

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE LABORATORIO PARA MEDIR
ESFUERZOS NORMALES Y DEFLEXIONES EN VIGAS**

**RUBEN FERNEY JIMENEZ
FREDY AUGUSTO NIÑO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
2019**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE LABORATORIO PARA MEDIR
ESFUERZOS NORMALES Y DEFLEXIONES EN VIGAS**

**RUBÉN FERNEY JIMÉNEZ GOYENECHÉ
FREDY AUGUSTO NIÑO JAIMES**

**PROYECTO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO INGENIERO
MECÁNICO**

**DIRECTOR
MSc. Alfonso Santos Jaimes**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIAS

Primero dedico a Dios este proyecto, por permitirme culminar mis estudios de ingeniería, a mis padres por acompañarme en este tiempo y ser un apoyo en este largo proceso, a mis familiares y amigos que siempre me alentaron y motivaron para culminar este sueño, y a las demás personas que estuvieron y creyeron en mí.

Rubén Ferney Jiménez

A aquellas personas que no logran ingresar a un programa académico, a los que las dificultades económicas no les permiten acceder a estudios superiores, a la gente que por distintas circunstancias únicamente terminaron su bachillerato o no y comenzaron su ciclo laboral dentro del sistema establecido para la “clase obrera”, quienes con tesón y perseverancia sobreviven con el salario mínimo y mantienen su familia, a todos ellos, los que he conocido y también a los que no, a los que añoran ser profesionales universitarios, les dedico el presente proyecto para obtener el título de ingeniero mecánico.

A la memoria de Harvey Aleman, compañero de trabajo, jefe, mentor, amigo.

*A mi familia, mi madre **Helga** quien ha dado todo para que yo sobresalga y cumpla mis sueños, a mi abuela **Daisy** quien nunca se ha separado de mí y siempre ha tenido palabras de aliento para continuar por el buen camino, a mi tía **Leito** quien hizo posible el comienzo de mi carrera y hasta la culminación de la misma apoyándome en todo y a mi tío **Gabriel** quien me acompañó con su sabiduría y conocimiento durante mis estudios de ingeniería.*

Al docente MSc. Alfonso Santos quien siempre estuvo apoyando la realización del proyecto aportando su conocimiento y dirigiendo cada paso.

A la memoria del “maestro” Ing. Miguel Ángel Reyes quien jamás perdió su sonrisa y con muy buena actitud nos enseñó a ver la ingeniería como la vida misma.

A mis amigos, los que creen en mí y los que no, los de confianza, mis hermanos, mis confidentes, para ellos que también comparten mis alegrías y triunfos dedico este trabajo de grado.

*A **Dios, Jesucristo y Espíritu Santo** quien siempre me abre las puertas y despeja mi camino.*

Fredy Niño Jaimes

AGRADECIMIENTOS.

A nuestra familia por su perseverancia en el ánimo y la voz de aliento para continuar con la formación académica y la finalización del proyecto, que confiaron y brindaron su apoyo económico, emocional y moral para poder culminar esta etapa.

Al Ingeniero Alfonso Santos por su paciencia y guía en el desarrollo del proyecto, quien con todo su conocimiento de la resistencia de materiales logró transmitir la idea final del banco de laboratorio.

A Ludwing Casas por su acompañamiento durante el proceso de fabricación del banco de laboratorio.

A nuestros profesores de pre-grado quienes aún hasta el final siguen formando nuestro carácter como profesionales.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. JUSTIFICACIÓN	18
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo General	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3. MARCO TEÓRICO	20
4. METODOLOGÍA DE DISEÑO	26
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD	27
4.2 DISEÑO CONCEPTUAL	28
4.3 DISEÑO PRELIMINAR	35
4.4 DISEÑO DETALLADO	43
5. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	50
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
6.1 CÁLCULOS TEÓRICOS	55
6.3 DATOS EXPERIMENTALES VS TEÓRICOS	68
7. GUÍA DE LABORATORIO	73
8. CONCLUSIONES	81
9. REFERENCIAS	82
10. RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS	85

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Tipo de vigas, según sus apoyos.
- Figura 2. Variación del esfuerzo en un elemento sometido a flexión pura.
- Figura 3. Diagrama cortante (v) y momento flexionante (M).
- Figura 4. Puente de Wheatstone.
- Figura 5. Extensómetro.
- Figura 6. Comparador de carátula.
- Figura 7. Esquema del Modelo Lineal de diseño.
- Figura 8. Momentos flectores que pueden estar presentes sobre una viga.
- Figura 9. Fuerzas transversales que pueden estar presentes sobre una viga.
- Figura 10. Esquema del tipo de cargas y apoyos a implementar en el banco de ensayos
- Figura 11. Esquema de una viga simplemente apoyada con una carga puntual aplicada en la mitad.
- Figura 12. Esquema de una viga simplemente apoyada con una carga puntual aplicada en un punto diferente a la mitad de la viga.
- Figura 13. Esquema de la ubicación de las barras horizontales que se utilizarán para apoyar la probeta a ensayar.
- Figura 14. Vista isométrica del bosquejo inicial del equipo didáctico.
- Figura 15. Esquema de la viga simplemente apoyada utilizada para determinar las características geométricas de la sección transversal de la probeta.
- Figura 16. DCL de la viga utilizado para determinar las reacciones en los apoyos
- Figura 17. Diagramas de fuerza cortante y momento flector presente sobre la probeta
- Figura 18. Perfiles tubulares cuadrados de aluminio disponibles.
- Figura 19. Perfiles tubulares rectangulares de aluminio disponibles.
- Figura 20. Perfiles tubulares rectangulares de acero cold rolled disponibles.
- Figura 21. Esquema del sistema de aplicación de la carga sobre la probeta.
- Figura 22. Pesos utilizados para generar las fuerzas transversales sobre la probeta.
- Figura 23. Cargas aplicadas al equipo para la simulación a través del software ANSYS.
- Figura 24. Deformaciones obtenidas sobre la estructura y la probeta a través del software ANSYS.
- Figura 25. Esfuerzos normales sobre la estructura y la probeta obtenidos a través del software ANSYS.
- Figura 26. Factor de seguridad de la estructura y la probeta obtenidos a través del software ANSYS.

- Figura 27. Galgas extensiométricas KFH-6-120-C1-11L1M2R.
Figura 28. Especificaciones de Galgas KFH-6-120-C1-11L1M2R.
Figura 29. Ensamble de la estructura y la lámina de la base del equipo.
Figura 30. Resultado final del proceso de protección y pintura de la estructura.
Figura 31. Resultado final de la fabricación de la probeta y su apoyo sobre la estructura.
Figura 32. Resultado final de la fabricación del sistema de aplicación de carga.
Figura 33. Comparador de caratula utilizado para medir el desplazamiento vertical de la probeta.
Figura 34. Montaje inicial del sistema de medición de deformaciones en un protoboard.
Figura 35. Montaje del sistema de medición sobre las baquelitas.
Figura 36. Montaje final del sistema de medición de esfuerzos y deflexiones sobre probetas sometidas a fuerzas transversales puntuales.
Figura 37. Puntos de análisis en la viga (distancias en metros).
Figura 38. Configuraciones de carga.
Figura 39. Dimensiones de la sección transversal.
Figura 40. Diagrama de cuerpo libre, cortante y momento flector configuración (a).
Figura 41. Carga distribuida producida por el peso de la viga.
Figura 42. Suma de las deflexiones producidas por carga puntual y peso de la viga.
Figura 43. Diagrama de cuerpo libre, cortante y momento flector configuración (b).
Figura 44. Deflexiones producidas individualmente por las cargas.
Figura 45. Diagrama de cuerpo libre, cortante y momento flector configuración (c).
Figura 46. Deflexiones producidas individualmente por las cargas.
Figura 47. Esquema de configuración de carga (a).
Figura 48. Esquema de configuración de carga (b).
Figura 49. Esquema de configuración de carga (c).

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Esfuerzos normales y deflexiones teóricas calculadas para dos materiales encontrados comercialmente.
- Tabla 2. Resultados de momento, esfuerzo y deflexión máxima configuración (a).
- Tabla 3. Resultados de momento, esfuerzo y deflexión en C configuración (a).
- Tabla 4. Resultados de momento, esfuerzo y deflexión en D configuración (a).
- Tabla 5. Deflexión máxima y en punto D teniendo en cuenta peso de la viga y gráfica de carga vs deflexión para ambos puntos.
- Tabla 6. Resultados de momento, esfuerzo y deflexión en los puntos D y E configuración de carga (b).
- Tabla 7. Deflexión en E y D con peso de la viga y Gráfica carga vs deflexión.
- Tabla 8. Resultados de momento, esfuerzo y deflexión en los puntos D y E configuración de carga (c).
- Tabla 9. Resultados de las pruebas de laboratorio configuración de carga (a).
- Tabla 10. Resultados de las pruebas de laboratorio configuración de carga (b).
- Tabla 11. Resultados de las pruebas de laboratorio configuración de carga (c).
- Tabla 12. Porcentaje de error deflexión teórica Vs experimental.
- Tabla 13. Porcentaje de error en la deflexión teniendo en cuenta el peso de la viga.

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.	Ensamble prototipo.
Anexo B.	Ensamble.
Anexo C.	Estructura 1.
Anexo D.	Estructura 2.
Anexo E.	Lámina.
Anexo F.	Perfil tubo soporte peso.
Anexo G.	Plano tubos.

GLOSARIO

Banco de laboratorio: es un estructura que se utiliza para montar las probetas y equipos de medición en una experiencia específica de laboratorio en nuestro caso para medir esfuerzos.

Carga: Acción mecánica, en general vertical de origen gravitatorio.

Esfuerzo a la tracción: una viga está sometida a la tracción cuando las fuerzas internas tienden a estirar la viga, es decir alargan su longitud. la tensión son fuerzas que actúan en sentido contrario.

Esfuerzo a la compresión: una viga está sometida a compresión cuando las fuerzas internas tienden a comprimir o contraer la viga, es decir acortan su longitud, la compresión son fuerzas que actúan en el mismo sentido.

Esfuerzo a la flexión: una viga está sometida a flexión cuando las fuerzas internas tienden a doblar la viga, como resultado la parte cóncava está a compresión y tracción en la parte convexa.

Esfuerzo a la torsión: un elemento sometido a torsión las fuerzas internas tienden a retorcerlo, girarlo en 2 direcciones diferentes.

Esfuerzo cortante: una viga sometida a cortante las fuerzas internas tratan de cortar la viga.

Esfuerzo pandeo: este esfuerzo sucede en vigas de gran longitud al aplicarles cargas su centro de gravedad se aleja del eje neutro generando un arqueado en la viga.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE LABORATORIO PARA MEDIR ESFUERZOS NORMALES Y DEFLEXIONES EN VIGAS.

AUTOR(ES): RUBÉN FERNEY JIMENEZ FREDY AUGUSTO NIÑO

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): ING. ALFONSO SANTOS

RESUMEN

La cuantificación de los efectos que originan las fuerzas transversales sobre elementos mecánicos y estructurales es de gran importancia ya que son las cargas que más influyen en su comportamiento; debido a esto es relevante para la formación de un ingeniero mecánico que los conocimientos teóricos impartidos en la asignatura de Resistencia de Materiales sean validados a través de ensayos experimentales que permitan tener una mejor comprensión del tema. Debido a la ausencia de un banco de laboratorio para ensayos de vigas simplemente apoyadas sometidas a fuerzas transversales, se construirá un equipo de laboratorio y las cargas a utilizar deben tener una magnitud que no sobrepase los 98N, para mantener el ensayo dentro del rango elástico (entre 0.2 y 98 N/mm²). Este proyecto busca suministrar un equipo didáctico que permita determinar los esfuerzos y las deflexiones que se presentan en esta clase de elementos mecánicos.

PALABRAS CLAVE:

Fuerzas Transversales, Ensayos Experimentales, Esfuerzos, Deflexiones, Banco de laboratorio.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LABORATORY TEST BENCH TO MEASURE NORMAL STRESSES AND DEFLECTIONS IN BEAMS.

AUTHOR(S): RUBÉN FERNEY JIMENEZ FREDY AUGUSTO NIÑO

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: ING. ALFONSO SANTOS

ABSTRACT

The quantification of the effects originated by axial forces on mechanical and structural elements is such an important issue because these loads have the most influence on the behavior of a beam; due to this, it is relevant for the training of a mechanical engineer to validate the theoretical knowledge taught in the subject of Resistance of Materials through experimental tests which allow the student to have a better appropriation of the same ones. Due to the absence of a laboratory test bench of simply supported beams subjected to axial forces, a laboratory test equipment will be built and the loads being used must have a magnitude below 98N, to keep the test within the elastic range (between 0.2 y 98 N/mm²). This project seeks to provide a didactic equipment that allows to determine the stresses and deflections presented in this type of mechanical elements.

KEYWORDS:

Axial Forces, Experimental Tests, stresses, Deflections, Laboratory test bench

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el desarrollo del laboratorio de la asignatura Resistencia de Materiales se llevan a cabo pruebas encaminadas a determinar las propiedades mecánicas de los materiales (dureza, tenacidad, resistencia a la fluencia, módulo de elasticidad, etc.), temas que se abordan en la asignatura Ciencia de los Materiales, sin embargo, la determinación de esfuerzos y deformación originados por los diferentes tipos de cargas que pueden actuar sobre una viga, no se han tenido en cuenta para análisis en pruebas de laboratorio.

Las vigas generalmente son cuerpos prismáticos sólidos de forma alargada y sección recta constante, de gran interés en ingeniería y arquitectura, que normalmente se utilizan en posición horizontal y son de longitud grande comparada con las dimensiones de su sección recta, por lo tanto el término "alargada" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Las vigas pueden estar sometidas a cargas concentradas, cargas distribuidas o a pares (momentos concentrados) que actúen solos o en una combinación cualquiera, siendo la flexión la principal deformación que sufren.

El resultado de este proyecto es el diseño y la construcción de un banco de pruebas para medir esfuerzos y deflexiones originadas por fuerzas transversales aplicadas a vigas simplemente apoyadas, mediante el uso de galgas extensiométricas y comparadores de carátula, para su aplicación en futuras prácticas en el laboratorio de resistencia de materiales.

1. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto pretende dotar de un banco de laboratorio que permita comprobar los efectos originados por fuerzas transversales (tercer capítulo de la asignatura) sobre un elemento mecánico de sección transversal cuadrada o rectangular y de esta forma empezar a relacionar de una mejor manera el contenido teórico con el experimental en la asignatura Resistencia de Materiales. Debido a esta necesidad se requiere un banco de laboratorio que mida este tipo de esfuerzos, de manera práctica y en tiempo real para poder analizar más objetiva y experiencialmente diferentes casos de estudios de esta área de la ingeniería. Para ello se tendrá un dispositivo que mide dichos esfuerzos por medio de galgas extensiométricas las cuales captan una señal eléctrica, la cual es procesada en un ordenador y entregará una lectura clara y específica. Para ello se diseñó un banco de pruebas donde se darán las condiciones apropiadas para garantizar una mayor confiabilidad y exactitud en cada experiencia desarrollada en el laboratorio y poder acercarnos lo más posible a lo que sucede en la realidad con las vigas sometidas a este tipos de cargas, de esta manera los estudiantes se van relacionando con la asignatura mediante una experiencia sencilla. Por estas razones, es de gran importancia este proyecto para los estudiantes de ingeniería mecánica ya que pueden tener una idea más clara de cómo se comportan las vigas sometidas a diferentes cargas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar, construir y probar un banco para medir esfuerzos y deflexiones de vigas simplemente apoyadas sometidas a fuerzas transversales, mediante el uso de comparadores de carátula y galgas extensiométricas.

2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un banco de laboratorio que permita aplicar fuerzas transversales a vigas simplemente apoyadas, 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
- Construir un banco de laboratorio que permite aplicar fuerzas transversales a vigas simplemente apoyadas, a través del uso de materiales disponibles comercialmente en el mercado de la región y con procesos de manufactura disponibles en el laboratorio de proceso mecánicos de la UPB. **Resultado:** Banco de laboratorio. **Indicador:** Se utilizarán los planos detallados obtenidos del proceso de diseño
- Desarrollar una metodología que permita cuantificar el esfuerzo normal y la deflexión originadas en una viga cuando son ensayadas en el banco construido a través del uso de comparadores de carátula y galgas extensiométricas. **Resultado:** Metodología desarrollada. **Indicador:** La metodología debe permitir cuantificar de manera indirecta el esfuerzo y de forma directa la deflexión que soporta un elemento cuando está sometido a fuerzas transversales.
- Realizar pruebas para corroborar la exactitud entre los datos obtenidos experimentalmente y los datos teóricos calculados a través de las ecuaciones de esfuerzo y deflexiones 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
- Realizar 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

La flexión es una prueba de ductilidad que se emplea para conocer la capacidad en materiales metálicos de sufrir deformaciones plásticas. La flexión en elementos mecánicos es originada por momentos flectores puntuales o cargas transversales. Si es originada por momentos flectores está solo origina un esfuerzo normal y si es originada por cargas transversales esta origina un esfuerzo normal y un esfuerzo cortante. El esfuerzo más relevante es el esfuerzo normal ya que este origina un cambio en la longitud pero este por lo general no se cuantifica, por lo que la deflexión que tiene un desplazamiento desde su posición inicial a su posición final con respecto al eje longitudinal es de relevancia y el término a determinar.

Los elementos deben soportar su propio peso además de otras cargas que según su posición generan diferentes esfuerzos. Una fuerza sobre una viga tiende a deformarla, la deformación dependerá del sentido, la dirección de aplicación de esta fuerza. Los esfuerzos son las fuerzas internas que siente una viga al aplicarle una carga para no ser deformada, estos esfuerzos pueden ser de varios tipos de acuerdo al gráfico esfuerzo-deformación tenemos algunos términos.[1-7]

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{R}$$

M - el momento en el eje neutral.

y - la distancia perpendicular al eje neutro.

I_x - el momento del área de inercia sobre el eje neutro x .

σ - la tensión normal en el miembro, que se produce en un punto en el área de la sección transversal más alejado del eje neutro.

R - el radio de curvatura.

E - Módulo de Young.

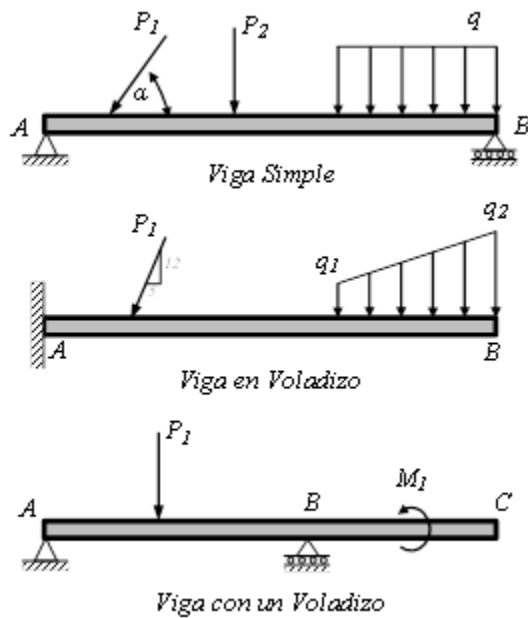


Figura 1. Tipo de vigas, según sus apoyos.

Esfuerzos y deformaciones en el rango elástico: como se rige en el rango elástico se aplica la ley de Hooke para el esfuerzo uniaxial, si el material es homogéneo su módulo de elasticidad (E) se define por . Se obtiene:

$$\sigma_x = E \cdot \epsilon_x = - \frac{y}{c} (E \cdot \epsilon_x)$$

$$\sigma_x = - \frac{y}{c} \cdot \sigma_m$$

Lo que muestra esta ecuación es que el esfuerzo normal (σ_x) varía linealmente con la distancia al eje neutro (c) y este coincide con el centroide de la sección transversal.[3-9]

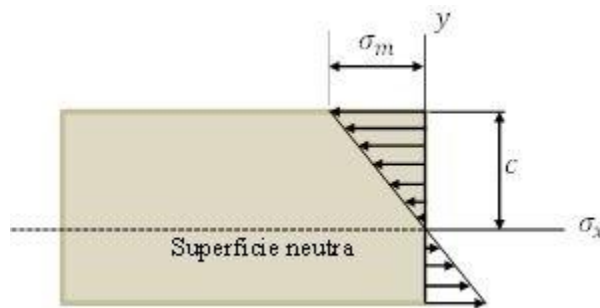


Figura 2. Variación del esfuerzo en un elemento sometido a flexión pura.

El esfuerzo máximo (σ_m) se obtiene de multiplicar el momento flector interno (M) por la distancia máxima al eje neutro (c) sobre el momento de inercia.

$$\sigma_m = \frac{M \cdot c}{I}$$

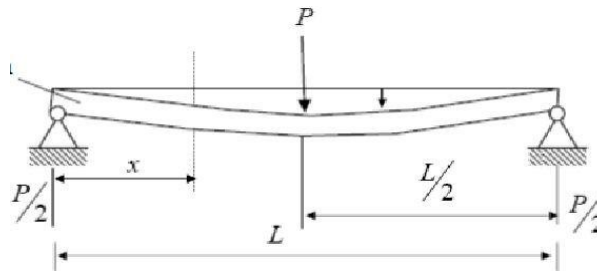
Donde M es el momento flector interno, c es la distancia máxima a la superficie neutra e I es el momento de inercia, o segundo momento de área.

Deflexiones y pendientes: la deflexión es el grado que un elemento se desplaza bajo una fuerza aplicada a este, es decir el cambio en la longitud por esta fuerza aplicada en cualquier punto de la viga y la pendiente es el ángulo que forma la curva de la deflexión con respecto al eje horizontal, cuando la deflexión es máxima la pendiente es cero.

