



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial
Departamento de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Diploma

Título: Diseño y fabricación del dispositivo para la realización del ensayo de flexión.

Autor: Alejandro Jaime Bathe del Busto

Tutor: Dr. Luis I. Negrín Hernández

Ing. Maikel Moya Prado

“Año 59 de la Revolución”

Curso: 2016-2017

CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA



Pensamiento

Plantear nuevas preguntas, nuevas posibilidades, considerar los viejos problemas desde un nuevo ángulo, requiere imaginación creativa y marca un avance real en la ciencia.

Albert Einstein.

Dedicatoria

- *A mi padrastro, porque sin su ayuda esto nunca hubiera sido posible, por ser más que un padre para mí y en especial a mi madre por siempre estar conmigo, darme su amor incondicional en todo momento, por estar continuamente presente para ayudarme e impulsarme a seguir para adelante para lograr este objetivo.*

- *A mi tía Milagros, por estar pendiente a mí en todo momento y por todo el cariño brindado durante mi vida. A mi tío Chiquitico por ser el modelo de hombre que siempre he querido seguir.*

Agradecimientos

Llega el momento de la despedida y quedan atrás momentos que jamás olvidaré, por eso, resulta casi imposible expresar con palabras la inmensa gratitud que siento por todas aquellas personas que estuvieron a mi lado durante todo el camino.

- *A mi madre por todo el apoyo y el amor incondicional que me ha brindado durante toda la vida, sin ella no hubiese podido lograr ninguna de las metas alcanzadas.*
- *A mi padrastro por ser como un padre para mí y estar siempre dispuesto a brindarme su ayuda.*
- *A mis familiares más allegados, en especial a mis tías y mis primas, por todo el cariño que he recibido de parte de ellos.*
- *A la FAMILIA MECANICA (Issac, El Gato, Cesar, Carlito, Marcos, Suarez, Yorley, Omar Yoesleibi, Mora y otros) por permitirme ser parte de sus vidas, por compartir juntos todo este tiempo de estudio y sacrificio, porque cuando la vida nos juntó lo hizo con un objetivo y ese objetivo hoy la mayoría lo hemos cumplido, y por las fiestas que siempre formábamos. Muchas gracias, los llevaré siempre en el corazón.*
- *A mis tutores Luis Iván Negrín Hernández y Maikel Moya Prado por brindarme su sabiduría y ayuda para la realización de este trabajo.*
- *A mi hermano, mi papá y La China por su preocupación durante estos años de carrera.*
- *A mis compañeros de aula y a todo el claustro de profesores y técnicos quienes de una forma u otra han ayudado en estos cinco bellos años.*
- *A todas las profesoras del CDICT de la sede pedagógica Félix Varela en especial a Nilda y Teresa*

En fin, muchas gracias a todas las personas que brindaron su apoyo durante el transcurso de la carrera.

Resumen

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla una instalación para la realización de la práctica de laboratorio de flexión perteneciente a la asignatura Resistencia de Materiales. Primeramente, se hace un estudio donde se refleja la importancia de los laboratorios para una mejor impartición de las diferentes asignaturas y en particular para una mejor formación de los futuros ingenieros. Posteriormente se realiza el diseño y fabricación de la instalación para la realización del ensayo. Se proyecta utilizando el software SolidsWork, en el que se modelan todas las piezas con sus correspondientes planos y se realiza en ensamble de la instalación. Se presentan las tecnologías de maquinado de las diferentes piezas y la tecnología de soldadura para su posterior unión. Después se hace la guía para el laboratorio y se valida la instalación con la realización del ensayo y el análisis de los resultados. Finalmente se aplica la instalación con los estudiantes de tercer año de Ingeniería Mecánica que estaban recibiendo la asignatura.

ABSTRACT

In the present work an installation is developed for the accomplishment of the laboratory of flexion belonging to the subject of Resistance of Materials. Firstly, a study is done which reflects the importance of the laboratories for a better delivery of the different subjects and in particular for a better training of the future engineers. Subsequently, the design and manufacture of the installation is carried out to make the test. It is projected using the software SolidsWork, in which all the pieces with their corresponding planes are modeled and realized in assembly of the installation. The technologies of machining of the different parts and the technology of welding are presented for their subsequent union. The guide is then made for the laboratory and the facility is validated by conducting the test and the analysis of the results. Finally, the installation is applied with the students of third year of Mechanical Engineering who were receiving the subject.

Índice

Introducción	1
Capítulo I. Marco teórico	3
1.1. Papel de los laboratorios en la enseñanza.....	3
1.2. Ensayo de flexión	10
Conclusiones.....	16
Capítulo II. Diseño y fabricación del dispositivo para el ensayo de flexión.....	18
2.1. Introducción	18
2.2. Diseño del dispositivo	18
2.2.1. Probetas utilizadas	19
2.3. Fabricación del dispositivo	20
2.3.1. Tecnología de maquinado.....	20
2.3.2. Tecnología de soldadura.....	22
Conclusiones.....	34
Capítulo III. Aplicación y validación de la instalación.	35
3.1. Introducción	35
3.2. Guía para el Laboratorio de Flexión	35
3.3. Validación de la práctica.....	42
Conclusiones.....	44
Conclusiones generales	46
Recomendaciones.....	48
Bibliografía	
Anexos	

Introducción

Introducción

Los recursos de los que disponen las universidades y/o los profesores suelen ser muy limitados por lo que la mejora de los laboratorios en muchos casos es una cuestión de imaginación e ingenio (Sánchez 2011). En el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV) existe una máquina universal de ensayos con más de 35 años de explotación. Esta máquina se ha utilizado a lo largo de este tiempo en la realización de los laboratorios de Tracción, Compresión y Flexión pertenecientes a la asignatura Resistencia de Materiales. Para la realización de cada uno de estos ensayos es necesario realizar cambios en los dispositivos de sujeción y aplicación de la carga, para lo que se requiere retirar e instalar una cantidad de piezas significativas. Con el uso muchas de estas piezas han sufrido desgaste y deformaciones, lo que impide en estos momentos, la realización de los ensayos de flexión y compresión.

En el Plan de Estudios vigente la Resistencia de Materiales se imparte en el tercer año de la carrera Ingeniería Mecánica, y es una de las primeras materias en la que el estudiante tiene contacto directo con su especialidad. Al momento de diseñar sistemas mecánicos y estructuras, se requiere que el estudiante comprenda el comportamiento mecánico de los materiales que se utilizan. La mecánica de los materiales es una rama de la mecánica aplicada que estudia la reacción de los cuerpos sólidos sometidos a diversas cargas. Este campo de estudio tiene otros nombres como son: mecánica de los materiales y mecánica de cuerpos deformables. La forma más aproximada para determinar cómo se comportan los materiales cuando se someten a cargas, es efectuar experimentos en laboratorios. En general, deben emplearse más de un ensayo en la solución de un determinado problema. Si un estudiante está provisto con medios para experimentar y aplicar la teoría al mundo real, esto no solo puede conducir a mejorar el entendimiento de los conceptos teóricos, sino a darle confianza para enfrentar situaciones complejas. Dentro de los ensayos fundamentales se encuentra el de flexión, que no se puede realizar en estos momentos con la considerable afectación que esto implica para la calidad de

las clases. Partiendo de esta situación es que se determina realizar el presente trabajo que tiene como objetivos:

Objetivo General

- ❖ Diseñar, fabricar y validar una instalación para la realización de la práctica de laboratorio de flexión perteneciente a la asignatura Resistencia de Materiales.

Objetivos Específicos

- ❖ Realizar un estudio del marco teórico correspondiente a la importancia de los laboratorios dentro del currículo de las diferentes asignaturas y en la formación de los ingenieros.
- ❖ Diseñar y fabricar una instalación que permita realizar la práctica de laboratorio de flexión y garantice el cumplimiento de los objetivos previstos para la misma en el Programa Analítico de la asignatura Resistencia de Materiales I.
- ❖ Preparar la Guía de Laboratorio para la realización del mismo utilizando la instalación fabricada.
- ❖ Validar la realización del ensayo de flexión utilizando el dispositivo fabricado y verificar la confiabilidad de los resultados obtenidos.
- ❖ Aplicar la instalación fabricada mediante la realización del ensayo planificado con los estudiantes del tercer año de la carrera Ingeniería Mecánica.

Hipótesis

Es posible diseñar y fabricar una instalación que permita realizar el ensayo de flexión y garantice el cumplimiento de los objetivos previstos para esta práctica dentro del Programa de la asignatura Resistencia de Materiales I.

Capítulo I

Capítulo I. Marco teórico

1.1. Papel de los laboratorios en la enseñanza

Los laboratorios han sido utilizados como un mecanismo de enseñanza-aprendizaje, un puente entre la teoría y la práctica real; permiten una mejor apropiación del conocimiento ya que estimulan la interacción con un entorno real que permite corroborar las teorías y modelos aprendidos durante el recorrer de los cursos académicos.

“La experimentación debe promover el análisis, la clasificación, la reflexión, así como favorecer que distingan el todo de las partes, las causas de las consecuencias, el efecto del fenómeno, lo general, lo particular de lo esencial, lo necesario de lo casual” (Zilberstein, 2003: p. 34); por ello, los estudios sobre las prácticas de laboratorio en los últimos años han adquirido notablemente un nuevo interés científico de investigadores.

Señalan Gil y Valdés, citando a Duschl y Gitomer (1991), que está contribuyendo a ella la comprensión de que la atención casi exclusiva hacia las preconcepciones que se produjeron durante la década de los 80 del siglo XX, supone un grave reduccionismo que podría explicar las limitaciones de las estrategias de cambio conceptual. Luego se le confiere al experimento un papel de extraordinaria relevancia para la formación de un joven culto, con sólida concepción científica del mundo. (Gil, 1996: p.13)

En efecto, el interés por las prácticas de laboratorio (tipo de clase) ha pasado a ocupar en los currículos de estudio un papel esencial para el desarrollo de las ciencias experimentales y su didáctica. “Se asume que constituye un importante factor de motivación que debe estimular el aprendizaje de los conceptos científicos en los estudiantes, al tiempo que se acepta que las tareas de laboratorio posibilitan la apropiación de los alumnos a la metodología científica”. (Colectivo: 1995)

En el tratamiento específico del sistema de prácticas de laboratorio, como forma del experimento docente y de la clase, utilizando el enfoque investigativo, se encuentran resultados de los autores Urquijo y colaboradores en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (1990); del colectivo de profesores del departamento de Química del Instituto Superior Pedagógico

“Félix Varela” (1991 y 1996); Cardero Naranjo y Vidal Castaño (2004), para la carrera de Ciencias Naturales de la Universidad de La Habana; Lugo (2006) quien estudia la importancia de los laboratorios tanto en la enseñanza de las ciencias como en la investigación; Cruz Ardila de la Universidad de San Buenaventura, Colombia (2011) estudia la importancia del uso de la tecnología en las prácticas de laboratorio en la Física mecánica; Cardona Buitrago (2013) de la Universidad de Santiago de Cali, que defiende una tesis con fundamentos teóricos sobre las prácticas de laboratorio como estrategia didáctica.

Estos autores han centrado su atención en las etapas generales de las estrategias y modelos propuestos, lo cual presupone un acercamiento a la actividad científica y a la utilización de los métodos de investigación, la aplicación ha estado limitada a las prácticas de laboratorio faltando su relación e integración con otras formas del experimento docente y de la clase, ya que las prácticas de laboratorio no constituyen sistemas aislados dentro de las disciplinas.

En términos generales, un laboratorio es un lugar equipado con diversos instrumentos de medición, entre otros, donde se realizan experimentos o investigaciones diversas, según la rama de la ciencia a la que se enfoque.

Dichos espacios se utilizan tanto en el ámbito académico como en la industria y responden a múltiples propósitos de acuerdo con su uso y resultados finales, sea para la enseñanza, para la investigación o para la certificación de la industria.

