

**VALIDACIÓN EN UNA ARMADURA DE ACERO A500 DE LAS
DEFORMACIONES UNITARIAS Y DESPLAZAMIENTOS OBTENIDOS EN
LABORATORIO, CON UN MODELO MATEMÁTICO REALIZADO EN EL
SOFTWARE SAP2000**

ELISEO PARTIGLIANI PICO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FLORIDABLANCA**

2015

**VALIDACIÓN EN UNA ARMADURA DE ACERO A500 DE LAS
DEFORMACIONES UNITARIAS Y DESPLAZAMIENTOS OBTENIDOS EN
LABORATORIO, CON UN MODELO MATEMÁTICO REALIZADO EN EL
SOFTWARE SAP2000**

ELISEO PARTIGLIANI PICO

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**Director Del Proyecto
ING. ROBINSON MANTILLA GARCIA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FLORIDABLANCA
2015**

*Dedico en primer lugar este proyecto a Dios
por la sabiduría dada en el trayecto de mi vida.
A mis padres por cada palabra de aliento y apoyo
que sin duda me permitieron corregir y tomar
el camino correcto, buscando ser mejor cada día.
Gracias por ser el motor de vida*

*A CAROLINA por su apoyo incondicional en esta
nueva etapa de mi vida, que con su amor y
sencillez llena mi vida de felicidad, y también
a todos los amigos y profesores que de alguna
u otra forma influyeron en mi formación y me
acompañaron a lo largo de mi carrera
Permitiéndome cumplir esta meta.*

ELISEO PARTIGLIANI PICO

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud y sabiduría cada día de mi vida, permitiéndome llevar a cabo la realización de este proyecto.

A mis padres por el apoyo incondicional inculcando siempre buenos valores y haciendo de mí una mejor persona y profesional.

A mis amigos y profesores por esos momentos compartidos y el apoyo que me brindaron en momentos difíciles en el transcurso de mi carrera.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 2015

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. JUSTIFICACIÓN.....	17
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. OBJETIVO GENERAL	18
2.3. OBJETIVO ESPECIFICO.....	18
3. ALCANCE	19
4. ANTECEDENTES.....	20
5. MARCO CONCEPTUAL	22
5.1. GLOSARIO	22
5.2. Análisis De Fuerzas Internas	23
5.2.1. Resistencia de los materiales	24
5.2.2. Esfuerzo Simple.....	25
5.2.3. Esfuerzo Cortante.....	27
5.2.4. Esfuerzo de Contacto o Aplastamiento	28
5.3. DEFORMACIONES	29
5.3.1. Deformaciones elásticas.....	29
5.3.2.1. Deformaciones plásticas.....	32
5.3.2.2. Propiedades de tracción:	33
5.3.3. Deformación Unitaria.....	38
5.3.4. Deformación Máxima	39
6. MARCO LEGAL.....	40

6.1. NORMA COLOMBIANA SISMO RESISTENTE NRS 10, TÍTULO F: ESTRUCTURAS METÁLICAS.....	40
6.1.1. Límites de aplicabilidad.....	40
6.1.2. Diseño estructuras de acero	40
6.1.3. Soldadura.....	42
6.2. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC.....	44
6.3. NORMA ASTM A500 GRADO C.....	45
7. ENSAYO.....	46
7.1. EQUIPOS Y SOFTWARE.....	46
7.1.1. Data Logger TDS-530.....	46
7.1.2. Proceso de configuración del TDS – 530.....	48
7.1.3. Software SAP 2000.....	61
7.2. MATERIALES	62
7.2.1. Acero.....	62
7.2.2. Soldadura.....	64
7.3. CONDICIONES IDEALES.....	64
7.4. MODELACIÓN Y ELABORACIÓN DE LA ARMADURA:.....	65
7.4.1. Proceso de Elaboración de la Armadura en Laboratorio.	65
7.4.2. Proceso de Modelación de la Armadura en SAP 2000	68
7.5. MODELACIÓN Y ELABORACIÓN DE LA VIGA SIMPLE A FLEXIÓN:.....	73
7.5.1. Elaboración de la viga simple a flexión en laboratorio.	73
7.5.2. Modelación de la viga simple a flexión en SAP 2000.....	75
7.6. CAPTURA DE DATOS	79
7.6.1. Dimensiones de las barras de la estructura:.....	80
7.6.2. Dimensiones de la barra ensayo a flexión	81
7.6.3. Datos obtenidos con el SAP 2000 de la estructura.....	82
8. ANÁLISIS DE DATOS:	83

8.1. CÁLCULOS DESPLAZAMIENTO Y DEFORMACIÓN UNITARIA DE LA ESTRUCTURA:	83
8.2. CÁLCULOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN ENSAYO A FLEXIÓN	96
8.3. DIGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN ENSAYO A TENSIÓN	98
9. CONCLUSIONES	99
10. RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102
ANEXOS.....	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Coeficientes de Poisson para algunos Metales.	31
Tabla 2 Propiedades Mecánicas de Metales más Comunes	36
Tabla 3 mínimo espesor efectivo de garganta para soldaduras acanaladas de penetración parcial.....	43
Tabla 4 Porcentajes en Aleación	64
Tabla 5 Dimensiones de la barra 1.	80
Tabla 6 Dimensiones de la barra 2	80
Tabla 7 Promedio Con 100 kg	81
Tabla 8 Promedio con 75 kg	81
Tabla 9 Promedio con 50 kg.	81
Tabla 10 Dimensiones Generales.....	81
Tabla 11 Promedio de Ensayo a Flexión.	82
Tabla 12 Promedios Para viga a Flexión.	82
Tabla 13 Deformación y Porcentaje de error barra a tensión, peso 100 kg	84
Tabla 14 Deformación y Porcentaje de error barra a Compresión, peso 100 kg ...	86
Tabla 15 Deformación y Porcentaje de error barra a tensión, peso 75 kg	88
Tabla 16 Deformación y Porcentaje de error barra a Compresión, peso 75 kg	90
Tabla 17 Deformación y Porcentaje de error barra a tensión, peso 50 kg.	92
Tabla 18 Deformación y Porcentaje de error barra a Compresión, peso 50 kg	94
Tabla 19 Módulo de elasticidad.	97
Tabla 20 Datos Grafico ESFUERZO VS DEFORMACIÓN	98
Tabla 21 Datos Armadura con peso 100 kg.....	104
Tabla 22 Datos Armadura con peso 75 kg.....	105
Tabla 23 Datos Armadura con peso 50 kg.....	106
Tabla 24 Resultados Ensayo a Flexión.....	107

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Componentes de los efectos internos en la sección.....	24
Figura 2 Barras que soportan diferentes cargas máximas.....	25
Figura 3. Distribución de esfuerzos.....	27
Figura 4. Secciones Sometidas a Cortante.....	28
Figura 5. Data Logger TDS530.....	46
Figura 6. Transductor de Desplazamiento.....	47
Figura 7. Representación Galga Extensiometrica o Strain Gauges.....	48
Figura 8. Modelo de Conexión de la Galga al TDS – 530.....	49
Figura 9. Representación de la Conexión del CDP al TDS – 530.....	50
Figura 10. Conexiones de los Sensores a la Estructura.....	51
Figura 11. Configuración Puerto CDP.....	52
Figura 12. Configuración Puerto CDP.....	52
Figura 13. Representación del Ingreso del Coeficiente.....	53
Figura 14. Representación de la Selección de la Unidad de Medida.....	54
Figura 15. Representación de la Configuración Final del CDP.....	55
Figura 16. Representación del Proceso de Comprobación.....	55
Figura 17. Configuración Galga.....	56
Figura 18. Puertos 6 y 7 Donde están Conectadas las Galgas Habilitadas.....	57
Figura 19. Gauge Factor.....	58
Figura 20. Primer paso para Iniciar los Ensayos.....	59
Figura 21. Segundo paso para Iniciar los Ensayos.....	59
Figura 22. Paso Para poner la TDS – 530 en ceros.....	60
Figura 23. Representación del Estado en ceros para el Inicio del Ensayo.....	60
Figura 24. Portada del Software SAP 2000.....	61
Figura 25. Platinas de la Armadura.....	66
Figura 26. Gancho soldado desde el Eje Central.....	66

Figura 27. Estructura Final Soldada en todos sus Extremos.	67
Figura 28. Montaje del Respectivo Equipo de Medición y Selección de los Pesos.....	68
Figura 29. Primer paso para Modelación de la Armadura.....	69
Figura 30. Segundo paso para Modelación de la Armadura.....	69
Figura 31. Tercer paso de Modelación de la Armadura.....	70
Figura 32. Cuarto paso de Modelación de la Armadura.....	70
Figura 33. Representación de elaboración de la aradura en SAP 2000.	71
Figura 34. Representación de la configuración de los elementos.....	71
Figura 35. Aplicación de las cargas	72
Figura 36. Estructura Deformada.....	73
Figura 37. Representación viga simplemente Apoyada.....	74
Figura 38. Representación de la Viga Simple lista para ensayo a flexión.....	75
Figura 39. Primer paso para Modelación de la Armadura.....	76
Figura 40. Selección del Nuevo Modelo.	76
Figura 41. Modelo Viga Simple.....	77
Figura 42. Aplicación de las cargas.	77
Figura 43. Representación de las Cargas Aplicadas.	78
Figura 44. Viga Ensayada “Diagrama de Momento”.....	78
Figura 45. Datos finales Deformación Máxima de la Viga.	79
Figura 46. Representación de viga	96

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfico 1 Esfuerzo – Deformación.....	29
Gráfico 2 Representación Tensión – Deformación.	30
Gráfico 3 Tensión – Deformación en el Punto Plástico.....	32
Gráfico 4 Representación del punto de resistencia máxima y el punto de ruptura	34
Gráfico 5 Representación de Ductilidad y Fragilidad	35
Gráfico 6 Representación del Cálculo de la Resiliencia.....	37
Gráfico 7 Comparación Deformaciones barra Tensión peso 100 kg.....	85
Gráfico 8 Comparación Deformaciones barra compresión peso 100 kg.....	86
Gráfico 9 Comparación Deformaciones barra tensión peso 75 kg.....	89
Gráfico 10 Comparación Deformaciones barra compresión peso 75 kg.....	90
Gráfico 11 Comparación Deformaciones barra tensión peso 50 kg.....	93
Gráfico 12 Comparación Deformaciones barra compresión peso 50 kg.....	95
Gráfico 13 Comparación Módulo Elasticidad	97
Gráfico 14 Esfuerzo VS Deformación.	98

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Armadura en Laboratorio.....	104
Anexo B. Ensayo Viga a Flexión.....	107

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Validación en una armadura de acero A500 de las deformaciones unitarias y desplazamientos obtenidos en laboratorio, con un modelo matemático realizado en el software SAP2000.

AUTOR(ES): ELISEO PARTIGLIANI PICO

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): ROBINSON MANTILLA GARCIA

RESUMEN

Este proyecto tiene por objeto validar en una estructura de acero A500 Grado C las deformaciones unitarias y desplazamientos obtenidos en laboratorio, con un modelo matemático realizado en el software SAP2000. Desarrollándose con la construcción de una estructura tipo celosía bajo unos parámetros de diseño y geometría específica, a la cual se efectuaran 30 registros con cada carga aplicada, que corresponden a cien (100) setenta y cinco (75) y cincuenta (50) kilogramos (kg) con el fin de estimar desplazamientos y deformaciones unitarias, con el uso de sensores de deformaciones y transductor de desplazamiento. Así mismo se realizara un modelo de la estructura en el software SAP2000 para validar entre si dichos resultados. La armadura está hecha de acero A500, la cual se ensayara como viga simple a flexión con el equipo Data Logger TDS 530 e instrumentos de medición, con el fin de obtener el módulo de elasticidad de este material y validar los resultados experimentales con preceptos teóricos encontrados en libros investigados sobre estructuras de acero. En el análisis de los resultados se obtuvieron porcentajes de error bastante elevados debido a varios factores que al momento de realizar los ensayos se despreciaron, como fueron movimientos malintencionados al momento de la aplicación de carga, tipo de empotramiento en la estructura pero que a modo de recomendación para la elaboración de futuras investigaciones, permitirse corregir y poder crear un modelo más exacto de lo teórico a lo experimental.

PALABRAS CLAVES:

Armadura, Deformaciones Unitarias, Desplazamiento, Módulo de Elasticidad, Transductor.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Validation steel armor unit A500 and displacements obtained in the laboratory, with a mathematical model created in the software SAP2000 deformations.

AUTHOR(S): ELISEO PARTIGLIANI PICO

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: ROBINSON MANTILLA GARCIA

ABSTRACT

Which is object of study in this project, it is essential to study the mechanical properties of the element itself in order to assess its features and find its representative aspects. Therefore, the target of this project is ratifying the deformations and displacements on a unit A500 steel armor obtained in the laboratory using a mathematical model created in the SAP2000 software. The project is developed with the construction of a lattice structure under some geometric and specific parameters. 30 records with each administered load were made. One hundred (100) seventy-five (75) and be made fifty (50) kilograms (kg) respectively in order to estimate displacement and unit deformation using strain sensors and transducers. Also a model of the structure by the software SAP2000 will be conducted to validate the results between each other. The armor is made of steel A500, which will be tested as a simple beam bending by the equipment Data Logger TDS 530 and measuring instruments in order to obtain the modulus of elasticity of this material and validate the experimental results with theoretical precepts found in books about steel structures that have been researched. High error rates were found due to various factors that at the time of making tests were omitted, such as no intended movements at applying specific loads, embedment type, among others, allowing, in a sort of recommendation in the development of future research, to correct and create a more accurate physical model.

KEYWORDS:

Frame, strain, displacement, elastic modulus, transducer of displacement.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Al día de hoy las edificaciones o estructuras con elementos metálicos ha venido tomando gran fuerza en la ingeniería civil, por consiguiente actualmente existen en el mercado nacional e internacional una gran variedad de aceros que permiten por su alta resistencia llevar a cabo proyectos de gran magnitud.

Además los avances tecnológicos han facilitado el estudio de este material permitiendo realizar modelos o ensayos a escala real, facilitando la obtención de datos que muestran las propiedades, y condiciones óptimas de cualquier material.

Por ello viene bien decir que uno de los principales temas a estudiar en una estructura no son solamente las dimensiones y el tipo de material a utilizar, sino también tener en cuenta las propiedades o características mecánicas como lo son deformaciones, desplazamientos y esfuerzos y poder catalogar estas posibles fallas que se generan en la estructura.

En este proyecto se indican definiciones, ensayos, equipos y herramientas que permiten identificar propiedades mecánicas de materiales como el acero, además de poder calcular el módulo de elasticidad por medio del ensayo a flexión método más utilizado en la actualidad para este cálculo.

También se utilizará el software SAP2000 programa al cual al momento de armar la estructura se pueden especificar sus propiedades y sus dimensiones con el fin de obtener en el datos teóricos similares a la realidad y validarlos con los experimentales obtenidos en el equipo Data Logger TDS530 prueba realizada en laboratorio, y por último realizar los análisis pertinentes para calcular porcentajes de error.

1. JUSTIFICACIÓN

Por medio de este proyecto de grado se pretende validar experimentalmente los resultados obtenidos, en ensayos de flexión y tensión aplicados en una estructura de acero A500, con un modelo en SAP2000 con el fin de disminuir márgenes de error y ofrecer a estudiantes de resistencia de materiales un amplio marco de investigación, incitando a que generen proyectos direccionados en este sentido.

Entre los materiales más destacados se encuentra el acero, ya que gracias a su versatilidad se puede representar en diferentes formas, como varillas, láminas, platinas, tubos, etc. El acero presenta una gran variedad de propiedades como es la alta resistencia, que serán un factor importante en el desarrollo de este proyecto.

Con este, se busca crear una armadura o modelo a escala 1:1 que permita definir parámetros determinantes como el comportamiento de la estructura, encontrar posibles aspectos de falla en la estructura y así poder establecer un óptimo funcionamiento.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Validar las deformaciones unitarias y desplazamientos obtenidos en laboratorio de una estructura hecha en acero A500, con el mismo modelo realizado en SAP2000.

2.3. OBJETIVO ESPECIFICO

- ✓ Determinar por medio del ensayo a tensión la gráfica esfuerzo – deformación en laboratorio.
- ✓ Determinar el módulo de elasticidad mediante el ensayo a flexión, según las deformaciones unitarias y desplazamiento obtenidas en las láminas de acero A500.
- ✓ Obtener por medio de ensayos deformaciones unitarias de una estructura de acero A500.
- ✓ Obtener el margen de error de las deformaciones unitarias y desplazamientos en una armadura de acero A500.

3. ALCANCE

La finalidad de este proyecto es por medio del equipo (TDS Data Logger) encontrar las deformaciones, y variaciones de desplazamientos a una estructura hecha en acero A500 compuesta de una barra sometida a tensión y otra a compresión realizando ensayos utilizando diferentes cargas, las cuales permitirán reducir el margen de error en la toma de datos.

Este trabajo abarca ensayos realizados en laboratorio y su comparación con un modelo en SAP2000 al igual que se tendrá en cuenta la parte investigativa con el fin de obtener resultados óptimos, que permitan el estudio de las dimensiones de la estructura a trabajar.

4. ANTECEDENTES

Como parte de esta investigación tenemos acceso a información por medio de la Universidad Pontificia Bolivariana, en la cual se hace énfasis en estudios similares a la que trataremos durante todo el proyecto.

Información titulada ¹*como requisito para el grado como ingeniera civil*, donde por medio de un modelo similar se busca ensayar una estructura, compuesta de dos tipos de material, acero y aluminio, unidas con pernos sobre apoyos estáticos, con la ayuda del equipo Data Logger TDS 530 en el que por medio de tablas de datos se obtiene información de las propiedades mecánicas de los materiales como módulo de elasticidad, deformaciones unitarias de los elementos o barras y desplazamientos experimentados en los elementos de la estructura.

Así mismo en el presente proyecto haremos ensayos a una estructura compuesta de acero Colmena A500 grado C la cual estará soldada en sus extremos y rigidizada, apoyada sobre una columna con dos puntos de apoyo estáticos, sometida a tensión por medio de pesos específicos para que por medio del equipo Data Logger TDS530 podamos determinar estas mismas propiedades en este material y validar esta información con un resultado teórico obtenido en el software SAP2000 buscando disminuir el margen de error entre lo teórico y lo experimental o real.

Otra información relevante al enfoque de este proyecto, ²el cual hace énfasis en el cálculo y ensayos realizados a una estructura tipo cercha en acero utilizando

¹ VALENCIA REY Alexandra Comparación de Deformaciones Unitarias y Desplazamientos Utilizando una Armadura”, del proyecto de grado, presentado el año 2015

² RINCÓN SOLANO Francisco Andrés. Modelación y análisis de deformaciones en una cercha de estructura metálica. 2015

métodos como el los nodos y el teorema de Castigliano, además del uso de software para así tener diferentes opciones de datos y realizar un buen calculo reduciendo márgenes de error para identificar la mejor opción al momento de realizar más proyectos referentes a este tema.

Es así como este proyecto tiene relación con esta investigación ya que el uso de estos métodos y ensayos serán base importante al momento de llevar a cabo el montaje de la estructura a la que hace referencia este informe.

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1. GLOSARIO

En el análisis de los diversos ensayos que se realizarán en este proyecto encontramos algunos conceptos o palabras que se harán necesarios incluir con su respectiva definición para tener un claro enfoque a lo que en tema se refiere. A continuación encontramos los más relevantes:

Análisis elástico: análisis estructural que se basa en la suposición de que la estructura recupera su geometría original, una vez se remueven las cargas aplicadas.

Análisis estructural: determinación de los efectos de las cargas sobre los miembros y las conexiones, con base en los principios de la mecánica estructural.

