

**DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBAS DE BANCO DE LABORATORIO
PARA MEDIR DESPLAZAMIENTOS ORIGINADOS POR CARGA COMBINADA.**

**IVÁN ANDRÉS ECHEVERRY MARÍN
ID. 000241659**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA, SANTANDER
2019**

**DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBAS DE BANCO DE LABORATORIO PARA
MEDIR DESPLAZAMIENTOS ORIGINADOS POR CARGA COMBINADA.**

IVÁN ANDRÉS ECHEVERRY MARÍN

Tesis de grado para aspirar al título como ingeniero mecánico

**Director
Msc. Alfonso Santos Jaimes**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA, SANTANDER
2019**

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité asignado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga para aspirar al título como ingeniero mecánico.

Ing. Sergio Andrés Gómez Suarez

Jurado

MSc. Javier Mauricio Castellanos

Jurado

Bucaramanga, 13 de noviembre de 2019.

En dedicatoria a mis padres que, con su esfuerzo y enseñanzas, contribuyeron a mi superación profesional con el fin de ayudarme a ser una persona con conocimientos, capacidades y valores para lograr ser un profesional integro.

AGRADECIMIENTO

En agradecimiento a los docentes que hicieron parte de mi formación académica en el programa de ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana, a mi director de proyecto MSc. Alfonso Santos Jaimes por su aporte y dedicación en todo el proceso de elaboración y entrega final para con este proyecto de grado.

CONTENIDO

	Pg
1. Marco teórico	1
1.1. Deformación y desplazamiento	1
1.2. Cómo calcular desplazamientos entre puntos de una estructura	4
1.3. Deformaciones de una sección de barra en el plano	4
1.3.1. Convención de signos	5
1.3.2. Deformaciones correspondientes a una variación de temperatura Δt	5
1.4. Relación entre deformación y desplazamiento	6
1.5. Presencia de carga combinada	8
1.6. Ecuaciones paramétricas de un círculo	9
1.6.1. Relaciones para la obtención de ecuaciones paramétricas	9
1.7. Elemento sometido a carga excéntrica	10
1.7.1. Análisis de esfuerzos sección	11
1.7.1.1. Estado de carga de la sección Q	11
1.7.1.2. Estado de esfuerzos punto 1 sección Q	12
1.7.1.3. Estado de esfuerzos punto 2 sección Q	12
1.7.1.4. Estado de carga de la sección S	13
1.7.1.5. El efecto de fuerzas sobre la sección S es	13
1.7.1.6. Estado de esfuerzos punto 1 sección S	14
1.7.1.7. Estado de esfuerzos punto 2 sección S	14
1.8. Desplazamiento	15
1.9. Elementos estáticamente indeterminados	15
1.10. Comparadores de caratula	16
1.10.1. Pasos para la correcta lectura del indicador de caratula	18
1.10.2. Recomendaciones para las mediciones con comparador de caratula	18
1.11. Software para la simulación de desplazamiento	19
1.11.1. Solid Works	19
1.11.2. Ansys	19
1.12. Proceso de diseño de máquinas	19
1.12.1. Diseño conceptual	20
1.12.2. Diseño básico	20
1.12.3. Diseño detallado	20
2. Metodología de diseño	21
2.1. Modelos de diseño	21
2.1.1. Modelos descriptivos	21
2.1.2. Modelos cognitivos	21
2.1.3. Modelos computacionales	21

2.2.	Identificación de la necesidad	22
2.3.	Diseño conceptual	23
2.3.1.	Existencia de momentos	23
2.3.2.	Primer modelo de probeta propuesto	24
2.3.3.	Análisis a través de software ANSYS	25
2.3.3.1.	Aplicación carga de 2Kg probeta 1	25
2.3.3.2.	Análisis de rotura probeta 1	27
2.3.4.	Segundo modelo de probeta propuesto	30
2.3.5.	Análisis a través de software ANSYS probeta 2	30
2.3.5.1.	Aplicación carga 10 Kg probeta 2	30
2.3.6.	Calidad de malla software ANSYS	32
2.3.7.	Material utilizado en la simulación de diseño	33
2.3.7.1.	Propiedades de aleación de aluminio	33
2.3.8.	Magnitudes de carga	33
2.3.9.	Cuantificación de la deformación unitaria y el ángulo de giro	34
2.3.10.	Materiales comerciales disponibles	35
2.3.11.	Cambio rápido de probeta	35
2.3.12.	Acabado final del equipo	35
2.4.	Diseño preliminar	35
2.4.1.	Componentes del sistema propuesto	36
2.4.1.1.	Estructura base	36
2.4.1.2.	Probeta a ensayar	37
2.4.1.3.	Sistema de aplicación de carga	37
2.4.1.4.	Comparador de caratula	37
2.5.	Diseño detallado	37
2.5.1.	Probeta	38
2.5.2.	Aplicación de carga	38
2.5.2.1.	Placa de ensamble de la probeta a la estructura	39
3.	Construcción	41
3.1.	Primera etapa de construcción	41
3.2.	Segunda etapa de construcción	42
4.	Metodología para la medición de desplazamientos en probetas expuestas a cargas puntuales	44
4.1.	Esfuerzo cortante	44
4.1.1.	Angulo de deformación	44
4.1.2.	Ley de Hooke	44
4.2.	Angulo de giro	44
4.3.	Fase procedimental de la toma de datos	45
5.	Resultados y análisis	46
5.1.	Cálculos tipo probeta 1 empotramiento sencillo	46
5.1.1.	Análisis de posición 1, L= 15cm	46
5.1.2.	Sumatoria de momentos y fuerzas en Y y Planteamiento de ecuaciones de la deflexión para la obtención de constantes C1 y c2	47

5.1.3. DCL para el tramo BCD probeta 1 empotramiento simple	48
5.1.4. Análisis de $X = L = 0,075 \rightarrow Y_c$	49
5.1.5. Análisis por torsión del tramo AB probeta 1 empotramiento simple	49
5.1.6. Análisis geométrico sección tubular	50
5.1.7. Ecuación de inercia en paredes delgadas	50
5.1.8. Momento polar de inercia	50
5.1.9. Para 1,021 Kg \rightarrow 10,2 N	51
5.1.10. Cálculo de error (%)	51
5.2. Cálculos tipo montaje número dos, probeta con empotramiento doble	51
5.2.1. Análisis por torsión	52
5.2.2. Diagrama de torques internos	52
5.2.3. Análisis para el tramo ABC en el plano XY	53
5.2.4. Análisis tramo BD probeta de doble empotramiento	55
5.2.5. Aplicación y análisis de peso $W = 1021$ gramos	55
5.3. Tablas toma de datos y resultados	56
5.3.1. Tabla 1 montaje empotramiento sencillo	57
5.3.2. Tabla 2 montaje de doble empotramiento	57
5.3.3. Tabla 3 distancias montaje probeta empotramiento sencillo	58
5.3.4. Tabla 4 distancia montaje probeta empotramiento doble	58
6. Guía de laboratorio	60
6.1. Objetivo general	60
6.2. Objetivos específicos	60
6.3. Metodo para la medición de desplazamientos en probetas expuestas a cargas puntuales	60
6.3.1. Cuantificación del esfuerzo cortante	60
6.3.1.1. Angulo de deformación	60
6.3.1.2. Ley de Hooke	60
6.3.1.3. Angulo de giro	61
6.4. Fase procedimental de toma de datos	61
6.5. Herramientas a utilizar en la toma experimental de datos	63
6.6. Observaciones y recomendaciones para el desarrollo de la práctica	65
7. Conclusiones	67
8. Recomendaciones	68
9. Bibliografía	69

LISTA DE FIGURAS

	Pg
Figura 1. Desplazamiento de viga en voladizo	1
Figura 2. Descenso y rotación en sección J de ménsula	2
Figura 3. Desplazamientos relativos entre dos puntos de la estructura	3
Figura 4. Vista de una barra perteneciente a una estructura	4
Figura 5. Deformaciones que presenta una sección correspondiendo a esfuerzos internos	5
Figura 6. Ecuación Variación lineal respecto al tiempo	6
Figura 7. Variación lineal respecto al tiempo	7
Figura 8. Diagrama de esfuerzos internos para ménsula sometida a carga	7
Figura 9. Deformación en J	8
Figura 10. Comportamiento de Barra AB con respecto a carga aplicada	8
Figura 11. Coordenada 13 que recorre la estructura	9
Figura 12. Estado de esfuerzo plano en un punto dado	10
Figura 13. Círculo de Morh	11
Figura 14. Elemento sometido a cargas excéntricas	11
Figura 15. Estado de carga de sección Q	12
Figura 16. Análisis de carga sección Q	12
Figura 17. Esfuerzos punto 1, plano X, Z	13
Figura 18. Esfuerzos punto 2, plano Z, Y	13
Figura 19. Traslado de carga P al punto B	14
Figura 20. Análisis de la sección S	14
Figura 21. Puntos 1 y 2 en sección S	15
Figura 22. Esfuerzos punto 1 sección S plano X, Z	15
Figura 23. Esfuerzos punto 2 sección S	16
Figura 24. Comparador de caratula análogo y sus partes	17
Figura 25. Comparador de caratula digital	18
Figura 26. Modelo lineal de diseño	22
Figura 27. Plano isométrico con dimensiones originales de la primera probeta con un solo empotramiento	24
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre	25
Figura 29. Resultados del esfuerzo equivalente Von Mises probeta 1 software ANSYS	26
Figura 30. Análisis de deformación probeta 1 software ANSYS	26
Figura 31. Análisis de factor de seguridad probeta 1 empotramiento simple software ANSYS	27
Figura 32. Resultados del esfuerzo equivalente Von Mises probeta 1 carga aplicada 10Kg software ANSYS	28
Figura 33. Análisis de deformación probeta 1 carga aplicada 10 Kg software ANSYS	28
Figura 34. Análisis de factor de seguridad probeta 1 carga aplicada 10 Kg Empotramiento doble ANSYS	29
Figura 35. Análisis de rotura probeta 1 carga aplicada 10 Kg	

empotramiento simple software ANSYS	29
Figura 36. Plano isométrico con dimensiones originales de la segunda probeta con un doble empotramiento	30
Figura 37. Resultados del esfuerzo equivalente Von Mises probeta 2 doble empotramiento software ANSYS	31
Figura 38. Análisis de deformación probeta 2 carga aplicada 10 Kg de doble empotramiento software ANSYS	31
Figura 39. Análisis de factor de seguridad probeta 2 carga aplicada 10 Kg empotramiento doble software ANSYS	32
Figura 40. Oblicuidad del mallado	32
Figura 41. Ortogonalidad del mallado	32
Figura 42. Calidad del mallado	33
Figura 43. Propiedades del elemento arrojadas por el software ANSYS	33
Figura 44. Vista isométrica del bosquejo inicial de la estructura del equipo	36
Figura 45. Plano isométrico con dimensiones originales de la estructura del banco de pruebas	36
Figura 46. Componentes reales del sistema propuesto	37
Figura 47. Sistema de aplicación de carga	38
Figura 48. Pesos utilizados	38
Figura 49. Ubicación de los agujeros en la placa de aluminio soldada a la probeta.	39
Figura 50. Unión de probeta y placa de empotramiento	40
Figura 51. Ensamble de la estructura	41
Figura 52. Aplicación de laca brillante color azul español	42
Figura 53. Probeta de doble empotramiento	42
Figura 54. Probeta de empotramiento simple	43
Figura 55. Nivelación de las probetas pre toma de datos experimentales	45
Figura 56. análisis de nivel en base al comportamiento luego de aplicar y retirar una carga	45
Figura 57. Representación gráfica probeta 1 sometida a carga W	46
Figura 58. DCL sección AB probeta 1 empotramiento sencillo	47
Figura 59. DCL para el tramo BCD probeta 1 empotramiento simple	48
Figura 60. Diagrama de momentos tramo AB probeta 1 empotramiento simple	49
Figura 61. Sección transversal probeta tubular	50
Figura 62. Representación gráfica probeta 1 sometida a carga W	52
Figura 63. DCL tramo AC probeta 2 empotramiento empotramiento doble	52
Figura 64. Diagrama de torques internos tramo AC probeta de doble empotramiento	53
Figura 65. DCL tramo ABC en el plano XY probeta de doble empotramiento	54
Figura 66. DCL tramo BD en el plano XY probeta de doble empotramiento	55
Figura 67. Nivelación de las probetas pre toma de datos experimentales.	61
Figura 68. análisis de nivel en base al comportamiento luego de aplicar y retirar una carga.	62
Figura 69. Medidor digital.	63
Figura 70. Calibrador pie de rey.	64

Figura 71. Flexómetro.	64
Figura 72. Probetas a utilizar.	64
Figura 73. Pesos a utilizar.	65
Figura 74. Calculadora científica.	65
Figura 75. Nivel.	65

LISTA DE TABLAS

	Pg.
Tabla 1. Grupo de datos obtenidos con respecto al montaje 1 probeta empotramiento sencillo	57
Tabla 2. Grupo de datos obtenidos con respecto al montaje 2 probeta empotramiento doble	58
Tabla 3. Distancia en milímetros utilizadas respecto a cada posición, montaje empotramiento sencillo	58
Tabla 4. Distancia en milímetros utilizadas respecto a cada posición, montaje empotramiento doble	59
Tabla 5. Tabla para anexar datos y resultados ensayo con probeta de empotramiento sencillo	62
Tabla 6. Tabla para anexar datos y resultados ensayo con probeta de empotramiento doble	62
Tabla 7. Distancias para ubicación del comparador de caratula probeta empotramiento simple	63
Tabla 8. Distancias para ubicación del comparador de caratula probeta empotramiento doble	63

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE BANCO DE LABORATORIO PARA MEDIR DESPLAZAMIENTOS ORIGINADOS POR CARGA COMBINADA.

AUTOR(ES): Iván Andrés Echeverry Marín

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Alfonso Santos jaimes

RESUMEN

En el presente trabajo se afianzo el saber teórico-práctico mediante el diseño, construcción y pruebas de un banco de ensayos en el cual se determinó el desplazamiento de puntos, originado por carga combinada. Se realizó el diseño, la construcción del banco de pruebas y la toma de datos experimentales con pruebas reales aplicando tres cargas puntuales diferentes, con magnitudes de 450, 520 y 1021 gramos respectivamente, situadas en ubicaciones previamente seleccionadas. Los datos arrojados por medidores de caratula digital mostraron la magnitud del desplazamiento vertical originado en la probeta después de aplicada la carga, con estos resultados obtenidos experimentalmente se procedió a realizar una comparación con resultados calculados teóricamente en base a la resolución de fórmulas con el fin de analizar la exactitud del banco de prueba en términos de porcentaje de error. Teniendo en cuenta la metodología de trabajo utilizada en la obtención de datos experimentales y teóricos, se constituye una guía de laboratorio con el fin de instruir en el manejo del banco de pruebas y el aprendizaje en temas de carga combinada complementando así las horas de aprendizaje teóricas vitas en la asignatura de resistencia de materiales. Usando los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en temas de diseño y modelación se eligieron los materiales más apropiados para el desarrollo del proyecto, garantizando la eficiencia en el funcionamiento y la confiabilidad de los resultados arrojados por el banco.

PALABRAS CLAVE:

diseño, construcción, prueba, desplazamiento, esfuerzos.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: LABORATORY BANK DESIGN, CONSTRUCTION AND TESTING TO MEASURE DISPLACEMENTS ORIGINATED BY COMBINED LOAD

AUTHOR(S): Iván Andrés Echeverry Marín

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Alfonso Santos jaimes

ABSTRACT

In this paper, theoretical and practical knowledge is strengthened through design, construction and testing of a test bench in which the displacement of points, originated by combined load. The design, construction of the test bench and data collection were carried out experiments with real tests applying three different point charges, with magnitudes of 450, 520 and 1021 grams respectively, located in respectively previously selected Data thrown by digital cover meters accidents the magnitude of the vertical displacement originated in the probe after of applied the load, with these results obtained experimentally procedure to make a comparison with theoretically calculated results in based on the resolution of formulas in order to analyze the accuracy of the bank of test in terms of percentage error. Taking into account the work methodology used to obtain data experimental and theoretical, constitutes a laboratory guide in order to instruct in the management of the test bench and learning on issues of combined load complementing thus the theoretical learning hours vitas in the subject of strength of materials. Using the knowledge acquired throughout the career in design issues and modeling the most affected materials were chosen for the development of project, guaranteeing efficiency in operation and reliability of the results thrown by the bank.

KEYWORDS:

Design, construction, test, displacement, efforts

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

El funcionamiento de este banco de pruebas está relacionado directamente con la carga aplicada y las coordenadas de ubicación de esta, así se pudo obtener valores de esfuerzos combinados, con los cuales se calcula la magnitud del desplazamiento efectuado por una carga puntual.

Para realizar el diseño se requirió indagar a fondo en bibliografías que permitieron identificar los principios que rigen el comportamiento de un elemento mecánico sometido a esfuerzos combinados a través del uso con bases de datos, libros e información encontrada en la red.

El banco construido fue probado a través de ensayos realizados a los dos sistemas seleccionados, uno indeterminado y el otro determinado de los cual se obtuvo tabla de desplazamiento en tres puntos seleccionados aplicando tres diferentes cargas 450, 520 y 1021 gramos sobre los sistemas ensayados.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es indagar, diseñar, construir y probar un banco de laboratorio con fines académicos a través de análisis teóricos y simulaciones computarizadas para determinar el desplazamiento de puntos originados por carga combinada.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Realizar una recopilación bibliográfica que permita identificar los principios que rigen el comportamiento de un elemento mecánico sometido a cargas combinadas a través del uso con bases de datos, libros e información encontrada en la red. Resultado: información teórica sobre carga combinada. Indicador: se utilizarán las bases de datos y los libros con los cuales cuenta la Universidad Pontificia Bolivariana.
- Realizar el diseño conceptual, básico y detallado del banco de laboratorio que contenga al menos dos sistemas diferentes, uno estáticamente determinado y el otro estáticamente indeterminado, a través de análisis teóricos y simulaciones computacionales. Resultado: cálculos teóricos, simulaciones y planos obtenidos para los dos sistemas analizados. Indicador: se utilizarán las ecuaciones aprendidas en la asignatura resistencia de materiales y el software Ansys.
- Construir el banco de laboratorio con fines académicos para determinar el desplazamiento de puntos originados por carga combinada a través del uso de procesos de manufactura y materiales disponibles en la región. Resultado: Banco de laboratorio construido. Indicador: los procesos de manufactura se realizarán por personal debidamente calificado.
- Probar el banco construido a través de ensayos realizados a los dos sistemas seleccionados. Resultado: Tabla de desplazamiento obtenido en tres puntos seleccionados sobre los sistemas ensayados. Indicador: Se espera que la exactitud que se obtiene sea inferior al 30%.
- Realizar una guía de laboratorio para implementación de una práctica dentro de la asignatura resistencia de materiales siguiendo el modelo de las existentes en la actualidad. Resultado: Practica de laboratorio. Indicador: Se basará en las guías de laboratorio utilizadas actualmente en la asignatura

JUSTIFICACIÓN

La construcción de este banco de ensayos para determinar el desplazamiento de puntos originados por carga combinada tiene un fin académico el cual se basa en la posibilidad de correlacionar la temática vista en las clases teóricas de la asignatura resistencia de materiales en el programa de ingeniería Mecánica con las prácticas realizadas en el laboratorio; ya que en este momento el laboratorio se enfoca en la determinación de las propiedades mecánicas (resistencia, dureza, tenacidad, etc.) de diferentes materiales mientras que la teoría pretende entender los efectos (esfuerzo, deformaciones y desplazamientos) que originan los diferentes tipos de carga (Axial, Torsión, Flexión y Carga Combinada) sobre un elemento mecánico.