El objetivo principal de la práctica de laboratorio que es “facilitar que los alumnos lleven a cabo sus propias investigaciones, contribuye a desarrollar su comprensión sobre la naturaleza de la ciencia y su reflexión sobre el propio aprendizaje personal”. (Novak: 1990)

Este planteamiento induce a una concepción del desarrollo de destrezas cognitivas, habilidades experimentales, razonamiento científico, resolución de problemas y la cimentación de una imagen de la ciencia que rompa con esa idea tradicional y distorsionada de la realidad que muestra a las prácticas de laboratorio como una bata de laboratorio de color blanco; y si es de Biología un microscopio o la disección de algún organismo; si es de Química algún matraz y mezcla de sustancias químicas.

El estudio de los fenómenos en las condiciones propias del aula y de los laboratorios, separados de la naturaleza circundante, es el objetivo del experimento docente vinculado con los componentes didácticos método-medio (procedimiento).

Se registran variadas clasificaciones de los experimentos docentes teniendo en cuenta el contenido, las condiciones materiales y las formas en que se organiza la actividad del maestro y del alumno, esta última es la de mayor aceptación (Rojas Arce, 1985; Usanov, 1982; Bugaev, 1989; Kiruschkin y Shapovalenko, 1982). Por su aspecto organizativo se consideran como formas básicas del experimento docente: las demostraciones, los experimentos de clase, las prácticas de laboratorios, y los experimentos y observaciones extradocentes. En el presente trabajo se incluyen las tres primeras formas por ser las más generalizadas.

Las definiciones referentes a las formas del experimento docente las enriqueció Ena Machado, como parte de los fundamentos teóricos de su tesis de doctorado, para ajustarlas a la estrategia didáctica que propone y su concepción, a partir del estudio teórico realizado y la experiencia en la investigación, enfatiza en la forma de organización, aplicación del método investigativo, a través de las tareas experimentales y la aplicación del desarrollo de la informática y las comunicaciones al incluir objetos virtuales mediante diferentes software. (Machado: 2005)

En los centros de Educación Superior la forma más empleada del experimento docente es la práctica de laboratorio y, en menor medida, son utilizados las demostraciones y los experimentos de clase. Rojas Arce, en su artículo “Las prácticas de laboratorio en Química y el desarrollo de la actividad independiente”, explica que esto se debe a la complejidad del contenido y a la naturaleza misma de las formas de organización en la Educación Superior.

El planteamiento anterior reafirma el enfoque tradicional que han tenido las formas organizativas en este tipo de enseñanza. Este autor considera la siguiente definición de práctica de laboratorio:

“Por su aspecto externo constituye una forma de organización de la clase, sin embargo, por su aspecto interno es un medio de realización práctica del

trabajo independiente en la medida que permite la inclusión de los estudiantes en la actividad cognitiva independiente”. (Rojas: 1985, p.35)

En esta definición no solamente se ve la práctica de laboratorio en su aspecto externo sino en su contribución a la independencia cognoscitiva de los estudiantes y a su actividad creadora.

Hay que tener en cuenta que el trabajo independiente, a través de esta forma del experimento docente, adquiere un carácter complejo, tanto desde el punto de vista de su contenido como de su organización.

En el Reglamento de Trabajo docente y metodológico para la Educación Superior, la práctica de laboratorio aparece como una forma organizativa de la clase y al respecto se plantea:

“...es el tipo de clase que tiene como objetivos instructivos fundamentales que los estudiantes adquieran las habilidades propias de los métodos y técnicas de trabajo y de la investigación científica; amplíen, profundicen, consoliden, generalicen y comprueben los fundamentos teóricos de la disciplina mediante la experimentación, empleando para ello los medios necesarios. (MES, 2007, p.42)

En este documento se precisa que esta es un tipo de clase que debe garantizar el trabajo individual de los estudiantes en la ejecución de las tareas previstas.

Ballesteros R., en su tesis de doctorado, considera la siguiente definición:

“La práctica de laboratorio es la forma organizativa espacio/temporal en que bajo la guía del profesor y dados los objetivos y contenidos, se actúa de manera consciente sobre un objeto de estudio real o virtual que posibilita al estudiante, obtener, procesar y analizar información”. (Ballesteros: 2002, p. 25)

Este autor propone una clasificación de las prácticas de laboratorio considerando: su finalidad, modalidad de ejecución atendiendo a la forma de organización, el medio didáctico (real o virtual) y la información.

Para ofrecer la definición referente a las prácticas de laboratorio y su clasificación, se basó en la relación entre los componentes didácticos forma / medio y su interrelación con el objeto de estudio real o virtual, determinando en

esta propuesta el desarrollo alcanzado en la informática y las comunicaciones, específicamente en la actividad experimental a través del laboratorio virtual.

A partir del análisis de estas definiciones, la experiencia investigativa y la concepción integradora de su estrategia didáctica, permitió a Ena Machado el enriquecimiento y reelaboración de la definición de práctica de laboratorio, hace énfasis en las relaciones que se manifiestan entre los componentes personales y no personales del proceso (componentes organizacionales microestructurales) y lo académico, laboral e investigativo (componentes organizacionales macroestructurales), lo cual es válido para el resto de las formas. La definición asumida es:

La práctica de laboratorio constituye una forma de organización del experimento docente y de la clase; que se orienta previamente a través de tareas experimentales, que, respondiendo a un objetivo y contenido determinados, propician la actuación individual o por pareja sobre un objeto de estudio real o virtual, para obtener, procesar y analizar la información necesaria para su solución, y el autocontrol durante todo el proceso, contribuyendo a lo laboral e investigativo. (Machado: 2005, p. 41)

La práctica de laboratorio, al ser un tipo de clase, responde a un objetivo y contenidos determinados; las tareas experimentales tienen un mayor nivel de complejidad al compararlas con las tareas empleadas en las otras formas, ya que integran contenidos de un tema o varios temas; suelen ser abiertas o semiabiertas, las cuales requieren de una búsqueda de información más amplia para proponer diferentes alternativas de solución; se logra una mayor independencia por parte del estudiante tanto en su preparación como en la ejecución; contribuye a la formación y desarrollo de habilidades lógicas generales, investigativas y experimentales: de autodirección, planificación del experimento, ejecución, control y análisis de los resultados. Deben tener un tiempo de duración flexible teniendo en cuenta que todos los estudiantes no alcanzan un mismo nivel de desarrollo.

La contribución a lo laboral, en las tres formas, se expresa en el modelo de actuación que brindan, en la relación con los contenidos de los programas de varias asignaturas, en la propuesta de una situación profesional a resolver en la

tarea y en el desarrollo de habilidades relacionadas con la dirección del proceso.

La demostración es una forma organizativa diferente del experimento docente, sirve como medio para ilustrar determinados aspectos de carácter teórico en la práctica, también para mostrar el uso de determinados útiles, montaje de aparatos y para motivar la actividad. Usanov opina que:

“La demostración consiste en dar a conocer a los alumnos de una manera rápida los aspectos cualitativos del fenómeno estudiado, así como el funcionamiento y la disposición de diferentes equipos, utilizando la percepción visual y auditiva de los estudiantes”. (Usanov: 1982, p.88)

De esta forma presupone la función del experimento como método y como medio de enseñanza; en esta última función tiene que cumplir con determinadas exigencias como son:

- Ser lo suficientemente visuales, teniendo en cuenta el tamaño de los útiles o equipos a utilizar y el lugar del aula donde debe efectuarse la demostración.
- Prever el tiempo de duración dentro de la clase.
- El maestro debe dirigir la observación teniendo en cuenta las diferentes formas de combinación de la palabra con el experimento.
- Es necesario destacar los detalles esenciales vinculándolos con los aspectos teóricos de la clase a través de la modelación.

Bugaev propone una definición similar destacando cómo la demostración queda en un plano perceptivo, por lo tanto, las habilidades estarán en función de los elementos observados. (Bugaev: 1989)

En el presente trabajo se sugiere la siguiente definición:

La demostración es una forma de organización del experimento docente, se orienta directamente en la clase a través de una tarea experimental que responde a un objetivo específico y contenido determinados y cuya solución requiere de la experimentación real o virtual que realice el profesor (alumno preparado) como medio de obtener, procesar y analizar información, contribuyendo a lo laboral e investigativo.

Se diferencia con las prácticas de laboratorio porque al incluirse dentro de la clase satisface un objetivo específico, acción correspondiente a una tarea docente; la orientación se da dentro de la clase; la actividad está centrada en el profesor, aunque el estudiante en las tareas diseñadas tiene que tomar decisiones para poder planificar la observación, precisar la forma de procesar la información y buscar una respuesta anticipada.

Otra forma organizativa del experimento docente es el experimento de clase.

Respecto al mismo, Bugaev plantea:

“Permiten resolver distintos problemas didácticos, ilustración de la explicación del profesor, formación de hábitos y habilidades, generalización del material estudiado, diferenciándose de la demostración en que los estudiantes ejecutan la actividad experimental”, (Ob. Cit., p.195) y añade: “Brinda la posibilidad de incorporar al mismo tiempo a todo el grupo en la búsqueda de solución de determinado problema docente”.

Este autor realiza una distinción del experimento de clase con respecto a la demostración a partir de la ejecución por parte de los estudiantes de la actividad experimental. Es útil destacar que se efectúa un trabajo cooperado en la búsqueda de la solución de la tarea experimental y, por lo tanto, se diferencia de la práctica de laboratorio donde en la misma la actividad se ejecuta de manera individual o por parejas.

Además, esta última requiere de una orientación y preparación previa para buscar una solución, pues la tarea es más compleja en el orden práctico y teórico. Al respecto Bugaev esclarece que los experimentos de clase son más sencillos, forman parte integrante de la explicación del maestro, es una acción práctica realizada por los alumnos sin instrucciones escritas, bajo la dirección directa del maestro. (Ob. Cit. p. 204)

Se evidencia un enfoque tradicional en este tipo de actividad, centrada en la dirección del maestro que orienta todo lo que se va a realizar de manera detallada. Este enfoque pudiera cambiarse al ser el profesor un facilitador del aprendizaje de los alumnos, logrando que el estudiante perfeccione sus estrategias de aprendizaje en la adquisición de nuevos conocimientos y en la aplicación de los mismos al resolver la tarea planteada.

En este trabajo se propone la siguiente definición aportada por Ena Machado:

El experimento de clase es una forma de organización del experimento docente; que se orienta directamente por el profesor en la clase a través de tareas experimentales, que respondiendo a un objetivo específico y contenido determinados, propician la actuación (por equipo) sobre un objeto de estudio real o virtual, para obtener, procesar y analizar la información necesaria para su solución, el autocontrol y el control colectivo durante todo el proceso, contribuyendo a lo laboral e investigativo. (Ob. Cit. Pág. 41)

En las tres definiciones existen rasgos comunes que las tipifican como formas del experimento docente, sin embargo, aparecen rasgos distintivos que permiten su diferenciación. Se logra una uniformidad en las definiciones.

Las formas del experimento docente se relacionan con las formas de organización de la clase de una manera flexible en dependencia del objetivo que se persiga con la actividad, la demostración puede emplearse en una clase de tratamiento del nuevo contenido (conferencia, encuentro presencial), aunque también pudiera utilizarse en una clase de desarrollo de habilidades para plantear un problema. Los experimentos de clase son factibles de utilizar en las clases de desarrollo de habilidades y en el de tratamiento del nuevo contenido controlando el tiempo de ejecución.

1.2. Ensayo de flexión

En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas. El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerzas perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos. En ensayos de flexión el estudiante podrá calcular el Módulo de Elasticidad de diferentes materiales, demostrando la relación carga-deformación (Urrea: 2014).

El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. El esfuerzo que provoca la flexión se denomina momento flector. Un ensayo mecánico es una prueba con un procedimiento definido cuyos resultados se espera estén contenidos dentro de intervalos conocidos. Esto último se refiere a que el resultado obtenido se debe asemejar a algún otro reportado en la literatura, si es que ese material ha sido sometido a un ensayo con anterioridad. Esto no se aplica a nuevos materiales.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de un material es menester ya que definen la viabilidad de este en una aplicación. Los equipos en los cuales se llevan a cabo los ensayos mecánicos son especializados y aunque signifiquen una fuerte inversión, son indispensables en las áreas de la ingeniería relacionadas con materiales, por ello, las máquinas de ensayos tienen una amplia presencia en las industrias de procesos primarios y secundarios de manufactura, centros de investigación en materiales y organismos certificadores, entre otros (Gere:2013).

