



DISEÑO DE LAS GUÍAS DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES.

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico.

Autor: John González Guzmán.

Tutores: Ing. Jesús Ernesto del Junco García
MSc. Juan G. Noa Águila.

Junio de 2018
"Año 60 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

Pensamiento.

*“Cuanto más se aproxima uno a su sueño,
Más se va convirtiendo la leyenda personal;
En la verdadera razón de VIVIR”.*

Paulo Coelho.

Dedicatoria.

A mis padres, abuela, padrastro y novia por su confianza, enseñanzas y apoyo en toda meta que me propongo.

Agradecimientos.

Agradezco a mis tutores Jesús Ernesto del Junco García y Juan Gabriel Noa Águila, por sus consejos, paciencia, dedicación y por sus excepcionales actitudes ante la vida y el trabajo.

A mis amigos y todas aquellas personas que de una forma u otra ayudaron incondicionalmente a la concreción de este sueño.

Resumen

En el presente trabajo fueron elaboradas las guías de prácticas de laboratorio de Resistencia de Materiales a emplear con fines docente por el departamento de mecánica de la Universidad de Cienfuegos. Para ello se elaboraron, en base a las diversas bibliografías consultadas, siete guías de prácticas de laboratorio correspondiente a las asignaturas de Resistencia de Materiales I y II. Se comprobó la veracidad de las prácticas realizadas implementando ensayos en laboratorio de Resistencia de Materiales regidos por las mismas, tomándose como base mediciones experimentales obtenidas en las máquinas existentes en la Universidad. Los resultados obtenidos corroboran los cálculos teóricos planteados, dando cumplimiento al objetivo propuesto que garantice el aprendizaje adecuado de los estudiantes de Ingeniería Mecánica.

Índice

Introducción	1
Capítulo I: Fundamentos sobre los Ensayos Mecánicos.	3
1.1 Reseña Histórica.	3
1.2 Métodos de ensayo, procesamiento matemático y estadístico de los datos.	4
1.3 Objetivos de los ensayos mecánicos y descripción de las máquinas utilizadas para ello.	4
1.3.1 Objetivos de los ensayos de materiales.	4
1.3.2 Partes esenciales de una máquina de ensayos mecánicos.	5
1.3.3 Requerimientos generales para las máquinas de ensayos mecánicos:	7
1.4 Principio de funcionamiento de las máquinas utilizadas en los distintos ensayos.	7
1.4.1 Máquinas utilizadas en el ensayo de Tracción-Compresión:	7
1.4.2 Máquinas utilizadas en el ensayo de Flexión:	8
1.4.3 Máquinas utilizadas para el Ensayo de Torsión:	9
1.5 Variables obtenidas en los ensayos mecánicos.	10
1.5.1 Ensayo de Tracción- Compresión.	10
1.5.2 Ensayo de Torsión:	12
1.5.3 Ensayo de Flexión:	13
1.5.4 Estabilidad Estructural:	14
1.6 Probetas utilizadas para cada tipo de ensayo mecánico.	15
1.6.1 Probetas utilizadas para ensayos de Tracción.	15
1.6.2 Probetas utilizadas para ensayos de Compresión.	16
1.6.3 Probetas para ensayos de Flexión.	17
1.6.4 Probetas utilizadas para ensayos de Torsión.	18
Capítulo II: Guías de Prácticas de Laboratorio de Resistencia de Materiales I.	20
2.1 Guía de laboratorio para ensayo de tracción-compresión axial.	20
2.1.1 Fundamentos Teóricos.	21
2.1.2 Evaluación de la plasticidad del material:	25
2.1.3 Determinación del Módulo de Elasticidad:	26
2.1.4 Aplicación.	28
2.1.5 Descripción del Equipo.	28
2.1.6 Técnica Operatoria.	30
2.1.7 Datos iniciales y Cálculos Teóricos.	32
2.1.8 Preguntas de Autocontrol.	34

2.2 Guía de laboratorio para Ensayo de Torsión.....	35
2.2.1 Fundamentos Teóricos.....	35
2.2.2 Descripción del equipo.....	40
2.2.3 Técnica operatoria para la realización del Ensayo.....	40
2.2.4 Datos iniciales para Cálculos Teóricos:.....	44
2.2.5 Preguntas de Autocontrol:.....	46
2.3 Guía de Laboratorio para Ensayo de Flexión.....	47
2.3.1 Fundamentos Teóricos.....	47
2.3.2 Descripción del equipo.....	49
2.3.3 Técnica Operatoria.....	49
2.3.4 Datos iniciales y Cálculos Teóricos.....	51
2.3.5 Preguntas de Autocontrol.....	53
2.4 Guía de Laboratorio para Ensayo de Flexión Oblicua.....	53
2.4.1 Fundamentos Teóricos:.....	54
2.4.2 Descripción de Equipo y Técnica Operatoria para la Realización del Ensayo.....	56
2.4.3 Datos iniciales y Cálculos Teóricos.....	57
2.4.4 Gráfico de Distribución de las Tensiones.....	60
2.4.5 Preguntas de Autocontrol:.....	62
Capítulo III: Guías de Prácticas de Laboratorio de Resistencia de Materiales II.....	63
3.1 Guía de Laboratorio para determinar los Desplazamientos en barras quebradas.....	63
3.1.1 Fundamentos Teóricos Generales.....	63
3.1.2 Descripción del Equipo y Técnica operatoria para la realización del Ensayo.....	65
3.1.3 Datos iniciales y cuadro de anotaciones.....	66
3.1.4 Preguntas de Autocontrol.....	68
3.2 Guía de Laboratorio para determinar los desplazamientos en Sistemas Hiperestáticos.....	68
3.2.1 Fundamentos Teóricos, Generalidades.....	69
3.2.2 Cálculo del Desplazamiento en un Sistema Hiperestático.....	72
3.2.3 Técnica operatoria y descripción del equipo.....	75
3.2.4 Datos iniciales.....	76
3.2.5 Preguntas de Autoevaluación.....	77
3.3 Guía de Practicas de Laboratorio para Ensayos de Columnas Metálicas.....	78
3.3.1 Fundamentos Teóricos, Generalidades.....	78
3.3.2 Técnica Operatoria y descripción del equipo.....	83

3.3.3 Preguntas de Autoevaluación.	87
Capítulo IV: Cálculos demostrativos para la comprobación de las Guías de Prácticas de Laboratorio de Resistencia de Materiales.	89
4.1 Cálculos demostrativos para ensayos de Tracción-Compresión Axial.	89
4.1.1 Muestra 1 del ensayo de Tracción para barras de Acero XM354.	90
4.1.2 Muestra 2 del ensayo de Tracción para Correas Cauchotadas.	91
4.1.3 Muestra 3 del Ensayo de Tracción para Acero al Carbono.	93
4.1.4 Muestra 4 del Ensayo de Tracción para Aluminio.	94
4.2 Cálculos demostrativos para ensayos de Torsión en barras circulares.	96
4.3 Cálculos demostrativos para Ensayos de Desplazamientos en Barras Quebradas.	100
4.3.1 Caso 1, Muestra 1 de los desplazamientos en Barras Quebradas.	101
4.3.2 Caso 1, Muestra 2 de los desplazamientos en Barras Quebradas.	101
4.3.3 Caso2, Muestra 1 de los desplazamientos en barras quebradas.	102
4.3.4 Muestra 2 de los desplazamientos en barras quebradas.	103
4.4 Cálculos demostrativos para Ensayo de Desplazamientos en Pórticos Hiperestáticos.	104
4.5 Cálculos demostrativos para ensayos de Columnas Metálicas.	107
Conclusiones.	109
Recomendaciones.	110
Referencias Bibliográficas.	111
Anexos.	112

Introducción

La Universidad de Cienfuegos posee como meta formar profesionales de excelencia en el campo académico y competitivos en el ámbito laboral, aportando de esta forma al desarrollo de la provincia y del país. El uso de procedimientos de ensayos mecánicos para control de procesos establecidos de manufactura y construcción, son hechos significantes y bien reconocidos de nuestro desarrollo técnico. Prácticamente todas las ramas de la ingeniería conciernen íntimamente a los materiales, cuyas propiedades deben ser determinadas con ensayos. El poseer talleres y laboratorios facilita el aprendizaje práctico y conocimiento de los estudiantes, logrando una formación íntegra de los futuros profesionales que aquí se forjan. El laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez" se creó algunos años después de que se fundara la misma, en 1979 y poseía máquinas para Ensayos Mecánicos de procedencia rusa, pero conjuntamente con el avance de nuestro desarrollo tecnológico han surgido notables mejoras en los tipos más antiguos de materiales, así como de las máquinas para ensayos mecánicos, extendiendo el alcance de los ensayos en materiales, por lo que en el 2012 comenzó una remodelación de dicho laboratorio donde se adquirieron máquinas modernas para los ensayos mecánicos de procedencia China, que no cuentan con los procedimientos o guías de laboratorio. Consecuentemente, de la situación anterior, emerge el siguiente **Problema Científico**: El laboratorio de Resistencia de Materiales, de la Universidad de Cienfuegos, no cuenta con guías de laboratorio para las máquinas nuevas, que permitan a los estudiantes enriquecer su formación como ingenieros mecánicos.

La identificación de este Problema ha permitido formular la siguiente **Hipótesis**: Si se realiza el diseño de las guías prácticas para el funcionamiento de las máquinas del laboratorio de Resistencia de Materiales se definirán los datos a introducir y los resultados a obtener, para el funcionamiento de las máquinas nuevas lo que permitirá un mejor aprovechamiento del laboratorio para la formación de los futuros ingenieros mecánicos

Para dar respuesta a la pregunta científica planteada anteriormente, la presente tesis se propone como **Objetivo General**:

Diseñar las guías de prácticas de laboratorio de Resistencia de Materiales de forma tal que se defina el funcionamiento de las Máquinas, así como de los datos que se deben introducir y los resultados que se deben obtener.

Como solución al Objetivo General planteado con anterioridad se enuncian los **Objetivos Específicos** siguientes:

1. Realizar una búsqueda bibliográfica sobre los conceptos y procedimientos establecidos para los diferentes ensayos de Resistencia de Materiales de manera que permitan establecer los fundamentos científicos que sustentan la investigación.
2. Diseñar las guías de prácticas de laboratorio para los ensayos de Resistencia de Materiales I y II; de forma tal que los estudiantes comprendan y sean capaces de realizar los ensayos tratados.
3. Comprobar las guías diseñadas, mediante la realización de ensayos y sus correspondientes cálculos.

La Tesis está estructurada en cuatro Capítulos, exponiendo en el Capítulo I los fundamentos esenciales para la realización de ensayos mecánicos; en el Capítulo II y III, se llevan a cabo las guías de laboratorio para ensayos de Resistencia de Materiales I y II respectivamente y por último en el Capítulo IV se llevan a cabo ensayos mecánicos regidos por las guías creadas para comprobar la efectividad de las mismas.

Capítulo I: Fundamentos sobre los Ensayos Mecánicos.

1.1 Reseña Histórica.

A principios de los años 1800 un gran grupo de investigadores europeos observaron como en los componentes del sistema de rieles para los ferrocarriles y en algunos puentes, aparecían grietas que consecuentemente terminaban en fracturas, debido a las cargas repetidas a las cuales estaban sometidos, siendo este el comienzo para la observación del fenómeno de fatiga en los materiales.

A medida que avanzaba el siglo y la utilización de metales para la fabricación de maquinarias para la industria aumentaba, seguían apareciendo dichas fallas por cargas repetidas en los componentes que constituían estas máquinas. Para reducir la presencia de las fracturas y en algunos casos, para eliminarlas, A. Wöhler propuso un método de ensayo que resultó en una aproximación del diagrama S-N que plantea que el eje de las abscisas está representado por el número de ciclos de esfuerzo y el eje de las ordenadas representa los esfuerzos a los cuales están sometidas las muestras; desarrolló variables para el diseño de componentes mecánicos sometidos a fatiga.

A pesar del interés sobre la aparición de los daños por fatiga, no fue sino hasta el principio del siglo XIX, donde se conocieron con más certeza las propiedades físicas de la fatiga en materiales al someterse a cargas repetidas. Esto debido a la gran cantidad de estudios realizados por las diferentes ramas de la investigación, interesadas en la ingeniería de materiales. A lo largo de los estudios realizados se han desarrollado una gran cantidad de técnicas de ensayo para el estudio de la fatiga en materiales, tanto de ensayos no destructivos, casos donde el material de estudio es sometido a pruebas bajo condiciones de funcionamiento sin la necesidad de ser reemplazado posteriormente a los ensayos, como destructivos donde el material a ensayar es llevado hasta la etapa de fractura para su estudio y comportamiento bajo cargas repetidas.

El desarrollo de las diferentes técnicas de ensayo ha promovido la fabricación de una gran variedad de máquinas, las cuales, dependiendo del tipo de carga, tipo de esfuerzo, propósito del ensayo, características de operación o medio de

producción de la carga, poseen distintas clasificaciones. Siendo entre ellas las más comunes las máquinas para ensayos de Tracción, Compresión, Flexión, Torsión y Cargas biaxiales y triaxiales, según plantean los autores (Gondar & Rodríguez, 2007).

1.2 Métodos de ensayo, procesamiento matemático y estadístico de los datos.

El método de ensayo varía de acuerdo a los objetivos que se persiguen, según plantean los autores (Méndez, Hernández, & Claro, 2002), pero en sentido general todos se efectúan bajo el principio de repeticiones sucesivas. Es decir, que se realiza el ensayo repetidas veces con el fin de obtener valores promedios en los resultados del experimento.

Todos esos valores se tabulan y el procedimiento de los mismos se efectúa en una forma sencilla y al alcance de las posibilidades de todos los estudiantes.

De todas formas, es conveniente precisar que el estudiante debe dominar la técnica de construcción de curvas promedio partiendo de puntos diversos, saber sacar promedios de diferentes valores numéricos, saber hacer operaciones matemáticas con decimales, saber sacar por ciento (%) entre dos valores, saber hacer conversiones de unidades (toneladas, kilogramos fuerza, Newton, metros, centímetros, etc.)

1.3 Objetivos de los ensayos mecánicos y descripción de las máquinas utilizadas para ello.

1.3.1 Objetivos de los ensayos de materiales.

Los ensayos en materiales pueden efectuarse con uno, de tres objetivos como meta, como se enuncia a continuación:

- Aportar información rutinaria acerca de la calidad de un producto, ensayo comercial o de control.
- Recabar información nueva o mejor acerca de materiales conocidos o desarrollar nuevos ensayos en materiales en investigación para el desarrollo.

- Obtener medidas exactas de las propiedades fundamentales o constantes físicas, medición científica.

Según plantea (Espinoza, 1982), estos objetivos deben discernirse claramente para empezar ya que ellos generalmente afectan el tipo de equipo de ensayo y medición a usar, la deseada precisión de la labor, el carácter del personal a emplear, y los costos involucrados.

1.3.2 Partes esenciales de una máquina de ensayos mecánicos.

Las máquinas para ensayos mecánicos constan de dos partes principales que son, un medio para aplicar carga a una probeta, y un medio para equilibrar y medir la carga aplicada.

Dependiendo del diseño de la máquina, estas dos partes pueden estar completamente separadas o superpuestas. Además de estos aspectos básicos, hay una variedad de partes o mecanismos accesorios, tales como dispositivos para agarrar o apoyar la pieza de prueba, la unidad de fuerza, los controles, los registros, los indicadores de velocidad y amortiguadores de retroceso o choque, la carga puede aplicarse por medios mecánicos, mediante el uso de mecanismos de engrane y tornillo, caso en el cual las máquinas son llamadas de "engrane y tornillo" o Mecánicas. Cuando la carga es aplicada por medio de un gato o prensa hidráulicos, el dispositivo es llamado "máquina hidráulica". La fuerza puede proveerse manualmente o por medio de alguna máquina motriz; por lo general, un motor eléctrico, a una bomba o una cadena de engranes, dependiendo del diseño de la máquina y su capacidad. Algunas máquinas son diseñadas para un solo tipo de ensayo, como una máquina de tensión hecha para ensayar cadenas y alambre; y otras hechas únicamente para ensayos compresivos. Sin embargo, si una máquina es diseñada para ensayar probetas en tensión, compresión y flexión, es llamada "máquina de ensayo universal". También hay máquinas especiales para torsión, dureza, impacto, resistencia, flexión en frío y otros ensayos (Espinoza, 1982).

1.3.2.1 Mecanismos mecánicos para aplicar la carga a la probeta

La carga ordinariamente es aplicada a una probeta a través de un "puente móvil". En el caso de una probeta en tensión la carga es soportada por un "puente fijo", el cual puede, sin embargo, ubicarse en cualquiera de varias posiciones. En un ensayo compresivo o de flexión transversal la carga es soportada por la mesa de trabajo de la máquina. En las máquinas de engrane y tornillo del tipo de palanca, el puente fijo o la mesa transmiten entonces la carga al sistema de pesaje de palancas compuestas (Peña. R. G, 2013).

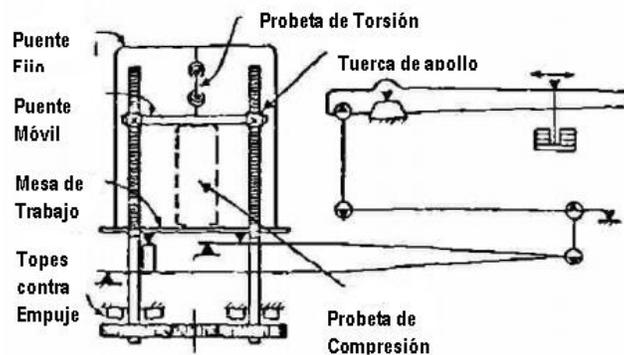


Fig. 1.1 Diagrama esquemático de una máquina de ensayos con engranaje y tornillo. Tomado de (Espinoza, 1982).

1.3.2.2 Mecanismos hidráulicos para aplicar la carga a la probeta

La carga es ordinariamente aplicada por medio del movimiento del pistón del sistema hidráulico, el cual está conectado ya sea a la mesa de la máquina, o a un puente móvil. El mecanismo para medir la carga puede originarse ya sea en las porciones fijas, o en las móviles de tales máquinas.

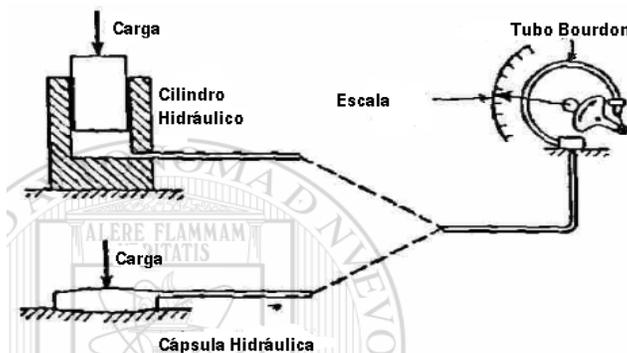


Fig.1.2 Pasaje por medio de Presión Hidráulica. Tomado de (Espinoza, 1982).

1.3.3 Requerimientos generales para las máquinas de ensayos mecánicos:

- 1.- La exactitud requerida debe obtenerse en todo el rango de carga; ordinariamente se requiere que los errores sean menores del 1%, siendo 0.5% o menos es deseable.
2. - Debe ser sensitiva a los cambios ligeros de carga.
3. - Las mordazas del puente deben estar alineadas.
4. - Los puentes móviles no deben oscilar, torcerse o moverse lateralmente.
5. - La aplicación de la carga debe ser uniforme, controlable y capaz de un considerable rango de velocidades.
6. - Debe estar libre de vibraciones excesivas.
- 7.- El mecanismo de retroceso debe ser adecuado para absorber la energía de ruptura, de las probetas que se quiebran súbitamente para evitar daños a la máquina al cargársele a toda capacidad.
8. - Debe ser susceptible a la manipulación y a los ajuste fáciles y rápidos y debe permitir el fácil acceso a las probetas y defomímetros (Espinoza, 1982).

1.4 Principio de funcionamiento de las máquinas utilizadas en los distintos ensayos

1.4.1 Máquinas utilizadas en el ensayo de Tracción-Compresión

Las máquinas utilizadas en el ensayo de tracción constan de un dispositivo productor de carga, y otro dispositivo medidor de cargas y desplazamientos registrados. La máquina debe cumplir las siguientes características:

- La aplicación de la fuerza de tracción tiene lugar en la dirección del eje axial de la probeta.
- Debe ser posible regular la velocidad de aplicación de la carga. El proceso de descarga tiene que realizarse de forma progresiva.

El dispositivo productor de cargas puede ser mecánico y neumático, con un cabezal móvil y otro cabezal fijo.

El dispositivo medidor de cargas y desplazamientos funciona electrónicamente, y regulan la velocidad de aplicación de la carga y generan diagramas impresos de la curva de tracción (Afanásiev & Marién, 1978).

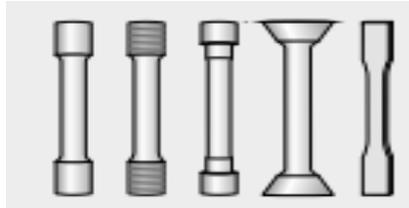


Fig. 1.3 Tipos de Probetas para Ensayos de Tracción-Compresión. Tomado de (Gunt Amburg,2017).

1.4.1.1 Descripción teórica del ensayo de Tracción-Compresión:

La probeta a ensayar se ajusta por sus extremos, mediante las mordazas de la máquina, de manera que su eje longitudinal coincida con el eje vertical de simetría de las mordazas o mandíbulas de sujeción y por tanto con la línea de aplicación de la carga.

Una vez colocada la probeta en la máquina de ensayo se le aplica la fuerza desde cero lenta y uniformemente hasta alcanzar la rotura de la probeta.

Por acción de la fuerza o carga, la barra se alarga y simultáneamente se hace más estrecha hasta que se rompe (Levy, 1974).

1.4.2 Máquinas utilizadas en el ensayo de Flexión:

La máquina universal impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionable. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada en toneladas fuerza. Los dos actuadores hidráulicos de doble acción dispuestos en el eje vertical, están conectados a dos vigas horizontales robustas que rotarán de acuerdo a la acción conjunta de los actuadores. Es decir, cuando un actuador se contrae, el otro se extiende de manera sincronizada, tal que las vigas sólo giren en torno a las cabezas de la probeta. Cada viga horizontal está conectada, en su parte central, a una cabeza de la probeta. La función de estas vigas es transmitir un momento a las cabezas de la probeta utilizando las cargas puntuales ejercidas por los actuadores en sus extremos. Este sistema, viga-probeta-viga, es considerado como cuerpo rígido en el modelo, es decir, se desprecian los desplazamientos relativos entre sus elementos causados por las deformaciones.

El marco de flexión encargado de agregar momento a los esfuerzos internos de la probeta. La tarea fundamental del marco de flexión consiste en inducir momento puro en las probetas sin modificar el estado de carga axial proporcionado por la prensa existente. Esto se logra a través de imponer un giro en las cabezas de la probeta en forma controlada, sin producir translaciones en el sentido del eje de la probeta (Afanásiev & Marién, 1978).

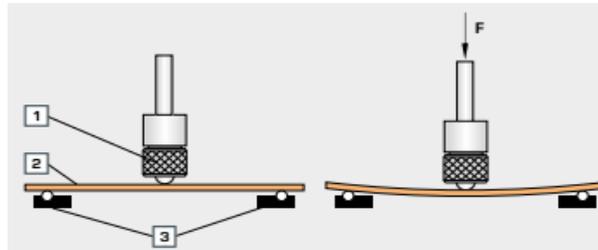


Fig.1.4 Procedimiento en el ensayo de Flexión en tres puntos. Tomado de (Gunt Hamburg, 2017)

1.4.3 Máquinas utilizadas para el Ensayo de Torsión:

Según plantean los autores (Mesa & Uribe, 2016), cuando los elementos se cargan con un momento respecto a su eje longitudinal, se dice que están a torsión y, por consiguiente, el momento aplicado se llama par de torsión.

El ensayo de torsión consiste en aplicar un par torsor a una probeta por medio de un dispositivo de carga y medir el ángulo de torsión resultante en el extremo de la probeta. Este ensayo se realiza en el rango de comportamiento linealmente elástico del material (Afanásiev & Marién, 1978).

El resultado del ensayo de torsión resulta útil para el cálculo de Elementos de Máquinas sometidos a torsión, tales como ejes de transmisión, tornillos, resortes de torsión y cigüeñales.

Los elementos sometidos a torsión se encuentran en muchas situaciones de ingeniería, la aplicación más común la representan los ejes de transmisión, que se emplean para transmitir potencia de un punto a otro.

En la actualidad el uso de sistemas electrónicos e informáticos ha permitido la aplicación de dispositivos y herramientas de precisión para la medición, toma de datos y visualización de señales (Mesa & Uribe, 2016).



Fig.1.5 Máquina Justy, utilizada en la actualidad para ensayos de Torsión.

Tomado de (Lorenz. M, 2015).

1.5 Variables obtenidas en los ensayos mecánicos

1.5.1 Ensayo de Tracción- Compresión

El ensayo de tracción- compresión de un material consiste en someter una probeta normalizada a esfuerzo axial de tracción progresivamente coexistente hasta conseguir la ruptura de la misma y determinar a su vez, límite de fluencia, límite de resistencia, tensión durante la rotura, alargamiento durante la rotura, reducción en el cuello, trabajo específico gastado por la rotura, módulo de elasticidad, entre otras variables como las mencionadas a continuación (Afanásiev & Marién, 1978).

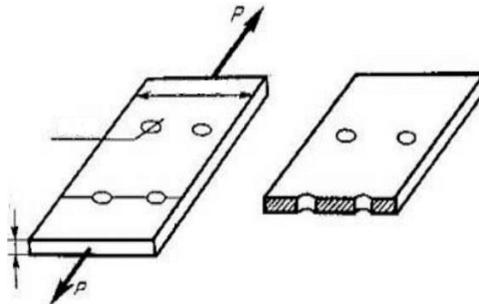


Fig.1.6 Probeta sometida a Tracción. Tomado de (Stiopin, 1968).

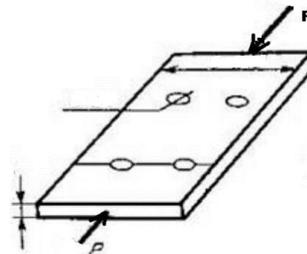


Fig.1.7 Probeta sometida a Compresión. Tomado de (Stiopin, 1968).