Para conocer en una viga los esfuerzos y las deformaciones, es necesario determinar la estática. Se realiza un DCL (diagrama de cuerpo libre) de la viga y con esto encontramos todas las fuerzas que intervienen interna y externamente en la viga. [5-8]

Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante: el primer paso es encontrar las reacciones en los apoyos con un diagrama de cuerpo libre y ubicar todas las fuerzas a lo largo de la viga para luego hacer un corte en la viga a una distancia x para ir encontrando las fuerzas internas es decir el esfuerzo cortante y el momento flexionante, se sigue sucesivamente colocando todas las fuerzas que actúan en la viga y haciendo cuantos cortes sean necesarios para encontrar las fuerzas internas que estas cargas generan y poder dejar la viga estáticamente equilibrada y poder ubicar fácilmente en qué punto se encuentra el cortante más grande.

Finalizado el diagrama de cortante (cabe resaltar que debe cerrar este diagrama porque estáticamente está determinado) se continúa con el diagrama de momento el cual nos muestra en qué punto se encuentra el momento más grande y poder aplicar las ecuaciones para encontrar los esfuerzos máximos y mínimos que soporta la viga y saber cuánto se deforma la viga al aplicar estas cargas particulares. estos valores se encuentran utilizando la ley de Hooke.



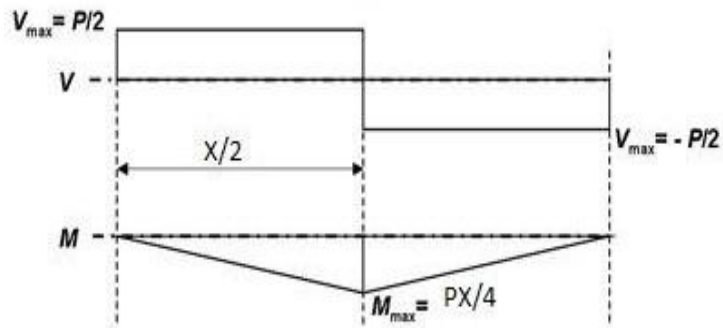


Figura 3. Diagrama cortante (v) y momento flexionante (M).

considerando una viga AB simplemente apoyada con carga puntual a mitad de su longitud, con esta condición las fibras superiores a su eje neutro se encuentran a compresión y las fibras inferiores se encuentran a tensión, a una distancia x de su apoyo A se encuentra su momento

Podemos decir que la ley de Hooke es la cantidad de alargamiento o compresión de un material debido a la aplicación de una carga y esta fuerza es directamente proporcional. El máximo esfuerzo que puede soportar un material antes de quedar deformado en su totalidad se le llama límite elástico.[2-8]

En el diagrama carga-deformación se encuentran unos parámetros:

Límite de elasticidad (E): máxima tensión sin que exista deformación permanente.

Límite de fluencia (P): donde el material empieza a sufrir deformación.

Límite de rotura (R): carga máxima que soporta el material antes de romperse.

Alargamiento de rotura: alargamiento del material antes de fracturarse.

En nuestro caso nos interesa el esfuerzo a flexión, el cual es la combinación de esfuerzo de tracción y compresión. Mientras unas fibras están sometidas a tracción las otras están sometidas a compresión, esto depende de la ubicación de fuerza y produciendo una deformación a lo largo de su eje, este esfuerzo se denomina momento flector. Para calcular este momento se utiliza la siguiente fórmula; donde σ_t es la tensión de trabajo expresado en $\frac{kg-f}{cm^2}$. M_F es el momento flector en la sección en $cm \cdot kg \cdot fy$ W_{xx} es el módulo o momento resistente de la sección en cm^3 :

$$\sigma_T = \frac{M_F}{W_{xx}}$$

Donde el momento flector se calcula:

$$M_F = F \cdot L$$

Donde M_F es el momento flector, F es la fuerza aplicada sobre la longitud de la pieza.

El Módulo de resistencia o Momento resistente (W_{xx}) se calcula según la sección de la pieza, en este caso sección cuadrada:

$$W_{xx} = b \cdot h^2$$

Donde b es la longitud de la base del rectángulo; h es la altura del rectángulo.

La deformación máxima que presenta el material se puede calcular por la siguiente ecuación. Se representa por $Y_{m\acute{a}x}$ expresada en cm , F es la carga en el extremo en kgf , L es la luz de la viga en cm , E es el módulo de elasticidad en $\frac{kg-f}{cm^2}$, y I_{xx} es el momento de inercia de la sección con respecto al eje xx (eje horizontal) en cm^4 .

$$Y_{m\acute{a}x} = \left[\frac{F \cdot L^3}{3EI_{xx}} \right]$$

El momento de inercia se calcula con las siguiente formula y expresado en cm^4 :
Perfil rectangular,

$$I_{xx} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Esfuerzo a la tracción: una viga está sometida a la tracción cuando las fuerzas internas tienden a estirar la viga, es decir alargan su longitud. La tensión son fuerzas que actúan en sentido contrario

Esfuerzo a la compresión: una viga está sometida a compresión cuando las fuerzas internas tienden a comprimir o contraer la viga, es decir acortan su longitud, la compresión son fuerzas que actúan en el mismo sentido.[5-8]

Puente de wheatstone puede utilizarse de varias maneras para medir resistencias en nuestro caso para medir cambios relativos en las resistencias,este se utiliza en las galgas extensométricas,ya que por su exactitud permite medir cambios relativos en las resistencias de una galga,están en el orden de entre 10^{-4} y 10^{-2} Ω/Ω .

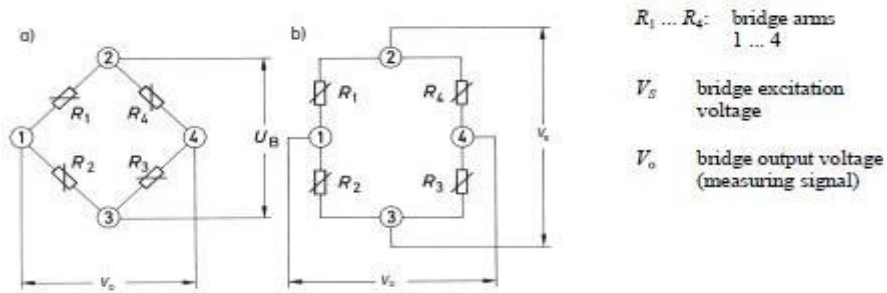


Figura 4. Puente de Wheatstone.

Las 4 brazos del puente de wheatstone son resistencias R_1 a R_4 , la tensión de alimentación o de entrada V_s se encuentra entre los puntos 2 y 3. La tensión de salida V_o se encuentra entre los puntos 1 y 4.

El puente puede desequilibrarse por la diferencia entre tensiones y se calcula:

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

Si el puente está equilibrado, y donde la tensión de salida del puente V_o es igual a cero.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Cuando una deformación, la resistencia de la galga extensométrica cambia en un valor ΔR . nos da la ecuación:

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

En el caso de las galgas extensométricas, las resistencias R_1 y R_2 deben ser iguales en el puente de Wheatstone. Lo mismo ocurre con R_3 y R_4 . [9]

Dependiendo del caso de medición se utilizan una o más galgas extensométricas en el punto de medición. en nuestro caso es necesario una galga para cada punto de interés ya que no se hace necesario más de una, además las galgas utilizadas

son confiables y de muy buena exactitud, garantizando una buena toma de datos en el ensayo.

Galgas extensiométricas: también llamado extensómetro es un sensor que mide la deformación, posición, presión, par etcétera, este sensor se rige por el fenómeno piezorresistivo, que es la propiedad de algunos materiales de cambiar el valor de su resistencia cuando se le someten a ciertos esfuerzos. Una galga que se someta a ciertos esfuerzos producirá una deformación y está generará una variación en su resistencia eléctrica, esta variación es producida por un cambio de longitud. La galga hace una toma en el punto exacto del material que se está analizando dando una lectura en tiempo real del fenómeno presentado, es por esta razón que son confiables y de gran ayuda en este proyecto.

Las galgas más comunes consisten en una lámina metálica fijada a una base aislante y flexible para pegarse al objeto y como se deforme la probeta también lo hace la lámina de la galga produciendo una variación en su resistencia eléctrica obteniendo una lectura muy precisa; para leer esta variación eléctrica a la galga se le adapta un dispositivo que transfiera estos valores para ser visibles y cuantificables. [10]



Figura 5. Extensómetro.



Figura 6. Comparador de carátula.

Comparador de carátula es un instrumento de medición el cual amplifica un movimiento del husillo, colocado de forma que cualquier deformación o cambio de longitud genere un movimiento de la aguja indicadora puesta sobre la carátula. Se genera una serie de variaciones de medición más no una medida, lo cual hace una comparación de medidas con un patrón o medida inicial. Su exactitud está relacionada con el tipo de medidas que se desee comparar y van de rangos de 0.25 mm a 300 mm. el comparador es un instrumento utilizado para el control del error y para la medida comparativa entre la dimensión de una pieza puesta a examen y una pieza estándar, existen diferentes tipos de comparadores de carátula, según la forma de lectura, la precisión, el rango de medición, la forma del husillo, pero todos utilizan el mismo principio. [11]

4. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para el desarrollo del proyecto se decidió implementar una de las metodologías utilizada en el área de ingeniería de diseño. El diseño en ingeniería mecánica es una parte principal que trata de la concepción, diseño, desarrollo, refinamiento y aplicación de las máquinas y los aparatos mecánicos de toda clase. El interés se centra en los usos creativos y racionales de la mecánica de sólidos y las ciencias relacionadas, en situaciones de la “vida real”; debido a su naturaleza profesional la mayoría de los problemas de diseño no tienen una respuesta correcta única.

Ninguna metodología de diseño prevé de una manera exacta todas las situaciones que se pueden presentar en una etapa específica del mismo, por consiguiente, estas deben usarse de manera flexible, como una guía, y no como un principio innegable e irrefutable.

En general los modelos de diseño se dividen en cuatro grupos: descriptivos, prescriptivos, cognitivos y computacionales. Los modelos descriptivos describen una secuencia de actividades que ocurren en el diseño; los prescriptivos recomiendan un patrón de actividades de diseño; los cognitivos explican el comportamiento del diseñador y los computacionales expresan la forma en que un computador desarrolla las actividades de diseño.

Para el desarrollo del diseño del banco para medir deformaciones y esfuerzo originados por cargas transversales y momentos flectores se definió el modelo lineal, el cual pertenece al grupo de los descriptivos, debido a que es básico y permite identificar fácilmente las fases del diseño que son comúnmente aceptadas por la mayoría de los investigadores y las cuales se relacionan en la Figura 7.

En la primera fase, denominada de diseño conceptual, se buscan conceptos que permitan solucionar el problema propuesto, para lo cual se analiza el problema, se sintetizan las posibles alternativas de solución y se evalúan con respecto a las restricciones (especificaciones) impuestas. En esta fase se generan principios de solución, pero no se obtienen estructuras de solución lo suficientemente concretas como para materializar la respuesta al problema.

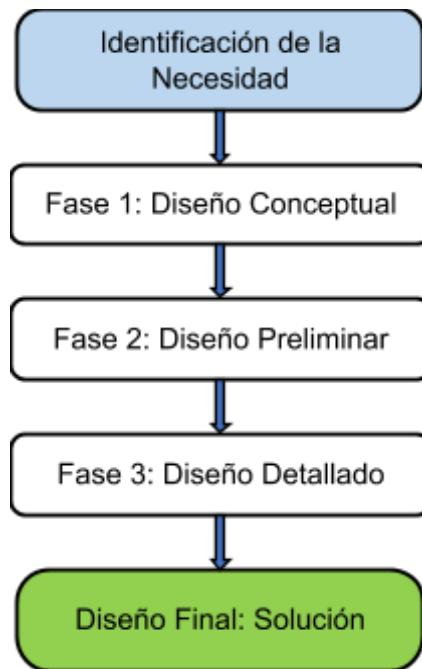


Figura 7. Esquema del Modelo Lineal de diseño.

En la segunda fase o de diseño preliminar se avanza en la concretización de una solución al problema, determinando componentes e interacciones con el suficiente grado como para poderla evaluar objetivamente. Se obtienen formas específicas, materiales propuestos y planos de conjunto con dimensiones generales. En general esta fase es más comprendida por los ingenieros debido a su formación curricular.

La tercera y última fase de diseño denominada de detalle tiene como finalidad la obtención de todas las especificaciones necesarias para la construcción de la solución. Como resultado de esta fase se obtienen planos de detalle, el proceso de fabricación, la identificación de proveedores, etc.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD

El requerimiento del diseño y la construcción de un equipo didáctico para la corroboración de las ecuaciones de esfuerzo y deformación de elementos sometidos a cargas transversales y momentos flectores es solicitado por el docente a cargo de la asignatura Resistencia de Materiales, con el fin de adecuar de una mejor manera los contenidos teóricos a las prácticas de laboratorio implementadas. Debido a lo anterior los requerimientos de diseño fueron entregados por él y se pueden resumir en los siguientes ítems:

- El equipo debe permitir, en lo posible, que la probeta utilizada esté sometida sólo a fuerzas transversales y momentos flectores; con el fin de evitar la presencia de esfuerzos combinados sobre el elemento.
- Debido a que es un equipo didáctico las cargas a utilizar deben tener una magnitud pequeña, es decir que no sobrepasen los 98 N.
- El equipo debe permitir determinar la deformación unitaria normal, ϵ , la cual se requiere para cuantificar el esfuerzo normal presente en la probeta; adicionalmente también debe facilitar la obtención del desplazamiento vertical, δ , de cualquier punto ubicado a lo largo de la longitud de la probeta.
- Los materiales utilizados en la construcción del equipo y la probeta deben ser comercialmente disponibles.
- El equipo debe permitir el cambio de la probeta, con el fin de poder desarrollar ensayos con diferentes configuraciones de sección transversal durante la realización de las prácticas con los estudiantes que matriculan la asignatura.
- El acabado final del equipo debe ser de buena calidad, con el fin de garantizar su durabilidad en el tiempo.

4.2 DISEÑO CONCEPTUAL

Para dar respuesta a cada uno de los requerimientos solicitados para el equipo se analiza cada uno de ellos a continuación.

Existencia sólo fuerzas transversales y/o momentos flectores

Los esfuerzos normales debido a la flexión se pueden originar por fuerzas transversales aplicadas sobre la viga o momentos puntuales que actúan en los ejes perpendiculares al eje longitudinal del elemento.

La flexión pura solo se presenta con la aplicación de momentos flectores tal como se observa en la figura 8, es decir, solo se presentarán esfuerzos normales de flexión si quien los origina es esta clase de cargas; sin embargo, su aplicación implica una serie de elementos mecánicos (poleas, cables, apoyos adicionales, etc.) que vuelven complejo el diseño del banco de laboratorio que se desea desarrollar.

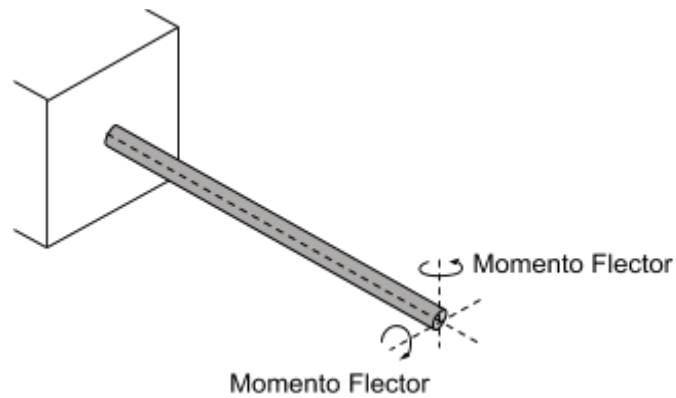


Figura 8. Momentos flectores que pueden estar presentes sobre una viga.

El otro tipo de carga que puede originar flexión sobre una viga son las fuerzas transversales, tal como se observa en la figura 9, sin embargo, estas no solo originan esfuerzo normal, sino que estará presente un esfuerzo cortante.

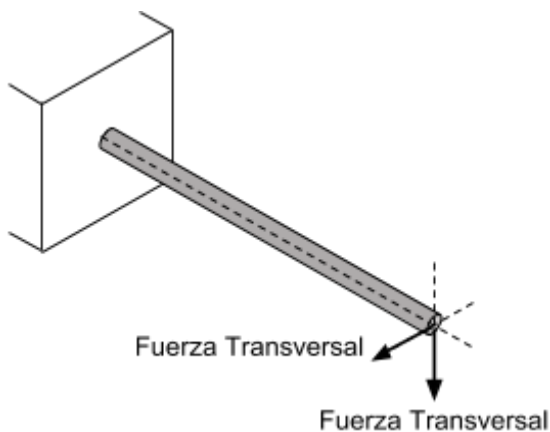


Figura 9. Fuerzas transversales que pueden estar presentes sobre una viga.

Como lo indica Mott, en el libro de resistencia de materiales, el esfuerzo cortante en vigas es significativo cuando se presentan las siguientes situaciones:

- Vigas de madera: la madera es inherentemente débil a cortante a lo largo de planos paralelos a la veta, la cual por lo general corre paralela al eje largo en madera de comercialmente disponible. Cuando se somete a cargas transversales, es probable que la falla inicial en una viga de madera sea por separación a lo largo de su veta, debido a un esfuerzo cortante horizontal excesivo.

- Vigas de alma delgada: si el alma de una viga es excesivamente delgada, no sería suficientemente rígida ni estable para mantener su forma, y fallaría por esfuerzo cortante en ella.
- Vigas cortas: En este tipo de vigas es probable que el momento flexionante y por consiguiente el esfuerzo flexionante alcancen valores reducidos. En vigas como éstas, el esfuerzo cortante puede ser el esfuerzo limitante.

Tomando en consideración los conceptos relacionados anteriormente se puede concluir que el esfuerzo cortante es relevante en el diseño de una viga cuando esta se fabrica de madera y adicionalmente tiene una sección transversal gruesa y una longitud corta.

Debido a que la aplicación de fuerzas transversales sobre una viga se puede realizar de una forma sencilla, mediante la colocación de pesos, se define que este será el tipo de cargas a aplicar a las probetas que se ensayarán en el equipo, teniendo en cuenta que las dimensiones longitudinales y transversales de las mismas siempre deben garantizar que el esfuerzo cortante originado no sea significativo.

Con base en las afirmaciones y los conceptos manejados en los párrafos anteriores, un diseño conceptual del equipo para determinar esfuerzos y deflexiones en vigas estáticamente determinadas sería el que se relaciona en la figura 10. Con el fin de poder abarcar una mayor cantidad de modelos de vigas simplemente apoyadas se aplicarán cargas puntuales en diferentes ubicaciones a lo largo de la longitud del elemento.

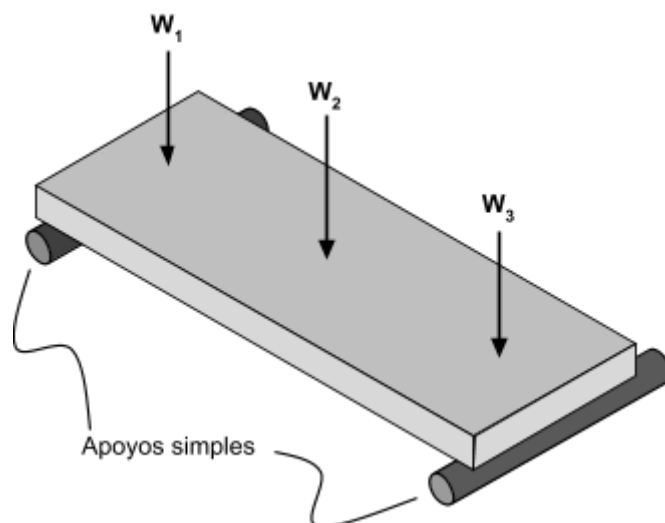


Figura 10. Esquema del tipo de cargas y apoyos a implementar en el banco de ensayos.

Magnitudes de carga que no sobrepasen los 98 N

Para garantizar esta condición y poder obtener resultado en los ensayos de magnitudes que puedan ser identificables con los sistemas de medición que se van a implementar en el equipo, se analizó los factores que afectan tanto el esfuerzo normal como la deflexión presente en una viga sometida a fuerzas transversales.

Las ecuaciones que definen el esfuerzo normal máximo está definida por:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M \cdot C}{I}$$

Donde M es el momento flector que actúa sobre la sección analizada, C es la distancia desde el eje neutro (eje donde el esfuerzo normal es 0) hasta la fibra más lejana e I es el momento de inercia con respecto al eje neutro.

Para determinar la deflexión presente en una viga el método más sencillo de utilizar es el de superposición, el cual se basa en tablas de deflexiones y pendientes de vigas con sección transversal uniforme, homogéneas y con una sola carga actuando sobre ella. Las tablas que se utilizan en el desarrollo de este proyecto son las del libro de Mecánica de Materiales de Gere y a continuación se analizan cada una de las utilizadas en las vigas propuestas para el ensayo.

El primer tipo de viga utilizada es una simplemente apoyada, con una carga aplicada en el centro de la misma, tal como se observa en la figura 11.

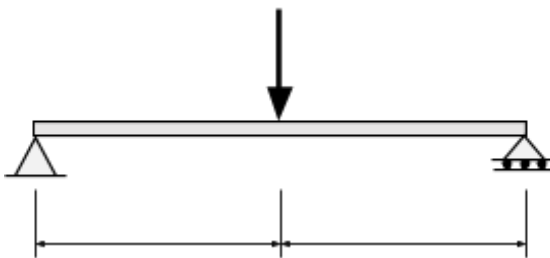


Figura 11. Esquema de una viga simplemente apoyada con una carga puntual aplicada en la mitad.