El **objetivo del ensayo de flexión** es determinar las propiedades mecánicas de los materiales relacionadas con los esfuerzos y flechas (deformaciones) en los puntos máximo y de rotura y módulo elástico en flexión teniendo en cuenta la separación entre apoyos calculada a partir del espesor de la probeta.

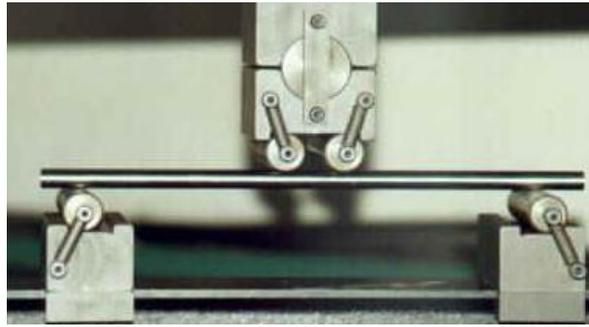
El ensayo de flexión se realiza en la **máquina universal de ensayos**, también empleada en otras pruebas como las de tracción, compresión y flexión. En este caso, es necesario cambiar los apoyos y el útil de carga. El ensayo consiste en someter una probeta, apoyada en los extremos, a una fuerza en su eje perpendicular.

Existen dos **métodos** de aplicación del ensayo de flexión:

- ❖ Probetas apoyadas en sus extremos, sin tensión y cargadas en la mitad de su longitud: 3 puntos (Fig.1. a).
- ❖ Probetas apoyadas en sus extremos, sin tensión y cargadas en dos puntos equidistantes en los extremos: 4 puntos (Fig.1. b).



a)



b)

Fig.1. Métodos de aplicación de la carga en el ensayo de flexión.

La realización correcta de ensayos en los materiales es muy importante ya que permite conocer su comportamiento ante diferentes circunstancias y determinar sus propiedades. Además, su realización puede ayudarle a asegurar que sus productos están fabricados según la normativa y legislación que afecta a su sector.

Tensiones en barras sometidas a flexión pura.

Como se planteó anteriormente, una barra está sometida a flexión pura cuando en sus secciones transversales solo surge un momento torsor como fuerza interna.

Este M_f es el resultante de tensiones normales que actúan en la sección transversal. Se establecerá entonces la Ley de distribución y la magnitud de dichas tensiones.

Para esto se recurre a las condiciones de deformación de la viga. Si a una barra sobre cuya superficie se ha marcado una red se somete a flexión plana se observa (Fig.2)

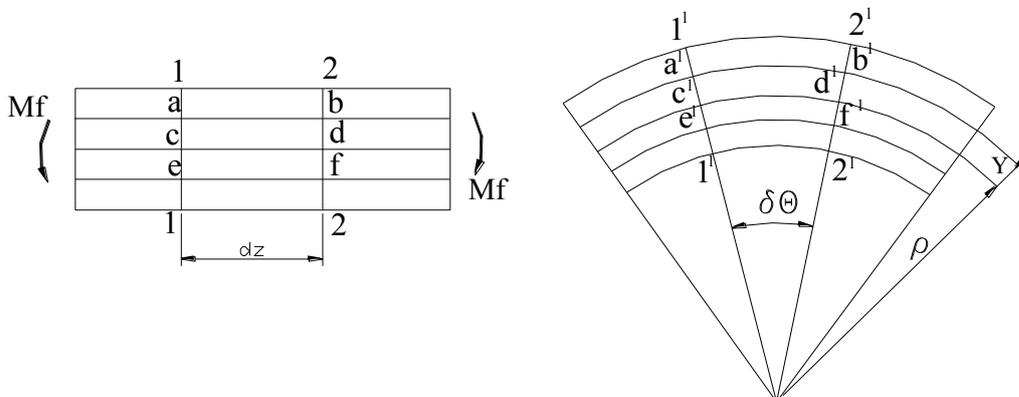


Fig.2. Barra sometida a flexión.

- Las líneas 1-1 y 2-2 giran cierto ángulo $d\theta$ después de la deformación, permaneciendo rectas, por lo que es de suponer se cumple la Ley de las Secciones Planas (Bernoulli).
- La fibra **a-b** producto de la deformación se alarga, lo que significa que se tracciona. La fibra **e-f** se acorta, o sea, se comprime. La longitud de la fibra **c-d** no se altera y por tanto no sufre ni tracción ni compresión.
- La fibra de la viga que se encuentra al nivel de **c-d**, que no sufre en la flexión tracción o compresión, se denomina **fibra neutra** y la línea por la que se corta esta capa con la sección transversal **línea neutra**.
- De este ensayo, además, se deduce que las fibras de la viga se deforman de manera distinta ya que las deformaciones mayores las sufren las que se encuentran más lejos de la fibra neutra. Se demostrará que las deformaciones varían linealmente según la altura de la sección de la viga.
- El segmento b^I-b^{II} representa el alargamiento total de la fibra **a-b**, cuya longitud antes de la deformación era igual a la de la fibra **c-d**, situada en la capa neutra.

El alargamiento unitario de esta fibra es:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{a^I b^I - cd}{cd} = \frac{(\rho + y)d\theta - \rho d\theta}{\rho d\theta} \quad [1]$$

Donde:

ρ – radio de curvatura de la capa neutra.

y – distancia de la fibra analizada a la línea neutra.

Para el cálculo de las tensiones se introduce otra hipótesis: se supone que las fibras de la viga no presionan una sobre otra, por lo que las tensiones en dirección perpendicular al eje de la viga son nulas (los resultados obtenidos a partir de ella son totalmente satisfactorios).

Entonces, según la ley de Hooke para el estado tensional monoaxial se tiene que:

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{y}{\rho} \quad [2]$$

Es decir que las tensiones normales varían según una ley lineal, proporcionalmente a la distancia al eje neutro sobre el que son nulas independiente de la forma del perfil.

La magnitud de las tensiones se determina a partir de las ecuaciones de equilibrio. Se analizará el equilibrio de la porción de la viga mostrada (Fig.3):

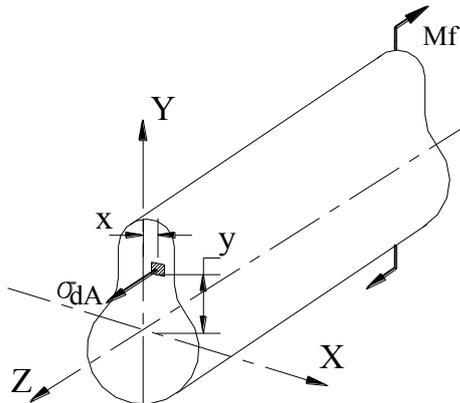


Fig.3. Cálculo de tensiones en barra sometida a flexión.

Haciendo $\sum M_x = 0$

$$-Mf + \int_A y \sigma \delta A = 0$$

Considerando [2]

$$Mf = \frac{E}{\rho} \int_A y^2 \delta A$$

Pero $I_x = \int_A y^2 \delta A$ representa el momento de inercia de la sección respecto al eje neutro X, que pasa por el centro de gravedad de la sección, entonces:

$$Mf = \frac{E}{\rho} I_x$$

$$y \quad \frac{1}{\rho} = \frac{Mf}{E I_x}$$

Sustituyendo en [2] se tiene:

$$\sigma = \frac{Mf}{I_x} y \quad [3]$$

Esta última expresión permite calcular la tensión normal en cualquier punto de la sección transversal de la viga si se conoce el momento flector y el momento de inercia de la sección.

Se demuestra además que la línea de sollicitación y la línea neutra son perpendiculares entre sí.

Tensiones en barras sometidas a flexión transversa.

Aquí, además de M_f , surgen en la sección transversal fuerzas cortantes (Q), es decir, que aparecen tanto tensiones normales como tangenciales (Gere: 2013). A pesar de esto se demuestra que la expresión [3] ofrece resultados en este tipo de sollicitación.

Para el cálculo de τ se parte del análisis de una viga rectangular sometida a flexión transversa y se llega a:

$$\tau = \frac{Q \cdot Sx^*}{Ix \cdot b} \quad [4]$$

Donde:

Q – Fuerza cortante que actúa en la sección.

b – Ancho de la sección en el punto analizado.

I_x – Momento de inercia respecto al eje neutro

Sx^* - Momento estático del área que queda por fuera de la fibra que se analiza con respecto al eje neutro.

$$Sx^* = A^* \cdot \bar{y}$$

A^* - Área que queda por fuera de la fibra que se analiza.

\bar{y} - Distancia del centro de gravedad del área respecto al eje neutro.

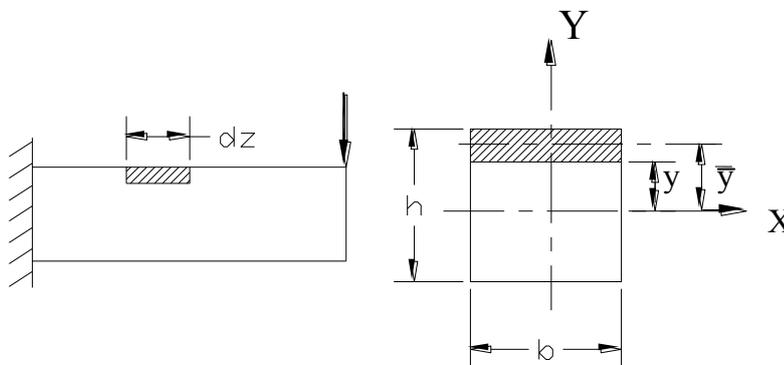


Fig.4. Parámetros para calcular las tensiones en barra sometida a flexión transversa.

Comprobación de resistencia en vigas.

Según [3]:

$$\sigma = \frac{Mf}{I_x} y$$

entonces:

$$\sigma = \frac{Mf}{I_x} y_{MAX}$$

pero:

$$\frac{I_x}{y_{MAX}} = W_x \quad (\text{módulo de resistencia a la flexión})$$

por lo que:

$$\sigma_{MAX} = \frac{Mf}{W_x}$$

Entonces las condiciones de resistencia serán:

$$\sigma_{MAX} = \frac{Mf}{W_x} \leq [\sigma] \quad [5]$$

$$\tau_{MAX} = \frac{Q \cdot S_x^*}{I_x \cdot b} \leq [\tau] \quad [6]$$

Conclusiones

- ❖ Los laboratorios tienen una gran importancia para la formación de los ingenieros mecánicos. No solo porque promueven el aprendizaje y la adquisición de conocimientos, sino porque además favorecen el desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes.
- ❖ Para una mejor impartición de la asignatura Resistencia de Materiales es necesario la preparación de laboratorios didácticos, lo que ayudará a que los estudiantes confirmen en la práctica los conocimientos teóricos recibidos en el aula. También en estas prácticas adquirirán habilidades que serán importantes para su futuro desempeño como ingenieros mecánicos.
- ❖ La flexión es una sollicitación que se encuentra con mucha frecuencia afectando a elementos estructurales y de máquinas, provocando en muchas ocasiones la falla de las mismas. La flexión transversa es la que con más frecuencia se ve en la práctica, estando establecidas las ecuaciones para la

determinación de las tensiones normales y tangenciales que aparecen durante este proceso.

- ❖ Mediante el ensayo de flexión se pueden determinar propiedades fundamentales de los materiales, como el módulo de elasticidad y el límite de rotura. Además de eso, desde el punto de vista didáctico, los estudiantes pueden verificar las ecuaciones para el cálculo de las tensiones y las deflexiones en vigas y adquirir habilidades necesarias como futuros ingenieros.

Capítulo II

Capítulo II. Diseño y fabricación del dispositivo para el ensayo de flexión

2.1. Introducción

En el diseño de la maqueta didáctica para la realización del ensayo de flexión se partió de la base que trajo la máquina universal de fabricación china que se encuentra en el Laboratorio de Resistencia de Materiales dedicada a ese fin (Fig.2.1).