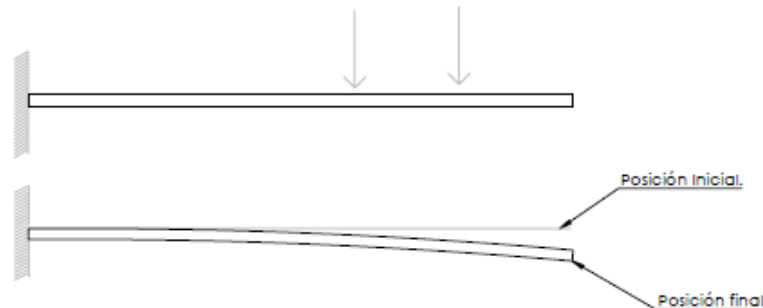
1. MARCO TEORICO

1.1. Deformaciones y desplazamientos. [1]

Toda estructura se deforma, al ser sometida a una carga, y la modificación en su configuración geométrica conlleva a que puntos localizados en ella presenten desplazamientos. En gran cantidad de casos esta deformación no se puede observar con facilidad o a simple vista, así la persona que observa puede pasar por alto por lo cual puede asumir que es totalmente rígida la estructura; pero todos los materiales en realidad sufren deformación, en baja o alta magnitud. Al momento de analizar una estructura resulta necesario tener un mayor enfoque en las deformaciones. A veces se cree, erróneamente, que solo basta con calcular los esfuerzos internos presentes y así saber que tensiones se producen en los distintos puntos del sistema para que quede completado el estudio. Pero con eso solo se contempla una fracción del problema, teniendo en cuenta que hace falta también indagar lo que a las deformaciones le sucede y con esto poder comprobar si están o no dentro de límites permisibles. Generalmente es necesario en una pieza generar una sección de dimensiones mayor a la obtenida al momento de indagar en las tensiones obtenidas a causa de esfuerzos provocados por cargas aplicadas, con el fin de buscar soluciones para hacerlas menos deformables. En estos casos la rigidez y no la resistencia define el dimensionamiento.

Tendremos a consideración en la figura 1. Una viga en voladizo, al terminar de determinar el momento torsor y esfuerzo al cortante (esfuerzos internos), podemos adoptar una sección de la pieza con el fin de que sean resistidos esos esfuerzos con el más acertado rango de seguridad. El problema de tensión es solucionado, así que; La barra, inicialmente recta, sufre deformación cuando se aplican sobre ella cargas. Esas cargas generan desplazamientos en los puntos en que se aplican, haciéndolos descender o ascender dependiendo de la orientación de la carga, como resultado la pieza sufre una curvatura que modifica su geometría inicial. La ubicación final de la viga o eje se le llama elástica.

Figura 1. Desplazamiento de viga en voladizo.



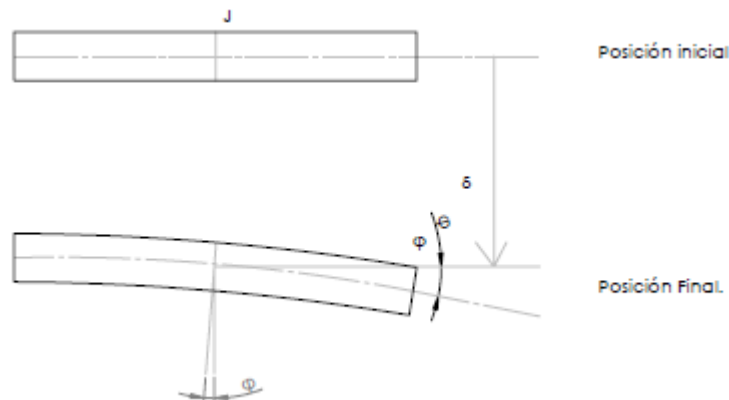
Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

La elástica que se muestra en la figura 1 está representada de manera exagerada, lo que ayuda a presenciar el fenómeno más claramente. Los desplazamientos siempre se presentan con una menor magnitud en comparación a las dimensiones estructurales, esto conlleva a que no puedan ser relacionados en la misma escala. Ocasionando que las pendientes de la curva no correspondan con la realidad; los ángulos resultan aumentados excesivamente. Es pertinente recordar esto, al observar una elástica; no giran decenas de grados las tangentes, como representa la figura 1, sino sólo pequeñas fracciones de grado.

La curva de la pieza provoca que sus puntos se desplacen y desciendan. Denotamos el extremo donde se aplica la carga y que además no está empotrado siendo este el derecho de la barra es el que más va a bajar; de modo que si el movimiento de ese punto es controlado nos aseguramos que la deformación de todo el sistema resulte aceptable. Por lo tanto, además de indagar sobre las tensiones, se debe calcular la flecha y así comprobar si su valor es el indicado. Si no lo es, se tendrá que incrementar las dimensiones de la sección lo que rebaja las deformaciones y aumenta la rigidez.

Al observar la figura 2, notamos que la sección J efectúa dos movimientos: un descenso (σ) y una rotación (ϕ).

Figura 2. Descenso y rotación en sección J de ménsula.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

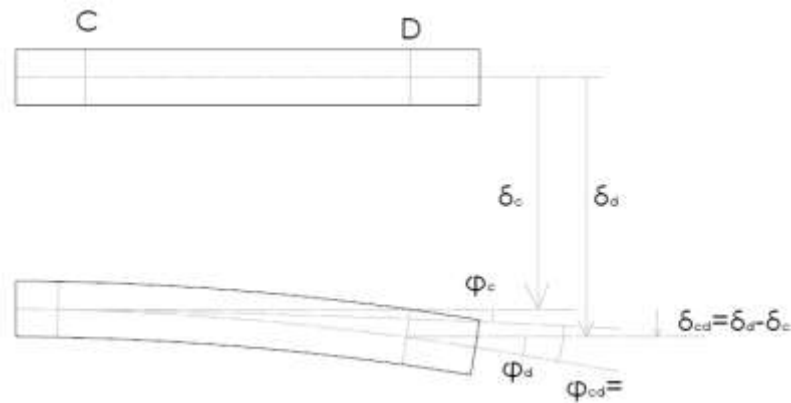
La sección gira lo mismo que la tangente del eje, esto se debe a que ambos lados de los ángulos resultantes están a 90 grados entre si. Por lo tanto, cuando se hable

de la rotación ϕ que en un cierto punto se produce donde se aplica carga, se hace referencia al giro de la sección y al giro de la tangente, indistintamente.

- Desplazamientos lineales: (Verticales $\delta_v \downarrow +$)
(Horizontal $\delta_h \rightarrow +$)
- Desplazamientos angulares: $\varphi \curvearrowright +$

Los movimientos que están siendo nombrados conforman corrimientos absolutos. Además, también puede importar el desplazamiento que existe entre dos diferentes puntos de la estructura. Tengamos en cuenta dos secciones diferentes, C y D, de la barra mostrada en la figura anterior, y sus respectivos corrimientos (figura 3):

Figura 3. Desplazamientos relativos entre dos puntos de la estructura.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

El desplazamiento relativo es la diferencia entre dos secciones, y es nombrado como δ_{CD} :

$$\delta_{CD} = \delta_D - \delta_C$$

El giro relativo es la diferencia entre las dos secciones, y es nombrado como φ_{CD} :

$$\varphi_{CD} = \varphi_C - \varphi_D$$

Deduciendo fácilmente que en dos secciones el giro relativo resulta igual al ángulo que forman sus tangentes. Los δ y los ϕ deben incorporarse con su correspondiente signo .

1.2. Cómo calcular los movimientos en diferentes puntos de una estructura.

Se puede llegar a obtener expresiones matemáticas donde el movimiento final resulta una función de las siglas M, Q, N que se producen en una estructura.

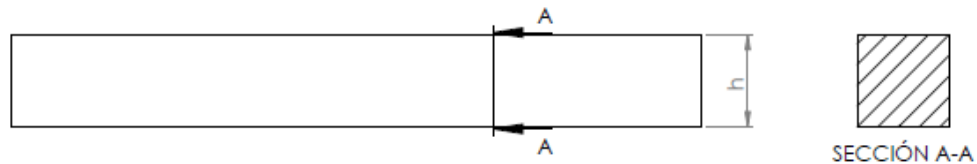
Es pertinente aclarar que:

Para calcular el desplazamiento de un punto cualquiera con respecto a otro se deriva de los esfuerzos internos M, Q, N, que con anterioridad se determinaron. La causa de los desplazamientos son las deformaciones de la pieza. (Los esfuerzos M, Q, N, son simplemente una forma en la que se puede ver el campo tensional que se produce al interior de una estructura, las tensiones son generadas por las deformaciones y no son causadas por estas. Por lo tanto, no sería correcto afirmar que su esfuerzo axial es de tracción por lo cual se alargaría una barra. sucede que en realidad es, al contrario: se desarrollan tensiones de tracción porque esta se alarga. De igual forma, si se habla de la flecha de una viga no es acertado decir que es ocasionado por los momentos flectores, ya que éstos no generan esa flecha. expresaremos que ese descenso está en correspondencia con tales momentos, se dirá que se produce cuando se tienen esos momentos.

1.3. Deformación de un sector de barra en el plano.

La figura 4. Es una vista de una sección de barra pertenece a una estructura plana. Se denota en ella una sección de espesor diferencial, ds .

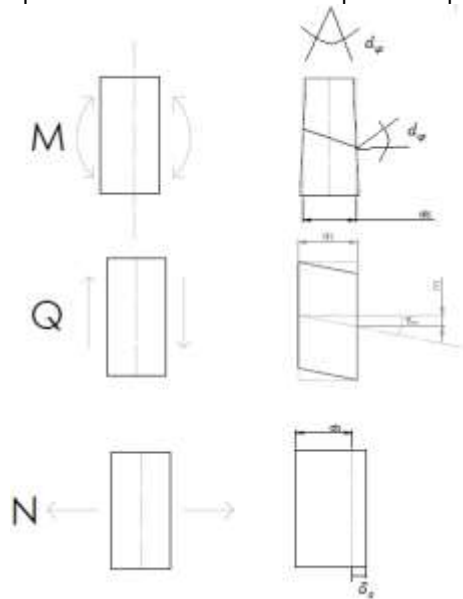
Figura 4. Vista parte parte de una barra perteneciente a estructura plana.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

En la figura 5. Que se muestra a continuación se indica la deformación que presenta una sección en correspondencia con los esfuerzos internos designados como M, Q y N que se obtienen como resultado en esta.

Figura 5. Deformaciones que se tienen en una sección que corresponde a esfuerzos internos.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

$$d_\varphi = \frac{M}{EI} d_s$$

- E: Modulo de elasticidad longitudinal.
- I: Momento de inercia de la seccion.
- E.I: Rigidez flexional de la sección.

$$\gamma_m = k \frac{t_m}{G} = k \frac{Q}{GA}$$

- K: Coeficiente de forma de la sección.
- G: Modulo de elasticidad transversal.
- A: Área de la sección.

$$\delta_s = e \cdot d_s = \frac{N}{E \cdot A} d_s$$

- E: Modulo de elasticidad longitudinal.
- A: Área de la sección.
- E.A: Rigidez axial de la sección.

1.3.1. Convención de signos:

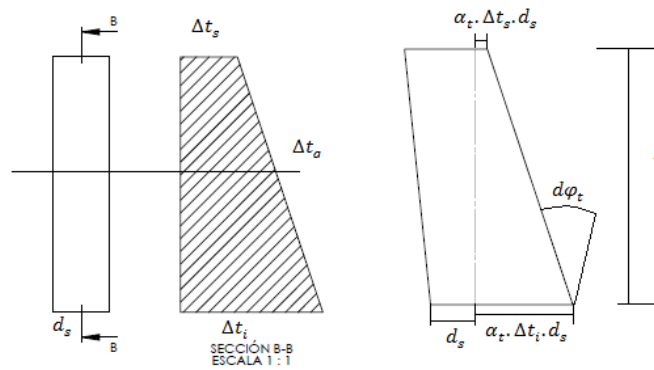
$d_\theta, \delta_m, \delta_s$, serán positivos cuando tengan el sentido indicado en la figura 5 y de signo negativo en el caso contrario. Se tiene así una correlación entre el signo de la deformación respectiva y cada esfuerzo interno.

1.3.2. Deformaciones correspondientes a una variación de temperatura Δt :

- α_t : Coeficiente de dilatación del material.
- Δt_s : Variación de temperatura en la fibra superior de la sección.
- Δt_g : ídem en la fibra baricentrica.
- Δt_i : ídem en la fibra inferior de la sección

Teniendo en cuenta que Δt tiene un cambio lineal referente al largo de la altura de la sección:

Figura 6. Variación lineal respecto al tiempo.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

$$d\varphi_t = \frac{\alpha_t \cdot \Delta t_i \cdot d_s - \alpha_t \cdot \Delta t_s \cdot d_s}{h} = \alpha_t \frac{\Delta t_i - \Delta t_s}{h} d_s$$

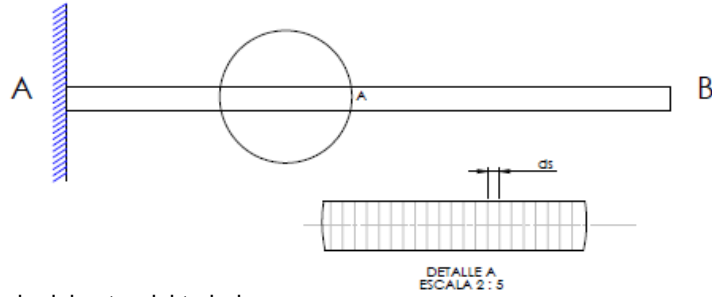
$$ds_t = \alpha_t \cdot \Delta t_g \cdot d_s$$

$d_{\varphi_t}, \delta_{s_t}$, podrán ser positivos cuando posean el sentido indicado en las anteriores figuras, y negativo en caso contrario.

1.4. Relación entre deformación y desplazamiento.

Diferentes estructuras que contengan barras como la indicada en la figura 7, por ejemplo, se puede considerar como una serie de infinitos segmentos de espesor diferencial ds , colocados uno seguido del otro.

Figura 7. Variación lineal respecto al tiempo

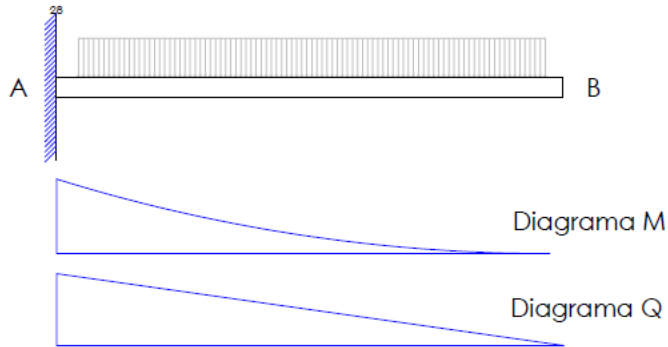


Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

La deformación de cada sección afecta cuanto se corren los puntos de dicha estructura. por ejemplo, el resultado de lo que sucede con ese conjunto de elementos infinitos yuxtapuestos que conforman la barra es el movimiento total del extremo B, los cuales ocasionan ese desplazamiento al deformarse.

A continuación, se observa cómo analizar cada sección respecto al desplazamiento de B. En la figura 8, observamos los diagramas de esfuerzos internos generados por la carga que actúa sobre el elemento. Se ha nombrado una sección J, y sus respectivos valores designados como M y Q.

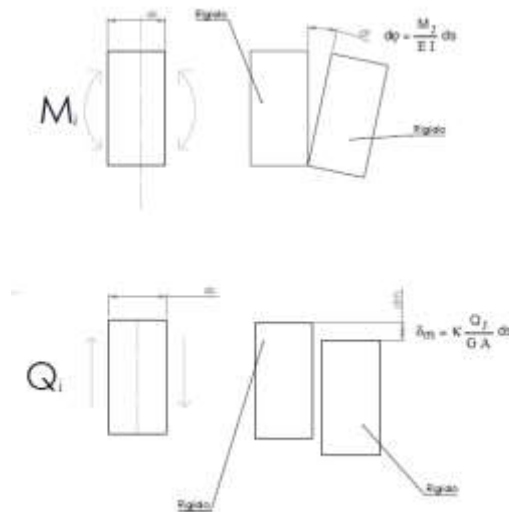
Figura 8. Diagrama de esfuerzos internos para ménsula sometida a carga.



Fuente: Creación propia del autor el trabajo.

Ahora se supone que solo la sección correspondiente a J puede tener deformación; en cambio todas las faltantes son en su totalidad rígidas. Anteriormente visto, la sección situada en J se deformará como se indica la figura 9. con un giro relativo que se puede calcular en función del momento flector de ese punto, y con un esfuerzo de corte en J que ocasiona un desplazamiento transversal entre dos caras.