Análisis inelástico: análisis estructural que tiene en cuenta el comportamiento inelástico del material.

Análisis plástico: análisis estructural que se basa en la suposición de un comportamiento rígido plástico, es decir, supone que sobre toda la estructura se satisface el equilibrio y el esfuerzo es igual o menor al esfuerzo de fluencia.

Carga: fuerza u otra acción que resulta del peso de los materiales de construcción, de los ocupantes y sus pertenencias o de efectos ambientales, movimientos diferenciales o cambios dimensionales restringidos.

Esfuerzo: fuerza por unidad de área, debida a fuerzas axiales, de momento, cortante y torsión.

Esfuerzo de fluencia: concepto aplicable tanto a materiales que tienen un punto de fluencia bien definido, como a aquellos que no lo tienen.

Estado límite: condición más allá de la cual una estructura o uno de sus componentes deja de ser adecuada para cumplir su función (estado límite de servicio) o alcanza su capacidad última de carga (estado límite de resistencia).

Fatiga: estado límite de iniciación y avance de una grieta como resultado de la aplicación repetitiva de cargas vivas.

Fluencia: estado límite de deformación inelástica que ocurre cuando se alcanza el esfuerzo de fluencia del material.

Momento plástico: momento resistente que teóricamente se desarrolla en una sección transversal con todas sus fibras en fluencia.

Teniendo en claro cada uno de estos conceptos podrá permitir al lector entender cada uno de los temas y normativas necesarios para el desarrollo del proyecto.

5.2. ANÁLISIS DE FUERZAS INTERNAS³:

Para el análisis de las fuerzas internas actuantes en un elemento es necesario conocer las propiedades de dichos materiales:

³ FERDINAND L. Singer, Resistencia de Materiales, 4° edición, 1987

5.2.1. Resistencia de los materiales: Estudia los esfuerzos internos producidos por un sistema de fuerzas exteriores aplicadas en un sólido. Para visualizarlo de una forma más clara se realiza un corte en el objeto buscando que fuerzas deben actuar para mantener el equilibrio del cuerpo en las dos secciones en que ha sido dividido.

En general el sistema de fuerzas internas equivale a la descomposición de una fuerza y sus resultantes según la normal y la tangente a la sección, como se muestra en la figura.

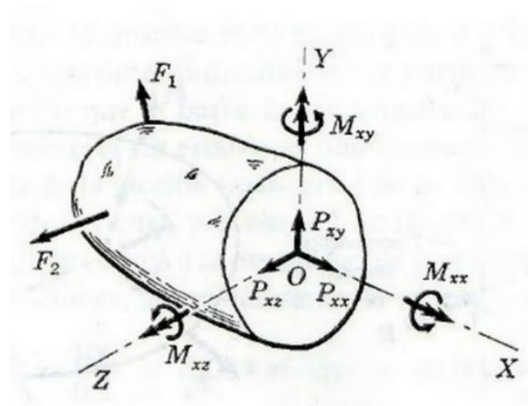


Figura 1 Componentes de los efectos internos en la sección.

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4° edición, 1987

Cada componente representa un efecto distinto de las fuerzas aplicadas sobre el sólido y reciben nombre especial:

- **Fuerza Axial:** P_{xx} Esta componente hace referencia a la acción de tirar o empujar sobre la sección. Tirar, representa una fuerza de tracción o extensión y suele alargar el sólido, mientras que empujar actúa como una fuerza a compresión que tiende a acortarlo.

- **Fuerza Cortante:** P_{xy} , P_{xz} Son componentes de la resistencia total al desplazamiento entre las dos fracciones del sólido esta fuerza cortante se representa con la letra (V) y las componentes que determinan su dirección (V_y) y (V_z).
- **Momento Torsionante:** M_{xx} Esta componente mide la resistencia a la torsión del sólido o elemento estructural al que se le aplique una fuerza.
- **Momento Flexionante:** estas componentes están ubicadas paralelamente al plano de corte del sólido y miden la resistencia del cuerpo a curvarse o flexionarse.

5.2.2. Esfuerzo Simple. Es la resistencia interna, propia del material que trata de impedir la deformación del mismo permitiéndole ser apto para el uso de estructuras. Por ello es importante estudiar los materiales e identificar las propiedades mecánicas para así garantizar al momento de usarlos su buen funcionamiento en la aplicación que se le dé. También se le conoce con el nombre de fuerza axial y actúa de dos maneras puede ser a tensión o a compresión. Un ejemplo muy común de este esfuerzo es el representado en la siguiente figura:

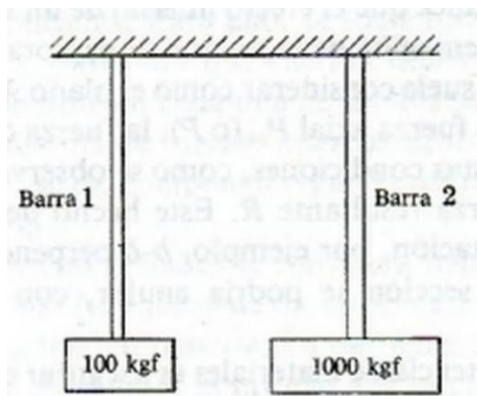


Figura 2 Barras que soportan diferentes cargas máximas

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4° edición, 1987

La figura 2, representan dos barras prismáticas de diferente material y longitud igual empotradas en un soporte común, aunque se sabe que las barras soportan las cargas máximas se necesita conocer el área de la sección transversal de cada barra para determinar sus resistencias, siendo así la fuerza por unidad de área que soporta un material se suele denominar esfuerzo, y se representa matemáticamente de la siguiente forma:

Esfuerzo en el punto medio de la sección transversal.

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

(1)

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4° edición, 1987

Pero esta expresión anterior solo representa el valor medio del esfuerzo, para poder determinar el esfuerzo en cualquier punto de la sección transversal se tiene que dividir la fuerza diferencial sobre el área diferencial, representado así:

Esfuerzo en cualquier punto de la sección transversal

$$\sigma = \frac{dP}{dA}$$

(2)

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4° edición, 1987

Sin embargo para que el sólido este en equilibrio solo es posible obtener distribuciones de esfuerzo uniforme, cuando la fuerza aplicada para por el centroide de la sección, aunque no en todos los casos se cumple dicho requisito, ya que si el elemento tiene cambios bruscos en su contorno los esfuerzos estarán muy localizados en estos puntos, como se representa en la figura:

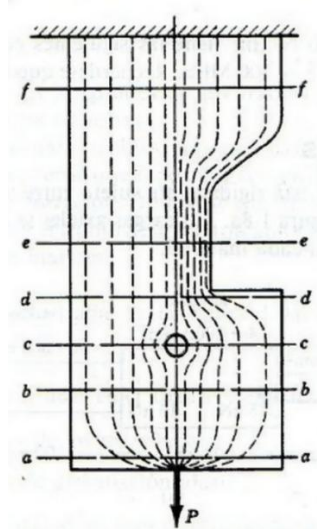


Figura 3. Distribución de esfuerzos

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4° edición, 1987

Se puede evidenciar que la distribución uniforme solo actúa en los cortes $b - b$ y $f - f$, en las secciones $c - c$ y $d - d$ a pesar de que la línea de fuerza pasa por el centroide existen cambios bruscos en su contorno, tampoco sería uniforme la distribución en el corte $a - a$ ya que está muy próximo al punto de aplicación de la fuerza y como mínimo para que exista dicha distribución la sección debe estar a una distancia igual o mayor al ancho de la barra.

5.2.3. Esfuerzo Cortante. A diferencia del axial o esfuerzo simple, es producido por fuerzas que actúan paralelamente al plano resistente y puede representarse de dos maneras como fuerza cortante simple o doble, además a estas fuerzas puede llamárseles de dos formas:

- **Fuerza Cortante Directa:** Sucede en los casos donde el cizallamiento suele ser paralelo a la fuerza aplicada.
- **Fuerza Cortante Indirecta:** Sucede cuando aparece en secciones inclinadas con respecto a la resultante de la fuerza.

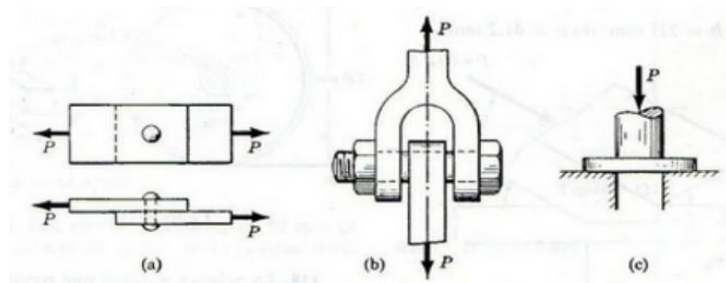


Figura 4. Secciones Sometidas a Cortante.

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4° edición, 1987

El esfuerzo cortante siempre y cuando su resultante pase por el centroide de la sección está dada de la siguiente forma:

Esfuerzo Cortante en Centroide de la Sección.

$$\tau = \frac{V}{A}$$

(3)

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4° edición, 1987

5.2.4. Esfuerzo de Contacto o Aplastamiento. Es producido por el contacto entre las superficies de dos cuerpos, el ejemplo más común se podría mencionar como la presión ejercida por una columna sobre el terreno donde está apoyada. Se expresa de la siguiente forma siempre y cuando la fuerza este perpendicularmente a la superficie de contacto distribuida uniformemente:

Esfuerzo de Contacto (El Subíndice b = Aplastamiento)

$$P_b = A_b \sigma_b = (td) \sigma_b$$

(4)

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4° edición, 1987

5.3. DEFORMACIONES

Las deformaciones son acciones experimentadas por los elementos de las estructuras debido a las fuerzas aplicadas sobre estas y que dependiendo del material y de la carga aplicada puede o no volver a su estado normal. Por ello podemos definir las deformaciones así:

Toda esta información referente al tema a tratar en el desarrollo del proyecto como lo es las deformaciones se puede globalizar en una sola grafica que representa toda una serie de propiedades del acero, como lo es la gráfica de Esfuerzo – Deformación.

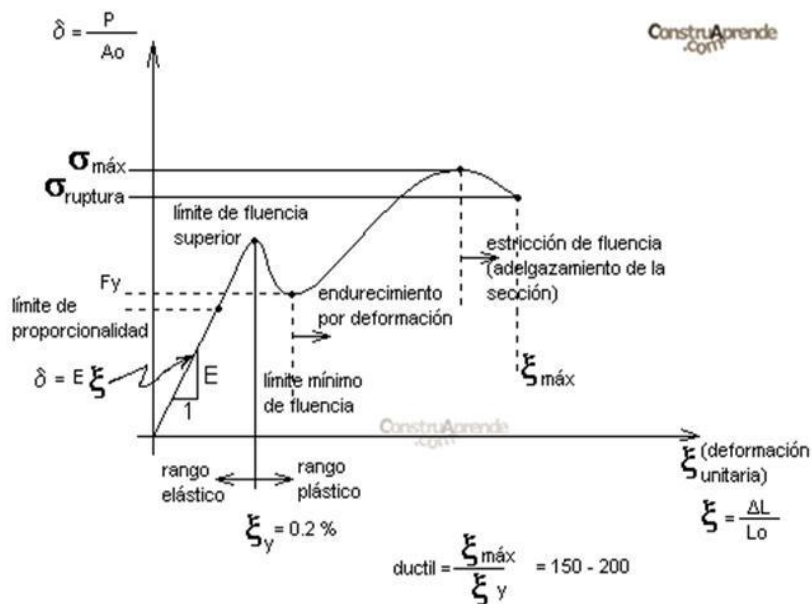


Gráfico 1 Esfuerzo – Deformación.

Fuente: Diagrama Esfuerzo-Deformacion.shtml

5.3.1. Deformaciones elásticas. Cuando la tensión es proporcional a la deformación se denomina elástica, al demostrar esta condición gráficamente tenemos que es una relación lineal y esto representaría el “Módulo de Elasticidad” del material.

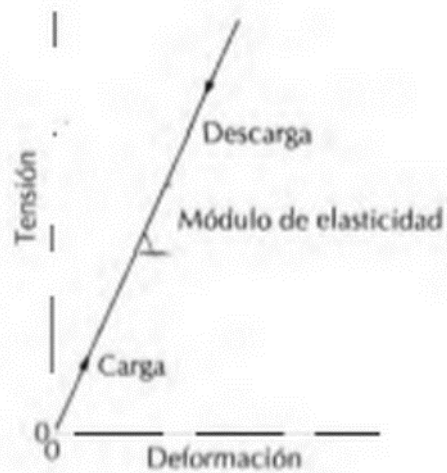


Gráfico 2 Representación Tensión – Deformación.

Fuente: *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, William D. Callister.

Esta deformación no es permanente, quiere decir que cuando se retira la fuerza o carga aplicada sobre el elemento, este vuelve a su estado original (cero), y por eso entre mayor es el módulo de elasticidad, más rígido es el material y menor su deformación. Para este caso la tensión es proporcional a la deformación según:

Relación Proporcional entre Tensión – Deformación

$$\sigma = E\epsilon$$

(5)

Fuente: *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, William D. Callister.

Además la anterior expresión es conocida como la **Ley de Hooke**

Existen materiales en los cuales su deformación no es lineal, para estos casos su módulo de elasticidad debe calcularse como un módulo tangencial y se toma en

cualquier punto de la línea de tensión por medio de una línea tangente a esta curva.

- **Anelasticidad:** Es una componente de deformación que depende del tiempo, esto quiere decir que la deformación elástica sigue aumentando después de aplicar la carga y al momento de retirarla se requiere de un tiempo para que el material recupere su estado normal. Y esta dependencia del tiempo es por los mecanismos microscópicos del material, en los metales esta componente es más pequeña y despreciable.
- **Propiedades elásticas de los materiales:** Se pueden producir alargamientos elásticos y deformaciones en los metales a los que se le aplique una carga a tracción, en la dirección de aplicación de la carga, generando también cambios en las direcciones laterales del elemento, parámetro definido como “Coeficiente de Poisson”. En la siguiente tabla se muestran los coeficientes para ciertos materiales.

Tabla 1 Coeficientes de Poisson para algunos Metales.

Módulos de Elasticidad y de Cizalladura a Temperatura Ambiente y Coeficiente de Poisson para varios Metales y Aleaciones					
Metal o Aleación	Módulo Elasticidad		Módulo de Cizalladura		Coeficiente Poisson
	Psi	MPa	Psi	MPa	
Aluminio	10	6,9	3,8	2,6	0,33
Acero	30	20,7	12	8,3	0,27
Cobre	16	11	6,7	4,6	0,35
Latón	14,6	10,1	5,4	3,7	0,35

Fuente: Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, William D. Callister.

Y está relacionado con el módulo de cizallamiento y el modulo elástico mediante la siguiente expresión:

Coefficiente de Poisson

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1$$

(6)

Fuente: *Resistencia de Materiales 1, Sección R, Sergio V. Tomas Castañeda.*

En muchos metales el valor de **G** es igual a 0,4, y **E** por consiguiente es el módulo de elasticidad de cada material.

5.3.2.1. Deformaciones plásticas: Este tipo de deformación es la que sufre el material cuando la tensión deja de ser proporcional a la deformación y pasa a ser permanente o no recuperable, en la siguiente imagen podemos observar la línea de *Tensión – Deformación* en el punto plástico de un metal típico.

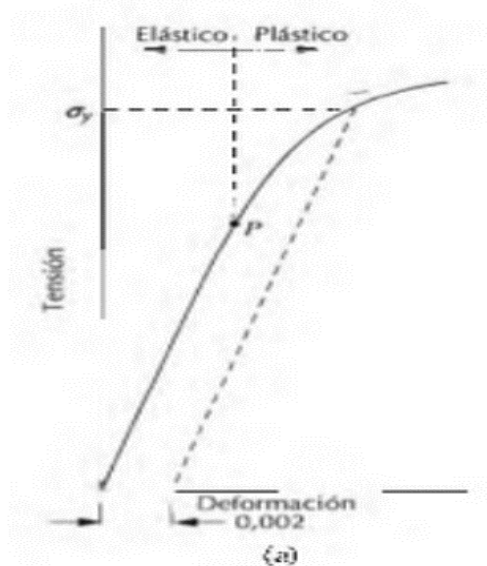


Gráfico 3 Tensión – Deformación en el Punto Plástico

Fuente: *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, William D. Callister.*

Esta transición mostrada en la gráfica anterior del cambio elástico al plástico es notoria en el material debido a pequeñas curvaturas que empiezan a aparecer al

comienzo de la deformación plástica y aumenta con mayor rapidez al aumentar la carga desde el punto de vista atómico es la ruptura de los enlaces entre átomos vecinos y el apareamiento con otros átomos cercanos, que al retirar la carga no vuelven a su estado original.

5.3.2.2. Propiedades de tracción:

1. **Fluencia y límite elástico:** Siempre debe saberse el máximo valor que una estructura puede soportar y diseñarse para que solo experimente la deformación elástica cuando esta sea sometida a tensión.

En forma contraria cuando se inicia la deformación plástica o fenómeno de *Fluencia* es un punto que puede determinarse fácilmente en grafica como la desviación inicial de la curva Tensión – Deformación, punto en la figura 6, representado por la letra **P** y denominado Limite Proporcional.

En la figura 6 también se puede apreciar otra manera de identificar este punto máximo en el que tiene lugar el cambio de elástico a plástico, y se determina mediante una línea recta paralela a la línea de la gráfica Tensión – Deformación desplazada a una deformación determinada (usualmente 0.002), la cual al intersectarse con la curva generan un punto en común denominado *Limite Elástico*.

Además la magnitud del Limite Elástico es una medida de la resistencia a la deformación plástica, en un metal está comprendido entre 35 MPa hasta valores superiores a 1400 MPa depende del tipo de material.

2. Resistencia a la Tracción⁴: Después de iniciar a experimentar la deformación plástica, la tensión necesaria para continuar la deformación en un metal aumenta hasta el punto M mostrado en la siguiente figura, y después empieza a disminuir a tal punto de producirse en el elemento o estructura la fractura.

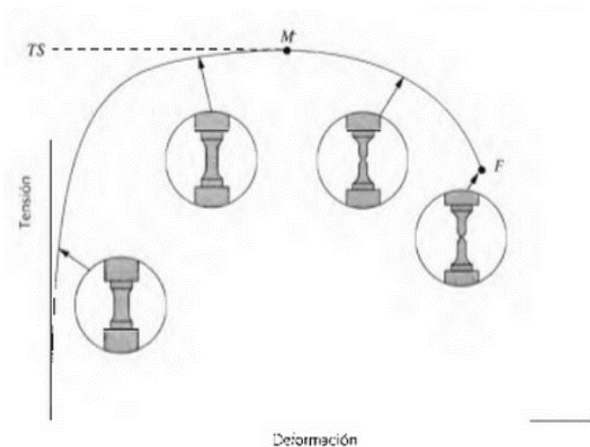


Gráfico 4 Representación del punto de resistencia máxima y el punto de ruptura
Fuente: Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, William D. Callister.

Esta resistencia es la máxima que puede soportar una estructura sometida a tracción. Si esta tensión es aplicada y mantenida llega a producirse la ruptura. Hasta llegar a este punto la deformación es uniforme en la región estrecha del elemento y cuando se alcanza esta tensión máxima se empieza a evidenciar una disminución en el área de la sección transversal, también llamada estricción o cuello, lugar donde luego ocurre la fractura.

La resistencia a la tracción dependiendo el metal puede estar entre 50 MPa hasta valores como 3000 MPa para aceros de alta resistencia.