Para este tipo de viga la ecuación que rige la deflexión en cualquier punto de la misma es la siguiente:

$$v = \frac{Px}{48EI} (3L^2 - 4x^2)$$

Donde v es la deflexión en cualquier punto de la viga, este término se reemplaza por δ cuando se evalúa en un punto específico; P es la carga puntual que actúa en el centro del claro de la viga; E es el módulo de elasticidad del material; I es el momento de inercia de la sección transversal con respecto al eje neutro; L es la longitud total de la viga y x es la distancia desde el apoyo izquierdo hasta el punto donde se desea conocer la deflexión.

El segundo tipo de viga utilizada es una simplemente apoyada, con una carga aplicada en un punto diferente al centro de la misma, tal como se observa en la figura 12.

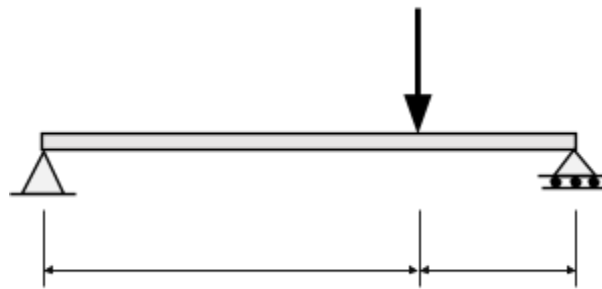


Figura 12. Esquema de una viga simplemente apoyada con una carga puntual aplicada en un punto diferente a la mitad de la viga.

Para este tipo de viga la ecuación que rige la deflexión en cualquier punto de la misma es la siguiente:

$$v = \frac{Pbx}{6EI} (L^2 - b^2 - x^2) \quad (0 \leq x \leq a)$$

Donde v es la deflexión en cualquier punto de la viga; P es la carga puntual que actúa sobre la viga; E es el módulo de elasticidad del material; I es el momento de inercia de la sección transversal con respecto al eje neutro; L es la longitud total de la viga, b es la distancia desde el punto de aplicación de la carga hasta el apoyo derecho y x es la distancia desde el apoyo izquierdo hasta el punto donde se desea conocer la deflexión.

Si la condición expresada en la ecuación no se cumple, es decir, $x > a$ es necesario modificar el sistema de referencia, es decir, b será la distancia desde el punto de aplicación de la carga hasta el apoyo izquierdo y x es la distancia desde el apoyo derecho hasta el punto donde se desea conocer la deflexión. Los demás términos no sufren ninguna modificación.

Con base en la ecuación de esfuerzo normal y deflexiones se puede observar que ambas son directamente proporcionales a la carga aplicada, es decir entre mayor sea la magnitud de esta, mayor esfuerzo normal y deflexión sobre la viga se presentará, como la condición a cumplir es la utilización de cargas pequeñas (< 98 N) entonces es necesario identificar cuales variables son inversamente proporcionales a los esfuerzos normales y deflexiones sobre la viga.

En la ecuación del esfuerzo normal, el momento de inercia de la sección transversal es inversamente proporcional a este; mientras que en la ecuación de deflexiones los parámetros del módulo de elasticidad (E, propiedad mecánica del material), el momento de inercia de la sección transversal (características geométricas de la viga) son inversamente proporcionales a su magnitud.

Con base en los conceptos anteriores se puede concluir que se requiere un material para fabricar la probeta con un módulo de elasticidad lo más bajo posible, lo cual conduce a la utilización de aluminio como alternativa viable para alcanzar el objetivo planteado; adicionalmente se requiere un momento de inercia lo más bajo posible y esto se logra con secciones transversales tubulares.

Otra variable que puede ser tenida en cuenta y que favorece la obtención de deflexiones más altas con magnitudes de carga más bajas es la longitud o claro de la viga (distancia entre apoyos), razón por la cual entre mayor sea este parámetro mayor será el desplazamiento vertical que se logra con cargas más bajas.

Cuantificación de la deformación unitaria normal, ϵ , y la deflexión, en puntos ubicados a diferentes longitudes de la probeta.

La deformación unitaria normal máxima se presenta sobre la superficie externa de la probeta a ensayar, para determinar esta magnitud se deben implementar galgas extensiométricas longitudinales, las cuales cuantifican su cambio en longitud a través de un cambio en su resistencia eléctrica, valor que se detecta y se visualiza a través de un transductor y un sistema de adquisición de señales.

Para la cuantificación de la deflexión se utiliza el desplazamiento vertical de cualquier punto sobre la longitud de la viga, mediante la implementación de un comparador de carátula que se pueda acoplar a través de un principio magnético a la base de la estructura del equipo, permitiendo su movimiento a lo largo de la longitud de la probeta a ensayar.

Materiales comercialmente disponibles.

Después de una búsqueda de información a nivel comercial en la ciudad de Bucaramanga se definió que los materiales más adecuados para la construcción del equipo pueden ser aluminio o acero de secciones circular maciza y tubular o barras tubulares de sección rectangular o cuadrada; ya que estos son los más fáciles de encontrar, presentan una alta gama de dimensiones y económicamente son los de menor costo.

Cambio de la probeta

Para garantizar esta condición se propone diseñar un sistema que permita separar fácilmente la probeta a probar de la estructura propia del equipo, como el tipo de viga que se piensa ensayar es una simplemente apoyada se considera necesario solo colocar dos barras horizontales, una a cada lado, sobre los paraleles verticales de la estructura del equipo, tal como se muestra en la figura 13.

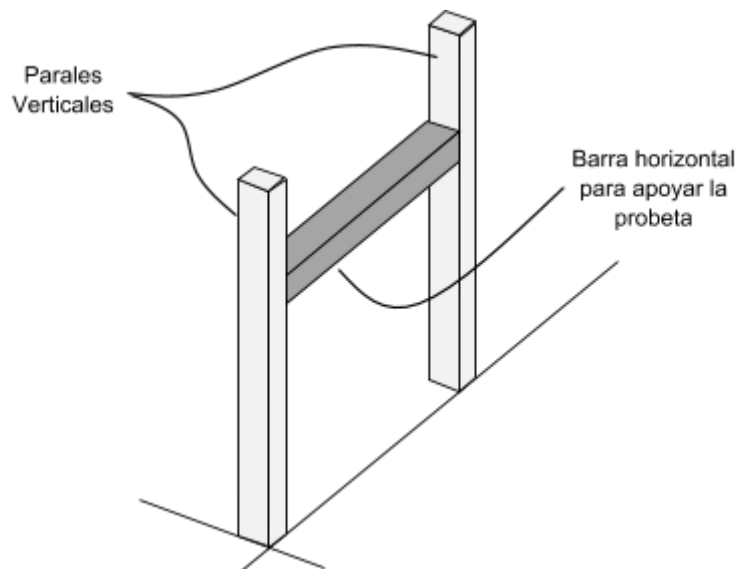


Figura 13. Esquema de la ubicación de las barras horizontales que se utilizarán para apoyar la probeta a ensayar.

Acabado final del equipo debe ser de buena calidad

El acabado final de equipo será a través del uso de pinturas comerciales, las cuales serán depositadas sobre laca anticorrosiva en los componentes que sean fabricados de acero al carbono, con el fin de incrementar la durabilidad del equipo; donde se utilice aluminio este será dejado tal cual como sea suministrado por el

almacén, ya que como se sabe el fenómeno de pasivación propio de este material lo protege de la oxidación.

4.3 DISEÑO PRELIMINAR

Con base en las definiciones relacionadas en la etapa de diseño conceptual se propone un bosquejo inicial del equipo didáctico para la corroboración de las ecuaciones de esfuerzo normal y deflexión de elementos sometidos a momentos flectores originados por fuerzas transversales, el cual se relaciona en la figura 14.

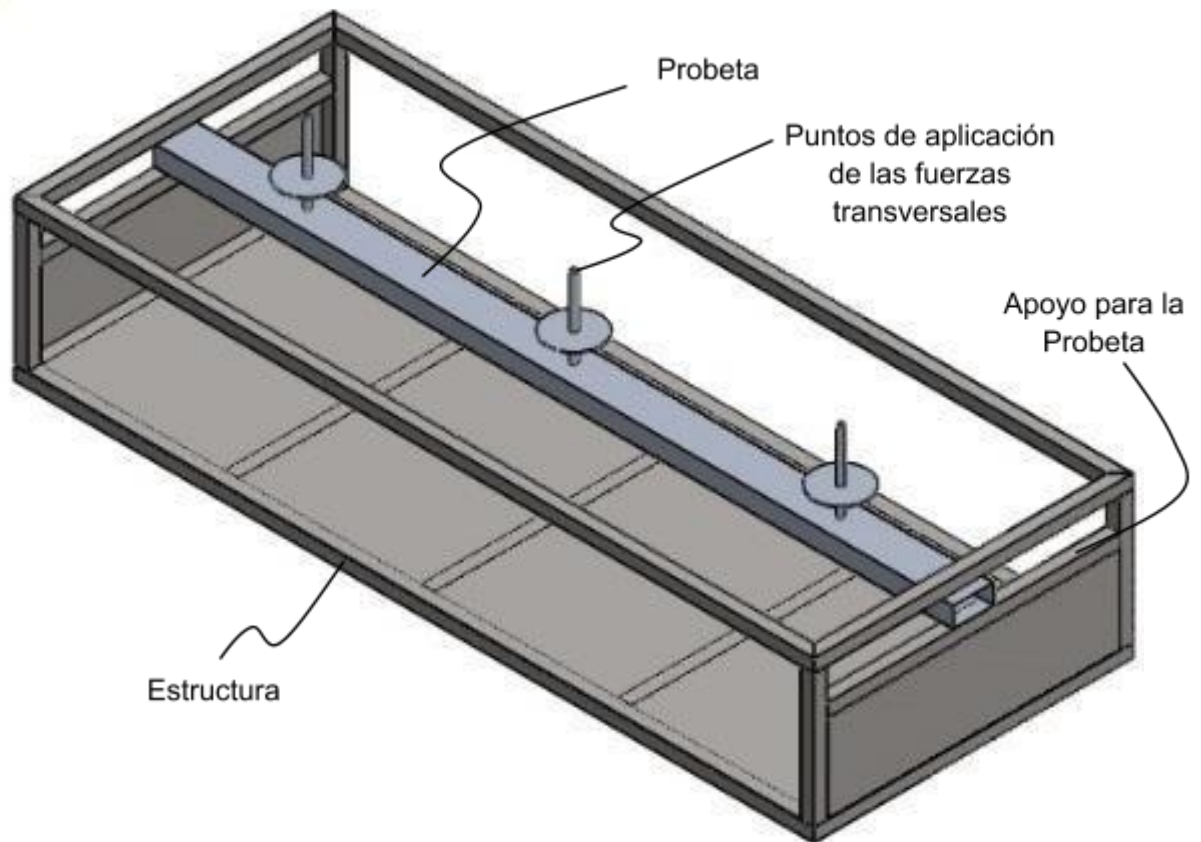


Figura 14. Vista isométrica del bosquejo inicial del equipo didáctico.

El sistema propuesto consta de los siguientes componentes.

- Estructura base: la cual será fabricada de un material de sección tubular cuadrada, la cual como su nombre lo indica, le dará soporte a todos los demás elementos que componen el equipo; adicionalmente una de las caras de esta estructura será cubierta con lámina para facilitar el anclaje del comparador de carátula.

- Probeta a ensayar: Elemento de sección transversal tubular que será sometido a cargas transversales, las cuales originan momento flector a lo largo del claro de la viga; en este componente se cuantificara el esfuerzo normal presenta en la superficie externa y la deflexión (desplazamiento vertical) presente en diferentes puntos a lo largo de la longitud del elemento.
- Sistema de aplicación de Carga: está compuesto por un tubo circular unido a un disco de apoyo a través de un proceso de soldadura; este sistema tiene como finalidad aplicar cargas lo más concentradas posibles sobre la probeta, es decir tratar de emular una carga puntual sobre la viga.
- Sistema Medición: El esfuerzo normal se cuantificará de manera indirecta a través de la determinación de la deformación unitaria longitudinal mediante galgas extensiométricas y la aplicación de la ley de Hooke que relaciona este parámetro con el esfuerzo a través del módulo de elasticidad del material. La deflexión se cuantificará de manera directa a través de la implementación de comparadores de carátula en diferentes puntos a los largo de la longitud de la viga.

Para determinar el material y las dimensiones adecuadas para la fabricación de las probetas se analizó teóricamente los esfuerzos normales y las deflexiones que se presentan para diferentes alternativas encontrados comercialmente; los análisis se realizaron con base en una carga puntual de 98.1 N ubicada en el centro de la longitud de la viga, tal como se observa en la figura 9, módulos de elasticidad del acero y el aluminio 200 GPa y 70 GPa respectivamente.

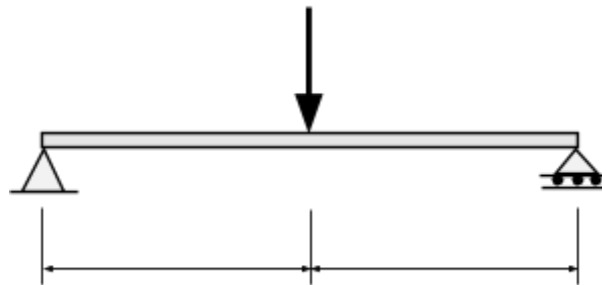


Figura 15. Esquema de la viga simplemente apoyada utilizada para determinar las características geométricas de la sección transversal de la probeta.

Para calcular el esfuerzo normal originado por la carga es necesario determinar cuál es la magnitud del momento flector, para lo cual se realiza la estática a la viga a través del diagrama de cuerpo libre (DCL) que se relaciona en la figura 16, con las reacciones de los apoyos definidas y a partir del diagrama de cargas se dibujan los diagramas de fuerza cortante y momento flector sobre la viga, los cuales se observan en la figura 17.

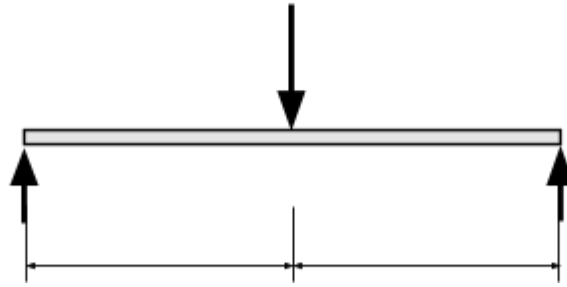


Figura 16. DCL de la viga utilizado para determinar las reacciones en los apoyos

Aplicando las ecuaciones de estática se tiene:

$$\sum M_A = 0 \quad \Rightarrow \quad -98.1N \cdot \frac{L}{2} + R_B \cdot L = 0$$

$$R_B = 49.05N$$

$$\sum F_y = 0 \quad \Rightarrow \quad R_A - 98.1N + 49.05N = 0$$

$$R_A = 49.05N$$

Con las reacciones calculadas se define el diagrama de cargas y con este se obtienen los diagramas de fuerza cortante y momento flector mediante el método de las áreas.

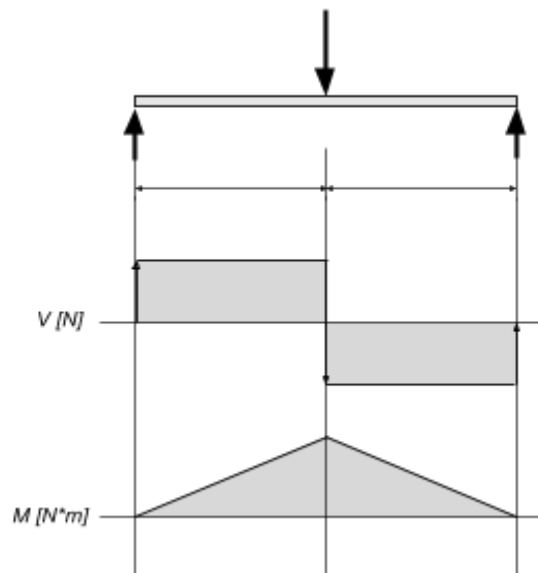


Figura 17. Diagramas de fuerza cortante y momento flector presente sobre la probeta

Como se observa en la figura 17, el momento máximo se presenta en la mitad de la longitud de la viga, por consiguiente es la sección donde se cuantificará el esfuerzo normal y la deflexión del elemento.

En las figuras 18 y 19 se relacionan las secciones tubulares de aluminio disponibles en la página web de la empresa Alúmina y en la figura 20. las secciones transversales tubulares de acero cold rolled disponibles en la página web de la empresa Exco Colombiana S.A.S. De estas figuras se obtiene los parámetros c e I involucrados en la determinación del esfuerzo normal presente en la probeta a ensayar.

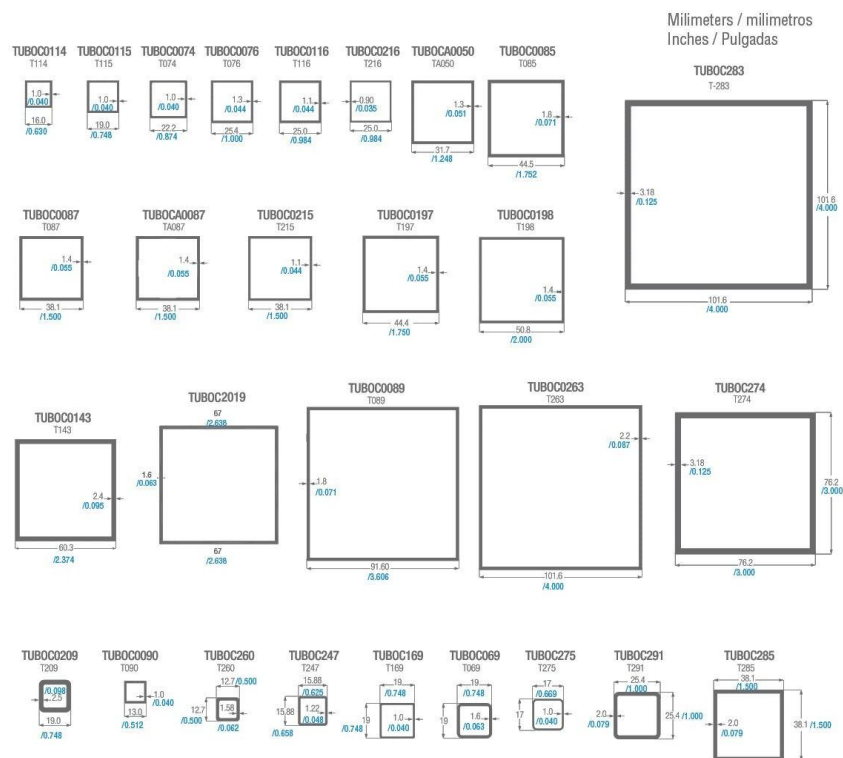


Figura 18. Perfiles tubulares cuadrados de aluminio disponibles.

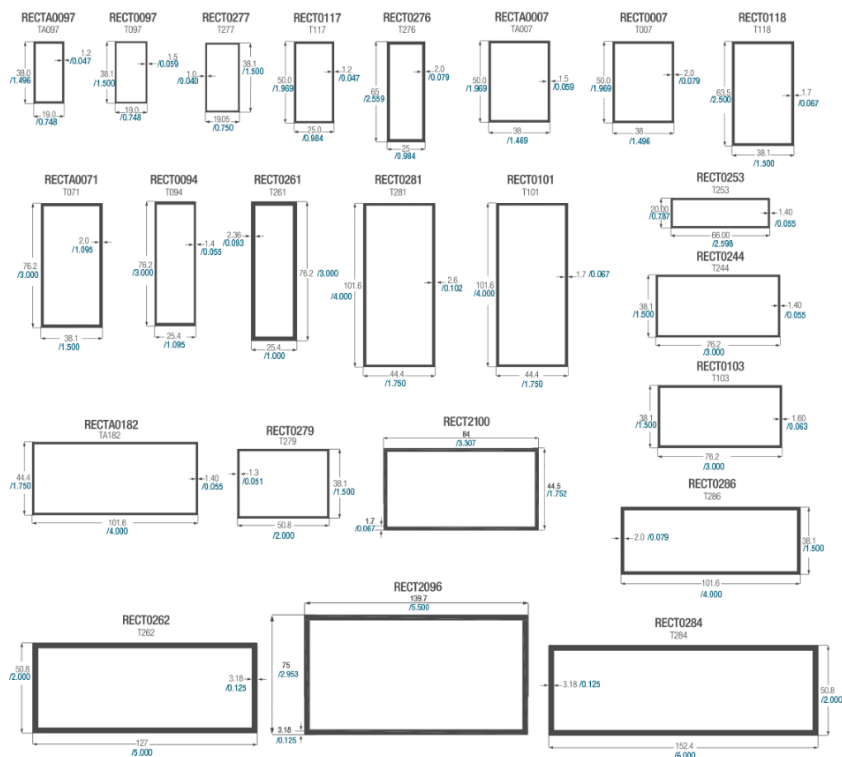


Figura 19. Perfiles tubulares rectangulares de aluminio disponibles.