Tensión:

Fuerza resultante axial normal empleada sobre la probeta, se mide en unidades de fuerza por unidad de superficie, kg/cm^3 .

Límite de proporcionalidad:

Máxima tensión que se puede producir durante un ensayo de modo que la tensión sea función lineal de la deformación (Gómez, 2003). Hasta aquí las deformaciones crecen proporcionalmente a las tensiones, cuando estas son inferiores a cierta tensión (Stiopin, 1968).

Límite de fluencia:

Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada (Stiopin, 1968).

Límite de resistencia:

Máxima tensión convencional que puede resistir el material (Stiopin, 1968).

Límite de elasticidad:

El material conserva sus propiedades elásticas, es decir, que, al descargar la probeta, esta recupera sus dimensiones y su forma inicial (Stiopin, 1968). La tensión máxima que puede producirse durante un ensayo de modo que no haya deformación permanente o residual cuando se suprime totalmente la carga (Gómez, 2003).

Tensión de rotura:

Esta tensión es inferior a la máxima. En todos estos casos el valor de la tensión obtenida es un valor convencional que se obtiene dividiendo el valor de la carga entre el área inicial de la probeta (Afanásiev & Marién, 1978).

Alargamiento durante la rotura o alargamiento residual unitario:

Depende de la relación entre la longitud de la probeta y sus dimensiones transversales (Gómez, 2003).

Trabajo específico gastado por la rotura:

Se refiere al trabajo total gastado para la rotura de la probeta referido en una unidad de volumen.

Módulo de Poisson (coeficiente de deformación transversal):

Constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma del material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente

y adelgaza en las secciones perpendiculares a la de estiramiento (Stiopin, 1968); o sea, caracteriza la capacidad del material de admitir deformaciones transversales.

Módulo de elasticidad:

Este coeficiente caracteriza la rigidez del material, es decir, su capacidad de oponerse a las deformaciones (Stiopin, 1968); (Afanásiev & Marién, 1978).

Estricción:

La relación entre la disminución del área de la sección transversal respecto a la primitiva en la fractura, dividida por el área primitiva y multiplicada por 100, se llama estricción planteado por (Gómez, 2003), es decir, una reducción relativa en la sección transversal.

Carga de destrucción:

Carga que se aplica a la probeta por los platos de la prensa hasta destruirla.

Resistencia provisional:

Es la resistencia que brindada por la probeta antes de ser destruida, puede ser determinada para materiales frágiles, no para plásticos pues estos no llegan a ser destruidos del todo (Afanásiev & Marién, 1978).

Rigidez:

Capacidad de oponerse a las deformaciones (Trujillo, 2007).

Resistencia:

Capacidad de oponerse a la rotura (Trujillo, 2007).

Ductilidad:

Capacidad de deformarse antes de romperse (Trujillo, 2007).

1.5.2 Ensayo de Torsión:

Se denomina Torsión, cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal; se caracteriza geométricamente porque cualquier curva paralela al eje de la pieza deja de estar contenida en el plano formado inicialmente por las dos curvas, en lugar de eso una curva paralela al eje de la pieza se retuerce alrededor de él (Afanásiev & Marién, 1978).

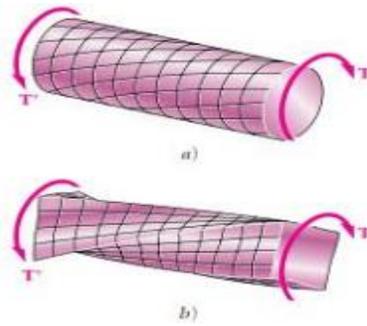


Fig.1.8 Probeta sometida a Torsión. Tomado de (Beer & Ferdinand, 2013)

Momento torsor:

Componente paralela al eje longitudinal del momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal del eje mecánico.

Angulo de torsión:

El ángulo de torsión de la barra dentro de los límites de las deformaciones elásticas está relacionado con la carga, es decir, con el momento torsional, con una dependencia lineal.

Además de; Tensiones, Módulo de Poisson, Módulo de elasticidad, explicadas en 1.4.1.

1.5.3 Ensayo de Flexión:

Se denomina Flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural en una dirección perpendicular a su eje longitudinal, consiste en someter a una deformación plástica una probeta recta de sección plena, circular o poligonal, mediante el pliegue de esta, sin inversión de su sentido de flexión, sobre un radio especificado al que se le aplica una flexión constante (Afanásiev & Marién, 1978).

Flexiones:

Acción provocada cuando las fuerzas de acción se encuentran en uno de los dos planos principales de la viga; provocando que esta se encorve en el mismo plano (Espinoza, 1982).

Además, podemos encontrar también las Tensiones y el Modulo de Elasticidad; explicadas en (Epígrafe 1.4.1).

1.5.4 Estabilidad Estructural:

La Estabilidad Estructural se refiere a la capacidad de una estructura bajo las fuerzas que actúan sobre ellas a alcanzar un estado de equilibrio mecánico.

Dicho de otra forma y para casos particulares de solicitaciones, se puede definir como: La capacidad que posee un elemento de mantener una sola forma de equilibrio, la dada por el constructor.(Feodosiev, 1985).

De la Mecánica Teórica, se conoce que existen tres formas de equilibrio: estable, inestable e indiferente.

Cuando sobre una barra larga actúa una carga axial menor que cierto valor crítico, aquella se encontrara en un estado de Equilibrio estable.

Si la fuerza de compresión P es igual a la crítica (P_{crit}), la barra se encontrará en un estado de Equilibrio indiferente, es decir, al ser desviada ligeramente de su posición rectilínea inicial y después liberada, permanecerá también en equilibrio en la posición desviada.

Por último, si la fuerza P es mayor que la crítica, entonces, la forma rectilínea resultara inestable.



Fig.1.9 Percepción humana de la inestabilidad estructural. Tomado de (Wamba, 2017).

Rigidez:

La rigidez es una medida cualitativa de la resistencia de las deformaciones elásticas producidas por un material, que contempla la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones.

Razón de esbeltez:

Es una magnitud que caracteriza la influencia de las dimensiones de la barra y el tipo de apoyo en los extremos sobre la estabilidad; es adimensional.

Coefficiente de variación de la longitud:

Este coeficiente depende del tipo de apoyo en los extremos de la barra y su valor de igual al inverso del número de semiondas que se originan al deformarse la barra producto de la pérdida de estabilidad.

Radio de giro:

El radio de giro describe la forma en la cual el área transversal o una distribución de masa se distribuye alrededor de su eje centroidal.

Además de; Fuerza de compresión, flexión y torsión, Tensiones, Módulo de elasticidad, explicadas en 1.4.1, 1.4.2 y 1.4.3.

1.6 Probetas utilizadas para cada tipo de ensayo mecánico

Una probeta es el elemento que será sometido a un ensayo mecánico para conocer las propiedades mecánicas del mismo. La probeta puede ser una pieza, un modelo a escala de la pieza o un trozo de material mecanizado. Cabe remarcar que según el ensayo que se desea realizar se utilizan distintos tipos de probetas y sus dimensiones.

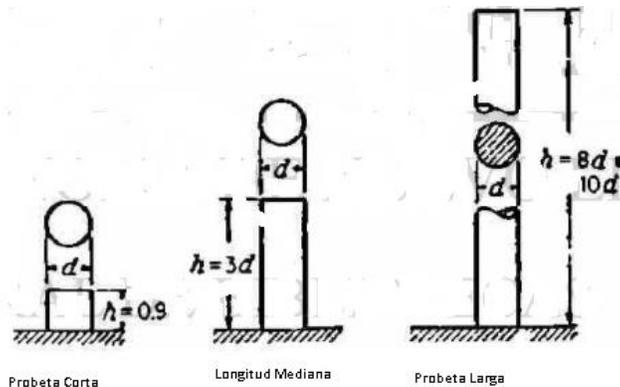


Fig.1.10 Dimensiones de las Probetas. Tomado de (Espinoza, 1982)

1.6.1 Probetas utilizadas para ensayos de Tracción.

Las probetas para ensayos de tracción se hacen en una variedad de formas, la sección transversal de la probeta es redonda, cuadrada, o rectangular. Para los metales, si una pieza de suficiente grueso puede obtenerse de tal manera que pueda ser fácilmente maquinada, se usa comúnmente una probeta redonda; para láminas y placas, en almacenamiento usualmente se emplea una probeta plana. La porción central del tramo, es usualmente de sección menor que los extremos

para provocar que la falla ocurra en una sección donde los esfuerzos no resulten afectados por los dispositivos de sujeción. El tramo de calibración es el tramo marcado sobre el cual se toman las mediciones de alargamiento.

La forma de los extremos debe ser adecuada al material, y tal, que ajuste debidamente en el dispositivo de sujeción a emplear. Los extremos de las probetas redondas pueden ser simples, cabeceados, o roscados. Los extremos simples deben ser suficientemente largos para poder adaptarse a algún tipo de mordazas cuneiformes. Las probetas rectangulares generalmente se hacen con extremos simples, aunque éstos ocasionalmente pueden ser cabeceados o contener un orificio para aplicar presión con perno.

La transición del extremo a la sección reducida debe hacerse por medio de un bisel adecuado para reducir la concentración del esfuerzo causada por el cambio brusco de sección; para los materiales quebradizos, esto es particularmente importante.

Una probeta debe ser simétrica con respecto a un eje longitudinal a toda su longitud, para evitar la flexión durante la aplicación de la carga (Espinoza, 1982).

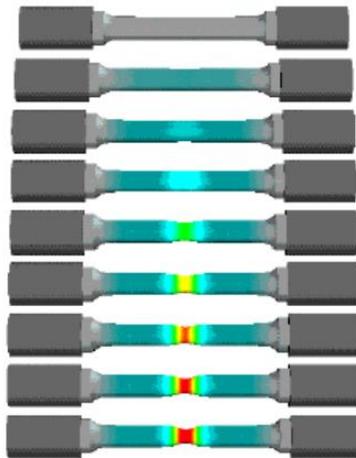


Fig.1.11 Evolución de las probetas durante el ensayo de Tracción. Tomado de (Ramos. C.S, 2017).

1.6.2 Probetas utilizadas para ensayos de Compresión.

Para el esfuerzo uniforme de la probeta de compresión, una sección circular es preferible a otras formas. Sin embargo, la sección cuadrada o rectangular se usa frecuentemente.

La selección de la relación entre la longitud y el diámetro de una probeta de compresión, parece ser más o menos un compromiso entre varias condiciones indeseables. A medida que la longitud de la probeta se aumenta, se presenta una tendencia creciente hacia la flexión de la pieza, con la consiguiente distribución no uniforme del esfuerzo sobre una sección recta. Se sugiere una relación entre altura y diámetro de 10 como un límite superior práctico. A medida que la longitud de la probeta disminuye, el efecto de la restricción friccional en los extremos se torna sumamente importante; así mismo, para longitudes menores de aproximadamente 1.5 veces el diámetro, los planos diagonales a lo largo de los cuales la falla se verificaría en una probeta más larga intersectan la base, con el resultado de que la resistencia aparente se aumenta. Comúnmente se emplea una relación entre longitud y diámetro de 2 o más, aunque la relación entre altura y diámetro varíe para materiales diferentes. Para acomodar un compresómetro con la precisión deseada, con frecuencia es necesario usar una probeta relativamente larga.

Los extremos a los cuales se aplica la carga deben ser planos y perpendiculares al eje de la probeta o, de hecho, convertidos así mediante el uso de cabeceo y dispositivos de montaje.

Los tramos de calibración para mediciones de deformación deben preferiblemente ser más cortos que el largo de la probeta cuando menos el diámetro de la probeta (Espinoza, 1982).

1.6.3 Probetas para ensayos de Flexión.

Para determinar el módulo de ruptura para un material dado, la viga bajo ensayo debe proporcionarse de tal manera que no falle por corte o deflexión lateral antes de alcanzar su última resistencia a la flexión. Para producir una falla por flexión, la probeta no debe ser demasiada corta con respecto al peralte de la viga, e inversamente, si se desea la falla por esfuerzo cortante, el claro no debe ser demasiado largo. Los valores de $L = 6d$ y $L = 12d$ (dependiendo el valor real) del material, de la forma de la viga y del tipo de carga en el que (L) es el largo y (d)peralte, sirven como línea delimitante aproximada entre las vigas cortas de

mucho peralte que fallan por corte y las vigas de poco peralte que fallan en las fibras extremas (Espinoza, 1982).

Las probetas de hierro fundido son barras cilíndricas, vaciadas por separado, pero en moldes de arena de las mismas condiciones y tomados de mismo crisol que los vaciados que representan. Ellas son ensayadas como vigas simples bajo carga central con claros que dependen del tamaño de la barra.

1.6.4 Probetas utilizadas para ensayos de Torsión.

Las probetas más utilizadas son cilíndricas huecas o macizas, en muchas oportunidades se ensanchan los extremos para garantizar una correcta sujeción (Mesa & Uribe, 2016).

1.6.4.1 Criterios principales para la selección de las probetas de torsión.

1.- Las probetas deben ser de tal tamaño que permitan que las mediciones de deformación deseadas se logren con la exactitud adecuada.

2.- Debe tener tales proporciones que eliminen aquella porción de probeta sobre la cual se tomen las mediciones del efecto de los esfuerzos debidos a la sujeción de los extremos.

Los extremos deben ser tales que puedan sujetarse y asegurarse sin desarrollar esfuerzos suficientemente localizados para causar la falla en las mordazas. Ordinariamente las mordazas de los mandriles de la máquina adaptan la forma de bloques o transmisiones, algunos tipos de los cuales automáticamente aprietan según el torque es aplicado. Debe tenerse cuidado al sujetar la probeta para no introducir flexión. Usualmente se producen puntos de centrado en los mandriles de la máquina de torsión para la inserción en pequeños orificios de centrado a cada lado de la probeta; así la probeta puede centrarse exactamente en la máquina.

Es prácticamente imposible determinar la resistencia al corte hasta el límite proporcional de las fibras extremas de una probeta de torsión, sólida. Una delgada probeta tubular es preferible para la determinación de esta propiedad. Las probetas tubulares para determinaciones de la última resistencia al corte deben tener secciones cortas reducidas con una razón entre el largo de la sección reducida y el diámetro (L/D) alrededor de 0.5 y una razón entre el diámetro y el grueso (D/t) de aproximadamente 10 a 12.

Para determinaciones de la resistencia a la cadencia cortante y del módulo de rigidez, una probeta hueca que posea una longitud de cuando menos $10 \cdot \text{diámetro}$ y una razón entre el diámetro y el grueso de pared de aproximadamente 8 a 10, debe preferirse para su sección reducida (Espinoza, 1982).

Capítulo II: Guías de Prácticas de Laboratorio de Resistencia de Materiales I.

En este capítulo como en el siguiente se encontrará todo el material necesario, complementario para la preparación individual con vista al desarrollo de las Guías para las Prácticas de Laboratorios. Es sumamente importante que el estudiante domine previamente el material que se corresponde a la práctica que se desarrollará. Al final de la explicación de cada práctica aparecen una serie de preguntas cuyo objetivo fundamental es que el estudiante auto evalúe sus conocimientos sobre el fundamento teórico y sobre la técnica operatoria que rige el experimento. Para la confección de las mismas nos basamos fundamentalmente de las Guías de Practicas de Laboratorio de la Universidad de Villa Clara; así como de Resistencia de Materiales I. G.S. Fernández Levy; y el Manual de Prácticas de Laboratorio Resistencia de Materiales Afanásiev.

2.1 Guía de laboratorio para ensayo de tracción-compresión axial.

Práctica de laboratorio #1.

Tema: Tracción y Compresión Axial.

Título: “Ensayo de tracción de un metal”.

Tiempo de duración: 1 hora.

Objetivos:

1 - Verificación de algunas características de los materiales:

- Presencia del escalón de fluencia en los dúctiles.
- Formación del cuello y fractura en copa y cono.
- Liberación de energía en forma y calor.
- Presencia de tensiones tangenciales a 45 grados con la línea de acción de la carga.

- Evaluación de las características elásticas del material ensayado.

2.- Determinar las características mecánicas del material.

3.- Determinación experimental del Módulo de Elasticidad del material.
Verificación de la Ley de Hooke.

4.- Comparar los resultados experimentales con los teóricos.

5.- Comprobar la rapidez y exactitud en los cálculos, mediante el uso de la computación.

Indicaciones:

- Realizar un estudio del tema por medio del libro de texto, notas de conferencia y este folleto que permitan dominar los conocimientos necesarios para la realización del ensayo.
- Tener claro dominio de las distintas partes de la máquina en que se realizará el ensayo, así como la técnica operaria para este.
- Dominar las distintas expresiones que aparecen en el folleto y que permitirán los cálculos teóricos y experimentales.
- Observar durante el ensayo de la probeta los aspectos significativos que se ponen de manifiesto tales como: Escalón de fluencia, formación del cuello, descanso de la carga después de llegar a la carga máxima, rotura de la probeta y forma de la curva característica para cada material.
- Llevar al laboratorio el equipamiento necesario para trabajar en el mismo como es: lápiz, goma de borrar, regla o cartabón y tablas matemáticas o calculadoras.

2.1.1 Fundamentos Teóricos.

El ensayo de tracción es uno de los más difundidos de todos los ensayos mecánicos, este se realiza a barras especialmente preparadas según la norma establecida.

La probeta a ensayar se ajusta por sus extremos mediante las mordazas de la máquina de manera que su eje longitudinal coincida con el eje vertical de simetría de las mordazas o mandíbulas de sujeción y por tanto con la línea de aplicación de la carga.

Una vez colocada la probeta en la máquina de ensayo se le aplica la fuerza desde cero lenta y uniformemente hasta alcanzar la rotura de la probeta.

Por acción de la fuerza o carga, la barra se alarga y simultáneamente se hace más estrecha hasta que se rompe.

En la sección perpendicular al eje de la barra actúa la tensión principal y en una sección oblicua actuarán simultáneamente tensiones normales y tangenciales.

La tensión tangencial alcanza su valor máximo cuando sección considerada está a 45° con el eje de la barra. En algunos materiales esta tensión provoca desplazamiento relativo entre los cristales que se pueden observar a simple vista en la superficie pulida del material en forma de líneas, aproximadamente a 45° con el eje de la probeta.

Estas líneas son llamadas líneas de Chernov-Luders y aparecen solamente cuando el material a fluido (Ver Fig. 2.1.1).

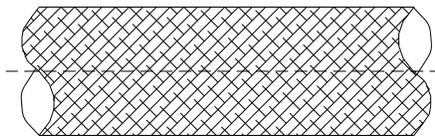


Fig. 2.1.1 Desplazamiento relativo entre los cristales.

Durante el ensayo la máquina registra en forma automática el gráfico que relaciona la carga aplicada con las deformaciones lineales que ha sufrido la probeta, es decir, se obtiene un diagrama en las coordenadas P vs. Δl .

El diagrama es distinto para cada material y lo será también para distintas dimensiones de la probeta (longitud y área) así como forma de la sección transversal.

Para que los resultados de los ensayos sean comparables de un material a otro y eliminar, por tanto, el efecto de las dimensiones y de la forma, el diagrama de tracción se lleva a otras coordenadas. En el eje de las ordenadas se sitúa la tensión normal.

Es decir:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2.1.1)$$

Donde:

A_0 - es el área inicial de la sección transversal de la probeta.

P - es el valor de la carga que se aplica.

En el eje de las abscisas se sitúa la deformación longitudinal unitaria, es decir:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.1.2)$$

Donde:

Δl – deformación longitudinal.

l_0 – longitud inicial.

Se situarán dos tipos de diagramas característicos.

Material dúctil: Aceros de bajo contenido de Carbono (Fig. 2.1.2)

Material frágil: Fundición gris o blanca, aceros con alto contenido de carbono (Fig. 2.1.3.)

En el diagrama se observan varias zonas.

OA - Zona de proporcionalidad. (ε Crece proporcionalmente a σ)

OB - Zona de elasticidad. (Recupera forma y dimensiones cuando se deja de aplicar la carga P)

CD - Zona de fluencia general. (Se deforma el material, no recupera su forma sus dimensiones)

DE -Zona de recuperación (El material se endurece)

EF -Zona de fluencia local. (Se forma el cuello en la zona donde se producirá la rotura)

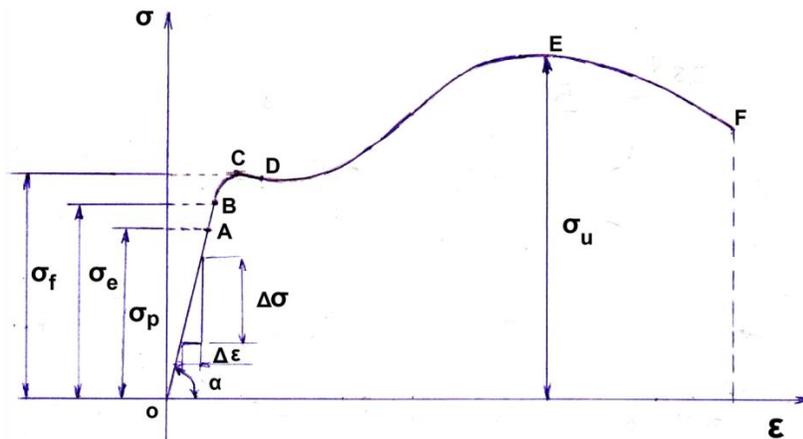


Fig. 2.1.2 Curva característica de un Material que se comporta como Dúctil.

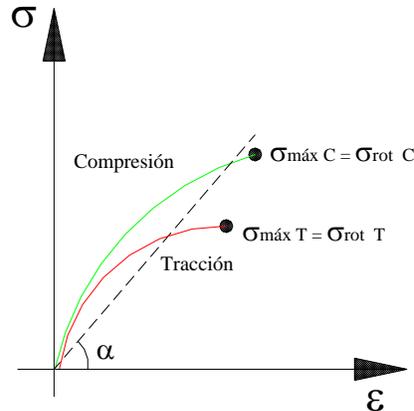


Fig. 2.1.3 Curva característica de un material que se comporta como Frágil.

Para el caso de la Fig. 2.1.2:

σ_p (**Límite de proporcionalidad**): hasta aquí las deformaciones crecen proporcionalmente a las tensiones. Es válida la Ley de Hooke.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.1.3)$$

σ_e (**Límite elástico**): Hasta aquí el material conserva sus propiedades elásticas, es decir que al descargar la probeta esta recupera su dimensión y forma original. En la práctica no se hace distinción entre ambas tensiones puesto que sus valores se diferencian muy poco.

σ_f (**Límite de fluencia**): Las deformaciones crecen sin aumentar la carga.

En el caso de ciertos materiales el diagrama de tracción no tiene un escalón de fluencia bien acentuado. Para estos materiales se introduce el llamado (Límite Convencional de Fluencia). Se denomina así a las tensiones correspondientes a una deformación residual del 0,2 % con respecto a la longitud inicial y se denota por 0,2.

σ_u (**Límite de resistencia**): Máxima tensión convencional que puede resistir el material. Esta es llamada también tensión última.

Cuando se sobrepasa la carga máxima en el caso de materiales plásticos la curva en el diagrama desciende. La deformación que hasta ese momento había sido uniforme a todo lo largo de la barra acaba por concentrarse en un solo lugar, para el cual la sección disminuye rápidamente produciéndose un cuello. Al

mismo tiempo la carga P disminuye sin interrupción hasta que la probeta se rompe en el lugar de menor sección a un valor de tensión σ_r .

σ_r : **(Tensión de rotura)**: Cómo puede verse esta tensión es inferior a la máxima. En todos estos casos el valor de la tensión obtenida es un valor convencional que se obtiene dividiendo el valor de la carga entre el área inicial de la probeta.

Las magnitudes σ_p , σ_e , σ_f y σ_u determinan las propiedades de resistencia del material y se determinan características mecánicas del material.

En la forma del diagrama pueden influir muchos factores.

Entre ellos están, el tipo de tratamiento térmico que haya recibido el material, los elementos de aleación, la velocidad de aplicación de la carga y la temperatura.

Para los materiales frágiles puede verse que las tensiones últimas y de rotura son iguales. También puede apreciarse que el gráfico desde su inicio aparece una curvatura, cosa que no ocurre en el de los materiales dúctiles.

2.1.2 Evaluación de la plasticidad del material:

La plasticidad de un material puede ser evaluada mediante la:

a) Ductilidad del material:

En el ensayo de tracción la medida de la plasticidad del material se expresa con la ayuda de la relación entre el alargamiento permanente total en el momento de la rotura y la longitud medida inicialmente.

$$\delta = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad (2.1.4)$$

donde:

l_0 - es la longitud inicial de la probeta.

l_f - es la longitud de la probeta después de rota.

δ - Se le conoce como % de elongación: es una medida de la ductilidad o fragilidad del material. A mayor % de elongación mayor ductilidad y a menor % de elongación, mayor fragilidad.

El alargamiento no es igual en todas las longitudes de la probeta, después del ensayo podrá apreciarse que en las cabezas el alargamiento ha sido menor que en los sitios donde ocurrió la rotura.

En los lugares de mayor alargamiento de la probeta se observa también la mayor disminución de la sección transversal.

b) Estricción: Reducción relativa en la sección transversal.

Al alargamiento de la barra está estrechamente ligado a la sección. Entonces la contracción a todo lo largo de la probeta de ensayo está distribuida de forma semejante a la distribución del alargamiento, es decir, cerca de la rotura está la mayor reducción, en tanto que, a ambos lados de la zona de rotura, la reducción relativa se determina en el lugar de la rotura y se calcula según la expresión.

$$\phi = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad (2.1.5)$$

donde:

A_f - área máxima de la sección de la probeta de ensayo en el lugar de rotura.

A_0 - área de la sección de la probeta antes del ensayo

ϕ - % de estricción del área: es también una medida relativa de la ductilidad y fragilidad. A mayor % de estricción del área mayor ductilidad y a menor % de estricción del área, mayor fragilidad.

2.1.3 Determinación del Módulo de Elasticidad:

Otra característica muy importante de material que se determina en el ensayo es el módulo de elasticidad o módulo de Young.

