

# **Filosofía de enseñanza de mecánica de materiales para los ingenieros del siglo XXI**

**Jorge E. Torres**

Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela, [jtorges@unet.edu.ve](mailto:jtorges@unet.edu.ve)

## **RESUMEN**

La formación de ingenieros requiere no solo de conocimientos técnicos sino también de buenos cimientos prácticos que les permita defenderse ante el desarrollo de cualquier proyecto. La mecánica de materiales es una rama de la ingeniería que se encarga del estudio de la relación entre las cargas y las deformaciones de los materiales. Los estudiantes de ingeniería mecánica, aeroespacial, agronomía e incluso estudiantes de ingeniería industrial ven la importancia del estudio de ésta área. El objetivo del presente trabajo es desarrollar actividades experimentales basadas en la metodología de aprender haciendo. El procedimiento empleado ha sido guiar al estudiante a través de asignaciones para que diseñen y construyan máquinas y modelos de ensayos de los materiales, de modo que el estudiante aprenda por sus propios errores y experiencias. Como las conclusiones más importantes se deben mencionar que se logró dotar el laboratorio del curso de mecánica de los materiales, se fortaleció el aprendizaje, se enfrentó al estudiante a problemas prácticos que le dan una formación integral, además el educando desarrolló habilidades de: investigación, trabajo en equipo, destrezas en el computador, manejo de herramientas y seguridad en la toma de decisiones.

**Palabras claves:** Mecánica de materiales, aprender-haciendo, prácticas de laboratorio.

## **ABSTRACT**

The formation of engineers requires not only technical knowledge, also it requires solid bases that permit them developed in any proyect. The material's mechanic is a branch of the engineering that study the relationship between materials' forces and strains. The students of: mechanical, aeronautics engineering and include industrial engineering appreciate the importance of this course. The objective of the present work is develop experimental activities based in the philosopy learn-making. The processing has been to give assignments to the student, then they have to desing and construct testing models of materials, so that the student learn with their own mistakes and expiriences.

**Keywords:** Material's mechanic, learn-making, laboratory testing

## **1. INTRODUCCION**

El diseño de máquinas y herramientas requiere para su correcto funcionamiento que se comprenda el comportamiento mecánico de los materiales. El objetivo fundamental de la mecánica de los materiales es determinar la relación entre las cargas y las respectivas deformaciones (Gere, 2006). La forma de determinar como se comportan los materiales cuando se someten a cargas, es efeturar ensayos en laboratorios. En la mayoría de los casos se requiere de más de un estudio para realizar un diseño completo. Hoy en día el avance de la ingeniería ha permitido estandarizar el procedimiento de los ensayos de laboratorio, y así lograr resultados más precisos en la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales. Existe una infinidad de ensayos, que se pueden agrupar en: ensayos estáticos y dinámicos. En los primeros se encuentran los ensayos de resistencia de los materiales. Éstos a su vez se dividen en categorías, dependiendo del tipo de carga y deformación generada. Las normas de la American Standart Testing Materials (ASTM) contempla más de 100 ensayos para los materiales, que abarcan ensayos para distintas condiciones ambientales de trabajo.

A nivel universitario, la cátedra de resistencia de los materiales se imparte en los primeros años de la carrera, de hecho es una de las primeras materias en la que el estudiante tiene contacto directo con su carrera. El curso se imparte a estudiantes de ingeniería mecánica, civiles, aeroespaciales y aeronáuticos. Además diversas áreas como son: ciencia de los materiales, arquitectura, ingeniería industrial e ingeniería agronómica, también aprecian la utilidad de estudiar este tema. Todo curso de mecánica de materiales está acompañado de prácticas experimentales, debido a que resulta más fácil la comprensión de los temas teóricos vistos. Entre los ensayos estudiados por los estudiantes están: ensayo de tracción, compresión, Poisson, Flexión, Columnas, Torsión, Fotoelasticidad, extensometría, entre otros. Muchos laboratorios de las universidades de los países de Latinoamérica por razones económicas o de espacio u otras razones de importancia no poseen todas las máquinas para realizar los ensayos “básicos” contemplados en el programa del curso dictado, lo que conlleva a la desmejora de la educación. Basados en las necesidades de formación del siglo XXI los ingenieros deben tener fuertes habilidades teóricas, experimentales y computacionales (Koh, 2004), es así como el objetivo del presente trabajo basados en la filosofía de aprender haciendo, se guía al estudiante a través de proyectos en el diseño y construcción de dispositivos para realizar distintos ensayos, mejorando no solo su formación, sino preparándolos a futuros retos que se le presenten en su carrera profesional.