TUBERIA COLD ROLLED CUADRADOS										
REFERENCIA		1.90	1.50	1.20	1.10	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
		CAL 14	CAL 16	CAL 18	CAL 18L	CAL 20	CAL 20L	CAL 20LL	CAL 22	CAL 22L
Pulgadas	mm	PESO POR TUBO A 6 MTS								
3/4 C	19.05X19.05	6.20	5.00	4.00	3.66	3.00	2.82	2.65	2.58	2.45
1 C	25.4X25.4	8.50	6.70	5.50	5.05	4.00	3.76	3.54	3.50	3.17
	30X30	10.20	8.00	6.40		5.00				
1 1/2 C	38.1X38.1	13.50	10.50	8.60	8.00	6.20	5.82	5.47	5.30	
	45X45		13.80	10.60	9.55					
2 C	50.8X50.8	17.60	13.80	11.30	10.20	8.50		7.55		

TUBERIA COLD ROLLED RECTANGULARES										
REFERENCIA		1.90	1.50	1.20	1.10	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
		CAL 14	CAL 16	CAL 18	CAL 18L	CAL 20	CAL 20L	CAL 20LL	CAL 22	CAL 22L
Pulgadas	mm	PESO POR TUBO A 6 MTS								
1/2 x 1	25.4X12.7		5.00	4.00	3.66	3.00	3.00	2.82	2.58	
	12X38			5.50				3.76	3.54	
	30x15	7.60	6.00							
	20X40	10.20	8.00	6.40	5.90	5.00	4.71	4.43	4.20	3.98
	25X40	11.10	9.00							
	30X40	12.50	9.70							
	30X50	14.00	11.20							
	50x40	15.80	12.50							
1 x 2	25.4X50.8	13.50	10.50	8.60	8.00	6.20	5.82	5.47	5.30	4.96
	60x30		12.50							
	60X40	17.60	13.80	11.30						
3 x 1 1/2	76.2X38.1	20.10	15.60	13.00	11.40	10.70	9.20	8.63		
	50X70	21.30								
	80X40	21.30								

Figura 20. Perfiles tubulares rectangulares de acero cold rolled disponibles.

A continuación se relaciona un ejemplo del cálculo que se realiza para la determinación del esfuerzo normal máximo y la deflexión presente en el punto medio de la longitud de la viga.

Magnitudes de parámetros utilizados:

Carga: 9.81 N aplicada en la mitad del claro de la viga

Longitud de la viga 1.0 m

Material: Aluminio

Módulo de Elasticidad: 70 GPa

Dimensiones de la sección transversal obtenidos de la figura 4.12

- Base: $b = 0.0254$ m
- Altura: $h = 0.0254$ m
- Espesor: $t = 0.0013$ m

Aplicando la ecuación del esfuerzo normal se tiene:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M \cdot C}{I} = \pm \left(b \frac{24.525L \cdot \frac{h}{2}}{12 \cdot h^3} - b \frac{h}{h^3} \right)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{24.525 \cdot 1 \cdot \frac{0.0254}{2}}{\frac{1}{12} (0.0254 \cdot 0.0254^3 - 0.0228 \cdot 0.0228^3)}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 25.6 \text{ MPa}$$

Aplicando la ecuación de deflexión se tiene:

$$v = \frac{P \cdot x}{48EI} (3L^2 - 4x^2)$$

Reemplazando los siguientes valores se obtiene la deflexión en el punto medio de la viga:

- $P = 98.1$ N,
- $I = \frac{1}{12} (b_{\text{externa}} \cdot h_{\text{externa}}^3 - b_{\text{interna}} \cdot h_{\text{interna}}^3)$
- $x = 0.5$ m
- $E = 70$ GPa

$$\delta = \frac{98.1 \cdot 0.5}{48 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} (0.0254 \cdot 0.0254^3 - 0.0228 \cdot 0.0228^3)} (3 \cdot 1^2 - 4 \cdot 0.5^2)$$

$$\delta = 2.3997 \cdot 10^{-3} m = 2.3997 mm$$

Los resultados obtenidos de 8 secciones transversales geométricas (4 cuadradas y 4 rectangulares) para cada material analizado (acero y aluminio) y al menos 4 longitudes diferentes se relacionan en la tabla 1.

Material	Dimensiones sección transversal (m)			Longitud (m)	Esfuerzo Normal (MPa)	Deflexión punto medio (mm)
	Base (b)	Altura (h)	Espesor (t)			
Acero Cold Rolled	0.0254	0.0254	0.0019	0.5	9.41	0.0772
				1.0	18.8	0.6176
				1.5	28.2	2.0843
				2.0	37.6	4.9407
	0.0254	0.0254	0.0012	0.5	13.7	0.1124
				1.0	27.4	0.8991
				1.5	41.1	3.0344
				2.0	54.8	7.1926
	0.0381	0.0381	0.0019	0.5	3.88	0.0212
				1.0	7.75	0.1696
				1.5	11.6	0.5724
				2.0	15.5	1.3568
	0.0381	0.0381	0.0012	0.5	5.81	0.0317
				1.0	11.6	0.2540
				1.5	17.4	0.8571
				2.0	23.2	2.0317
	0.04	0.025	0.0019	0.5	6.57	0.0547
				1.0	13.1	0.4378
				1.5	19.7	1.4776
				2.0	26.3	3.5025
0.04	0.025	0.0012	0.5	9.63	0.0803	
			1.0	19.3	0.6421	
			1.5	28.9	2.1671	
			2.0	38.5	5.1368	
0.0508	0.0254	0.0019	0.5	5.21	0.0427	
			1.0	10.4	0.3418	
			1.5	15.6	1.1534	
			2.0	20.8	2.7340	
0.0508	0.0254	0.0012	0.5	7.67	0.0629	
			1.0	15.3	0.5034	
			1.5	23.0	1.6991	
			2.0	30.7	4.0274	
Aluminio	0.0254	0.0254	0.0013	0.5	12.8	0.3000
				1.0	25.6	2.3997
				1.5	38.4	8.0991
				2.0	51.2	19.198
	0.0317	0.0317	0.0013	0.5	7.97	0.1496
				1.0	15.9	1.1969

				1.5	23.9	4.0396
				2.0	31.9	9.5753
	0.0381	0.0381	0.0014	0.5	5.06	0.0790
				1.0	10.1	0.6319
				1.5	15.2	2.1327
				2.0	20.2	5.0554
	0.0508	0.0508	0.0014	0.5	2.77	0.0324
				1.0	5.53	0.2593
				1.5	8.30	0.8751
				2.0	11.1	2.0742
	0.0635	0.0381	0.0017	0.5	2.80	0.0438
				1.0	5.60	0.3501
				1.5	8.40	1.1814
				2.0	11.2	2.8005
	0.065	0.025	0.002	0.5	4.08	0.0972
				1.0	8.16	0.7774
				1.5	12.2	2.6236
				2.0	16.3	6.2188
	0.0762	0.0381	0.0014	0.5	2.84	0.0444
				1.0	5.69	0.3554
				1.5	8.53	1.1996
				2.0	11.4	2.8435
	0.0762	0.0381	0.0016	0.5	2.52	0.0394
				1.0	5.05	0.3153
				1.5	7.57	1.0641
				2.0	10.1	2.5223

Tabla 1. Esfuerzos normales y deflexiones teóricas calculadas para dos materiales encontrados comercialmente

La tabla 1 corrobora los análisis realizados en la etapa de diseño conceptual, por lo cual y con base en las especificaciones requeridas por el solicitante del banco se decide fabricar la probeta en Aluminio de sección transversal tubular de base 0.0762m, altura 0.0381m, espesor 0.0014m y longitud 1.5m; la decisión se basa en el hecho de ser una condición donde las dimensiones del banco no son tan elevadas, se facilita la colocación del sistema para la aplicación de las cargas, la adhesión de las galgas extensiométricas y se presenta una deflexión significativa en el punto medio de la probeta. Adicionalmente está tabla descarta el uso de acero y secciones transversales tubulares con espesores mayores, ya que los esfuerzos y las deflexiones son de una magnitud mucho más baja, lo cual dificulta su cuantificación a través de los sistemas de medición que se piensan implementar.

El sistema de aplicación de la carga se fabricará de aluminio de sección transversal circular tubular, con el fin de que el área de contacto con el probeta sea lo más pequeña posible y pueda ser considerada como una carga puntual.

Adicionalmente se le soldará un disco de aluminio que transmita el peso aplicado al tubo circular, tal como se observa en la figura 21.

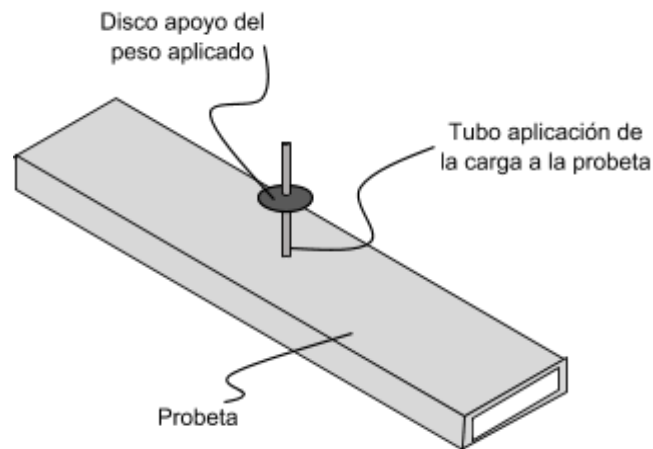


Figura 21. Esquema del sistema de aplicación de la carga sobre la probeta.

El sistema que se utiliza para cuantificar la deflexión que está soportando la probeta consta de un comparador de carátula ubicado en la base del banco, la cual constará de una lámina de acero para que permita el anclaje del soporte del comparador. Esta disposición facilita la ubicación del sistema de medición en cualquier punto a lo largo de la longitud de la probeta.

4.4 DISEÑO DETALLADO

Con base en la información suministrada en el diseño preliminar se procede a cuantificar de una manera exacta cada una de las dimensiones, sistemas de unión y proceso de ensamble de los componentes que conforman el equipo. Los planos detallados obtenidos del equipo se relacionan en el Anexo 1.

Probeta

De la tabla 1 se observa que una buena opción para la construcción de este componente es una sección tubular de aluminio con sección transversal tubular de base 0.0762m, altura 0.0381m, espesor 0.0014m y longitud 1.5m; estas condiciones facilitan la construcción de los componentes que se acoplan a la probeta (sistema de aplicación de la carga) y permiten adherir de una mejor manera las galgas extensiométricas sobre la superficie externa del tubo.

Sistema de Aplicación de la carga

El sistema consta de tubo de aluminio de sección transversal circular de diámetro exterior 12.7 mm y 1.5 mm de espesor; al cual se acopla a través de un proceso de soldadura un disco de aluminio para apoyar los pesos que serán utilizados con el fin de aplicar la carga a la probeta a ensayar. La disposición final de este sistema se puede observar en el anexo 1.

Con base en las dimensiones del sistema de aplicación de la carga y las magnitudes que se van a aplicar sobre la probeta se construyen unos pesos con la forma que se muestra en la figura 22..

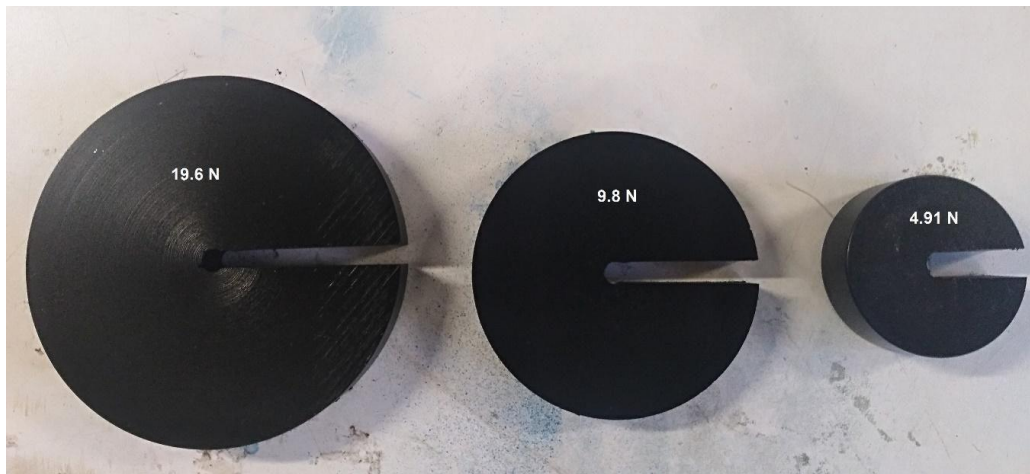


Figura 22. Pesos utilizados para generar las fuerzas transversales sobre la probeta

Estructura

La estructura es la encargada de dar soporte a todos los elementos que componen el equipo; su análisis de esfuerzos se realiza a través del software ANSYS, para lo cual se definió unas dimensiones exteriores de 1.5 X 0.6 X 0.3 m, que permiten contener todos los componentes del equipo, el material utilizado es acero AISI 1020 con una sección tubular cuadrada de 25.4 mm de lado y 1.6 mm de espesor, los resultados del análisis se observan en las figuras 23, 24, 25 y 26.

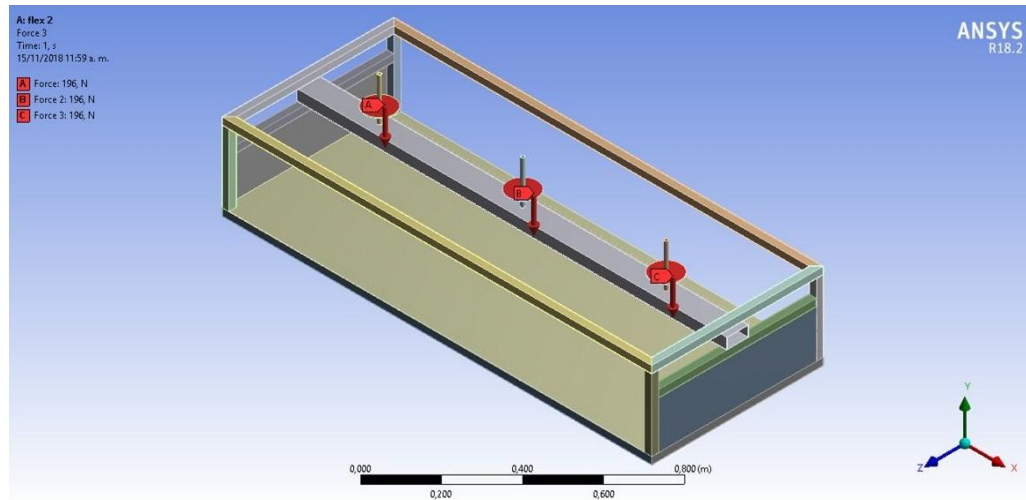


Figura 23. Cargas aplicadas al equipo para la simulación a través del software ANSYS.

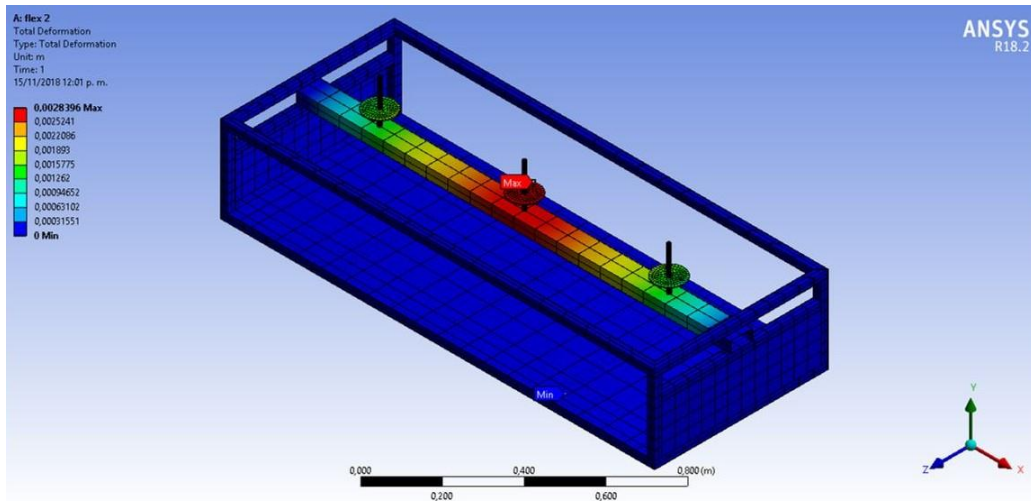


Figura 24. Deformaciones obtenidas sobre la estructura y la probeta a través del software ANSYS.

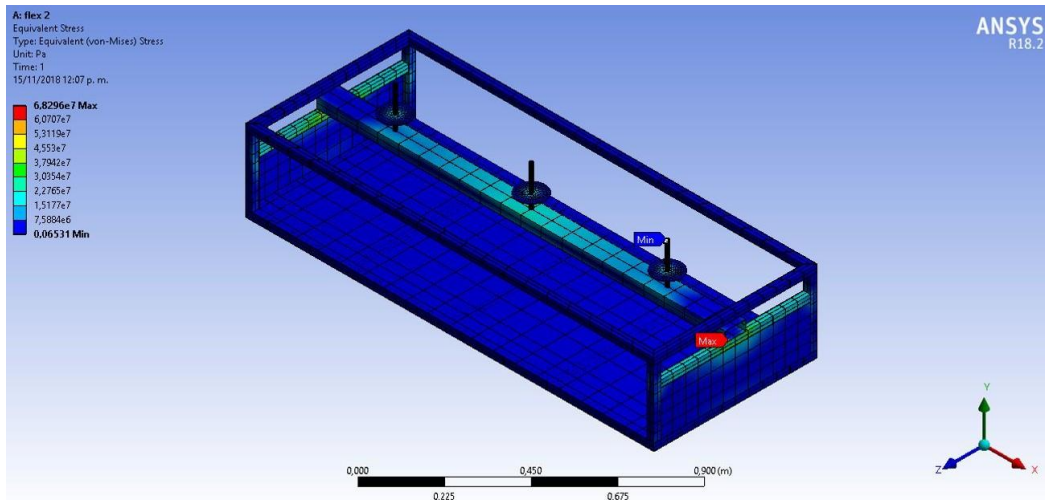


Figura 25. Esfuerzos normales sobre la estructura y la probeta obtenidos a través del software ANSYS.

La simulación realizada en Ansys arrojó como resultado que cuando se le aplican al sistema tres cargas puntuales de 196 N ubicadas a 25, 75 y 125 cm de los apoyos se origina una deformación máxima de 2.8396 mm en el punto medio de la longitud de la viga; el esfuerzo normal máximo se presente en uno de los apoyos de la probeta con una magnitud de 68.3 MPa y el factor de seguridad del equipo es de 3.66.

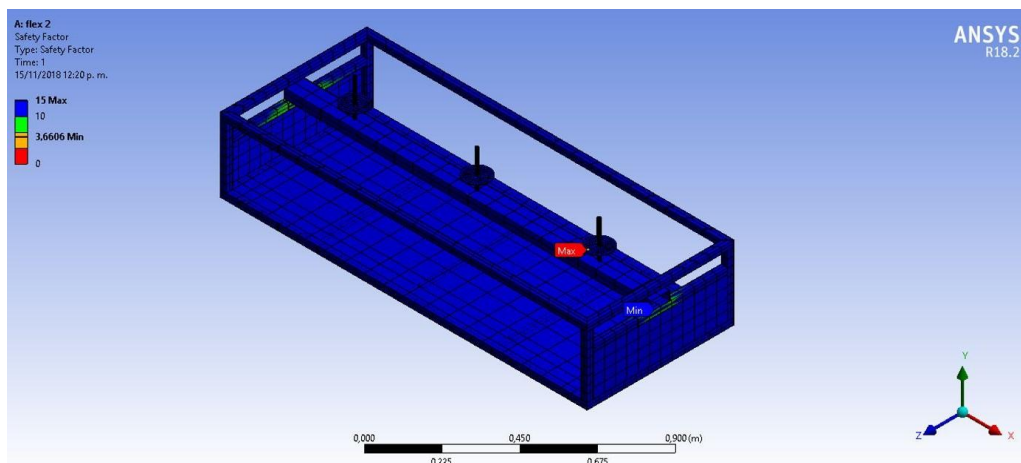


Figura 26. Factor de seguridad de la estructura y la probeta obtenidos a través del software ANSYS.

Sistema de medición de esfuerzo normal

Para determinar el esfuerzo normal que está soportando la probeta se implementa el uso de galgas extensiométricas adheridas a ella y a través de un puente de Wheatstone se cuantifica el cambio en la magnitud de la resistencia originado por la deformación presente en las mismas a razón del momento flector aplicado. Esta señal es leída mediante de un transductor que entrega una señal de voltaje, la cual a través de las ecuaciones que caracterizan el puente implementado permiten cuantificar la deformación que se está presentando en la galga.

Por facilidad de implementación se definió la utilización de galgas y transductores de la marca OMEGA Engineering, ya que en la institución se cuenta con equipos de esta casa matriz y ante requerimientos adicionales estos pueden ser utilizados. La galgas extensiométricas seleccionadas son las siguientes:

- KFH-6-120-C1-11L1M2R: Es un indicador de esfuerzo lineal, con una rejilla de 6 mm, utilizadas para el análisis de esfuerzos y propósitos generales, con una resistencia interna de 120 ohmios y 1 metro de longitud de cable. La configuración geométrica de esta galga se muestra en la figura 27.

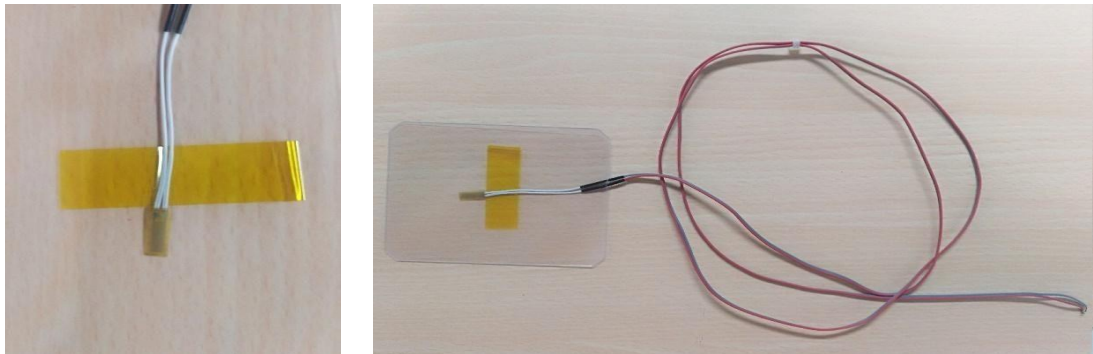


Figura 27. Galgas extensiométricas KFH-6-120-C1-11L1M2R.