En la parte inicial de deformación de la probeta para la mayoría de los materiales, es válida la Ley de Hooke, según la ecuación (2.1.3)

Que expresa la proporcionalidad entre la deformación unitaria longitudinal (ε) y la tensión (σ).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.1.6)$$

De tal manera que el módulo de elasticidad puede ser determinado experimentalmente, si se traza la curva y posteriormente se mide su pendiente (Ver Fig. 2.1.3). En ella se puede apreciar que:

$$E = \tan \alpha = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2.1.6.1)$$

De aquí se deduce que mientras más elástico (dúctil) es el material menos valor tendrá el módulo de elasticidad, es decir, menor será el ángulo (α) de inclinación de la línea de proporcionalidad respecto al eje de ε .

Para el caso de los materiales frágiles como ya habíamos visto no se presenta la línea recta al principio, sino que su pendiente varía (Fig. 2.1.3) continuamente por lo que es necesario trazar una línea recta promedio, para determinar su pendiente y por tanto su módulo es elasticidad por la misma técnica y expresión anterior. Este módulo debe ser semejante al valor que aparece en la siguiente tabla en la que se relacionan algunos materiales.

Tabla 2.1.1 Módulos de Elasticidad para los diferentes materiales.

Materiales	E(MPa)	Materiales	E (MPa)
Acero	$(1,9\div 2,2) \cdot 10^5$	Hormigón	$(0,15\div 0,25) \cdot 10^5$
Cobre	$1 \cdot 10^5$	Madera	$(0,09\div 0,12) \cdot 10^5$
Hoyo (fundición)	$(0,75\div 1,6) \cdot 10^5$	Goma	$80 \cdot 10^5$
Aluminio	$0,8 \cdot 10^5$	Plástico fibra de vidrio	$(0,18\div 0,32) \cdot 10^5$
Bronce	$(0,9\div 1,2) \cdot 10^5$	Textolitas base algodón	
Plomo	$0,17 \cdot 10^5$	Fibra base especial papel	$(0,05\div 0,08) \cdot 10^5$
Cristal	$0,56 \cdot 10^5$		

Nota:

Buscar mayor fundamentación teórica, así como el mecanismo de las deformaciones en:

Mecánica de Materiales de Beer & Johnston (Libro de Texto Básico).

Resistencia de Materiales Tomo I de G.S Fernández Levy.

Resistencia de Materiales P.Stiopin.

2.1.4 Aplicación.

La aplicación más importante que tiene el conocimiento de las características mecánicas de los materiales, es la valoración de la resistencia del material y por tanto brinda las posibilidades para determinar la tensión permisible del material.

Donde:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{\eta} \quad (2.1.7)$$

Tensión límite del material (σ_{lim}). Es la tensión a partir de la cual, el material pierde su capacidad de trabajo.

Para materiales dúctiles: $\sigma_{lim} = \sigma_f$

Para materiales frágiles: $\sigma_{lim} = \sigma_r$

n: factor de seguridad, siempre es mayor que 1.

2.1.5 Descripción del Equipo.

Máquina Universal DNS- 200 fue diseñada y construida en el Changchun Research Institute for Testing Machine (CRITM) de la República Popular China, por lo que cumple con requerimientos necesarios de la National Standards of People's Republic of China GB10128 "Metallic material straction test at room temperature". Esta máquina permite realizar varios ensayos, entre ellos, tracción, compresión y flexión en tres puntos. En la Fig. 2.1.4 que aparece a continuación, se muestra la máquina universal de ensayo DNS-200 (Wang, 2008).

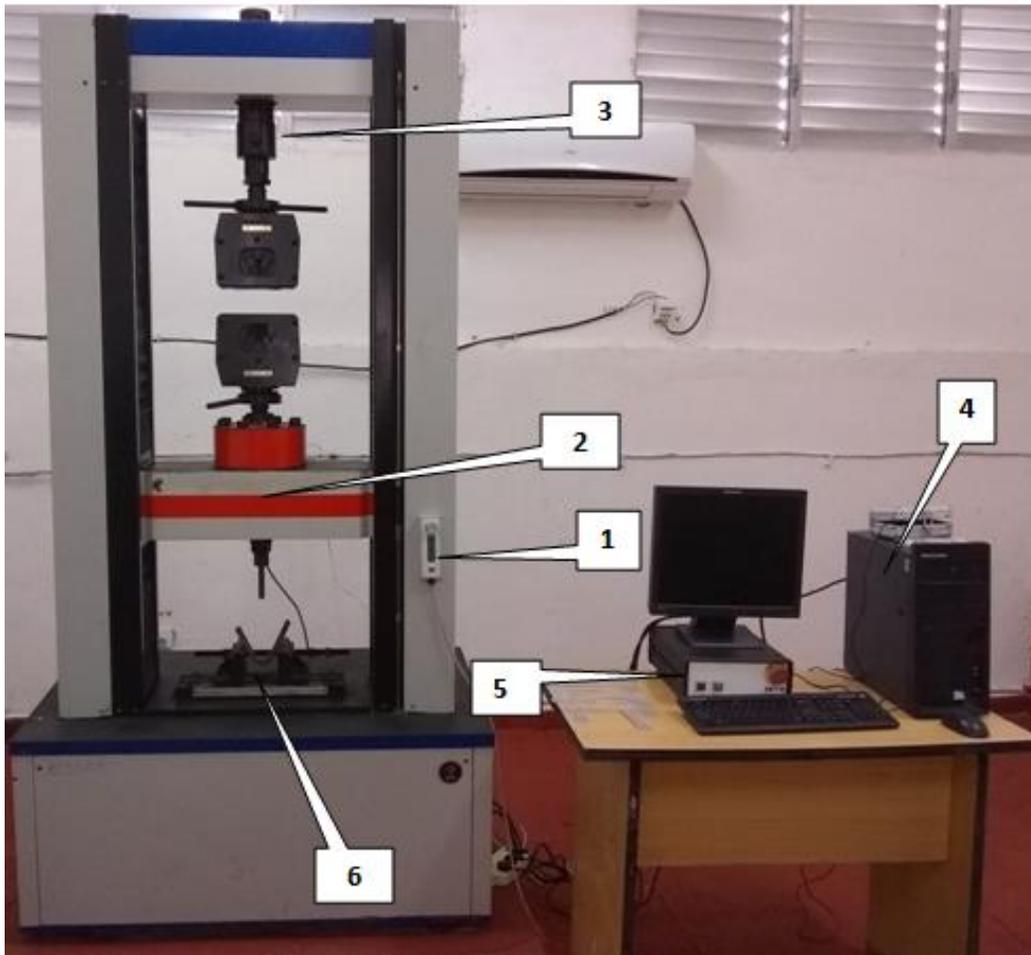


Fig.2.1.4 Máquina Universal de Ensayos Mecánicos DNS-200.

En la (Fig. 2.1.4) aparece:

1. Mando de ascenso manual del cabezal móvil
2. Cabezal móvil.
3. Cabezal fijo.
4. Computadora con sistema operativo Windows XP, tarjeta de captura de datos y llave del programa.
5. Caja de Control de la máquina de ensayo.
6. Cabezal fijo para compresión y flexión.

Hay que señalar que además de la máquina de ensayos es fundamental en el ensayo la utilización de probetas, así como pie de rey.

Las probetas metálicas estandarizadas para el ensayo de tracción tienen el aspecto, presentado en la (Fig. 2.1.5).

La longitud de la parte cilíndrica de la probeta es igual a $11d$, siendo d el diámetro de la misma. La longitud $L_0 = 10d$ se llama longitud de cálculo de la probeta, a estas probetas se les llama probetas largas y son más utilizadas en la práctica ya que permiten un mayor ahorro de material.

Además de estas probetas se pueden utilizar probetas rectangulares.

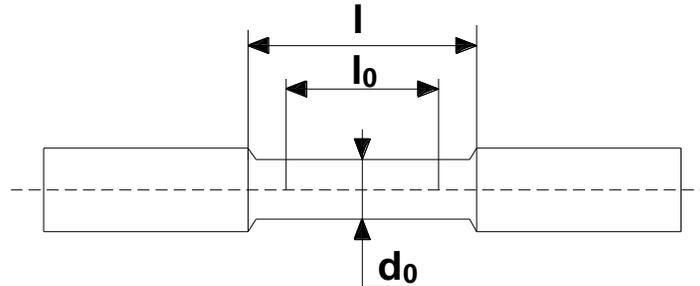


Fig. 2.1.5 Probetas metálicas estandarizadas.

El pie de rey se utilizará para medir las dimensiones de la probeta antes y después del ensayo.

2.1.6 Técnica Operatoria.

1. Se enciende la computadora (4). La sesión de trabajo desde la que se controla el software TextExpert.NET.
2. Una vez encendida la computadora se ejecuta el software que controla la máquina de ensayos. Se procede a realizar la alimentación de la caja de control de la máquina (5) accionando el interruptor correspondiente.
3. Se realiza la conexión entre la máquina de ensayos y la computadora.
4. Antes de colocar las probetas en la máquina se miden cuidadosamente con el pie de rey tanto el diámetro como la longitud de cálculo, la cual será marcada en la probeta mediante un punzón. Posteriormente se coloca la probeta en el cabezal fijo (3) y mediante los botones de bajar y subir, presente en la caja de control manual (1) se ubica el cabezal móvil (2) hasta la posición en la cual la probeta quede fija entre los dos dispositivos que tienen la función de realizar la sujeción de la misma.
5. Una vez fijada la probeta se procede a la configuración del experimento en el software TextExpert.NET para que este controle la máquina de ensayos durante el experimento.

6. Para configurar el ensayo en el menú desplegable *MethodType* se escoge la opción *Traction*. Luego se selecciona en el marco *Samples Status* la forma de la probeta y se le proporcionan al programa los valores de las dimensiones de la sección transversal de la misma. Luego en la pestaña *Control and Collection* debe escogerse una velocidad pequeña. Se selecciona también la escala de carga a utilizar.

7. Comenzar el ensayo.

Cuando estos comiencen a moverse se podrá observar en la computadora la gráfica del proceso.

En esta primera fase el comportamiento del diagrama es de una línea recta. Cuando la carga se esté acercando a 90 o 100 KN para el acero el carbono, hay que prestar cuidadosa atención a la probeta pues se estará llegando a la fluencia del material y es necesario registrar este valor de carga correspondiente al límite de fluencia.

Seguimos aplicando la carga y se observa que el diagrama toma pendiente negativa. Cuando sea línea llegue a su punto máximo se estará en presencia de la carga máxima que puede soportar la probeta y que corresponde a $P_{\text{máx}}$. En este momento se toma la lectura correspondiente a dicha carga.

Otra señal que indica que se llegó a la carga máxima es el hecho de que la máquina no entrega más carga.

A partir de aquí, comienza a producirse en una zona de la probeta una reducción brusca de su sección transversal y el mismo tiempo la carga comienza a caer ya que la probeta trata de mantener su equilibrio interno.

Durante este período se podrá observar en el diagrama un descenso de las cargas aplicadas con respecto al alargamiento que va a sufrir la probeta, pues inesperadamente se producirá la rotura.

Se retiran las partes en que quede dividida la probeta, las cuales se unen a tope para medir con el pie de rey las medidas correspondientes a la longitud final y el diámetro en la sección reducida. Para medir la longitud final se tomará como puntos de referencia dos marcas hechas con el punzón antes de comenzar el ensayo.

Por último, se anotan las características del tipo de rotura que presenta la probeta.

Como segunda parte del ensayo se procede a romper una probeta de material frágil pero solo prestaremos atención a la forma de la rotura y a las características del diagrama de carga contra deformación.

2.1.7 Datos iniciales y Cálculos Teóricos.

Dentro de los datos iniciales tenemos:

l_0 - longitud de cálculo de la probeta.

d_0 - Diámetro inicial de la probeta

A_0 - Área inicial de la probeta (Sección Transversal)

E_T - Módulo de elasticidad de primer orden teórico (este dato no es necesario, pero si se cuenta con él podemos comparar los resultados obtenidos con los teóricos)

Tabla 2.1.2 Datos iniciales para el Cálculo de la probeta cilíndrica.

Material	d_0 (mm)	l_0 (mm)	A_0 (mm ²)	E_T (MPa)

Tabla 2.1.3 Datos iniciales para el Cálculo de la probeta rectangular.

Material	l_0 (mm)	S_0 (mm)	b_0 (mm)	A_0 (mm ²)	E_T (MPa)

2.1.7.1 Cuadro de anotaciones, Procesamiento de datos y Resultados Experimentales.

Los valores de carga P, los desplazamientos δ_A y δ_B , así como la deformación unitaria (ϵ), se anotarán en las columnas 2, 4, 5, y 7 del cuadro No.1, mostrado más adelante.

Para cada valor de P se calculan los valores de σ según (2.1.1):

Siendo;

$$A_0 = \frac{\pi d^2}{4} = 0.785 * d_0^2 \tag{2.1.8}$$

Para cada valor δ_A y δ_B se calculará δ según:

$$\delta = \frac{\delta_A + \delta_B}{2} \quad (2.1.9)$$

Para cada valor de δ se calculará ε según la ecuación (2.1.2).

Para cada par de valores sucesivos de σ se halla su incremento. De igual forma se procede con ε .

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 \quad (2.1.10)$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \quad (2.1.11)$$

Se calculan las $\sum\Delta\sigma$ y $\sum\Delta\varepsilon$. Con estos valores se halla $\Delta\sigma_{prom}$ y $\Delta\varepsilon_{prom}$ respectivamente.

Se calcula E según:

$$E_{prom} = \frac{\Delta\sigma_{prom}}{\Delta\varepsilon_{prom}} \quad (2.1.12)$$

Se calcula el % de error en el cálculo experimental de E para lo cual se toma el valor teórico de E_T dado en los datos iniciales:

$$\% \text{ error} = \frac{E_{prom} - E_T}{E_{prom}} * 100 \quad (2.1.13)$$

Se calcula el % de elongación por la ecuación:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.1.14)$$

Se calcula el % de estricción por la ecuación:

$$\phi = \frac{A_0 - A}{A_0} \quad (2.1.15)$$

Se calcula el límite de fluencia según la ecuación (2.1.1) pero aplicada para fluencia:

$$\sigma_F = \frac{P_F}{A_0}$$

Se calcula el límite máximo según (2.1.1) pero aplicada para Límite Máximo:

$$\sigma_U = \frac{P_U}{A_0}$$

Se calcula el límite de Rotura según (2.1.1) pero aplicada para Límite de Rotura:

$$\sigma_r = \frac{P_r}{A_0}$$

Se adjuntará un gráfico de σ vs. ϵ con su pendiente calculada que debe ser igual a E_{Prom} . Además, un programa para el procesamiento de los datos en el lenguaje que usted domine, con la corrida correspondiente del mismo.

Cuadro 2.1.1

No. Lect.	Carga P (KN)	Tensión σ (MPa)	Desplazamiento δ (mm)	Deform. Unitaria ϵ
1				
.				
6				

Cuadro 2.1.2

No. Lect.	Incrementos	
	$\Delta\sigma$ (MPa)	$\Delta\epsilon \cdot 10^{-4}$
1		
.		
5		
	$\sum\Delta\sigma =$	$\sum\Delta\epsilon =$
	$\Delta\sigma_{prom} =$	$\Delta\epsilon_{prom} =$

2.1.8 Preguntas de Autocontrol.

- 1.- ¿Qué entiendes por Tensión?
2. ¿Qué plantea la Ley de Hooke, ¿Cuál es su expresión matemática?
3. ¿Qué es fluencia? ¿Se pone de manifiesto en todos los materiales?
- 4.- Dibuje el diagrama convencional de σ vs. ϵ para el acero al carbono.
- 5.- Señale tres de las partes de la máquina de ensayo que considere importante en su funcionamiento.
- 6.- ¿Cómo puede determinarse el módulo de elasticidad experimentalmente?
- 7.- ¿Presentan todos los materiales el escalón de fluencia? ¿Explique sobre la base del comportamiento de los mismos?
- 8.- ¿Mediante qué características se puede establecer la plasticidad del material?

2.2 Guía de laboratorio para Ensayo de Torsión.

Práctica de laboratorio #2.

Tema: “Torsión”.

Título: “Ensayo de torsión en barras circulares.”

Tiempo de duración: 1 hr.

Objetivos:

- 1) Determinación del módulo de elasticidad de segundo orden o a la distorsión.
- 2) Comprobación de la validez de la ley de Hooke durante la torsión.
- 3) Comprobar la rapidez y exactitud de los cálculos mediante el uso de la computación.

Indicaciones:

- Realizar un estudio del tema por medio del libro de texto que les permita dominar la teoría necesaria para la realización del ensayo.
- Estudiar detenidamente el folleto con el fin de ganar claridad en el ensayo a realizar.
- Tener dominio de las distintas expresiones que permiten el cálculo teórico y experimental de los distintos aspectos.
- Llevar al laboratorio el equipamiento necesario para trabajar en el mismo como es lápiz, goma de borrar, regla o cartabón, regla de cálculo, tablas matemáticas y calculadoras.

2.2.1 Fundamentos Teóricos.

Se denomina Torsión a la deformación que sufre una barra bajo la acción de un par de fuerzas que actúan en el plano de su sección transversal.

Durante la torsión de una barra, sus secciones transversales giran un ángulo φ_1 , φ_2 , φ_3 φ_n

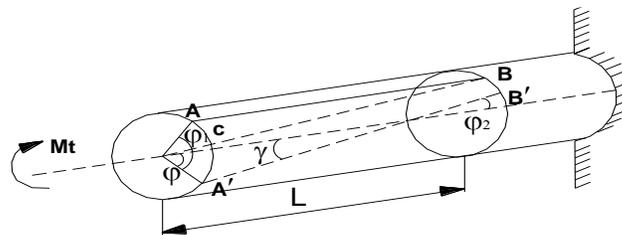


Fig. 2.2.1 Ángulos de giro durante la Torsión de una barra.

Se denomina Angulo de Giro (φ) de la barra, al giro de una sección transversal con respecto a otra tomada como referencia existiendo entre ellas una longitud determinada (l) (Ver Figura 2.2.1)

Así pues:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (2.2.1)$$

Si trazamos una paralela CB' a AB , aparecerá el ángulo γ formado por $CB'A'$ el cual se denomina Angulo de desplazamiento relativo o deformación angular.

Si analizamos, se puede establecer una relación matemática y física entre estos dos ángulos. De la propia (Fig. 2.2.1) se tiene que $\varphi \approx \text{COA}$ por construcción. Por lo tanto:

Como que estos ángulos son muy pequeños, su tangente puede considerarse igual al ángulo. Por lo tanto:

$$\tan \varphi = CA' / \gamma \quad (2.2.2)$$

Y,

$$\tan \gamma = CA' / l \quad (2.2.3)$$

De donde:

$$\varphi r = \gamma * l \quad (2.2.4)$$

Es decir:

$$\gamma = \frac{r}{l} \quad (2.2.5)$$

Esta expresión será muy útil para la elaboración de los datos obtenidos de la práctica.

En la teoría de la torsión en barras circulares se aplica la hipótesis de las secciones planas o de Bernoulli.

2.2.1.1 Las principales tesis de esta hipótesis son las siguientes:

- 1.- Las secciones de la barra que son planas y perpendiculares al eje de la barra antes de la deformación, permanecerán planas y perpendiculares al eje después de la deformación.
- 2.- Los radios de las secciones de la barra permanecen constantes después de la deformación.

Partiendo de estos planteamientos, se puede convencionalmente imaginar la barra como si estuviera compuesta por un gran número de discos finos y rígidos situados sobre un eje.

De esta forma podemos plantear que durante la torsión una de la otra, se encuentra en condiciones de Cortante Puro, es decir no aparecen Tensiones Normales en ninguna de sus caras.

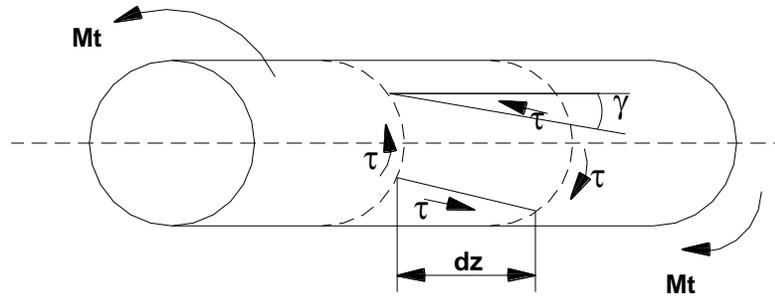


Fig. 2.2.2 Barra en condiciones de Cortante Puro

Por la teoría del Cortante Puro se conoce que la magnitud del ángulo de desplazamiento relativo (γ), guarda una relación directa con la magnitud de la Tensión Tangencial (τ) por medio de la Ley Hooke.

$$\tau = G * \gamma \tag{2.2.6}$$

donde:

G: Es el módulo de Elasticidad de Segundo Orden o Módulo de Elasticidad a la Distorsión del Material ensayado.

Se verá ahora la relación que existe entre la Tensión Tangencial (τ) y el ángulo de giro de la Sección (φ) con el Momento Torsor (M_t) aplicado. Si se tiene una Sección Transversal como la de la (Fig. 2.2.3) de la cual se quiere analizar un área infinitesimal dA , será necesario establecer el equilibrio de ese elemento, teniendo en cuenta que a la barra se le ha aplicado un momento torsor (M_t) o sea:

$$M_t = \int \tau \cdot l dA \tag{2.2.7}$$

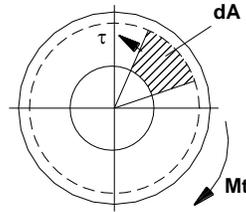


Fig. 2.2.3 Sección transversal para analizar un área infinitesimal.

donde:

(ρ): es la distancia desde el centro hasta la fibra de la sección transversal que se analiza.

Así pues, después de algunas sustituciones y transformaciones matemáticas se tiene que:

$$\tau = \frac{Mt.l}{I_p} \quad (2.2.8)$$

$$\varphi = \frac{Mt.l}{\theta.I_p} \quad (2.2.9)$$

donde:

(I_p): es el momento polar de inercia, que dependerá de la sección transversal (recordar de la estática).

De manera que:

Para una sección Circular:

$$I_p = \frac{\pi.D^4}{32} = 0,1.D^4 \quad (2.2.10)$$

Para una sección anular de paredes gruesas:

$$I_p = \frac{D^4}{32} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right) \quad (2.2.11)$$

Para una sección anular de paredes finas:

$$I_p = \frac{4.A^4}{\int_s \frac{ds}{\delta}} \quad (2.2.12)$$

Analizando (2.2.13) y (2.2.14) se ve que los valores máximos de τ y φ se obtienen para un valor de Mt determinado, cuando $\rho = r$

$$\tau_{\text{máx.}} = \frac{Mt_{\text{MAX}} \cdot r}{I_P} \quad (2.2.13)$$

$$\varphi_{\text{may}} = \frac{Mt_{\text{MAX}} \cdot r}{G \cdot I_P} \quad (2.2.14)$$

Pero por estática se conoce que el Módulo Polar de la Sección (W_p), es:

$$W_p = \frac{I_P}{r} \quad (2.2.15)$$

Sustituyendo en (2.2.13) y (2.2.14) tendremos que:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{Mt_{\text{MAX}} \cdot}{W_p} \quad (2.2.16)$$

$$\varphi_{\text{max}} = \frac{Mt_{\text{MAX}}}{G \cdot W_p} \quad (2.2.17)$$

El módulo polar W_p expresado por la ecuación (2.2.15) también depende de la forma de la sección transversal:

Para una sección Circular

$$W_p = 0,2 * D^3 \quad (2.2.15.1)$$

Para una sección Anular de paredes gruesas:

$$W_T = 0,2 D^3 (1 - d^4/D^4) \quad (2.2.15.2)$$

Para una sección Anular de paredes delgadas:

$$W_p = 2 * A \cdot \delta_{\text{min}} \quad (2.2.15.3)$$

donde:

(δ_{min}): es el espesor mínimo de la pared.

$$A = \pi * R^2 \quad (2.2.18)$$

siendo: R el radio hasta la línea media del espesor de la pared.

La expresión (9) del ángulo de giro lleva el nombre de Ley de Hooke durante la Torsión y esta es otra forma de expresarla.

Se ha demostrado en clases, que existe una relación entre G, el módulo de elasticidad normal del material (E) y el coeficiente de Poisson (μ), dicha relación es como sigue:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (2.2.19)$$

Uno de los objetivos de la práctica es precisamente determinar el valor de G empíricamente y compararlo con este valor obtenido en forma teórica.

2.2.2 Descripción del equipo.

El equipo está representado en la Fig. 2.2.4. La probeta o barra a ensayar (1) está sostenida por los pedestales (2).

En D se encuentra fija (soldada) y en C aparece montada en rodamiento que permiten el giro libre. Unida firmemente a la barra (1) se encuentra la palanca (3), la cual servirá para transmitir el torque a la barra, mediante un sistema de poleas (4) y de cables (6). Las poleas están sostenidas por el soporte (5).

Fijos a la barra (1) en los puntos A y B se encuentran los brazos (7), los cuales deben transmitir a los indicadores de carátula o extensómetros (8) el desplazamiento o giro que se produce en la barra ensayada al ser aplicada la carga mediante las pesas (9).

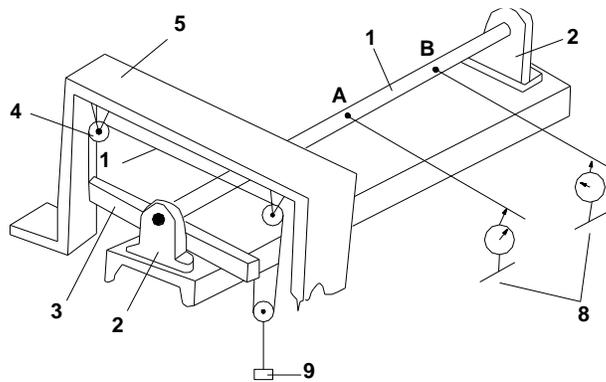


Fig. 2.2.4 Equipo para realizar Ensayos de Torsión.

2.2.3 Técnica operatoria para la realización del Ensayo.

En la figura 2.2.4 está representada la barra (1) que se tomará para el ensayo y que es un tubo de paredes delgadas.