## **2. ESQUEMA DE ENSEÑANZA**

Todo proceso de diseño y construcción toma tiempo, la filosofía de enseñanza empleada fue realizada en tres etapas. En un primer semestre a los alumnos del curso se les dio la asignación de realizar una búsqueda de información de: normas y tipos de máquinas empleadas para el análisis de las propiedades de los materiales. También se realizó una breve búsqueda de la situación de otros laboratorios en el mundo. Esta primera fase logró que los estudiantes adquirieran habilidades de investigación, descubrieron herramientas de búsqueda “técnica” y se obligaron a estudiar y revisar los libros textos disponibles. Los alumnos mostraron mucho interés y entusiasmo en esta actividad, algunos adquirieron libros actualizados y otros viajaron a otras universidades del país.

En el siguiente semestre, se conformaron grupos de trabajo en los estudiantes. El propósito de esto fue promover el trabajo de equipo. Cada grupo de trabajo debió presentar bosquejos de máquinas para realizar los ensayos de materiales. Los estudiantes realizaron planos en el computador (siguiendo las normas de dibujo técnico), realizaron estudios de cinemática y análisis de esfuerzo para definir un diseño definitivo y también presentaron un informe con el detalle de materiales, presupuestos y estimación de costos.

La tercera etapa es quizás la más notable del objetivo del presente trabajo. Se conforman grupos en los estudiantes y estos realizaron la construcción de los equipos para el análisis de propiedades de materiales.

Para las tres etapas contempladas, durante todo el semestre el profesor estuvo pendiente de los avances de cada equipo, se realizaron reuniones con todos los estudiantes, quienes realizaron exposiciones de los avances a sus compañeros de estudio. El profesor facilitó información a los estudiantes de cómo realizar reuniones empresariales efectivas, preparándolos a futuras situaciones de trabajo. En cada reunión el grupo de estudiantes debió entregar un reporte del avance de su investigación o proyecto, presentando: las normas del ensayo, situación de otros laboratorios, cálculos analíticos del ensayo a diseñar, planos de los mecanismos a construir con sus ventajas y desventajas. En la tercera etapa el grupo de estudiantes entregó el prototipo. También deben presentar la comparación entre los resultados analíticos y experimentales, conclusiones y recomendaciones.

## **3. PROYECTOS REALIZADOS**

A continuación se muestra algunos de los trabajos desarrollados por los estudiantes. Las máquinas construidas abarcan los siguientes temas de estudio del área de mecánica de los materiales:

- Ensayo de columnas.
- Ensayo de torsión.
- Ensayo de Poisson.
- Ensayo de flexión.
- Ensayo de corte.

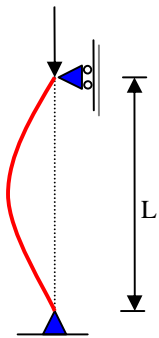
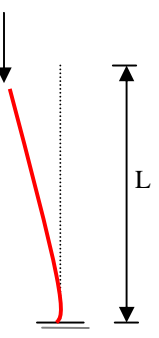
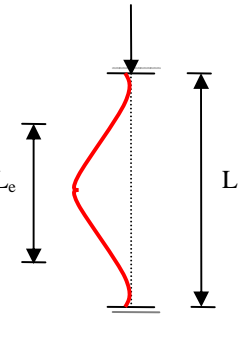
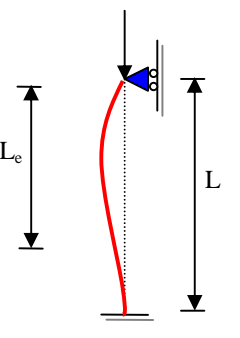
## ENSAYOS DE COLUMNAS

Las columnas son elementos estructurales esbeltos y alargados, cargados axialmente en compresión. A diferencia con los elementos cortos sometidos a compresión, no fallan por compresión directa, sino por una deflexión lateral, mejor conocida como pandeo. Un ejemplo claro de este efecto se observa al tomar una regla de plástico o algún elemento esbelto y comprimirlo. El pandeo es una de las principales causas de fallas en estructuras, por lo que siempre debe considerarse en el diseño la posibilidad de que ocurra.

En las columnas existe un valor de carga llamado *carga crítica* ( $P_{cri}$ ), que representa la frontera entre las condiciones estable e inestable. Se define como la máxima carga de compresión a la que puede someterse una columna, de manera que un pequeño empuje lateral haga que falle por pandeo (Gere, 2006). Su valor depende de la rigidez ( $E$ ), el momento de inercia ( $I$ ) y longitud de la columna ( $L$ ). La estabilidad se incrementa al aumentar la rigidez y disminuir la longitud.