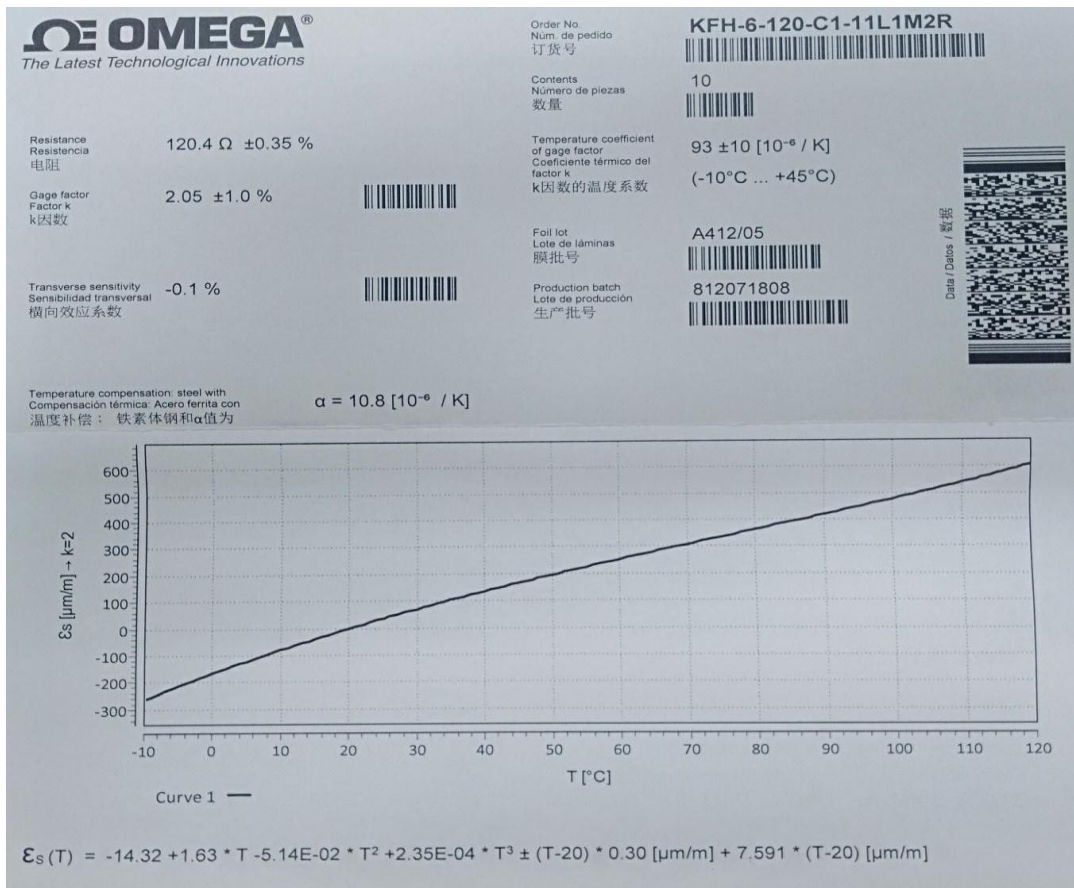


Figura 28. Especificaciones de Galgas KFH-6-120-C1-11L1M2R.

El puente de Wheatstone para la obtención de la deformación a través de la galga KFH-6-120-C1-11L1M2R será un montaje de $\frac{1}{4}$ de puente, ya que de las 4 resistencias que lo conforman solo una es variable; cuando el sensor no está sometido a ninguna acción externa su resistencia coincide con las demás del puente, de modo que el puente está equilibrado. Si la galga sufre una variación en su resistencia ΔR , la deformación para un $\frac{1}{4}$ de puente es:

$$\epsilon = \frac{1 \Delta R}{K R}$$

Donde K, es el factor de galga y tiene una magnitud de $2.05 \pm 1.0\%$, y R es la resistencia y tiene un valor de $120.4 \Omega \pm 0.35\%$.

Si el transductor entrega la señal en voltaje la ecuación de la deformación unitaria longitudinal se puede expresar en términos de este parámetro de la siguiente manera:

$$\epsilon = \frac{4 \cdot V_{vd}}{K \cdot V_a}$$

Donde V_a es el voltaje de alimentación del equipo y tiene un valor de 10 V y V_{vd} es el voltaje obtenido de la lectura de la galga.

El indicador utilizado para la lectura de las galgas es el DP-41B, el cual posee una precisión de hasta $\pm 0.005\%$ de lectura y hasta 142 lecturas por segundo; es extremadamente versátil y transmite una gran variedad de rangos de tensión y corriente CC, 9 tipos de termopares, múltiples RTD y señales desde los transductores del calibrador de tensión como celdas de carga y transductores de presión, así como entradas potenciométricas.

5. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

Con base en la información obtenida del proceso de diseño se dio inicio al proceso de fabricación del equipo, para lo cual se utilizó las instalaciones del laboratorio de procesos mecánicos de la Universidad Pontificia Bolivariana. El primer paso consistió en la construcción de la estructura base del equipo, para lo cual se adquirió el material en el centro de Bucaramanga, se procedió a su corte y ensamble a través de un proceso de soldadura con arco eléctrico. Las láminas utilizadas para cubrir el piso y la lateral donde se coloca la probeta también fueron ensambladas durante este primer paso a través de un proceso de soldadura. El resultado de esta etapa se puede observar en la figura 29.

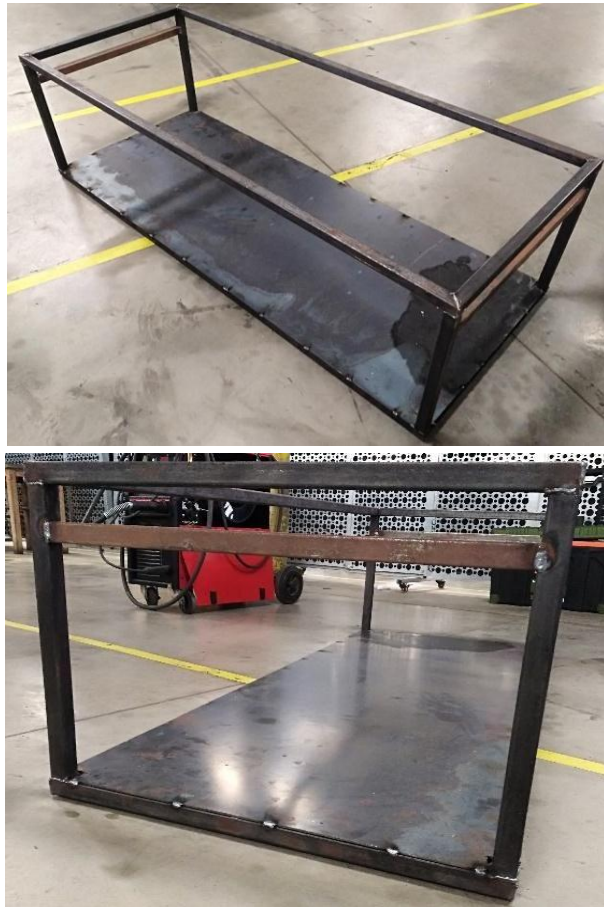


Figura 29. Ensamble de la estructura y la lámina de la base del equipo.

Para cumplir con la especificación dada por el solicitante del equipo con respecto a la durabilidad del sistema se procedió a realizar la pintura de la estructura con una laca base que lo protege de la oxidación y una laca externa azul que le da un mejor acabado superficial, tal como se observa en la figura 30.



Figura 30. Resultado final del proceso de protección y pintura de la estructura.

La segunda etapa de la construcción consistió en la fabricación de la probeta y la verificación del sistema de apoyo de la misma sobre la estructura; la probeta fue cortada de un tubo rectangular estándar de aluminio comprado en una ferretería de la ciudad, el sistema de apoyo por ser vigas simplemente apoyadas consiste en sobreponer la viga a la estructura, tal como se observa en la figura 31.

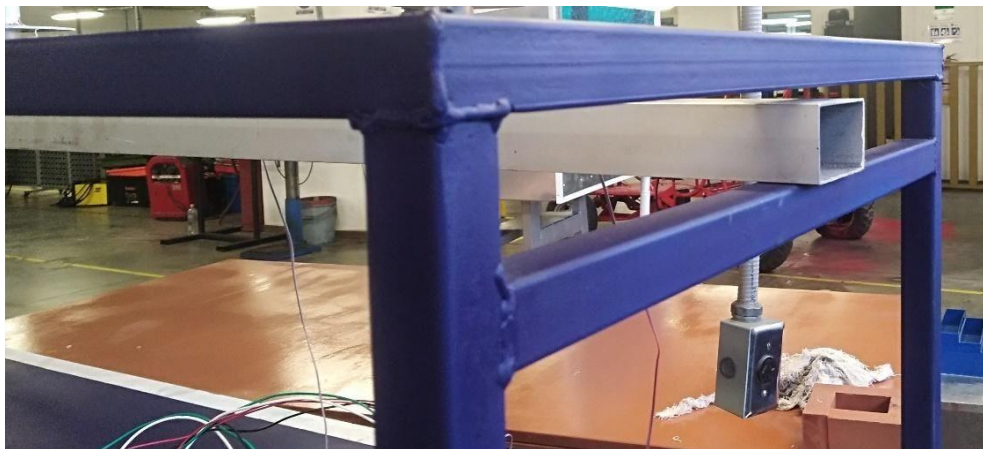


Figura 31. Resultado final de la fabricación de la probeta y su apoyo sobre la estructura.

El tercer paso consistió en la fabricación del sistema de aplicación de carga para lo que se adquirió un tubo de aluminio de sección transversal circular de diámetro exterior 12.7 mm y 1.5 mm de espesor; al cual se acopla a través de un proceso de soldadura un disco de aluminio para apoyar los pesos que serán utilizados con el fin de aplicar la carga a la probeta a ensayar. Todo este sistema se acopla a la probeta a través de un proceso de soldadura por arco eléctrico; los resultados obtenidos del proceso se pueden observar en la figura 32.

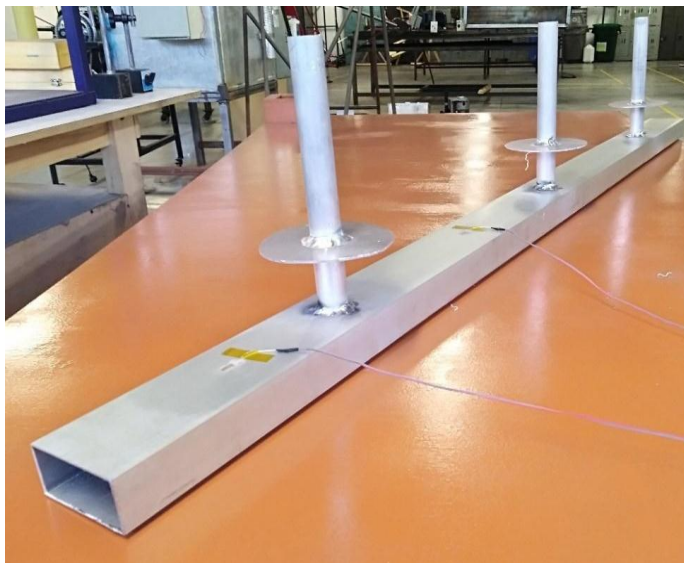


Figura 32. Resultado final de la fabricación del sistema de aplicación de carga.

El sistema de medición del desplazamiento vertical se realiza a través del uso de un comparador de carátula con base magnética, de la marca Mitutoyo, el cual posee una resolución de 0.01 mm, tal como se observa en la figura 33.



Figura 33. Comparador de caratula utilizado para medir el desplazamiento vertical de la probeta.

Por último se procedió a la fabricación del sistema de medición de deformaciones, Se adquirió en un centro comercial de la ciudad trimmer de 500 ohmios, baquelitas universales, cable 20 AWG y cajas plásticas para proteger el puente de Wheatstone; posteriormente se realizaron los primeros montajes del sistema mediante la utilización de un protoboard con el fin de observar su comportamiento, tal como se observa en la figura 34.

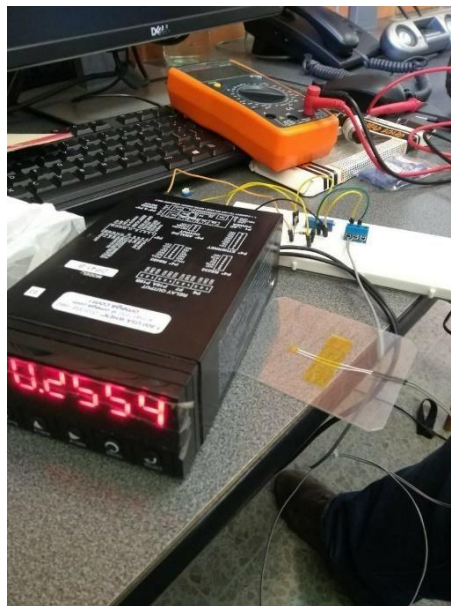


Figura 34. Montaje inicial del sistema de medición de deformaciones en un protoboard.

Después de verificar el correcto funcionamiento del sistema se procede a reproducir sobre las baquelitas el montaje realizado en el protoboard, como se observa en la figura 35.

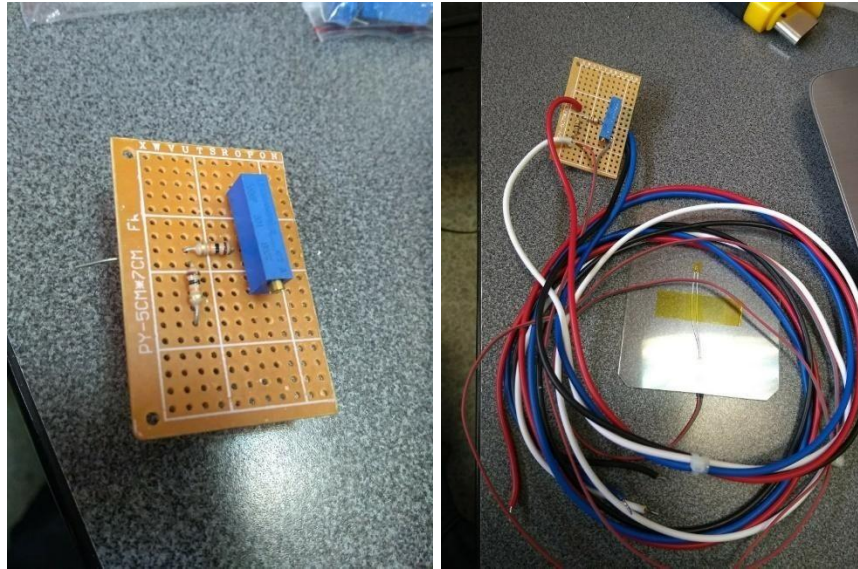


Figura 35. Montaje del sistema de medición sobre las baquelitas.

Y por último se adapta este montaje al indicador DP-41B. El ensamble de todo el sistema construido se relaciona en la figura 36.

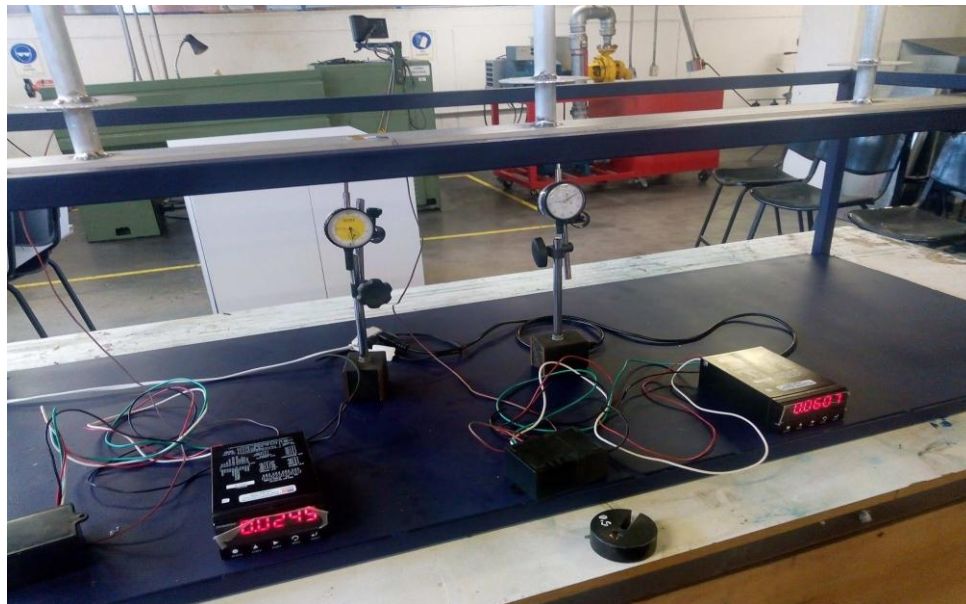


Figura 36. Montaje final del sistema de medición de esfuerzos y deflexiones sobre probetas sometidas a fuerzas transversales puntuales.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 CÁLCULOS TEÓRICOS

De acuerdo con las ecuaciones previamente mostradas en capítulos anteriores, hay ciertas cantidades que deben ser calculadas tales como área transversal de la viga y momento de inercia.

Entre las consideraciones se tiene que la temperatura y la humedad no varían y se encuentran a condiciones normales de laboratorio, no se tiene en cuenta peso de la viga y el ruido producido por las demás máquinas del laboratorio tampoco se considerarán relevantes.

Se tendrán en cuenta los puntos de análisis en los cuales se han ubicado las galgas extensiométricas y los comparadores de carátula, luego se obtendrá el porcentaje de error o grado de diferencia entre los datos experimentales contra los teóricos.

En este caso, la figura muestra a los puntos *C* y *D* sobre los cuales se han ubicado galgas extensiométricas y debajo en los puntos *D* y *E* se ubicaron los comparadores de carátula a las distancias mostradas:

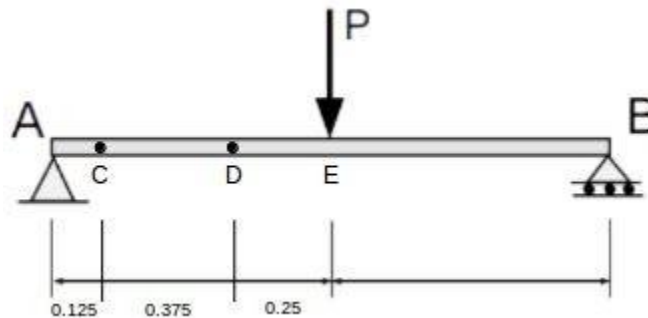


Figura 37. Puntos de análisis en la viga (distancias en metros).

Configuraciones de cargas en la viga:

Se hace el experimento con 3 tipos de configuraciones, con una carga variable en el medio (a), con una carga fija en el medio y una variable a una distancia dada (b) y con dos cargas fijas y una variable (c).

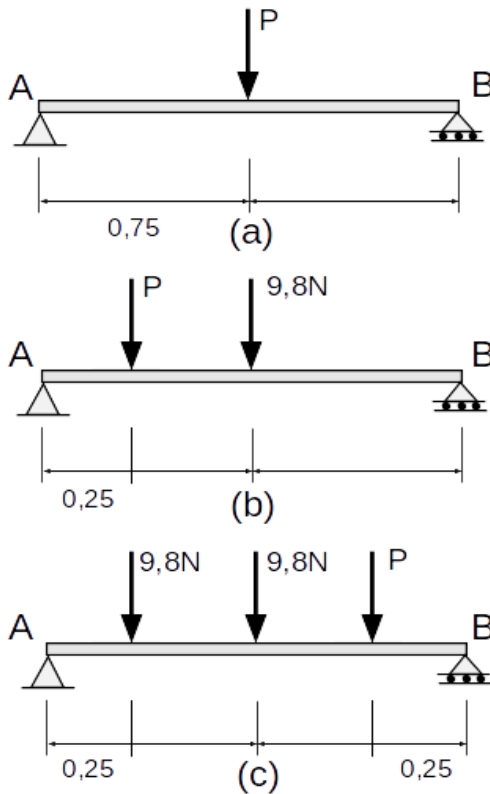


Figura 38. Configuraciones de carga.

Momento de Inercia

La figura muestra las dimensiones de la sección transversal de la viga de aluminio sometida a carga.

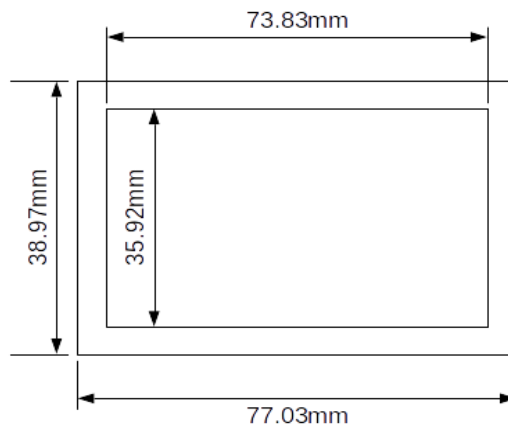


Figura 39. Dimensiones de la sección transversal.

Para una viga de sección rectangular se obtiene la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1}{12} [BH^3 - bh^3]$$

Reemplazando se obtiene:

$$I = \frac{1}{12} [77,03 \cdot 38,97^3 - 73,83 \cdot 35,92^3] = 94758,89 \text{ mm}^4$$

$$I = 9,4759 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

Esfuerzo y deformación

En el cálculo del esfuerzo y la deformación de la viga se analizará el efecto de las cargas según la configuración previamente mostrada en la figura.