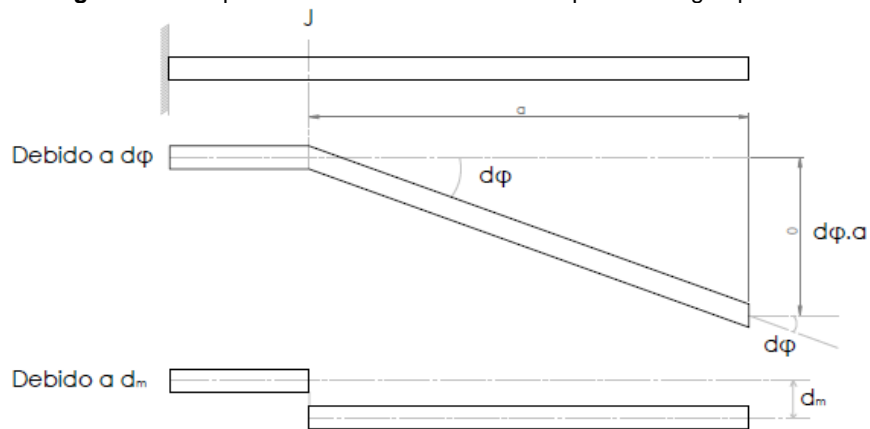
Figura 9. Deformación en J.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

Las restantes rebanadas no tendrían deformación, según la hipótesis planteada, de tal forma que la barra AB se puede comportar de la siguiente manera:

Figura 10. Comportamiento de Barra AB con respecto a carga aplicada.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

Los movimientos del punto B ubicado al extremo serían:

- $J = \varphi$ que sería el giro.
- $J: (d\phi \cdot a + \delta m)$ que es provocado por la suma del giro y el movimiento transversal.

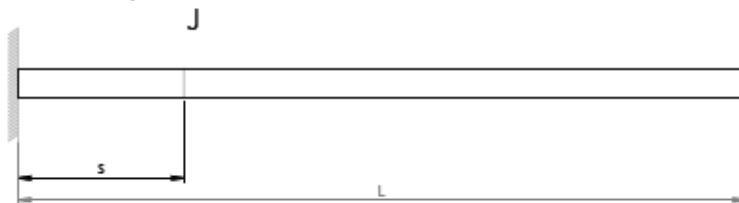
Se tiene la deformación que sufre J en el momento que corre el extremo B del voladizo. Como todas las secciones que constituyen la barra se deforman, no la que

se ha considerado, todas producirán una contribución al desplazamiento del punto B y al giro.

Si se suman esos infinitos aportes se obtiene el movimiento completo del punto; así que hay que plantear una integral definida para poder obtener la magnitud del giro completo de B y otra para la magnitud de su descenso total. Ambas tendrán como dominio de integración toda la barra.

Posteriormente, se expresará M, Q, I etc., como expresiones matemáticas de una coordenada S que recorra toda la estructura (figura 11).

Figura 11. Coordenada 13 que recorre la estructura.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

Las expresiones resultantes serán las siguientes:

$$\varphi_B = \int_A^B d\varphi = \int_A^B \frac{M}{E \cdot I} ds$$

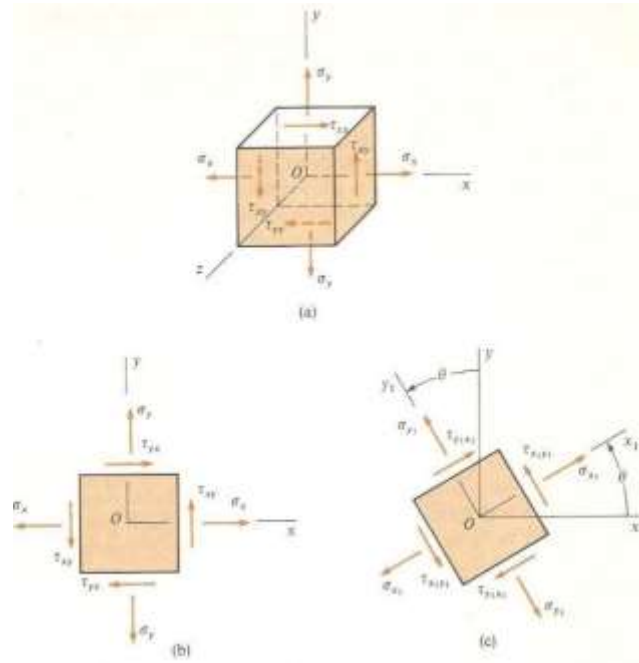
$$\delta_B = \int_A^B d\varphi (L - S) + \int_A^B \delta_m = \int_A^B \frac{M}{E \cdot I} (L - S) ds + \int_A^B K \left(\frac{Q}{GA} \right) ds$$

Este caso es aplicable a cualquier estructura en la cual se quieran determinar los desplazamientos de un punto cualquiera respecto a otro.

1.5. Presencia de carga combinada.

Si sobre un elemento actúan de manera simultánea varios tipos de carga que conforman un esfuerzo combinado (fuerza axial, fuerza transversal, momento torsor y momento flector), se originan sobre la misma sección transversal esfuerzos normales y cortantes, los cuales al considerar un punto sobre el plano quedan definidos por las componentes σ_x , σ_y y τ_{xy} , asociados con la figura 1 [1-3]. Es posible determinar las componentes del esfuerzo $\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$ y $\tau_{x'y'}$ asociadas con el elemento después que ha girado un ángulo θ con respecto al eje z (figura 12), y expresar estas componentes en función de σ_x , σ_y , τ_{xy} y θ , de la siguiente forma.

Figura12. Estado de esfuerzo plano en un punto dado



Fuente: <http://hanselmeraz.blogspot.com/2011/10/unidad-5-esfuerzos-combinados.html>

1.6. Ecuaciones paramétricas de un círculo:

Permiten representar en el plano o en el espacio una curva o una superficie, mediante un parámetro que se representa como una variable, que hace de cada coordenada de un punto una función dependiente. [2]

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

$$\sigma_{y'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} \sin 2\theta$$

1.6.1. Relaciones para la obtención de ecuaciones paramétricas.

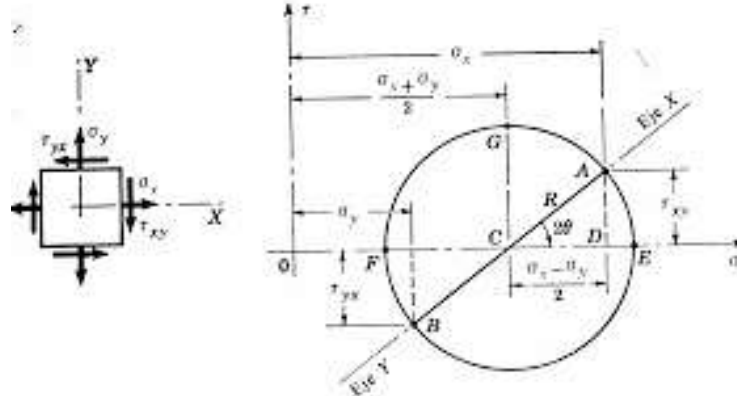
Las ecuaciones paramétricas de un círculo son posible de obtener a través de ellas las siguientes relaciones:

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Donde σ_{prom} define la ubicación del centro del círculo y R representa el radio del mismo [3], se representa en la figura 13.

Figura 13: Círculo de Mohr

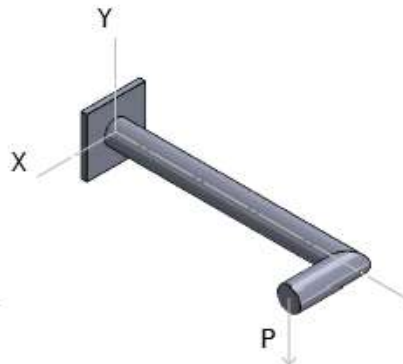


Fuente: <http://daniel.fime.uanl.mx/materias/dem/docs/unidades/u1/parte4.pdf>

1.7. Elemento sometido a carga excéntrica:

Cuando un elemento es sometido a una carga excéntrica, como en la figura 14 va a generar cargas internas de diferentes tipos y magnitudes a lo largo a lo largo del elemento que inducirán esfuerzos axiales y cortantes. [4]

Figura 14. Elemento sometido a cargas excéntricas

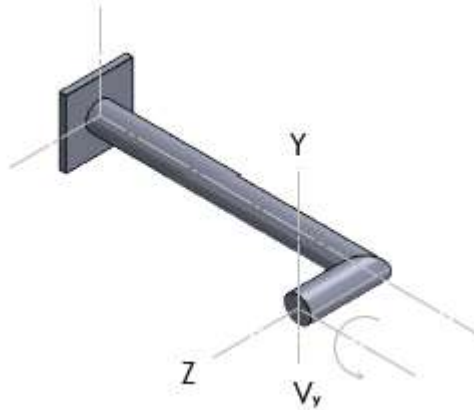


Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

1.7.1. Análisis de esfuerzos:

Para el análisis de esfuerzos tomaremos las secciones S y Q ubicadas a lo largo de los ejes X y Z respectivamente.

Figura 15. Estado de carga de la sección Q.

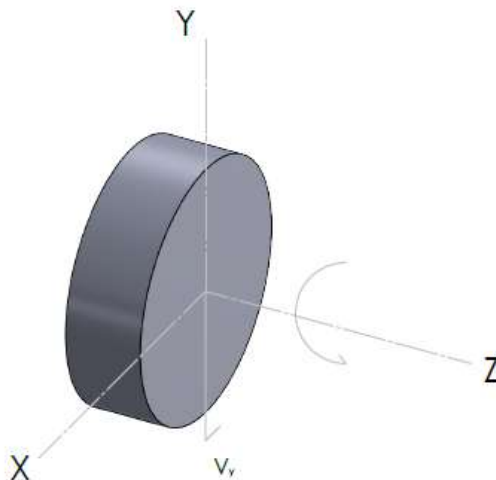


Fuente: Creación Propia del autor del trabajo.

1.7.1.1. Estado de carga de la sección Q.

El efecto de la carga P sobre la sección transversal Q es generar una fuerza cortante V_y y un momento flector M_z , que a su vez inducen esfuerzos cortantes σ_z y cortantes τ_{xy} . Los máximos esfuerzos normales debido al momento flector se presentan en el punto más alejado del eje neutro y por su parte los máximos esfuerzos cortantes producidos por fuerzas de corte se presentan a lo largo del eje neutro, por tal razón se toman los puntos 1 y 2 que coincidan con estas características respectivamente.

Figura 16. Análisis de carga sección Q.

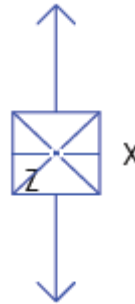


Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

1.7.1.2. Estado de esfuerzos punto 1 sección Q.

Como podemos recordar el esfuerzo cortante τ_{xy} en la superficie del elemento debido a V_y es (0) y el esfuerzo normal σ_z debido a M_x , es máximo para ser la fibra más alejada del punto neutro.

Figura 17. Esfuerzos punto 1 en plano X, Z



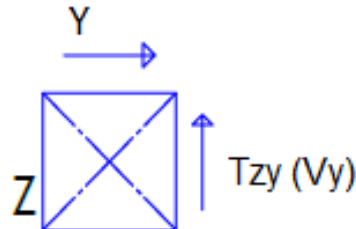
Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

Podemos concluir que en el punto 1 se nos presenta un estado de esfuerzo normal puro.

1.7.1.3. Estado de esfuerzos punto 2 sección Q.

Por su parte en el punto 2 el esfuerzo cortante es máximo por que este se presenta en el eje neutro de la sección, mientras es el esfuerzo normal es cero puesto que no hay distancia entre la fibra y el eje neutro.

Figura 18. Esfuerzos punto 2 plano Z, Y



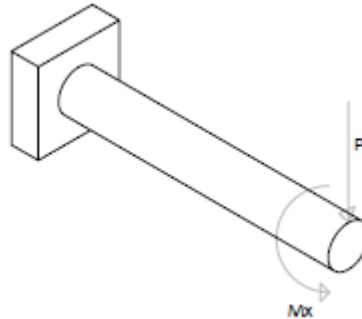
Fuente: Creación Propia del autor del trabajo.

Podemos concluir que el punto 2 presenta un estado de esfuerzo cortante puro. Una vez determinados los esfuerzos en la sección Q, analizamos en S para determinar en qué punto se presenta el punto y por consiguiente la sección y los valores críticos.

1.7.1.4. Estado de carga de la sección S.

Trasladamos la carga P al punto B y el momento torsor $M_{x \text{ torsor}}$, inducido por el producto de P por su brazo de palanca AB.

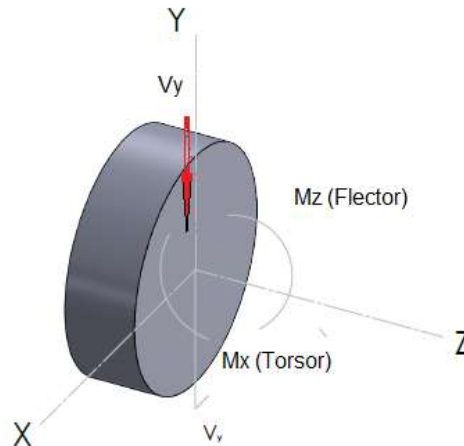
Figura 19. Traslado de carga P al punto B.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

1.7.1.5. El efecto de fuerzas sobre la sección S es:

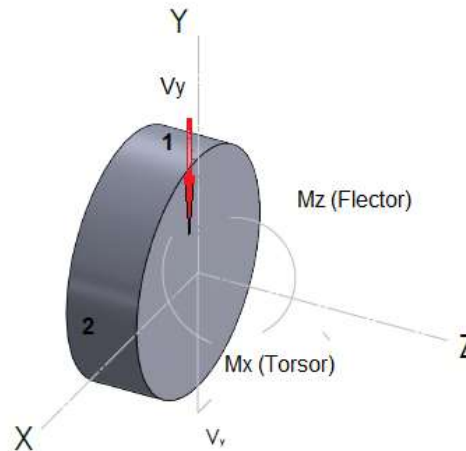
Figura 20. Análisis de la sección S.



Fuente: Autoría propia del autor del trabajo.

De manera similar al análisis de la sección Q tomamos dos puntos para su análisis.

Figura 21. Puntos 1 y 2 en sección S.

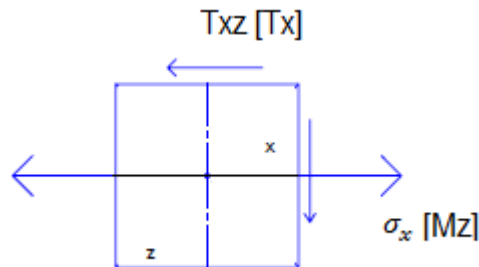


Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

1.7.1.6. Estado de esfuerzos punto 1 sección S.

En este punto, producto del esfuerzo torsor M_x de la carga P con respecto del eje X se nos inducen esfuerzos cortantes τ_{xz} , con su valor máximo de R_{max} y el efecto flector M_z de dicha carga debido a la distancia al eje Z nos produce el esfuerzo normal σ_x .

Figura 22. Esfuerzos punto 1 sección S plano X, Z

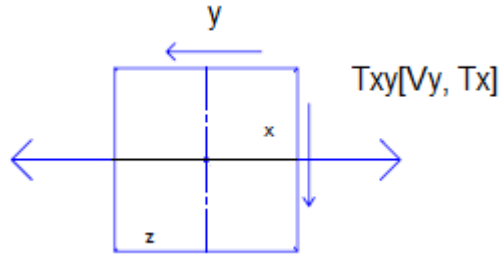


Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

1.7.1.7. Estado de esfuerzos punto 2 sección S.

Para esta situación no se presenta esfuerzo normal σ_x y por su parte el cortante τ_{xz} es la suma de los producidos por las fuerzas transversales V_y y el momento torsor M_x/T_x .

Figura 23. Esfuerzos punto 2 sección S.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

1.8. Desplazamiento.

Si un objeto se mueve en relación a un marco de referencia (por ejemplo, si una profesora se mueve a la derecha con respecto al pizarrón, o un pasajero se mueve hacia la parte trasera de un avión), entonces la posición del objeto cambia. A este cambio en la posición se le conoce como desplazamiento. La palabra desplazamiento implica que un objeto se movió, o se desplazó [5, 6, 7].

A el cambio en la posición de un objeto se le llama desplazamiento. Se puede definir de manera matemática con la siguiente ecuación.

$$\Delta_x: x_f - x_o$$

x_f : se refiere al valor de la posición final

x_o : se refiere al valor de la posición inicial

Δ_x : simbolo respresentatico de desplazamiento

1.9. Elementos hiperestáticos (estáticamente indeterminados).

A menudo se tienen grupos de elementos con cargas en las que las que no son suficientes las ecuaciones de equilibrio estático para determinar las fuerzas que soporta cada sección. Estos casos se llaman estáticamente indeterminados y se hace necesario adicionar ecuaciones para relacionar las deformaciones elásticas que existen en los distintos elementos [8,9].

Pautas generales para enfrentar estos tipos de problemas: [10]

1. Aplicar ecuaciones de equilibrio estático en base a diagrama de cuerpo libre.
2. Si hay más incógnitas que ecuaciones independientes de equilibrio, hallar ecuaciones nuevas derivadas del uso de relaciones geométricas.

1.10. Comparador de caratula.

Los indicadores de caratula son elementos de uso muy extendido en la industria con aplicaciones muy diversas, su utilización en aparatos de medición que permiten una toma de datos rápida.

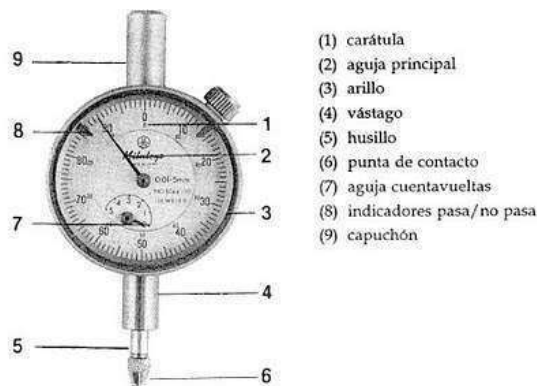
Existe un sin número de modelos que se utilizan en diversas aplicaciones, una de ellas es, en el intervalo de medición, otra es el valor de la mínima graduación, existiendo los indicadores de caratula y los indicadores de caratula tipo palanca.

Con el fin de realizar mediciones estos deben estar fijados a una base que sirve como soporte. En la actualidad, están disponibles una gran variedad de modelos de indicadores digitales, con funciones directas como las salidas de datos, conversión mm/pulg, prefijado, cero ABS, cero INC y otras que facilitan el trabajo aumentando la confiabilidad de las mediciones [11].

Este instrumento es muy utilizado en el control del error en la forma que está construida una pieza y como base para comparaciones (por diferencia) entre la dimensión de una pieza sometida a carga y la de una pieza patrón. Se hace indispensable que al momento de su uso esté completamente sujeto a una base. Tenemos diferentes formas de clasificar estos medidores de carátula:

- mediante la forma de lectura, estos medidores se clasifican en análogos o digitales.
- Según el tamaño del dial, el cual se refiere directamente a la norma AGD (American Gage Design Specification).
- Comparador de carátula digital. [figura 25]
- Comparador de carátula análogo. [figura 24]

Figura 24. Comparador de caratula análogo y sus partes.