⁴ CALLISTER William D. *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales,*

3. **Ductilidad:** Mide el grado de deformación plástica que puede llegar a soportar un material hasta su fractura, un material que experimente una deformación plástica baja o nula es un material *Frágil*.

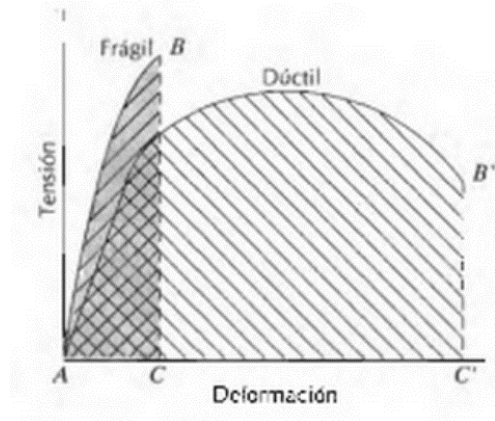


Gráfico 5 Representación de Ductilidad y Fragilidad

Fuente: Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, William D. Callister.

Además la ductilidad puede expresarse como el *Porcentaje de Reducción del Área* o *Alargamiento Relativo Porcentual* y se denota de la siguiente manera:

Alargamiento Relativo Porcentual para la Ductilidad

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_o}{l_o} \right) * 100$$

(7)

Fuente: Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, William D. Callister.

Donde l_f es la longitud en el momento de la rotura calculado uniendo las dos piezas y l_o es la longitud original de la probeta.

El conocimiento de la ductilidad de un material es muy importante al momento de diseñar ya que le permite ver al diseñador el grado en que una estructura va a deformarse antes de llegar a la ruptura y también permite especificar hasta qué grado es admisible la deformación durante las operaciones de conformación. Como materiales frágiles pueden considerarse aquellos que tengan una deformación a la fractura menor que 5%.

En la siguiente tabla podemos observar valores típicos de algunos metales como lo es en el caso del acero material que se estará aplicando en los ensayos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 2 Propiedades Mecánicas de Metales más Comunes

Propiedades Mecánicas Típicas de Algunos Metales			
Metal o Aleación	Limite Elástico	Resistencia a la Tracción	Ductilidad (en 2")
	Psi	Psi	
Aluminio	4000	10000	45
Acero	19000	38000	45
Cobre	10000	29000	45
Níquel	20000	70000	40

Fuente: Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, William D. Callister.

4. **Resiliencia:** Capacidad que tiene un material de absorber energía elástica cuando esta deformado y de cederla cuando no lo está. Es también denominado módulo de resiliencia y es la energía de deformación por unidad de volumen requerida para deformar un material hasta el límite elástico. Así como se muestra en la figura con el área sombreada,

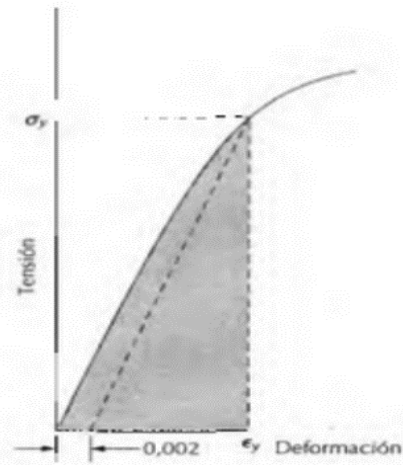


Gráfico 6 Representación del Cálculo de la Resiliencia

Fuente: Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, William D. Callister.

Matemáticamente el módulo de resiliencia de un material está dada por el área debajo de la curva del grafico tensión – deformación comprendida desde el origen hasta su límite elástico, cuando la región es elástica lineal se puede calcular de la siguiente forma:

Módulo de Resiliencia.

$$U_r = \frac{1}{2} * \sigma_y * \epsilon_y = \frac{\sigma_y^2}{2 * E} \quad (8)$$

Fuente: Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, William D. Callister.

De lo anterior, decimos que los materiales resilientes son aquellos que tiene un límite elástico bastante alto pero un módulo de elasticidad bajo.

- 5. Tenacidad:** Es la propiedad mecánica de un material para permitirse adsorber energía antes de su fractura, la geometría y la forma como se aplique la fuerza son importantes para el cálculo de la tenacidad, en casos de cargas dinámicas la tenacidad es calculada por medio de ensayos de impacto y en casos de cargas estáticas la tenacidad puede calcularse como el área bajo la curva hasta la fractura siendo evaluada a partir del ensayo de tracción.
- 6. Dureza:** Es otra propiedad mecánica de un material y muy importante, ya que es una medida de la resistencia de un material a la deformación plástica. En un principio los ensayos de dureza se basaban en el comportamiento de los minerales y su capacidad para rayar a otro más blando, en la actualidad existen varios métodos y mucho más exactos para determinar la dureza de un material.

Adicional a estas dos deformaciones que sufre un elemento al momento de ser sometido a esfuerzos podemos calificar esta deformación como importante para tener en cuenta en la información descrita en este informe.

5.3.3. Deformación Unitaria. Para elementos fabricados de forma homogénea esta deformación está dada por la relación entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, así:

Deformación Unitaria.

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

(9)

Fuente: Comparación de Deformaciones Unitarias y Desplazamientos Utilizando una Armadura.

5.3.4. Deformación Máxima. Esta dada por la siguiente expresión, donde (I) es la inercia, (E) es el módulo de elasticidad (P) la carga soportada y (L) la longitud del elemento.

Deformación Máxima.

$$\delta = \frac{23PL^3}{648EI} \tag{10}$$

Fuente: Comparación de Deformaciones Unitarias y Desplazamientos Utilizando una Armadura.

6. MARCO LEGAL

6.1. NORMA COLOMBIANA SISMO RESISTENTE NRS 10, TÍTULO F: ESTRUCTURAS METÁLICAS

La norma tiene por objeto la reglamentación de aspectos indispensables para la construcción, en la cual fija parámetros de diseño, construcción, supervisión técnica, calidad y cualidades; además de crear una comisión asesora encargado de verificar este régimen y definir su conformación y funciones. Ahora bien, el estudio del Título F del Reglamento Colombiano de Sismo Resistencia explica y define conceptos con su respectiva normatividad para su desarrollo que son aplicables al diseño de estructuras soldadas, atornilladas o remachadas, conformadas por elementos de acero.

6.1.1. Límites de aplicabilidad. Existen dos tipos que expone el título F de la norma NRS 10, como lo son las estructuras de acero y las estructuras de aluminio, de las cuales el siguiente proyecto ira enfocado en las de acero:

- **Estructuras de acero:** Este término en la presente norma hace referencia a los elementos de acero estructural esenciales para resistir cargas de diseño.
- **Estructuras de aluminio:** hace referencia a elementos de aluminio estructural esenciales para resistir cargas de diseño.

6.1.2. Diseño estructuras de acero. Teniendo en cuenta todos estos conceptos, el título F de la norma colombiana sismo resistente contiene unos requisitos para el diseño y análisis de estructuras de acero, teniendo como base que el diseño de los miembros y las conexiones deben ser consistentes con el comportamiento

esperado del sistema estructural y con las suposiciones formuladas en su análisis. Estas bases para el diseño son:

- **Resistencia requerida:** Esta resistencia se determina con base en el análisis estructural para combinaciones de carga apropiadas.
- **Estado límites:** el diseño se basa en el principio de que ningún estado límite de resistencia o de servicio será excedido cuando la estructura sea sometida a cada una de las combinaciones de cargas aplicables.

De acuerdo a estos requerimientos los diseños pueden clasificarse así:

1. **Diseño para estado límite de resistencia**⁵⁵: Para decir que este diseño satisface los requisitos necesarios, la resistencia de cada componente estructural debe ser mayor o igual que la resistencia requerida. Traducida de la siguiente forma:

Resistencia Requerida

$$R_u \leq \phi * R_n$$

(11)

Fuente: NRS 10 Capitulo F estructuras de acero con perfiles laminados, armados y tubulares estructurales

Donde,

R_u , = resistencia requerida

R_n , = resistencia nominal

ϕ , = coeficiente de reducción de resistencia

ϕR_n , = Resistencia de Diseño

⁵⁵ NRS 10 Capitulo F estructuras de acero con perfiles laminados, armados y tubulares estructurales

2. **Diseño por estabilidad:**⁶ Se debe asegurar este parámetro (estabilidad), como un todo y para cada uno de los elementos que la componen y para su análisis se deben considerar los siguientes factores: Deformaciones por flexión, cortante y carga axial en los miembros, comportamiento inelástico, incertidumbres de rigidez y resistencia, imperfecciones geométricas, de los cuales dependientes de las cargas deberán calcularse con las cargas mayoradas.

3. **Diseño de miembros a tensión:** Aplicable en miembros o elementos solicitados por tensión axial causadas por fuerzas estáticas que actúan a través del eje centroidal.

6.1.3. Soldadura. Además de tener en cuenta los parámetros para diseñar miembros o elementos en acero estructural hay que mencionar la soldadura y sus especificaciones según la norma colombiana sismo resistente título F en la que especifica que deben tener en cuenta los siguientes requisitos dependiendo del tipo de soldadura a utilizar en la estructura. Aunque existen varias formas de unir los elementos que componen una estructura revisaremos más a fondo la soldadura debido a que es el material que utilizaremos para la estructura diseñada en este proyecto.

1. **Soldadura acanalada:** El área efectiva en este tipo de soldadura es el producto de la longitud de la soldadura por el espesor de la garganta siendo este espesor de la garganta de penetración completa será el menor entre los espesores de las partes que se unen.

⁶ NRS 10 Capítulo F estructuras de acero con perfiles laminados, armados y tubulares estructurales

Tabla 3 mínimo espesor efectivo de garganta para soldaduras acanaladas de penetración parcial.

Espesor de la parte mas delgada a unir, mm	Minimo espesor efectivo de garganta, mm
Hasta 6.4 inclusive	3
Mayor que 6.4 a 12.7	5
Mayor que 12.7 a 19.1	6
Mayor que 19.1 a 38.1	8
Mayor que 38.1 a 57.2	10
Mayor que 57.2 a 152.4	13
Mayor que 152.4	16

Fuente: NRS 10 capitulo F.2.10.2.3

2. **Soldadura de filete**⁷: Su área efectiva será la longitud efectiva por la garganta efectiva y esta será la distancia más corta entre la raíz y la cara esquemática del filete, su tamaño no puede ser menor que el tamaño requerido para transmitir las fuerzas calculadas ni menor que el mínimo.

3. **Soldadura de tapón y ranura**: Su área efectiva para resistir la fuerza cortante, es el área nominal del agujero en el plano de la superficie de contacto. Este tipo de soldadura se puede usar para transmitir cortante en juntas traslapadas, para impedir el pandeo o la separación de las partes traslapadas. La resistencia de diseño será el menor entre los valores obtenidos para la resistencia del material base, determinada con los estados límites de rotura por tensión o cortante y para la resistencia del metal de la soldadura se representarían así:

⁷ NRS 10 Capitulo F estructuras de acero con perfiles laminados, armados y tubulares estructurales

Metal Base

$$R_n = F_{aBM} * A_{BM} \quad (12)$$

Fuente: NRS 10 Capitulo F Estructuras de Acero con perfiles Laminados, armados y tubulares estructurales

Metal de la Soldadura

$$R_n = F_{aw} * A_{we} \quad (13)$$

Fuente: NRS 10 Capitulo F Estructuras de Acero con perfiles Laminados, armados y tubulares estructurales

Donde,

F_{aBM} = Resistencia Nominal por Unidad de Área para el Metal Base

F_{aw} = resistencia nominal por unidad de área para el metal de la soldadura

A_{we} = área efectiva de la soldadura

A_{BM} = área de la sección transversal del metal base.

6.2. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC

Esta es una norma con diversos parámetros a nivel general, necesarios para la realización de cualquier tipo de ensayo y que especifica en algunos casos la composición requerida en los materiales que día a día son usados en la industria de la construcción.

En este caso haremos enfoque en el acero y sus requisitos según la norma para tener en cuenta, al momento de realizar ensayos como el de tracción o tensión, esenciales para identificar en el material sus propiedades mecánicas,

especificando también la forma en que debe ser aplicado el ensayo dependiendo de la dimensión o tipo del material.

Por ejemplo en la norma técnica colombiana NTC 2 titulada *Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos, Método de Ensayo a Temperatura Ambiente* especifica desde la forma adecuada en la que debe llevar a cabo el ensayo como lo es la temperatura del material hasta la longitud o dimensionamiento del elemento a ensayar.

De ahí podemos ver la importancia de mencionar esta norma como referencia para la comprensión de este proyecto y los ensayos requeridos para un buen análisis.

6.3. NORMA ASTM A500 GRADO C

En esta norma podemos encontrar todo lo referente a la composición y especificaciones generales del acero A500, material que utilizaremos en el desarrollo de este proyecto

Es muy importante su información ya que de ahí dependeremos de algunos datos para tener en cuenta al momento de realizar los análisis de resultados de este proyecto con el fin de tener una base teórica y comparar estos valores experimentales obtenidos en los ensayos realizados y descritos en este informe.

7. ENSAYO

Para los ensayos tendremos en cuenta las diferentes referencias relacionadas con las configuraciones y condiciones en las que deben estar los equipos y laboratorio a utilizar en el desarrollo del proyecto:

7.1. EQUIPOS Y SOFTWARE

7.1.1. Data Logger TDS-530. Es un equipo disponible en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, que permite tomar datos como: tensión, temperatura, desplazamientos, tiempo, etc. Además tiene una gran precisión en la toma de registros de medidores de deformación.

Cuenta con pantalla LED a color y una fácil configuración de canales que permiten por medio de su pantalla táctil calibrar y organizar los datos que se van tomando. Puede ser controlada por medio de un PC u ordenador portátil a través de una USB 2.0 o puerto RS – 232C



Figura 5. Data Logger TDS530

Fuente: <http://www.abestins.co.kr/>

Veremos definición de algunas partes necesarias para el completo funcionamiento de la TDS530 con el fin de dar a conocer el equipo con el que calcularemos la deformación unitaria y desplazamiento en la estructura de tubo colmena de acero A500 grado C:

❖ Transductor: Son sensores que permiten transformar una magnitud eléctrica en mecánica o viceversa. Estos sensores pueden además presentar limitaciones en su funcionamiento como lo son la temperatura, choques, vibraciones ya que esto puede generar errores al momento de tomar medidas.

❖ Transductor de Desplazamiento: También denominado CDP, como su nombre lo indica es un sensor que permite medir el desplazamiento efectuado por una estructura o un elemento al momento de aplicársele una fuerza. Se pueden encontrar tres tipos de 25, 50 o 100 (mm) milímetros, esto indica la capacidad de medida.



Figura 6. Transductor de Desplazamiento.

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/>

❖ Galgas Extensiométricas: También denominados Strain Gauges, sensores de deformación que pueden ser utilizadas en diferentes casos como ensayos de esfuerzo de compresión, esfuerzos a tensión, etc. A diferencia del transductor las galgas siempre deben estar en contacto con la superficie a la que se desea

examinar ya que estos sensores están constituidos por una rejilla de hilos finos la cual se deforma junto con el elemento que se esté ensayando, en la siguiente imagen podemos observar una galga con todas sus partes para así tener una mejor apreciación de como por medio de ella es recopilada la información.

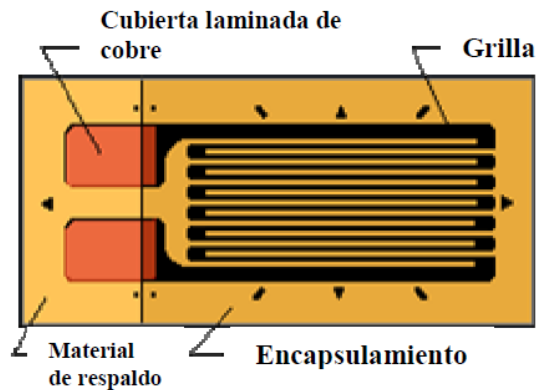


Figura 7. Representación Galga Extensiométrica o Strain Gauges

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/cintas-extensiometricas.html>

La magnitud de medida del Strain Guages es muy pequeña por lo que se expresa como Microstrain que es ($\epsilon \times 10^{-6}$). Estas galgas pueden ser utilizadas para medir deformaciones generadas por fuerzas a compresión o tensión, aunque algunas veces cuando las galgas son sometidas a cargas continuas, al momento de su descarga, estas no regresan a su estado normal o valor de resistencia inicial.

7.1.2. Proceso de configuración del TDS – 530. Se debe realizar este proceso de acuerdo a la exigencia del laboratorio o experimento que se desea realizar con este equipo permitiendo así su buen funcionamiento y datos tomados de forma correcta:

A. Conexiones de los Strain Gauges o Galgas y el CDP o Transductor de Desplazamiento:

Como primer paso se procede a realizar las respectivas conexiones de los sensores que utilizaremos en el ensayo para determinar las deformaciones unitarias en las dos barras y el desplazamiento con respecto al eje centrar de la unión de los dos elementos que conforman la estructura.



Figura 8. Modelo de Conexión de la Galga al TDS – 530.

Fuente: Autor del Proyecto.

En esta imagen podemos apreciar con gran claridad a conexión requerida para las galgas al TDS – 530, haciendo puente entre los puertos B y C del canal 6, puerto el cual será el que posteriormente configuramos para la obtención de los datos de deformación de la estructura.

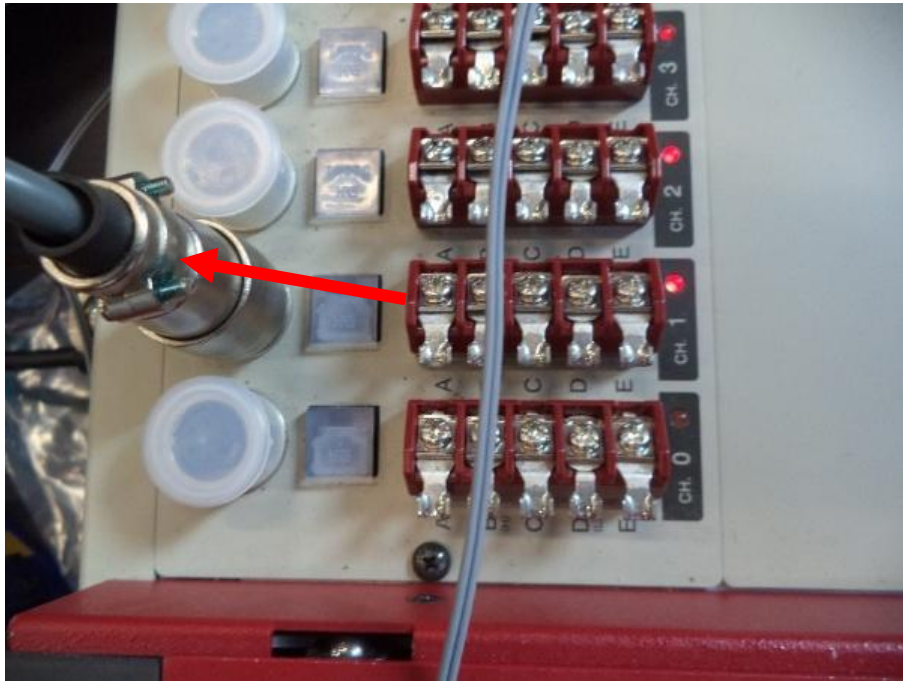


Figura 9. Representación de la Conexión del CDP al TDS – 530.

Fuente: Autor del Proyecto.

En esta imagen podemos observar la conexión del transductor de desplazamiento al TDS – 530 en el canal 1 al cual se le harán las respectivas configuraciones para una perfecta toma de datos.