1. Configuración de cargas tipo (a), con una carga variable en el medio.

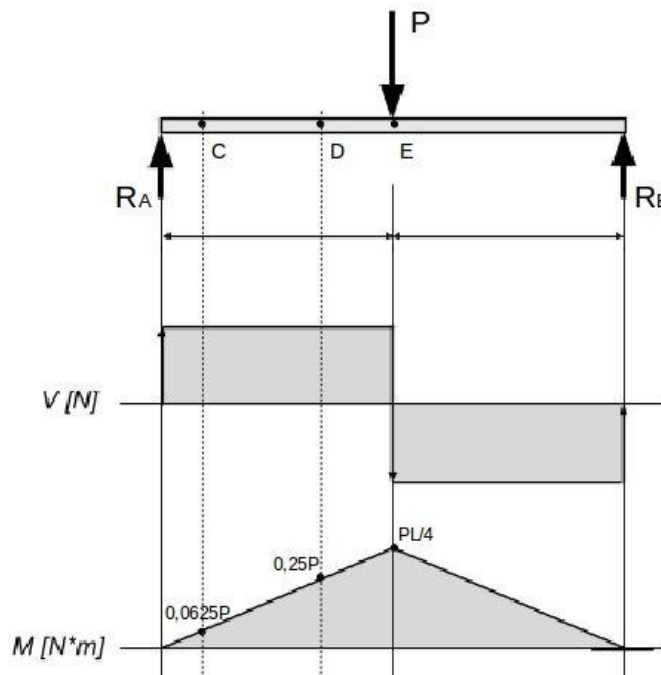


Figura 40. Diagrama de cuerpo libre, cortante y momento flector configuración (a).

Estática

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$R_A + R_B = P$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_A = 0$$

$$(-P) * 0,75 + R_B * 1,5 = 0$$

$$R_A = \frac{P}{2}; R_B = \frac{P}{2}$$

Para el cálculo de esfuerzo normal en un punto cualquiera de la viga, se tiene la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{M C}{I};$$

Para un valor de $P = 29,43N$ se calcula el valor de los momentos en los puntos C y D donde se pretende analizar los esfuerzos;

Siendo c la distancia del eje neutro,

$$C = 19,525mm \rightarrow 0,019525m$$

En función de P se tienen las ecuaciones de momento:

$$\begin{aligned} M_C &= 0,0625 P \\ M_D &= 0,25 P \end{aligned}$$

Se obtiene que:

$$\begin{aligned} \sigma_C &= \frac{0,0625 \cdot 29,43 \cdot 0,019525}{9,4759 \cdot 10^{-8}} = 0,379 \text{ kPa} \\ \sigma_D &= \frac{0,25 \cdot 29,43 \cdot 0,019525}{9,4759 \cdot 10^{-8}} = 1,516 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Para el cálculo de la deflexión en viga simplemente apoyada con carga en el punto medio, se tienen las siguientes ecuaciones de curvatura elástica según tablas:

$$\begin{aligned} v_D &= \frac{P x}{48EI} (3L^2 - 4x^2) \\ \delta_E &= \frac{PL^3}{48EI} \end{aligned}$$

Nuevamente para el mismo valor de $P = 29,43N$;

$$\begin{aligned} v_D &= \frac{29,43 \cdot 0,5}{48 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 9,476 \cdot 10^{-8}} (3 \cdot 1,5^2 - 4 \cdot 0,5^2) = 2,657 \cdot 10^{-4} m \\ \delta_E &= \frac{29,43 \cdot 1,5^3}{48 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 9,476 \cdot 10^{-8}} = 3,120 \cdot 10^{-4} m \end{aligned}$$

Para distintos valores de P en el punto medio (punto E), se obtiene la siguiente tabla:

carga P [N]	Momento máx [N.m]	Esfuerzo máx [Pa]	Deflexión máx [m]
4.9	1.8375	3.786E+05	5.194E-05
9.8	3.675	7.572E+05	1.039E-04
19.6	7.35	1.514E+06	2.078E-04
29.4	11.025	2.272E+06	3.116E-04

Tabla 2. Resultados de momento, esfuerzo y deflexión máxima configuración (a).

Para los puntos C y D, sobre los cuales se encuentran ubicados también las galgas extensométricas y los comparadores de carátula, se obtienen las siguientes tablas para distintos valores de P:

carga P [N]	Momento en C [N.m]	Esfuerzo en C [Pa]	Deflexión en C [m]
4.9	0.30625	6.310E+04	1.033E-05
9.8	0.6125	1.262E+05	2.065E-05
19.6	1.225	2.524E+05	4.131E-05
29.4	1.8375	3.786E+05	6.196E-05

Tabla 3. Resultados de momento, esfuerzo y deflexión en C configuración (a).

carga P [N]	Momento en D [N.m]	Esfuerzo en D [Pa]	Deflexión en D [m]
4.9	1.225	2.524E+05	3.761E-05
9.8	2.45	5.048E+05	7.523E-05
19.6	4.9	1.010E+06	1.505E-04
29.4	7.35	1.514E+06	2.257E-04

Tabla 4 Resultados de momento, esfuerzo y deflexión en D configuración (a).

Teniendo en cuenta el peso de la viga:

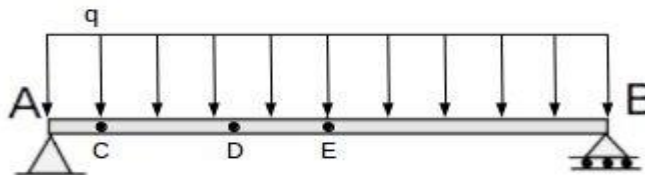


Figura 41. Carga distribuida producida por el peso de la viga.

W de la viga es 1638g;

$$W = m \cdot g = 1638 \text{ g} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 16,05 \text{ kN}$$

$$q = \frac{W}{L} = \frac{16,05 \text{ kN}}{1,5 \text{ m}} = 10,70 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Calculando la deflexión producida por el peso de la viga según la tabla de deflexiones es:

$$\delta_{max} = \frac{5qL^4}{384EI}; \text{ para el punto medio}$$

$$v = \frac{qx}{24EI}(L^3 - 2Lx^2 + x^3); \text{ para cualquier punto}$$

Reemplazando y tomando en cuenta los puntos *D* y *E*, se tiene que:

$$\delta_E = \frac{5 \cdot 10,70 \cdot 1,5^4}{384 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 9,476 \cdot 10^{-8}} = 1,063 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$v_D = \frac{10,70 \cdot 0,5}{24 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 9,476 \cdot 10^{-8}} (1,5^3 - 2 \cdot 1,50 \cdot 0,5^2 + 0,5^3) = 9,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Tomando los resultados obtenidos para las deflexiones en los puntos *D* y *E* sin tener en cuenta el peso de la viga y sumándole la deflexión producto del peso de la misma, tenemos que:



Figura 42. Suma de las deflexiones producidas por carga puntual y peso de la viga.

carga P [N]	Deflexión máx E + W viga [m]	Deflexión en D + W viga [m]
4.9	1.582E-04	1.301E-04
9.8	2.102E-04	1.677E-04
19.6	3.141E-04	2.430E-04
29.4	4.179E-04	3.182E-04



Tabla 5. Deflexión máxima y en punto D teniendo en cuenta peso de la viga y gráfica de carga vs deflexión para ambos puntos.

La deflexión muestra una relación lineal con la carga, significa que el valor de la deflexión aumenta con el valor de la carga aplicada y disminuye con la disminución del valor de la carga aplicada.

La tensión de flexión experimental muestra una relación lineal con la carga significa que el valor de la tensión de flexión experimental aumenta con el aumento del valor de la carga aplicada y disminuye con la disminución del valor de carga aplicada. La relación con la que hay un aumento y una disminución en el valor de las tensiones de flexión experimentales es igual a la relación con la que hay un aumento y una disminución en el valor de la carga aplicada.

2. Configuración de cargas tipo (b), con una carga fija en el medio y una variable a una distancia dada.

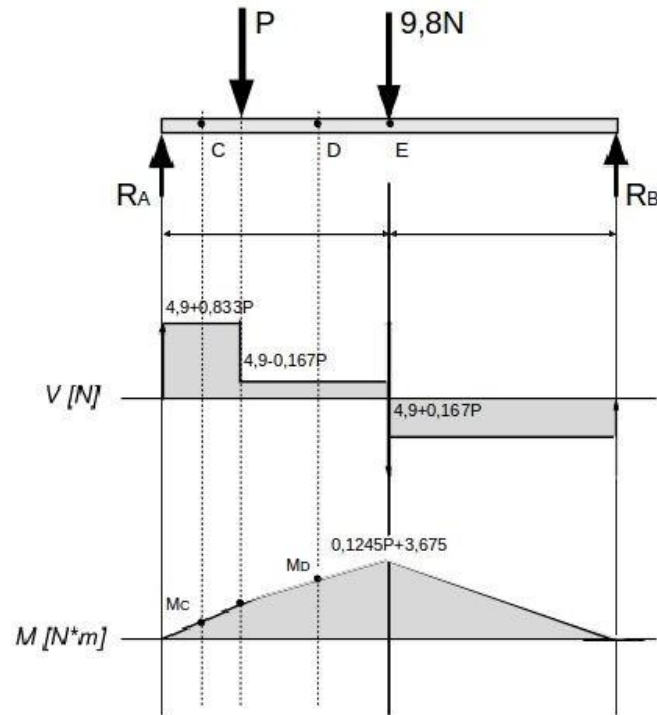


Figura 43. Diagrama de cuerpo libre, cortante y momento flector configuración (b).

Estática

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$R_A - P - 9,8 + R_B = 0$$

$$R_A + R_B = P + 9,8$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_A = 0$$

$$(-P) \cdot 0,25 - 9,8 \cdot 0,75 + R_B \cdot 1,5 = 0$$

$$R_A = 0,833P + 4,9 ; R_B = 0,167P + 4,9$$

En función de P tenemos indicado los momentos:

$$M_C = 0,104P + 0,6125$$

$$M_D = 0,166P + 2,45$$

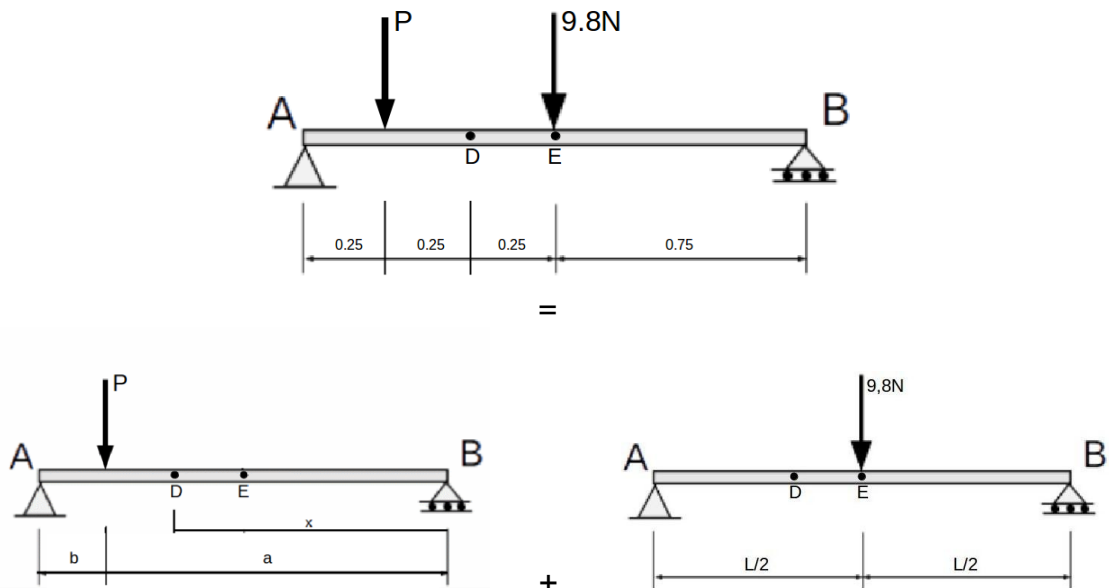


Figura 44. Deflexiones producidas individualmente por las cargas.

La deflexión total en la viga es igual a la suma de la deflexión producida por cada carga individualmente, en este caso se analiza primero en el punto D .

$$v_D = \frac{Pbx}{6LEI} (L^2 - b^2 - x^2) + \frac{9.8x}{48EI} (3L^2 - 4x^2)$$

Reemplazando tenemos:

$$+ \downarrow v_D = \frac{P \cdot 0.25 \cdot 1.0}{6 \cdot 1.5 \cdot EI} (1.5^2 - 0.25^2 - 1^2) + \frac{9.8 \cdot 0.5}{48 \cdot EI} (3 \cdot 1.5^2 - 4 \cdot 0.5^2)$$

$$+ \downarrow v_D = \frac{0.032986P}{EI} + \frac{0.58698}{EI}$$

Luego para E en donde la deflexión es la máxima se tiene que:

$$\delta_E = \frac{Pbx}{6LEI} (L^2 - b^2 - x^2) + \frac{9.8L^3}{48EI}$$

$$+ \downarrow \delta_E = \frac{(P \cdot 0.25 \cdot 0.75)}{(6 \cdot 1.5 \cdot EI)} (1.5^2 - 0.25^2 - 0.75^2) + \frac{(9.8 \cdot 1.5^3)}{(48 \cdot EI)}$$

$$+ \downarrow \delta_E = \frac{0.033854P}{EI} + \frac{0.68906}{EI}$$

Para las diferentes cargas a analizar durante el experimento, se reemplazan sus valores en P para la ecuación y se obtiene la siguiente tabla:

Carga P [N]	Momento D [N.m]	Esfuerzo D [pa]	Deflexion D [M]	Deflexion E [M]	Momento E [N.m]	Esfuerzo E [pa]
4.9	3.2634	6.72E+05	1.13E-04	1.29E-04	4.285	8.83E+05
9.8	4.0768	8.40E+05	1.37E-04	1.54E-04	4.895	1.01E+06
19.6	5.7036	1.18E+06	1.86E-04	2.04E-04	6.115	1.26E+06
29.4	7.3304	1.51E+06	2.35E-04	2.54E-04	7.335	1.51E+06

Tabla 6. Resultados de momento, esfuerzo y deflexión en los puntos D y E configuración de carga (b).

Carga [N]	Deflexion E + W viga [m]	Deflexion D + W viga [m]
4.9	2.35E-04	2.05E-04
9.8	2.60E-04	2.30E-04
19.6	3.10E-04	2.78E-04
29.4	3.60E-04	3.27E-04



Tabla 7. Deflexión en E y D con peso de la viga y Gráfica carga vs deflexión.

3. Configuración de cargas tipo (c), con dos cargas fijas y una variable.

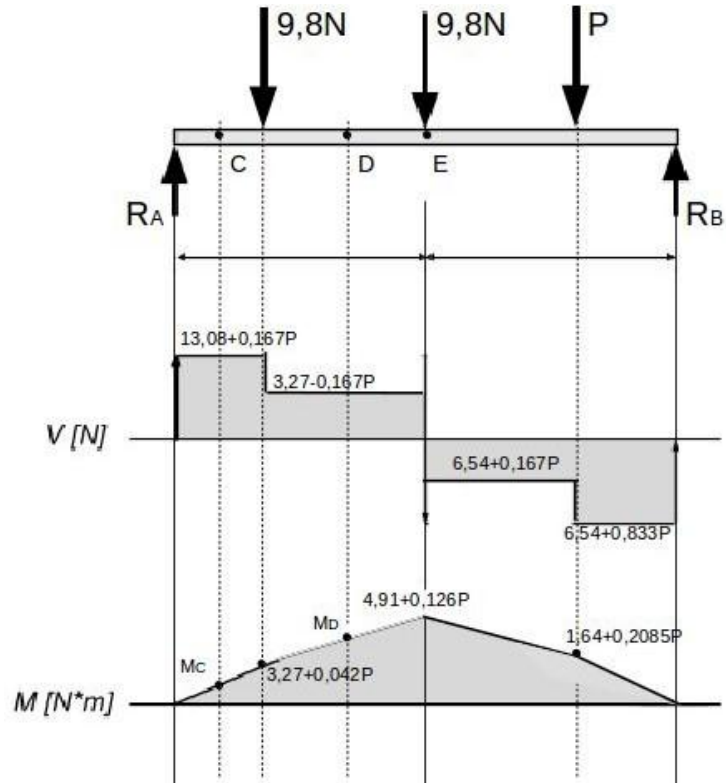


Figura 45. Diagrama de cuerpo libre, cortante y momento flector configuración (c).

Estática

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$R_A - 9,81 - 9,81 - P + 6,54 + 0,833P = 0$$

$$R_A = 13,08 + 0,167P$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_A = 0$$

$$-9,81 \cdot 0,25 - 9,81 \cdot 0,75 - P \cdot 1,25 + R_B \cdot 1,5 = 0$$

$$-2,453 - 7,358 - 1,25P + 1,5R_B = 0$$

$$1,5R_B = 9,811 + 1,25P$$

$$R_B = 6,54 + 0,833P$$

Obtenemos los momentos:

$$M_C = 1,635 + 0,020875P$$

$$M_D = 4,0875 + 0,08375P$$

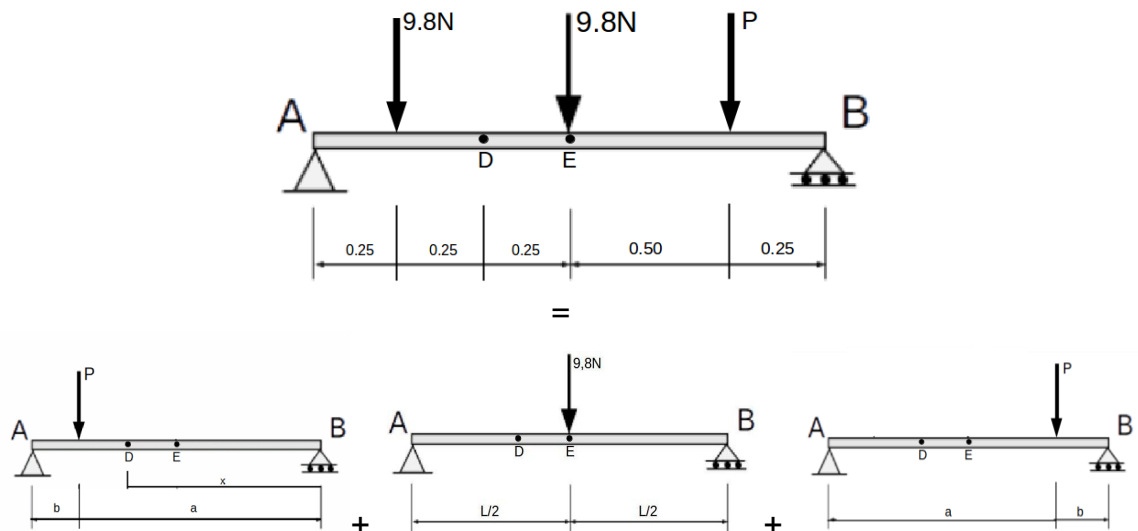


Figura. 46. Deflexiones producidas individualmente por las cargas.

La deflexión total en la viga es igual a la suma de la deflexión producida por cada carga individualmente, en este caso se analiza primero en el punto D .

$$v_D = \frac{9.8bx}{6LEI}(L^2 - b^2 - x^2) + \frac{9.8x}{48EI}(3L^2 - 4x^2) + \frac{Pbx}{6LEI}(L^2 - b^2 - x^2)$$

Reemplazando se obtiene que:

$$+ \downarrow v_D = \frac{(9.81 \cdot 0.25 \cdot 1.0)}{(6 \cdot 1.5 \cdot EI)}(1.5^2 - 0.25^2 - 1.0^2) + \frac{(9.81 \cdot 0.5)}{(48EI)}(3 \cdot 1.5^2 - 4 \cdot 0.5^2) + \frac{(P \cdot 0.25 \cdot 0.5)}{(6 \cdot 1.5 \cdot EI)}(1.5^2 - 0.25^2 - 0.5^2)$$

$$v_D = \frac{0.3236}{(EI)} + \frac{0.5876}{(EI)} + \frac{0.0269P}{(EI)}$$

$$v_D = \frac{0.9112}{(EI)} + \frac{0.0269P}{(EI)}$$

Luego para E en donde la deflexión es la máxima se tiene que:

$$\delta_E = \frac{9.8bx}{6LEI}(L^2 - b^2 - x^2) + \frac{9.8L^3}{48EI} + \frac{Pbx}{6LEI}(L^2 - b^2 - x^2)$$

$$\downarrow + \delta_E = \frac{(9.81 \cdot 0.25 \cdot 0.75)}{(6 \cdot 1.5 \cdot EI)}(1.5^2 - 0.25^2 - 0.75^2) + \frac{(9.81 \cdot 1.5^3)}{(48 \cdot EI)} + \frac{(P \cdot 0.25 \cdot 0.75)}{(6 \cdot 1.5 \cdot EI)}(1.5^2 - 0.25^2 - 0.75^2)$$

$$\delta_E = \frac{0.3321}{(EI)} + \frac{0.6898}{(EI)} + \frac{0.0339P}{(EI)}$$

$$\delta_E = \frac{1.022}{(EI)} + \frac{0.339P}{(EI)}$$

Carga P [N]	Momento D [N.m]	Esfuerzo D [pa]	Deflexion D [M]	Deflexion E [M]	Momento E [N.m]	Esfuerzo E [pa]
4.9	4.4978	9.27E+05	1.57E-04	1.79E-04	5.5274	1.14E+06
9.8	4.9082	1.01E+06	1.77E-04	2.04E-04	6.1448	1.27E+06
19.6	5.729	1.18E+06	2.16E-04	2.54E-04	7.3796	1.52E+06
29.4	6.5497	1.35E+06	2.56E-04	3.04E-04	8.6144	1.77E+06

Tabla 8. Resultados de momento, esfuerzo y deflexión en los puntos D y E configuración de carga (c).