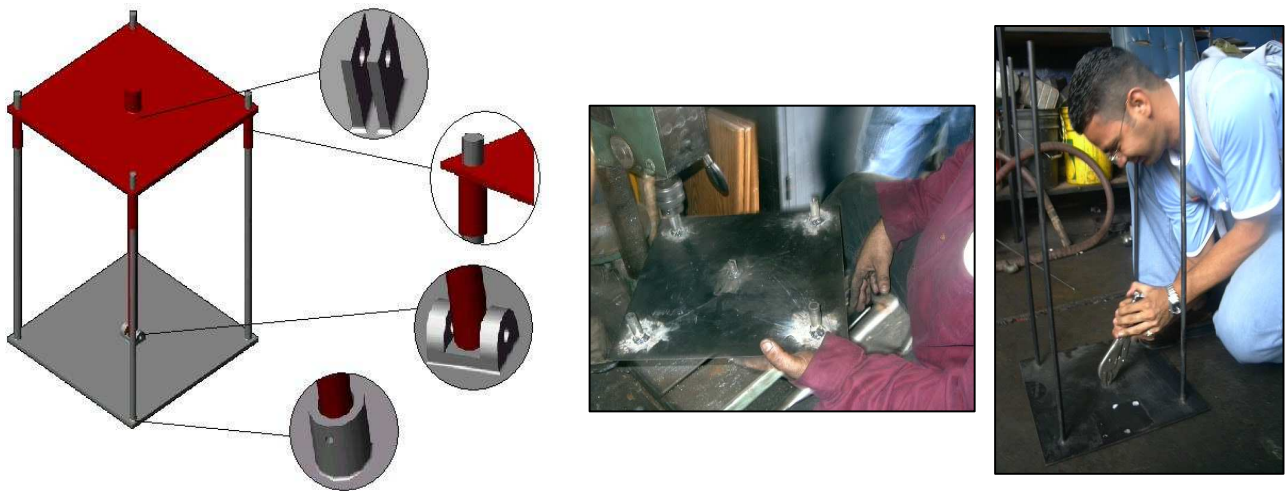
El ensayo de columnas ha dado buenos resultados con modelos a escala, es por ello que no se requiere de una máquina especial para realizar el ensayo de columnas, simplemente un banco que permita aplicar la carga de compresión (a través de pesos muertos) como única fuerza presente sobre la columna. El ensayo se rige por la norma ASTM E9, en esta norma se define geometría de la probeta, acabado superficial, procedimiento del ensayo, conceptos y notas de interés. Las columnas suelen dividirse en dos grupos: *intermedias* y *largas o muy esbeltas*. La diferencia entre los dos grupos viene determinada por su comportamiento. Las largas fracturan por pandeo o flexión, las intermedias, por una combinación de aplastamiento y pandeo. También, las columnas se clasifican según los soportes (ver tabla 1).

**Tabla 1 Cargas críticas para los diferentes tipos de columnas**

Articulada-articulada	Empotrada-libre	Empotrada-empotrada	Empotrada-articulada
$P_{cri} = \frac{E.I.\pi^2}{L^2}$	$P_{cri} = \frac{E.I.\pi^2}{4L^2}$	$P_{cri} = \frac{4.E.I.\pi^2}{L^2}$	$P_{cri} = \frac{2,046.E.I.\pi^2}{L^2}$
			
$Le = L$	$Le = 2L$	$Le = 0,5L$	$Le = 0,699L$

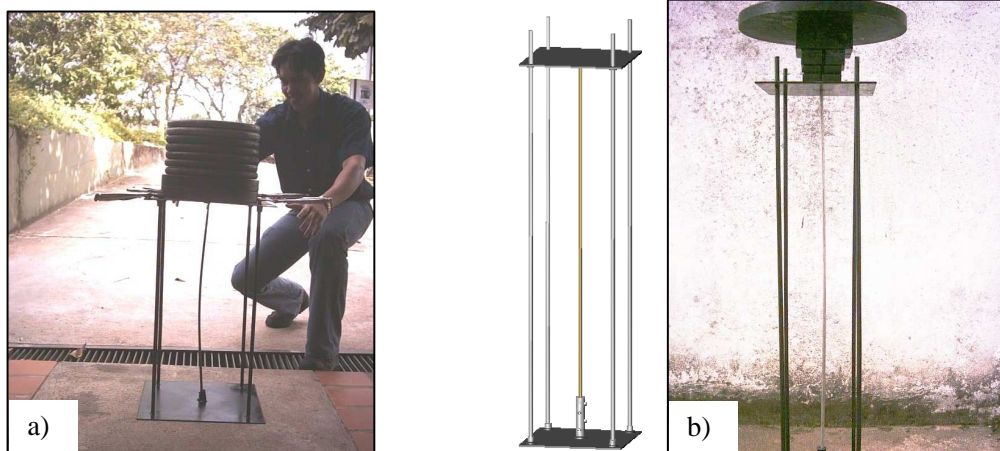
La figura 1 muestra una máquina construida por un grupo de alumnos, en este proyecto los estudiantes se enfocaron en una columna doblemente articulada. Para su diseño se emplearon programas CAD. El mecanismo fue construido totalmente por ellos. Aprendieron a manejar máquinas y herramientas tales como taladro, soldador eléctrico, segueta, limadora, vernier, prensa, entre otros. La figura muestra el detalle de algunos elementos en los cuales se centro su diseño y fabricación. