32	2.5302	2.5082	2.4855
33	2.5433	2.5284	2.505
34	2.5551	2.5336	2.5147
35	2.6522	2.6238	2.6098
36	2.6546	2.6313	2.6157
37	2.573	2.5514	2.5289
38	2.5929	2.5562	2.5279
39	2.5798	2.5471	2.5297
40	2.5187	2.4868	2.465

Fuente: creación de los autores

Para hallar el valor promedio experimental para la primera toma de datos fue necesario hallar la diferencia en milivoltios que había entre los datos obtenidos de la probeta sin ningún peso en ella y los datos de la probeta con la lámina, posteriormente a esos valores de diferencia se sumaban y se dividía en el valor

datos totales, y luego se hacia el mismo procedimiento pero esta vez hallando la diferencia entre los datos de la probeta sin carga y la probeta con una carga de 12 kilogramos y hallando el valor promedio de los datos.

Tabla 6. Datos obtenidos mediante la diferencia de peso en la primera toma de datos realizada.

Diferencia sin carga con lamina	Diferencia sin carga con 12 kilogramos	Diferencia sin carga con 24 Kilogramos	Diferencia sin carga con 36 kilogramos
0.0215	0.0757	0.134505	0.17244
0.0177	0.0731	0.0879	0.14574
0.0177	0.0567	0.1027	0.14454
0.0249	0.0639	0.0907	0.13544
0.0063	0.0487	0.0854	0.13024
0.0101	0.0326	0.0793	0.12804
0.0066	0.0228	0.09822	0.16504
0.008	0.0754	0.1064	0.16734
0.0146	0.0752	0.0933	0.14564
0.0164	0.0243	0.1117	0.16364
0.0201	0.0299	0.1023	0.15484
0.0118	0.0283	0.0917	0.14234
0.0211	0.0512	0.0846	0.13564
0.0136	0.0484	0.09122	0.13804
0.0221	0.0722	0.0981	0.14004
0.0136	0.0621	0.093	0.13654
0.0121	0.0453	0.09132	0.14174
0.0191	0.0643	0.10642	0.16264
0.0061	0.0713	0.1024	0.14764
0.0191	0.0702	0.10162	0.1519
0.015125	0.05458	0.09764	0.147473

Fuente: Autores

Luego de hallar la diferencia para la primera toma de datos, los siguientes de igual manera se tabulan las diferencias en los datos, primero se calcula la diferencia de la probeta con 12 kilogramos y con 24 kilogramos, luego se halla la diferencia de 24 kilogramos y 36 kilogramos y por último se halla la diferencia en los datos entre 12 kilogramos y 36 kilogramos.

Los resultados obtenidos de las tablas nos sirven para hallar el valor experimental y se halla para cada una de las cargas aplicadas sumando cada una de sus diferencias halladas.

Este valor hallado es experimental, que será usado como referencia para hallar el porcentaje error de la prueba.

A continuación, se dan a conocer los resultados obtenidos:

El área de la sección transversal de la probeta es circular, para hallar su diámetro externo e interno se realizaron varias mediciones que se observan en la tabla 6,

Tabla 7. Datos obtenidos del diámetro externo e interno de la probeta en centímetros.

Medición	Diámetro externo (cm)	Diámetro interno (cm)
1	2,5364	2,30552
2	2,5439	2,28836
3	2,5319	2,29354
4	2,52875	2,29376
5	2,5361	2,29797
Promedio	2,53541	2,29583

Fuente: Creación de los autores

$$Area = \frac{\pi}{4} (diámetro\ externo^2 - diámetro\ interno^2)$$

$$A = \frac{\pi}{4} (0.0253541^2 - 0.0229583^2)$$

$$A = 9.090736 \times 10^{-5} m^2$$

Para conocer el valor de la fuerza aplicada, se necesita la ecuación de Fuerza=masa*aceleración, que es nuestro caso es la gravedad.

$$Fuerza = Masa * aceleración.$$

$$Fuerza_{12Kg} = (12kg * 9.81) = 117.72N.$$

Mediante de la ley de Hooke que define que el esfuerzo es igual al módulo de elasticidad por la deformación normal. ($\sigma = \varepsilon * E$).

Definiendo la deformación normal como $\varepsilon = \frac{\delta}{L}$

$\delta =$ Deformacion carga axial.