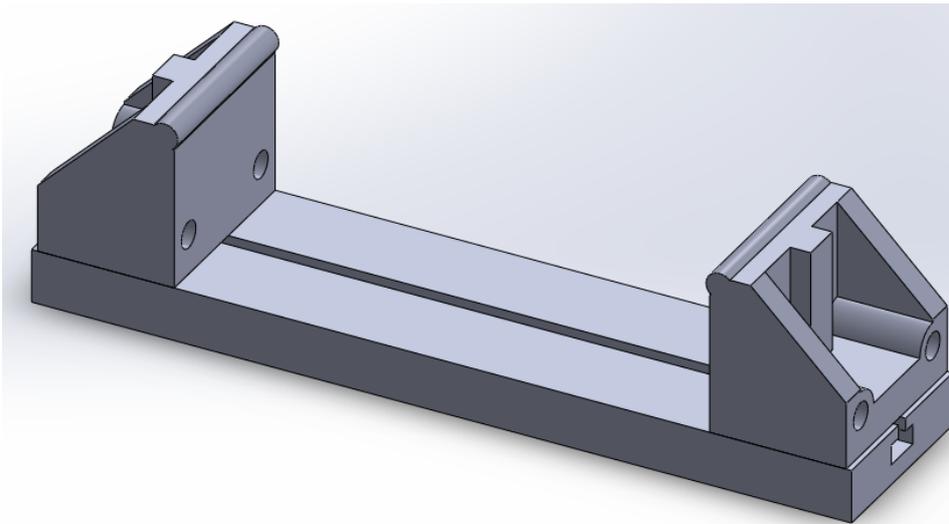


Fig. 2.1. Base para el ensayo de flexión que trajo la máquina universal

A partir de la misma se agregaron diferentes partes con el fin de sustituir la máquina anteriormente mencionada y que tendrán como función la de aplicar la carga y medir las deflexiones en diferentes puntos de la viga ensayada.

2.2. Diseño del dispositivo

Para comenzar el diseño se realizó un modelo de la máquina utilizando el software SolidWorks. Esto permitió definir las formas y dimensiones de las piezas, así como entender el funcionamiento del mecanismo de aplicación de la carga (Fig.2.2.).

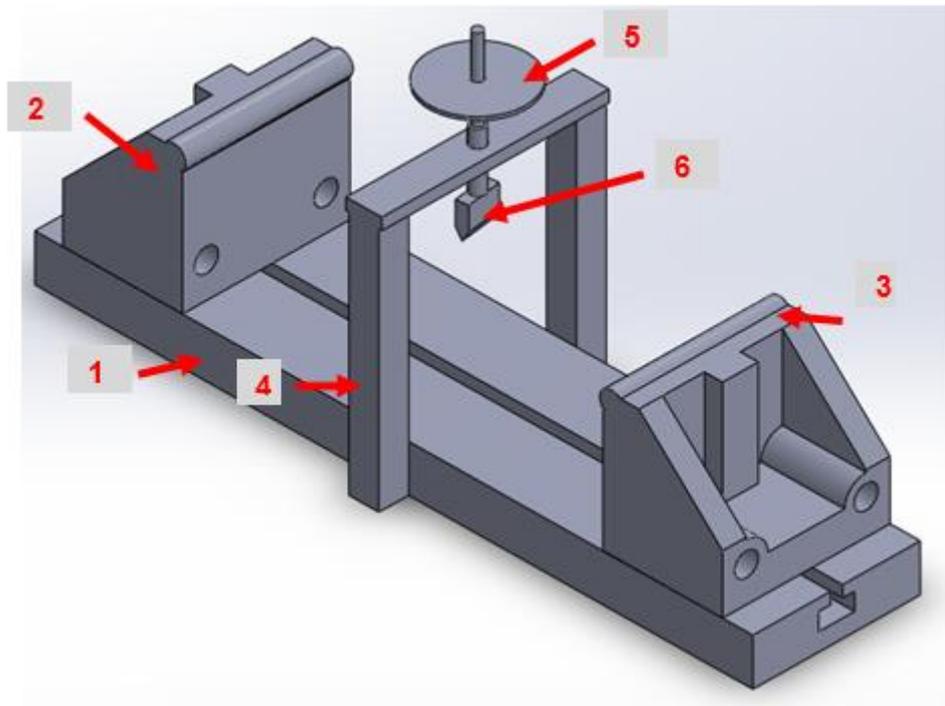


Fig.2.2. Modelo del dispositivo para la realización del ensayo.

Las diferentes partes son:

- 1- Base
- 2- Apoyo izquierdo
- 3- Apoyo derecho
- 4- Soporte
- 5- Porta pesas
- 6- Aplicador de la carga

La maqueta se compone de una base con una longitud de 540 mm sobre la que se sujetan los apoyos. Estos se pueden desplazar sobre la base en la dirección longitudinal, por tanto, esto da la posibilidad de realizar diferentes variantes en relación con la distancia entre los apoyos. La máxima distancia entre los apoyos que se puede utilizar en esta maqueta es de 350 mm y la mínima recomendada es de 200 mm.

2.2.1. Probetas utilizadas

Para la práctica de laboratorio se cuenta con 2 probetas de acero, una de sección rectangular con unas dimensiones de 26 mm x 6 mm, y una longitud de 1,20 m. y otra con sección cuadrada de 15 x 15 mm y una longitud de 1.30 m. El montaje que se utilizará en la realización del ensayo se muestra en la Fig.2.3.

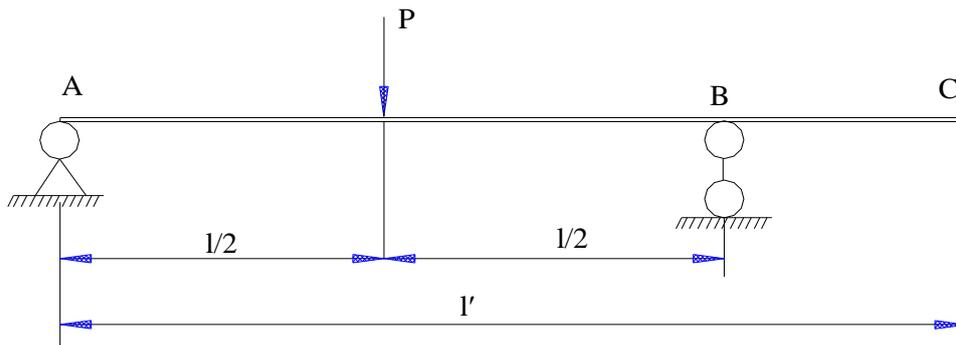


Fig.2.3. Montaje utilizado en el ensayo de flexión.

Al poder combinar las dos probetas con que se cuenta y poder variar las dimensiones entre los apoyos (distancia A-B) y la distancia B-C se brinda una amplia gama de variantes que pueden utilizarse en el laboratorio. Con esto se puede garantizar una variante diferente para cada grupo de trabajo.

2.3. Fabricación del dispositivo

2.3.1. Tecnología de maquinado

Pasos tecnológicos para la operación de torneado.

I.- Torneado (Pieza 1)

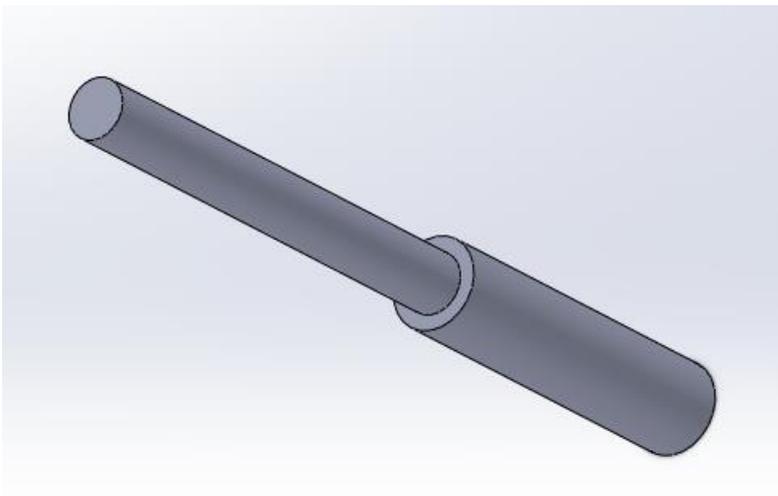


Fig.2.4. segmento para aplicación de la carga.

Dimensiones de la pieza en bruto:

Diámetro en bruto: 15 mm

Longitud en bruto: 130 mm

A. Colocar al plato, centrar y fijar.

- 1- Refrentar a limpiar.
- 2- Taladrar centro tipo A

B. Invertir al plato, centrar y fijar.

3- Refrentar a longitud final de 130mm.

4- Taladrar centro tipo A.

C. Colocar entre plato y punto, centrar y fijar.

5- Cilindrar en desbaste $\varnothing 15\text{mm}$ hasta $\varnothing 12,5\text{mm}$ a una longitud de 52mm

6- Cilindrar en acabado en $\varnothing 12\text{mm}$

7- Biselar

D. Invertir entre plato y punto, centrar y fijar.

8- Cilindrar en desbaste $\varnothing 15\text{mm}$ hasta $\varnothing 8,5\text{ mm}$ a una longitud de 69mm

9- Cilindrar en acabado en $\varnothing 8\text{mm}$

10-Biselar

Pasos tecnológicos para la operación de fresado.

II.- Fresado (Pieza 2)

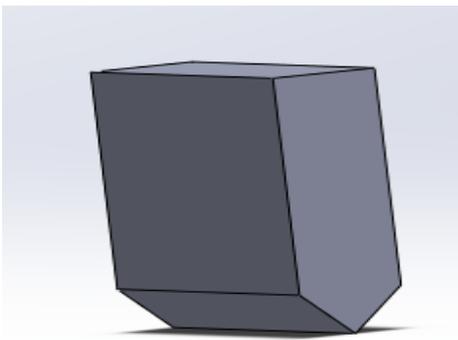


Fig.2.5. Aplicador de la carga.

Dimensiones de la pieza en bruto:

Barra rectangular: 30 mm x 10 mm

Longitud en bruto: 35 mm

A. Colocar en la mesa mediante mordazas.

1- Elaborar superficies planas a una longitud de 30mm.

2- Elaborar cuña de 45° según plano.

Pasos tecnológicos para la operación de torneado.

I.- Torneado (Disco)

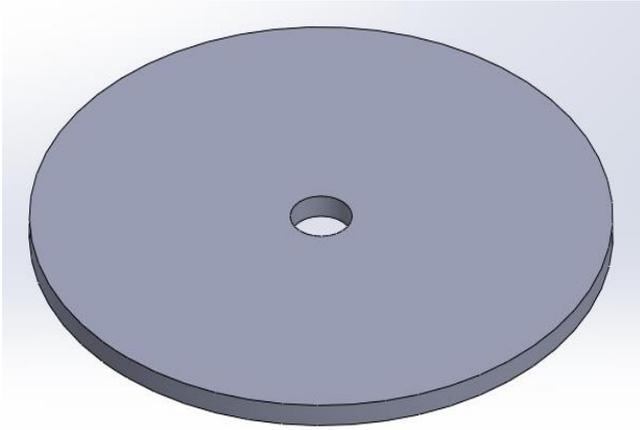


Fig.2.6. porta pesas.

Dimensiones de la pieza en bruto:

Plancha de Ø85mm x 3mm de espesor

A. Colocar al plato, centrar y fijar.

1- Taladrar agujero de Ø8,5 mm pasante.

B. Colocar entre plato y punto, centrar y fijar.

2- Cilindrar en desbaste Ø85mm hasta Ø80mm.

2.3.2. Tecnología de soldadura

Análisis preliminar

Análisis de la estructura a soldar

En la Figura 1 se representa la unión de la plancha con la viga mediante la soldadura. Esta se realizará sin preparación de borde.