Véase de nuevo la (Fig. 2.2.4) y se denotará que los elementos en ella señalados se corresponden en su nomenclatura con los de las (Fig. 2.2.5) y (Fig. 2.2.6). Es necesario colocar esto, porque se hará referencia a los elementos y

parámetros indistintamente de las tres figuras. Los brazos (7) se fijan a la barra (1) en los puntos A y B a una determinada distancia (L) uno del otro.

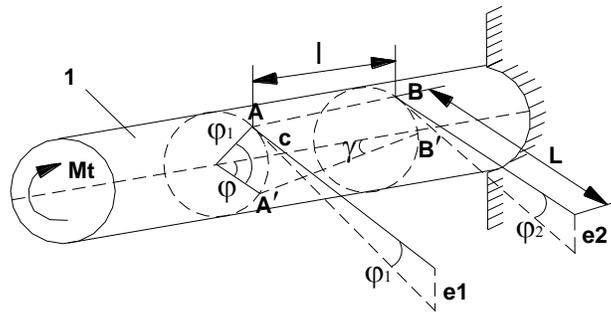


Fig. 2.2.5 Barra para la realización del Ensayo.

Debajo y perpendicularmente a los brazos (7), a una distancia determinada (L), se fijan los indicadores de Carátula (8) y los mismos se calibran hasta que haciendo contacto con los brazos (7), sin cargar la probeta, la aguja en cada una de las escaleras de los indicadores marque el valor Cero. Debe observarse bien que, al comenzar a aplicar carga sobre la probeta, los indicadores (8) comiencen a indicar una deformación simultáneamente. Generalmente, para reducir el tiempo del ensayo, estas operaciones se realizan de antemano y el alumno comienza a trabajar en el laboratorio con los Extensómetros ya ajustados.

Los indicadores (8) miden el desplazamiento lineal e y e_2 respectivamente después de aplicada la carga externa. En estas condiciones se le aplica al sistema la carga mediante las pesas (9) la carga aplicada (P) provoca que el elemento (3) produzca un par torsional sobre la probeta (1).

El valor del momento torsor se deduce analizando la Fig. 2.2.5 Para cada valor de P , habrá un valor del momento torsor y, por lo tanto, habrá un valor de e_1 y e_2 .

Es bueno recordar que, al aplicarse la carga, el punto A se desplazará hasta A' y, por tanto, la sección en cuestión en cuestión gira un ángulo de giro φ (Fig. 2.2.5) Y ese mismo ángulo será el que describe el brazo (7) al desplazarse producto de la carga aplicada.

Lo mismo ocurre con la sección B. Por todo lo explicado es factible determinar el ángulo de giro de la sección, para cada valor de M_t , conociendo los valores de desplazamiento (δ) que indiquen los extensómetros (8).

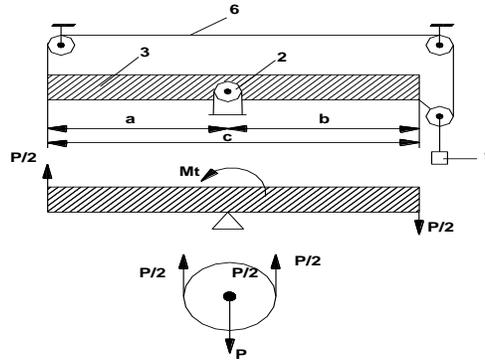


Fig. 2.2.6 Valores del Momento Torsor para cada valor de P.

Pero como los ángulos de giro son muy pequeños, la tangente puede considerarse igual al ángulo.

$$\varphi_1 = \frac{e_1}{L} \quad (2.2.20)$$

Y,

$$\varphi_2 = \frac{e_2}{L} \quad (2.2.20.1)$$

Pero como lo que interesa es la diferencia entre estos dos ángulos, cuyo valor es en realidad el ángulo de giro de la sección en la longitud, (Ver Fórmula 1).

$$\varphi = \frac{1}{L}(e_1 - e_2) \quad (2.2.21)$$

Sustituyendo (2.2.21) en (2.2.5), se tiene el valor de la deformación angular o desplazamiento angular relativo (γ):

$$\gamma = \frac{1}{L}(e_1 - e_2) \frac{r}{l}$$

Entonces,

$$\gamma = \frac{r}{Ll}(e_1 - e_2) \quad (2.2.22)$$

Como que para cada valor de Mt se tendrá valores determinados de e_1 y e_2 el valor de γ variará en la misma medida que varía $(e_1 - e_2)$, manteniéndose constante $\frac{r}{Ll}$ y que se le llamará K_1 , es decir:

$$K_1 = \frac{r}{l} * L \quad (2.2.23)$$

por lo que si sustituimos en (2.2.22)

$$\gamma = K_1(e_1 - e_2) \quad (2.2.24)$$

Si se analiza la expresión (2.2.16); se verá que el valor de la tensión tangencial (τ), varía directamente con el valor del momento torsor (Mt) aplicado, es decir:

Pero en el caso del experimento que se desarrollará, se trata de un tubo de paredes delgadas, donde $W_p=W_t$ y su expresión es (ver capítulo de torsión en barras de sección transversal no circular) (si la relación $C = \frac{d}{D} \leq 0.8$) como sigue:

Ejemplo:

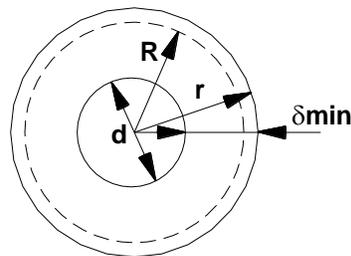


Fig. 2.2.3 a. Tubo de paredes delgadas

$$W_T = 2A \delta_{\min}$$

donde:

$$A = \pi R^2$$

Sustituyendo todo esto en (2.2.16)

$$\tau = \frac{Mt}{2.A.\delta_{\min}} = \frac{Mt}{2.\pi.R^2.\delta_{\min}}$$

Siendo constante el denominador de esta expresión, y al cual se le llamará K_2 , o sea:

$$K_2 = 2 * \pi * R^2 \delta_{\min} \quad (2.2.25)$$

Sustituyendo se tiene que:

$$\tau = \frac{Mt}{K_2} \quad (2.2.26)$$

La obtención de los valores de τ y γ (expresiones 2.2.25 y 2.2.26) es de suma importancia ya que con ellos se determinará el valor del Módulo de Elasticidad

de Segundo Orden G y se verificará la Ley de Hooke a Torsión, es decir, se dará cumplimiento a los objetivos de la práctica.

2.2.4 Datos iniciales para Cálculos Teóricos:

Antes de comenzar el ensayo propiamente dicho y tabular los parámetros obtenidos, deben tomarse del equipo y de la probeta, algunas magnitudes necesarias para posteriormente elaborar los datos, estos son:

Tabla 2.2.1 Datos necesarios sobre las probetas y el equipo.

Material de la probeta	R (cm)	L (cm)	l (cm)	δ_{\min} . (cm)	c (cm)	R (cm)

Siendo estos datos:

r - radio exterior del tubo o probeta (1) que se ensaya.

$$r = \frac{D_{ext}}{2} \quad (2.2.27)$$

L- longitud de cada brazo (7)

l - distancia entre las dos secciones analizadas (7)

δ_{\min} . - espesor mínimo:

$$\delta_{\min} = \frac{D - d}{2} \quad (2.2.28)$$

C- longitud de la palanca (3)

R- radio de la probeta hasta la línea media del espesor de la pared.

$$R = \frac{D + d}{4} \quad (2.2.29)$$

Con estos datos se calculan K_1 y K_2 .

2.2.4.1 Cuadros de anotaciones, Procedimiento de datos y Resultados Experimentales.

Los valores de carga P y de los desplazamientos lineales obtenidos en la práctica se anotarán en las columnas 2, 4 y 5 del cuadro No.2.2.1

El procesamiento de los datos se hará de la siguiente forma:

Para cada valor de P se obtiene el valor del Mt según:

$$M_t = \frac{P.C}{2} \quad (2.2.30)$$

Para cada valor de Mt se calcula τ según:

$$\tau = \frac{M_t}{K_2} \quad (2.2.31)$$

Calculando K_1 por la ecuación (2.2.25)

Para cada par de lecturas e_1 y e_2 se calcula su diferencia y se lleva este resultado a cm.

Se calcula γ según:

$$\gamma = K_1(e_1 - e_2) \quad (2.2.32)$$

Donde K_1 se calcula por la ecuación (2.2.23)

Para cada par de valores sucesivos de τ se halla su incremento. De igual forma se procede con γ .

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 \quad (2.2.33)$$

$$\Delta\gamma = \gamma_2 - \gamma_1 \quad (2.2.34)$$

Se calculan las $\sum\Delta\tau$ y $\sum\Delta\gamma$, con estos valores se hallan $\Delta\tau_{prom}$ y $\Delta\gamma_{prom}$ respectivamente.

Se calcula G según la ecuación:

$$G_p = \frac{\Delta\tau_{PROM}}{\Delta\gamma_{PROM}} \quad (2.2.35)$$

Se calcula el % de error en el cálculo de G para lo cual el valor de G teórico debe hallarse según:

$$\% \text{ de error} = \frac{G_p - G_T}{G_p} \cdot 100 \quad (2.2.36)$$

Donde;

$$G_T = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (2.2.37)$$

Los valores de E y μ para el acero deben tomarse del libro de texto.

Se adjuntará un gráfico de τ vs. γ con su pendiente calculada y que debe ser igual a G_p .

El resultado de cada cálculo realizado se anotará en el lugar correspondiente de los cuadros No.2.2.1 y No.2.2.2.

Cuadro 2.2.1

No. Lect.	Carga P (KN)	Mt (KN.cm)	Desplazamientos lineales			
			e_1 (micras)	e_2 (micras)	$(e_1 - e_2)$ (micras)	$(e_1 - e_2)10^{-5}$ (cm)
1						
.						
8						

Nota: 1 pulgada= 2.54 cm.

Cuadro 2.2.2

No. Lect.	Tensión. Tangencial (τ) (MPa)	Deformación angular (γ)	Incremento de tensión $\Delta\tau$ (MPa)	Incremento de deformación. $\Delta\gamma$ (cm)
1				
.				
.				
8				
			$\sum\Delta\tau =$	$\sum\Delta\gamma =$
			$\Delta\tau_{PROM} =$	$\Delta\gamma_{PROM} =$

2.2.5 Preguntas de Autocontrol:

1. ¿Por qué al verificar gráficamente la Ley de Hooke se hace en un gráfico de τ vs. γ y no en el de Mt vs. ϕ ?. Explique.
2. ¿A qué llamamos Torsión?

3. Enuncie La ley de Hooke aplicada a la torsión y escriba su expresión matemática.
4. ¿Qué estado tensional se origina en una barra circular sometida a torsión?
5. ¿Cómo podemos obtener prácticamente el Módulo de Elasticidad de Segundo Orden?
6. ¿Cómo se puede obtener en una barra sometida a torsión el M_t ?
7. ¿Qué dependencia existe entre τ y M_t y entre γ y ϕ ?

2.3 Guía de Laboratorio para Ensayo de Flexión.

Práctica de Laboratorio No. 3

Tema: “Flexión”

Título: “Ensayo de flexión plana en vigas.”

Tiempo de duración: 2 horas.

Objetivos.

- 1).- Determinar la deformación lineal y angular en algunas secciones de una viga para cualquier caso simple de flexión plana.
- 2).- Comparar los resultados teóricos con los obtenidos experimentalmente.

Indicaciones.

- Realizar un estudio del tema mediante el libro de texto, las notas de conferencia, los ejercicios resueltos en las clases prácticas y este folleto que le permitan dominar los conocimientos necesarios para la realización del ensayo.
- Tener claro dominio de la técnica operatoria para la realización del ensayo.
- Dominar las diferentes expresiones matemáticas que le permitan realizar los cálculos teóricos.
- Llevar al laboratorio el equipamiento necesario para trabajar en el mismo como es, lápiz, goma de borrar, regla o cartabón y tablas matemáticas o calculadora.

2.3.1 Fundamentos Teóricos.

Cuando se somete una viga a Flexión plana, pueden surgir en cualquiera de sus secciones transversales dos tipos de deformaciones: Lineales y angulares.

Para determinar estas deformaciones se puede aplicar el método de la integración directa de la ecuación diferencial aproximada de la línea elástica, o si

las condiciones le permiten pueden aplicarse la ecuación universal de la elástica, o sea el método de los parámetros de origen. Para aplicar este método es necesario que la viga sea de rigidez constante.

A continuación, se muestran algunos esquemas de fijación de carga en las vigas y se dan las expresiones mediante las cuales puede calcularse la deformación lineal y angular.

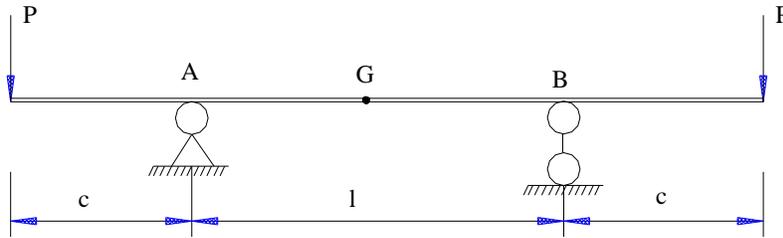


Fig.2.3.1 Esquema de fijación de carga en las vigas

Se muestra una viga sobre dos apoyos en voladizos y carga en los extremos.

La flecha de la viga en el centro (punto G) puede calcularse por la expresión:

$$Y_g = P * \frac{Cl^2}{8EI_x} \tag{2.3.1}$$

Los ángulos de giro en los puntos A y B sobre los apoyos se calcularán por la expresión:

$$\theta_A = \theta_B = \frac{P * Cl}{2 * EI_x} \tag{2.3.2}$$

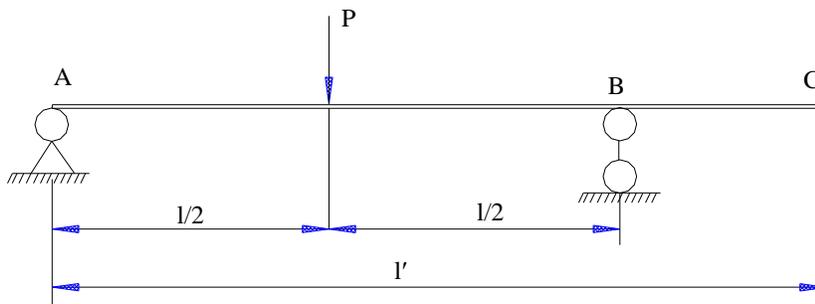


Fig.2.3.2 Esquema de fijación de carga en las vigas.

Viga simplemente apoyada, la carga se aplica en el punto medio de los apoyos.

La flecha puede calcularse por la expresión:

$$Y_c = P * \frac{l^3}{16EI_x} \tag{2.3.3}$$

El ángulo de giro en los apoyos será calculado por la expresión:

$$\theta_B = -\frac{P * l^2}{16EI_x} \quad (2.3.4)$$

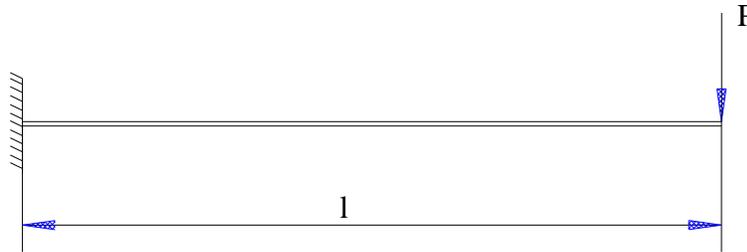


Fig.2.3.3 Esquema de fijación de carga en las vigas.

Viga de voladizo con carga concentrada en el extremo libre.

La flecha en el extremo libre se calcula por la expresión:

$$Y = \frac{P * l^3}{3EI_x} \quad (2.3.5)$$

El ángulo de giro en este mismo lugar se calcula por la expresión:

$$\theta = \frac{Pl^2}{2EI_x} \quad (2.3.6)$$

Es recomendable que los estudiantes deduzcan a partir de la ecuación universal las expresiones para calcular la flecha y el desplazamiento angular que acompaña cada uno de los esquemas dados.

2.3.2 Descripción del equipo.

En este caso vamos a utilizar la máquina universal de ensayo, el estudiante debe remitirse al folleto de la práctica No. 1 y estudiará de ella nuevamente la descripción del equipo.

2.3.3 Técnica Operatoria.

1. Se enciende la computadora (4). La sesión de trabajo desde la que se controla el software TextExpert.NET.
2. Una vez encendida la computadora se ejecuta el software que controla la máquina de ensayos. Se procede a realizar la alimentación de la caja de control de la máquina (5) accionando el interruptor correspondiente.
3. Se realiza la conexión entre la máquina de ensayos y la computadora.

4. Antes de colocar las probetas en la máquina se miden cuidadosamente con el pie de rey todas sus dimensiones. Posteriormente se coloca la probeta en el cabezal fijo (6) y mediante los botones de bajar y subir, presente en la caja de control manual (1) se ubica el cabezal móvil (2) hasta la posición en la cual la probeta quede fija entre los dos dispositivos.

5. Una vez fijada la probeta se procede a la configuración del experimento en el software TextExpert.NET para que este controle la máquina de ensayos durante el experimento.

6. Para configurar el ensayo en el menú desplegable *MethodType* se escoge la opción *Flexion*. Luego se selecciona en el marco *Samples Status* la forma de la probeta y se le proporcionan al programa los valores de las dimensiones de la sección transversal de la misma. Luego en la pestaña *Control and Collection* debe escogerse una velocidad pequeña. Se selecciona también la escala de carga a utilizar.

7. Comenzar el ensayo.

A continuación, mostramos los esquemas de análisis por el cual podemos realizar los cálculos:



Fig.2.3.4 Modo de fijación de carga en las vigas.

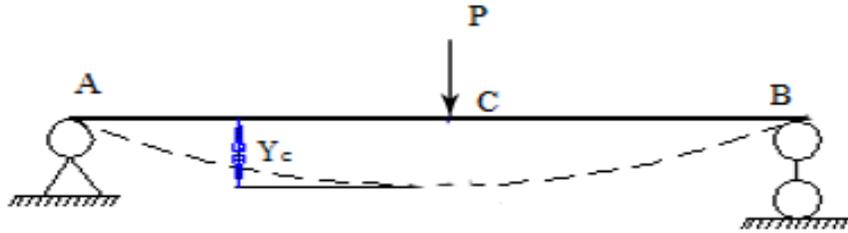


Fig.2.3.4 Esquema de fijación de carga en las vigas.

2.3.4 Datos iniciales y Cálculos Teóricos.

Material del cual está construido la viga.

E- Módulo de elasticidad del material a ensayar.

l' - Longitud total de ensayo de la viga.

l/2 - Longitud de los apoyos al punto de aplicación de la carga.

b - Base de la sección transversal de la viga.

h - Altura de la sección transversal de la viga.

Tabla 2.3.1 Datos iniciales.

Material de la viga	l'(cm)	b (cm)	h (cm)	E (MPa)	l/2 (cm)

Para determinar teóricamente la deformación lineal del punto C es necesario partir de los parámetros de origen utilizándose entonces la expresión (2.2.3).

Mientras que para determinar la deformación angular en B y teniendo en cuenta los parámetros del origen, se utilizará la expresión (2.3.4).

Hay que señalar que en este caso se evalúa para $Z = l'$ la ecuación universal.

Es importante además que el estudiante al hacer el cálculo teórico considere como valor de P el valor de ΔP utilizado en el ensayo.

2.3.4.1 Cuadro de anotaciones, Procesamiento de datos y Resultados Experimentales.

Los valores de P, las deformaciones lineales y angulares Y se anotarán en las columnas 2, 4, 6 y 8 del cuadro No.1, todos los datos son experimentales.

Los valores de las deformaciones lineales y angulares teóricas Y_0 y θ_B se anotan en las columnas 3 y 5 del mismo cuadro.

El valor de I_x se anotan en la columna 7 también del Cuadro No.2.3.1.

Para cada valor de carga se toman los valores de Y_c , Y_d y θ_B se calcula según:

$$\theta_{BE} = \frac{Y_D}{l' - l} \quad (2.3.7)$$

Se calcula el momento de inercia I_x según:

$$I_x = \frac{b * h^3}{12} \quad (2.3.8)$$

Se hallan los incrementos de Y_c , y θ_B según:

$$Y_c = Y_{c2} - Y_{c1} \quad (2.3.9)$$

$$\theta_B = \theta_{B2} - \theta_{B1} \quad (2.3.10)$$

Se hacen las $\sum \Delta Y_c$ y de $\sum \Delta \theta_B$ y se hallan los incrementos promedios $\Delta Y_{c\text{prom}}$, $\Delta \theta_{B\text{prom}}$. según:

$$Y_{CP} = \frac{\sum \Delta Y_c}{n} \quad (2.3.11)$$

$$\theta_{BP} = \frac{\sum \Delta \theta_B}{n} \quad (2.3.12)$$

Se calculan los % de error a comparar la flecha teórica y la experimental según:

$$\% \text{ error} = \frac{Y_{\text{Teórica}} - Y_{\text{Cexp}}}{Y_{\text{Teórica}}} \quad (2.3.13)$$

Se calcula el % de error entre la deformación angular teórica y experimental según:

$$\% \text{ error} = \frac{\theta_{\text{Teórica}} - \theta_{\text{Bexp}}}{\theta_{\text{Teórica}}} \quad (2.3.14)$$

Debe tenerse en cuenta que los valores experimentales de Y_c y θ_B serán los valores de incrementos promedios.

Cuadro 2.3.1

No. Lect.	Carga P (KN)	Desplazamiento lineal y angular				I_x (cm ⁴)
		Y_c (T)	Y_c (E)	θ_B (T)	θ_B (E)	
1						
.						
8						

Cuadro 2.3.2

No. Lect.	Incremento de desplazamiento lineal y angular	
		ΔY_c
	$\sum \Delta Y_c =$	
	$\Delta Y_{c\text{prom}} =$	

2.3.5 Preguntas de Autocontrol.

1. ¿Qué métodos Ud., conoce para determinar desplazamientos en una viga recta?
2. ¿Qué limitaciones tiene la ecuación diferencial aproximada?
3. ¿Qué limitaciones tiene la ecuación de los parámetros de origen?
4. ¿Qué representa cada término en la ecuación de los parámetros del origen?
5. Plantee la ecuación para determinar la flecha en una viga simplemente apoyada en dos extremos.
6. Plantee la ecuación para determinar la deformación angular para el caso dado en el folleto prácticamente.
7. ¿Cómo podemos conocer el error entre la flecha teórica y la práctica?

2.4 Guía de Laboratorio para Ensayo de Flexión Oblicua.

Práctica de Laboratorio No.4

Tema: “Resistencia compuesta”

Título: “Ensayo de flexión oblicua.”

Tiempo de duración: 1 hora

Objetivos:

- 1) Determinar los desplazamientos verticales δ_v y horizontal δ_h del centro de flexión en una viga sometida a flexión oblicua.
- 2) Determinar la dirección de la línea neutra y del desplazamiento total.
- 3) Construir el gráfico de distribución de tensiones normales.
- 4) Comparar los resultados teóricos con los obtenidos experimentalmente.

Indicaciones:

- Realizar un estudio del tema mediante el libro de texto, las notas de conferencias, los ejercicios resueltos en clases prácticas y el estudio además de este folleto.
- Tener resueltos los cálculos teóricos, sin ellos el estudiante no podrá realizar la práctica.
- Debe tener claro dominio de la técnica operatoria para poder realizar el ensayo.
- Llevar al laboratorio el equipamiento necesario para trabajar en el mismo como es, lápiz, goma de borrar, regla o cartabón, tablas matemáticas o calculadora.

2.4.1 Fundamentos Teóricos:

En la flexión oblicua o desviada de una barra cuando el plano de acción de las fuerzas exteriores no coincide con ninguno de los dos planos principales de inercia de la sección transversal, la dirección de la flexión no coincide con el plano de acción de las fuerzas exteriores.

La barra sobre la cual se realiza el ensayo es un ángulo de alas iguales empotrado en uno de sus extremos. (Ver Fig. 2.4.1).

En la Fig. 2.4.2 se muestra el caso de carga voladizo con una fuerza vertical P , formando la línea de su acción transversal de la barra, el valor de los componentes P_x y P_y de la fuerza sobre los ejes principales de Inercia X y Y , es el mismo e igual a:

$$P_x = P_y = \frac{P}{\sqrt{2}} \quad (2.4.1)$$

Pero los momentos de inercia I_x e I_y no son iguales entre sí, por lo que el desplazamiento del punto "O" por los ejes X y Y en el extremo del voladizo tampoco son iguales, es decir:

$$\delta_x = \frac{P_x l^3}{3.E.I_y} \quad (2.4.2)$$

$$\delta_y = \frac{P_y l^3}{3.E.I_x} \quad (2.4.3)$$

Las ecuaciones (2.4.2) y (2.4.3) salen de la ecuación universal de la Viga Elástica.

Analizando la (Fig. 2.4.2) tendremos que las componentes verticales (δ_v) y horizontal (δ_H) de la flecha, que en definitiva son las que van a determinarse experimentalmente, son teóricamente igual a:

$$\delta_v = OA + AB = \delta_x \cos \alpha_0 + \delta_y \sin \alpha_0$$

Sustituyendo (2.4.2) en (2.4.3):

$$\delta_v = \frac{P_x l^3}{3.E.I_y} \cos \alpha_0 + \frac{P_y l^3}{3.E.I_x} \sin \alpha_0$$

Como que $\alpha_0 = 45^\circ$ y $\sin 45 = \frac{\sqrt{2}}{2}$ y sustituyendo en (2.4.1):

$$\delta_v = \frac{P l^3}{3\sqrt{2}.E.I_y} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{P l^3}{3\sqrt{2}.E.I_x} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{P l^3}{6.E.I_y} + \frac{P l^3}{6.E.I_x}$$

de donde:

$$\delta_{v_T} = \frac{P l^3}{6.E} \left[\frac{1}{I_x} + \frac{1}{I_y} \right] \quad (2.4.4)$$

$$\delta_H = EA + ED = \delta_x \sin \alpha_0 - \delta_y \cos \alpha_0$$

Sustituyendo (2.4.2) en (2.4.3):

$$\delta_H = \frac{P_x l^3}{3.E.I_y} \sin \alpha_0 + \frac{P_y l^3}{3.E.I_x} \cos \alpha_0$$

Sustituyendo (2.4.1) y que $\sin \alpha_0 = \cos \alpha_0$:

$$\delta_H = \frac{P l^3}{3\sqrt{2}.E.I_y} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{P l^3}{3\sqrt{2}.E.I_x} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{P l^3}{6.E.I_y} - \frac{P l^3}{6.E.I_x}$$

de donde:

$$\delta_{H_T} = \frac{P l^3}{6.E} \left[-\frac{1}{I_x} + \frac{1}{I_y} \right] \quad (2.4.5)$$

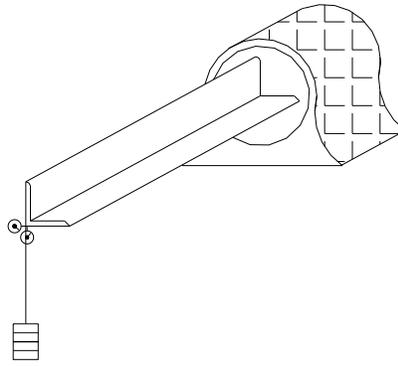


Fig.2. 4.1 Viga sometida a Flexión.