B. Conexiones de los sensores a la estructura:

Se debe hacer las respectivas conexiones de los sensores a la estructura a ensayar en este caso tomamos dos galgas para medir la deformaciones de las barras y un transductor para calcular el desplazamiento experimentado por la estructura al momento de aplicar las cargas. En la siguiente imagen podemos apreciar la forma como deben conectarse:

En la siguiente imagen se puede observar los dos puntos donde están conectados las galgas señaladas con flechas y el transductor en un círculo.

Después de tener listas todas las conexiones de los sensores y del TDS – 530 procedemos a encender el TDS para la configuración de cada puerto en el que fueron conectados los sensores dándoles sus respectivas unidades de medición y coeficientes.

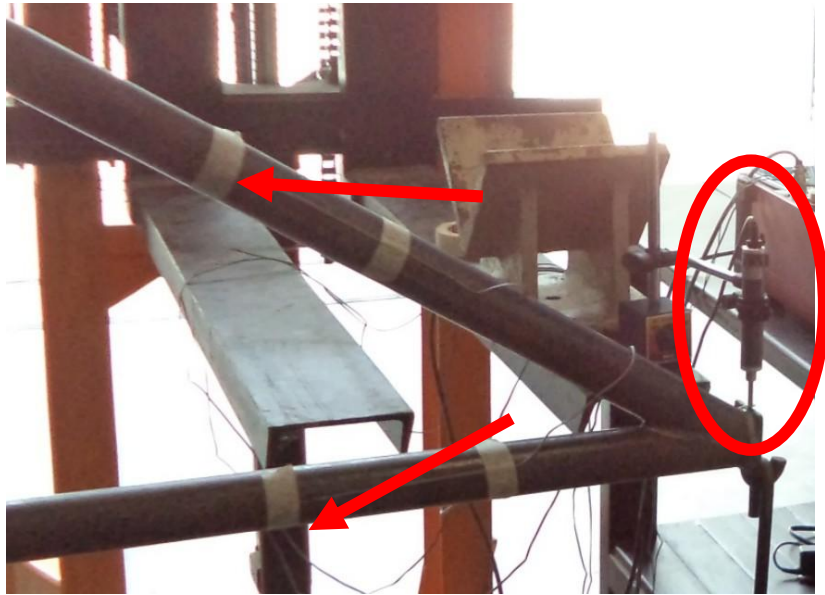


Figura 10. Conexiones de los Sensores a la Estructura

Fuente: Autor del Proyecto.

C. Configuración para el transductor de desplazamiento o CDP:

Para iniciar con la configuración seleccionamos “to menu” para ver el menú luego selecciona la opción INPUT $\frac{1}{2}$ y después en “sensor modo setting”

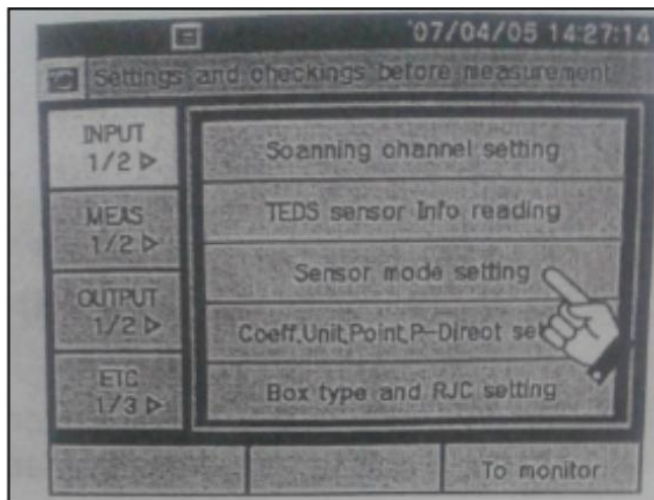


Figura 11. Configuración Puerto CDP

Fuente: Manual Guía Data Logger TDS – 530

Luego de esto aparece la opción “4GAGE” la seleccionamos y damos “Apply” y por ultimo “Enter” para que se guarde la configuración. Para salir a la pantalla principal selecciona “To Monitor”.

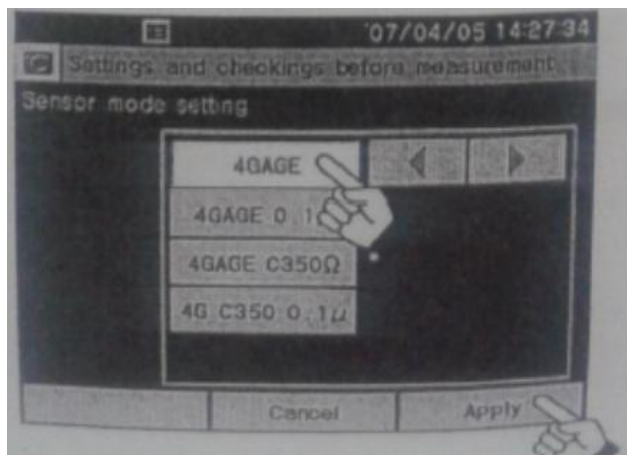


Figura 12. Configuración Puerto CDP

Fuente: Manual Guía Data Logger TDS – 530

A continuación se procede a configurar el coeficiente con el que debe trabajar el CDP de 25mm

Se debe ingresar a “to menu” se selecciona la entrada del sensor correspondiente en IMPUT ½ seguido de esto se realizan los siguientes pasos:

1. Selecciona la opción “Coeff, Unit, Point P-Direct Setting”

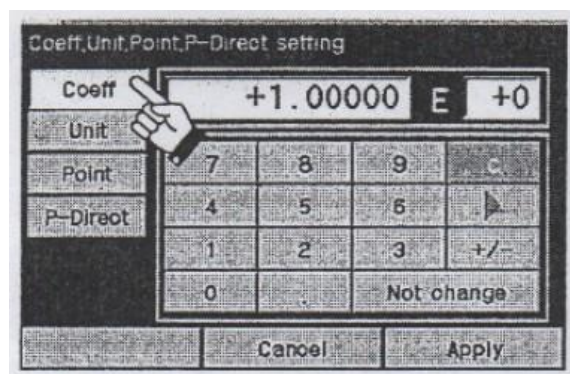


Figura 13. Representación del Ingreso del Coeficiente.

Fuente: Manual Guía Data Logger TDS – 530

2. Luego selecciona el canal en el que se ha conectado el CDP
3. Se ingresa el valor del coeficiente pertinente a este tipo de CDP de 25 mm. El coeficiente se calcula de la siguiente forma:

Coeficiente para el CDP – 25mm.

le) For the displacement gauge of capacity: 25 mm, 6.25 mV/V

6.25mV/V x 2000=12500 x 10⁻⁶ strain.
 25/12500 x 10⁻⁶ strain=0.002, and when
 coefficient=2.000 x 10⁻³, unit=mm, display digit=###.###
 are set, the display value is physical mount direct reading

(14)

Fuente: Manual Guía Data Logger TDS – 530

4. Localizan en el menu la opción "UNIT" que corresponde a la unidad de medida y ponemos "mm". y por ultimo damos aplicar.

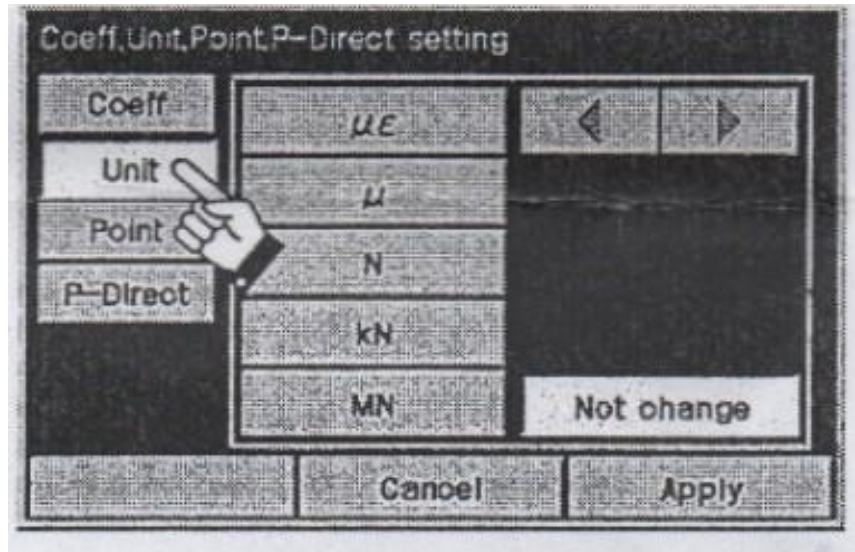


Figura 14. Representación de la Selección de la Unidad de Medida.

Fuente: Manual Guía Data Logger TDS – 530

5. Para salir de la configuración damos en "to monitor" para salir a la pantalla principal y ahí podemos ver la unidad y coeficiente correspondiente al CDP que acabamos de configurar.

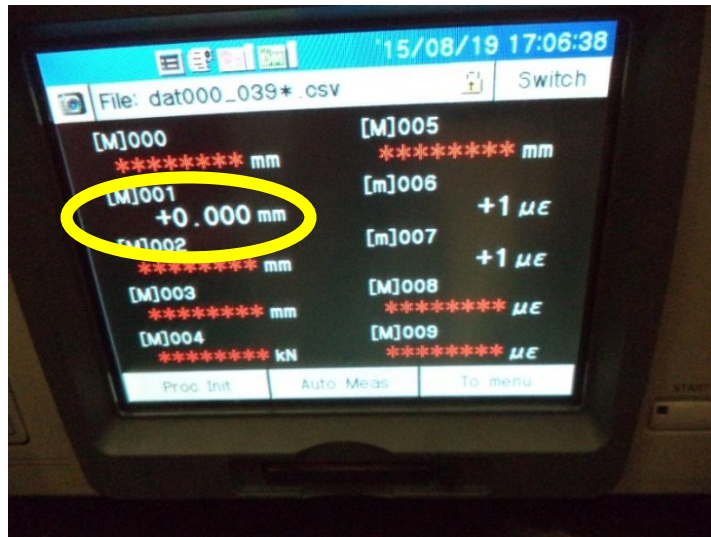


Figura 15. Representación de la Configuración Final del CDP

Fuente: Autor del Proyecto

- Finalmente para comprobar que el transductor este calibrado se debe hacer un chequeo comprimiéndolo, de esta forma podemos ver que el CDP 25mm se encuentre dentro de su rango de capacidad.

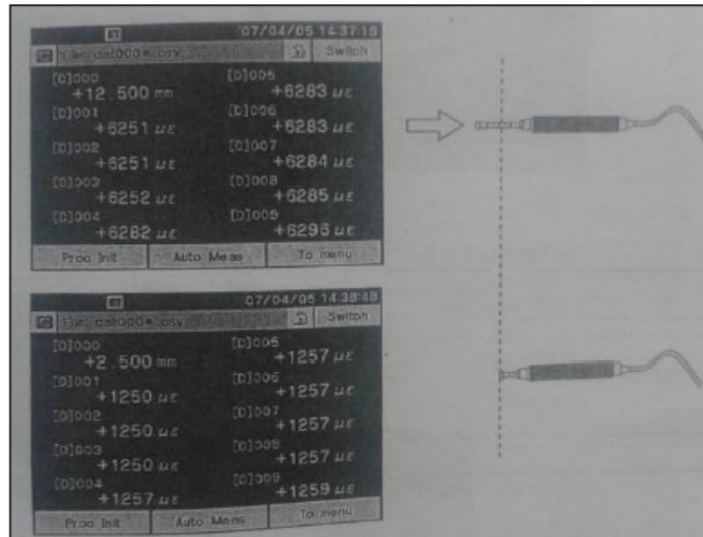


Figura 16. Representación del Proceso de Comprobación

Fuente: Manual Data Logger TDS – 530

D. Configuración de los Strain Gauges o Galgas:

Para la configuración de las galgas se deben seguir los siguientes pasos:

1. Presiona en “to menu” luego ingresa en “Sensor Mode Setting” y con las flechas que aparecen a la parte derecha de la pantalla buscamos el canal 6 y 7 en este caso que serán los que usaremos para calibrar, para la realización de los respectivos ensayos de este proyecto y realizamos la configuración necesaria para estos canales como se muestra en la figura:

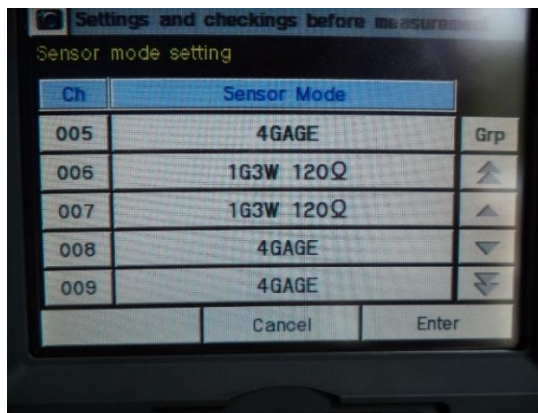


Figura 17. Configuración Galga.

Fuente: Autor del Proyecto

2. Después de seleccionar estas opciones, presionamos “Enter” y por ultimo “To Monitor” para volver a la pantalla inicial y debe aparecer habilitados los puertos de la siguiente manera:



Figura 18. Puertos 6 y 7 Donde están Conectadas las Galgas Habilitadas.

Fuente: Autor del Proyecto.

3. A continuación se debe hacer la respectiva configuración del coeficiente que debe utilizar las galgas en estos puertos para la toma correcta de datos.

Para configurar este coeficiente se tiene en cuenta la siguiente formula:

Para un “GAUGE FACTOR” (KG = 2,11)

$$\frac{2,000}{2,11} = 0,94786$$

Donde KG o coeficiente de Gauge es el que aparece en la siguiente imagen propio del sensor que vamos a utilizar:

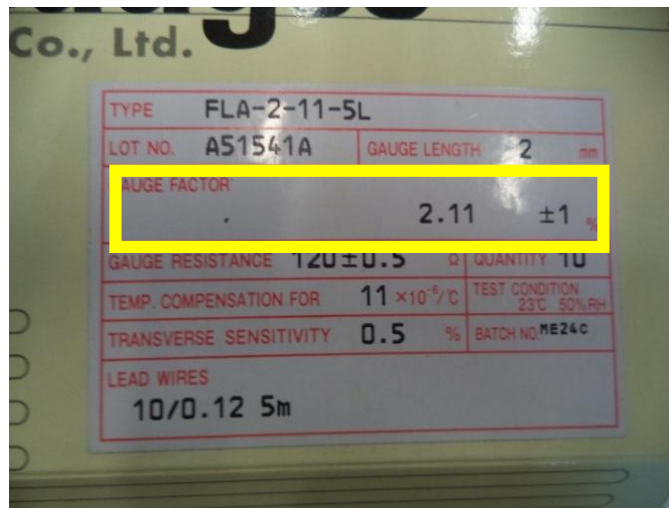


Figura 19. Gauge Factor.

Fuente: Autor del Proyecto.

4. Seguido de haber calculado el coeficiente indicado se procede a ingresarlo en cada uno de los puertos en los que se encuentran conectadas las Galgas por medio de los siguientes pasos:
 - Ingresan en “To Menu”, luego Selecciona la opción “Coeff, Unit, Point P-Direct Setting”
 - Buscan la opción de los canales, en este caso canales 6 y 7, donde se encuentran conectadas las galgas para poder ingresar el coeficiente anteriormente calculado.
 - Ingresan los coeficientes al igual que sus respectivas unidades de medida.
 - Por ultimo dan en Apply, y To Monitor para volver a la pantalla principal.
5. Después de realizada la configuración del TDS – 530 con los respectivos coeficientes necesarios para su buen funcionamiento se procede a realizar los ensayos poniendo en cero los valores que

aparecen en la pantalla de cada uno de los puertos calibrados, de la siguiente manera:

6. Seleccionan “Proc Init” para que se despliegue la siguiente ventana:



Figura 20. Primer paso para Iniciar los Ensayos.

Fuente: Autor del Proyecto.

7. Luego seleccionan “Initial – In”, y emerge la siguiente pantalla:

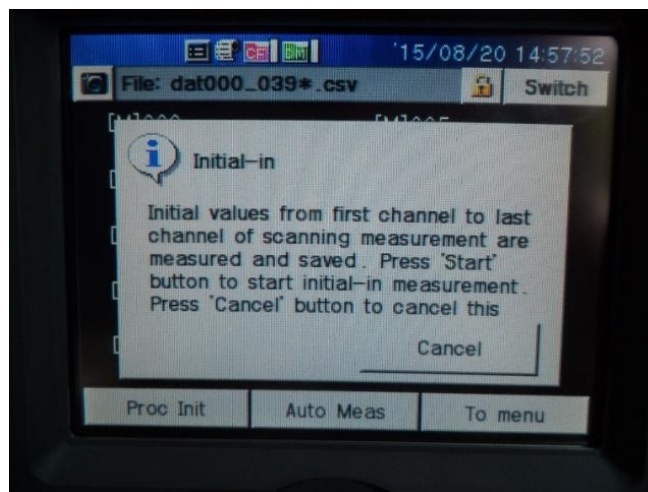


Figura 21. Segundo paso para Iniciar los Ensayos.

Fuente: Autor del Proyecto.

8. Y por último presionar en “Start” para tener cada uno de los sensores en ceros:

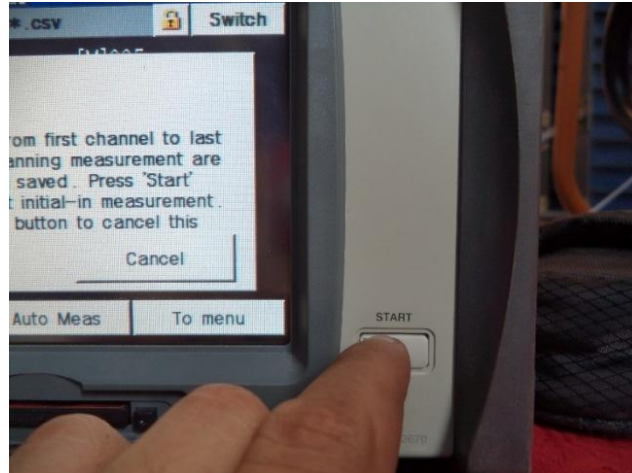


Figura 22. Paso Para poner la TDS – 530 en ceros

Fuente: Autor del Proyecto.

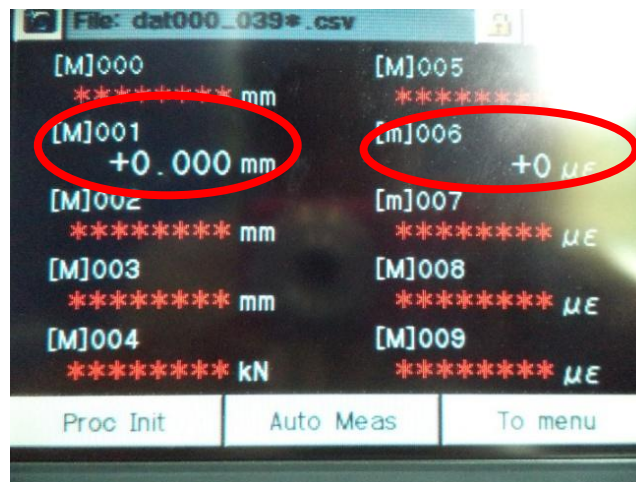


Figura 23. Representación del Estado en ceros para el Inicio del Ensayo

Fuente: Autor del Proyecto.

7.1.3. Software SAP 2000. Es un programa con la total capacidad de realizar modelaciones, análisis y dimensionamiento de problemas de ingeniería, permitiendo calcular diversas propiedades y características ya sea de un material o un sistema completo (modelos de edificaciones, puentes, etc.).