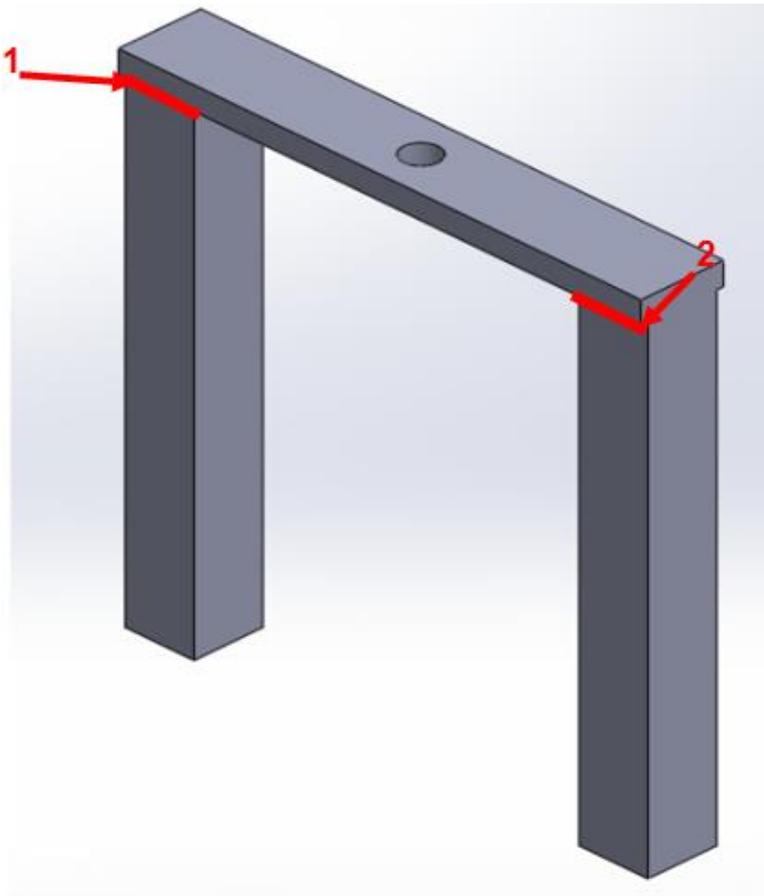


Fig 2.7. Esquema de la pieza

Elemento A: Vigas en forma rectangular con una longitud de 210 mm, ancho de 25 mm x 25 mm, la cual no se encuentra sometida a la acción de ninguna carga como se muestra en la Figura (1).

Elemento B: Barra en forma rectangular con una longitud de 190 mm, ancho de 30mm x 10 mm.

La exigencia de la costura a soldar es de alta responsabilidad debido a que esta pieza, a pesar de que no se encuentra sometida a cargas, tiene que mantenerse estática para que el funcionamiento de la maquina no se altere por lo que la exigencia de penetración es completa. La Tabla 2.1 muestra el análisis de la estructura a soldar. Se puede comprobar que todas las soldaduras son de alta responsabilidad.

Tabla 2.1. Análisis de la estructura a soldar

Elementos a unir	Costura	Tipo de soldadura	de Posición	Exigencias Técnicas
A y B	1	Filete	2F	Alta responsabilidad
A y B	2	Filete	2F	Alta responsabilidad
A y B	3	Filete	2F	Alta responsabilidad
A y B	4	Filete	2F	Alta responsabilidad

Fuente: elaboración propia

1. El material a soldar es acero ASTM A36, el cual es uno de la familia de los aceros al carbono de construcción, se presentan en la Tabla 2.2 sus principales características.

Tabla 2.2. Propiedades mecánicas y composición química del metal base

Composición química (%)	Propiedades mecánicas	
Carbono, (C)	$\leq 0,25$	σ_f 250 MPa
Manganeso, (Mn)	0,75	σ_r Desde 400 hasta 550 MPa
Azufre, (S)	$\leq 0,04$	
Cobre, (Cu)	0,2	
Fósforo, (P)	$\leq 0,03$	

Fuente: www.matweb.com

Análisis de las condiciones del taller

El lugar donde se va a realizar el proceso de soldadura es el taller de la Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Universidad Central de Las Villas, en el cual se encuentran las condiciones necesarias para realizar este proceso. Se cuenta con un operario calificado para la ejecución de la soldadura, los medios necesarios, el material seleccionado y el electrodo

seleccionado. Por tanto, en este taller se puede llevar a cabo el proceso de realización.

Establecimiento del proceso de soldeo

Evaluación de la soldabilidad del material y determinación de la necesidad de precalentamiento o tratamiento térmico posterior

Según algunos conceptos, se define soldabilidad como la propiedad que tienen los aceros y aleaciones de ser sometidos a un proceso de soldadura y garantizar una unión soldada cuyos defectos sean aceptados por las normas y códigos. Las normas y códigos son documentos oficiales que establecen los parámetros de aceptación de la soldadura. La soldabilidad se divide en tres grupos: buena soldabilidad, soldabilidad limitada y mala soldabilidad. Buena soldabilidad es cuando se garantiza un nivel de defectos aceptados por las normas y códigos sin tener que aplicar medidas externas; soldabilidad limitada es cuando en un determinado acero es necesario aplicar alguna medida externa con el objetivo de garantizar defectos aceptados por las normas y códigos como precalentamiento; y mala soldabilidad es característico de aquellos materiales que, aunque se les aplique cualquier medida externa, los defectos no van a ser aceptados por las normas y códigos. Existen algunos métodos para determinar la soldabilidad de un acero como son la sensibilidad del agrietamiento en frío y en caliente.

- **Agrietamiento en frío**

El agrietamiento en frío son las grietas que pueden aparecer en la unión soldada, en la zona fundida o en la zona afectada térmicamente a temperaturas menores de 200 °C; son provocadas por transformaciones estructurales en las diferentes zonas de la soldadura (formación de estructuras aciculares) o por hidrógeno difusible (H₂). A través de la Ecuación 2.1 se puede determinar el índice para evaluar la sensibilidad del agrietamiento en frío.

$$P_w = P_{cm} + \frac{H}{60} + \frac{K}{40 \cdot 10^3} \quad (2.1)$$

-Si $P_w > 0,28$ es sensible al agrietamiento en frío.

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (2.2)$$

$$K = 66 * Se \quad (2.3)$$

Donde:

P_w = Índice para evaluar la sensibilidad al agrietamiento en frío

P_{cm} = Carbono equivalente

H = Nivel de Hidrógeno, ($\text{cm}^3/100 \text{ g}$)

K = Coeficiente que depende del espesor, (mm)

Se = Espesor del elemento con mayor espesor, (mm)

-Se toma el espesor del elemento con mayor espesor (eje) se puede calcular $K Se=120 \text{ mm}$.

$$K = 66 * 100 = 6600 \text{ mm}$$

$$P_{cm} = 0,25 + \frac{0,75}{20} + \frac{0,2}{20}$$

$$P_{cm} = 0,2975$$

-Como la pieza es de gran responsabilidad se utilizan los electrodos básicos, los cuales presentan un nivel de hidrógeno $H=5 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$. Sustituyendo H , P_{cm} y K se puede calcular P_w .

$$P_w = 0,2975 + \frac{5}{60} + \frac{6600}{40 * 10^3}$$

$$P_w = 0,545$$

Como $P_w > 0,28$ es sensible al agrietamiento en frío, por tanto hay que tomar medidas.

Medidas para evitar el agrietamiento en frío

1- Aplicar precalentamiento. Mediante la Ecuación 2.4 se determina la temperatura de precalentamiento a la que debe ser sometida la pieza.

$$T_{prec} = 350 \sqrt{CT - 0,25} \quad (2.4)$$

$$CT = CE(1 + 0,05 * Se) \quad (2.5)$$

$$CE = C + \frac{Mn}{60} + \frac{Cr + V + Mo}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (2.6)$$

Donde:

T_{pre} = temperatura de precalentamiento, ($^{\circ}\text{C}$)

CT = carbono equivalente total

CE = carbono equivalente químico

Se = espesor del eje, (mm)

Entonces:

$$CE = 0,25 + \frac{0,75}{60} + \frac{0,2}{15} \qquad CE = 0,28$$

-Se sustituye CE para y el espesor del eje para calcular CT.

$$CT = 0,28(1 + 0,005 * 100)$$

$$CT = 0,42$$

-Finalmente, sustituyendo CT se puede hallar la temperatura de precalentamiento.

$$T_{pre} = 350\sqrt{0,42 - 0,25}$$

$T_{pre} = 144 \text{ }^\circ\text{C}$, esta es la temperatura a la que se debe precalentar la pieza.

2- Utilizar electrodos básicos.

3- Secar los electrodos antes de soldar.

4- El lugar de la soldadura debe estar seco, limpio de pinturas, aceites, etc.

5- Evitar soldar en días de gran humedad.

6- Utilizar electrodos que aporten bajos contenidos de hidrógeno y carbono.

- **Agrietamiento en caliente**

El agrietamiento en caliente son las grietas que ocurren durante la solidificación del metal a temperatura superior a $200 \text{ }^\circ\text{C}$, especialmente de 800 a $850 \text{ }^\circ\text{C}$; son causadas por la formación de eutécticas de bajo punto de fusión (FeS) y por la aparición de contracciones en el material. Estas ocurren solamente en la zona fundida.

Por medio de la Ecuación 2.7 se puede determinar el índice para evaluar el agrietamiento en caliente.

$$HSC = \frac{C(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100})10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \qquad (2.7)$$

-Si $HSC > 4$ el material es sensible al agrietamiento en caliente para $Se < 20 \text{ mm}$

$Se = 8 \text{ mm}$

$$HSC = \frac{0,25(0,04 + 0,03)10^3}{3 * 0,75}$$

$HSC = 7,78$, como $Se > 20$ y $HSC > 4$

Por lo que el material es sensible al agrietamiento en caliente.

Medidas para evitar el agrietamiento en caliente

- ✓ Utilizar electrodos que aporten altos contenidos de Mn, Cr, Mo y V.
- ✓ Utilizar electrodos que aporten bajos contenidos P, S, Si y Ni.
- ✓ Realizar preparaciones de borde que reduzcan la cantidad de metal a
- ✓ aportar.

Elección del metal de aporte

El metal de aporte es aquel metal que debe ser adicionado durante la realización de una unión soldada. Según la *American Welding Society* (AWS) que es la organización que provee las especificaciones de metales de aporte en los Estados Unidos, para este tipo de acero (A36) se toman los electrodos de la clasificación A 5.1, los cuales son de acero al carbono no aleados.

Características que debe tener el electrodo

1- Tensión máxima del electrodo \leq Tensión máxima del metal base (para costuras de filete).

Tensión máxima del metal base = 550 MPa = 79 ksi = 79000 lb/pulg²

-Como el metal base tiene una tensión máxima de 79000 lb/pulg² y ya que para costuras de filete la tensión última del electrodo debe ser relativamente menor a la del metal base, entonces el electrodo debe tener la forma E 70XX ya que este posee una tensión máxima de 70 ksi.

2- Posición de soldadura en todas las direcciones (E 701X).

3- Tiene que aportar un bajo contenido de hidrógeno, para ello se emplean los electrodos básicos (E 7018) [2].

El electrodo seleccionado es el E 7018, porque cumple con la condición de resistencia ($70000 < 79000$ lb/pulg²), sirve para soldar en todas las posiciones (1); además, es básico (8) que evita el desarrollo del agrietamiento en frío por su bajo contenido de Hidrógeno y además contiene fluorita (CaF₂), haciendo que las sustancias no metálicas suban a la superficie. Además de esto, este tipo de electrodo es utilizado para soldar con corriente CD⁺, CD⁻, CA, tiene buen encendido y reencendido, calidad radiográfica y depósitos de alta calidad metalúrgica. Dentro de sus usos y aplicaciones está la fabricación de maquinaria y de estructuras pesadas sujetas a cargas dinámicas; es utilizado en la industria petrolera, petroquímica, cementera, pailería y astilleros.

Características de las uniones soldadas

Las características de la unión se describen a continuación:

Designación: En T bilateral

Elementos a unir: 1 (viga) y 2 (viga)

Costuras: Filete (I),(II)

Tipo de soldadura: Soldadura de filete (no lleva preparación de borde).