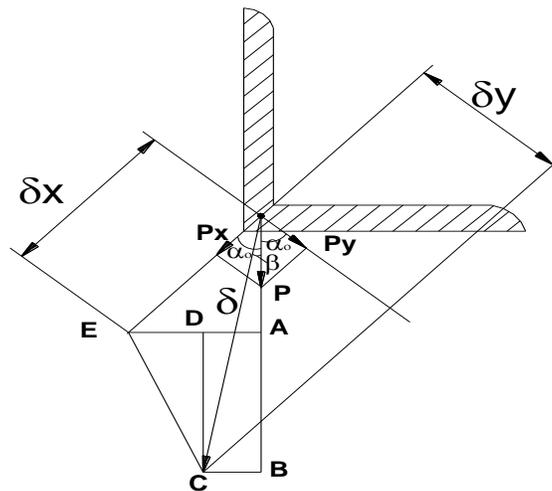


Fig.2.4.2 Desplazamientos de la viga.

El desplazamiento total (Flecha) será:

$$\delta = \sqrt{\delta_{VT}^2 + \delta_{HT}^2} \quad (2.4.6)$$

Dirección del desplazamiento total.

Este se determina conociendo el ángulo β (Fig. 2.4.2.) o sea:

$$\tan \beta = \frac{\delta_H}{\delta_V}, \text{ es decir,}$$

$$\beta = \arctan \frac{\delta_{HT}}{\delta_{VT}} \quad (2.4.7)$$

2.4.2 Descripción de Equipo y Técnica Operatoria para la Realización del Ensayo.

En la Fig. 2.4.1 aparece un esquema del equipo de ensayo. El mismo consiste en un Pedestal (1) al que se encuentra fijado rígidamente una barra (2) y que

será a la que se le aplique la carga a través de un sistema de pesas (4) en el extremo libre la misma. Producto de la fuerza aplicada se producirá un desplazamiento del punto extremo de aplicación de la carga en una dirección que no coincidirá con ninguno de los ejes principales de inercia X y Y.

Ese desplazamiento será medido por cada incremento de carga, en la dirección vertical y horizontal por medio de los extensómetros (indicadores de carátula) (3). Durante el ensayo de la barra de sección angular hay que tener en cuenta que el centro de flexión de dicha barra no coincide con el centro de Gravedad de la sección. Por eso para excluir la influencia de la Torsión se debe aplicar la carga en el centro de flexión que en el caso examinado se encuentra en el punto "O" de intersecciones de los ejes de las alas del angular. Los extensómetros deben colocarse lo más próximo posible a este punto cargando la barra con cargas consecutivas y fijando los valores de las flechas (δ_h y δ_v) obtenidas es posibles seguir la dependencia lineal entre la flecha y la carga.

El registro de las observaciones durante el ensayo se realiza según la forma indicada en el cuadro de anotaciones.

2.4.3 Datos iniciales y Cálculos Teóricos.

Antes de comenzar el ensayo propiamente dicho y tabular los resultados del mismo, deben tomarse algunos datos iniciales para posteriormente proceder a la elaboración de los resultados. Ellos son:

Tabla 2.4.1 Datos iniciales.

Material de la probeta	E (MPa)	L (cm)	No. de perfil	I_x (cm)	I_y (cm)	Z_o (cm)

donde:

E – es el Módulo de Elasticidad del Material.

L – es la longitud de la viga.

I_x - es el momento de Inercia respecto al eje principal X (Tabla).

I_y - es el momento de Inercia respecto al eje principal Y (Tabla).

Z_0 - es la distancia medida perpendicular al eje que pasa por la base del angular y desde este hasta el centro de gravedad.

Conociendo el tipo y el No. de perfil es posible conocer los momentos de Inercia respecto a los ejes (X y Y) y la distancia Z_0 que habrá de utilizarse para calcular el valor de las tensiones normales y con él, construir el gráfico de distribución de dichas tensiones.

Los cálculos teóricos que deben realizar los estudiantes se refieren a los expresados en las ecuaciones 2.2.4, 2.2.5, 2.2.6 y 2.2.7, que aparecen en la fundamentación teórica.

2.4.3.1 Cuadro de Anotaciones y Resultados Experimentales.

Los valores de carga P y los desplazamientos vertical y horizontal serán anotados en las columnas 2, 3 y 5, mientras los valores correspondientes a los incrementos de desplazamientos se anotarán en las columnas 4 y 6.

Para cada valor de carga P se determinan los valores de δ_v y δ_H , mediante la lectura de los extensómetros.

Se calcula los incrementos de desplazamientos $\Delta\delta_v$ y $\Delta\delta_H$ según:

$$\Delta\delta_v = \delta_{v_2} - \delta_{v_1} \quad (2.4.8)$$

$$\Delta\delta_H = \delta_{H_2} - \delta_{H_1} \quad (2.4.9)$$

Se determina la $\sum\Delta\delta_v$ y $\sum\Delta\delta_H$.

Se determina el incremento promedio de los desplazamientos $\Delta\delta_{v_{prom}}$ y $\Delta\delta_{H_{prom}}$ según:

$$\Delta\delta_{v_{prom}} = \frac{\sum\Delta\delta_v}{n} \quad (2.4.10)$$

$$\Delta\delta_{H_{prom}} = \frac{\sum\Delta\delta_H}{n} \quad (2.4.11)$$

Posteriormente se calcula el ángulo de inclinación del desplazamiento total β obtenido con los valores prácticos de $\Delta\delta_{v_{prom}}$ y de $\Delta\delta_{H_{prom}}$ y se compara con la expresión teórica (2.4.7):

$$\beta = \arctan \frac{\Delta\delta_H}{\Delta\delta_V} \tag{2.4.12}$$

Se calcula el desplazamiento total absoluto (flecha) para un ΔP dado y se compara con la expresión teórica (2.4.6):

$$\delta = \sqrt{\delta_V^2 + \delta_H^2} \tag{2.4.13}$$

Todas esas comparaciones se realizan calculando los % de error:

$$\% \text{ de error} = \frac{\delta_{TT} - \delta_{TE}}{\delta_{TT}} \cdot 100 \tag{2.4.14}$$

$$\% \text{ de error} = \frac{\beta_{TT} - \beta_{TE}}{\beta_{TT}} \cdot 100 \tag{2.4.15}$$

Cuadro 2.4.2

No.	Carga P (kN)	Desplazamiento Vertical		Desplazamiento Horizontal	
		Lectura Extensómetro $\delta_V \cdot 10^{-3}$ (cm)	Incremento Lectura $\Delta\delta_V \cdot 10^{-3}$ cm)	Lectura Extensómetro $\delta_H \cdot 10^{-3}$ (cm)	Incremento Lectura $\Delta\delta_H \cdot 10^{-3}$ (cm)
1					
2					
3					
		$\Sigma\Delta\delta_V$		$\Sigma\Delta\delta_H$	

Una vez calculado el ángulo β el cual determina la dirección de la Flecha (δ) es muy fácil determinar la dirección de la Línea Neutra ya que esta debe ser perpendicular a la dirección del desplazamiento y pasar por el centroide de la sección (Fig.2. 4.3).

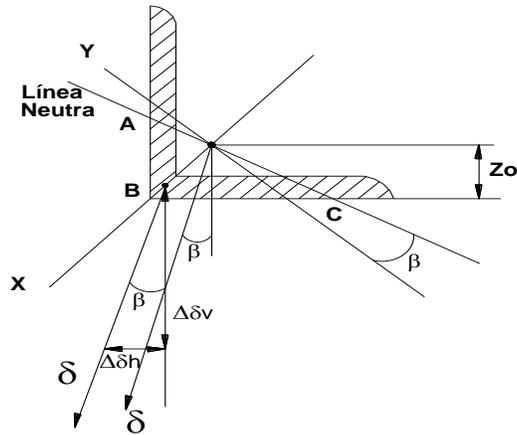


Fig. 2.4.3 Dirección de la flecha.

Para todo este proceso se traslada la Línea dirección del desplazamiento (δ) hacia el centroide G y perpendicular a ella la dirección de la flecha se puede tomar el $\Delta\delta_{Vprom}$ y el $\Delta\delta_{Hprom}$.

Como se observa la Línea Neutra corta a la sección del perfil en dos puntos (A y C), lo cual significa que el valor de las tensiones en esos puntos es cero, además ella se inclina hacia el eje respecto al cual el momento de Inercia es menor (I_y), (menor rigidez).

2.4.4 Gráfico de Distribución de las Tensiones.

Teóricamente, las tensiones normales en la Flexión Oblicua o desviada son las siguientes:

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} \cdot y + \frac{M_y}{I_y} \cdot x \quad (2.4.16)$$

Dónde: M_x y M_y son los momentos flectores respecto a los ejes X y Y respectivamente. "x" y "y" son las coordenadas respecto al centroide del punto

donde se desee calcular el valor de la tensión (σ). En nuestro caso, $M_x = M_y = \frac{P.l}{\sqrt{2}}$

Donde "l" es la distancia desde el empotramiento hasta la sección analizada.

Calculamos las tensiones en el punto B de la sección. Y, por tanto, la fórmula (2.4.17) nos quedará:

$$\sigma_B = \frac{M_y}{I_y} \cdot X_B = \frac{P.l}{\sqrt{2} \cdot I_y} \cdot X_B \quad (2.4.17)$$

En esta fórmula se sustituye P por el máximo valor alcanzado y no por el de ΔP .

Así obtendremos el valor de las tensiones para el valor máximo de P. El valor de X_B se calcula tomando de la tabla de perfiles laminados la magnitud Z_0 .

O sea; para angulares de alas iguales:

$$X_B = \sqrt{Z_0^2 + Z_0^2} \quad (2.4.18)$$

Por lo que $X_B = BG$

Ver (Figura 2.4.3)

$$X_B = \sqrt{2Z_0^2} = Z_0 \sqrt{2}$$

Conociendo el valor de σ_B , es posible construir el gráfico de distribución de Tensiones Normales en toda la sección Transversal, ya que como sabemos, Varían linealmente y ya conocemos los valores de dichas tensiones en dos puntos de cada ala (B y A) y (B y C). Quedaría el gráfico de σ como aparece en la Fig. 2.4.4. Debe aclararse que, por convenio, las tensiones se representan como se muestran en dicha figura, pero en realidad ellas siguen siendo perpendiculares del gráfico construido a escala, es posible conocer el valor de las tensiones en los puntos D y E.

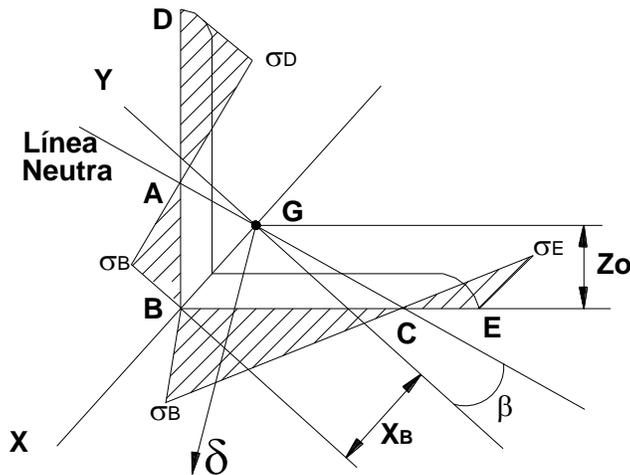


Figura 2.4.4 Gráfico de distribución de Tensiones Normales en toda la sección Transversal.

2.4.5 Preguntas de Autocontrol:

- 1.- Defina lo entendido por la Flexión Oblicua.
- 2.- Hacia cuál de los ejes Principales de Inercia se acerca la Línea Neutra. ¿Por qué?
3. ¿Cuál es el valor de las Tensiones Normales en los puntos de la sección transversal situados sobre la Línea Neutra?
4. ¿De qué parámetros depende el valor del ángulo de inclinación de la Línea Neutra? Analice las expresiones (2.4.4) y (2.4.5).
- 5.- En el caso del angular, ¿dónde está situado el centro de flexión? Defina el concepto de Centro de Flexión.

Capítulo III: Guías de Prácticas de Laboratorio de Resistencia de Materiales II.

3.1 Guía de Laboratorio para determinar los Desplazamientos en barras quebradas.

Práctica de Laboratorio No.5

Tema: “Desplazamientos”

Título: “Desplazamientos en barras quebradas”

Tiempo: 1 hora

Objetivos:

- 1.- Determinar el desplazamiento vertical y horizontal de dos puntos de una barra quebrada.
- 2.- Comparar los resultados experimentales con los teóricos calculados por el método de Vereshiaguin.

Indicaciones:

- 1.- Para permitirle al estudiante entrar en el laboratorio y efectuar la práctica, debe llevar resuelto teóricamente el problema que se plantea en la hoja que esta al final de este folleto, aplicando el método de Vereshiaguin en forma totalmente individual. Esa hoja será adicionada al Informe Final de la práctica.
- 2.- Debe, el estudiante, llevar estudiado el folleto de práctica, ya que en el laboratorio solo se aclararán las dudas, se repasará la técnica operatoria y se procederá a realizar la práctica y el informe.

3.1.1 Fundamentos Teóricos Generales.

En el caso de una barra quebrada sometida a carga externa pueden presentarse diferentes tipos de esfuerzos internos en las secciones transversales de sus barras. En el caso general, aparecerán Normales (N), Cortantes (Q), Momentos Flectores (M_f) y Momentos torsores (M_t), pero si estos dos últimos existen, puede despreciarse el efecto de N y Q por ser muy pequeños en comparación con los momentos.

Para conocer el desplazamiento de un punto cualquiera de una viga, en forma general, puede utilizarse varios métodos: ecuación universal de la viga elástica,

método de Mohr, método de Vereshiguin. Como se sabe, este es un método gráfico-analítico derivado del método de Mohr, donde se plantea la condicional para su posible aplicación, de que la rigidez (EI o GIp) de los diferentes tramos de la barra se mantenga constante en toda la longitud del tramo.

El método de Vereshiguin para el cálculo de los desplazamientos, consiste en:

- 1.- Colocar una carga unitaria ($P_i = 1$ ó $M_i = 1$) adimensional en el punto de la viga donde se desee calcular el desplazamiento lineal o angular respectivamente.
- 2.- Construir los diagramas de momentos internos originados por el Sistema de cargas Externas aplicado (M_k) en cada tramo de la barra quebrada, teniendo en cuenta que la carga distribuida (si existe) debe tener su gráfico aparte de los gráficos rectilíneos, ya que en la tabla de Vereshiguin aparecen solo aquellas parábolas cuadráticas puras, es decir, las originadas por las cargas distribuidas por sí solas.
- 3.- Construir los diagramas de momento M_i originados por la carga unitaria en cada tramo. Estos Diagramas son siempre rectilíneos.
- 4.- Combinar los gráficos (resolver la integral de Mohr gráficamente), por medio de la Tabla Vereshiguin. Para hacer este proceso correctamente es necesario tener en cuenta:
 - a) Que el gráfico de M_k y M_i en el tramo que se analiza, se encuentre situado en el mismo plano, si es que la barra está en el espacio.
 - b) Estando los gráficos de M_k y M_i en el mismo plano, si no se encuentran situados del mismo lado del eje de la barra, su combinación debe tener signo negativo (-).
 - c) En el caso de Momentos Torsores, y que pueden dibujarse convencionalmente en cualquier plano, es necesario tener en cuenta el sentido de la torsión para M_k y M_i , ya que, si sus sentidos son contrarios, la combinación será negativa (-).
 - d) El sentido de P_i y M_i (cargas unitarias) puede tomarse arbitrariamente y si al final el desplazamiento nos da negativo (-), significa que el sentido de la carga unitaria y por tanto el del desplazamiento es contrario al asumido con anterioridad.
 - e) Que las dimensiones de las barras en uno y otro sistema (real e imaginario) sean las mismas en el tramo que se analiza.
 - f) Los valores de los momentos en el Sistema Unitario son adimensionales.

g) No es posible combinar gráficos de Momentos Torsores con los de Momentos Flectores.

h) Solo pueden combinarse los gráficos que se encuentren en el mismo tramo de la barra quebrada en uno y otro sistema.

i) Si en un mismo tramo actúan Momentos Flectores y Torsores en M_k y M_i al mismo tiempo, es necesario sumar por separado la combinación entre ellos, es decir,

Flexión + Torsión:

$$\frac{1}{EI}(M_k M_i) = \frac{1}{GI_p}(M_k M_i) \quad (3.1.1)$$

ya que la expresión de la rigidez cambia de una sollicitación a otra: $EI \neq GI_p$.

3.1.2 Descripción del Equipo y Técnica operatoria para la realización del Ensayo.

El equipo consiste en una barra (1) de sección circular doblada en el espacio en tres tramos empotrada en un Cabezal rígido (2) a la cual se le aplica la carga mediante un sistema de pesas (3). Ver Fig. 3.1.1. Producto de la Fuerza aplicada se producirá un desplazamiento en diferentes puntos de la barra. Esos desplazamientos serán medidos por medio de los extensómetros (4) situados en los puntos deseados (A, B, C, D, E, F).

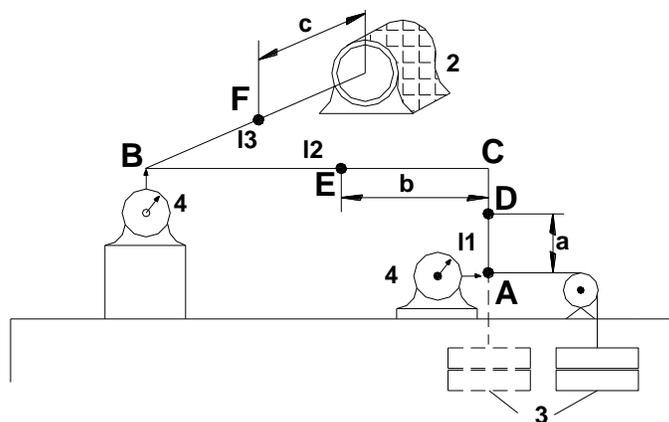


Fig.3.1.1 Diagrama de la Maquina para el Ensayo.

Caso # 1

Carga horizontal aplicada en el extremo (A) de la barra y medir el desplazamiento lineal de un punto.

Caso # 2

Carga vertical aplicada en el extremo (A) de la barra y medir el desplazamiento lineal de un punto.

Se carga la barra con cargas sucesivas y con un incremento fijo y se leen los valores de los desplazamientos obtenidos para cada caso, con los distintos valores de carga. Todo esto se registra en el Cuadro de anotaciones 3.1.2.

3.1.3 Datos iniciales y cuadro de anotaciones.

Antes de comenzar el ensayo y tabularse los resultados del mismo, es necesario tomar algunos datos iniciales para posteriormente a la elaboración de los datos prácticos.

Cuadro 3.1.1 Datos iniciales.

Incremento de la carga KN	Material probeta	E kg/cm ²	G kg/cm ²	l ₁ cm	l ₂ cm	l ₃ Cm	Sección transversal.	d cm	a cm	b cm	c cm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del material.

G: Módulo d elasticidad de 2^{do} orden del material.

l₁, l₂, y l₃: Longitud de los diferentes tramos.

d: Diámetro de la barra.

a, b y c: distancia a los puntos intermedios en cada barra.

3.1.3.1 Cuadro de anotaciones, procesamiento de datos y resultados experimentales.

Cuadro 3.1.2 Datos de la práctica.

No	Carga P (Kg)	Caso1: Desplazamiento horizontal del punto (A) X10 ⁻³		Caso1: Desplazamiento vertical del punto (B)X10 ⁻³	
		Lectura extensómetro $\delta_{(A)x}$ (cm)	Incremento de Lectura $\Delta\delta_{(A)x}$ (cm)	Lectura extensómetro $\delta_{(B)y}$ (cm)	Incremento de Lectura $\Delta\delta_{(B)y}$ (cm)
1					
2					
3					
4					

Donde:

$\delta_{(x)}$ y $\delta_{(y)}$ -desplazamientos correspondientes para cada valor de carga de los puntos.

$\Delta\delta_{(x)}$ y $\Delta\delta_{(y)}$ -son los incrementos de cada lectura sucesiva de los extensómetros.

Ejemplo:

$$\Delta\delta_{(x)} = \delta_{(x)2} - \delta_{(x)1} \quad \text{y} \quad \Delta\delta_{(y)} = \delta_{(y)2} - \delta_{(y)1}$$

Si la carga P mantiene un incremento constante, el $\Delta\delta_{(x)}$ y $\Delta\delta_{(y)}$ siempre deben ser de igual valor para cada caso respectivamente, por eso es necesario que exista un ΔP fijo, es decir, un incremento de la carga constante.

Al final, si hay alguna variación en los valores de los incrementos del Desplazamiento, se determina el promedio, y ese será el que habrá de compararse con los calculados teóricamente por el método de Vereshiguin para cada uno de los casos.

Ejemplo:

$$\Delta\delta_{(x)} \text{ prom.} = \frac{\sum \Delta\delta_{(x)}}{n} \tag{3.1.2}$$

$$\Delta\delta_{(y)} \text{ prom.} = \frac{\sum \Delta\delta_{(y)}}{n} \tag{3.1.3}$$

dónde:

n es la cantidad de incrementos de desplazamientos tomados.

Para cumplir el segundo objetivo de la práctica se comparan los $\Delta\delta()_{x_{prom}}$ y $\Delta\delta()_{y_{prom}}$, obtenidos en el ensayo con los $\delta()_x$ y $\delta()_y$ obtenidos teóricamente por el Método de Vereshiguin, utilizando como carga externa una P igual al ΔP de la práctica.

3.1.4 Preguntas de Autocontrol.

- 1.- ¿Cuál es la limitante existente para la aplicación del Método de Vereshiguin?
- 2.- Si los gráficos de momentos M_k y M_i se encuentran en un mismo plano, pero a lados opuestos del eje de la barra, ¿Pueden combinarse?
- 3.- ¿Es posible combinar gráficos de momentos torsores con gráficos de momentos flectores? Justifique su respuesta.
- 4.- ¿Es posible utilizar según Vereshiguin, gráficos de momentos resultantes que contengan el producido por la carga distribuida? Justifique su respuesta.
- 5.- Si se deseara calcular el desplazamiento angular en la barra del ensayo en el punto A, ¿qué tipo de carga unitaria usted colocaría?
- 6.- ¿Se puede aplicar el método de Vereshiguin en vigas de sección variable a lo largo de su longitud?
- 7.- Si el resultado del cálculo del desplazamiento nos da con signo negativo, ¿qué significa ello?
- 8.- Si la barra quebrada se encuentra en el espacio, ¿es posible combinar los gráficos de momentos que se encuentren en el mismo tramo en planos diferentes? Justifique su respuesta.
- 9.- Explique brevemente los pasos para desarrollar el ensayo.

3.2 Guía de Laboratorio para determinar los desplazamientos en Sistemas Hiperestáticos.

Práctica de Laboratorio No. 6

Tema: “Sistemas Hiperestáticos”

Título: “Desplazamientos en Pórticos Hiperestáticos”

Tiempo: 1 hora.

Objetivos:

Que los estudiantes sean capaces de:

- 1.- Determinar experimentalmente el desplazamiento en un punto de un pórtico plano simétrico hiperestático.
- 2.- Comparar los resultados experimentales con los obtenidos teóricamente.

Indicaciones:

- 1.- Para poder efectuar la practica el estudiante debe llevar resuelta teóricamente en su Cuaderno de Trabajo la variante orientada por el docente por el método de Vereshiaguin, en formas totalmente individual.
- 2.- El estudiante debe llevar estudiado el folleto de la práctica, ya que en el laboratorio solo se aclararán algunas dudas, se repasará la técnica operatoria y se procederá a realizar la práctica.
- 3.- El informe de la práctica debe concluirse en el laboratorio, siempre que sea posible, por lo que el estudiante debe llevar consigo los medios auxiliares necesarios.
- 4.- Se efectuará una pregunta relacionada con la teoría correspondiente al ensayo a la entrada al laboratorio, con el objetivo de chequear la preparación del estudiante para la realización de la práctica.
- 5.- En la evaluación de la práctica se tendrá en cuenta:
 - a) La preparación del estudiante, medida a través de la pregunta inicial y el desarrollo de la parte teórica en el cuaderno de trabajo.
 - b) Actividad independiente del estudiante durante el desarrollo de la práctica: interés por ella, disciplina en el laboratorio, y cumplimiento de las medidas de protección e higiene en el puesto de trabajo.
 - c) Calidad y limpieza del informe presentado.