Fuente: https://www.ecured.cu/Indicador_de_car%C3%A1tul

Figura 25. Comparador de caratula digital.



Fuente: <https://es.slideshare.net/motoche54/manometros-38350805>

1.10.1. Pasos para leer el indicador de caratula:

1. Se debe establecer en el punto cero el medidor de caratula de carátula tomando como referencia un patrón o una superficie plana.
2. Luego, se fija el elemento mediante un sistema de imán que trae para así garantizar su no movilidad.
3. Se ubica el medidor bajo la pieza a la cual se le va aplicar la carga.
4. Por último, se debe tener en cuenta el movimiento del agua del medidor si es con sentido horario o anti horario.

1.10.2. Recomendaciones y cuidados para las mediciones con comparador de caratula. [12]

1. Elija el medidor que mejor se ajuste al uso que le dará teniendo en cuenta factores tales como: tamaño, curso, lectura y tipo.
2. Tenga en cuenta que al momento de observar la medida arrojada por el medidor su vista este ubicada en paralelo.
3. Cerciórese de que el medidor este ubicado perpendicularmente a la base así disminuye el error en la toma de datos.
4. Evite someter el medidor a algún tipo de impacto o movimiento brusco.
5. Apriete muy bien todos los vástagos del equipo.

6. Al finalizar su uso límpielo y calíbrelo de tal manera que siempre este en buenas condiciones para su uso.
7. Almacenar siempre en un ambiente limpio y seco.

1.11. Software para simulación de desplazamientos.

Antes de nombrar un software para la simulación en ingeniería es necesario hablar el método matemático en que comúnmente se basan estos y es el método de elementos finitos. Este método, es de forma numérica y se emplea para solucionar problemas de ingeniería que contienen una complejidad alta, esto se debe a que gran cantidad de estos problemas siempre traen consigo complejas geometrías, cargas mal distribuidas y determinación de que material conviene más usar.

El método de elementos finitos en temas de ingeniería es aplicado para solucionar problemas que enfrentan: analizar estructuras involucradas en transferencias de calor, movimiento y transporte de masa y cálculos electromagnéticos. [13].

Ya que este proyecto tiene un enfoque académico se tendrá en cuenta los softwares disponibles en la institución como lo son: Solid Works y Ansys.

1.11.1. Solid Works, es diseñador CAD 3D manejado por medio de una computadora para poder darle molde a piezas y ensamblarlas en vistas de tres dimensiones y planos en dos dimensiones, en el podemos inventar, diseñar, probar, construir, compartir y gestionar los datos del proceso de diseño [14].

1.11.2. Ansys, es un programa de ingeniería asistida por computador (CAE) en el cual se puede diseñar, analizar y simular piezas utilizando el método de elementos finitos (FEA), se incluyen fases de preparación de malleo, ejecución y post proceso. [15].

1.12. Proceso de diseño de máquinas.

Este proceso de diseño es uno de los más interesantes y con un alto nivel de complejidad a nivel de ingeniería, siendo el elemento principal del desarrollo de proyectos.

Este proceso requiere de una tarea interdisciplinaria que acapara todos los campos de la ingeniería y se ha dividido en tres etapas [16]:

- Diseño conceptual.
- Diseño básico.
- Diseño detallado.

1.12.1. Diseño conceptual.

Momento en el cual se arma el mapa del proceso que se va a llevar a cabo. Por fácil que se note, el contexto del mismo es un tema de alta complejidad y responsabilidad, porque si se comete algún error este se ve reflejado en las siguientes etapas. El ingeniero a cargo debe tener mucha experiencia, de modo que se encargara de dar las indicaciones para que la metodología del proceso se cumpla correctamente, teniendo en cuenta claro estos aspectos técnicos, económicos y ambientales.

1.12.2. Diseño básico:

Es la materialización del diseño conceptual. El ingeniero encargado del proceso tiene el deber de determinar y seleccionar los equipos, tuberías y accesorios que se tendrán en cuenta en la planta.

1.12.3. Diseño detallado.

Arranca a partir de toda la información suministrada por las personas encargadas de las fases anteriores con el fin de iniciar los procesos mecánicos. [17].

Es el eslabón final en la desintegración aplicada a objetos, en las que se logran identificar tolas representaciones de un código en símbolos. Su finalidad es dejar el proyecto conformado y listo para la implementación/codificación: [18]

2. METODOLOGIA DE DISEÑO

Instrucciones y procedimientos que no pueden faltar para resolver un problema específico. También se puede decir que es un ¿Cómo resuelvo el problema? Indagando más a fondo podemos decir que: son cada una de las técnicas, herramientas, instrumentos y procedimiento que nos hacen fácil el camino para lograr un buen diseño, por tanto, el diseñador debe combinar muy bien distintas actividades lo que conlleva a un buen proceso de diseño. El dibujo, es sin duda el método más común ya que es diseñar interpretando a modo de dibujo, Sin embargo, desde hace unos años se ha notado una gran implementación de metodologías de diseño que pueden ser llamados no convencionales o nuevos métodos de diseño.

2.1. Modelos de diseño:

por lo general se dividen en cuatro grupos: descriptivos, prescriptivos, cognitivos y computacionales. [19]

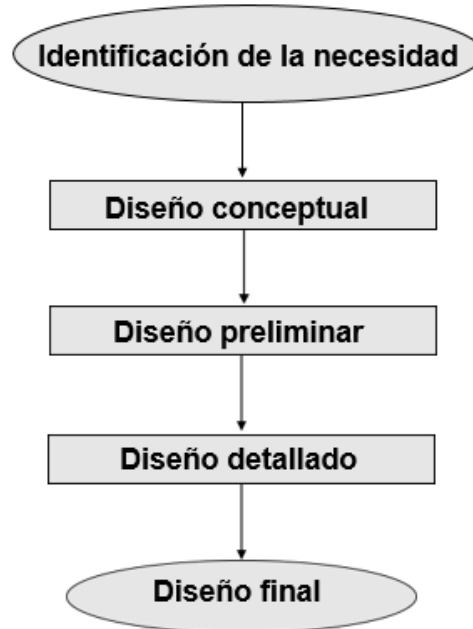
2.1.1. Los modelos descriptivos: Describen una cadena de actividades que en el diseño se implementan; en este caso se recomienda un patrón de diseño.

2.1.2. Los modelos cognitivos: ayudan a entender cómo se comporta el diseñador.

2.1.3. Los computacionales: Describe el cómo se desarrolla el diseño de una actividad por medio de una computadora.

Para el desarrollo del diseño del banco para medir desplazamientos originados por carga combinada se utilizó el modelo lineal, el cual pertenece al grupo de los descriptivos, debido a que es simple y nos ayuda a determinar fácilmente las fases que tiene el diseño que son fácilmente aceptadas por casi todos los investigadores y las cuales se relacionan en la Figura 26.

Figura 26. Modelo lineal de diseño



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

Se tiene la existencia de modelos más complejos que se dirigen a fines más específicos dependiendo del área de estudio. En la segunda fase, siendo esta el diseño básico se obtiene formas puntuales, materiales propuestos y conjunto de planos con generales dimensiones.

Por ultimo tenemos la fase final de diseño, denominada diseño de detalle. Con ella se puede lograr la creación de especificaciones las cuales depende la producción del producto. Se crean planos para tener una mirada más detallada, el planteamiento de etapas en la fabricación, la indagación de proveedores, etc. Siendo así una fase de nivel empresarial. [20]

2.2. Identificación de la necesidad.

El diseño como requerimiento inicial y de mayor importancia para la construcción de un equipo didáctico en el cual corroboramos las ecuaciones de esfuerzo y deformación de elementos sometidos a esfuerzos combinados causados por cargas puntuales de diferentes magnitudes, en el cual se debe tener en cuenta ciertos parámetros solicitados por el docente a cargo de la asignatura Resistencia de Materiales, atendiendo a esto y con el fin de adecuar de una mejor manera los contenidos teóricos a las prácticas de laboratorio implementadas se resumen en los siguientes ítems:

1. El equipo debe permitir, en lo posible, que la probeta utilizada en los dos tipos de ensayo (determinado e indeterminado), este sometida a esfuerzos combinados provocados por cargas puntuales de diferentes magnitudes ubicadas estratégicamente segundo el criterio de análisis que tenga la persona a utilizar el banco de pruebas.
2. Teniendo en cuenta que la utilización del banco es con fines didácticos las cargas que se deben utilizar deben ser de magnitud pequeña, es decir que no sobrepasen los 24 N que equivalen a 2447,31 gramos-fuerza.
3. El equipo debe permitir cuantificar la deformación unitaria al cortante, γ , el cual es necesario para determinar los esfuerzos principales normales y cortantes máximos que está presentando la probeta; adicionalmente también debe facilitar la obtención del ángulo de giro (ϕ), en puntos ubicados a diferentes longitudes del espécimen.
4. Los materiales utilizados en la construcción del equipo y la probeta deben ser asequibles comercialmente.
5. El equipo debe permitir el cambio fácil y rápido 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.
6. El acabado final del equipo debe ser de buena calidad, con el fin de garantizar su durabilidad en el tiempo.
7. Por último, el equipo se debe entregar con una guía de laboratorio con fines didácticos para la implementación de una práctica dentro de la asignatura resistencia de materiales siguiendo el modelo de las existentes en la actualidad.

2.3. Diseño conceptual.

Con el fin de dar respuesta y aclarar cada uno de los ítems de requerimientos de la persona que solicita el equipo se analizó cada uno de ellos a continuación.

2.3.1. Existencia de momentos.

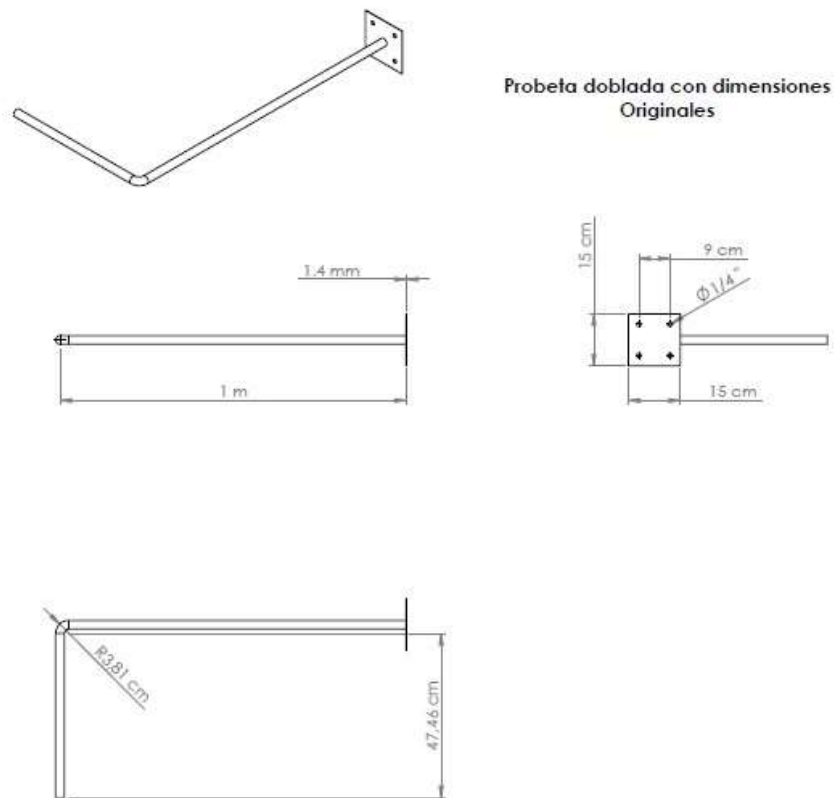
Como se nombró y explico en subnivel 1.2.1. del capítulo uno de este trabajo, se requiere analizar la existencia de momentos provocados por torsión y flexión ya que se aplica una carga (fuerza) a una distancia perpendicular del eje centroidal del elemento que se analizó; la mejor forma de hacerlo es ubicar uno de los extremos de la probeta en un empotramiento, apoyo que restringe todos los movimientos, y en el otro extremo un sistema que permita la existencia de una distancia perpendicular para la aplicación de la carga, la cual por facilidad deber ser el peso de un elemento. Teniendo en cuenta que la idea es calcular el desplazamiento de la probeta desde su posición original hasta la final después de aplicar la carga, se debe bien analizar la magnitud del desplazamiento ocasionado por un momento flector que se da desde el empotramiento hasta el

punto donde empieza la sección perpendicular a este, por consiguiente, nuestro desplazamiento será una suma entre la deflexión obtenida por un momento de flexión y un momento de torsión que es proporcional al ángulo de giro que es ocasionado por la carga puntual aplicada.

2.3.2. Primer modelo de probeta

A continuación, en la figura 27 se observa el plano isométrico del primer modelo de probeta:

Figura 27. Plano isométrico con dimensiones originales de la primera probeta con un solo empotramiento.

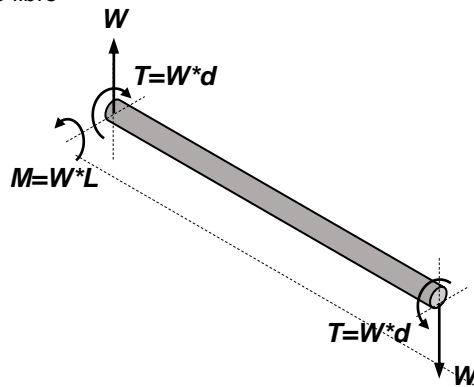


Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

Tenemos el plano isométrico de la probeta uno de un solo empotramiento en el cual observamos las dimensiones de construcción utilizadas en el diseño de esta.

Para determinar cuáles cargas están presentes en la probeta se hace necesario realizar un “DCL” diagrama de cuerpo libre de este elemento.

Figura 28. Diagrama de cuerpo libre



Fuente: Ensayo indagado.

La figura 28, permite observar que la probeta sometida a una carga W en el primer diseño propuesto estaría sometida a condiciones de esfuerzos originados por carga combinada, como lo son torsión, pero también por flexión. Para corroborar lo anteriormente descrito se realizó un análisis a través del software ANSYS, y los resultados están presentes a continuación.

2.3.3. Análisis a través del software ANSYS con cargas aplicadas de 2kg y 10kg:

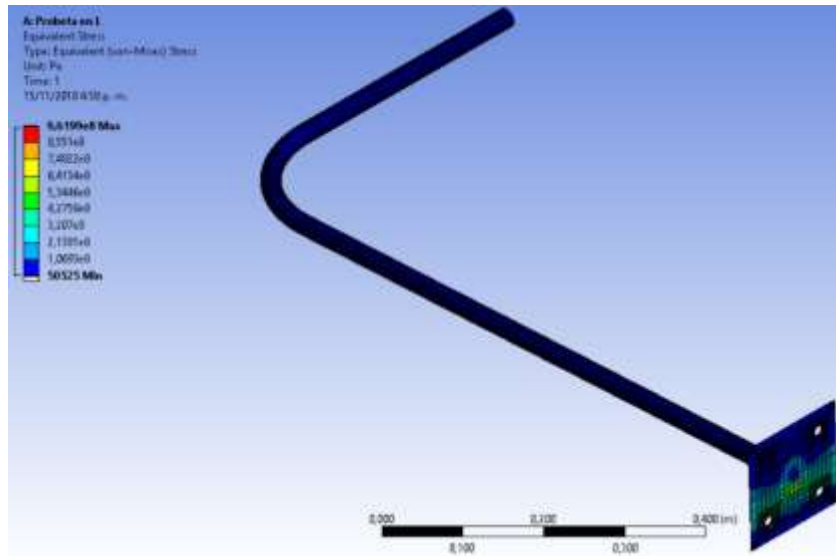
En la probeta uno de empotramiento simple, y los resultados están presentes a continuación:

2.3.3.1. Carga de 2 Kg Aplicada en la Probeta 1 de un solo empotramiento.

- Esfuerzo máximo Equivalente: $9,6199e8$ Pa – 961,99 MPa
- Deformación Máxima: 0,34692 m – 34,69 cm
- Factor de seguridad Mínimo: 0,29106

En la figura 29, podemos observar los resultados derivados de la simulación y tenemos que el esfuerzo equivalente máximo de Von Mises de la probeta es de 961,99 MPa; este método se utilizó porque es el más acertado en predecir la falla causada por la energía elástica asociada con la deformación por cortante, es acorde para materiales dúctiles y predice la fluencia bajo cargas combinadas con mayor exactitud que alguna otra teoría.

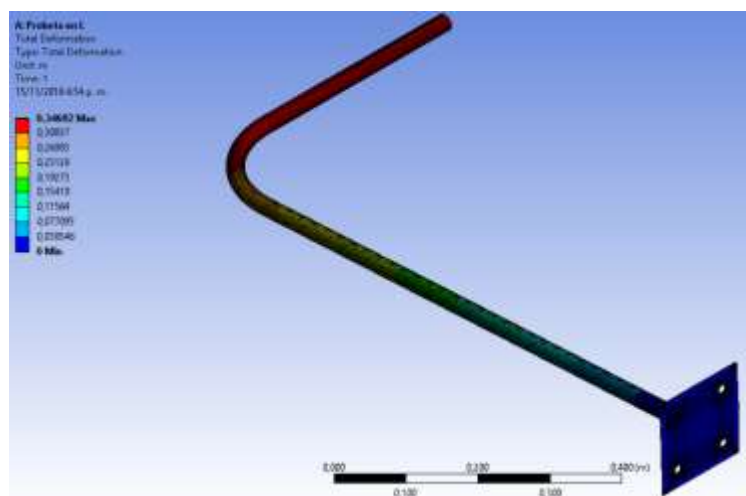
Figura 29: Resultados del esfuerzo equivalente Von Mises probeta 1 software ANSYS.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

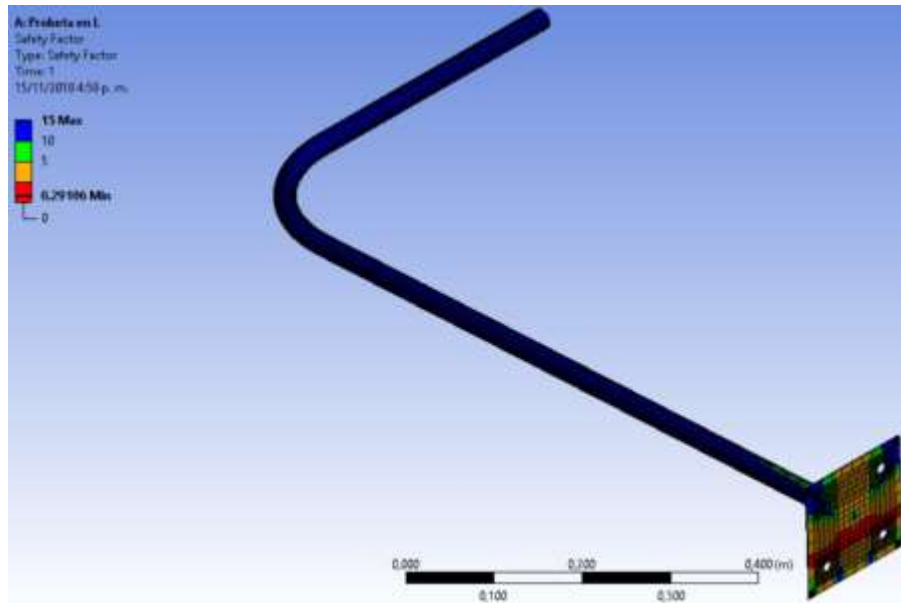
En la Fig. 30 y 31, tenemos los resultados y podemos observar que la deformación máxima causada por un esfuerzo máximo y el factor de seguridad de los valores obtenidos son 34,69 cm y 0,29106 respectivamente. El material utilizado fue aluminio en aleación, siendo su módulo de elasticidad es 70 GPa y resistencia a la fluencia de 125 MPa. Al momento de observar el factor de seguridad nos indica que el material que utilizamos puede soportar más o menos 0,29106 veces el esfuerzo que siente la probeta en las condiciones actuales de carga.