6.2 DATOS EXPERIMENTALES

Configuración de carga (a)

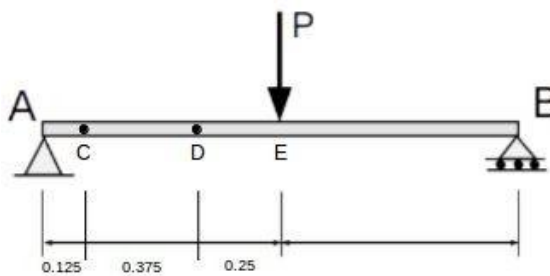


Figura 47. Esquema de configuración de carga (a).

Para la primera configuración luego de realizar las pruebas en el laboratorio, se obtuvo la siguiente tabulación de datos experimentales:

Carga P	Dato galga en C	Dato galga en D	Lectura comparador en D	Lectura comparador en E
4,9	2,80E-06	1,01E-05	5,35E-05	6,85E-05
9,8	3,20E-06	1,86E-05	1,00E-04	1,41E-04
19,6	9,10E-06	3,78E-05	2,45E-04	3,00E-04
29,4	1,08E-05	5,45E-05	3,49E-04	4,20E-04

Tabla 9. Resultados de las pruebas de laboratorio configuración de carga (a).

Configuración de carga (b)

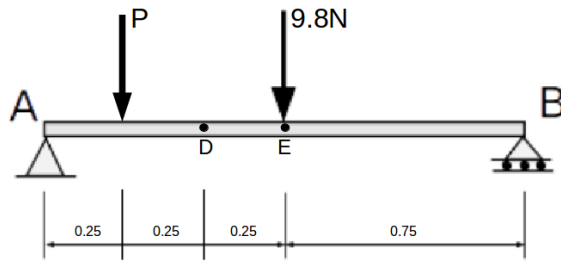


Figura 48. Esquema de configuración de carga (b).

Carga P	Dato galga en C	Dato galga en D	Lectura comparador en D	Lectura comparador en E
4,9	2,80E-06	6,30E-06	1,39E-04	1,91E-04
9,8	5,50E-06	1,08E-05	1,67E-04	2,20E-04
19,6	1,11E-05	2,39E-05	2,51E-04	3,10E-04

Tabla 10. Resultados de las pruebas de laboratorio configuración de carga (b).

Configuración de carga (c)

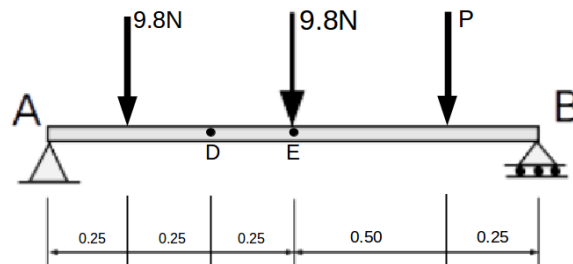


Figura 49. Esquema de configuración de carga (c).

Carga P	Dato galga en C	Dato galga en D	Lectura comparador en D	Lectura comparador en E
4,9	2,80E-06	6,30E-06	1,39E-04	1,91E-04
9,8	5,50E-06	1,08E-05	1,67E-04	2,20E-04
19,6	1,11E-05	2,39E-05	2,51E-04	3,10E-04

Tabla 11. Resultados de las pruebas de laboratorio configuración de carga (c).

6.3 DATOS EXPERIMENTALES VS TEÓRICOS

De los datos experimentales junto con los valores teóricos calculados anteriormente, se obtiene el margen de aproximación a la realidad del comportamiento de la viga sometida a flexión.

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}}{\text{Valor Teórico}}$$

Configuración de carga (a)

Deflexión

Carga P [N]	Deflexión teórica D[m]	Deflexión experimental D[m]	Error
4.9	3.76E-05	5.35E-05	42.00%
9.8	7.52E-05	1.00E-04	32.90%
19.6	1.50E-04	2.45E-04	63.30%
29.4	2.27E-04	3.49E-04	53.70%

Tabla 12. Porcentaje de error deflexión teórica Vs experimental.

Carga P [N]	Deflexión teórica D + W[m]	Error con W viga
4.9	1.30E-04	58.88%
9.8	1.68E-04	40.37%
19.6	2.43E-04	1.03%
29.4	3.20E-04	9.23%

Tabla 13. Porcentaje de error en la deflexión teniendo en cuenta el peso de la viga.

Esfuerzo

Carga [N]	Esfuerzo teórico E [Pa]	Esfuerzo experimental E [Pa]	Error
0.5	2.52E+05	1.38E+05	45.32%
9.8	5.05E+05	2.54E+05	49.68%
19.6	1.01E+06	5.16E+05	48.91%
29.4	1.51E+06	7.44E+05	50.86%

Tabla 14. Porcentaje de error del esfuerzo máximo.

Carga [N]	Esfuerzo teórico C [Pa]	Esfuerzo experimental C [Pa]	Error
0.5	6.31E+04	3.82E+04	39.46%
9.8	1.26E+05	4.23E+04	66.43%
19.6	2.52E+05	1.24E+05	50.79%
29.4	3.78E+05	1.48E+05	60.98%

Tabla 15. Porcentaje de error del esfuerzo en el punto C.

Configuración de carga (b)

Deflexión

Carga P [N]	Deflexión teórica D[m]	Deflexión experimental D[m]	Error
4.9	1.13E-04	1.39E-04	23.16%
9.8	1.37E-04	1.67E-04	21.70%
19.6	1.86E-04	2.51E-04	34.98%

Tabla 16. Porcentaje de error deflexión teórica Vs experimental en D.

Carga P [N]	Deflexión teórica E[m]	Deflexión experimental E[m]	Error
4.9	1.29E-04	1.91E-04	48.19%
9.8	1.54E-04	2.20E-04	42.95%
19.6	2.04E-04	3.10E-04	52.03%

Tabla 17. Porcentaje de error deflexión máxima teórica Vs experimental.

Esfuerzo

Carga P [N]	Esfuerzo teórico C [Pa]	Esfuerzo experimental C [Pa]	Error
4.9	2.31E+05	3.82E+04	83.48%
9.8	3.36E+05	7.51E+04	77.65%
19.6	5.46E+05	1.52E+05	72.16%

Tabla 18. Porcentaje de error del esfuerzo en C.

Carga P [N]	Esfuerzo teórico D [Pa]	Esfuerzo experimental D [Pa]	Error
4.9	6.72E+05	8.60E+04	87.20%
9.8	8.40E+05	1.48E+05	82.38%
19.6	1.17E+06	3.26E+05	72.14%

Tabla 19. Porcentaje de error del esfuerzo en D.

Configuración de carga (c)

Deflexión

Carga P [N]	Deflexión teórica D [m]	Deflexión experimental D [m]	Error
4.9	1.57E-04	2.50E-05	84.08%
9.8	1.77E-04	5.35E-05	69.77%
19.6	2.16E-04	1.08E-04	50.00%

Tabla 20. Porcentaje de error deflexión teórica Vs experimental en D.

Carga P [N]	Deflexión teórica E [m]	Deflexión experimental E [m]	Error
4.9	1.79E-04	2.72E-04	51.96%
9.8	2.04E-04	3.06E-04	50.00%
19.6	2.54E-04	3.85E-04	51.57%

Tabla 21. Porcentaje de error deflexión máxima teórica Vs experimental.

Esfuerzo

Carga P [N]	Esfuerzo teórico C [Pa]	Esfuerzo experimental C [Pa]	Error
4.9	3.58E+05	1.23E+04	96.56%
9.8	3.79E+05	2.60E+04	93.14%
19.6	4.21E+05	3.82E+04	90.93%

Tabla 22. Porcentaje de error del esfuerzo en C.

Carga P [N]	Esfuerzo teórico D [Pa]	Esfuerzo experimental D [Pa]	Error
4.9	9.26E+05	4.92E+04	94.69%
9.8	1.01E+06	9.15E+04	90.95%
19.6	1.18E+06	1.64E+05	86.10%

Tabla 23. Porcentaje de error del esfuerzo en D.

7. GUÍA DE LABORATORIO

ENSAYO PARA MEDIR ESFUERZOS Y DEFLEXIONES EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS, MEDIANTE EL USO DE COMPARADORES DE CARÁTULA Y GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

OBJETIVO GENERAL

Determinar los esfuerzos normales y las deflexiones sobre una viga, cuando se encuentra sometida a cargas transversales puntuales, mediante el uso de comparadores de carátula y galgas extensiométricas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar experimentalmente los esfuerzos normales y las deflexiones presentes en una viga sometida a cargas puntuales y comparar los resultados con los datos calculados teóricamente.
- ✓ Analizar el comportamiento de una viga cuando se somete a esfuerzos de flexión, mediante la aplicación de cargas puntuales.
- ✓ implementar y conocer el uso de galgas extensiométricas y comparadores de carátula para la toma de datos en el laboratorio de resistencia de materiales.

DEFINICIONES

La flexión en elementos mecánicos es originada por momentos flectores puntuales o cargas transversales. Si es originada por momentos flectores está solo origina un esfuerzo normal y si es originada por cargas transversales esta origina un esfuerzo normal y un esfuerzo cortante. El esfuerzo más relevante es el esfuerzo normal ya que este origina un cambio en la longitud pero este por lo general no se cuantifica, por lo que la deflexión que tiene un desplazamiento desde su posición inicial a su posición final con respecto al eje longitudinal es de relevancia y el término a determinar.

Los elementos deben aguantar su propio peso además de otras cargas que según su posición generan diferentes esfuerzos. Una fuerza sobre una viga tiende a deformarla, la deformación dependerá del sentido, la dirección de aplicación de esta fuerza. Los esfuerzos son las fuerzas internas que siente una viga al aplicarle una carga para no ser deformada.

Deformación: cambio de dimensiones de una probeta debido a esfuerzos.

Esfuerzo: fuerza interna por unidad de área que soporta una probeta al aplicar una carga.

Centroide y momento de inercia: se calculan dependiendo de la forma de la viga.

Comparador de carátula: instrumento de medición el cual amplifica una pequeña variación, este instrumento no entrega valores de medición sino una variación y su exactitud depende del número de medidas que se quieran comparar.

Galgas extensiométricas: es un sensor que mide la deformación basado en el efecto piezorresistivo que es la propiedad que tiene un material de cambiar su resistencia cuando se somete a ciertos esfuerzos, esta deformación en su longitud genera una variación en su resistencia eléctrica y este valor se cuantifica para conocer cuánto se deforma.

La deflexión se determina aplicando las fuerzas y desplazamientos, para ello existen varios métodos de cálculo: los métodos geométricos y los métodos de energía.

- ✓ Métodos geométricos: aplican las ecuaciones de equilibrio (estática), ecuaciones de compatibilidad y leyes de materiales en el punto elástico-lineal.
- ✓ Métodos de energía: se basa en el principio de energía y luego estas se combinan con las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad.

Métodos más utilizados para cálculo de la deflexión.

- ✓ Método de castigliano: es el teorema de castigliano, que consiste en la derivada parcial de la deformación elástica, expresada en función de las fuerzas, es igual al desplazamiento de su punto inicial y sentido de las fuerzas.
- ✓ Método de trabajo real: este método utiliza el principio de conservación de energía, que genera el trabajo externo, el cual debe ser igual al trabajo interno de deformación producto de los esfuerzos causados por las cargas, la desventaja del método radica por su limitación, porque sólo analiza una incógnita, no se amplía este método a más de un desplazamiento o rotación.
- ✓ Método de área y de momentos: consiste en 2 teoremas que resultan muy útiles para el cálculo de pendientes y deflexiones en vigas.
- ✓ Método de trabajo virtual: este método es el más versátil de los métodos tradicionales, para evaluar deflexiones elásticas de estructuras, este método solo es aplicable a aquellos casos, en donde está permitido la superposición, por su forma finita de análisis.
- ✓ Método de viga conjugada: este método consiste en cambiar el problema de encontrar, las pendientes y deflexiones causadas en una viga por un sistema de cargas aplicadas. Tiene la ventaja de que no necesita conocer previamente un punto de tangente cero, por lo cual se puede averiguar directamente la pendiente y la deflexión en cualquier punto de la elástica.

Tipos de vigas comunes.

- ✓ Viga simple: viga soportada por apoyos simples en sus extremos y permite movimiento libre de sus extremos.
- ✓ Viga simplemente apoyada: viga soportada por apoyos simples en sus extremos y permite el libre movimiento de sus extremos. también llamada viga simple.
- ✓ Viga apoyada en voladizo: viga apoyada con un extremo en voladizo, que permite reducir el momento positivo en el centro del tramo, mientras que en el extremo se genera un momento negativo.
- ✓ Viga con doble voladizo: viga apoyada cuyos extremos se encuentran en voladizo.

- ✓ Viga compuesta: viga de madera laminada verticalmente, fabricada mediante la unión de diversos miembros menores con clavos o pernos, formando una viga de mayores dimensiones, o viga de acero compuestas por diferentes planchas remachadas o soldadas entre sí. También llamada viga ensamblada o de alma ancha.
- ✓ Viga apoyada en el cabecero: viga relativamente corta empleada para sostener la proyección de una viga inclinada.
- ✓ Viga de alma doble: viga de acero que posee una sección hueca, también llamada viga tubular.
- ✓ Viga de cumbrera: viga empleada para sostener los extremos superiores de los listones que se colocan atravesados para formar techos. También llamada viga de caballete.
- ✓ Viga de cajón cerrado: viga de sección rectangular hueca. también llamada viga de caja.
- ✓ Viga secundaria: cualquier viga que transmite su carga a una viga principal.

Vigas estáticamente determinadas.

Las vigas estáticamente determinadas son vigas apoyadas en dos puntos o en voladizo y pueden determinarse las reacciones necesarias con ecuaciones simples de estática para equilibrar fuerzas.

Vigas estáticamente indeterminadas.

Una viga es estáticamente indeterminada cuando tiene más puntos de apoyos de los requeridos para garantizar su equilibrio, ya que se tienen 3 o más nodos que transmiten momentos y hay que equilibrar para obtener un momento resultante.

EQUIPO Y MATERIALES

Los equipos y herramientas utilizadas en el ensayo son los siguientes:

- ✓ Discos de acero: se utilizan para aplicar la carga a la viga, y originan la deflexión en la viga debido a su peso.
- ✓ Balanza digital: se utiliza para determinar el peso de los discos de acero y cuantificar la carga real que soporta la viga.
- ✓ Nivel: se utiliza para garantizar que los apoyos y la viga estén nivelados(sin desplazamiento relativo vertical)
- ✓ Apoyos: estructura de aluminio que permite el soporte de la viga que será ensayada.
- ✓ Comparadores de carátula: El comparador de carátula es un instrumento de medición en el cual un pequeño movimiento del husillo se amplifica mediante un tren de engranes que mueven en forma angular una aguja indicadora sobre la carátula del dispositivo. La aguja indicadora puede dar tantas vueltas como lo permita el mecanismo de medición del aparato. Este instrumento no entrega valores de mediciones, sino que entrega variaciones de mediciones (de ahí su nombre) su exactitud está relacionada con el tipo de medidas que se desea

comparar, suelen medir rangos de 0,25 mm a 300 mm (0,015" a 12,0"), con resoluciones de 0,001 mm a 0,01 mm ó 0,00005" a 0,001".

- ✓ Galgas extensiométricas: también llamado extensómetro es un sensor que mide la deformación, posición, presión, par etcétera, este sensor se rige por el fenómeno piezorresistivo, que es la propiedad de algunos materiales de cambiar el valor de su resistencia cuando se le someten a ciertos esfuerzos. una galga que se someta a ciertos esfuerzos producirá una deformación y esta genera una variación en su resistencia eléctrica.
- ✓ Equipo de medición omega puente de Wheatstone.

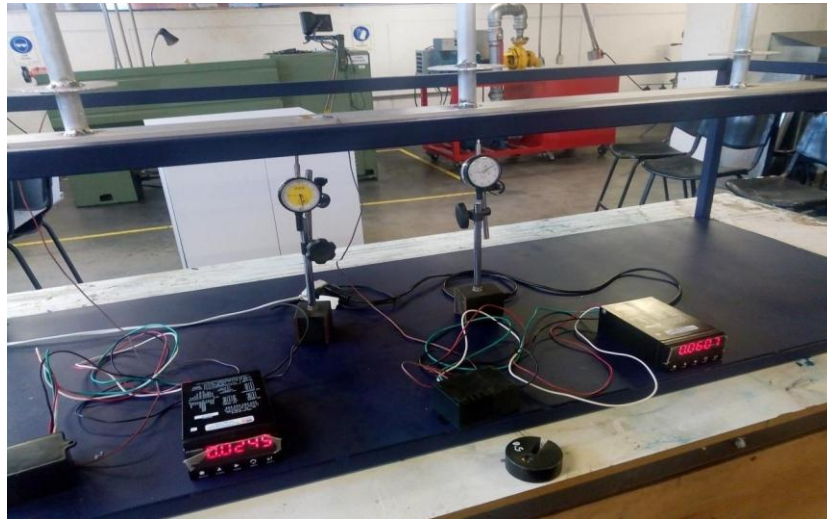


Figura 1. Equipo Omega- Comparadores de Carátula.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El ensayo se realiza con la misma viga pero variando la carga sobre la viga.

- viga simplemente apoyada con carga puntual variable en el centro de la viga
1. Colocar la viga de aluminio sobre los soportes, está ya cuenta con las dos galgas previamente pegadas a una distancia de 0.125 mts del apoyo, y la segunda galga a una distancia de 0.5 mts, junto en medio de la fuerza 1 y la fuerza 2.
 2. Ajustar los comparadores de carátula para medir la deflexión en dos puntos distintos de la viga, el primer comparador de carátula está a una distancia de 0.5 mts del apoyo, entre la fuerza 1 y la fuerza 2 para obtener una medida intermedia de la deformación y compara con la medida tomada por la galga en ese mismo punto, y el segundo comparador de caratula esta justo debajo de la carga puntual que está ubicada a una distancia de 0.75 mts, es decir justo en la mitad de la viga donde se aplica la fuerza 2.

3. Una vez realizado este montaje verificar con el nivel que la viga de aluminio se encuentre recta y sin ninguna deflexión para iniciar con el ensayo.



Figura 2. Fuerza Puntual en el Centro de la Viga.

4. En este primer caso sólo se aplicará peso a la fuerza 2, es decir solo se aplicará la fuerza en la mitad de los apoyos y se empieza con una carga de 500 g, se toma nota de los 2 comparadores de carátula, así mismo de los valores de las galgas, para tener en cuenta se toman los valores antes de aplicar la carga y luego con la carga aplicada para tener una referencia para poder analizar.

5. Luego de obtener los valores se procede a retirar dicha carga, se espera un tiempo para que la viga, el equipo y los comparadores de carátula vuelvan a su punto de inicio, para luego aplicar una nueva carga de 1000g y repetir el procedimiento de toma de datos y así sucesivamente con el procedimiento anterior para una carga de 2000g y 3000g.este proceso se repite 10 veces por cada carga para obtener un promedio más exacto y confiable.

6. una vez finalizado este ensayo se procede a realizar el siguiente montaje.

- Viga simplemente apoyada con carga puntual constante en el centro (1000g) y una fuerza puntual variable.



Figura 3. Carga puntual en el Centro de 1000g, Variando la Fuerza 1.

1. Caso 2: se repiten los tres primeros pasos anteriores ya que las galgas y los comparadores de carátula no se modifican, se mantienen en sus mismas posiciones, lo que cambia es la configuración de la viga para una carga puntual de 1000 g en el centro de la viga (F_2) y una segunda carga puntual que variamos de 500 g inicialmente, luego 1000g, y una final de 2000g.

2. En este caso aplicamos carga a la fuerza 1, es decir solo se irá variando la carga en la fuerza 1, y en la fuerza 2 se mantiene constante de 1000 g, se toma nota de los 2 comparadores de carátula, así mismo de los valores de las galgas, para tener en cuenta se toman los valores antes de aplicar la carga y luego con la carga aplicada para tener una referencia para poder analizar.

3. Luego de obtener los valores con una carga de 500 g se procede a retirar dicha carga, se espera un tiempo para que la viga, el equipo y los comparadores de carátula vuelvan a su punto de inicio, para luego aplicar una nueva carga de 1000g y repetir el procedimiento de toma de datos y así sucesivamente con el procedimiento anterior para una carga de 2000g .este proceso se repite 10 veces por cada carga para obtener un promedio más exacto y confiable.

- Viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales constantes (1000g) y una tercera carga puntual variable.

1. Caso 3: se repiten los tres primeros pasos anteriores ya que las galgas y los comparadores de carátula no se modifican, se mantienen en sus mismas posiciones, lo que cambia es la configuración de la viga para dos cargas puntuales de 1000 g (F_1, F_2) y una tercera carga puntual que variamos de 500 g inicialmente, luego 1000g y una final de 2000g.

2. En este ensayo se aplica carga a la fuerza 3, es decir solo se irá variando la carga en la fuerza 3, la fuerza 1 y 2 se mantienen constante de 1000 g, se toma nota de los 2 comparadores de carátula, así mismo de los valores de las galgas, para tener en cuenta

se toman los valores antes de aplicar la carga y luego con la carga aplicada para tener una referencia para poder analizar.



Figura 4. Fuerza 1 y 2 Constante de 1000 g y se varía F3.

3. Luego de obtener los valores con una carga de 500 g se procede a retirar dicha carga, se espera un tiempo para que la viga, el equipo y los comparadores de carátula vuelvan a su punto de inicio, para luego aplicar una nueva carga de 1000g y repetir el procedimiento de toma de datos y así sucesivamente con el procedimiento anterior para una carga de 2000 g. Este proceso se repite 10 veces por cada carga para obtener un promedio más exacto y confiable.