3.2.1 Fundamentos Teóricos, Generalidades.

De acuerdo con la teoría de este tema, estudiado durante el curso, se conoce que para resolver cualquier sistema hiperestático es necesario, primero, eliminar su hiperestático, es decir, calcular los valores reales de las fuerzas que representan el efecto de las ligaduras adicionales impuestas al sistema (equivalente). Para ello se utiliza el método de las fuerzas, consistente en sustituir las ligaduras adicionales por fuerzas unitarias en un sistema llamado equivalente y después, basándose en el teorema de los desplazamientos recíprocos (teorema de

Maxwell), y aplicando la Ley de Hooke, se logra establecer un sistema de ecuaciones llamado Ecuaciones Canónicas, donde aparecen las fuerzas $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$, teniendo cada una de ellas como coeficientes, los desplazamientos originados por cada una de las fuerzas actuantes en las direcciones correspondientes en las mismas.

$$\begin{array}{ccccccc} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \dots & & & & \dots + \delta_{1n} \cdot X_n + \delta_{1P} = 0 \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \dots & & & & \dots + \delta_{2n} \cdot X_n + \delta_{2P} = 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ \delta_{n1} \cdot X_1 + \delta_{n2} \cdot X_2 + \delta_{n3} \cdot X_3 + \dots & & & & \dots + \delta_{nn} \cdot X_n + \delta_{nP} = 0 \end{array}$$

Siendo n: el número de ligaduras sobrantes y que corresponde con el número de fuerzas unitarias X y con el grado de hiperestaticidad del sistema. y viceversa.

Ejemplo: δ_{13} es el desplazamiento en la dirección de la fuerza unitaria X_1 producida por las fuerzas unitarias X_3 . δ_{2P} es el desplazamiento en la dirección de la fuerza unitaria X_2 producido por el sistema de cargas externas reales.

Para determinar los coeficientes (δ) de las incógnitas (X) se procede de la misma forma estudiada para el cálculo de los desplazamientos, es decir, aplicando el método de Mohr o Vereshiaguin, solo que en este caso son desplazamientos reciproco y, por lo tanto, es necesario combinar los gráficos de las fuerzas que correspondan al subíndice del desplazamiento.

Por ejemplo, si se calcula δ_{13} es necesario construir gráficos de momentos correspondientes a X_1 y X_3 , respectivamente, y combinarlos según Vereshiaguin. Conocido ya δ_{13} , se puede contar con el valor de δ_{13} , basados en el Teorema de los desplazamientos recíprocos o de Maxwell.

Una vez calculados todos los desplazamientos, sustituimos sus valores en las ecuaciones canónicas y entonces determinamos los verdaderos valores de las fuerzas (X) (que anteriormente habíamos supuesto unitarias) multiplicando estos valores por los obtenidos en los gráficos de momentos unitarios correspondientes. Sumando todos los gráficos de momentos obtenidos (los de $X_1, X_2 \dots X_n$ y P) se obtiene el gráfico de momentos resultados.

Son conocidas las simplificaciones que se hacen en los pórticos simétricos sometidos a fuerzas externas simétricas o anti simétricas. Por ejemplo:

En un pórtico simétrico con cargas simétricas, en el plano de simetría las acciones interiores anti simétricas se hacen cero. Así tenemos que el pórtico de la Fig. 3.2.1. tiene $X_3 = 0$, por ser esta acción interior anti simétrica.

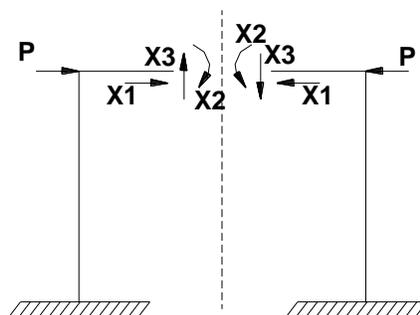


Fig. 3.2.1 Pórtico simétrico con cargas simétricas.

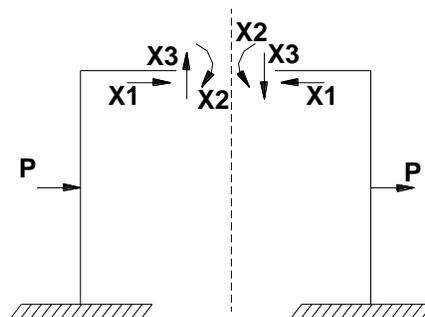


Fig. 3.2.2 Pórtico es simétrico y las cargas son anti simétricas.

En cambio, en la Fig. 3.3.2. el pórtico es simétrico y las cargas son anti simétricas, por lo que X_1 y X_3 son cero (por ser fuerzas internas simétricas).

Las ecuaciones canónicas para cada figura quedarían expresadas de la siguiente forma:

Para la (Fig.3.2.1):

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}x_2 + \delta_{1P} = 0 \tag{3.3.1}$$

$$\delta_{21}X_1 + \delta_{22}x_2 + \delta_{2P} = 0 \tag{3.3.2}$$

Para la (Fig.3.2.2):

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{1P} = 0 \tag{3.3.3}$$

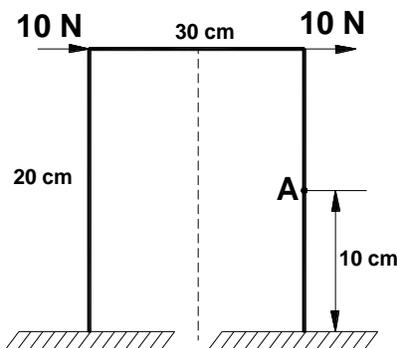
3.2.2 Cálculo del Desplazamiento en un Sistema Hiperestático.

Una vez obtenido el gráfico de Momentos resultantes, es posible realizar cualquier tipo de cálculo, ya sea de Resistencia o de Rigidez. En este caso, se trata de la determinación del desplazamiento en cualquier sección del pórtico, lo cual se desarrolla de la siguiente manera:

- 1.- Colocar en el sistema base una acción unitaria (fuerza o momento según sea para un desplazamiento lineal o angular respectivamente) en el punto y dirección en que se desea hallar el desplazamiento.
- 2.- Constituir el gráfico de momentos para esa acción unitaria.
- 3.- Aplicar Vereshiaguin combinando los gráficos de momentos resultantes con el obtenido de la acción unitaria.

Ejemplo:

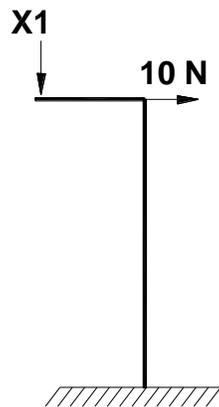
Determinar el desplazamiento angular del punto A del pórtico mostrado si la rigidez de sus barras es constante e igual para todas las secciones es circular maciza, con un diámetro de 1 cm. El módulo de Elasticidad es $2 \cdot 10^5 \text{MPa}$.



Solución:

El pórtico es plano simétrico con cargas anti simétricas, por tanto, en el plano de simetría solamente actúan las acciones interiores anti simétricas, que en este caso es un cortante.

Sistema Equivalente:



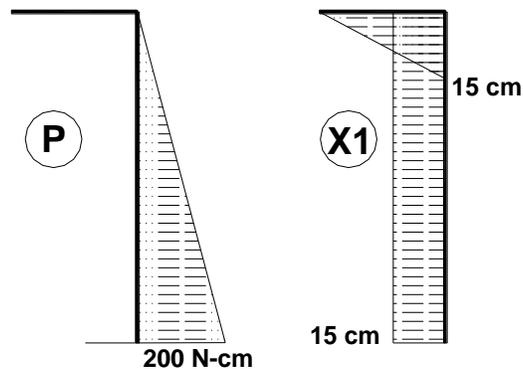
Ecuación Canónica: Se utiliza la ecuación (3.3.3) porque el Pórtico es simétrico con cargas anti simétricas.

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{1P} = 0$$

Despejando X_1 :

$$X_1 = \frac{-\delta_{1P}}{\delta_{11}}$$

Gráficos de Momento:



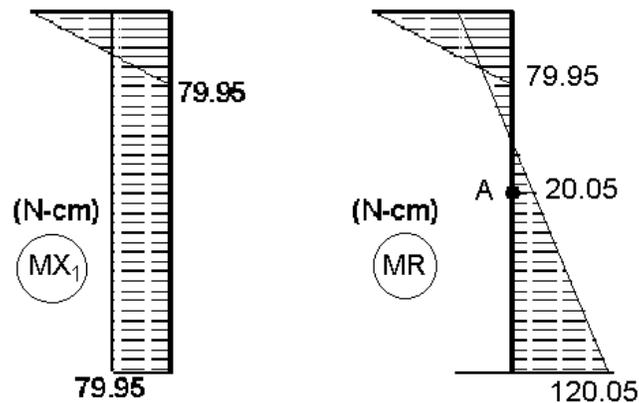
$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_x} \left(\frac{hsl}{3} + hsl \right) = \frac{1}{EI_x} \left(\frac{15 * 15 * 15}{3} + 15 * 15 * 20 \right) = \frac{5625}{EI_x}$$

$$\delta_{1P} = \frac{1}{EI_x} \left(-\frac{hsl}{2} \right) = -\frac{1}{EI_x} \left(\frac{200 * 15 * 20}{2} \right) = -\frac{30000}{EI_x}$$

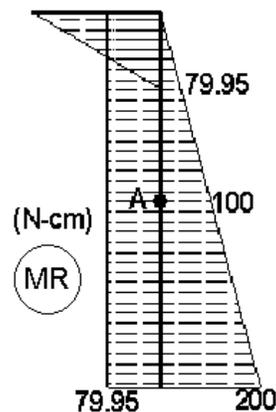
$$\delta_{11}x_1 = \delta_{1P}$$

$$X_1 = \frac{30000}{5625} = 5.33N$$

Gráfico de X1 y Gráfico Resultante:



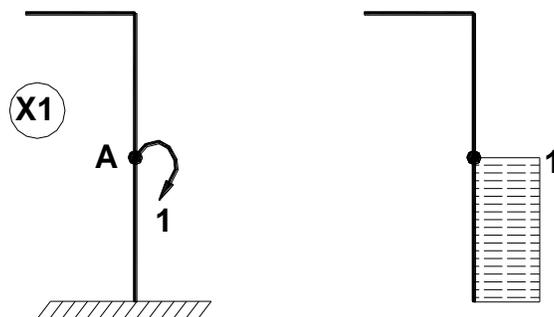
Gráfica resultante sin combinar.



Nota:

Se construyó el gráfico resultante de momentos en una sola parte del pórtico debido a que el pórtico es simétrico sometido a cargas anti simétricas (también se hace con cargas simétricas) ya que estos tipos de pórticos tienen esa ventaja.

Además, se tomó la parte derecha porque esta contiene al punto donde se desea hallar el desplazamiento. Se dejaron separados los gráficos de P y MX1 producto de que para combinarlo con el unitario en la dirección del desplazamiento resulta menos complicado.



$$\theta_A = \frac{1}{EI_x} \left[\frac{SL}{2} (h_1 + h_2) - hsl \right] = \frac{1}{EI_x} \left[\frac{1 \cdot 10}{2} (200 + 100) - 1.79 \cdot 95 \cdot 10 \right] = \frac{700,5}{EI_x} = \frac{700,5 N \cdot cm^2}{2 \cdot 10^7 \frac{N}{cm^2} \cdot 0.05(1)^4 cm^4}$$

$$\theta_A = 7005 \cdot 10^{-7} rad$$

3.2.3 Técnica operatoria y descripción del equipo.

Una de las maquetas que se utilizara para el ensayo posee las características que se mostraran a continuación.

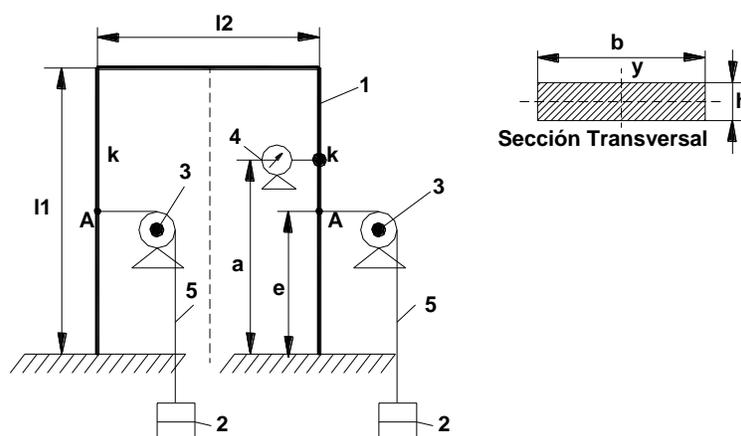


Fig.3.2.3 Maqueta utilizada para el Ensayo.

Para realizar el ensayo se procede de la siguiente manera:

- Colocar el extenso metro (4) en el punto donde se desea hallar el desplazamiento según la dirección que se oriente.
- Colocar el sistema de transmisión de carga (cable 5 y gancho para las pesas) a través de las poleas (3).
- Ajustar al cero el extensómetro 4. El mismo posee una apreciación en su escala de 0,001 cm.

d) Colocar cargas sucesivas y en forma cuidadosa, con iguales incrementos (ΔP) en cada gancho y para cada valor de carga, se leerá la indicación correspondiente de desplazamiento en el extensómetro 4. Estos valores se registran en el cuadro de anotaciones de su cuaderno de trabajo.

e) Se realizarán tantas lecturas como el docente indique, pasando posteriormente a procesar los datos obtenidos.

3.2.4 Datos iniciales.

Serán informado al estudiante previamente los cuales deben registrar en el cuadro de datos iniciales de su cuaderno de trabajo. Los mismos son:

Tabla 3.2.1 Datos Iniciales.

Material de la barra	E (MPa)	Dimensiones de la sección		Dimensiones de las barras		Incremento de la carga	A (cm)	E (cm)
		b(cm)	h(cm)	l1 (cm)	l2(cm)	ΔP (N)		

ΔP - Incremento que irá produciéndose en la carga en cada lectura.

a - Distancia desde la base hasta el punto donde se hallará el desplazamiento (K).

e - Distancia desde la base hasta el punto donde se aplicará la fuerza P.

3.2.4.1 Cuadro de Anotaciones y Resultados Experimentales.

Cuando Ud. esté realizando la práctica deberá llenar un cuadro similar al que se muestra a continuación.

Cuadro 3.2.1

No. de lecturas	Cargas P (N)	Lectura del extensómetro δ_k (cm)	Incremento de Deformaciones $\Delta\delta_k$ (cm)
1			
2			

donde:

P - carga aplicada.

δ_k - desplazamiento en el punto deseado.

$\Delta\delta_k$ - Incremento de los desplazamientos para cada intervalo de carga.

$$\Delta\delta_k = \Delta\delta_m - \delta_{km} - 1 \quad (3.2.4)$$

m - número de orden de las lecturas.

Posteriormente se debe calcular el promedio de los incrementos:

$$\Sigma\Delta\delta_K = \frac{\Sigma\Delta\delta_K}{n} \quad (3.2.5)$$

n - número de incrementos.

Este valor de $\Delta\delta_k$ es precisamente el desplazamiento en el punto deseado (k), obtenido en forma experimental para un valor de carga ΔP .

Para comprobar el cumplimiento del segundo objetivo de la práctica se calcula el % de error, el desplazamiento experimental y el teórico, calculado previamente.

$$\% \text{ de Error} = \frac{\delta_{Kt} - \Delta\delta_{KP}}{\delta_{Kt}} \cdot 100 \quad (3.2.6)$$

3.2.5 Preguntas de Autoevaluación.

- 1.- ¿Por qué para hallar el desplazamiento en un punto de un pórtico hiperestático se coloca la acción unitaria en el sistema base?
- 2.- ¿Qué propiedades poseen los pórticos hiperestáticos simétricos sometidos a cargas externas simétricas o anti simétricas?
- 3.- ¿Cuáles acciones interiores se consideran simétricas y cuáles anti simétricas?
- 4.- Diga qué significado tienen los parámetros que aparecen en las ecuaciones canónicas. De qué depende la cantidad de ecuaciones necesarias para resolver el sistema.
- 5.- ¿Cómo se determinan los coeficientes de las incógnitas de las ecuaciones canónicas? Explique.
- 6.- ¿Cómo se determinan los desplazamientos de las ecuaciones canónicas con subíndices repetidos?
- 7.- ¿Qué valores se asumen inicialmente para las acciones que representan los efectos de las ligaduras sobrantes?
- 8.- En un pórtico simétrico, ¿se incurre en algún error si se trabaja solo con la mitad del pórtico? Argumente la respuesta, basándose en el tipo de carga externa.

9.- ¿Por qué se construyen los sistemas hiperestáticos? Ponga 3 ejemplos reales.

10.- ¿Cómo se construye un sistema base y un sistema equivalente?

11.- Explique brevemente los pasos a seguir para realizar la práctica.

3.3 Guía de Practicas de Laboratorio para Ensayos de Columnas Metálicas.

Práctica de Laboratorio No. 7

Tema: “Flexión Longitudinal”

Título: “Ensayo de columnas metálicas”

Tiempo de duración: 50 minutos.

Objetivos:

Que los estudiantes sean capaces de:

1.- Determinar experimentalmente el valor de la carga crítica para diferentes condiciones en los apoyos, en columnas metálicas.

2.- Comprobar la veracidad de los métodos teóricos para la determinar de la carga crítica.

3.- Verificar visualmente la configuración que toma la columna al perder la estabilidad con la planteada en la teoría.

4.- Comprobar los valores del coeficiente de disminución de la longitud (ν) para diferentes condiciones de apoyo.

Indicaciones:

- El estudiante debe presentar al inicio de la práctica los cálculos teóricos, totalmente concluidos, en su cuaderno de trabajo.

- Los datos iniciales pueden obtenerse a través de la tablilla del laboratorio.

- En las Conclusiones del Informe de la Practica, debe hacerse referencia a los siguientes aspectos:

a) Todos los que aparecen en la Introducción de este texto.

b) Al número de semiondas que se producen con cada condición de apoyo al perder la columna su estabilidad, comparándolo con lo planteado en la teoría.

3.3.1 Fundamentos Teóricos, Generalidades.

Del estudio de la Resistencia de Materiales I se conocen los tres requisitos básicos que deben reunir los elementos de máquinas y las estructuras para

mantener su capacidad de trabajo en una forma óptima. Esos tres requisitos son: Resistencia, rigidez y estabilidad. En este caso se hará referencia solamente a la Estabilidad de las barras comprimidas.

3.3.1.1 Estabilidad:

Es la capacidad de un elemento de oponerse a grandes perturbaciones del equilibrio inalterado, como resultado de acciones de perturbaciones pequeñas.

Dicho de otra forma y para casos particulares de sollicitaciones, se puede definir como: La capacidad que posee un elemento de mantener una sola forma de equilibrio, la dada por el constructor.

De la Mecánica Teórica se conoce que existen tres formas de equilibrio: estable, inestable e indiferente.

Cuando sobre una barra larga actúa una carga axial menor que cierto valor crítico, aquella se encontrará en un estado de Equilibrio estable.

Si la fuerza de comprensión P es igual a la crítica (P_{crit}), la barra se encontrará en un estado de Equilibrio indiferente, es decir, al ser desviada ligeramente de su posición rectilínea inicial y después liberada, permanecerá también en equilibrio en la posición desviada.

Por último, si la fuerza P es mayor que la crítica, entonces, la forma rectilínea resultara inestable.

Es decir, la fuerza crítica ($P_{crit.}$) se puede definir como aquella fuerza para la cual el equilibrio de la barra comprimida es indiferente. En otras palabras, es la fuerza para la cual, tanto la forma rectilínea como la curvilínea contigua a ella, son formas posibles de equilibrio.

Sin embargo, no es posible utilizar el valor de la $P_{crit.}$ como carga de trabajo, puesto que existen algunos factores externos que influyen en forma negativa sobre la estabilidad.

Ellos son:

- Curvatura inicial de la barra.
- Heterogeneidad del material.
- Excentricidad en la aplicación de la carga.

Puede, además, considerarse otro factor, aunque no es fortuito, sino que el mismo influye si el diseñador lo desea y tiene una influencia considerable:

- Aparición de fuerzas transversales sobre la barra.

Por todo ello, es necesario utilizar como carga admisible para el trabajo, una que posea un valor menor que la P_{crit} .

$$[P] = \frac{P_{crit}}{n_e} \tag{3.3.1}$$

Donde:

[P] - carga admisible a compresión.

Ne - factor de seguridad a estabilidad. Su valor es algo mayor que para cálculos por resistencia.

P_{crit} - Carga Crítica.

Tabla 3.3.1 Factor de Seguridad a Estabilidad.

Material	Ne
Estructuras de Acero	1,8 – 3
Hierro fundido	2,8 -3,2
Elementos de Máquinas de Acero	4 – 5

Antes de proseguir, es necesario definir algunos aspectos.

Razón de esbeltez.

$$\lambda = \frac{V*L}{i_{Min}} \tag{3.3.2}$$

Es una magnitud que caracteriza la influencia de las dimensiones de la barra y el tipo de apoyo en los extremos sobre la estabilidad. Es adimensional, donde:

$$i_{min} = \frac{I_{min}}{A} \tag{3.3.3}$$

donde:

L - longitud geométrica de la barra.

A - área de la sección transversal.

I_{min} - momento de inercia mínimo de la sección transversal.

Para Secciones rectangulares: $I = bh^3/12$.

Para secciones circulares: $I = 0,05 d^4$.

Coeficiente de variación de la longitud (ν):

Este coeficiente depende del tipo de apoyo en los extremos de la barra y su valor de igual al inverso del número de semiondas que se originan al deformarse la barra producto de la pérdida de estabilidad.

Así, por ejemplo:

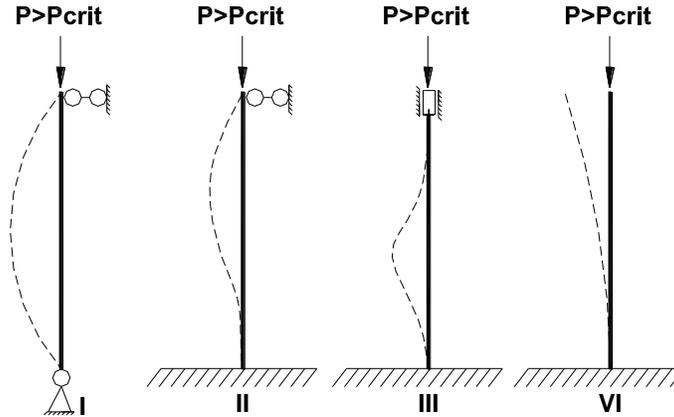


Fig.3.3.1 Apoyos en los extremos de la Barra.

Tabla 3.3.2 Valores de (ν) para cada caso de la (fig. 3.3.1)

Apoyos	I	II	III	IV
No. De Semiondas	1	$3/2=1,5$	2	$1/2$
Valores de ν	1	$2/3=0,7$	$1/2$	2

En dependencia del valor de λ , existen diferentes fórmulas para calcular el valor de la Tensión Crítica (σ_{CRIT}), y es por ello que se necesita conocer cuál de esas fórmulas se debe aplicar.

3.3.1.2 Tipos de miembros.

Se consideran tres tipos:

- 1.- Cortos.
- 2.- Intermedios.
- 3.- Esbeltos.

3.3.1.3 Miembro Esbelto.

Es aquel que posee una razón de esbeltez (λ) mayor que la calculada por la siguiente expresión y que dependen totalmente del material:

$$\lambda_{Lim} = \sqrt{\pi * E / \sigma_P} \quad (3.3.4)$$

Donde:

σ_P - Límite de proporcionalidad del material.

Para este tipo de miembro se emplea la llamada Fórmula de Euler para determinar la tensión crítica: (σ_{CRIT})

$$\lambda_{crit} = \pi^2 * \frac{E}{\sigma^2} \quad (3.3.5)$$

Donde:

E - módulo de elasticidad del material.

Los miembros que posean una $\lambda < \lambda_{LM}$ caen dentro de la clasificación de miembros intermedios o miembros cortos.

Los límites para un tipo u otro de miembros se determinan experimentalmente para cada material y la curva resultante queda como sigue:

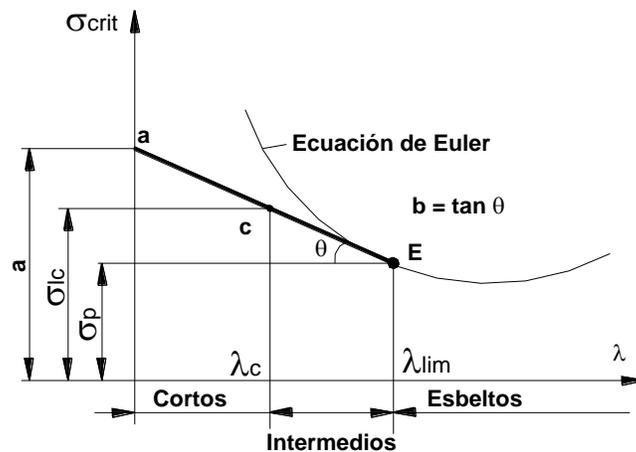


Fig. 3.3.2 Curva resultante para los diferentes de miembros.

3.3.1.4 El valor de la tensión crítica:

Miembros intermedios: (empíricamente):

$$\sigma_{crit} = a - b * \lambda \quad (3.3.6)$$

donde:

a- intercepto de la recta inclinada en el eje de las ordenadas.

b- pendiente negativa de la recta.

Miembros cortos: se utiliza la expresión de la Condición de Resistencia a compresión, donde:

$$\sigma_{crit} = \frac{P_{crit}}{A} \leq (\sigma)_c \quad (3.3.7)$$

$[\sigma]_c$ - Tensión permisible del material a compresión.

A - Área de la sección transversal.

Los valores límites de λ_c , λ_{LIM} y los de a y b aparecen tabulados.

3.3.2 Técnica Operatoria y descripción del equipo.

El equipo está representado en la (Fig. 3.3.3) se coloca la probeta 1 entre los apoyos 2 y 3 de acuerdo al tipo que se desee.

Según el diseño de estos apoyos es posible simular tres tipos, por medio de dispositivos que se verán en el laboratorio.

Para el caso representado en la (Fig. 3.3.3), la probeta se encuentra empotrada en su base, bien sujeta por la tuerca 2 y articulada en su parte superior, donde está simplemente apoyada sobre la base para la tuerca 3.

La estructura metálica 4, se encuentra firmemente unida a la mesa 9 por medio de los tornillos de sujeción 10.

Sobre la parte superior de la estructura 4, existe un orificio pasante por donde se desliza el tornillo guía 7 que está unido rígidamente al cabezal superior 5. Este tornillo garantiza que la carga sea aplicada en forma perfectamente coaxial con el eje de la barra o probeta 1. La carga se aplica por medio del cabezal superior 5 unido al cual se encuentran los tensores 11 que pasan a través de la base de la estructura y de la mesa para quedar sujetos al cabezal inferior 12. En el centro de este cabezal inferior se coloca el gancho con las pesas 6. La carga se va aplicando colocando las pesas 6 poco a poco, hasta que la probeta 1 pierda su estabilidad al deformarse bruscamente. Cuando esto ocurre, el tornillo guía 7 se desliza junto con el cabezal superior 5 hacia abajo, deteniendo este deslizamiento la tuerca tope 8 para que no se dañe el equipo. En este instante se conoce el valor de la carga crítica (P_{crit}), sumando los valores de las pesas colocadas, más el peso del cabezal superior 5 y el inferior 12.