Igualando ecuaciones obtenemos:

$$\delta = \frac{Fuerza * Longitud}{Area * Modulo de Elasticidad}$$

$$\delta_{12Kg} = \frac{117.72N * 1m}{9.090736 \times 10^{-5} m^2 * 70 \times 10^9 N/m^2} = 1.8499 \times 10^{-5} m$$

Teniendo el valor de deformación por carga axial, se puede hallar el valor de la deformación nominal;

$$\sigma = (1.8499 * 10^{-5}) * 70 * 10^9 N = 1.2949 * 10^6 MPa$$

Para la obtención del valor experimental se define en valor de deformación como:

$$\varepsilon = \frac{4 * Voltaje Obtenido}{Voltaje Ac * K}$$

$$\varepsilon = \frac{4(6.9705 \times 10^{-5})}{10 * 2.05} = 1.360097 \times 10^{-5} m$$

$$\delta = \varepsilon * L = 1.360097 * 10^{-5} * 1m = 1.360097 * 10^{-5} m$$

Se procede a hallar el esfuerzo experimental:

$$\sigma = (1.360097 * 10^{-5}) * 70 * 10^9 N = 0.9520 * 10^6 MPa$$

Para hallar el porcentaje error de la deformación se realiza de la siguiente manera:

$$\%error = \frac{Valor teorico - Valor Experimental}{Valor Teorico} * 100$$

$$\%error = \frac{1.8499 * 10^{-5} - 1.360097 * 10^{-5}}{1.8499 * 10^{-5}}$$

$$\%error = 24.85\%$$

Para hallar el porcentaje error del esfuerzo se realiza de la siguiente manera:

$$\%error = \frac{1.2949 * 10^6 MPa - 0.9520 * 10^6 MPa}{1.2949 * 10^6 MPa} * 100$$

$$\%error = 26.48\%$$

Repetimos el mismo procedimiento, pero para una carga de 24 Kilogramos con lo cual los resultados fueron los siguientes:

Valor teórico para una carga aplicada de 24 kilogramos

$$Fuerza_{24Kg} = 24 * 9.81 = 235.44N$$

$$\delta_{24Kg} = \frac{235.44N * 1m}{9.090736 \times 10^{-5} m^2 * 70 \times 10^9 N/m^2} = 3.6984 \times 10^{-5} m$$

Valor de esfuerzo para 24 kilogramos;

$$\sigma = (3.6984 * 10^{-5}) * 70 * 10^9 N = 2.588 * 10^6 MPa$$

Valor experimental con carga de 24 kilogramos.

$$\epsilon = \frac{4(9.764 \times 10^{-5})}{10 * 2.05} = 1.90517 \times 10^{-5} m$$

$$\delta = \epsilon * L = 1.90517 * 10^{-5} * 1m = 1.90517 * 10^{-5} m$$

Se halla el esfuerzo experimental para carga de 24 kilogramos.

$$\sigma = (1.90517 * 10^{-5} N) * 70 * 10^9 N = 1.3336 * 10^6 MPa$$

Porcentaje error para 24 kilogramos.

$$\%error = \frac{3.6984 * 10^{-5} - 1.90517 * 10^{-5}}{3.6984 * 10^{-5}}$$

$$\% error = 48.5\%$$

Porcentaje error del esfuerzo para 24 kilogramos:

$$\%error = \frac{2.588 * 10^6 MPa - 1.3336 * 10^6 MPa}{2.588 * 10^6 MPa} * 100$$

$$\%error = 48.46\%$$

Y por último se realizó el mismo procedimiento para hallar la deformación teórica y experimental para una carga de 36 kilogramos.

$$Fuerza_{36Kg} = 36 * 9.81 = 353.16N$$

$$\delta_{36Kg} = \frac{353.16N * 1m}{9.090736 * 10^{-5} m^2 * 70 * 10^9 N/m^2} = 5.5498 * 10^{-5} m$$

Esfuerzo para 36 kilogramos;

$$\sigma = (5.5498 * 10^{-5}) * 70 * 10^9 N = 3.8848 * 10^6 MPa$$

Para finalizar determinamos el valor experimental para los valores de voltaje con 36 kilogramos y se obtiene;

$$\epsilon = \frac{4(1.47475 * 10^{-4})}{10 * 2.05} = 2.87756 * 10^{-5}$$

$$\delta = \epsilon * L = 2.87756 * 10^{-5} * 1m = 2.87756 * 10^{-5} m$$

Se calcula también el valor experimental de la deformación:

$$\sigma = (2.8775 * 10^{-5}) * 70 * 10^9 N = 2.0142 * 10^6 MPa$$

Se calcula el porcentaje error de la deformación así:

$$\%error = \frac{5.5498 * 10^{-5} - 2.87756 * 10^{-5}}{5.5498 * 10^{-5}}$$

$$\%error = 48.15\%$$

Y se calcula el porcentaje error del esfuerzo:

$$\%error = \frac{3.8848 * 10^6 MPa - 2.0142 * 10^6 MPa}{3.8848 * 10^6 MPa} * 100$$

$$\%error = 48.15\%$$

Los valores de porcentaje error obtenidos aumentan linealmente al aplicar una carga mayor, esto corresponde al tipo de galga que se usó, ya que a medida que se aplica más carga fluctúan más sus valores y pierde exactitud en la toma de datos.