Figura 30: Análisis de deformación probeta 1 software ANSYS.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Figura 31. Análisis de factor de seguridad probeta 1 empotramiento simple software ANSYS.



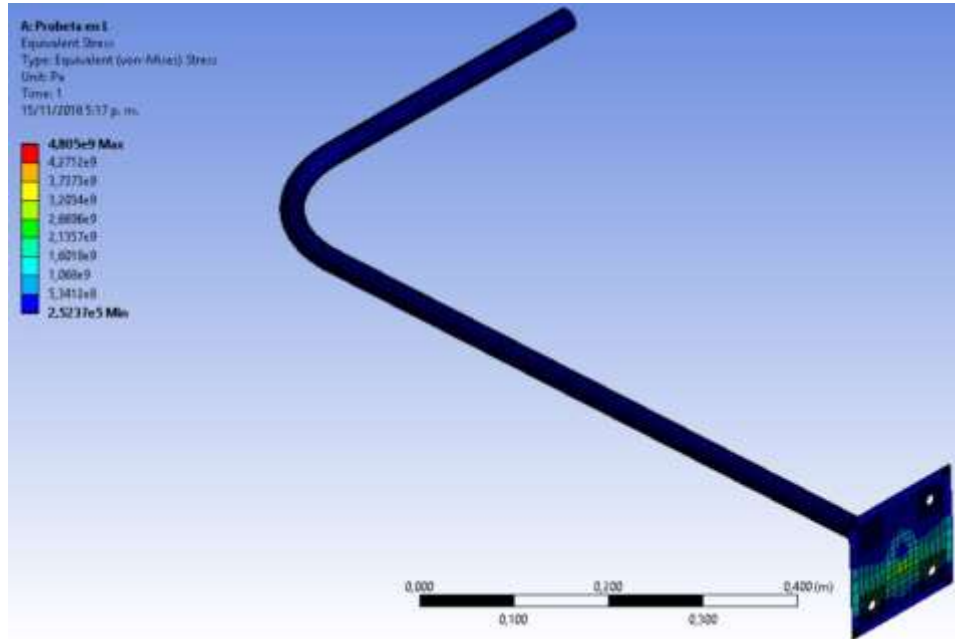
Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

2.3.3.2. Análisis de rotura para la probeta 1 con una carga aplicada de 10 Kg software ANSYS.

- Esfuerzo máximo Equivalente: 4,805 GPa
- Deformación Máxima: 1,7328 m
- Factor de seguridad Mínimo: 0,058272

Se observa en la Fig. 32, se tienen resultados de simulación y arrojan que el esfuerzo equivalente máximo de Von Mises de la probeta es de 4,805 GPa; este método se escoge es el más acertado en predecir la falla causada por la energía elástica asociada con la deformación por cortante, es acertada en materiales dúctiles y predice la fluencia bajo cargas combinadas con mayor exactitud que cualquier otra teoría reconocida.

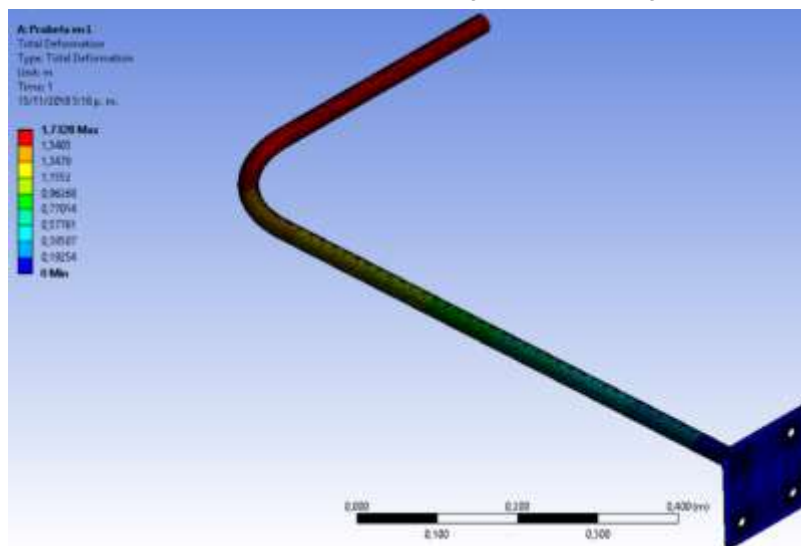
Figura 32. Resultados del esfuerzo equivalente Von Mises probeta 1 carga aplicada 10Kg software ANSYS.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

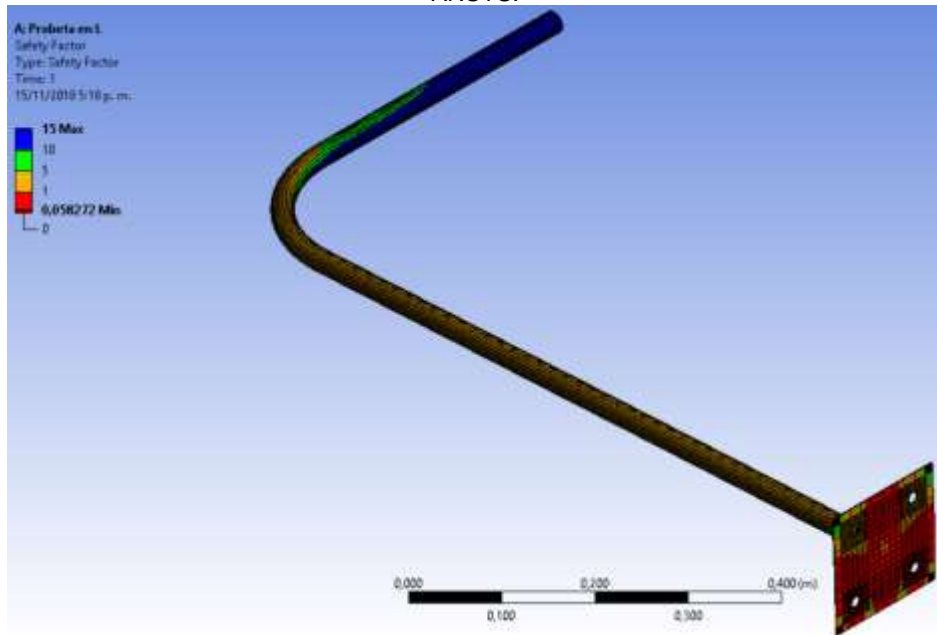
En la Fig. 33 y 34, nos indica que los resultados obtenidos de la deformación máximo a causa de un esfuerzo máximo y el factor de seguridad de los valores obtenidos son 1,7328 m y 0,058272 respectivamente. El material que se utilizo fue aleación aluminio, cuyo módulo de elasticidad es 70 GPa y resistencia a la fluencia de 125 MPa. Con factor de seguridad obtenido se indica que el material que se utilizo llega a soportar aproximadamente 0,058272 veces el esfuerzo que siente la probeta en las condiciones actuales de carga.

Figura 33. Análisis de deformación probeta 1 carga aplicada 10 Kg software ANSYS



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

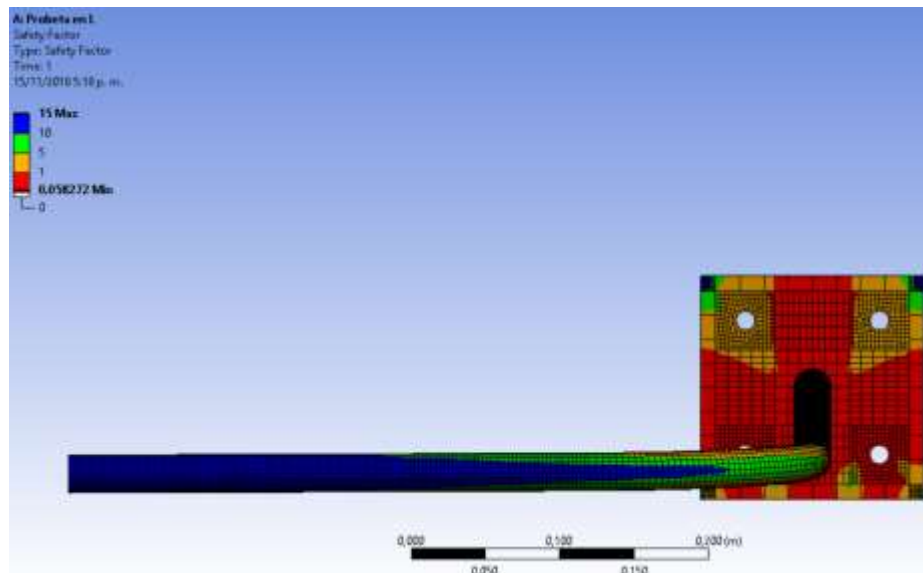
Figura 34. Análisis de factor de seguridad probeta 1 carga aplicada 10 Kg empotramiento simple software ANSYS.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

En el análisis de rotura, se lleva la probeta hasta una tensión de esfuerzo máxima al punto en que ocurre la rotura del elemento con esto se supo cuál es el punto de quiebre de la pieza.

Figura 35. Análisis de rotura probeta 1 carga aplicada 10 Kg empotramiento simple software ANSYS.

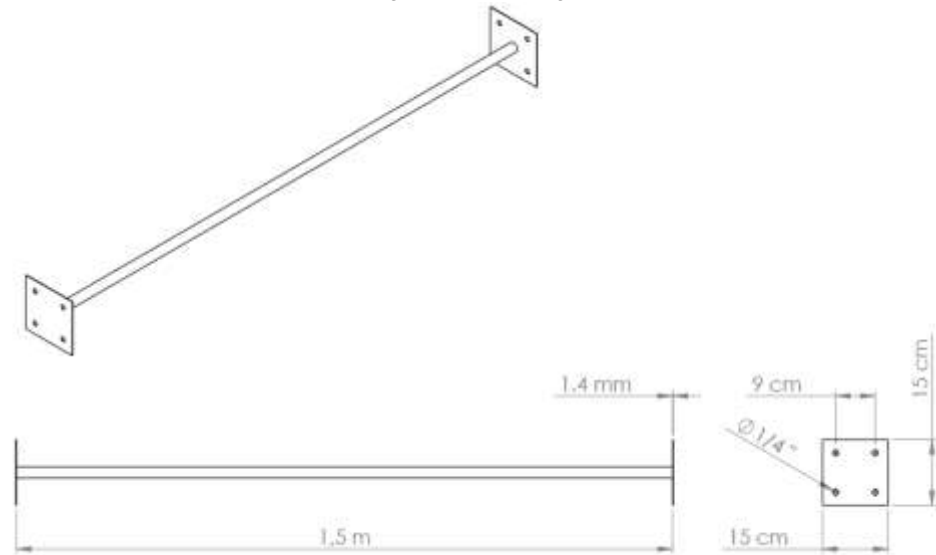


Fuente: Creación propia del autor del trabajo

2.3.4. Segundo modelo de probeta.

A continuación, en la figura 36 se observa el plano isométrico del segundo modelo de probeta:

Figura 36. Plano isométrico con dimensiones originales de la segunda probeta con un doble empotramiento.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Tenemos el plano isométrico de la probeta dos de doble empotramiento en el cual observamos las dimensiones de construcción utilizadas en el diseño de esta.

Para determinar cuáles cargas están presentes en la probeta se hace necesario realizar el diagrama de cuerpo libre "DCL" de este elemento.

2.3.5. Análisis a través del software ANSYS.

En la probeta 2 de doble empotramiento con carga aplicada de 10kg, y los resultados están presentes a continuación:

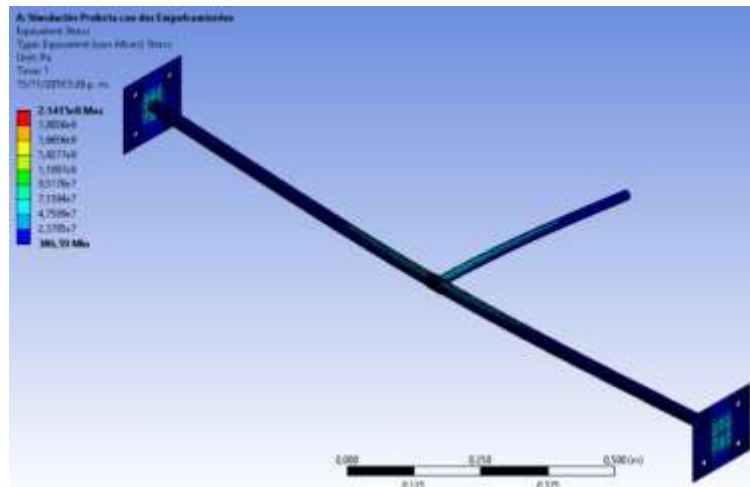
2.3.5.1. Carga de 10 Kg Aplicada en la Probeta 2 de doble empotramiento.

- Esfuerzo máximo Equivalente: 2,1415e8 Pa – 214,15 MPa
- Deformación Máxima: 0,017021 m – 1,7021 cm
- Factor de seguridad Mínimo: 1,3075

En base al resultado arrojado se determina que el esfuerzo equivalente máximo de Von Mises de la probeta es de 214,15 MPa, como se observa en la Fig. 37; este

método se escoge porque es el más acertado en predecir la falla que causa la energía elástica y que se asocia con la deformación por cortante, es certera en materiales dúctiles y predice la fluencia bajo cargas combinadas con mayor exactitud que cualquier otra teoría reconocida.

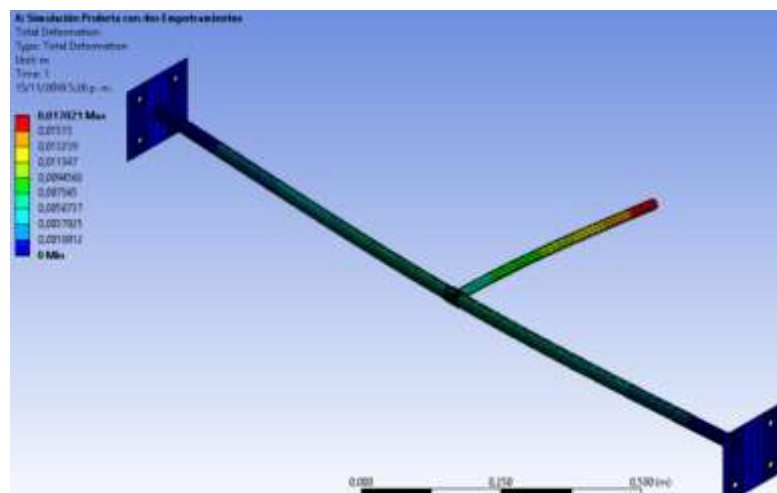
Figura 37: Resultados del esfuerzo equivalente Von Mises probeta 2 doble empotramiento software ANSYS.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

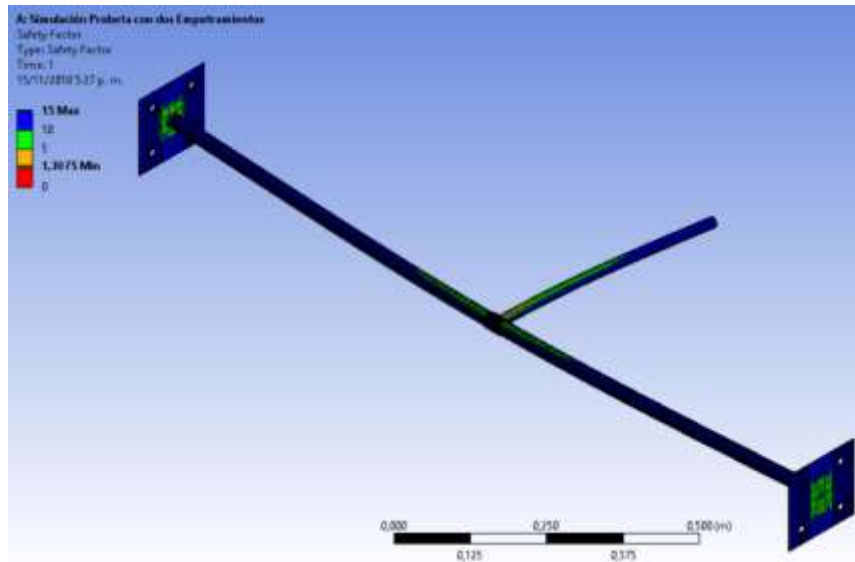
En la Fig. 38 y 39, tenemos que la deformación máxima a causada y el factor de seguridad de los valores obtenidos son 1,7021 cm y 1,3075 respectivamente. El factor de seguridad obtenido indica que el material seleccionado puede soportar aproximadamente 1,3075 veces el esfuerzo que siente la probeta en las condiciones actuales de carga.