Este programa se utilizará en este proyecto para la elaboración de la misma armadura a la cual le calcularemos sus deformaciones y desplazamientos que servirá para validar la información con la obtenida en laboratorio llevándolo desde el punto de vista teórico hacia lo real.



Figura 24. Portada del Software SAP 2000.

Fuente: SAP 2000.

Como proceso de configuración para el uso de este software se puede decir que solo al momento de su instalación en un ordenador, se debe seguir los pasos dados en su manual de instalación y el ingreso de su respectiva licencia, ya que al momento de querer usarlo para realizar los respectivos modelos, sus configuraciones vienen siendo propias de la estructura o diseño que se desea plantear en el software.

7.2. MATERIALES

Es necesario definir cada uno de los materiales a utilizar en el proyecto para así tener una referencia importante al momento de revisar los resultados obtenidos.

7.2.1. Acero. Es una aleación entre hierro y una cantidad de carbono que oscila entre 0,03% y el 2,14% en masa de su composición, si su concentración es superior a este rango se producen fundiciones que opuestas al acero presentan más fragilidad no siendo posibles forjarlas sino que deben ser moldeadas⁸.

Los aceros pueden clasificarse de muchas formas, dependiendo su uso, forma de fabricación, según la composición o elementos de aleación que es importante también ya que de ello depende su rigidez, dureza y muchas más propiedades que hacen de este material un material apto para diferentes funciones.

Clasificación del acero:

- **Aceros al Carbón:** Este tipo de acero tiene diversas cantidades de carbono, menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio, y el 0,60% de cobre. Más del 90 % de todos los aceros son aceros al carbón ya que son muy utilizados en diversos instrumentos como maquinas, carrocerías, estructuras de construcción en acero, etc.
- **Aceros Aleados:** Este tipo de aceros contienen una porción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, son utilizados en trabajos más rigurosos ya que gracias a su composición tienen mayores propiedades mecánicas y a su vez se pueden subclasificar en:

⁸ WIKIPEDIA Acero [en línea] [citado 10 de agosto de 2015] disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Acero>.

- ❖ Estructurales: Son los aceros utilizados en su mayoría para los refuerzos o en su caso para estructuras de edificaciones con un contenido de aleación entre el 0,25% y el 6%.
 - ❖ Para Herramientas: Es un acero de alta calidad que se utilizan principalmente para la elaboración de herramientas de corte o cualquier otro tipo de herramientas para modelar metales y no – metales.
 - ❖ Especiales: estos aceros tienen una alta resistencia a la corrosión y a temperaturas elevadas gracias a su alto contenido de cromo superior al 12%, también reciben el nombre de aceros inoxidables.
- **Aceros de Baja Aleación:** Son aceros con cantidades mínimas de los elementos de aleación aunque debido a su tratamiento tiene gran resistencia y son empleados en edificaciones⁹.
 - **Acero ASTM A500 Grado C:** Para este proyecto utilizaremos acero A500 grado C de Colmena que como lo indica la Norma ASTM A500 grado C tiene las siguientes propiedades:

Para un tubo redondo Colmena de:

Diámetro nominal: 1 ½ pulg.

Diámetro ext.: 4,826 cm

Espesor: 3,251 mm

La composición está dada por aleaciones de los siguientes elementos:

⁹ MICROSOFT ® Encarta® 2000 y Capacitación CSH

Tabla 4 Porcentajes en Aleación

CARBONO	0.27% máximo
MANGANESO	1,40% máximo
FOSFORO	0.045% máximo
AZUFRE	0.045% máximo

Fuente: Perfiles Cerrados (ASTM A500 Grado C) NTC 4526 Grado C Distribuidor Mayorista de Materiales para la Construcción.

Con un esfuerzo mínimo de fluencia de 3.220 Kg / Cm² es decir 46.000 psi y un esfuerzo ultimo de 4.320 Kg /Cm².

7.2.2. Soldadura. La soldadura es un metal fundido utilizado para unir dos piezas, proceso similar a la aleación o reacción química requerido para la unión de dos metales.

Existen muchos tipos de soldadura cada una con propiedades y características diferentes que permiten a su vez clasificarlas dependiendo del uso que se le vaya a dar a los elementos soldados.

Para el caso de la armadura utilizada en los ensayos de este proyecto se utilizó soldadura de electrodo 6010¹⁰ de alta resistencia de penetración, utilizada en su mayoría para unión de tuberías o tanques que son usados para soportar altas presiones.

7.3. CONDICIONES IDEALES

Las condiciones ideales para el laboratorio y para los materiales a los que se les realizaran los diferentes ensayos explicados en el núcleo de este proyecto son las siguientes:

¹⁰ Referencia Dada por el Trabajador

Según la norma NTC 2 mencionada anteriormente el ensayo de tracción para la determinación de las diferentes propiedades mecánicas, posibles de un material, debe realizarse a temperatura ambiente entre (10°) a (35°) grados centígrados, además de otras especificaciones descritas en esta norma incluyendo parámetros de seguridad.

También al momento de aplicar las cargas en la estructura debe preverse el viento para no permitir que la estructura sea movida y resulte afectando los resultados digitalizados por el TDS – 530.

7.4. MODELACIÓN Y ELABORACIÓN DE LA ARMADURA:

7.4.1. Proceso de Elaboración de la Armadura en Laboratorio. Primero se realizó en solidwork un bosquejo de la armadura que se deseaba obtener con el fin de permitirle al soldador al momento de unir los dos brazos de la armadura y el resto de sus partes, respetar los parámetros de diseño anteriormente planteados para así obtener el siguiente resultado.

Se necesitaron dos platinas al igual que 4 pernos para el anclaje de la armadura en el laboratorio que la sostenían empotrada a una columna:



Figura 25. Platinas de la Armadura.

Fuente: Autor del Proyecto.

También se utilizó en la unión de los dos ejes centrales de los tubos generados por la estructura una platina y un gancho soldado permitiendo posteriormente en el laboratorio la aplicación de los pesos necesarios para el proceso de investigación. De la siguiente manera:



Figura 26. Gancho soldado desde el Eje Central.

Fuente: Autor del Proyecto.

Finalmente al unir cada una de estas piezas cortadas a medidas establecidas en el diseño previo obtuvimos la siguiente estructura:



Figura 27. Estructura Final Soldada en todos sus Extremos.

Fuente: Autor del Proyecto.

Después de tener la estructura ya empotrada en la viga del laboratorio procedimos a realizar el montaje de los equipos necesarios para la toma de datos y la búsqueda de los pesos que vamos a utilizar para el ensayo:



Figura 28. Montaje del Respectivo Equipo de Medición y Selección de los Pesos.

Fuente: Autor del Proyecto.

Ya después de tener esta estructura armada y todos los equipos calibrados se procede a realizar los ensayos pertinentes con los respectivos pesos escogidos, para este caso se harán (30) treinta ensayos con cada uno de los pesos (100) cien, (75) setenta y cinco, (50) cincuenta, para la obtención total de (90) noventa datos de deformaciones y desplazamientos de la estructura al aplicársele el peso.

7.4.2. Proceso de Modelación de la Armadura en SAP 2000. Este proceso se realizará como se ha venido mencionando a lo largo del desarrollo del informe, en el software SAP 2000 para ello debemos seguir los siguientes pasos:

Después de abrir el programa selecciona en FILE y “New Model”.

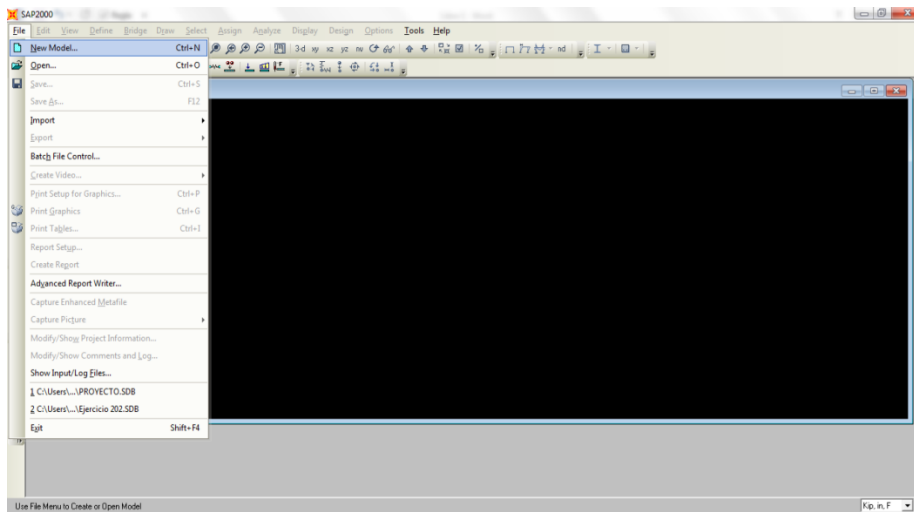


Figura 29. Primer paso para Modelación de la Armadura.

Fuente: SAP 2000

Luego aparece una ventana en la que salen opciones de modelos de estructuras y selecciona “Grid Only”. Además de esto puede seleccionar las unidades de medida que se quiere utilizar.

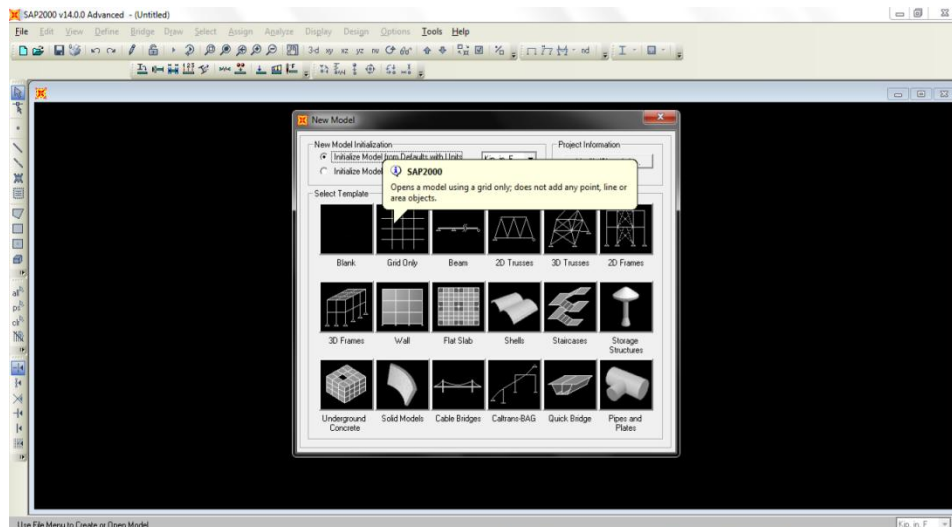


Figura 30. Segundo paso para Modelación de la Armadura

Fuente: SAP 2000.

Al abrir esta opción aparecerá la pantalla del programa una ventana de opciones para seleccionar las cantidades de ejes que quiere que aparezcan en el archivo para la elaboración de la armadura.

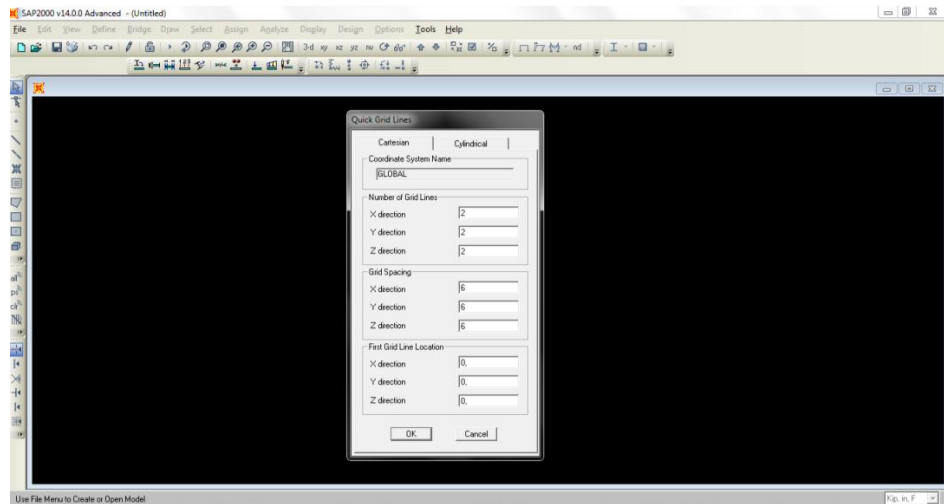


Figura 31. Tercer paso de Modelación de la Armadura.

Fuente: SAP 2000.

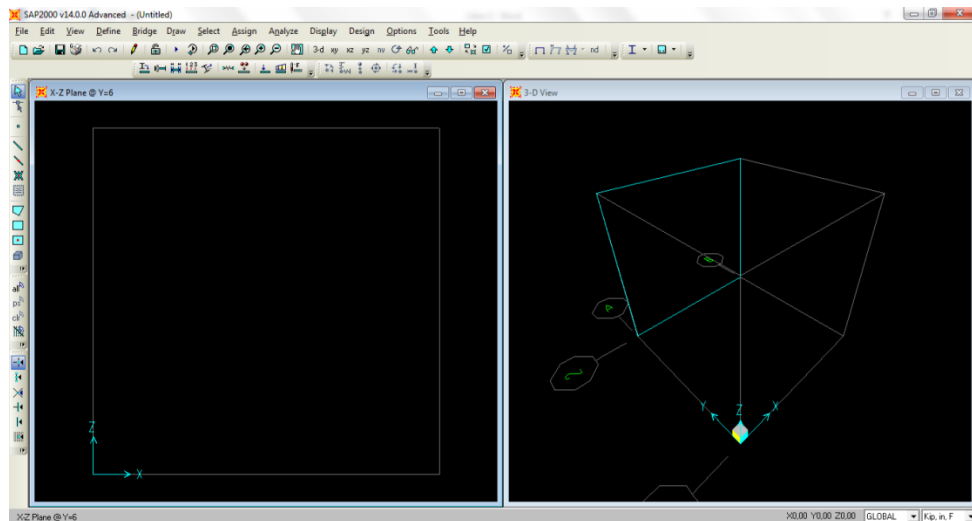


Figura 32. Cuarto paso de Modelación de la Armadura

Fuente: SAP 2000.

Después de tener esta cuadrícula se procede a la elaboración de la estructura que utilizará para el ensayo, se ubica en el eje **xz** y empieza con el comando línea a trazar las líneas que representaran los elementos de la estructura así:

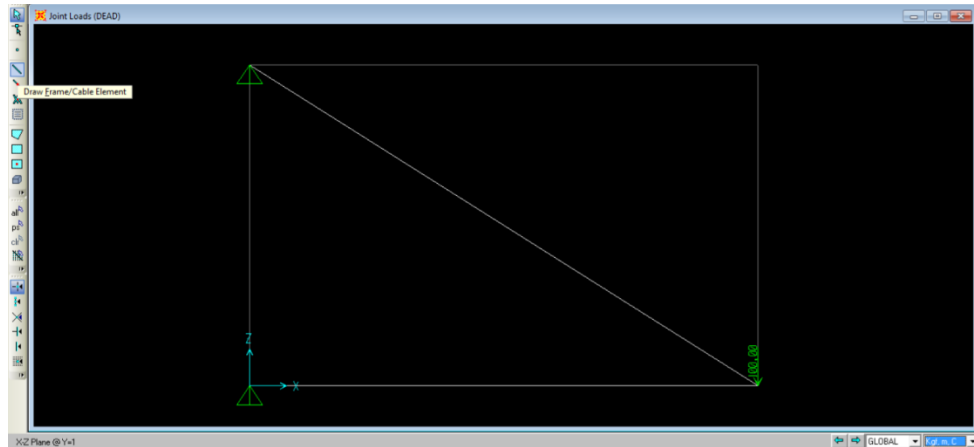


Figura 33. Representación de elaboración de la aradura en SAP 2000.

Fuente: SAP 2000

Luego de tener las barras o líneas con las dimensiones correspondientes se procede a realizar la configuración del tipo de material que vamos a utilizar

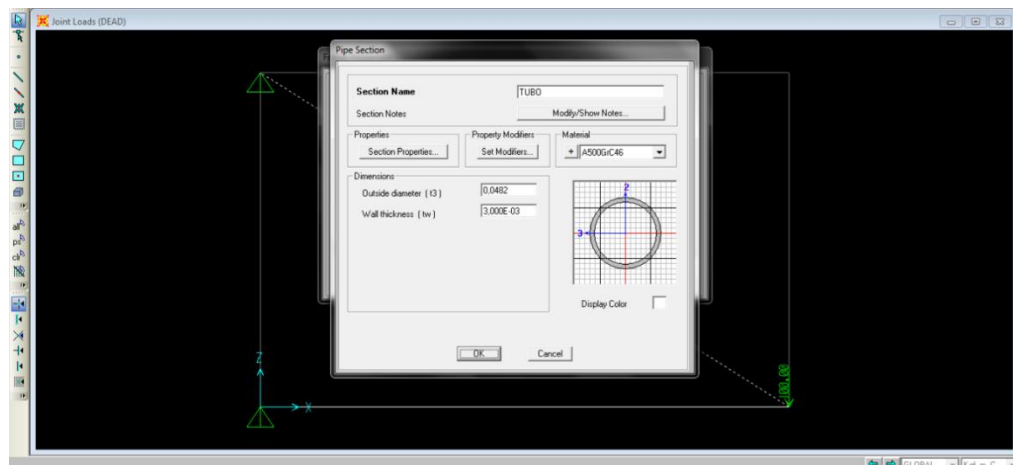


Figura 34. Representación de la configuración de los elementos.

Fuente: SAP 2000.

Al tener toda la estructura con las características del material utilizado en el laboratorio se procede a aplicar la carga respectiva, también las utilizadas en el laboratorio, para con esto determinar las deformaciones y desplazamientos del elemento. Como se muestra en la siguiente imagen:

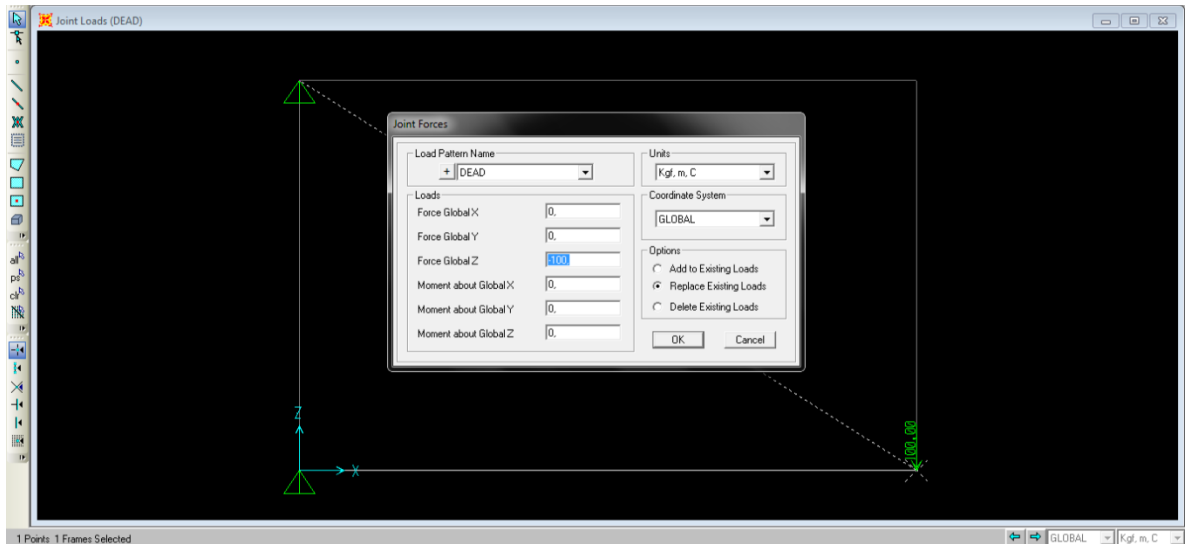


Figura 35. Aplicación de las cargas

Fuente: SAP 2000.