Como medidas de seguridad e higiene y de aseguramiento para la exactitud del ensayo, pueden plantearse:

- Observar que antes de colocar las pesas el gancho que las soportará esté situado exactamente en el centro del cabezal inferior 12 para asegurar que la carga se aplique coincidiendo perfectamente con la dirección del eje de la barra.
- Tener mucho cuidado en sostener firmemente cada pesa para que no caiga de golpe sobre el gancho, y de esa forma evitar que se sumen cargas dinámicas.
- Mucho cuidado con la llave que se utiliza para manipular las tuercas de fijación de la probeta, pues pesa mucho debido a su tamaño.

En el ensayo que se desarrollará se tomarán las variantes I, II, y III para los apoyos de columna metálicas y se determinará el valor de la fuerza crítica (P_{crit}) experimental, la cual debe compararse con la fuerza crítica teórica ($P_{crit. T}$) calculada por la fórmula que corresponda de acuerdo al valor de que se determine. Para ello es necesario que se calcule el % de error que existe entre estos dos valores de P_{crit} .

3.3.2.1 Descripción del Equipo.

Para poder realizar los cálculos teóricos es necesario conocer previamente los siguientes parámetros:

L- Longitud de la barra (cm).

b- ancho de la sección transversal de la barra (cm).

h- espesor o grueso de la sección transversal de la barra (cm).

E- módulo de elasticidad del material (MPa).

Para los casos de Miembros Esbeltos y Miembros Intermedios, la P_{crit} se calcula mediante:

$$P_{crit} = A * \sigma_{crit} \quad (3.3.8)$$

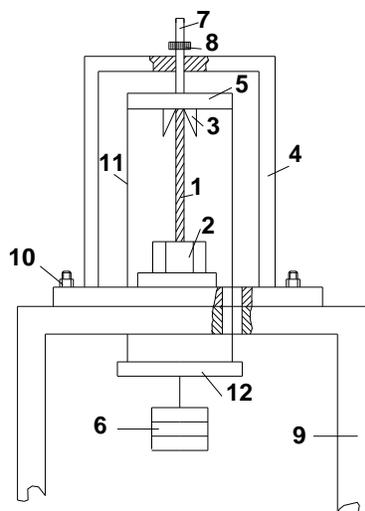


Fig.3.3.3 Partes de la Máquina del Ensayo.

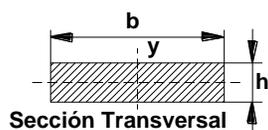


Fig. 3.3.4 Sección transversal.

- 1-Barra a ensayar (probeta).
- 2.- Tuerca de sujeción.
- 3.- Base para la Tuerca.
- 4.- Estructura Metálica.
- 5.- Cabezal superior para la aplicación de la carga.
- 6.- Sistema de gancho y pesas.
- 7.- Tornillo guía.
- 8.- Tuerca tope.
- 9.- Mesa.
- 10- Tornillo de sujeción.
- 11- Tensores.
- 12- Cabezal inferior para la aplicación de la carga. Sostiene el gancho con las pesas.

El montaje que aparece en la (fig. 3.3.5) corresponde al caso II de las condiciones de apoyo.

λ : Razón de esbeltez de la barra ensayada (adimensional).

σ_{CRIT} : Tensión crítica teórica calculada de acuerdo a la fórmula adecuada (KN/cm²).

P_{crit} : Fuerza crítica teórica (KN).

$$P_{crit} = \sigma_{crit} * T * A \tag{3.3.9}$$

Todos estos parámetros aparecen en forma tabulada en el cuadro de anotaciones, donde deben reflejarse sus valores. Una vez conocidos los mismos se pasa al cálculo teórico de la carga crítica, utilizando las expresiones que aparecen en el Fundamento Teórico. Estos resultados deben también reflejarse en el cuadro de anotaciones del cuaderno de trabajo para las prácticas de laboratorio y que es similar al que está a continuación.

3.3.2.2 Cuadro de Anotaciones y Resultados Experimentales.

Cuadro 3.3.1 Datos iniciales.

Apoyos	L Cm	B Cm	h cm	A cm ²	I _{min} cm ⁴	i _{min} cm	Material	E MPa
I								
II								
III								

Cuadro 3.3.2

Apoyos	ν	λ	σ_{CRIT} (MPa)	P_{crit} T (N)	P_{CRIT} E (N)	% de error
I						
II						
III						

Cuadro 3.3.3 Pesos adicionales.

Apoyo I:	N	Apoyo II:	N	Apoyo III:	N
----------	---	-----------	---	------------	---

Una vez conocida la $P_{crit E}$ (experimental) para cada condición en los apoyos, se compara con la $P_{crit T}$ (teórica) correspondiente, calculando el % de error por la expresión.

$$\% \text{ error} = \frac{P_{crit T} - P_{crit E}}{P_{crit T}} \quad (3.3.10)$$

Para desarrollar las conclusiones el estudiante debe leer detenidamente la introducción al texto y lo que aparece en las indicaciones al principio de la explicación de la práctica.

3.3.3 Preguntas de Autoevaluación.

- 1.- Exprese el concepto de estabilidad.
- 2.- Diga las diferentes formas de equilibrio y sus definiciones.
- 3.- Diga la definición de fuerza crítica.
- 4.- Cuales son los factores externos que afectan negativamente la estabilidad de barras comprimidas?
- 5.-Entre qué valores se establece el factor de seguridad para elementos estructurales y elementos de máquinas que trabajan a compresión?
- 6.-¿De qué parámetros depende la razón de esbeltez de una columna?
- 7.- ¿De qué depende el valor del coeficiente de variación de la longitud (ν) y cómo se determina este? ¿Cómo afecta el valor de la carga crítica?
- 8.- Exprese el valor de V para los ejemplos siguientes:

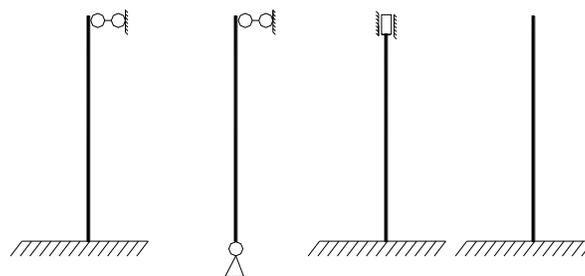


Fig. 3.3.5 Condiciones de apoyo.

9. ¿Cuándo es posible considerar un miembro esbelto?

- 10- ¿Cómo se determinan el valor de λ_{LIM} ?
- 11- ¿Qué expresión se utiliza para determinar el valor de σ_{CRIT} en miembros intermedios?
- 12- ¿Qué expresión se utilizan para calcular la carga crítica en miembros cortos?
- 13- Explique la técnica operatoria para el desarrollo del ensayo de columnas metálicas esbeltas?
- 14- Realice un diagrama de bloques para los cálculos teóricos a cualquier razón de esbeltas.

Capítulo IV: Cálculos demostrativos para la comprobación de las Guías de Prácticas de Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Este capítulo trata sobre la demostración de toda la metodología, conceptos y métodos explicados en los capítulos 3 y 4 mediante la realización de ensayos mecánicos, siguiendo los pasos propiamente explicados.

4.1 Cálculos demostrativos para ensayos de Tracción-Compresión Axial.

1. Se enciende la computadora. La sesión de trabajo desde la que se controla el software TextExpert.NET.
2. Una vez encendida la computadora se ejecuta el software que controla la máquina de ensayos. Se procede a realizar la alimentación de la caja de control de la máquina accionando el interruptor correspondiente.
3. Se realiza la conexión entre la máquina de ensayos y la computadora.
4. Antes de colocar las probetas en la máquina se miden cuidadosamente con el pie de rey tanto el diámetro como la longitud de cálculo, la cual será marcada en la probeta mediante un punzón. Posteriormente se coloca la probeta en el cabezal fijo y mediante los botones de bajar y subir, presente en la caja de control manual se ubica el cabezal móvil hasta la posición en la cual la probeta quede fija entre los dos dispositivos que tienen la función de realizar la sujeción de la misma.
5. Una vez fijada la probeta se procede a la configuración del experimento en el software TextExpert.NET para que este controle la máquina de ensayos durante el experimento.
6. Para configurar el ensayo en el menú desplegable *MethodType* se escoge la opción *Traction*. Luego se selecciona en el marco *Samples Status* la forma de la probeta y se le proporcionan al programa los valores de las dimensiones de la sección transversal de la misma. Luego en la pestaña *Control and Collection* debe escogerse una velocidad pequeña. Se selecciona también la escala de carga a utilizar.
7. Comenzar el ensayo.

8. Para la comprobación de este ensayo se hicieron pruebas para distintos materiales (Muestras) y se llenó la tabla 2.1.2 del capítulo 2 con los datos iniciales para el cálculo de cada Ensayo Mecánico respectivamente.

9. Se registraron en el cuadro 2.1.1 del capítulo 2, los valores de carga P, el desplazamiento δ , así como la deformación unitaria ϵ para cada ensayo, como se muestra en los siguientes epígrafes.

4.1.1 Muestra 1 del ensayo de Tracción para barras de Acero XM354.

Tabla 2.1.2 Datos iniciales para el Cálculo.

Material	d_o (mm)	l_o (mm)	A_o (mm ²)
Acero XM354	10	50	23.55

-Seguidamente se obtuvieron de la máquina los valores que se muestran a continuación en el Cuadro 2.1.1 del capítulo 2.

Cuadro 2.1.1

No. Lect.	Fuerza de Rotura (KN)	Tensión de Rotura (MPa)	Módulo E (MPa)	Fuerza Fluencia (KN)	Tensión de Fluencia (MPa)	Carga Máx. (KN)
1	61.36	780	291313.8	41.776	530	72.80

Y se obtuvo de la propia máquina la gráfica de deformación de la probeta durante el ensayo, que se muestra a continuación.

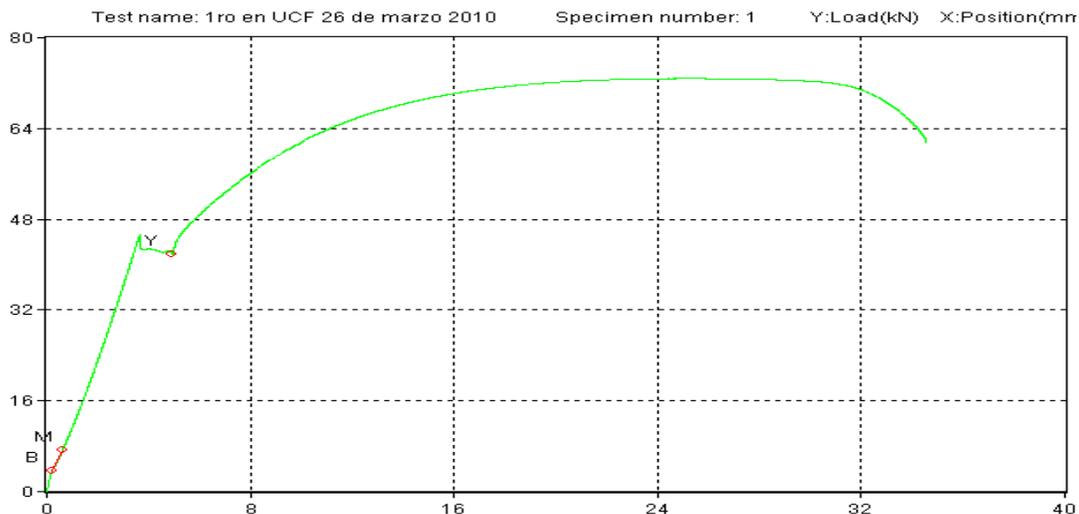


Fig. 4.1.1 Deformación de la probeta durante el ensayo de Tracción.

4.1.2 Muestra 2 del ensayo de Tracción para Correas Cauchotadas.

Tabla 2.1.2 Datos iniciales para el Cálculo.

Material	lo (mm)	Ao (mm ²)
Correas cauchotadas	150	90

Cuadro 2.1.1

No. Lectura	Carga P (kN)	σ (MPa)	Desplazamiento δ (mm)	Deformación Unitaria ϵ
1	0,00356	0,039555556	0,015	0,0001
2	0,014238	0,1582	0,045	0,0003
3	0,155729	1,730322222	0,495	0,0033
4	0,226029	2,511433333	0,745	0,004966667
5	0,396885	4,409833333	1,495	0,009966667
6	0,442269	4,9141	1,745	0,011633333
7	0,452948	5,032755556	1,795	0,011966667
8	0,477864	5,3096	1,945	0,012966667
9	0,486763	5,408477778	1,995	0,0133
10	0,51257	5,695222222	2,145	0,0143
11	0,518799	5,764433333	2,195	0,014633333
12	0,525918	5,843533333	2,245	0,014966667
13	0,535706	5,952288889	2,295	0,0153
14	0,542825	6,031388889	2,345	0,015633333
15	0,553504	6,150044444	2,43	0,0162
16	0,562403	6,248922222	2,495	0,016633333
17	0,598888	6,654311111	2,745	0,0183
18	0,630923	7,010255556	2,994	0,01996
19	0,688765	7,652944444	3,494	0,023293333
20	0,740378	8,226422222	3,994	0,026626667
21	0,791991	8,7999	4,494	0,02996
22	0,840934	9,343711111	4,994	0,033293333
23	1,271757	14,13063333	8,994	0,05996
24	1,782737	19,80818889	12,993	0,08662
25	2,52517	28,05744444	21,517	0,143446667
26	2,051579	22,79532222	25,042	0,166946667

Para calcular el módulo de elasticidad en este caso solamente se tomaron las primeras 14 muestras y con ellas se hallaron el incremento de las tensiones y la deformación unitaria.

Cuadro 2.1.2

No. Lect.	Incrementos	
	$\Delta\sigma$ (MPa)	$\Delta\varepsilon$
1	0,118644	0,0002
2	1,572122	0,003
3	0,781111	0,001667
4	1,8984	0,005
5	0,504267	0,001667
6	0,118656	0,000333
7	0,276844	0,001
8	0,098878	0,000333
9	0,286744	0,001
10	0,069211	0,000333
11	0,0791	0,000333
12	0,108756	0,000333
13	0,0791	0,000333
	$\sum\Delta\sigma=5,991833$	$\sum\Delta\varepsilon=0,015533$
	$\Delta\sigma_{prom}=0,460910256$	$\Delta\varepsilon_{prom} =0,001194872$

Con estos valores se halla $\Delta\sigma_{prom}$ y $\Delta\varepsilon_{prom}$ respectivamente.

Se calcula E según:

$$E_{prom} = \frac{0,460910256}{0,001194872} = 385,7403433 \text{ MPa}$$

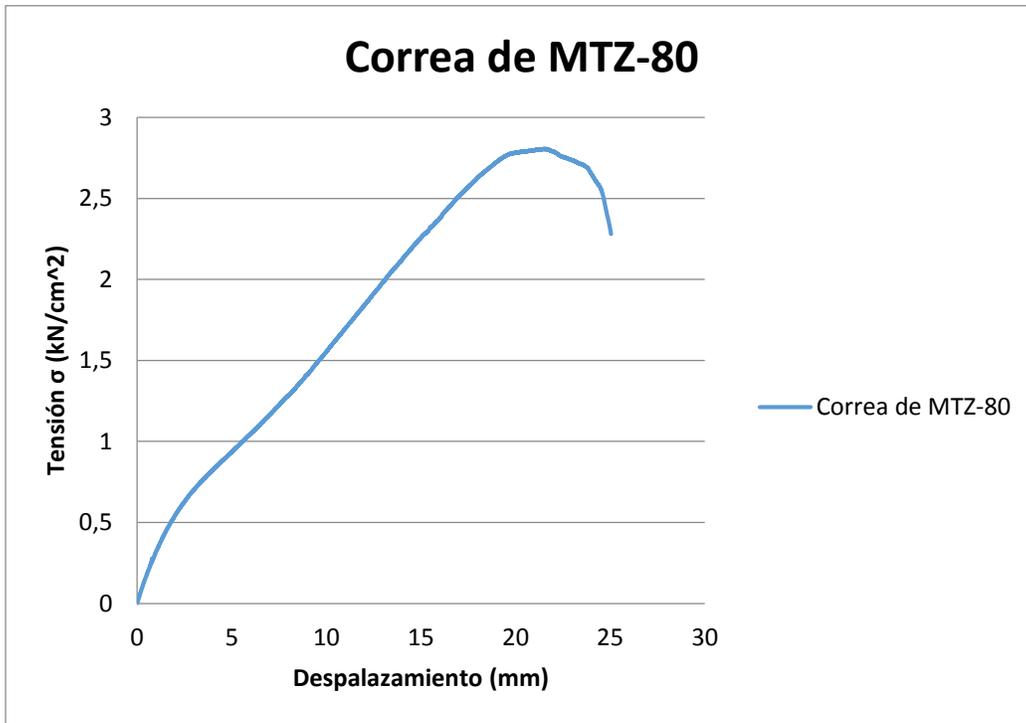


Fig. 4.1.2 Diagrama de tracción de la Correa de MTZ-80.

4.1.3 Muestra 3 del Ensayo de Tracción para Acero al Carbono.

Tabla 2.1.2 Datos iniciales para el Cálculo

Material	l_0 (mm)	b_0 (mm)	S_0 (mm)	A_0 (mm ²)
Acero al Carbono	54.5	12.8	2.500	32

Cuadro 2.1.1

No.	Tensión de Fluencia	Fuerza Fluencia	% de Elongación	Fuerza de Rotura	Área	Módulo E (MPa)	Tensión de Rotura
	MPa	N	%	N	mm ²	E5MPa	MPa
1	104	3315.918	8.5	9998.08	32.000	0.037	312.44

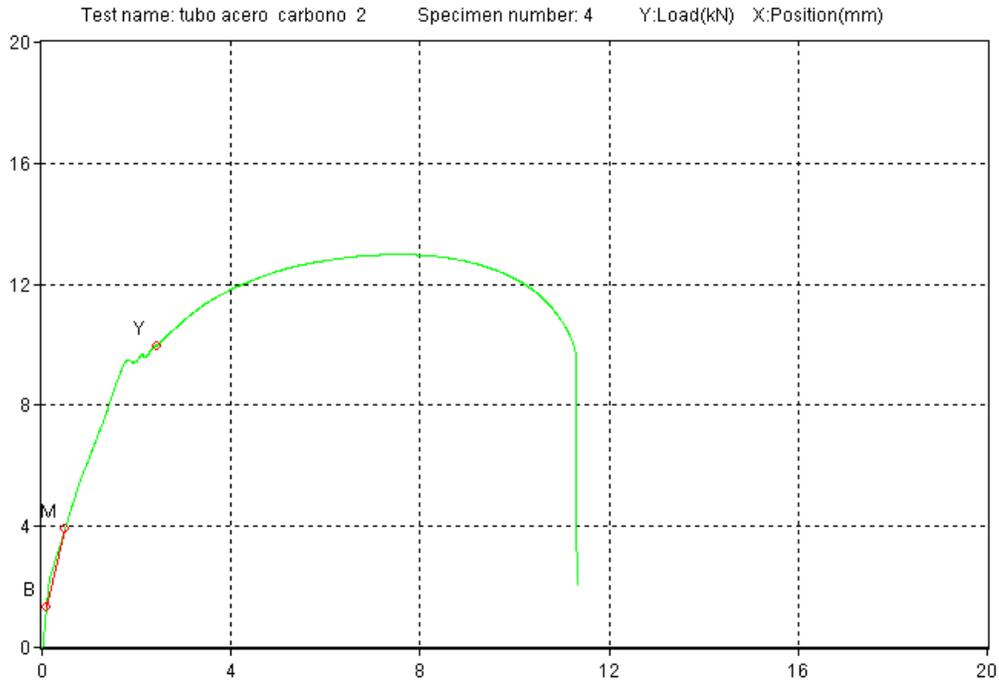


Figura 4.1.3 Diagrama de tracción del acero al carbono.

4.1.4 Muestra 4 del Ensayo de Tracción para Aluminio.

En este Ensayo se muestran imágenes describiendo los pasos que se van ejecutando en el software TestExpert.NET donde se realiza el mismo, con el objetivo de que el estudiante se familiarice con dicho software y comprenda su funcionamiento.

Tabla 2.12 Datos iniciales para el Cálculo.

Material	l_0 (cm)	b_0 (cm)	S_0 (cm)	A_0 (cm ²)
Aluminio	5.6	2.0	0.14	0.32

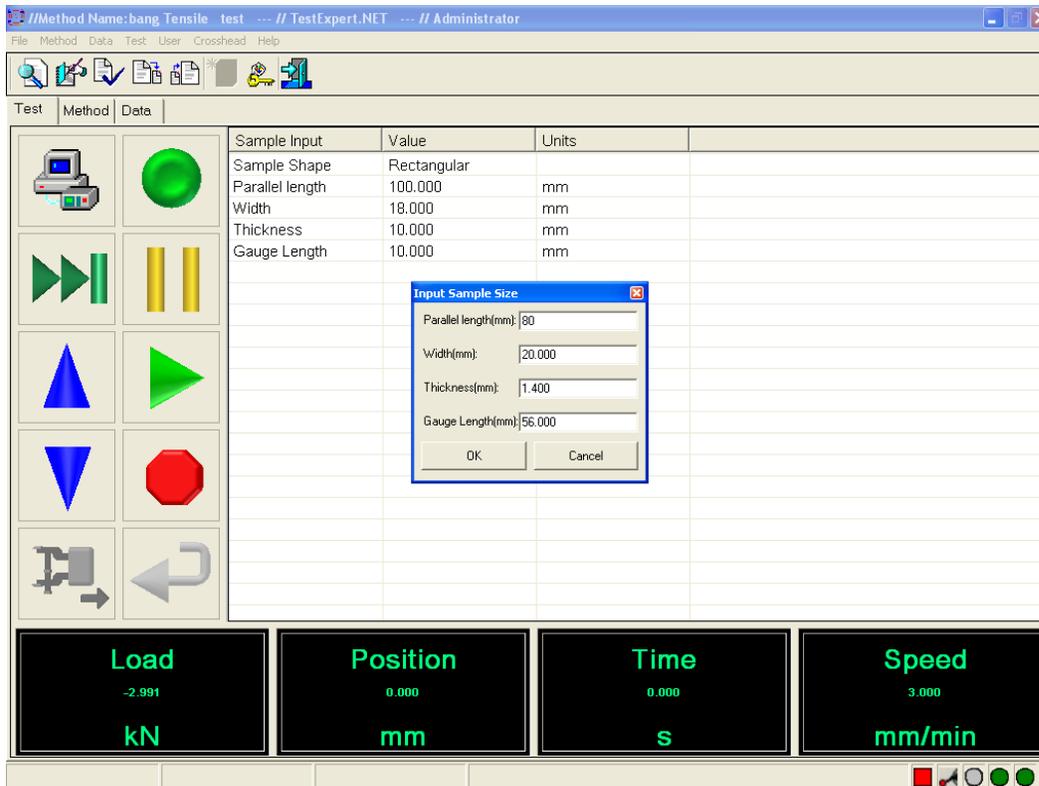


Figura 4.1.4 Introducción de datos al software TestExpert.NET.

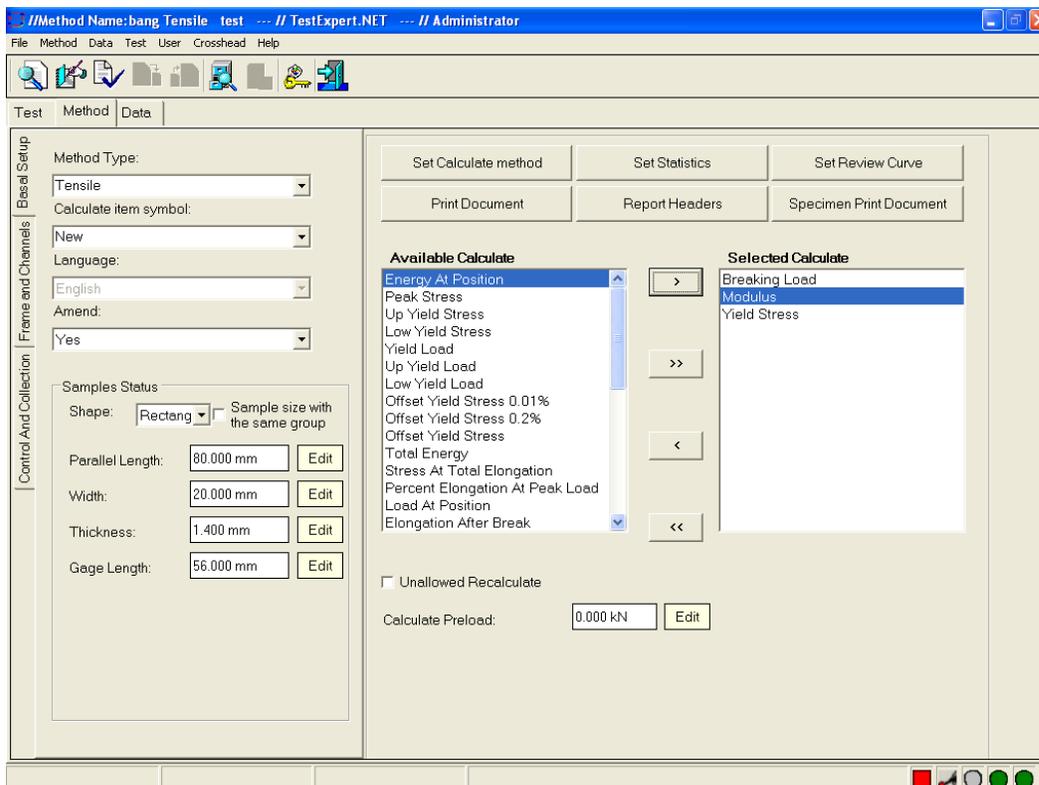


Figura 4.1.5 Configuración del software TestExpert.NET.