Figura 38. Análisis de deformación probeta 2 carga aplicada 10 Kg de doble empotramiento software ANSYS.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

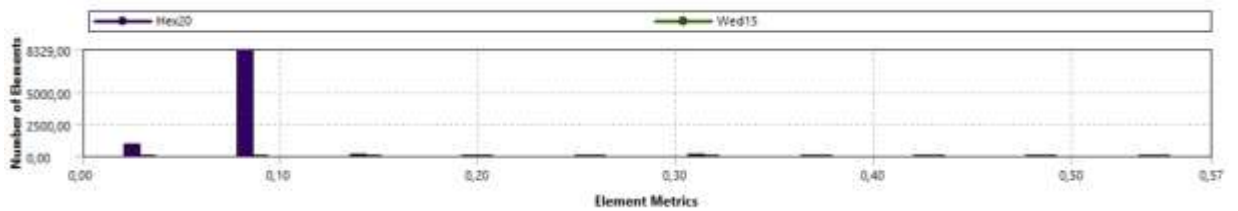
Figura 39. Análisis de factor de seguridad probeta 2 carga aplicada 10 Kg empotramiento doble software ANSYS.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

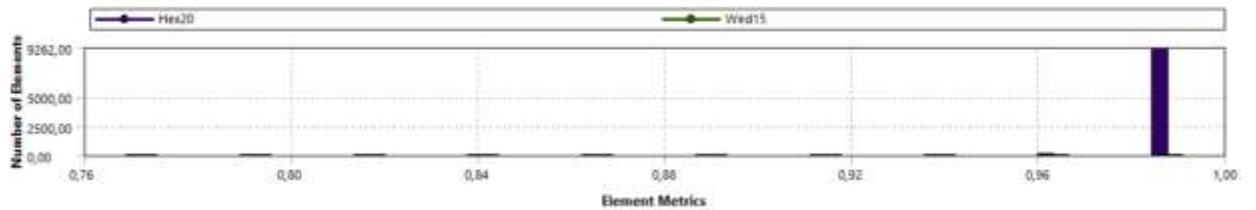
2.3.6. Calidad de malla en la simulación software ANSYS.

Figura 40. Oblicuidad del mallado.



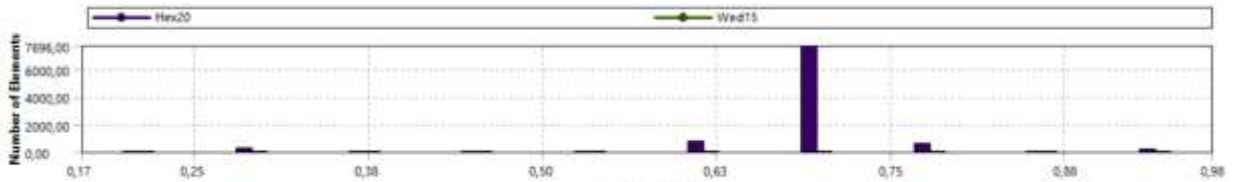
Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Figura 41. Ortogonalidad del mallado.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Figura 42. Calidad del malla



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

2.3.7. Material utilizado en la simulación del diseño.

Se utilizó una aleación de aluminio que también es llamada aleación ligera, con una densidad que es más baja que la de los aceros, perdiendo resistencia a la corrosión como el aluminio puro. Las aleaciones de aluminio nos ayudan a mejorar la dureza y resistencia del material, ya que este al estar en estado puro es muy blando.

2.3.7.1. Propiedades del aluminio seleccionado en la siguiente figura.

Figura 43. Propiedades del elemento arrojadas por el software ANSYS.

Properties of Outline Row 3: Aluminum Alloy				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	2770	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
12	Alternating Stress R-Ratio	Tabular		
16	Tensile Yield Strength	2,8E+08	Pa	
17	Compressive Yield Strength	2,8E+08	Pa	
18	Tensile Ultimate Strength	3,2E+08	Pa	
19	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

Fuente: Creación propia del autor del trabajo

el aluminio resiste más a bajas temperatura, y a diferencia del Acero no sufre rotura, al contrario, aumenta su resistencia. Cabe resaltar, que en una aplicación de calor superior a 100° C su resistencia puede modificarse.

2.3.8. Magnitudes de carga que no sobre pasen 24 N que equivalen a 2447,31 gramos-fuerza.

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 cortante como el ángulo de rotación de un elemento sometido a torsión.

Las ecuaciones que definen el esfuerzo cortante máximo y el ángulo de rotación de un elemento de sección circular son:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T * C}{J}$$

$$\phi = \frac{T * L}{G * J}$$

Se observa que tanto el esfuerzo como la deformaci3n dependen directamente de la magnitud del momento torsor, raz3n por la cual es necesario implementar en el equipo la mayor longitud posible de las barras que se utilizan para aplicar la carga, ya que el momento es igual a la fuerza por la distancia perpendicular y aunque la carga sea baja se puede alcanzar un mayor momento torsor mediante esta condici3n.

Tambi3n se puede apreciar en las ecuaciones que ambos par3metros son inversamente proporcionales al momento polar de inercia (J), el cual depende de las dimensiones de la secci3n transversal; debido a lo anterior es conveniente utilizar secciones circulares tubulares ya que con las mismas dimensiones externas tendr3n momentos de inercia m3s bajos y por consiguiente el esfuerzo y la deformaci3n se incrementan.

El esfuerzo cortante tambi3n tienen una relaci3n directamente proporcional al valor de C , es decir a la distancia desde el eje central hasta el punto m3s lejano de la secci3n transversal, en el caso de una secci3n circular tubular este valor equivaldr3a al radio externo del tubo, sin embargo el valor de (J) tambi3n depende de esta variable y adicionalmente tiene mayor relevancia en la ecuaci3n, raz3n por la cual este valor queda supeditado a su influencia dentro del momento polar de inercia.

El 3ngulo de giro es directamente proporcional a la longitud (L) de la probeta a ensayar, por consiguiente el equipo se debe dise1nar de tal manera que permita maximizar esta variable; adicionalmente es inversamente proporcional al m3dulo de rigidez (G) de la probeta a ensayar, propiedad caracter3stica del material, por consiguiente est3 debe ser fabricada de un material con una magnitud m3s baja.

2.3.9. Cuantificaci3n de la deformaci3n unitaria al cortante y el 3ngulo de giro en puntos ubicados a diferentes longitudes de la probeta.

La deformaci3n unitaria al cortante m3xima se presenta sobre la superficie externa de la probeta a ensayar, para determinar esta magnitud se deben implementar galgas extensiom3tricas, las cuales cuantifican la deformaci3n que se presenta y la suministra a trav3s de un cambio en su resistencia el3ctrica, valor que se detecta y se visualiza a trav3s de un transductor y un sistema de adquisici3n de se1ales.

Para la cuantificación del ángulo de giro se utiliza una barra ubicada sobre la probeta, la cual puede ser desplazada sobre la misma con el fin de cuantificar su desplazamiento vertical hacia abajo cuando se aplica el momento torsor sobre la probeta. Este desplazamiento se cuantifica a través de un comparador de carátula y a través de la magnitud encontrada y mediante el uso de las funciones trigonométricas se puede determinar el valor de θ .

2.3.10. Materiales comerciales 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.

2.3.11. Cambio rápido de la probeta.

Para garantizar esta condición se diseñó un sistema que permite separar fácilmente la probeta a ensayar de la estructura propia del equipo, para esto el sistema de tornillos, arandelas y tuerca será el más adecuado para la aplicación. Este sistema, aunque fácilmente desmontable permite que este ensamble se comporte como un empotramiento y por consiguiente garantiza el equilibrio estático de la probeta.

2.3.12. Acabado final del equipo.

El acabado final del equipo se realizó a través del uso de pinturas comerciales, las cuales se depositaron sobre laca anticorrosiva en los componentes que se fabricaron en acero al carbono, con el fin de incrementar la durabilidad del equipo; donde se utilizó aluminio se dejó tal cual a como fue suministrado por el almacén, para tener la capacidad de formar una capa que es inerte situándose en la superficie de un material (frecuentemente un metal), que lo protege de afectaciones externas.

2.4. Diseño preliminar.

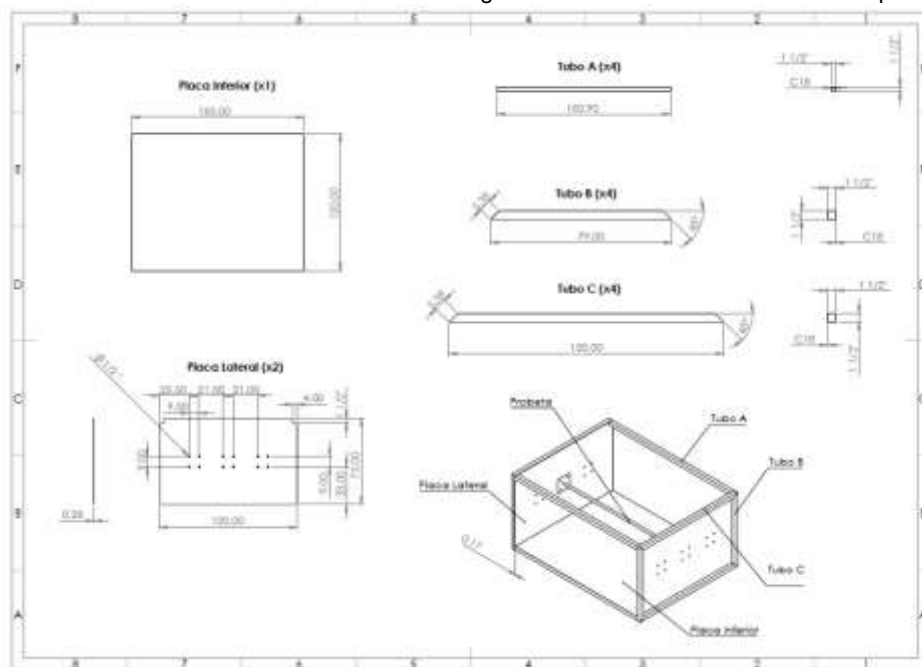
Con base en las definiciones relacionadas en la etapa de diseño conceptual se propone un bosquejo en 3D, así como sus planos con sus respectivas medidas iniciales del equipo didáctico para la corroboración de las ecuaciones de esfuerzo y deformación de elementos sometidos a momentos de torsión, el cual se relaciona en las figuras 44 y 45.

Figura 44. Vista isométrica del bosquejo inicial de la estructura del equipo.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

Figura 45. Plano isométrico con dimensiones originales de la estructura del banco de pruebas.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

2.4.1. Componentes del sistema propuesto.

2.4.1.1. 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 dos de las caras de esta estructura serán cubiertas con lámina, el suelo para facilitar el

anclaje del comparador de carátula y una lateral que facilitara el soporte de la probeta que se va a ensayar

2.4.1.2. Probeta a ensayar:

elemento que será sometido a un momento torsor y sobre el cual se cuantificará el esfuerzo y la deformación que está soportando debido a dicha carga.

2.4.1.3. Sistema de aplicación de Carga:

está compuesto por un anillo que se ajusta a la probeta y una barra que permite la aplicación de una carga a una distancia específica, para generar el momento torsor sobre la probeta.

2.4.1.4. Comparador de caratula:

Este elemento no arroja magnitudes de mediciones, entrega intervalos de ella (de ahí su nombre), se pueden encontrar comúnmente para medir rangos de 0,25 mm a 300 mm (0,015 a 12,0) con resoluciones de 0,001 mm a 0,01 mm o de 0,00005 a 0,001.

Figura 46. Componentes reales del sistema propuesto.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

2.5. 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 cada uno de los componentes que conforman el equipo. Los planos detallados obtenidos del equipo se relacionan en la figura 36.

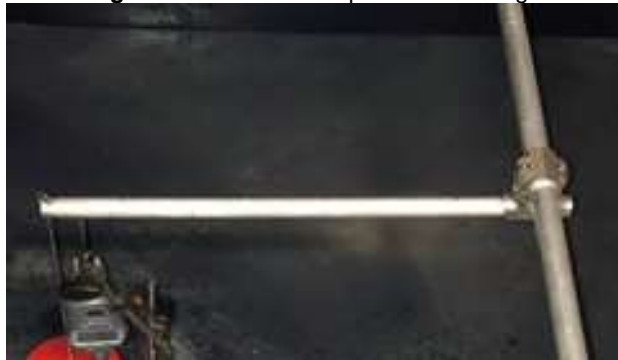
2.5.1. Probeta.

Se escogieron para estas pruebas dos probetas de aluminio, una sección tubular de aluminio con diámetro exterior 19.05 mm y un espesor de 1.59 mm; estas condiciones facilitan la construcción de los componentes que se acoplan a la probeta y permiten adherir de una mejor manera las galas extensiométricas sobre la superficie externa del tubo.

2.5.2. Aplicación de carga.

El sistema consta de una abrazadera y una pieza circunferencial la cual se añade y se retira de forma rápida de la probeta, su material es aluminio de las mismas especificaciones y propiedades del utilizado para las probetas, su diámetro interior es de 19,05 mm para que se ajuste de una manera exacta a la superficie externa de la probeta a ensayar, su longitud es de 50 cm.

Figura 47. Sistema de aplicación de carga.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

las cargas que se van a aplicar sobre el sistema cuyas magnitudes son 450, 520 y 1021 gramos respectivamente e tienen la forma que se muestra en la figura 48.

Figura 48. Pesos utilizados.



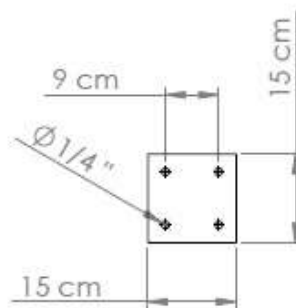
Fuente: Creación propia del autor del trabajo

2.5.2.1. Placa de ensamble de la probeta a la estructura.

Para permitir el ensamble de la probeta a la estructura del equipo se decidió utilizar un sistema de tornillos y tuercas, por lo cual se suelda en uno de sus extremos una placa rectangular de aluminio (para evitar la corrosión galvánica originada por el contacto entre diferentes materiales) con cuatro agujeros y sobre la lámina soldada a la estructura se realiza la misma cantidad de agujeros y en la misma posición para permitir el paso de los tornillos y su posterior apriete; este sistema debe estar alineado con el fin de garantizar la horizontalidad de la probeta y evitar posibles fuentes de error en la medición del ángulo de rotación de la misma.

Las dimensiones de la placa de aluminio son 150 X 150 X 10 mm; los agujeros tienen un diámetro de $\frac{1}{4}$ de pulgada y se encuentran ubicados en la posición mostrada en la figura 49.

Figura 49. Ubicación de los agujeros en la placa de aluminio soldada a la probeta.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

Para garantizar que los pernos no fallen por cortante se realiza un cálculo del esfuerzo cortante que están soportando, para lo cual se tomó como referencia la magnitud de peso máximo nombrado anteriormente de 24 N, generando un momento torsor de 24 N*m

A través del teorema de Pitágoras se determina la distancia desde el centro de la probeta hasta el centro de cada uno de los tornillos, parámetro que tiene una magnitud de 83.85 mm; como son 4 tornillo la fuerza que le corresponde soportar a cada uno de ellos es la necesaria para contrarrestar el momento torsor transmitido por la probeta a la estructura, es decir:

$$T = 4F_t * 0.08385 \Rightarrow F_t = \frac{24 \text{ N} * m}{4 * 0.08385 \text{ m}} \Rightarrow F_t = 71,55 \text{ N}$$

Con la fuerza que soporta cada tornillo y sabiendo que están sometidos a esfuerzo cortante originado por carga transversal, se determina la magnitud de este parámetro a través de la ecuación

$$\tau = \frac{F_t}{A_t} = \frac{71,55 \text{ N}}{\pi * (0.005)^2} \Rightarrow \tau = 0,91 \text{ MPa}$$

Esta magnitud de esfuerzo con respecto a un valor permisible para un acero de baja resistencia, es decir un AISI 1020, que equivale a cerca de 80 MPa permite obtener un factor de seguridad superior a 60, magnitud que está muy por encima de los valores recomendados para aplicaciones industriales; sin embargo, por facilidad de compra y como su costo es bajo se optó por la magnitud de 1/4 de pulgada de diámetro como la adecuada para los tornillos.

Figura 50. Unión de probeta y placa de empotramiento.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo.

3. CONSTRUCCIÓN

3.1. Primera etapa de la construcción.

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 51.

Figura 51. Ensamble de la estructura.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

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 52.

Figura 52. Aplicación de laca brillante color azul español.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

3.2. Segunda etapa de la construcción.

Consistió en la fabricación de 2 probetas con su respectivo sistema de anclaje a la estructura, los elementos fueron fabricados en aluminio, las probetas fueron cortadas de un tubo estándar comprado en una ferretería de la ciudad, las placas se maquinaron a través de un proceso de fresado y los agujeros se realizaron por medio de un taladro vertical. Las probetas se unieron a la placa de ensamble a través de un proceso de soldadura oxiacetilénica. El resultado obtenido de esta etapa se observa en las figuras 53 y 54.

Figura 53. Probeta de doble empotramiento.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Figura 54. Probeta de empotramiento simple.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

4. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN PROBETAS ESPUESTAS A CARGAS PUNTUALES.

Los datos obtenidos a través de los sistemas implementados en el equipo construidos es la magnitud del desplazamiento vertical obtenido a través de los comparadores de carátula(digital), ubicados en puntos determinados con anterioridad; con esta información es posible determinar los esfuerzos combinados presentes en la probeta que se está ensayando a través de los procedimientos descritos a continuación:

4.1. Esfuerzo cortante.

Para cuantificar el esfuerzo cortante se utiliza la magnitud del desplazamiento arrojado por los medidores de caratula (análogo y digital) posicionados en las coordenadas propuestas desde el empotramiento de la probeta, cuyos valores son directamente proporcionales a la magnitud de los pesos.

Con la distancia existente entre el empotramiento de la probeta y el punto de ubicación de los medidores de caratula y la función trigonométrica tangente se puede obtener el ángulo que se forma debido a la deformación en grados

4.1.1. El ángulo de deformación:

se expresa en radianes y este representa la deformación unitaria al cortante originada por las cargas aplicadas.

4.1.2. El esfuerzo cortante:

se obtiene de la ley de Hooke, que indica que este parámetro es igual a la deformación unitaria al cortante multiplicado por el módulo de rigidez del material.

4.2. Angulo de giro:

El ángulo de giro se obtiene a partir de los datos arrojados por el comparador de carátula a través del siguiente procedimiento:

1. La lectura del comparador representa la distancia vertical que se mueve la barra utilizada para medir este parámetro
2. Mediante la distancia que hay entre el centro de la probeta y la posición del comparador, la distancia vertical originada por la carga aplicada y la función trigonométrica tangente se puede determinar el ángulo que forma este triángulo que por aproximación puede ser considerado rectángulo. Esta magnitud representa el ángulo de giro de la probeta expresado en grados.

4.3. Fase procedimental de la toma de datos:

Se asegura que las probetas estén correctamente niveladas, para esto se utiliza un nivel de mano magnético de 10 in. Con el fin de que la medición del desplazamiento sea lo más acertada posible.

Figura 55: Nivelación de las probetas pre toma de datos experimentales.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

También se analiza el nivel de la probeta referente al comportamiento de ella luego de aplicar y retirar una carga, con el fin de verificar si la probeta está sufriendo o no alguna deformación de tipo plástica como se demuestra en la figura 57.