Después de tener lista la estructura con todas las configuraciones respectivas se da clip en RUN ANALYSIS para que el programa proceda a hacer los cálculos pertinentes a la estructura. Luego saldrá una imagen con la estructura ya ensayada así:

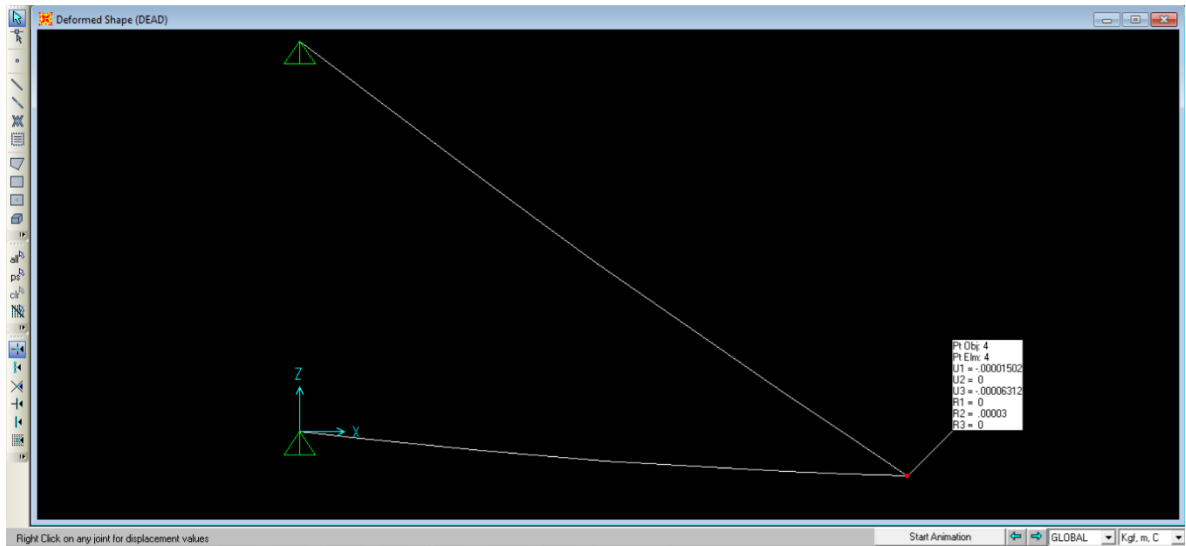


Figura 36. Estructura Deformada.

Fuente: SAP 2000.

Estos resultados obtenidos son los que compararemos con los datos obtenidos en laboratorio y determinar el porcentaje de error entre lo teórico y lo experimental.

7.5. MODELACIÓN Y ELABORACIÓN DE LA VIGA SIMPLE A FLEXIÓN:

7.5.1. Elaboración de la viga simple a flexión en laboratorio. Para este proceso se necesitó un pedazo de tubo de longitud razonable y mismas características del utilizado en los ensayos de deformación y desplazamiento, para simular una viga simplemente apoyada como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 37. Representación viga simplemente Apoyada.

Fuente: Autor del Proyecto.

Después de tener el tubo de ensayo sobre los apoyos se procede a acomodar los instrumentos de medición, como lo son CDP – 25 mm y una galga conectada en la parte inferior de la viga para medir la deformación en el centro de la viga. Apreciado en la imagen 31.

Luego de tener listo el TDS – 530 se hacen divisiones en la longitud entre apoyos y los denotamos para tenerlos presentes al momento de aplicarles las cargas. Así como se muestra en esta imagen:



Figura 38. Representación de la Viga Simple lista para ensayo a flexión

Fuente: Autor del Proyecto

Por último se procede a realizar el ensayo, aplicando las cargas en 30 ocasiones con el fin de reducir margen de error con el equipo, imprimiendo los datos de deformación y desplazamiento con el TDS, para posteriormente realizar los cálculos pertinentes de módulo de elasticidad, momentos flectores y reacciones.

7.5.2. Modelación de la viga simple a flexión en SAP 2000. Para esta modelación en SAP 2000 se tendrá en cuenta los siguientes pasos:

Después de abrir el programa selecciona en FILE y “New Model”.

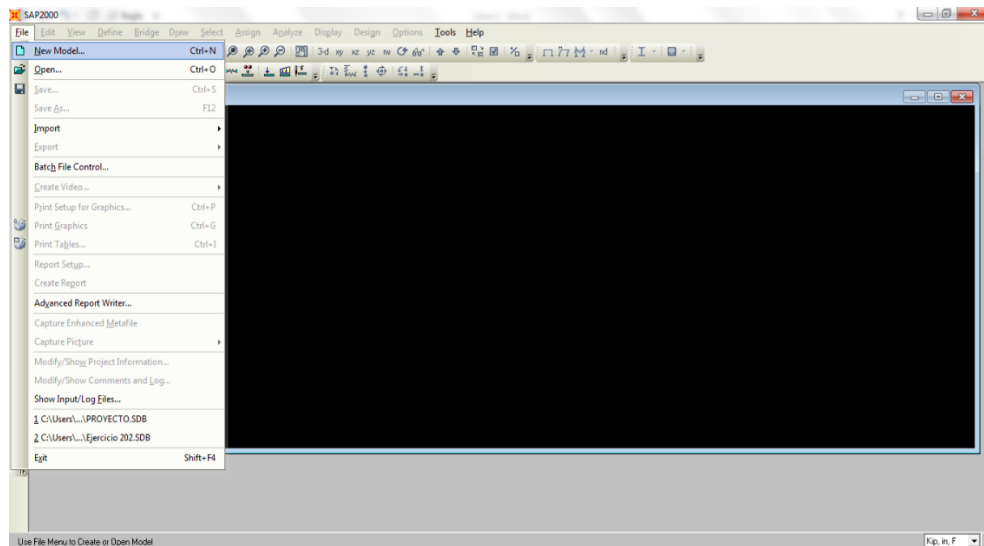


Figura 39. Primer paso para Modelación de la Armadura.

Fuente: SAP 2000.

Luego nos aparece una ventana en la que salen opciones de modelos de estructuras y seleccionamos “Beam”. Además de esto podemos seleccionar las unidades de medida que queremos utilizar.

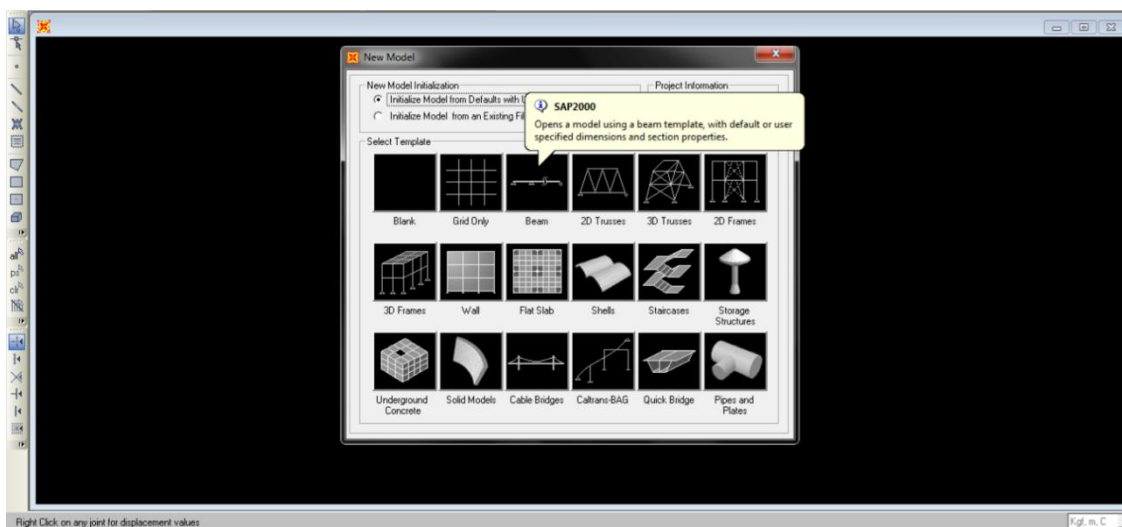


Figura 40. Selección del Nuevo Modelo.

Fuente: SAP 2000.

Después se obtiene el siguiente modelo al cual se procede a realizarle las diferentes configuraciones de tipo de material y dimensiones:

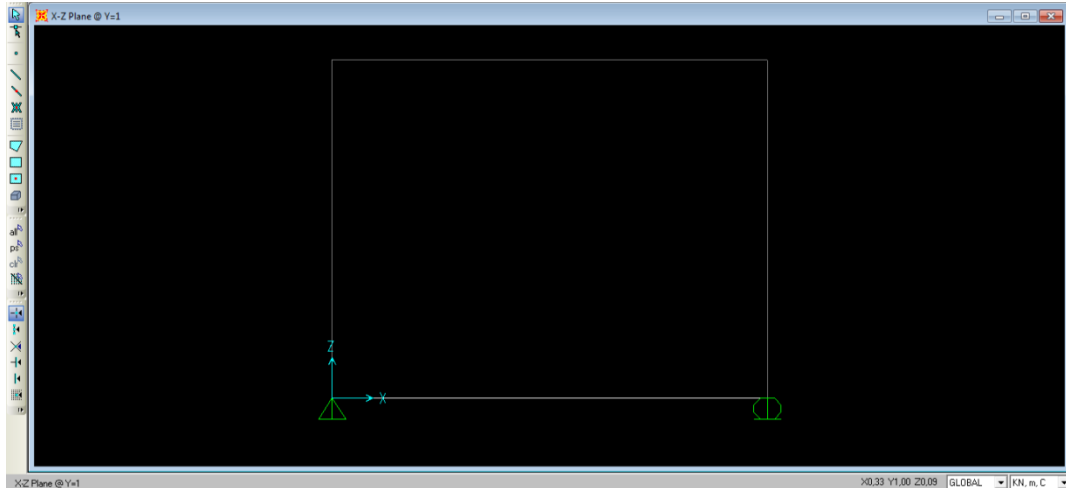


Figura 41. Modelo Viga Simple.

Fuente: SAP 2000.

Después de tener la viga con sus respectivas características y propiedades procedemos a poner las cargas que actuaron sobre la misma viga realizada en laboratorio.

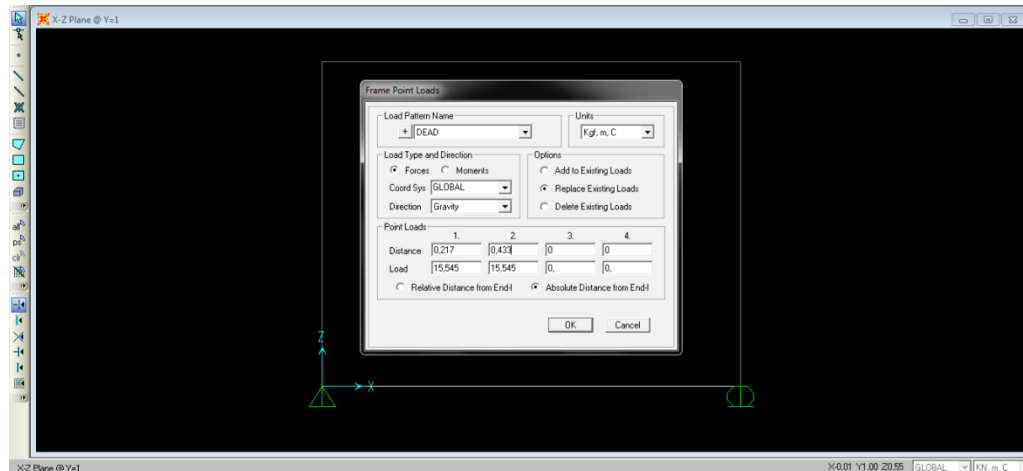


Figura 42. Aplicación de las cargas.

Fuente: SAP 2000.

Se da clip en OK luego de poner las respectivas cargas aplicadas a las distancias de $L/3$ de cada apoyo.

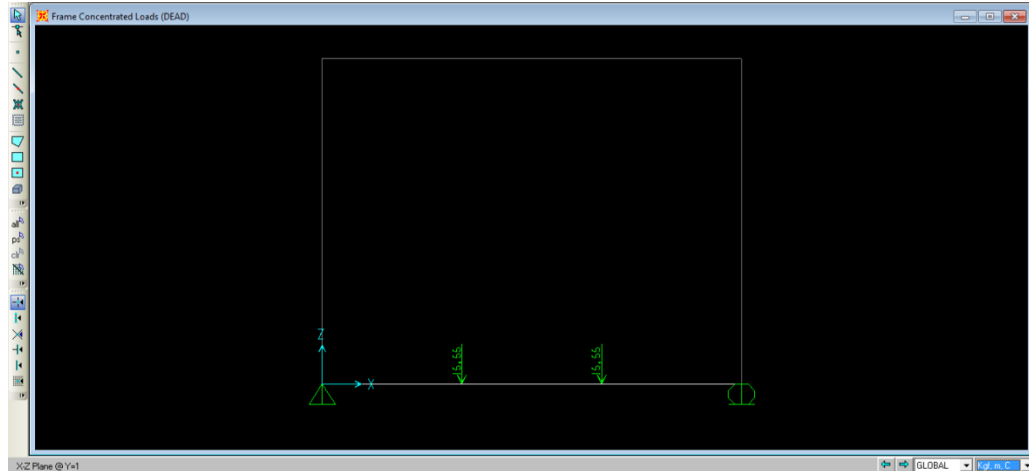


Figura 43. Representación de las Cargas Aplicadas.

Fuente: SAP 2000.

Por último se da clip en “RUN ANALYSIS” para que el programa realice los respectivos cálculos que validaremos con los obtenidos en laboratorio.

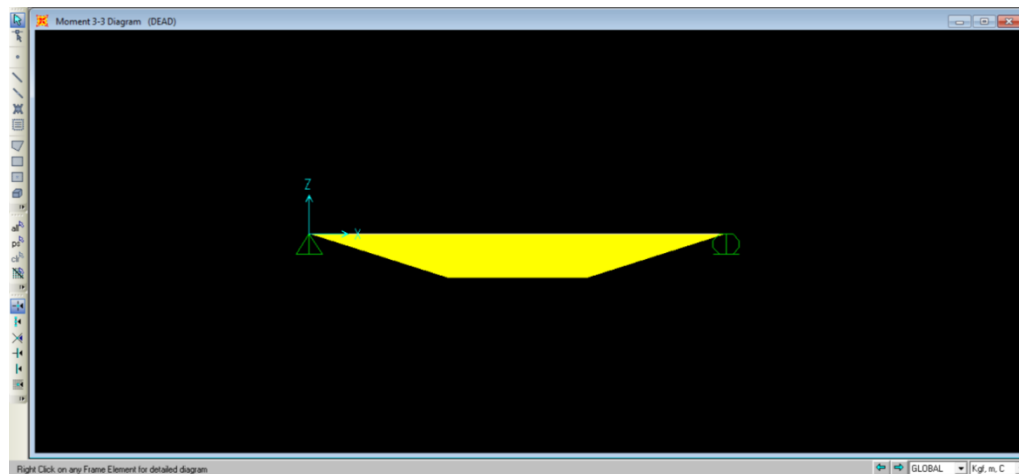


Figura 44. Viga Ensayada “Diagrama de Momento”.

Fuente: SAP 2000.

Para ver la deformación máxima en la estructura debido a las cargas aplicadas dato teórico que será comparado con el obtenido en el laboratorio. Dar click derecho en la parte superior del sombreado amarillo:

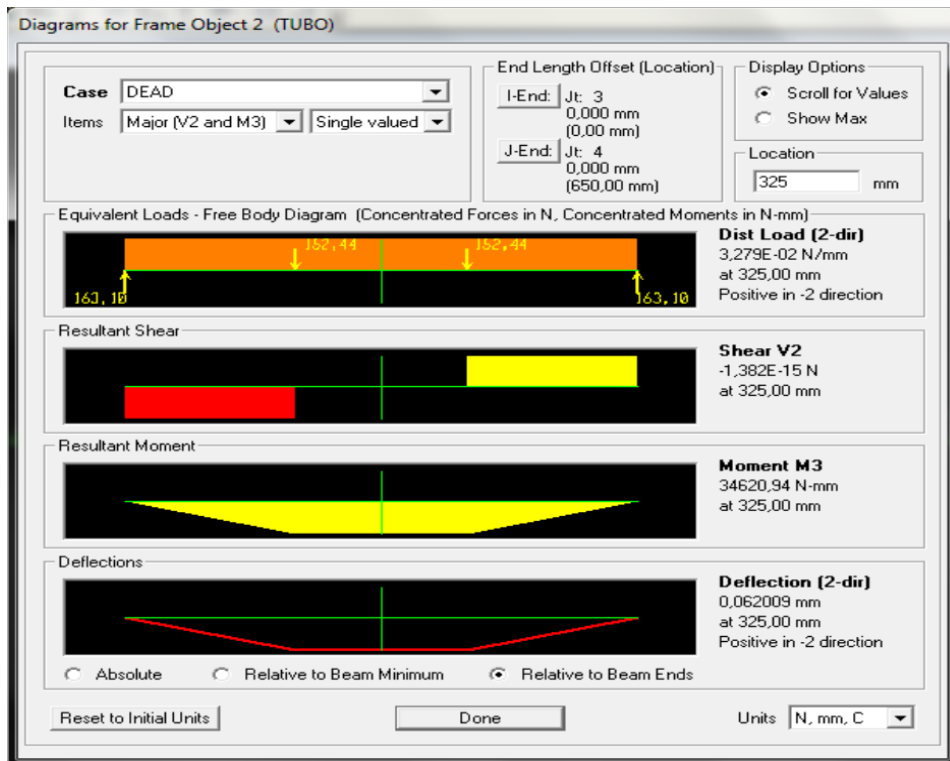


Figura 45. Datos finales Deformación Máxima de la Viga.

Fuente: SAP 2000.

7.6. CAPTURA DE DATOS

Para la obtención de los datos referentes a las dimensiones de los elementos que componen la estructura se tomaron con los siguientes instrumentos de medida:

- Cinta métrica.
- Calibrador Pie de Rey.

7.6.1. Dimensiones de las barras de la estructura:

Tabla 5 Dimensiones de la barra 1.

SECCIÓN TUBO 1		
PUNTO	DÍAMETRO mm	ESPESOR mm
1	48,2	3
2	47,8	3
3	47,9	3
4	48,1	3
5	48,3	3
PROMEDIO	48,06	3

Fuente: Autor del Proyecto.

Tabla 6 Dimensiones de la barra 2

SECCIÓN TUBO 2		
PUNTO	DÍAMETRO mm	ESPESOR mm
1	48,3	2,9
2	48,2	3
3	47,8	3
4	48	3
5	48,1	3,1
PROMEDIO	48,08	3

Fuente: Autor del Proyecto.

Áreas e Inercia calculadas de cada uno de los promedios obtenidos del diámetro.

	BARRA 1	BARRA 2
ÁREA (mm²)	424,68	424,87
INERCIA (mm⁴)	1082,62	1084,06

También se obtuvo por medio de las 30 repeticiones con cada peso ensayado sobre la armadura un promedio experimental del desplazamiento y deformación de cada una de las barras que componen la estructura:

Tabla 7 Promedio Con 100 kg

	DESPLAZAMIENTO (mm)	DEFORMACIÓN (μϵ)		PESO (Kg)
PROMEDIO	0,111	-7	8	100

Tabla 8 Promedio con 75 kg

	DESPLAZAMIENTO (mm)	DEFORMACIÓN (μϵ)		PESO (Kg)
PROMEDIO	0,079	-5	6	75

Tabla 9 Promedio con 50 kg.