Posiciones de soldaduras: Plana (2F)

-El proceso que se va a realizar es SMAW por tanto, la norma que lo rige es la NC-08-06.

Cálculo de resistencia y geometría de las uniones soldadas

La AWS reconoce que las chapas gruesas ofrecen gran restricción y producen una rápida velocidad de enfriamiento de la costura. Producto de ello, en las uniones con costuras de filete o de ranura de penetración parcial, la dimensión mínima del cateto o la mínima garganta respectivamente se debe corresponder con la Tabla 2.3. Cuando se unen materiales de diferentes espesores el cateto mínimo de la costura de filete no debe ser mayor que el espesor de la chapa más delgada.

Tabla 2.3. Dimensiones del cateto de soldadura

Espesor de la chapa más gruesa a unir, (mm)	C o t (mm)
Hasta 6	3
Más de 6 hasta 13	5
Más de 13 hasta 19	6
Más de 19 hasta 38	8
Más de 38 hasta 57	10
Más de 57 hasta 152	13
Más de 152	16

Desarrollo de los cálculos de resistencia

Los cálculos de resistencia en el proceso de soldadura son de vital importancia porque estos proporcionan una gran seguridad de éxito a la pieza que se está elaborando.

Se selecciona el electrodo E7018 porque satisface las necesidades de resistencia que requiere el metal base.

Mediante las siguientes ecuaciones se debe calcular la fuerza de la carga cortante, la fuerza del momento flector, para luego calcular la fuerza resultante que se aplica en la soldadura.

$$fM = \frac{M}{SW}$$

$$fQ = \frac{Q}{Aw}$$

$$fr = \sqrt{fQ^2 + fM^2}$$

La pieza que se desarrolla no se encuentra sometida a cargas cortantes, ni momentos flectores, por lo tanto, la fuerza resultante se anula y se determina que el cateto que se debe utilizar es el menor que se utiliza en este tipo de soldadura de filete.

Determinación de las dimensiones de la soldadura o cateto

El cateto de soldadura que se debe utilizar es aproximadamente 4 mm, porque con esas dimensiones de cateto la soldadura cumple las exigencias para las cuales se realiza la unión soldada.

Valores de los parámetros del régimen de soldadura

Selección del diámetro del electrodo

La correcta elección del diámetro del electrodo tiene gran importancia porque al utilizarse con un amperaje y velocidad de soldadura apropiada produce una costura soldada con la dimensión requerida y en el menor tiempo posible. Se recomienda para la realización de costuras de filete en posición plana que el diámetro del electrodo no exceda el valor del cateto de dicha costura. En la Tabla 2.4 se ofrecen algunos valores normalizados de diámetros de electrodos según el espesor del metal base.

Tabla 2.4. Diámetros recomendados del electrodo según el espesor del metal base

Espesor del Metal Base (mm)	1 - 2	3	4 - 5	6 - 12	13 y mayores
Diámetros recomendados	1,6 - 2,4	3,2	3,2 - 4	4 - 4,8	4,8 - 7,9

de electrodos (mm)					
--------------------	--	--	--	--	--

En la literatura para espesores mayores que 13 mm recomiendan diámetros mayores de 4,8 mm y hasta 7,9 mm, pero para este caso como el cateto que se determinó es de 4 mm y se recomienda que el diámetro del electrodo nunca exceda el valor del cateto, se escogió un diámetro de 4 mm, porque mientras más fino sea el electrodo mayor penetración habrá al soldar.

Corriente de soldadura

La intensidad de corriente debe ser suficiente para obtener una buena fusión y penetración, garantizando además un adecuado control del baño de soldadura. Cuando se incrementa la intensidad de corriente, se incrementan también las velocidades de depósito. Los electrodos revestidos, de acuerdo a su clasificación y diámetro, operan satisfactoriamente en un cierto rango. Según AWS 5.1-91 (consultar anexos), para un electrodo E 7018 de diámetro 4 mm se especifica una intensidad de corriente de soldadura de 140 a 200 A.

Voltaje de arco

Para este proceso el voltaje de arco generalmente no se reglamenta ya que el soldador no puede previamente preestablecerlo en la máquina. El voltaje de arco depende de varios factores como: tipo y diámetro del electrodo, corriente de soldadura y longitud de arco. A pesar de esto se puede calcular un estimado del voltaje de arco mediante la siguiente Ecuación 2.8.

$$U_a = K + \left(\frac{L * de}{10}\right) * D \quad (2.8)$$

$$A = \frac{\pi * de^2}{4} \quad (2.9)$$

$$D = \frac{Is}{A} \quad (2.10)$$

Donde:

U_a = voltaje de arco (V)

K = coeficiente que depende del material base (para acero es igual a 12)

L = Longitud de arco \approx de

de = diámetro del electrodo (4 mm)

D = densidad de corriente de soldadura (A/mm²)

A = área del electrodo (mm²)

Is = Intensidad de corriente (se toma 200 A ya que está dentro del rango)

Sustituyendo los valores de diámetro en la Ecuación (2.9)

$$A = \frac{3,14 * (4mm)^2}{4} = 12,56 \text{ mm}^2 \qquad D = \frac{170A}{12,56mm^2} = 13,53 \text{ A/mm}^2$$

-Entonces:

$$U_a = 12 + \left(\frac{4mm * 4mm}{10} \right) * 13,53A/mm^2 \approx 34 \text{ V}$$

Avance o velocidad de soldadura

La velocidad de soldadura se pone de manifiesto cuando el electrodo se desplaza fundiendo constantemente una porción del metal base y adicionando metal de aporte producto de su propia fusión. Una apropiada velocidad de soldadura es aquella que produce un cordón de soldadura con un adecuado contorno y apariencia. A continuación, se realiza el procedimiento para el cálculo de la velocidad de soldadura:

$$V_s = \frac{\alpha_{dep} * I_s}{\gamma * F_p} \qquad (2.11)$$

Donde:

Vs = avance de la soldadura (m/h)

α_{dep} = coeficiente de depósito (g/A*h), en este caso, como el electrodo es básico, el valor que se toma es 11 g/A*h [3]

Is = corriente de soldadura (A)

γ = peso específico del metal base (g/cm³), en este caso como es acero es 7,86 g/cm³

Fp = área de la pasada (mm²)

-El área de las pasadas posteriores (Fpp).

Fp-para pasadas posteriores.

$$F_{pp} = (10 - 12) * de \qquad (2.12)$$

$$F_{pp} = 11 * de = 11 * 4$$

$$F_{pp} = 44\text{mm}^2 = 0,44 \text{ cm}^2$$

Donde:

de = diámetro del electrodo, (mm)

-Sustituyendo los valores de F_{pp} , γ , α_{dep} y teniendo en cuenta el rango de intensidad de corriente obtenido (desde 140 hasta 200 A) se pueden hallar los valores de V_s para pasadas posteriores.

Vs- para pasadas posteriores.

$$V_{sp} = \frac{11\text{g} / \text{A} * h * 170\text{A}}{7,86\text{g} / \text{cm}^3 * 0,44\text{cm}^2}$$

$$V_{sp} = 540\text{cm} / h = 5,4 \text{ m/h}$$

Cálculo del número total de pasadas

$$N = \frac{A_{MD} - N_R * A_R - N_{RE} * A_{RE}}{A_{PP}} = \frac{A_{MD} - 0 - 0}{A_{PP}} \quad (2.13)$$

$$\underline{N = 0,31} \sim 1$$

Donde:

A_{MD} = área del metal a depositar

A_{MD} = área a depositar en la unión (se determina geoméricamente).

N_R = número de pasadas de raíz.

N_{RE} = número de pasadas de revés o respaldo, que dependen del tipo de unión.

A_{RE} = área de la sección transversal de la pasada de revés o de respaldo; que se determina geoméricamente en dependencia del tipo de unión.

A_R = área de la pasada de raíz

A_{PP} = área de las pasadas posteriores.

$$A_{MD} = 1,1 * \frac{c^2}{2} \quad [4] \quad A_{MD} = 35,2$$

Conclusiones

- ❖ Para el diseño del dispositivo para realizar el ensayo de flexión se partió de la base que para ese fin trajo la máquina universal de ensayos que se rompió. Para completar el mismo fue necesario agregarle un módulo que permitiera la aplicación de las cargas de forma controlada, tanto desde el punto de vista de su magnitud como de los intervalos de aplicación.
- ❖ Para el proceso de diseño se utilizó el software SolidsWork, lo que garantizó tener una visión más exacta de la forma y funcionamiento del dispositivo sin necesidad de haberlo fabricado. También permitió obtener los planos de pieza para la fabricación de las mismas.
- ❖ Se desarrolló las tecnologías de maquinado para la fabricación de las diferentes partes del módulo de aplicación de la carga. Conjuntamente se desarrolló también la tecnología de soldadura para la unión de las mismas.

Capítulo III

Capítulo III. Aplicación y validación de la instalación.

3.1. Introducción

Para aplicar la instalación fabricada mediante la realización del ensayo debe hacerse una guía que permita a los estudiantes prepararse de forma independiente en el marco teórico de los contenidos vinculados con el ensayo. Se debe exponer con claridad la técnica operatoria para hacer el ensayo utilizando la instalación fabricada. Y finalmente se brindará a los estudiantes los cuadros de anotaciones que deben utilizar para la toma de datos durante la realización del ensayo y para el posterior procesamiento de estos en el informe final.

3.2. Guía para el Laboratorio de Flexión

TEMA: "Flexión"

TÍTULO: "Ensayo de flexión plana en vigas."

TIEMPO DE DURACION: 1 hora

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

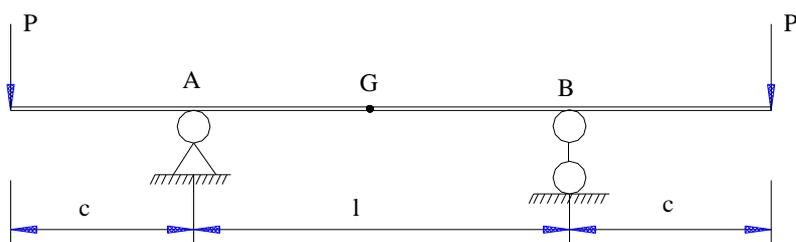
- Realizar un estudio del tema mediante el libro de texto, las notas de conferencia, los ejercicios resueltos en las clases prácticas y este folleto que le permitan dominar los conocimientos necesarios para la realización del ensayo.
- Tener claro dominio de la técnica operatoria para la realización 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.

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.



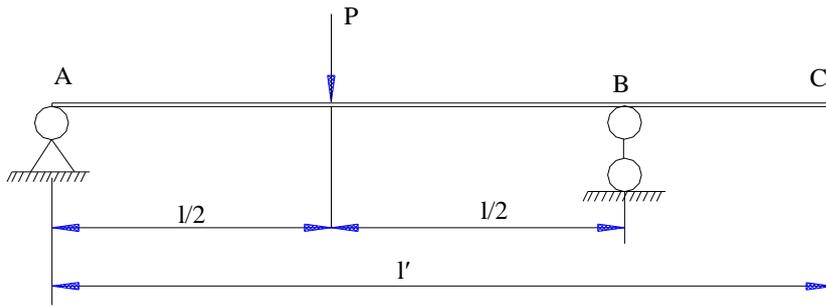
Esquema No.1.

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:

$$Y_G = \frac{P.C.l^2}{8.EI_x} \quad (1)$$

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

$$\theta_A = \theta_B = \frac{P.C.l}{2.EI_x} \quad (2)$$



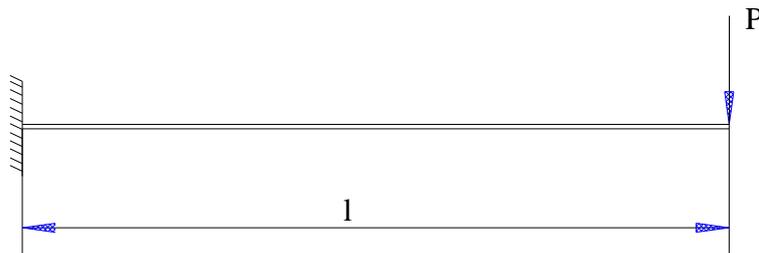
Esquema No. 2

Viga simplemente apoyada, la carga se aplica en el punto medio de los apoyos. La flecha puede calcularse por la expresión:

$$Y_c = - \frac{Pl^3}{48.E.I_x} \quad (3)$$

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

$$\theta_B = - \frac{Pl^2}{16.E.I_x} \quad (4)$$



Esquema No.3

Viga de voladizo con carga concentrada en el extremo libre.