7. GUIA BASE DE LABORATORIO

ENSAYO A LA COMPRESION DEL ALUMINIO

OBJETIVO GENERAL:

- Analizar y determinar la deformación de la probeta de aluminio mediante ensayos de carga axial.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Establecer el método de ensayo a compresión para el aluminio cuando se somete a una carga axial.
- Realizar los cálculos teóricos de la prueba mediante la ecuación de deformación obtenida por la ley de Hooke.
- Realizar las pruebas experimentales y con los datos obtenidos de voltaje hallar la deformación mediante la fórmula.
- Calcular el porcentaje de error obtenido en las pruebas.

MARCO TEORICO:

Una carga axial es aquella fuerza que actúa sobre el eje longitudinal de un elemento mecánico [1,2].

Las fuerzas axiales pueden ser de tensión si originan un alargamiento de la longitud del elemento o de compresión si originan un acortamiento de la longitud del elemento; en todos los casos la carga axial debe actuar sobre el eje centroidal de la sección transversal, con el fin de evitar esfuerzos originados por momentos flectores [2-4].

LEY DE HOOKE

La mayor parte de los elementos mecánicos se diseñan para sufrir deformaciones relativamente pequeñas, las cuales involucran sólo la parte recta del diagrama de esfuerzo – deformación unitaria [6,7], es decir, en el rango elásticos del material; en esta región el esfuerzo (σ) es directamente proporcional a la deformación unitaria (ϵ), y puede escribirse a través de la ley de Hooke.

ESFUERZO NORMAL

El esfuerzo es una magnitud física con unidades de fuerza por unidad de área; En general los esfuerzos que actúan sobre una superficie plana pueden ser uniformes en el área o pueden variar de intensidad de un punto a otro [2].

Existen 2 clases de esfuerzos; el esfuerzo normal (σ), que se origina cuando la fuerza es perpendicular al área del elemento y origina un alargamiento o acortamiento de la misma, y el esfuerzo cortante (τ) que se origina cuando la fuerza es paralela al área del elemento y origina una tendencia a cortar la pieza [3, 4].

DEFORMACIÓN LONGITUDINAL

En el rango elástico la deformación no es permanente, por consiguiente, si la carga se retira, en teoría, el elemento recuperará sus dimensiones iniciales; en el rango plástico esto no se cumple y el análisis que se debe realizar para determinar la deformación presente en el elemento es diferente [3]. Todos los análisis que se realizarán en este documento serán considerados en el rango elástico; es decir donde se cumple la relación de Hooke, la cual enuncia que el esfuerzo es igual al módulo de elasticidad multiplicado por la deformación unitaria, siendo estos dos términos propiedades del material del cual es fabricado el elemento

EQUIPO Y MATERIAL:

Prensa mecánica: Es la encargada de transmitir la carga a la probeta mediante pesos.



Imagen. Banco de prueba
Fuente: creación de los autores

Probeta de aluminio: es la encargada de soportar las cargas. Tiene un metro de longitud y 1mm de espesor.



Imagen. Tubo de aluminio
Fuente: creación de los autores

Galgas extensiométricas y transductor: La galga es la encargada de recibir la deformación causada por las cargas. El transductor es el encargado de transformar las señales de la galga en valores de voltaje.

Imagen. Galga extensiométrica



Fuente: creación de los autores



Imagen. Transductor
Fuente: creación de los autores

PROCEDIMIENTO:

- Tomar las dimensiones de la probeta de aluminio, diámetro interno, diámetro externo y la altura.
- La probeta debe limpiarse bien y centrarse correctamente para evitar que sufra algún desplazamiento que altere los resultados ya que la galga es muy sensible.
- Dejar que el transductor se estabilice y tomar los datos del voltaje en mV.

- Colocar la lámina superior de apoyo y tomar los datos de variación de voltaje.
- Aplicar la primera carga de 12 kilos, dejar que se estabilice y tomar los datos de voltaje.
- Aplicar la segunda carga de 12 kilos, dejar que se estabilice y tomar los datos de voltaje.
- Aplicar la tercera carga de 12 kilos, dejar que se estabilice y tomar los datos de voltaje.

Toma de datos.

Tabla de toma de datos

PRUEBA	Sin peso	Con Lamina	con 12 kg	Con 24 kg	Con 36 kg
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Fuente: creación de los autores

CALCULOS:

Recordando que el esfuerzo normal es igual a $\sigma = F/A$, y la deformación unitaria se define como $\varepsilon = \delta/L$; y reemplazando en la ley de Hooke se tiene:

$$\sigma = E * \varepsilon \Rightarrow \frac{F}{A} = E * \frac{\delta}{L}$$

Despejando la deformación de la relación anterior se tiene la ecuación.

$$\delta = \frac{F * L}{A * E}$$

De esta forma podemos calcular el valor teórico de deformación.

Para realizar los cálculos experimentales tenemos esta ecuación de voltaje:

$$V = \frac{\varepsilon K V_{ac}}{4}$$

Y despejando esta ecuación podemos obtener el valor de deformación:

$$\varepsilon = \frac{4V}{K V_{ac}}$$

Donde **V** es el valor del voltaje obtenido en las pruebas en voltios, **K** (K=2,05±1.0%) es una constante dada por el fabricante de la galga y **V_{ac}** es de 10V dado por el fabricante del transductor.

Calcular porcentaje de error mediante los datos obtenidos y el valor teórico calculado.

$$\%error = \frac{Valor\ teorico - valor\ practico}{valor\ teorico} * 100$$

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA PRACTICA:

- Recordar limpiar las superficies de la máquina y alinear bien la probeta.
- Dejar estabilizar la maquina cada vez que se apliquen las cargas.
- Usar guantes a la hora de colocar los pesos para evitar algún tipo de lesión

8. RECOMENDACIONES

Se presentan las siguientes recomendaciones:

- Se requiere de tener sumo cuidado con el alineamiento de la lámina al colocar las cargas ya que esta puede inclinarse y puede modificar la medición de los datos.
- Se debe medir bien la inclinación de la probeta ya que esta debe estar a 90 grados con respecto al suelo.
- La no alineación tanto de la probeta como de la lámina puede tener gran injerencia en los datos obtenidos y aumentaría el error.
- Se recomienda dejar estabilizar muy bien los medidores de voltaje ya que las galgas son muy sensibles y necesitan estabilizarse.
- Se debe limpiar muy bien las superficies de la estructura y de la probeta para que factores externos no alteren los resultados.
- Al colocar los pesos sobre la lámina estos también deben estabilizarse.
- Se debe tener las mediciones correctas de la probeta para que el resultado sea el más exacto posible.

9. CONCLUSIONES

Del anterior trabajo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La finalidad de este proyecto fue construir una maquina la cual mida la deformación de diferentes elementos al aplicarle una carga, lo cual hacia nuestro laboratorio de ingeniería mecánica no aplicábamos los conceptos vistos en clase ya que se hacía una práctica totalmente alejada a lo estudiado.
- A pesar de tener todos los cuidados posibles a la hora de la medicion podemos decir que es imposible llevar el porcentaje de error a un valor de cero ya que las galgas son muy sensibles y cualquier factor externo y mal posicionamiento de las cargas puede variar en la medicion y toma de datos.
- La aplicación de la carga es fundamental que sea céntrica para garantizar un resultado óptimo y no generar otras cargas generadas por la mala posición del peso.
- Los porcentajes de error alcanzados en el proyecto se debe a la sensibilidad de la galga extensiométrica, a las condiciones ambientes que se manejaron, la geometría de la probeta, el tipo de pegante en la galga, la posición de la galga, así también como la variación que existía a la toma de datos que ofrecía el transductor.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mott R. L. *Resistencia de Materiales*, Editorial Prentice Hall, quinta edición, México 2009.
- [2] Beer F. P., Johnston E. R., DeWolf J.T. y Mazurek D. F. *Mecánica de Materiales*, Editorial Mc Graw Hill, sexta edición, México 2013.
- [3] Hibbeler R. C. *Mecánica de Materiales*, Editorial Pearson, octava edición, México 2011.
- [4] Ortiz L. *Resistencia de Materiales*, editorial Mc Graw Hill, segunda edición, Madrid 2002.
- [5] Riley W. F., Sturges L. D. y Morris D. H. *Mecánica de Materiales*, Editorial Limusa - John Wiley & Sons, primera edición, México 2001
- [6] Schaffer J. P., Saxena A., Antolovich S. D., Sanders T. H. y Warner S. B. *Ciencia y Diseño de Ingeniería de los Materiales*, Compañía editorial Continental, primera edición, México 2000.
- [7] Shackelford J. F. *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*, editorial Pearson – Prentice Hall, sexta edición, Madrid 2005.
- [8] Budynas R. G. y Nisbett J. K. *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Editorial Mc Graw Hill, octava edición, México 2008.
- [9] Doebelin E. E., *Sistemas de Medición e Instrumentación: Diseño y Aplicación*, editorial Mc Graw Hill, quinta edición, México 2005.