CÁLCULOS

- ✓ Determinación de los centroides y el momento de inercia de la viga ensayada; para esto se requiere de las medidas de la sección transversal de la viga, y utilizando el método de las figuras compuestas se encuentra este parámetro.
- ✓ Realizar los diagramas de fuerzas cortante y momento flector para cada caso de ensayo.
- ✓ Esfuerzo de flexión máximo: esfuerzo normal máximo que se presenta en la sección recta de una viga cuando se somete a cargas transversales, se obtiene de la siguiente manera:

$$\sigma_m = \frac{M * c}{I}$$

Donde:

$M =$ Momento flector máximo

$C =$ Centroide de la sección transversal de la viga

$I =$ Momento de inercia de la sección transversal de la viga

TABULACIÓN Y RESULTADOS

Carga P [N]	Registro indicador galga en punto C	Registro indicador galga en punto D	Registro en comparador de carátula en punto D	Registro en comparador de carátula en punto E

Carga P [N]	$M_{máx}$ [N.m]	$\sigma_{máx}$ [Pa]	$\delta_{máx}$ [m]	M_C [N.m]	σ_C [Pa]	v_C [m]	M_D [N.m]	σ_D [Pa]	v_D [m]

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Traer fórmulas requeridas para calcular centroides y momentos de inercia de una sección transversal.
- ✓ Recordar cómo se hacen los diagramas de fuerzas cortantes y momento flector sobre una viga.
- ✓ Recordar los métodos para calcular deflexiones sobre una viga.
- ✓ Tratar de hacer esta práctica de laboratorio sin ruidos externo ya que este interfiere en las galgas generando vibraciones que son tomadas por el equipo.
- ✓ Despreciar el peso de viga.
- ✓ Deflexiones teóricas: se pueden utilizar cualquiera de los métodos explicados en el aparte de la definición de esta guía.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ HIBBELER, R. C. Mecánica de Materiales. Editorial Pearson, octava edición. México, 2011.
- ✓ FIGLIOLA, R. S. and BEASLEY D.E. Mediciones Mecánicas: teoría y diseño. Editorial Alfaomega, tercera edición. México, 2003.
- ✓ GARCÍA, D. R. Manual de fórmulas de ingeniería. Limusa, Segunda Edición. México, 2002.
- ✓ GERE, J. M. y BARRY, J. G. Mecánica de Materiales. Cengage Learning, Séptima edición. México, 2009.

- ✓ HAMROCK, B. J., JACOBSON, B. y SCHMID S. R. Elementos de máquinas. McGraw Hill, México, 2000.

8. CONCLUSIONES

El objetivo de este banco de laboratorio fue estudiar el efecto de diferentes fuerzas sobre la deformación por flexión en la viga y el resultado muestra que existe una relación lineal entre la deformación por flexión y la carga aplicada. El esfuerzo de flexión experimental muestra una relación lineal perfecta con la carga aplicada, mientras que la tensión de flexión teórica no responde mucho al aumentar la carga aplicada.

Durante las mediciones, no se enfrentaron muchas dificultades. Sin embargo, una de las dificultades fue asegurarse de que los valores indicados por las galgas extensométricas fueran precisos, ya que el indicador variaba. Otra dificultad que se enfrentó fue medir el ancho y el grosor de la viga. El calibrador pie de rey es preciso pero en ocasiones fue un poco difícil obtener la lectura exacta debido a rebabas en la viga que fueron removidas para obtener valores mucho más precisos.

Los porcentajes de error oscilan del 70 al 90 % ,esto se debe en primer lugar por ser un equipo electrónico es muy sensible y cualquier interferencia era notablemente visible y en el taller de la upb (edificio K) no se garantizan las condiciones ideales para esta práctica.en segundo lugar los valores teóricos varían con los experimentales porque no se tienen en cuenta factores como la temperatura,humedad,vibraciones que influyen en el equipo y en los materiales utilizados, y se ven reflejado en los porcentajes de error.

9. REFERENCIAS

- [1] Gere J.M. *Mecánica de materiales*. Thomson Editores, sexta edición, México D.F. 2006.
- [2] Santos A. *Resistencia de Materiales*, Division de Publicaciones UIS, Bucaramanga 2013.
- [3] Mott R. L. *Resistencia de Materiales*, Editorial Prentice Hall, quinta edición, México 2009.
- [4] Beer F. P., Johnston E. R., DeWolf J.T. y Mazurek D. F. *Mecánica de Materiales*, Editorial Mc Graw Hill, sexta edición, México 2013.
- [5] Hibbeler R. C. *Mecánica de Materiales*, Editorial Pearson, octava edición, México 2011.
- [6] Riley W. F., Sturges L. D. y Morris D. H. *Mecánica de Materiales*, Editorial Limusa - John Wiley & Sons, primera edición, México 2001
- [7] Ortiz L. *Resistencia de Materiales*, editorial Mc Graw Hill, segunda edición, Madrid 2002.
- [8] Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía. . TIPOS DE ESFUERZOS FÍSICOS. Publicación No 15. España 2011.
- [9] Ferrero, José Maria. Guijarro, E. *Instrumentación Electrónica. Sensores*. España, servicio de publicaciones UPV, 1994.
- [10] OMEGA a Specuris company. *Galgas extensiométricas*. Artículo en internet. (2003, septiembre)
- [11] Figliola, R. S. and Beasley D. E. *Mediciones Mecánicas: teoría y diseño*. Editorial Alfaomega, tercera edición. México, 2003.

10. RECOMENDACIONES

De antemano es necesario resaltar que durante la toma de datos experimentales es menester evitar ruidos externos debido a la sensibilidad del equipo de medición la cual registra cualquier variación por mínima que sea y esta se ve reflejada en los resultados, aumentando el porcentaje de error.

Las condiciones ambientales como la temperatura y humedad son un factor a tener en cuenta dentro del porcentaje de error ya que estas interfieren en los sensores(galgas extensiométricas) y provocan que la señal captada por el equipo tenga una leve variación a la hora de toma de datos, sin embargo se buscó realizar el experimento en condiciones normales sin controlar la temperatura ni la humedad pero en el mismo intervalo de tiempo para que las variaciones no fueran relevantes.

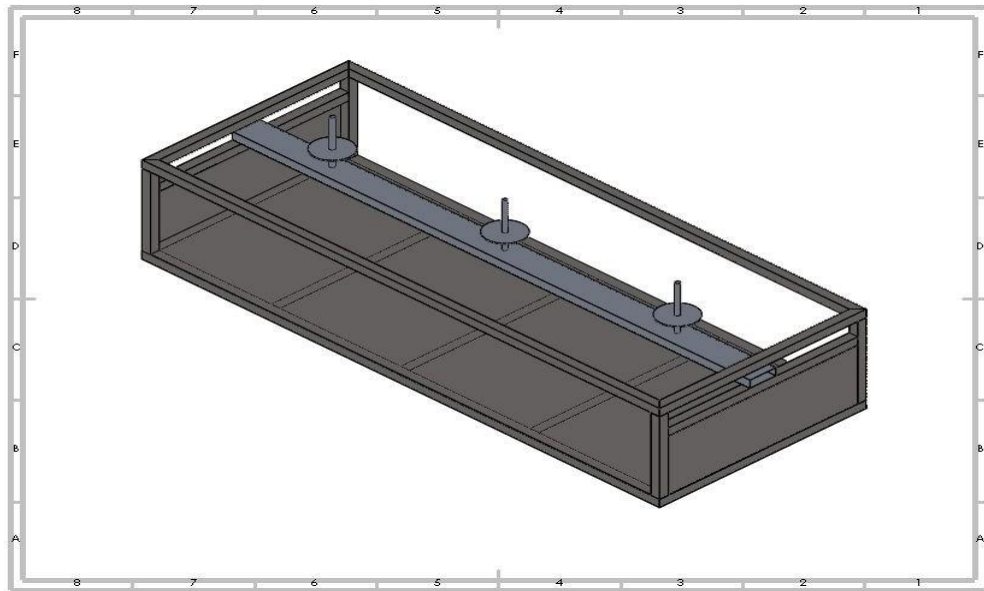
Un equipo sensible va tener variación de datos en muy poco tiempo, por lo cual se sugiere tomar varias pruebas con las mismas condiciones y sacar un promedio para hacer más exacta y confiable la prueba.

Para los datos constantes se usaron tablas de propiedades de los materiales.

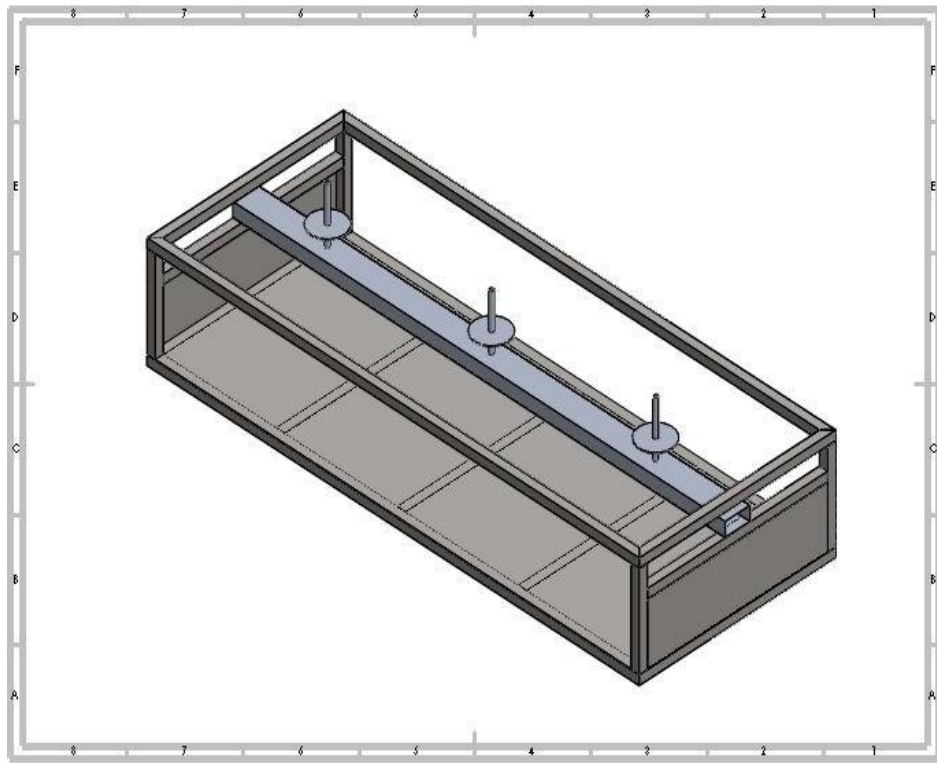
BIBLIOGRAFÍA

- Gere, M. James, and Barry J. Goodno. *Mecánica De Materiales. Aportes Ingecivil*, Editorial Thomson. 7ma edición. 2009. Accessed 8 Oct 2018.
- Hibbeler, R. C. *Mecánica de materiales*. Editorial Pearson. 8va edición. 2011.
- Ferdinand Beer, Johnston, E. Russell, Dewolf, John T. *Mecánica de materiales*. Editorial Mc Graw Hill. 5ta edición. 2010.
- Tomás, P. White, *Resistencia de Materiales*, Cap. 6 “Estudio de Vigas”, Editorial Universidad de Salamanca, 1992.
- Ferrero, José Maria. Guijarro, E. *Instrumentación Electrónica. Sensores*. España, servicio de publicaciones UPV, 1994.
- Bentley, P. Jhon, *Sistemas de Medición Principios y Aplicaciones*. CECSA, México, 1993.
- Figliola, R. S. and Beasley D. E. *Mediciones Mecánicas: teoría y diseño*. Editorial Alfaomega, tercera edición. México, 2003.
- García, D. R. *Manual de fórmulas de ingeniería*. Limusa, Segunda Edición. México, 2002.
- Hamrock, B. J. Jacobson, B. y Schmid S. R. *Elementos de máquinas*. McGraw Hill, México, 2000.

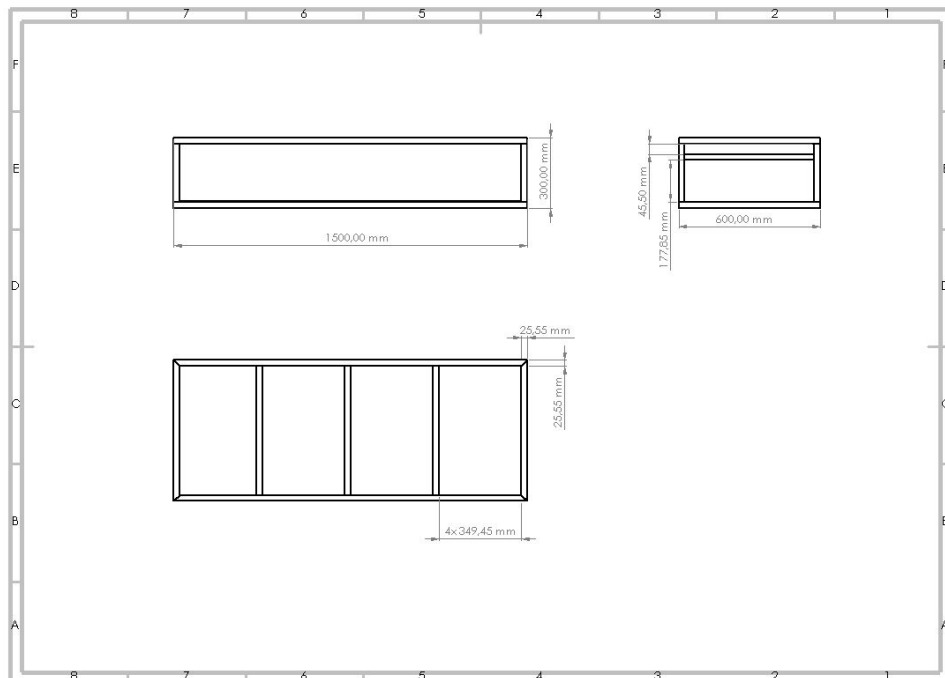
ANEXOS



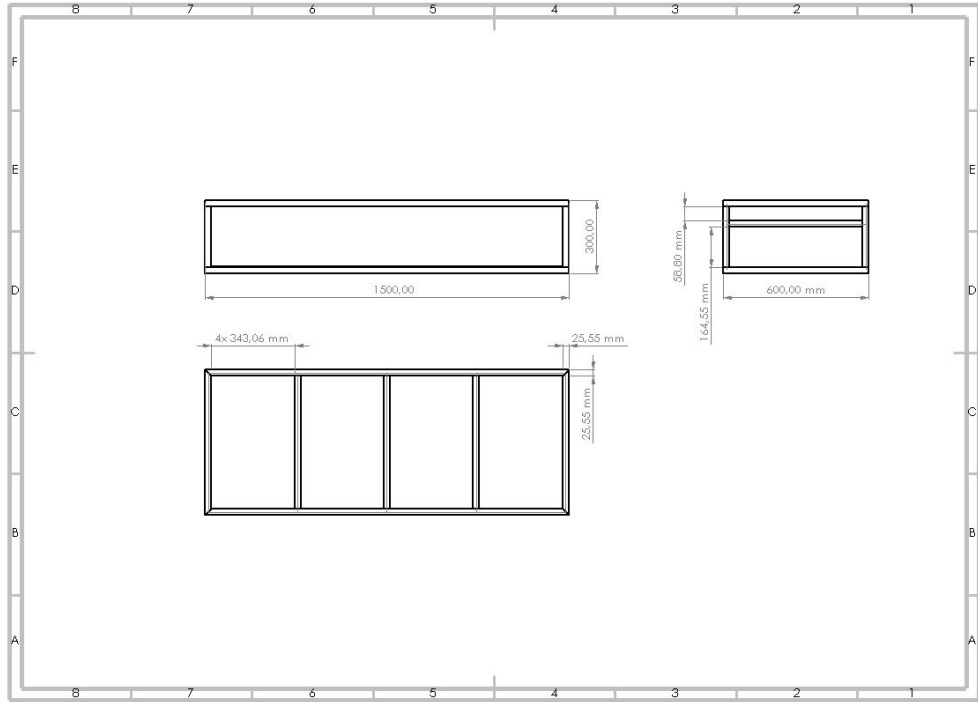
Anexo A. Ensamble prototipo



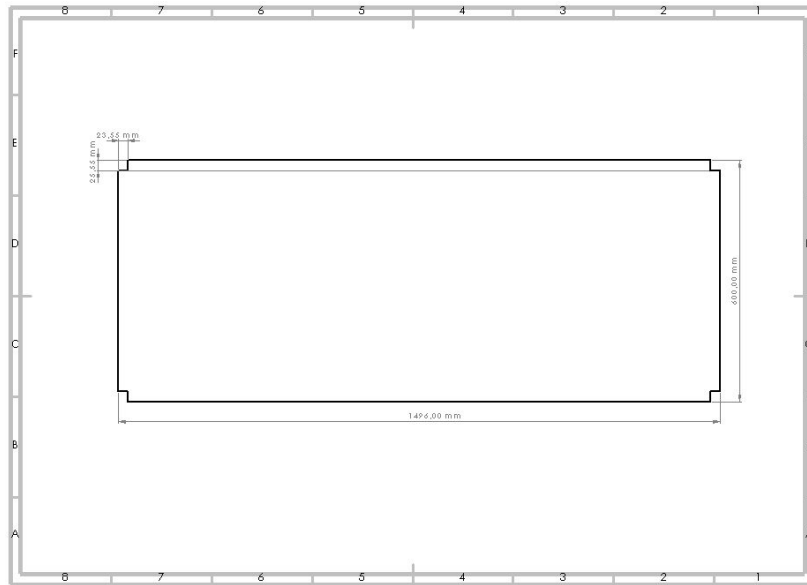
Anexo B. Ensamble



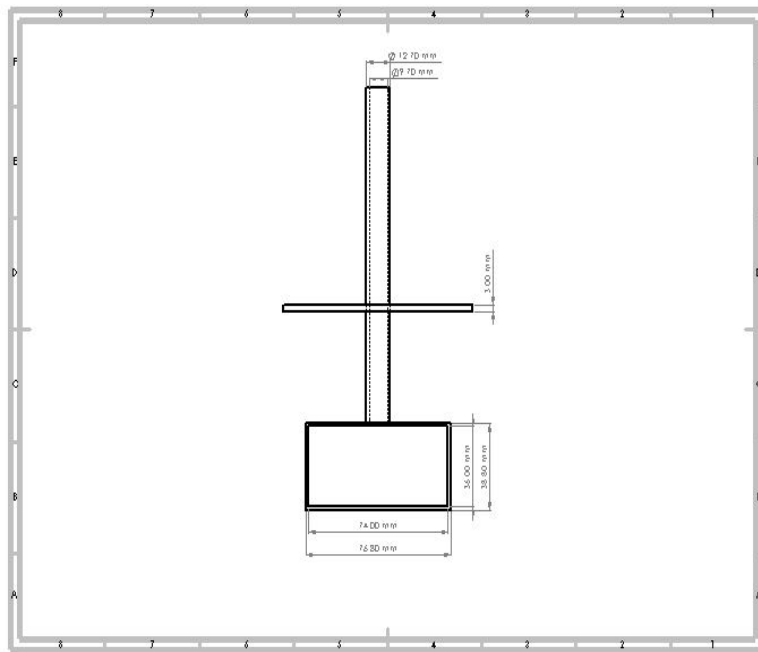
Anexo C. Estructura 1



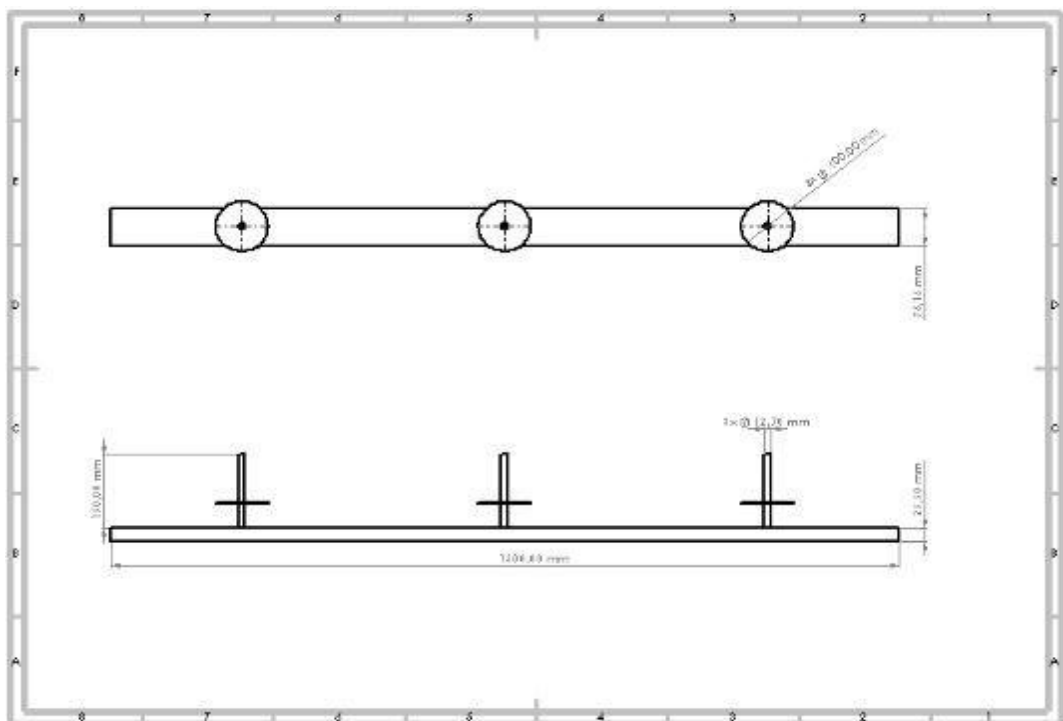
Anexo D. Estructura 2



Anexo E. Lámina



Anexo F. Perfil tubo soporte peso



Anexo G. Plano tubos