Figura 56. análisis de nivel en base al comportamiento luego de aplicar y retirar una carga.



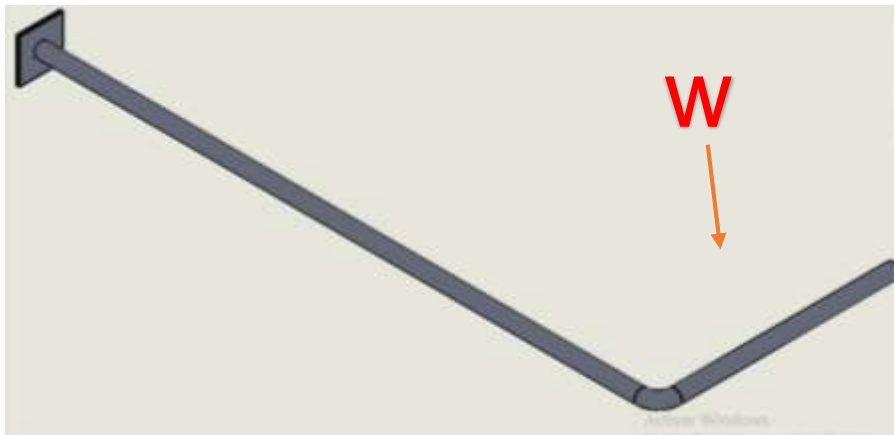
Fuente: Creación propia del autor del trabajo

5. RESULTADOS Y ANALISIS

Inicialmente se tienen dos diferentes probetas a las cuales se les aplicó una carga variable, de 450, 520 y 1021 gramos respectivamente, las cuales se ubican en tres posiciones diferentes. De esta manera se toma experimentalmente la magnitud de medición de la flecha de cada probeta, para así poder determinar la efectividad de la práctica mediante pruebas de error entre los resultados teóricos con los resultados obtenidos experimentalmente.

5.1. Cálculos tipo probeta 1 empotramiento sencillo.

Figura 57. Representación gráfica probeta 1 sometida a carga W.



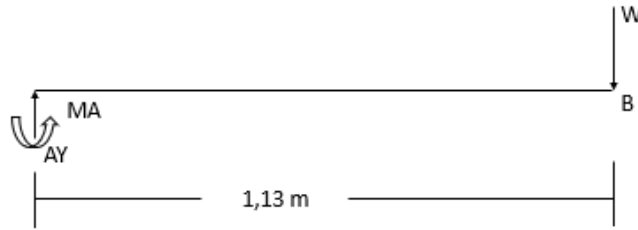
Fuente: Creación propia del autor del trabajo

5.1.1. Posición 1 donde $L = 15 \text{ cm} \approx 0,15 \text{ m}$:

Se debe tener en cuenta que por ser carga combinada la deflexión en el brazo se puede descomponer en tres deflexiones, la primera es para el tramo AB que se podría decir que es una flecha constante, luego la flecha que hay de B hasta C que depende de la posición del medidor y por último el ángulo de rotación en el extremo B por el radio de giro que en este caso será la misma distancia de ubicación del medidor.

Donde $y_C = y_B + y_C' + \theta_{BC} \times L$ iniciando con el tramo AB donde y_C' es la flecha parcial.

Figura 58. DCL sección AB probeta 1 empotramiento sencillo.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

5.1.2. Sumatoria de momentos, fuerzas en el eje Y y planteamiento de ecuaciones de la deflexión para la obtención de constantes C1 y C2.

$$\sum \mathcal{M}\mathcal{A} = 0$$

$$\mathcal{M}\mathcal{A} = 1,13 \mathcal{W}$$

$$\sum \mathcal{F}\mathcal{Y} = 0$$

$$\mathcal{A}\mathcal{Y} = \mathcal{W}$$

Ecuación que describe el comportamiento de la deflexión para cualquier distancia x , en términos de las cargas aplicadas y sus respectivas reacciones por el método de integración.

$$EIY'' = -\mathcal{M}\mathcal{A} \times \langle X \rangle^0 + \mathcal{A}\mathcal{Y} \langle X \rangle^1 - \mathcal{W} \langle X - 1 \rangle^1$$

Al integrar por primera vez es importante tener en cuenta la constante de integración resultante de la operación anterior como se muestra en la ecuación.

$$EIY' = -\mathcal{M}\mathcal{A} \times \langle X \rangle^1 + \frac{\mathcal{A}\mathcal{Y}}{2} \langle X \rangle^2 - \mathcal{W} \langle X - 1 \rangle^2 + C1$$

Se plantean condiciones para determinar la constante C1, en este caso se habla de la primera constante de integración, por ende, él y' hace referencia al ángulo de deflexión existente entre la viga inicialmente rígida la viga deformada, como se habla de un empotramiento en $x=0$, esto quiere decir que el ángulo de deflexión en el punto también es igual a cero.

$$x = 0$$

$$y = \theta A = 0 \rightarrow C1 = 0$$

Posteriormente se reemplaza el C1 en la ecuación y se vuelve a integrar, por ende, saldrá otra constante C2 donde también se puede determinar por condiciones de frontera, para apoyos simples y empotramientos la flecha en ellos es 0.

$$EIY = -\frac{MA}{2} \langle x \rangle^2 + \frac{AY}{6} \langle x \rangle^3 - \frac{W}{6} \langle x - 1 \rangle^3 + C2$$

$$x = 0$$

$$y = 0 \rightarrow C2 = 0$$

Reemplazando entonces la constante C2 y ahora en X se reemplaza la distancia a analizar en este caso sería la longitud completa del brazo.

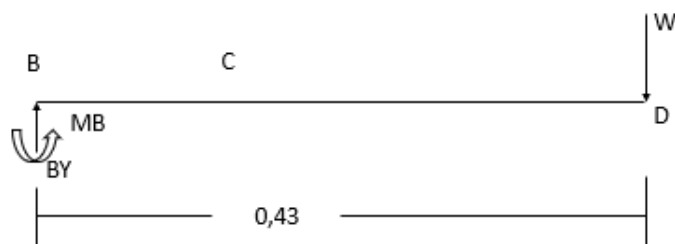
$$x = 1,13 \rightarrow y_B$$

Se obtiene la expresión en términos de la carga variable W

$$y_B = \frac{1}{EI} [-0,481 W]$$

5.1.3. DCL para el tramo BCD probeta 1 empotramiento simple.

Figura 59. DCL para el tramo BCD probeta 1 empotramiento simple.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Por estática se determinan las siguientes ecuaciones:

$$\sum \mathcal{M}_B = 0$$

$$\mathcal{M}_B = 0,43 W$$

$$\sum \mathcal{F}y = 0$$

$$\mathcal{B}y = \mathcal{W}$$

Análogamente;

$$EIy'' = \mathcal{B}y(x)^1 - \mathcal{M}B(x)^0 - \mathcal{W}(x - 0,43)^1$$

$$EIy' = \frac{\mathcal{B}y}{2} \langle x \rangle^2 - \mathcal{M}B \langle x \rangle^1 - \frac{\mathcal{W}}{2} \langle x - 0,43 \rangle^1 + \mathcal{C}$$

$$x = 0$$

$$y_B = \theta_B = 0 \rightarrow \mathcal{C}1 = 0$$

$$EIy = \frac{\mathcal{B}y}{6} \langle x \rangle^3 - \frac{\mathcal{M}B}{2} \langle x \rangle^2 - \frac{\mathcal{W}}{6} \langle x - 0,43 \rangle^2 + \mathcal{C}2$$

$$x = 0$$

$$y_B = 0 \rightarrow \mathcal{C}2 = 0$$

5.1.4. Análisis de $x = L = 0,075 \rightarrow y_c$

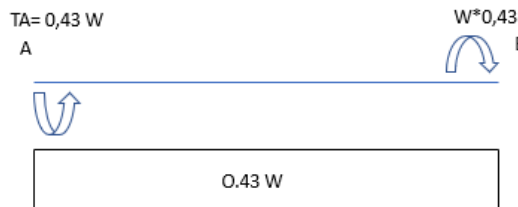
$$y_c = \left[\frac{\mathcal{W}}{6} \langle 0,15 \rangle^3 - \frac{0,43 \mathcal{W}}{2} \langle 0,15 \rangle^2 \right] \frac{1}{EI}$$

Repitiendo el proceso anterior con el nuevo tramo de la viga se obtiene la siguiente expresión:

$$y_c = \frac{1}{EI} \left[-\frac{171\mathcal{W}}{40000} \right]$$

5.1.5. Análisis por torsión del tramo AB probeta 1 empotramiento simple.

Figura 60. Diagrama de momentos tramo AB probeta 1 empotramiento simple.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Otra deformación importante a tener en cuenta es la producida por el ángulo de rotación multiplicada por el radio de giro.

Para calcular el ángulo de rotación se tiene la siguiente ecuación:

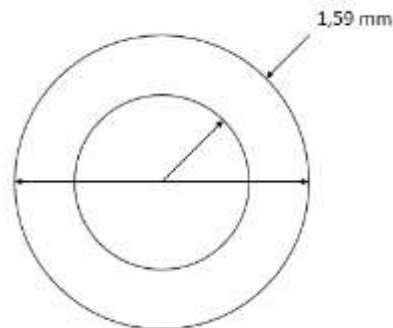
$$\theta_{A \times B} = \frac{Ti \times L}{JG} = \frac{0,43W \times 1,13}{JG}$$

Multiplicando por su respectivo radio de giro que en este caso sería la misma distancia a la cual está ubicado el medidor.

$$\theta_{AB \times L} = \frac{0,486 W}{JG} \times 0,15 = 0,0729 \times \frac{W}{JG} = \theta_{AB \times L}$$

5.1.6. Análisis geométrico sección tubular.

Figura 61. Sección transversal probeta tubular.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

$$r_m = \frac{19,05}{2} - \frac{1,59}{2} = 8,73 \text{ mm}$$

$$t = 1,59 \text{ mm} \rightarrow \frac{r_m}{t} = \frac{8,73}{1,59} = 5,49 \leq 10 \rightarrow \text{Paredes gruesas}$$

5.1.7. Ecuación de inercia para paredes gruesas:

$$I = \frac{\pi}{64} \times [D^4 - d^4]$$

$$I = 3,35 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

5.1.8. Momento polar de inercia:

Módulo de elasticidad de 70 Gpa

$$= 2I = 6,7 \times 10^{-9} m^4$$

$$E_{AL} = 70\ 6pa \rightarrow G = 0,4 E = 28\ 6pa$$

5.1.9. Para 1,021 Kg → 10,02 N.

Reemplazando en las ecuaciones anteriormente halladas:

$$y_C = \frac{1}{70 \times 10^9 \times 3,35 \times 10^{-9}} \times \left[-\frac{171}{40000} \times 10,02 \right] = -1,826 \times 10^{-4}$$

$$y_B = \frac{1}{70 \times 10^9 \times 3,35 \times 10^{-9}} \times -0,481 \times 10,02 = 0,02054$$

$$\theta_{AB \times L} = 0,0729 \times \frac{10,02}{28 \times 10^9 \times 6,7 \times 10^{-9}} = 3,89 \times 10^{-3} m$$

Sumando las 3 deformaciones parciales se obtiene la deformación absoluta.

$$y_C = 0,024614 m \approx 24,614 mm \text{ Teorico}$$

$$d_{fl} = 30,95 \text{ Experimental}$$

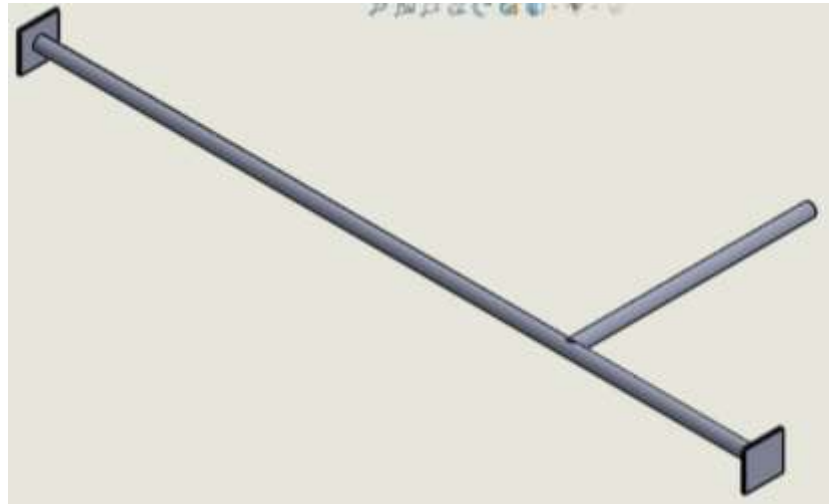
5.1.10. Cálculo de error (%).

Se procede a calcular el error.

$$\% \text{ Error} = \frac{|24,614 - 30,95|}{24,614} \times 100 = 25,74\%$$

5.2. Cálculos tipo montaje número dos, probeta con empotramiento doble.

Figura 62. Representación gráfica probeta 1 sometida a carga W.

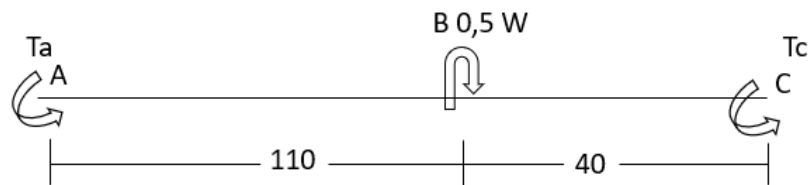


Fuente: Creación propia del autor del trabajo

5.2.1. Análisis por torsión.

Análogamente se plantean las ecuaciones del mismo modo que en el montaje 1, teniendo en cuenta que ahora es doble empotramiento lo que esto representa una indeterminación en la estática.

Figura 63. DCL tramo AC probeta 2 empotramiento empotramiento doble.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Por estática se obtiene la única ecuación posible:

$$\sum \mathcal{M}_X = 0$$

Se postula un apoyo redundante:

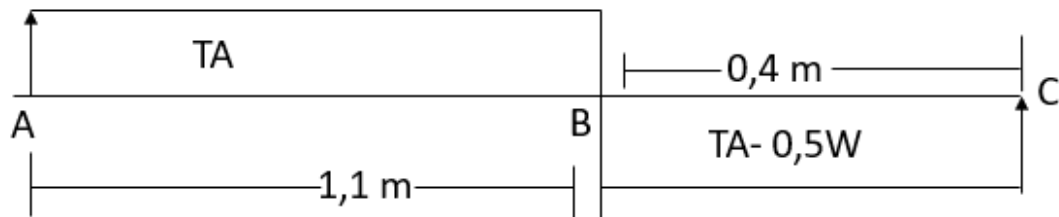
$$T_A + T_C = 0,5 W \text{ Apoyo redundante C}$$

$$\theta_{AC} = 0 = \theta_{AB} + \theta_{BC}$$

5.2.2. Diagrama de torques internos probeta empotramiento doble.

Se usan para levantar la indeterminación, ya que hay que tener en cuenta cada tramo de la probeta.

Figura 64. Diagrama de torques internos tramo AC probeta de doble empotramiento.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Reemplazando:

$$\frac{TA \times 1,1}{J \times G} + \frac{(TA - 0,5W) \times 0,4}{J \times G} = 0$$

$$1,1 TA + 0,4 TA - 0,2W = 0$$

$$TA = 0,1333 W$$

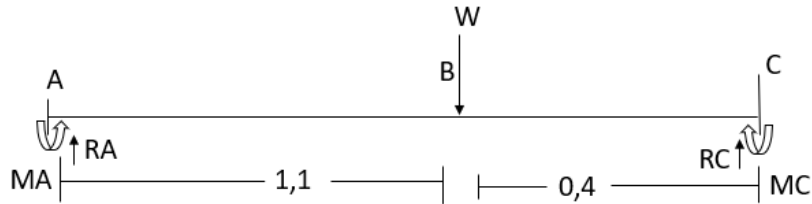
$$TC = 0,3667 W$$

$$\theta_{A \times B} = \frac{0,1333W \times 1,1}{J \times G} = \frac{0,14663 W}{J \times G}$$

$$\theta_{AB \times L} = \frac{0,14663W \times 0,3}{J \times G} = \frac{0,043989 W}{J \times G}$$

5.2.3. Análisis para el tramo ABC en el plano XY.

Figura 65. DCL tramo ABC en el plano XY probeta de doble empotramiento.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Para levantar la indeterminación se plantea otro apoyo redundante pero esta vez por flexión:

Apoyo redundante C

$$\begin{aligned}\theta_C &= 0 \rightarrow X = 1,5 \text{ A} \\ y_C &= 0 \rightarrow X = 1,5 \text{ B}\end{aligned}$$

Por estática se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}\sum \mathcal{M}A &= 0 \\ MA + 1,5 R_C &= 1,1 W + M_C\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum \mathcal{F}y &= 0 \\ R_A + R_C &= W\end{aligned}$$

De la misma forma que en el montaje 1, se procede a plantear la flexión por integrales y posteriormente resolver la ecuación:

$$\begin{aligned}EIY'' &= -\mathcal{M}A \times \langle X \rangle^0 + RA \langle X \rangle^1 - W \langle X - 1,1 \rangle^1 \\ EIY' &= -\mathcal{M}A \langle X \rangle^1 + \frac{RA}{2} \langle X \rangle^2 - \frac{W}{2} \langle X - 1,1 \rangle^2 + C_1 \\ C_1 &= 0 \rightarrow X = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}EIY &= -\frac{MA}{2} \langle X \rangle^2 + \frac{RA}{6} \langle X \rangle^3 - \frac{W}{6} \langle X - 1,1 \rangle^3 + C_2 \\ C_2 &= 0 \rightarrow X = 0\end{aligned}$$

Según la ecuación A:

Reemplazando las condiciones anteriormente planteadas en el apoyo redundante se tiene:

$$0 = -1,5 MA + 1,125RA - 0,08W$$
$$0,08W = -1,5MA + 1,125RA$$

Según la ecuación B:

$$0 = -\frac{9}{8}MA + \frac{9}{16}RA - \frac{4}{375}W$$
$$\frac{4}{375}W = -\frac{9}{8}MA + \frac{9}{16}RA$$

De las ecuaciones sacadas de A, B y resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene:

$$MA = 0,07822W$$

$$RA = 0,1754W$$

$$RC = 0,8246W$$

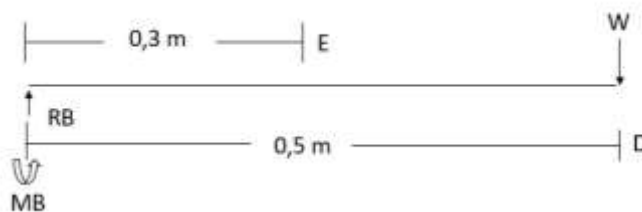
$$MC = 0,215W$$

$$y_B = \frac{1}{E \times I} [-8,414 \times 10^{-3}W]$$

5.2.4. Análisis tramo BD probeta de doble empotramiento.

Se representa el diagrama de cuerpo libre para el tramo BD de la probeta con el objetivo de identificar las reacciones y momentos que actúan sobre ella.