	DESPLAZAMIENTO (mm)	DEFORMACIÓN (μϵ)		PESO (Kg)
PROMEDIO	0,060	-3	5	50

7.6.2. Dimensiones de la barra ensayo a flexión. Para esta barra tenemos las siguientes dimensiones y promedio de desplazamientos y deformaciones medidas con el TDS.

Tabla 10 Dimensiones Generales.

SECCIÓN TUBO 1		
PUNTO	DÍAMETRO mm	ESPESOR mm
1	47,9	3
2	47,8	3
3	47,9	2,9
4	48,7	3
5	48,3	3
PROMEDIO	48,12	2,98

Tabla 11 Promedio de Ensayo a Flexión.

Área Experimental: 422,59 mm ²
Inercia Experimental: 1081,05 mm ⁴

Promedios de los datos de deformación y desplazamientos obtenidos con el TDS.

Tabla 12 Promedios Para viga a Flexión.

	DESPLAZAMIENTO (mm)	DEFORMACIÓN (με)	PESO (Kg)	
PROMEDIO	0,075	31	15,545	cada L/3

7.6.3. Datos obtenidos con el SAP 2000 de la estructura. De los datos obtenidos con el software se tiene:

Área de las secciones de tubos: 426 mm²

Inercia: 1092,71 mm⁴

Para 100 kg

Desplazamiento: 0,063 mm

Para 75 kg

Desplazamiento: 0,048 mm

Para 50 kg

Desplazamiento: 0,033 mm

8. ANÁLISIS DE DATOS:

Para los cálculos y análisis de estos datos se compara los datos de deformación unitaria y desplazamiento obtenidos en laboratorio con los obtenidos en el SAP 2000 como datos teóricos.

8.1. CÁLCULOS DESPLAZAMIENTO Y DEFORMACIÓN UNITARIA DE LA ESTRUCTURA:

Esto debe realizarse para cada peso aplicado a la estructura

Para 100 kg.

- La fuerza obtenida según el SAP 2000 en la barra sometida a tensión es:
1888,78 N

Con este dato se calcula el esfuerzo:

$$\sigma = \frac{1888,78 \text{ N}}{426 \text{ mm}^2} = 4,43 \text{ MPa}$$

Con este dato se calcula la deformación unitaria teórica.

$$\varepsilon = \frac{4,43 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,000022$$

Esta deformación expresada como micro deformación es igual a:

Deformación Teórica: 22με

Deformación Experimental: 8με

El porcentaje de error entre estas dos deformaciones es de:

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = \frac{22 - 8}{22} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = 0,6363 * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = 63,63 \%$$

Se puede observar un elevado porcentaje debido a la gran diferencia obtenida teóricamente y el promedio de los datos obtenidos en laboratorio.

Tabla 13 Deformación y Porcentaje de error barra a tensión, peso 100 kg

DEFORMACIÓN TEÓRICA (με)	DEFORMACIÓN EXPERIMENTAL (με)	% ERROR
22	8	63,63

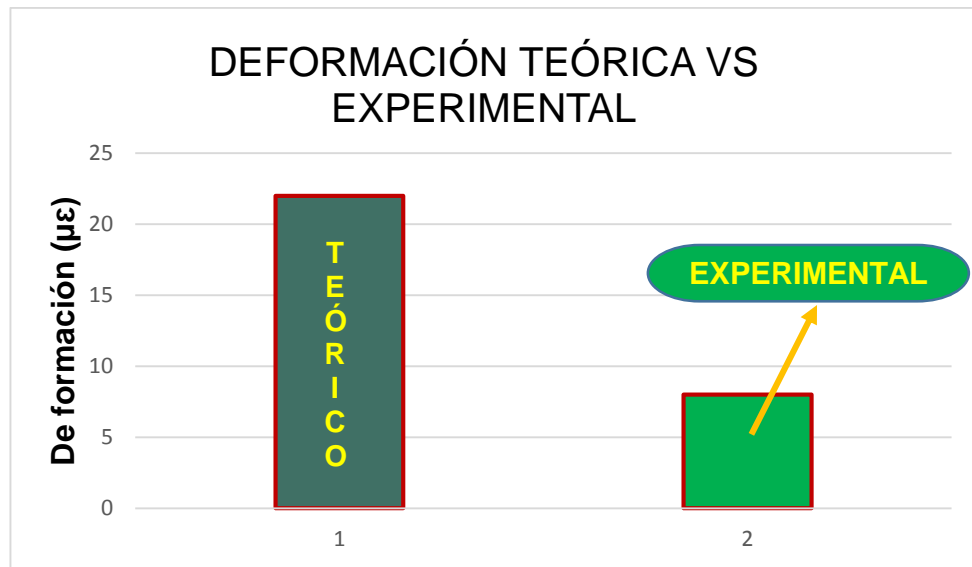


Gráfico 7 Comparación Deformaciones barra Tensión peso 100 kg

- La fuerza obtenida en SAP 2000 en la barra a compresión de la estructura es: 1598,87 N

Con este dato calculamos el esfuerzo:

$$\sigma = \frac{1598,87 \text{ N}}{426 \text{ mm}^2} = 3,75 \text{ MPa}$$

Calcula la deformación unitaria teórica:

$$\varepsilon = \frac{3,75 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,000018$$

Expresada en micro deformación se obtiene:

Deformación Teórica: 18με

Deformación Experimental: 7με

El porcentaje de error entre estas dos deformaciones es:

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = \frac{18 - 7}{18} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = 0,6111 * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = 61,11 \%$$

De igual forma en la barra sometida a compresión se observa un elevado porcentaje debido a la notoria diferencia entre los datos teóricos y experimentales.

Tabla 14 Deformación y Porcentaje de error barra a Compresión, peso 100 kg

DEFORMACIÓN TEÓRICA (με)	DEFORMACIÓN EXPERIMENTAL (με)	% ERROR
18	7	61,11

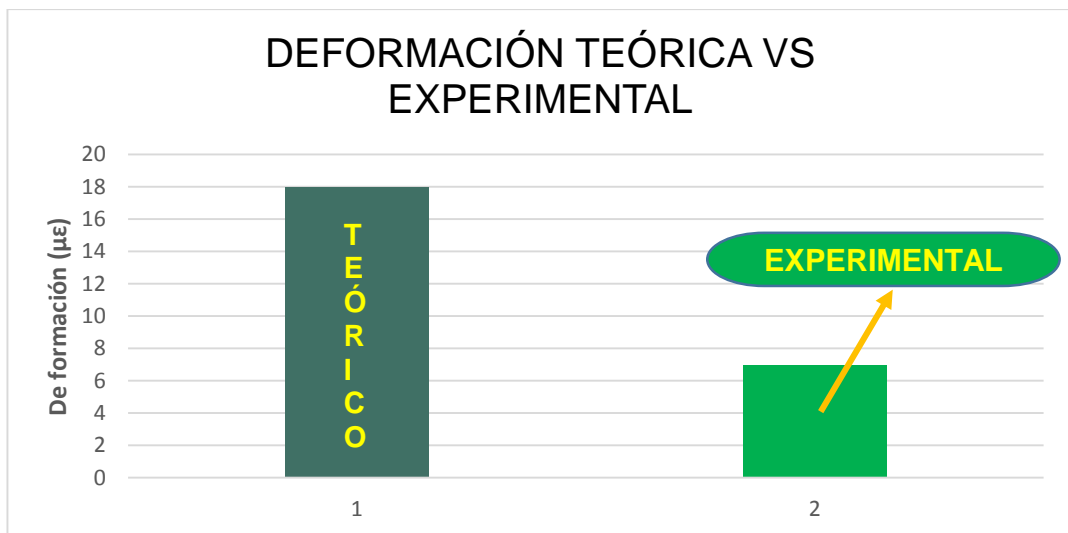


Gráfico 8 Comparación Deformaciones barra compresión peso 100 kg

Para evaluar el desplazamiento teórico con el desplazamiento obtenido en laboratorio de la estructura hayamos el porcentaje de error:

Desplazamiento Teórico: 0,063 mm

Desplazamiento Experimental: 0,111 mm

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} * 100$$

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = \frac{0,063 - 0,111}{0,063} * 100$$

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = 0,761 * 100$$

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = 76,1 \%$$

Para 75 kg.

- La fuerza obtenida en el SAP para la barra sometida a tensión es: 1424,93 N

Con este dato calcula el esfuerzo:

$$\sigma = \frac{1424,93 \text{ N}}{426 \text{ mm}^2} = 3,34 \text{ MPa}$$

Con este dato calcula la deformación unitaria teórica.

$$\varepsilon = \frac{3,34 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,000016$$

Esta deformación expresada como micro deformación es igual a:

Deformación Teórica: 16με

Deformación Experimental: 6με

El porcentaje de error entre estas dos deformaciones es de:

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = \frac{16 - 6}{16} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = 0,625 * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = 62,5 \%$$

Tabla 15 Deformación y Porcentaje de error barra a tensión, peso 75 kg

DEFORMACIÓN TEÓRICA (με)	DEFORMACIÓN EXPERIMENTAL (με)	% ERROR
16	6	62,5

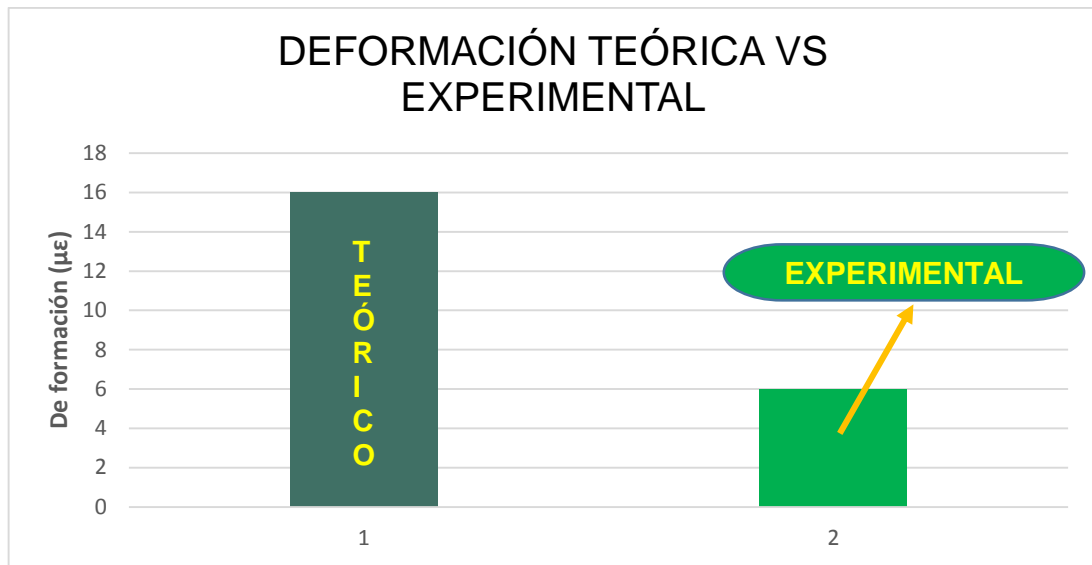


Gráfico 9 Comparación Deformaciones barra tensión peso 75 kg

Podemos observar un elevado porcentaje debido a la gran diferencia obtenida teóricamente y el promedio de los datos obtenidos en laboratorio.

- La fuerza obtenida en SAP 2000 en la barra a compresión de la estructura es: 1210,49 N

Con este dato calcula el esfuerzo:

$$\sigma = \frac{1210,49 \text{ N}}{426 \text{ mm}^2} = 2,84 \text{ MPa}$$

Calcula la deformación unitaria teórica:

$$\varepsilon = \frac{2,84 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,000014$$

Expresada en micro deformación se obtiene:

Deformación Teórica: 14µε

Deformación Experimental: 5µε

El porcentaje de error entre estas dos deformaciones es:

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = \frac{14 - 5}{14} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = 0,643 * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = 64,3 \%$$

Tabla 16 Deformación y Porcentaje de error barra a Compresión, peso 75 kg

DEFORMACIÓN TEÓRICA (µε)	DEFORMACIÓN EXPERIMENTAL (µε)	% ERROR
14	5	64,3

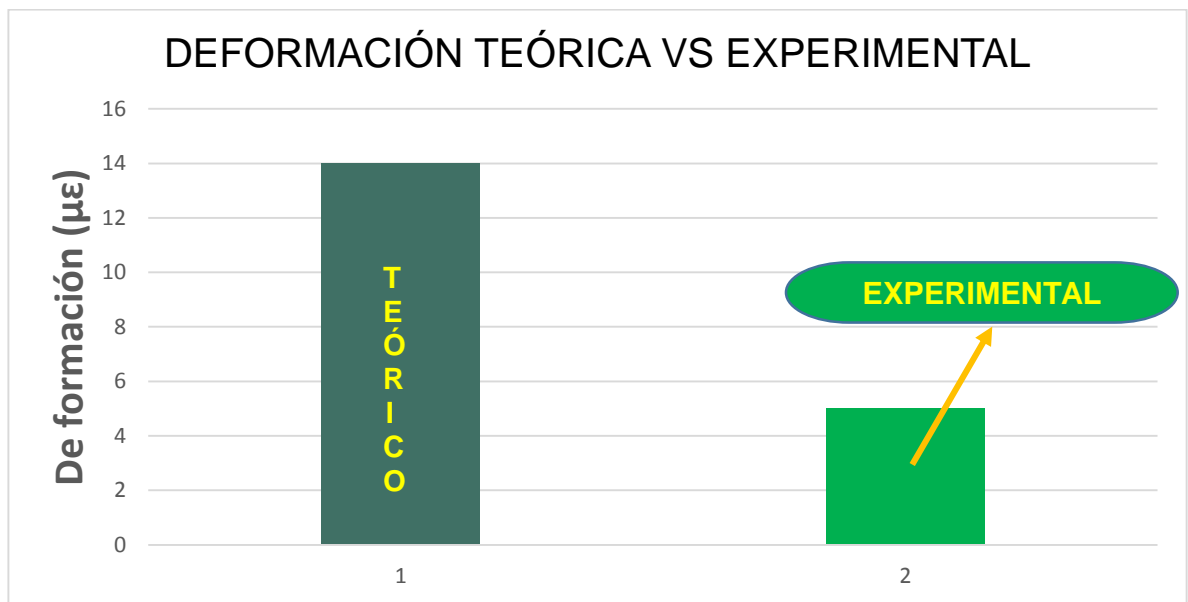


Gráfico 10 Comparación Deformaciones barra compresión peso 75 kg

Para evaluar el desplazamiento teórico con el desplazamiento obtenido en laboratorio de la estructura se haya el porcentaje de error:

Desplazamiento Teórico: 0,048 mm

Desplazamiento Experimental: 0,079 mm

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} * 100$$

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = \frac{0,048 - 0,079}{0,048} * 100$$

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = 0,645 * 100$$

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = 64,5 \%$$

Para 50 kg.

- La fuerza obtenida en el SAP para la barra sometida a tensión es: 965,41 N

Con este dato calcula el esfuerzo:

$$\sigma = \frac{965,41 \text{ N}}{426 \text{ mm}^2} = 2,26 \text{ MPa}$$

Con este dato calcula la deformación unitaria teórica.

$$\varepsilon = \frac{2,26 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,000011$$

Esta deformación expresada como micro deformación es igual a:

Deformación Teórica: 11με

Deformación Experimental: 5με

El porcentaje de error entre estas dos deformaciones es de:

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = \frac{11 - 5}{11} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = 0,545 * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = 54,5\%$$

Tabla 17 Deformación y Porcentaje de error barra a tensión, peso 50 kg.

DEFORMACIÓN TEÓRICA (με)	DEFORMACIÓN EXPERIMENTAL (με)	% ERROR
11	5	54,5

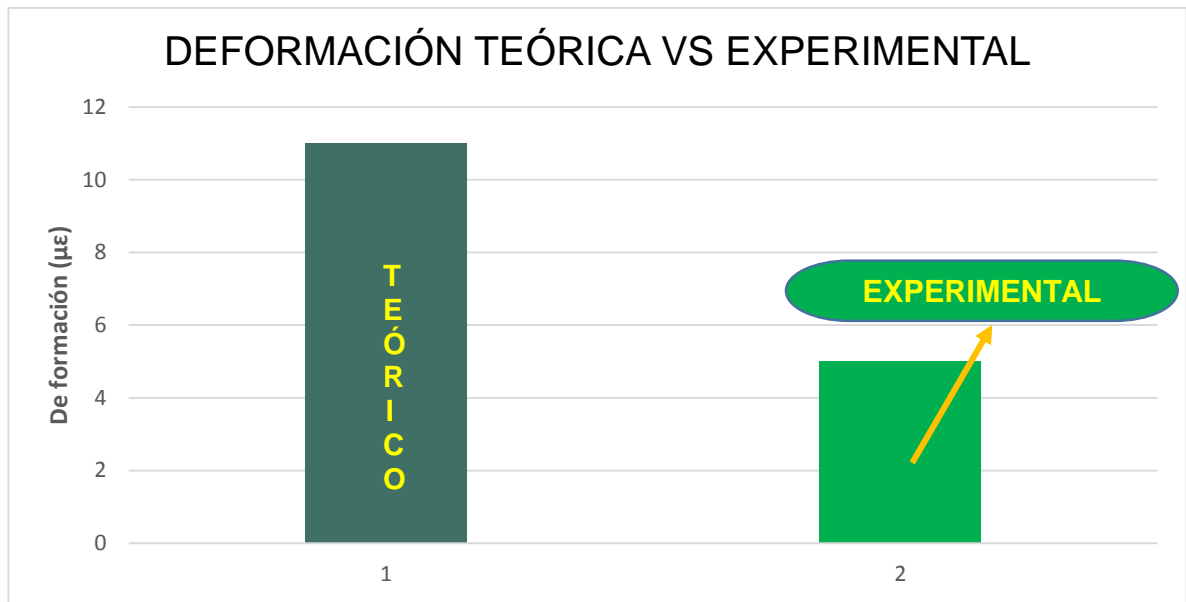


Gráfico 11 Comparación Deformaciones barra tensión peso 50 kg

Se puede observar un elevado porcentaje debido a la gran diferencia obtenida teóricamente y el promedio de los datos obtenidos en laboratorio.