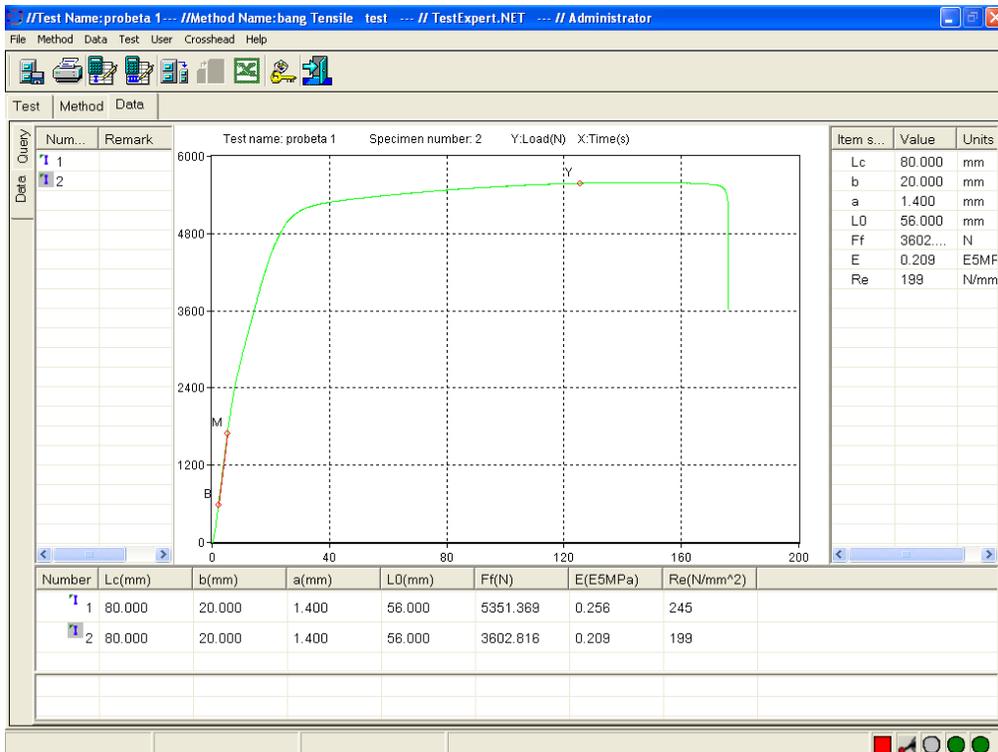


Figura 4.1.6 Diagrama de tracción obtenido por el software TestExpert.NET.

Cuadro 2.1.1

No.	Fuerza de Rotura	Módulo E (MPa)	Tensión de Rotura
	N	E5MPa	MPa
1	5351.369	0.256	245
2	3602.816	0209	199

4.2 Cálculos demostrativos para ensayos de Torsión en barras circulares.

Para la realización del ensayo se procedió de manera siguiente:

- a). Se registraron los datos iniciales sobre el equipo y de la probeta, en la Tabla 2.2.1 del Capítulo 2.

Tabla 2.2.1 Datos necesarios sobre las probetas y el equipo.

Material de la probeta	r (cm)	L (cm)	l (cm)	$\delta_{\min.}$ (cm)	C (cm)	R (cm)
Ac. CT-3	1.712	14	29	0.278	46	0.717

- b) Se fijaron los brazos en los puntos A y B a una distancia determinada (L) uno del otro.
- c) Se fijaron los extensómetros a cero antes de comenzar a cargar la probeta.
- d) Tras comenzar el ensayo, se registran los valores de la deformación aplicada por el par torsional, marcados por los extensómetros para cada valor de la carga aplicada.
- e) Se registraron los valores de P y los desplazamientos lineales obtenidos en las columnas 2, 4 y 5 del Cuadro 2.2.1.
- f) El procesamiento de datos para completar el Cuadro 2.2.1 se llevó a cabo de la siguiente forma:
- Se obtuvo el valor de M_t para cada valor de P según la ecuación (2.2.29):

Tabla 4.2.1 Valores de M_t para las distintas cargas P.

Valores de (P) en N	(M_t) generado en N/cm
2452	56 396
3 065	70 495
7 968	183 246

- Se hallaron los valores de K_1 y K_2 con las ecuaciones (2.2.23) y (2.2.25) respectivamente para posteriormente calcular con ellos los valores de τ y γ .
 $K_1=0.372$.
 $K_2=0.898$.
- Para cada valor de M_t hallado se calculó τ según la ecuación (2.2.26):

Tabla 4.2.2 Valores de (τ) para cada valor de (M_t)

M_t (N/cm)	τ dado en (N/cm ²)
56 396	62 801.78
70 495	78 502.227
183 246	204 060.134

-. Para cada par de lecturas de los extensómetros se calculó su diferencia y se llevaron estos resultados a (cm)

Tabla 4.2.3 Diferenciales entre cada par de mediciones de los extensómetros.

Mediciones	Diferencial entre mediciones
1	0.014
2	0.020
3	0.080

-. Se calculó γ según la ecuación (2.2.32).

Tabla 4.2.4 Valores de γ en (cm).

No. de Medición	Valores de γ
1	0.0052
2	0.0074
3	0.0298

-. Luego, se hallaron los incrementos sucesivos para cada valor de (τ) y (γ):

Tabla 4.2.5 Valores de los incrementos de (τ) y (γ)

Incremento de (τ)	Incremento de (γ)
15 700.447	0.0022
125 557.907	0.0224

-. Se calcularon los valores de $\sum\Delta\tau$ y $\sum\Delta\gamma$, con los que posteriormente se hallaron los valores de $\Delta\tau_{prom}$ y $\Delta\gamma_{prom}$.

$$\sum\Delta\tau=345\ 364.141$$

$$\sum\Delta\gamma=0.0424$$

Por tanto;

$$\Delta\tau_{prom}=115\ 121.38$$

$$\Delta\gamma_{prom}=0.01\ 413$$

Se calculó G_p según la ecuación (2.2.35).

$$G_p=8\ 147\ 302.2$$

Luego en el Cálculo de G_T , donde el valor de E para el acero CT-3 es $2*10^5$ y μ es 0.3

$$G_T=7\ 692\ 300\ N/cm^2$$

se halló el % de error por la ecuación (2.2.36)

$$\% \text{ error}=5.6 \%$$

El error relativo obtenido está condicionado por diversos factores externos como son:

- 1- Pérdidas que pueden existir por la transmisión empleada, como se puede observar en la maqueta se está utilizando un cable de acero y una rondana para poder colocar las pesas en su extremo.
- 2- Errores que puede provocar la inadecuada colocación del extensómetro con respecto al centro de la barra.
- 3- Inexactitud en la lectura de las mediciones del extensómetro.
- 4- La no adecuada sujeción del instrumento.

Cuadro 2.2.1

No. Lect.	Carga P (KN)	Mt (KN.cm)	Desplazamientos lineales			
			e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	(e ₁ -e ₂) (mm)	(e ₁ -e ₂)*10 ⁻¹ (cm)
1	2452	56 396	0.25	0.11	0.14	0.014
2	3065	70 495	0.35	0.15	0.20	0.02
3	7968	183 246	1.30	0.50	0.80	0.08

g) Posteriormente se llenó el cuadro 2.2.2 con los valores de la Tensión Tangencial, Deformación Angular, Incremento de la Tensión y, Incremento de la Deformación.

Cuadro 2.2.2

No. Lect.	Tensión. Tangencial (τ) (MPa)	Deformación angular (γ)	Incremento de tensión $\Delta\tau$ (MPa)	Incremento de deformación. $\Delta\gamma$ (cm)
1	62 801.78	0.0052	-	-
2	78 502.227	0.0074	15 700.447	0.0022
3	204 060.134	0.0298	125 557.907	0.0224
4				
			$\sum\Delta\tau = 345$ 364.141	$\sum\Delta\gamma = 0.0424$
			$\Delta\tau_{PROM} = 115$ 121.38	$\Delta\gamma_{PROM} = 0.01413$

4.3 Cálculos demostrativos para Ensayos de Desplazamientos en Barras Quebradas.

Para la realización del ensayo se procedió de manera siguiente:

- Antes de comenzar el Ensayo se tomaron algunos datos iniciales para posteriormente a la elaboración de los datos prácticos en el Cuadro 3.1.1 del Capítulo 3, situado en el siguiente Epígrafe 4.4.1.
- Se situaron los extensómetros en los puntos anteriormente señalados y antes de comenzar a colocar la carga se hicieron coincidir a cero.
- Tras ir colocando pesas se fueron registrando los valores de las deformaciones que se fueron obteniendo.

d) Se registran los valores de los desplazamientos provocados por el peso para cada Caso planteado en el Epígrafe 3.1.2 del Capítulo 3 en el Cuadro de anotaciones 3.1.2.

4.3.1 Caso 1, Muestra 1 de los desplazamientos en Barras Quebradas.

En este caso se cuentan con dos extensómetros, en esta muestra se ubicó el extensómetro 1 en el punto cero y el 2 en el codo.

Cuadro 3.1.1 Datos iniciales; Muestra 1.

Incremento de la carga KN	Material probeta	E MPa	G MPa	I1 cm	I2 cm	I3 cm	Sección transversal.	D Cm	A cm	B Cm	C cm
-	CT-3	2*10 ⁵	8*10 ⁴	20	19	13	Circular	1.013	0	9.5	19

Cuadro 3.1.2 Datos de la práctica; Muestra 1.

No	Carga P (Kg)	Caso1: Desplazamiento horizontal del punto (A) X10 ⁻³		Caso1: Desplazamiento vertical del punto (B)X10 ⁻³	
		Lectura extensómetr o δ(A)x (cm)	Incremento de Lectura Δδ (A)x (cm)	Lectura extensómetr o δ (B)y (cm)	Incremento de Lectura Δδ (B)y (cm)
1	1839	0.031	-	0.001	-
2	2452	0.078	0.047	0.0015	0.0005
3	4904	0.094	0.016	0.0035	0.002

4.3.2 Caso 1, Muestra 2 de los desplazamientos en Barras Quebradas.

En esta muestra el extensómetro 1 se encuentra a 6 cm del punto donde se ejerce la fuerza mientras que el 2 se encuentra a 11.2 cm del codo.

Cuadro 3.1.1 Datos iniciales; Muestra 2.

Incremento de la carga KN	Materia l probeta	E kg/cm ²	G kg/cm ²	I1 Cm	I2 cm	I3 cm	Sección transversal .	D Cm	A Cm	B Cm	C Cm
-	CT-3	2*10 ⁵	8*10 ⁴	20	19	13	Circular	1.013	6	9.5	11.5

Cuadro 3.1.2 Datos de la práctica; Muestra 2.

No	Carga P (Kg)	Caso1: Desplazamiento horizontal del punto (A) X10 ⁻³		Caso1: Desplazamiento vertical del punto (B)X10 ⁻³	
		Lectura extensómetro δ(A)x (cm)	Incremento de Lectura Δδ (A)x (cm)	Lectura extensómetro δ (B)y (cm)	Incremento de Lectura Δδ (B)y (cm)
1	1839	0.083	-	0.00005	-
2	2452	0.136	0.053	0.001	0.0005
3	4904	0.237	0.101	0.004	0.003
4	9808	0.505	0.313	0.0055	0.0015

4.3.3 Caso2, Muestra 1 de los desplazamientos en barras quebradas.

En esa Caso se ubica solo en extensómetro, para esta Muestra fue ubicado a 9.5 cm del punto donde se ejerce la fuerza.

Cuadro 3.1.1 Datos iniciales.

Incremento de la carga KN	Materia l probeta	E kg/cm ²	G kg/cm ²	I1 Cm	I2 cm	I3 cm	Sección transversal.	D cm	b cm
-	CT-3	2*10 ⁵	8*10 ⁴	20	19	13	Circular	1.013	9.5

Cuadro 3.1.2 Datos de la práctica.

No	Carga P (Kg)	Caso1: Desplazamiento horizontal del punto (A) X10 ⁻³	
		Lectura extensómetro $\delta(A)x$ (cm)	Incremento de Lectura $\Delta\delta$ (A)x (cm)
1	1 839	0.165	-
2	2 452	0.26	0.095
3	4 904	0.415	0.155

4.3.4 Muestra 2 de los desplazamientos en barras quebradas.

En este caso el extensómetro se encuentra a 11.5 cm del punto donde se ejerce la fuerza

Cuadro 3.1.1 Datos iniciales.

Increme nto de la carga KN	Materia l probeta	E kg/cm ²	G kg/cm ²	I1 cm	I2 cm	I3 cm	Sección transvers al.	D cm	b cm
-	CT-3	2*10 ⁵	8*10 ⁴	20	19	13	Circular	1.013	11.5

Cuadro 3.1.2 Datos de la práctica.

No	Carga P (Kg)	Caso1: Desplazamiento horizontal del punto (A) X10 ⁻³	
		Lectura extensómetro $\delta(A)x$ (cm)	Incremento de Lectura $\Delta\delta$ (A)x (cm)
1	1 839	0.025	-
2	2 452	0.039	0.014
3	4 904	0.094	0.055

4.4 Cálculos demostrativos para Ensayo de Desplazamientos en Pórticos Hiperestáticos.

Para la realización del ensayo se procedió de manera siguiente:

- a) Antes de comenzar a colocar las pesas, se ajustó el extensómetro a cero.
- b) Se colocó el extensómetro (4) en el punto donde se halló la deformación, teniendo en cuenta la orientación del mismo.
- c) Se registró en el cuadro de anotaciones, el desplazamiento leído por el extensómetro para cada valor de la carga colocada.
- d) Se procesó cada valor obtenido de las mediciones.
- e) Se llenó la Tabla (3.2.1) con los datos iniciales y el cuadro (3.2.1) con los resultados experimentales.

Tabla 3.2.1 Datos Iniciales.

Material de la barra	E (MPa)	Dimensiones de la sección	Dimensiones de las barras		Incremento de la carga	a (cm)	e (cm)
		D(cm)	l1 (cm)	l2(cm)	ΔP (N)		
Ac. CT-3	$2 \cdot 10^5$	1.0	30	30	6742	22.5	16

Cuadro 3.2.1

1	Cargas P (N)	Lectura del extensómetro δ_k (cm)	Incremento de Deformaciones $\Delta\delta_k$ (cm)
1	1 839	0.015	-
2	6 742	0.092	-1.015
3	11 645	0.185	-1.092

- f) Posteriormente se calculó el promedio de los incrementos, que es el valor experimental por la Ecuación (3.2.5) del Capítulo 3.

$$\Delta\delta_{kprom} = -1.0535 \text{ cm}$$

- g) Posteriormente para cumplir el segundo objetivo de la Práctica se calculó el valor del desplazamiento teórico δ_{kt} , para poder hallar el % de error por la ecuación (3.2.6) del Capítulo 3.

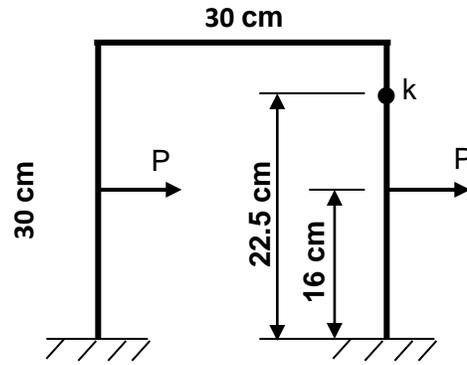


Figura 4.4.1 Maqueta utilizada para el ensayo.

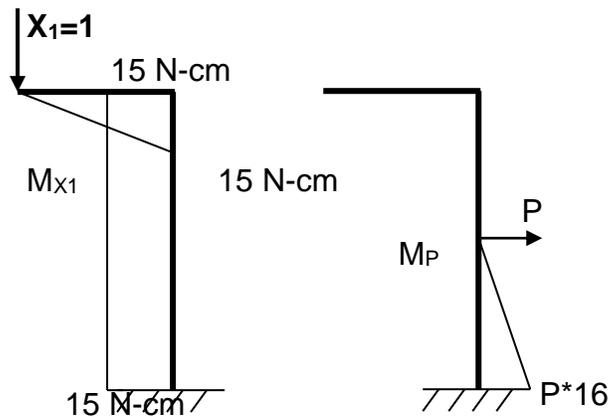


Figura 4.4.2 Gráficos de Momentos.

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_x} (\text{Triangulo} * \text{Triangulo} + \text{Rectangulo} * \text{Rectangulo}) = \frac{7875}{EI_x}$$

$$\delta_{1P} = -\frac{1}{EI_x} (\text{Triangulo} * \text{Rectangulo}) = -\frac{22358400}{EI_x}$$

$$\delta_{11} * X_1 = \delta_{1P}$$

$$X_1 = \frac{\delta_{1P}}{\delta_{11}} = 2839.2 \text{ N}$$

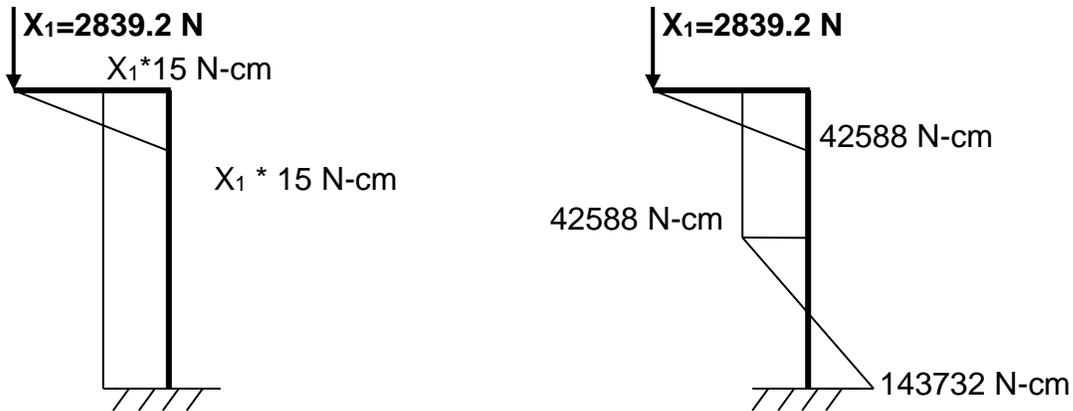


Figura 4.4.3 Gráfica de Mx_1 real y el gráfico de Momentos Resultante.

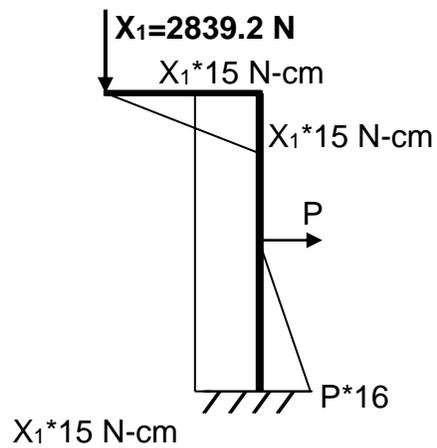


Figura 4.4.4 Gráfica resultante sin combinar.

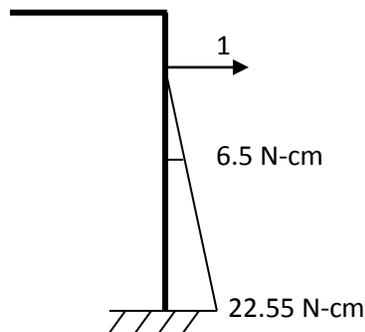


Figura 4.4.5 Gráfica de la fuerza unitaria.

$$\delta_{kt} = \frac{1}{EI_x} (-\text{Triangulo} * \text{Rectangulo} - \text{Rectangulo} * \text{Trapezio} + \text{Trapezio} * \text{Triangulo})$$

$$\delta_{kt} = 1.12 \text{ cm}$$

$$\% \text{ Error} = \frac{\delta_{kt} - \Delta\delta_{kp}}{\delta_{kt}} * 100 = 5.94 \%$$

El error relativo obtenido está condicionado por diversos factores externos como son:

- 1- Pérdidas que pueden existir por la transmisión empleada, como se puede observar en la maqueta se está utilizando un cable de acero y una rondana para poder colocar las pesas en su extremo.
- 2- Errores que puede provocar la inadecuada colocación del extensómetro con respecto al centro de la barra.
- 3- Inexactitud en la lectura de las mediciones del extensómetro.
- 4- La no adecuada sujeción del instrumento.

4.5 Cálculos demostrativos para ensayos de Columnas Metálicas.

Para la realización del ensayo se procedió de manera siguiente:

a). Antes de comenzar el ensayo, se registraron en el Cuadro 3.3.1 los datos iniciales.

Cuadro 3.3.1 Datos iniciales.

Apoyos	L Cm	B Cm	H cm	A cm ²	I _{min} cm ⁴	i _{min} cm	Materia I	E MPa
I	43	3	3.35	1.005	0.0094	0.00935	CT-3	2*10 ⁵

b) Luego se colocaron los Extensómetros y se hicieron coincidir en cero, antes de comenzar a colocar las pesas.

c) En este ensayo se utilizó la probeta empotrada en su base, bien sujeta por la tuerca y articulada en su parte superior, donde está simplemente apoyada sobre la base para la tuerca, se garantizó que la carga aplicada fuera perfectamente coaxial con el eje de la barra o probeta.

d) Tras comenzar el ensayo se van registrando los valores de las deformaciones para cada valor de la carga que se le va aplicando.

e) En el ensayo que se desarrolló se tomó la variante III para los apoyos de columna metálicas.

f) Se realizan una serie de cálculos demostrativos explicados en el Capítulo 3 con la finalidad del cálculo del % de error que existe entre los valores de $P_{CRIT E}$ y $P_{CRIT T}$, los valores obtenidos de estos cálculos se exponen en la tabla 3.3.2 mostrada a continuación.

Cuadro 3.3.2

Caso Apoyos	ν	λ	σ_{CRIT} (MPa)	$P_{CRIT T}$ (N)	$P_{CRIT E}$ (N)	% de error
III	0.5	2299.5	619601.6	622699.6	548322.58	11.9

Conclusiones

En el presente trabajo se estudiaron los fundamentos básicos de ensayos mecánicos, con el fin de realizar un estudio global para la realización de las Guías de Prácticas de Laboratorio de Resistencia de Materiales I y II de la carrera de Ingeniería Mecánica. De esta forma se pudo llegar a un grupo de respuestas en base a los objetivos planteados. Nótese que el grupo de Guías creadas solo son un reflejo de las condiciones propias de este trabajo.

- 1). Se investigó sobre los fundamentos, materiales y métodos de los ensayos mecánicos más utilizados en Resistencia de Materiales, así como el principio de funcionamiento de las máquinas más comunes.
- 2). Se elaboraron, en base a las diversas bibliografías consultadas, siete guías de prácticas de laboratorio de Resistencia de Materiales I y II, garantizando un aprendizaje enriquecido a los estudiantes de Ingeniería Mecánica.
- 3). Se comprobó la veracidad de las prácticas realizadas implementando ensayos en laboratorio de Resistencia de Materiales regidos por las mismas y tomando mediciones experimentales, arrojando resultados satisfactorios y por ende dando cumplimiento al objetivo general de este trabajo.

Recomendaciones

- 1). Continuar profundizando y mejorando las Guías de Prácticas de Laboratorio de Resistencia de Materiales.
- 2). Utilizar estas Guías de Laboratorio de Resistencia de Materiales conjuntamente con la asignatura Ciencia de los Materiales, debido a la estrecha relación que existe entre las mismas.
- 3). Evaluar la posibilidad de implementar otros ensayos y pruebas a materiales en el Laboratorio de Resistencia de Materiales, a partir del uso de las guías obtenidas.

Referencias Bibliográficas

- Afanásiev, A., & Marién, V. (1978). *Prácticas de Laboratorio sobre Resistencia de Materiales*. Moscú: MIR.
- Beer, P., & Ferdinand. (2013). *Mecánica de Materiales*. México: Interamericana.
- Espinoza, F. F. (1982). *Ensayos Mecánicos en Materiales* (maestría). Nuevo León, Monterrey.
- Feodosiev. (1985). *Resistencia de Materiales* (Vol. VI). Moscú.
- Gómez, B. A. O. (2003). *Guía de Prácticas de Laboratorio para Estudio de las Principales Propiedades Mecánicas de los Aceros de mayor Comercialización en Guatemala*. San Carlos, Guatemala.
- Gondar, G. J, & Rodríguez, R. J. (2007). *Diseño y Construcción de una Máquina para Ensayos de Fatiga de Muestras Planas por Flexión Alternativa*. Central de Venezuela, Caracas.
- Hamburg, G. (2017). *Métodos de Ensayos Mecánicos*.
- Levy, G. S. F. (1974). *Resistencia de Materiales* (Vol. I). Moscú: MIR.
- Lorens, M. (2015). Fuel instruments & Engineers. www.fuelinstrument.com. Retrieved from <http://www.fuelinstrument.com/>.
- Méndez, C. A. C., Hernández, L. L. N., & Claro, A. E. (2002). *Resistencia de Materiales*. Universidad Central de las Villas, Cuba.
- Mesa, L. A. S., & Uribe, D. A. J. (2016). *Banco didáctico para ensayo de torsión en barras*. Tecnológica de Pereira.
- Peña, R. (2013). *Manual de Prácticas de Laboratorio Resistencia de Materiales*. Ciudad Habana: Instituto Técnico Militar.
- Ramos, C. S. (2017). *Ensayo de Tracción Universal*.
- Stiopin, P. (1968). *Resistencia de Materiales*. MIR.
- Trujillo, J. E. S. (2007). *Resistencia de Materiales Básica para estudiantes de Ingeniería*. Colombia.
- Wamba, J. R. (2017). Estabilidad estructural. *Ingeniería Rural*. Retrieved from <http://www.Ingenieria Rural.com/>.
- Wang. (2008). *Manual de Uso y Características de la Máquina Universal de Ensayos Mecánicos DNS-200*.

Anexos.**Anexo I: Máquina Universal de Ensayos Mecánicos DNS-200.****Anexo II: Maqueta para Ensayos de Torsión en barras circulares.**

Anexo III: Maqueta para determinar los desplazamientos en barras quebradas.



Anexo IV: Maqueta para determinar desplazamientos en Pórticos Hiperestáticos.



Anexo V: Maqueta para Flexión longitudinal en Ensayos de columnas metálicas.