Figura 66. DCL tramo BD en el plano XY probeta de doble empotramiento.



Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Sumatoria de momentos y fuerzas:

$$\sum \mathcal{M}B = 0$$

$$MB = 0,5 W$$

$$\sum \mathcal{F}y = 0$$

$$RB = W$$

Se procede a plantear las integrales y posteriormente resolver la ecuación:

$$EIY'' = RB\langle X \rangle^1 - MB\langle X \rangle^0$$

$$EIY' = \frac{RB}{2}\langle X \rangle^2 - MB\langle X \rangle^1 + C1 \rightarrow C1 = 0 \rightarrow X = 0$$

$$EIY = \frac{RB}{6}\langle X \rangle^3 - \frac{MB}{2}\langle X \rangle^2 + C2 \rightarrow C2 = 0 \rightarrow X = 0$$

$$X = 0,3 \rightarrow Y_E$$

$$y_E = \frac{1}{EI} \left[\frac{9W}{2000} - \frac{9W}{400} \right] = \frac{1}{EI} \left[\frac{-9}{500} W \right]$$

5.2.5. Para W = 1021 gramos:

$$y_E = \frac{1}{70 \times 10^9 \times 5,197 \times 10^{-9}} \times \frac{-9}{500} \times 10,02 N = -4,96 \times 10^{-4} m$$

$$y_B = \frac{1}{70 \times 10^9 \times 5,197 \times 10^{-9}} \times [-8,414 \times 10^{-3} \times 10,02] = -2,318 \times 10^{-4} m$$

$$\theta_{AB \times L} = \frac{0,043989 \times 10,02}{28 \times 10^9 \times 10,4 \times 10^{-9}} = 1,514 \times 10^{-3} m$$

$$y_E = 2,2414 \times 10^{-3} m \approx 2,2414 mm \text{ Teórico}$$

$$d_{FL} = 2,95 mm \text{ Experimental}$$

$$\% Error = \frac{|2,2414 - 2,95|}{2,2414} \times 100 = 31,69\%$$

Análogamente se procedió a calcular las diferentes flechas experimentales en cada posición y se obtuvo la siguiente tabla.

5.3. Tablas toma de datos y resultados.

A continuación, se anexan las tablas diseñadas con los resultados finales obtenidos a través de los cálculos resueltos en el trabajo de grado y tomas de datos experimentales.

5.3.1. Tabla 1 montaje empotramiento sencillo:

Con respecto a las pruebas y análisis teórico – experimentales del montaje para la probeta de un solo empotramiento observamos magnitudes de desplazamiento en Y, porcentaje de error al comparar estos resultados y los tres diferentes pesos aplicados.

Tabla 1. Grupo de datos obtenidos con respecto al montaje 1 probeta empotramiento sencillo.

Montaje 1				
	Kg	Y exp (mm)	Y teórico (mm)	% error
Posición 1	1,021	30,95	24,614	25,74
	0,52	16,51	12,53	31,76
	0,45	14,8	10,84	36,53
Posición 2	1,021	32,64	30,32	7,65
	0,52	17,09	15,44	10,67
	0,45	15,18	13,36	13,62
Posición 3	1,021	33,05	30,34	8,93
	0,52	18,72	15,45	13,37
	0,45	16,65	13,37	24,53

Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Se observa en la tabla 1, que los porcentajes de error obtenidos están en un rango aceptable, en base a esto podemos concluir que el sistema presenta buen desempeño.

Cabe resaltar que en la toma experimental de datos es primordial hacer énfasis en que la probeta esté perfectamente nivelada antes de aplicarle la carga para así después de aplicado y retirado el peso volver a hacer la toma de nivel. Con esto nos damos cuenta si la probeta retorna o no a su estado original así determinar si se está generando un desgaste ya que las propiedades de la probeta se van deteriorando a medida que sus horas de uso aumentan.

5.3.2. Tabla 2 montaje de doble empotramiento:

con respecto a las pruebas y análisis teórico – experimentales del montaje para la probeta de doble empotramiento observamos magnitudes de desplazamiento en Y, porcentaje de error al comparar estos resultados y los tres diferentes pesos aplicados.

Tabla 2. Grupo de datos obtenidos con respecto al montaje 2 probeta empotramiento doble.

Montaje 2				
	Kg	Y exp (mm)	teórico (mm)	% error
Posición 1	1,021	2,95	2,24	31,69
	0,52	1,65	1,141	44,6
	0,45	1,45	0,987	46,9
Posición 2	1,021	2,12	1,73	22,54
	0,52	1,23	0,881	39,6
	0,45	1,08	0,7624	41,65
Posición 3	1,021	5,12	5,529	7,39
	0,52	2,9	2,816	2,98
	0,45	2,54	2,437	4,22

Fuente: Creación propia del autor del trabajo

Podemos observar que los porcentajes de error son bajos en comparación con los del montaje 1; una explicación a esto es el empotramiento doble que hay en ella lo cual hace que los desplazamientos sean de menor magnitud.

5.3.3. Tabla 3 distancias montaje probeta empotramiento sencillo:

Se identifican las distancias en milímetros utilizadas para cada posición en las pruebas teórico – experimentales para el montaje 1 probeta con empotramiento sencillo.

Tabla 3. Distancia en milímetros utilizadas respecto a cada posición, montaje empotramiento sencillo.

Montaje 1	
Posición	Distancia al medidor (mm)
1	150
2	250
3	350

Fuente: Creación propia del autor del trabajo

5.3.4. Tabla 4 distancia montaje probeta empotramiento doble:

se identifican las distancias en milímetros utilizadas en cada posición en las pruebas teórico – experimentales para el montaje 2 probeta con empotramiento doble.

Tabla 4. Distancia en milímetros utilizadas respecto a cada posición, montaje empotramiento doble.

Montaje 2		
Posición	Distancia al brazo (mm)	Distancia al medidor (mm)
1	1100	300
2	1300	335
3	910	440

Fuente: Creación propia del autor del trabajo

6. GUIA DE LABORATORIO

6.1. Objetivo general.

Analizar la medida de deflexión de una probeta sometida a carga combinada, en base a resultados obtenidos en base métodos teóricos y experimentales.

6.2. Objetivos específicos.

1. Los estudiantes tendrán la oportunidad de aplicar lo aprendido en las horas de teoría asignadas al curso de resistencia de materiales abordando temas de deformaciones debido a esfuerzos combinados aplicados.
2. Se podrá divagar sobre los resultados obtenidos y el comportamiento de las probetas en base a las diferentes cargas que se aplican a cada probeta.
3. Ofrecer experiencias que permitan simular y resolver problemas elementales observados de manera directa

6.3. Metodología para la medición de desplazamientos en probetas expuestas a cargas puntuales.

Los datos obtenidos a través de los sistemas implementados en el equipo construidos es la magnitud del desplazamiento vertical obtenido a través de los comparadores de carátula(digital), ubicados en puntos determinados con anterioridad; con esta información es posible determinar los esfuerzos combinados presentes en la probeta que se está ensayando a través de los procedimientos descritos a continuación:

6.3.1. Cuantificación del esfuerzo cortante:

Para cuantificar el esfuerzo cortante se utiliza la magnitud del desplazamiento arrojado por los medidores de caratula (análogo y digital) posicionados en las coordenadas propuestas desde el empotramiento de la probeta, cuyos valores son directamente proporcionales a la magnitud de los pesos.

Con la distancia existente entre el empotramiento de la probeta y el punto de ubicación de los medidores de caratula y la función trigonométrica tangente se puede obtener el ángulo que se forma debido a la deformación en grados.

6.3.1.1. Angulo de deformación: se expresa en radianes y este representa la deformación unitaria al cortante originada por las cargas aplicadas.

6.3.1.2. Ley de Hooke: la ley de Hooke, que indica que este parámetro es igual a la deformación unitaria al cortante multiplicado por el módulo de rigidez del material.

6.3.1.3. Angulo de giro: El ángulo de giro se obtiene a partir de los datos arrojados por el comparador de carátula a través del siguiente procedimiento:

- La lectura del comparador representa la distancia vertical que se mueve la barra utilizada para medir este parámetro
- Mediante la distancia que hay entre el centro de la probeta y la posición del comparador, la distancia vertical originada por la carga aplicada y la función trigonométrica tangente se puede determinar el ángulo que forma este triángulo que por aproximación puede ser considerado rectángulo. Esta magnitud representa el ángulo de giro de la probeta expresado en grados.

6.4. Fase procedimental de toma de datos.

1. Tomar la medida (diámetro y longitud) de cada probeta.
2. Tomar la distancia del punto de aplicación y la distancia de ubicación del reloj comparador (análogo y digital).
3. Asegurar que las probetas estén correctamente niveladas, para esto se utiliza un nivel de mano magnético de 10 in. Con el fin de que la medición del desplazamiento sea lo más acertada posible.

Figura 67. Nivelación de las probetas pre toma de datos experimentales.



4. También analizar el nivel de la probeta referente al comportamiento de ella luego de aplicar y retirar una carga, con el fin de verificar si la probeta está sufriendo o no alguna deformación de tipo plástica como se demuestra en la figura siguiente.

Figura 68. análisis de nivel en base al comportamiento luego de aplicar y retirar una carga.



5. Consignar las medidas en las siguientes tablas.

Tabla 5. Tabla para grupo de datos obtenidos con respecto al montaje 1 probeta empotramiento sencillo.

Montaje 1 probeta empotramiento sencillo				
	Kg	Y exp (mm)	Y teórico (mm)	% error
Posición 1				
Posición 2				
Posición 3				

Tabla 6. Tabla para grupo de datos obtenidos con respecto al montaje 2 probeta empotramiento doble.

Montaje 2 empotramiento doble				
	Kg	Y exp (mm)	teórico (mm)	% error
Posición 1				
Posición 2				
Posición 3				

Tabla 7. Tabla para distancias ubicación del medidor de caratula montaje 1.

Montaje 1 empotramiento sencillo	
Posición	Distancia al medidor (mm)
1	
2	
3	

Tabla 8. Tabla para distancias ubicación del medidor de caratula montaje 2.

Montaje 2		
Posición	Distancia al brazo (mm)	Distancia al medidor (mm)
1		
2		
3		

6. Realizar análisis de deflexiones para cada probeta utilizando el método de integración.
7. Realizar cálculo de porcentaje de error para cada método utilizado, tomando como medida real, la deflexión registrada de cada reloj comparador (análogo y/o digital).
8. Realizar diagrama de barras para la medida real y los tres valores teóricos de deflexión.

6.5. Herramientas a utilizar en la toma experimental de datos.

4. Reloj comparador (análogo y digital).

Figura 69. Medidor digital.



2. Calibrador pie de rey (para medir los diámetros de las probetas).

Figura 70. Calibrador pie de rey.



3. Flexómetro (para medir las distancias de aplicación de fuerza y medición deflexión).

Figura 71. Flexómetro.



4. Probetas.

Figura 72. DCL tramo BD en el plano XY probeta de doble empotramiento.



5. Pesos a utilizar.

Figura 73. Pesas a utilizar.



6. Calculadora científica.

Figura 74. Calculadora científica.



7. Nivel.

Figura 75. Nivel.



6.6. Observaciones y recomendaciones para el desarrollo de la práctica.

Se recomienda utilizar un diámetro mayor en la barra que se implementó para la medición del desplazamiento vertical originado por esfuerzos combinados durante

los ensayos, ya que los resultados obtenidos por ANSYS y durante el desarrollo de las está presentó una deformación considerable.

Además, realizar ensayos en probetas macizas y tubulares con diámetros mayores y espesores diferentes para corroborar los porcentajes de error obtenidos en los ensayos realizados durante el desarrollo de este proyecto

Tener en cuenta la nivelación de las probetas al momento de tomar las mediciones en los ensayos para así evitar márgenes de error altos en los resultados de las pruebas.

Revisar y calibrar previamente los comparadores de caratulas a utilizar en la práctica.

Pesar con anticipación las pesas a utilizar para corroborar que los pesos sean exactamente los que se utilizan.

7. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un equipo que permite cuantificar de manera indirecta el esfuerzo combinados que se originan en una probeta tubular de sección transversal circular cuando se le aplican diferentes pesos en diferentes posiciones.

Se obtuvieron porcentajes de error aceptables en la prueba con la probeta N.1 que consta de un solo empotramiento, lo cual nos indica que la recolección de datos se hizo de buena manera y que con el banco de pruebas es posible realizar una comparación acertada de los resultados obtenidos de forma teórica y de forma práctica.

El ángulo de giro obtenido en los diferentes ensayos mediante la metodología propuesta muestra resultados aceptables, aún bajo la certeza que existen errores inherentes tanto en las características geométricas de las probetas como en las mediciones, las cuales fueron tomadas de manera manual a través del comparador de carátula.

Se obtuvieron porcentajes de error aceptables en la comparación del desplazamiento registrado experimentalmente por el medidor de caratula digital utilizado en el segundo ensayo con la probeta doblemente empotrado.

Se utilizó 70 gpa de un rango normalizado que oscila entre [63 – 70]gpa como magnitud del módulo de elasticidad del aluminio material del cual están fabricadas las probetas utilizadas en el proceso, con esto se logró evidenciar que en el sistema 1 de probeta con empotramiento simple a mayor magnitud el resultado del desplazamiento teórico obtenido es inversamente proporcional.

Se utilizó 70 gpa de un rango normalizado que oscila entre [63 – 70]gpa como magnitud del módulo de elasticidad del aluminio material del cual están fabricadas las probetas utilizadas en el proceso, con esto se logró evidenciar que en el sistema 2 de probeta con empotramiento doble a mayor magnitud el resultado del desplazamiento teórico obtenido es proporcional.

Atendiendo al porcentaje de error obtenido en la comparación de los datos registrados experimentalmente y los datos obtenidos teóricamente, concluimos que si se aumentan las dimensiones de la probeta lo cual genera una tendencia a disminuir la probabilidad de encontrar algún margen de error.

En base a la metodología de proceso, metodología de resultados y toma de datos experimentales se conformó una guía de trabajo para ser utilizada por los estudiantes y docentes en el laboratorio de la asignatura resistencia de materiales, con el fin de poner en práctica lo aprendido en las horas de aprendizaje teóricas vistos en la clase en temas de aplicación de carga combinada

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar un diámetro mayor en la barra que se implementó para la medición del desplazamiento vertical originado por esfuerzos combinados durante los ensayos, ya que los resultados obtenidos por ANSYS y durante el desarrollo de los ensayos práctico presentan algún margen de error el cual puede disminuir con esta mejora.

Además, realizar ensayos en probetas macizas y tubulares con diámetros mayores y espesores diferentes uno del otro como medida investigativa en la cual se podrá analizar diferentes porcentajes de error obtenidos en los ensayos realizados durante el desarrollo de este proyecto.

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] DEFORMACIONES Y DESPLAZAMIENTOS. [Página Web] < <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-rosario/analisis-estructural-i/resumenes/deformaciones-y-desplazamientos/2316572/view> >
- [2] ECUACIONES PARAMETRICAS. [Página Web] < https://www.ecured.cu/Ecuaciones_param%C3%A9tricas >
- [3] Beer F. P., Johnston E. R., De Wolf J.T. y Mazurek D. F. *Mecánica de Materiales*, Editorial Mc Graw Hill, sexta edición, México 2013
- [4] CARGA COMBINADA. [Página Web] < <https://www.studocu.com/es/document/universidad-industrial-de-santander/resistencia-de-materiales/apuntes/fuerzascombinadas-apuntes-cargas-combinadas/2621759/view>>
- [5] Beer F. P., Johnston E. R., De Wolf J.T. y Mazurek D. F. *Mecánica de Materiales*, Editorial Mc Graw Hill, sexta edición, México 2013.
- [6] Ortiz L. *Resistencia de Materiales*, editorial Mc Graw Hill, segunda edición, Madrid 2002.
- [7] Vable Madhukar. *Mecánica de Materiales*, México: Oxford University press, 2003.
- [8] Beer Ferdinand, Johnston Russell & Eisenberg Elliot. *Mecánica Vectorial para Ingenieros: estática*. McGraw-Hill Interamericana, Octava edición, México 2007.
- [9] Boresi Arthur & Schmidt Richard. *Ingeniería Mecánica: Estática*. International Thomson Editores, primera edición, México 2001
- [10] ELEMENTOS ESTÁTICAMENTE INDETERMINADOS. [Página Web] < <https://es.scribd.com/document/97126202/Elementos-estaticamente-indeterminados-docx> >
- [11] MITUTOYO. Indicadores de caratula. [En línea]< <http://www.mitutoyo.com.mx/Descargas/Boletines/BOLETIN%20MAYO%202010.pdf>> [Citado mayo de 2010].
- [12] ECURED. Indicadores de caratula. [En línea] < https://www.ecured.cu/Indicador_de_car%C3%A1tula> [Citado abril de 2015]
- [13] CATARINA. Método de elementos finitos. [En línea]< http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/jimenez_p_a/capitulo2.pdf> [Citado xx].
- [14] SOLID-BI. Solid Works. [Página Web] < <https://solid-bi.es/solidworks/>>
- [15] 3D CAD PORTAL. Ansys. [Página Web]< <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>]
- [16] INGENIERIA QUIMICA. Diseño conceptual, básico y detallado. [Página Web]< <http://www.ingenieriaquimica.org/disenio-procesos>>.
- [17] IE. Ingeniería del software. [Página Web] < <http://www.ie.inf.uc3m.es/grupo/docencia/reglada/ls1y2/IS2/Unidades21a28-DOC.pdf> >
- [18] METODOLOGIA DE DISEÑO [Pagina Web] <http://www.faud.unsj.edu.ar/descargas/blogs/apuntes-de-ctedra-mtodos-y-estrategias-de-diseo_Metodos%20y%20Estrategias%20de%20Dise%C3%B1o.pdf>

- [19] TEMAS DE INGENIERIA MECANICA – MECATRONICA. Modelos de diseño – modelo descriptivo. [Página Web] < <http://mecnica-mecatronica.blogspot.com/2013/03/modelos-de-diseno-el-modelo-descriptivo.html>
- [20] PROPIEDADES DEL ALUMINIO. [Página Web] <<https://www.knight-group.co.uk/es/products/aluminium/>>