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

$$Y = - \frac{Pl^3}{3.E.I_x} \quad (5)$$

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

$$\theta = \frac{Pl^2}{2.E.I_x} \quad (6)$$

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

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El ensayo se realizaba en la máquina universal de ensayos ZD-40 o en la máquina universal china teniendo en cuenta las características de los esquemas analizados anteriormente. En estos momentos se realizará en el dispositivo diseñado y fabricado (Fig.3.1).

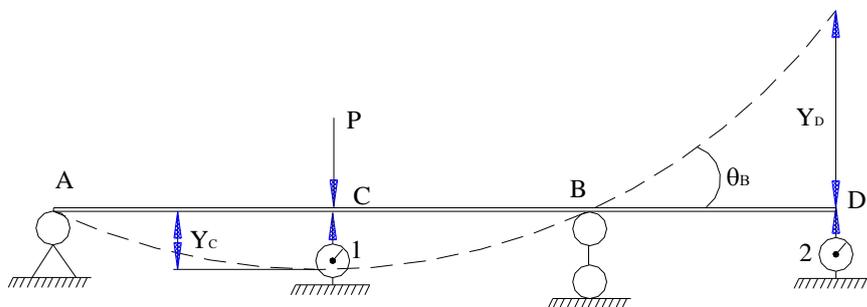


Fig.3.1. Instalación para hacer el ensayo de flexión.

La medición de las deformaciones lineales se hace con indicadores de carátula (extensómetros) situados convenientemente en cada uno de los esquemas.

TÉCNICA OPERATORIA

Primeramente se realizará la medición de las dimensiones de la sección transversal de la barra. Se colocará la misma sobre los apoyos y se sitúa el aplicador de la carga como se muestra en el esquema 2. Se colocan los extensómetros en los puntos de medición. Se realiza la medición de las distancias entre los apoyos y la distancia del apoyo de la derecha al punto D. A continuación se muestra un esquema de cómo se ubicarán los extensómetros y la carga a aplicar en la viga.



Esquema No.4

Posteriormente se comenzará a aplicar la carga. Este proceso se realizará de forma gradual, es decir, se coloca una pesa y se realiza la medición de la deflexión en los puntos C y D. Las pesas utilizadas tienen un peso de 283 g (Fig.3.2).



Fig.3.2. Verificación de las pesas utilizadas.

Una vez obtenida la deformación del punto D (Y_D) el estudiante calculará la deformación angular del punto B mediante la función OB, pero como las deformaciones son pequeñas se puede plantear que: $\tan \theta_B \approx \theta_B$ y puede calcularse según:

$$\theta_{BE} = \frac{Y_D}{l' - l} \quad (7)$$

DATOS INICIALES Y CÁLCULOS TEÓRICOS

Material del cual está construida 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 3.1. Datos iniciales.

Material	l' (cm)	b (cm)	h (cm)	E (MPa)	$l/2$ (cm)	I_x (cm ⁴)

Para determinar teóricamente la deformación lineal del punto C, es necesario partir de los parámetros de origen utilizándose entonces la expresión:

$$Y_{CT} = - \frac{P.l^3}{48.EI_x} \quad (3)$$

Mientras que para determinar la deformación angular en B y teniendo en cuenta los parámetros del origen, la expresión será:

$$\theta_{BT} = - \frac{P.l^2}{16.EI_x} \quad (4)$$

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.

CUADROS DE ANOTACIONES, PROCESAMIENTO DE DATOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los valores de P se colocan en la columna 2; la deformaciones lineales en los puntos C y D se colocan en las columnas 3 y 4; la deformación angular se calcula y se coloca en la columna 5 del cuadro No.1; todos los datos son experimentales.

Los valores de las deformaciones lineales y angulares teóricas se calculan por las fórmulas establecidas.

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

$$\theta_{BE} = \frac{Y_D}{l' - l}$$

Se calcula el momento de inercia I_x según:

$$I_x = \frac{b.h^3}{12}$$

Se hallan los incrementos de Y_c , y θ_B según:

$$Y_c = Y_{c2} - Y_{c1}, \quad \theta_B = \theta_{B2} - \theta_{B1}$$

Se hacen las $\Sigma \Delta Y_C$ y de $\Sigma \Delta \theta_B$ y se hallan los incrementos promedios $\Delta Y_{C_{prom}}$, $\Delta \theta_{B_{prom}}$ según:

$$Y_{CP} = \frac{\Sigma \Delta Y_C}{n}, \quad \theta_{BP} = \frac{\Sigma \Delta \theta_B}{n},$$

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

$$\% \text{ error} = \frac{Y_{\text{Teórica}} - Y_{\text{Cexp}}}{Y_{\text{Teórica}}}$$

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

$$\% \text{ error} = \frac{\theta_{\text{Bteórica}} - \theta_{\text{Bexp}}}{\theta_{\text{Bteórica}}}$$

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

Cuadro No.1

No	Carga (kg)	Y_c *10 ⁻³ mm	Y_d *10 ⁻³ mm	Θ_{OE} *10 ⁻⁴ (rad)	ΔY_c *10 ⁻³ mm	$\Delta \Theta_{OE}$ *10 ⁻⁴ (rad)
1					XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXX
2						
3						
4						
5						
6					XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXX
					$\sum \Delta Y_c =$	$\sum \Delta \Theta_{OE} =$
					$\Delta Y_{c \text{ prom}} =$	$\Delta \Theta_{OE \text{ prom}} =$

PREGUNTAS DE CONTROL

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?

3.3. Validación de la práctica

Como validación del trabajo desarrollado se realizó una práctica de laboratorio con los estudiantes de tercer año del curso académico 2016-17 que recibieron la asignatura Resistencia de Materiales I.

Para la realización de este laboratorio se dividió los grupos en dos subgrupos de aproximadamente 15 estudiantes.

En el pizarrón se colocaron las tablas y fórmulas principales que los estudiantes van a utilizar (Fig.3.3).

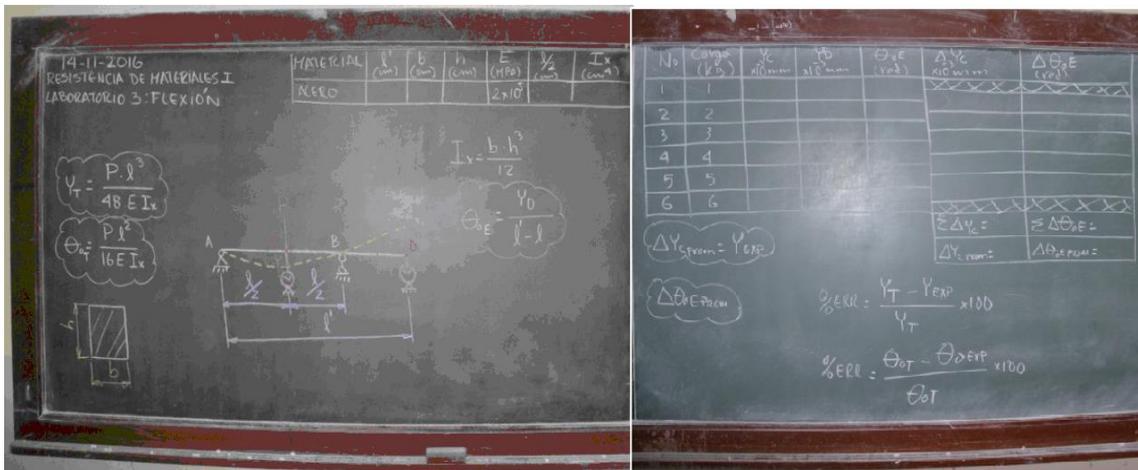


Fig.3.3. Preparación del pizarrón para la realización del ensayo de flexión.

Después de la pregunta de comprobación realizada a inicio de la actividad se pasó al área de trabajo y se realizó la actividad práctica (Fig.3.4).



Fig.3.4. desarrollo de la práctica de laboratorio.

Durante la práctica se llenan los cuadros de anotaciones con las mediciones realizadas y posteriormente se realizan los cálculos necesarios para terminar el llenado de estas tablas.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Material	l'(cm)	b (cm)	h (cm)	E (MPa)	l/2 (cm)	Ix (cm ⁴)
acero	52	2.6	0.6	2x10 ⁵	16	0.0468

No	Carga (kg)	Y _c *10 ⁻³ mm	Y _d *10 ⁻³ mm	Θ _{0E} *10 ⁻⁴ (rad)	Δ Y _c *10 ⁻³ mm	Δ Θ _{0E} *10 ⁻⁴ (rad)
1	0,283	15	10	0.45	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX
					19	1.75
2	0,566	34	44	2.2	20	1.7
3	0,849	54	78	3.9	20	2.0
4	1,132	74	118	5.9	20	1.6
5	1,415	94	150	7.5	18	1.6
6	1,698	112	182	9.1	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX
					Σ Δ Y _c = 97	Σ Δ Θ _{0E} = 8.65x10 ⁻⁴
					Δ Y _{c prom} = 19.4	Δ Θ _{0E prom} = 1.73x10 ⁻⁴

$$\Delta Y_{c \text{ prom}} = \Delta Y_{\text{exp}}$$

$$\Delta \Theta_{0E \text{ prom}} = \Delta \Theta_{0E \text{ exp}}$$

$$\Delta \Theta_{0T} = \frac{P * l^2}{16 * I_x * E}$$

$$\Delta \Theta_{0T} = \frac{2.776 \text{ N} * (320 \text{ mm})^2}{16 * 468 \text{ mm}^4 * 2 * 10^5 \text{ N/mm}^2} = 1.89 * 10^{-4}$$

$$Y_T = \frac{P * l^3}{48 * I_x * E}$$

$$Y_T = \frac{2.776 \text{ N} * (320 \text{ mm})^3}{48 * 468 \text{ mm}^4 * 2 * 10^5 \text{ N/mm}^2} = 20.24 * 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\%_{\text{error } Y_C} = \frac{Y_T - Y_{\text{exp}}}{Y_T}$$

$$\%_{\text{error } Y_C} = \frac{20.24 * 10^{-3} \text{ mm} - 19.4 * 10^{-3} \text{ mm}}{20.24 * 10^{-3} \text{ mm}} * 100 = 4.1\%$$

$$\%_{error \Delta \theta_{\theta E}} = \frac{\Delta \theta_{\theta T} - \Delta \theta_{\theta exp}}{\Delta \theta_{\theta T}}$$

$$\%_{error \Delta \theta_{\theta E}} = \frac{1.89 * 10^{-4} - 1.73 * 10^{-4}}{1.89 * 10^{-4}} * 100 = 8.46\%$$

Como se aprecia, los porcentos de errores entre los cálculos teóricos y experimentales son menores del 10 %, por tal motivo se puede concluir que los resultados del ensayo son satisfactorios.

Conclusiones

- ❖ Se desarrolló una guía para la práctica de laboratorio de flexión plana. Este documento cuenta con los objetivos de la actividad, los fundamentos teóricos, la técnica operatoria, los cuadros de anotaciones y las preguntas de autocontrol necesarios para la actividad, lo que resulta de mucha utilidad para los estudiantes, tanto para su preparación previa como para enfrentar el desarrollo del laboratorio.
- ❖ Se aplicó la guía desarrollada en una actividad práctica con los estudiantes de tercer año de Ingeniería Mecánica del curso 2016-17 que recibieron la asignatura Resistencia de Materiales I. Con esta actividad se logró validar las expresiones teóricas para el cálculo de la deflexión y la deformación angular en vigas sometidas a flexión plana, además, se consiguió una gran motivación de los estudiantes por la asignatura, lo que redundó en una mayor motivación por la carrera que cursan.