- La fuerza obtenida en SAP 2000 en la barra a compresión de la estructura es:
822,11 N

Con este dato se calcula el esfuerzo:

$$\sigma = \frac{822,11 \text{ N}}{426 \text{ mm}^2} = 1,93 \text{ Mpa}$$

Calcula la deformación unitaria teórica:

$$\varepsilon = \frac{1,93 \text{ Mpa}}{200000 \text{ Mpa}} = 0,000009$$

Expresada en micro deformación se obtiene:

Deformación Teórica: 9 $\mu\epsilon$

Deformación Experimental: 3 $\mu\epsilon$

El porcentaje de error entre estas dos deformaciones es:

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = \frac{9 - 3}{9} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = 0,67 * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Compresión} = 67 \%$$

Tabla 18 Deformación y Porcentaje de error barra a Compresión, peso 50 kg

DEFORMACIÓN TEÓRICA ($\mu\epsilon$)	DEFORMACIÓN EXPERIMENTAL ($\mu\epsilon$)	% ERROR
9	3	67

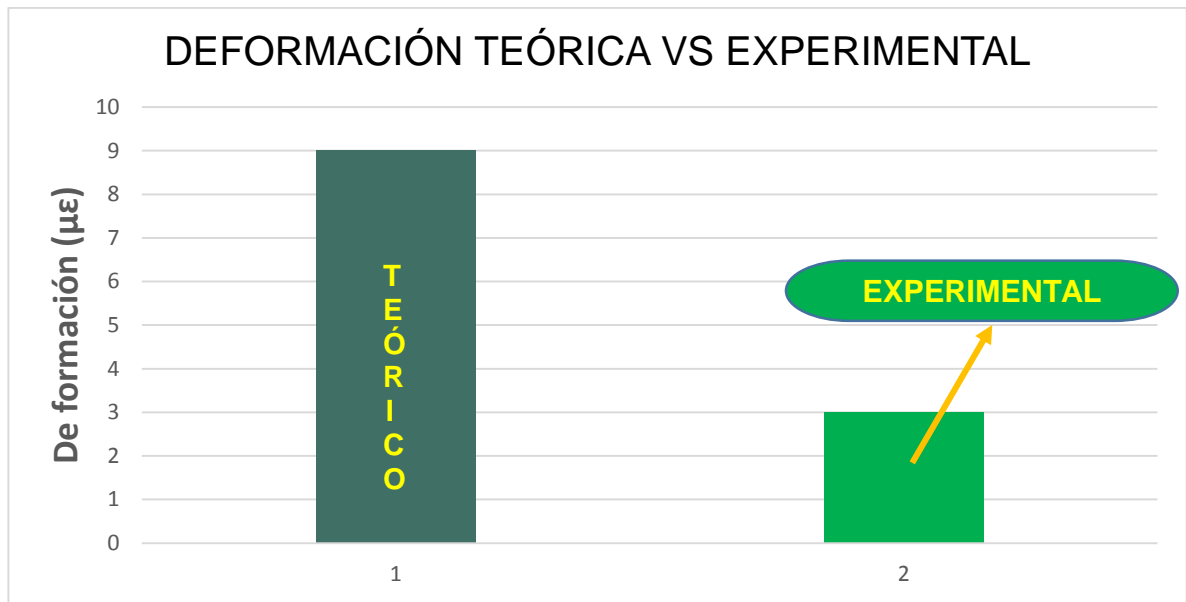


Gráfico 12 Comparación Deformaciones barra compresión peso 50 kg

Para evaluar el desplazamiento teórico con el desplazamiento obtenido en laboratorio de la estructura se haya el porcentaje de error:

Desplazamiento Teórico: 0,033 mm

Desplazamiento Experimental: 0,060

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} * 100$$

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = \frac{0,033 - 0,060}{0,033} * 100$$

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = 0,811 * 100$$

$$\% \text{ Error Desplazamiento} = 81,1 \%$$

8.2. CÁLCULOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN ENSAYO A FLEXIÓN

Para este cálculo se tiene en cuenta el módulo de elasticidad del acero que es 200.000 MPa como dato teórico y como dato experimental se calcula por medio de la siguiente ecuación:

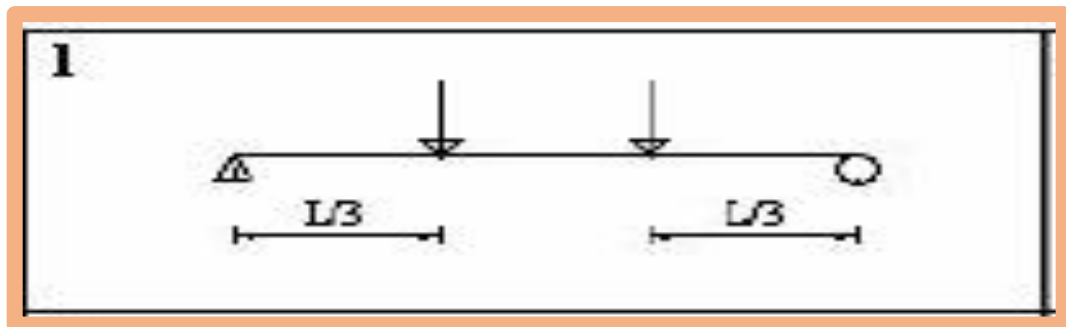


Figura 46. Representación de viga

$$\delta = \frac{23PL^3}{648EI}$$

$$E = \frac{23PL^3}{648 * I * \delta}$$

$$E = \frac{23 * (1,545) * (650)^3}{648 * 1083,34 * 0,075}$$

$$E = 185351,18 \text{ MPa}$$

Teniendo el módulo de elasticidad calculado con los datos obtenidos en el laboratorio procedemos a calcular el porcentaje de error con respecto al dato teórico ya conocido

Módulo de Elasticidad Teórico: 200.000 MPa.

Módulo de Elasticidad Experimental: 185.351 MPa.

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = \frac{200000 - 185351}{200000} * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = 0,073 * 100$$

$$\% \text{ Error Barra Tensión} = 7,32 \%$$

Tabla 19 Módulo de elasticidad.

MÓDULO ELASTICIDAD TEÓRICA (MPa)	MÓDULO ELASTICIDAD EXPERIMENTAL (MPa)	% ERROR
200.000,00	185.351,00	7,32

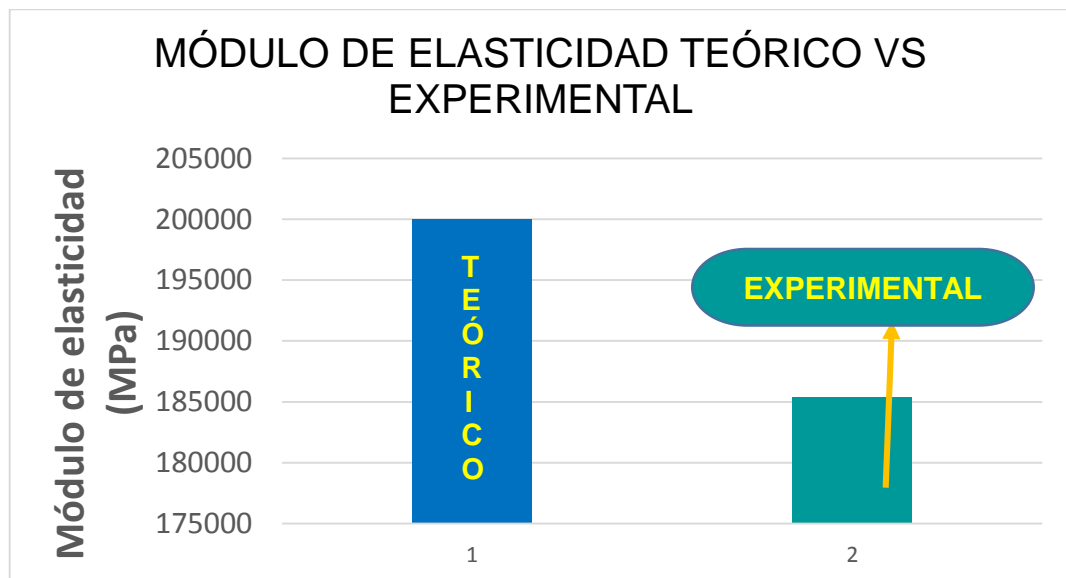


Gráfico 13 Comparación Módulo Elasticidad

8.3. DIGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN ENSAYO A TENSIÓN

Para este ensayo se utiliza solo los 3 puntos de cargas que fueron utilizadas en el laboratorio para el ensayo de la estructura.

Tabla 20 Datos Grafico ESFUERZO VS DEFORMACIÓN

CARGA (Kg)	ESFUERZO (MPa)	DEFORMACION ($\mu\epsilon$)
	0	0
50	2,29	5
75	3,39	6
100	4,45	8

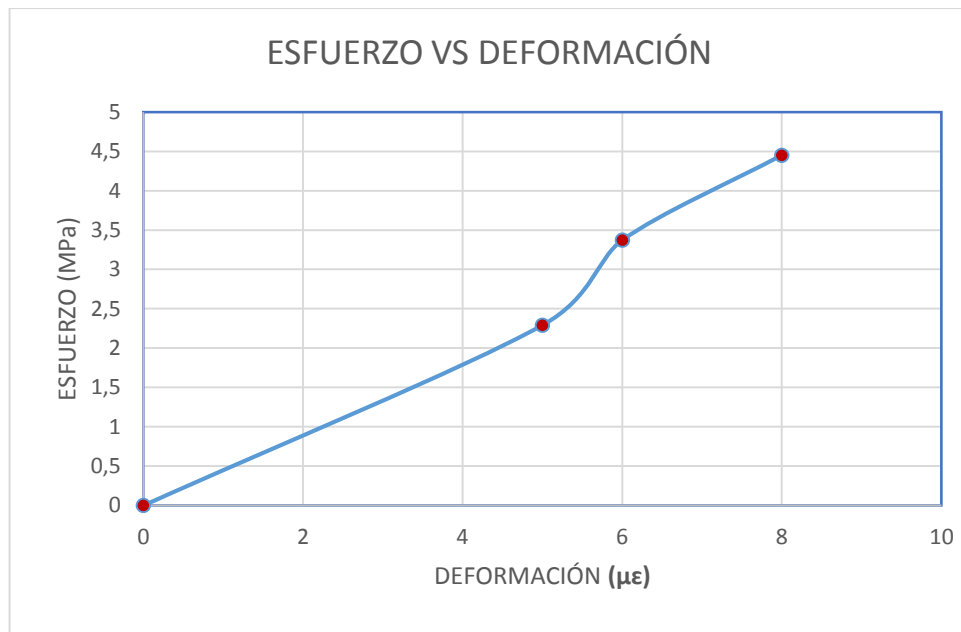


Gráfico 14 Esfuerzo VS Deformación.

9. CONCLUSIONES

Se validaron los resultados de deformación y desplazamientos obtenidos en laboratorio con los del software SAP 2000, y se puede evidenciar en los cálculos realizados un margen de error bastante elevado debido a muchos factores, como leves movimientos al momento de aplicar las cargas en la estructura, los adhesivos utilizados para unir los elementos de medición a la estructura, que generan variaciones en la toma de datos, teniendo porcentajes de error mayores al 50 %.

Se pudo realizar por medio del ensayo a Flexión el cálculo del módulo de elasticidad del material obteniendo un valor de 185351 MPa con un porcentaje de error aceptable de 7,32%, valor que puede disminuirse ensayando varios elementos con diferentes longitudes para tener más variedad de datos a comparar con el valor teórico.

Se puede concluir que para la obtención del gráfico Esfuerzo vs Deformación se deben tener una cantidad razonable de datos con los cuales graficar de forma correcta, ya que con pocas cargas no es posible tener una buena representación, para la elaboración de la gráfica se tuvieron en cuenta las tres cargas aplicadas en la estructura con el fin de presenciar el comportamiento de la barra sometida a tensión

Se obtuvieron márgenes de error entre las deformaciones y desplazamientos del laboratorio con las del SAP 2000 y se pudo evidenciar una gran diferencia en sus resultados debido a la diferencia en la simulación de empotramiento de la estructura.

Los errores encontrados en los desplazamientos del punto b en la estructura tienen como posible causa desajuste del transductor de desplazamiento de la posición inicial, por lo que pueden generar este tipo de problemas en la toma de datos y no ser cercanos a lo esperado.

La utilización de equipos de medición como el DATA LOGGER TDS – 530 o el software SAP 2000 son instrumentos confiables para la obtención de datos necesarios para la determinación de las propiedades de los materiales pero debe tenerse en cuenta la configuración previa de los equipos para obtener datos confiables (coeficientes, unidades).

10. RECOMENDACIONES

Para los ensayos en la armadura se hace necesario implementar diversas cantidades de cargas actuantes en el sistema, con el fin de disminuir la variación entre los datos y llegar a un valor más cercano al teórico.

En el ensayo a flexión se realizó a solo un elemento en 30 repeticiones, pero debe mejorarse realizando el ensayo a por lo menos 3 elementos de diferentes longitudes para así tener diversos datos de comparación. Puede generar un alto costo al momento de elaborar una investigación pero permitiría llegar a resultados más similares a los teóricos.

Es recomendable verificar que el TDS – 530 este en ceros antes de realizar los ensayos para así tener datos precisos y no cometer errores al momento de su impresión.

Se recomienda para la unión de los elementos que conforman la estructura un tipo diferente de material (pernos, soldadura) con el fin de tener un modelo más similar al modelo realizado en SAP 2000.

Es necesario limpiar muy bien la base donde se desea conectar los elementos de medición en el elemento a ensayar para así evitar datos erróneos.

Para la estructura realizada en este proyecto se unieron los brazos por medio de soldadura teniendo una estructura semirrígida se recomiendan usar otro tipo de conexiones al momento de hacer la armadura para poder tener un modelo más similar al modelo realizado en SAP 2000.

BIBLIOGRAFÍA

CALLISTER, William D. Introducción A La Ciencia E Ingeniería De Los Materiales. Barcelona. Editorial Reverte S.A.2007

COVAL. Línea estructural Colmena. [En línea] [Citado 10 de agosto de 2015] disponible en: [HTTP://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man_colmena_linea_estructural.pdf](http://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man_colmena_linea_estructural.pdf).

FERDINAND L. Singer, Resistencia de Materiales, 4° edición, 1987.

HIBBELER, R.C. Mecánica De Materiales: Deformación Unitaria. México D.F. Pearson Educación. Sexta Edición. 2006

HIBBELLE. R.C. Análisis Estructural. 3ª Edición. México: Prentice Hall. 1997.

INFOACERO. Que es acero [en línea] [citado 10 de agosto de 2015] disponible en: [HTTP://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm](http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm)

MARTÍNEZ Diego Tipos de soldadura [en línea] [citado 10 de agosto de 2015] disponible en: [HTTP://es.slideshare.net/DiegoMartinez/tipos-de-soldadura-17687715](http://es.slideshare.net/DiegoMartinez/tipos-de-soldadura-17687715).

MICROSOFT ® Encarta® 2000 y Capacitación CSH

Norma ASTM A500 Grado C.

Norma Técnica Colombiana NTC 2 titulada *Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos, Método de Ensayo a Temperatura Ambiente*.

NRS 10 Capítulo F estructuras de acero con perfiles laminados, armados y tubulares estructurales

Referencia Dada por el Trabajador

RINCÓN SOLANO Francisco Andrés. Modelación y análisis de deformaciones en una cercha de estructura metálica. 2015

SOSA, Javier. Galgas Extensiométricas Strain Gages 1

UNICON. Tubos estructurales [en línea] [citado 10 de agosto de 2015] disponible en: [HTTP://www.unicon.com.ve/estructural_tubos_estructurales.html](http://www.unicon.com.ve/estructural_tubos_estructurales.html)

VALENCIA REY Alexandra Comparación de Deformaciones Unitarias y Desplazamientos Utilizando una Armadura”, del proyecto de grado, presentado el año 2015

WIKIPEDIA Acero [en línea] [citado 10 de agosto de 2015] disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Acero>.

ANEXOS

Anexo A. Armadura en Laboratorio

Como datos anexos tenemos todos los datos obtenidos en el laboratorio donde se presentan por medio de tablas 30 datos obtenidos para cada peso suministrado a la estructura con el fin de disminuir el margen de error.

Tabla 21 Datos Armadura con peso 100 kg

Deformaciones y Desplazamientos				
n°	Desplazamiento (mm)	Deformación ($\mu\epsilon$)		Peso (Kg).
1	0,116	-15	1	100
2	0,102	-4	18	100
3	0,112	-9	6	100
4	0,110	-8	9	100
5	0,110	-11	3	100
6	0,108	-9	5	100
7	0,110	-9	7	100
8	0,104	-4	11	100
9	0,110	-9	7	100
10	0,100	-11	4	100
11	0,112	-4	9	100
12	0,100	-9	6	100
13	0,110	-7	7	100
14	0,108	-9	5	100
15	0,112	-9	7	100
16	0,108	-8	6	100
17	0,108	-7	8	100
18	0,114	-7	7	100
19	0,120	-5	8	100
20	0,104	-4	9	100
21	0,114	-5	9	100
22	0,114	-6	9	100
23	0,120	-7	8	100
24	0,114	-7	8	100
25	0,110	-4	9	100
26	0,124	-5	9	100
27	0,110	-7	8	100
28	0,112	-4	9	100
29	0,112	-6	9	100
30	0,110	-6	9	100

Tabla 22 Datos Armadura con peso 75 kg

Deformaciones y Desplazamientos				
n°	Desplazamiento (mm)	Deformación ($\mu\epsilon$)		Peso (Kg).
1	0,072	-6	7	75
2	0,078	-5	7	75
3	0,08	-5	7	75
4	0,074	-6	5	75
5	0,078	-7	5	75
6	0,084	-5	7	75
7	0,078	-6	5	75
8	0,08	-5	8	75
9	0,084	-4	7	75
10	0,086	-4	7	75
11	0,074	-5	5	75
12	0,076	-5	6	75
13	0,08	-5	7	75
14	0,084	-7	5	75
15	0,078	-3	8	75
16	0,08	-2	9	75
17	0,076	-6	7	75
18	0,08	-6	6	75
19	0,078	-5	7	75
20	0,078	-5	6	75
21	0,076	-3	8	75
22	0,082	-4	6	75
23	0,088	-7	5	75
24	0,074	-6	5	75
25	0,082	-5	6	75
26	0,09	-4	7	75
27	0,072	-3	7	75
28	0,074	-4	6	75
29	0,074	-4	6	75
30	0,076	-3	6	75

Tabla 23 Datos Armadura con peso 50 kg.

Deformaciones y Desplazamientos				
n°	Desplazamiento (mm)	Deformación (με)		Peso (Kg).
1	0,064	-3	6	50
2	0,058	-3	5	50
3	0,058	-4	5	50
4	0,06	-2	5	50
5	0,056	-4	5	50
6	0,056	-4	5	50
7	0,06	-2	5	50
8	0,062	-3	3	50
9	0,06	-2	5	50
10	0,06	-2	5	50
11	0,068	-2	6	50
12	0,058	-3	4	50
13	0,062	-3	4	50
14	0,062	-2	5	50
15	0,06	-3	5	50
16	0,06	-2	5	50
17	0,058	-2	6	50
18	0,06	-4	4	50
19	0,062	-3	4	50
20	0,058	-3	4	50
21	0,06	-2	4	50
22	0,06	-4	6	50
23	0,058	-4	5	50
24	0,062	-2	7	50
25	0,06	-3	5	50
26	0,062	-4	4	50
27	0,06	-2	6	50
28	0,058	-2	4	50
29	0,058	-3	3	50
30	0,058	-2	5	50

Anexo B. Ensayo Viga a Flexión

Para este ensayo se realizó 30 pruebas sobre la misma viga con el fin de disminuir márgenes de error.

Tabla 24 Resultados Ensayo a Flexión.

Ensayo de Flexión			
n°	Desplazamiento (mm)	Deformación ($\mu\epsilon$)	Peso (Kg).
1	0,078	32	15,545
2	0,074	30	15,545
3	0,076	31	15,545
4	0,076	30	15,545
5	0,074	32	15,545
6	0,076	30	15,545
7	0,076	31	15,545
8	0,074	32	15,545
9	0,074	35	15,545
10	0,074	32	15,545
11	0,074	30	15,545
12	0,074	31	15,545
13	0,08	30	15,545
14	0,076	31	15,545
15	0,074	30	15,545
16	0,074	31	15,545
17	0,076	30	15,545
18	0,074	32	15,545
19	0,074	32	15,545
20	0,074	32	15,545
21	0,074	32	15,545
22	0,074	32	15,545
23	0,074	32	15,545
24	0,074	30	15,545
25	0,074	32	15,545
26	0,074	32	15,545
27	0,074	29	15,545
28	0,074	30	15,545
29	0,074	28	15,545
30	0,076	29	15,545