Conclusiones generales

Conclusiones generales

- ❖ Los laboratorios tienen una gran importancia para la formación de los ingenieros mecánicos, no solo porque promueven el aprendizaje y la adquisición de conocimientos, sino porque además favorecen el desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes. Para una mejor impartición de la asignatura Resistencia de Materiales es necesario la preparación de laboratorios didácticos, lo que ayudará a que los estudiantes confirmen en la práctica los conocimientos teóricos recibidos en el aula. También en estas prácticas adquirirán habilidades que serán importantes para su futuro desempeño como ingenieros mecánicos.
- ❖ Se diseñó y fabricó un dispositivo que permite la realización del ensayo de flexión. Para el diseño del mismo se utilizó una base que para este ensayo trajo una máquina universal en desuso, a la que se le agregó un módulo para la aplicación de la carga. Primeramente el conjunto fue modelado con el software SolidsWork, lo que permitió por una parte simular el funcionamiento del mismo y por otra obtener los planos de pieza que fue necesario fabricar. Se incluyen las tecnologías de maquinado y soldadura empleadas en su fabricación.
- ❖ Se desarrolló una guía para la práctica de laboratorio de flexión, la misma tiene todas las indicaciones para la preparación de los estudiantes así como para la realización del ensayo. Se aplicó la guía desarrollada en una actividad práctica con los estudiantes de tercer año de Ingeniería Mecánica del curso 2016-17 que recibieron la asignatura Resistencia de Materiales I. Con esta actividad se logró validar las expresiones teóricas para el cálculo de la deflexión y la deformación angular en vigas sometidas a flexión plana, además, se consiguió una gran motivación de los estudiantes por la asignatura, lo que redundó en una mayor motivación por la carrera que cursan.

Recomendaciones

Recomendaciones

- ❖ Verificar la instalación desarrollada utilizando barras con diferentes secciones transversales y de diferentes materiales.
- ❖ Colocar la guía desarrollada en el repositorio de las asignaturas para garantizar que los estudiantes puedan tenerla con tiempo y puedan prepararse mejor para la realización del laboratorio.

Bibliografía

Bibliografía

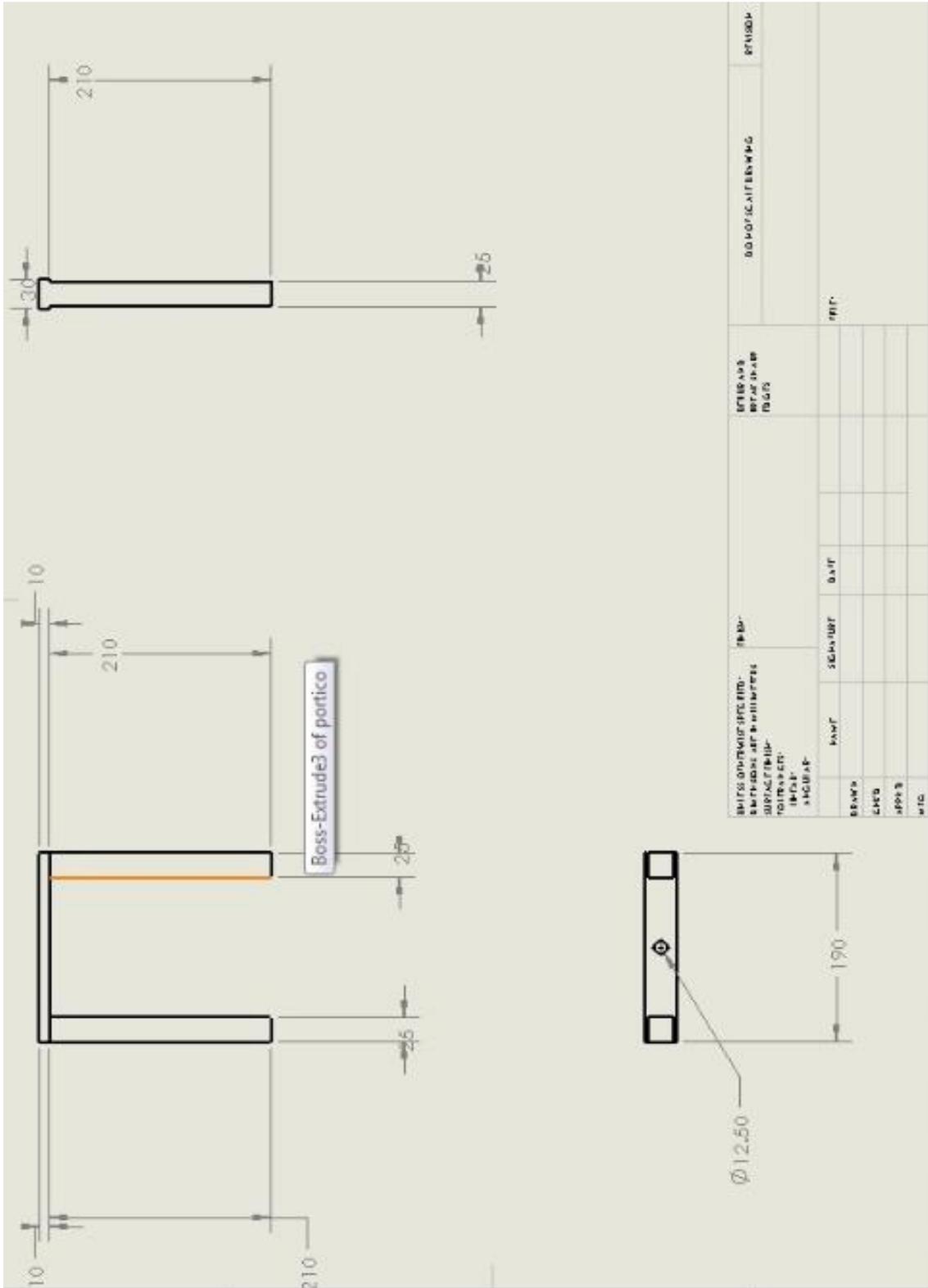
1. Addine Fernández, Fátima. "Didáctica y Currículo. Análisis de una experiencia". Editorial Bioestadísticas. Potosí Bolivia., 2004. Página 7.
2. Álvarez de Zayas Carlos M. El trabajo metodológico y su relación con el trabajo docente, con el trabajo científico-técnico y con el sistema de superación de los cuadros científico-pedagógicos. Revista Internacional. Educación Superior Contemporánea. La Habana, 1982.
3. Álvarez de Zayas, Carlos. Epistemología de la Pedagogía. Editorial Academia. La Habana, 1998.
4. Ballesteros Horta, Roberto. Estrategia didáctica para la selección y ejecución de las prácticas de laboratorio sobre sistemas supervisores en la carrera en ingeniería en automática. - - (Tesis presentada en la opción para el grado científico de Doctor en Ciencias Pedagógicas). - - I.S.P. "Félix Varela", Santa Clara, 2003.
5. Benítez Cárdenas, Francisco y otros (1997). La calidad de la Educación Superior Cubana. En Revista Cubana de Educación Superior. No.1. Vol.XVII.
6. Buarque, Cristovam. La Universidad en la frontera del futuro. Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica, 1991.
7. Bugaev, A. I. Metodología de la enseñanza de la Física en la escuela media.- -La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1989.
8. Campos Costa, Nilce Maria da Silva. La formación pedagógica de los profesores de Medicina. Rev Latino-Am Enfermagen. 2010 Ene-feb; 18(1). Disponible en: http://www.scielo.br/pdf/rlae/v18n1/es_16.pdf
9. Colectivo de autores. Desarrollo de los temas de contenidos básicos comunes de las ciencias: - - en Revista de Capacitación docente de la dirección general de Cultura y Educación de la provincia de Buenos Aires. La Plata (mayo – junio), 1995.
10. Cruz Ardila, Juan Carlos. Importancia de usar tecnología en el desarrollo de prácticas de laboratorio de física mecánica en Revista Educación en ingeniería. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería. ISSN 1900-8260, Junio de 2011 N°. 11, Pp 1-11.
11. Gere J. Mechanics of Materials. 7ma edición. 2013

12. Gil Pérez, D. Temas escogidos de didáctica de la Física / Gil Pérez, D...[et al].- -La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1996.
13. La estrategia del método científico experimental en la enseñanza de las ciencias experimentales. [En línea]. Accesible en <http://www.congreso.unam.mx/ponsemloc/ponencia/1317.html>, 2004 (consultado 15/11/16)
14. Lock, R. A history of practical work in schools and universities: structures and strategies still largely unexplored. *The Australian Science Teachers Journal*, 32, pp. 31-39, 1988.
15. Machado Bravo, Ena y otros. El trabajo metodológico y los procesos de gestión de la calidad. Un reto actual en el perfeccionamiento de la Educación superior. Sello Editor Educación cubana. ISBN 978-959-18-60-1, Ministerio de Educación, La Habana, 2015.
16. MES. Reglamento de trabajo docente y metodológico. Resolución Ministerial 210 de 2007.
17. Morales Molina, Xiomara y otros. El desarrollo histórico de la enseñanza de las ciencias básicas biomédicas en Cuba. Universidad de Ciencias Médicas de Sancti Spíritus. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/ems/vol18_4_04/ems06404.htm
18. Novak, J.D. y Gowin D.B. Aprendiendo a aprender. - - España: Editora de libros universitarios, 1988.
19. Parra V. Isel. La enseñanza centrada en el estudiante: una vía para la profesionalización pedagógica del maestro en formación, en la asignatura Educación de la Personalidad. Tesis de Maestría. ISPEJV. 1998.
20. Rojas Arce, Carlos. Las prácticas de laboratorio en química y el desarrollo de la actividad independiente: - - en revista Varona No. 14. Ciudad de la Habana, 1985.
21. Sánchez Caballero S., Selles M., Crespo J., Parres F., Pérez E. El proyecto y construcción de prototipos de laboratorio como medio para el desarrollo de competencias. Jornadas de redes de Investigación en Docencia Universitaria. Universidad Politécnica de Valencia. 2011
22. Silvestre Oramas, M. Aprendizaje, educación y desarrollo. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, 1999.

23. Talízina N.F. Conferencia sobre los fundamentos de la enseñanza en la Educación Superior. U.H. La Habana, 1985.
24. Torres, L. Villareal M. Zapata, P. Rodríguez, J. Colmenares, E. Moreno, S. (2013) Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de la química en la educación superior. Universidad Autónoma de Barcelona, Instituto de Ciencias de la Educación. Consultado en: enero 20 de 2013. Ddd.uab.cat
25. Torroella González, G. Cómo estudiar con eficiencia. Editorial Ciencias Sociales. La Habana, 1984.
26. Urrea Mariño M. Diseño de un banco reconfigurable para la realización de ensayos didácticos de torsión y flexión. Tesis de grado. Univesidad Nacional Autónoma de México. 2014
27. Usanov, Veriamin. Metodología de la enseñanza de la Física.- - La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1982.
28. Vecino Alegret, Fernando. La Educación Superior en Cuba. Historia, Actualidad y Perspectivas. En Revista Cubana de la Educación Superior. No.1. Vol. XVII, 1997.
29. _____ . La Educación Superior: sus objetivos, métodos para lograrlos. Cuba Socialista. No.5. Febrero. La Habana, 1983.
30. Zilbersteing Toruncha, José. Reflexiones acerca de la inteligencia y la creatividad / José Zilbersteing
31. Toruncha, Margarita Silvestre Oramas. En Compendio de Pedagogía. La Habana. Ed. Pueblo y Educación, 2003.

Anexos

Anexo 3



Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial

Jornada científico estudiantil

DIPLOMA

A: Alejandro J. Bathe del Busto

Por haber alcanzado la categoría de Relevante con el trabajo:
Diseño, fabricación y utilización para la realización de ensayo de flexión

Presentado en la comisión: Enseñanza de la Mecánica

Dado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, a los 12 días del mes de Abril del año 2017



Dr. C. Raúl A. Pérez Bermúdez
Decano



Laura Danae Ruiz Cuan
Presidente de la FEU

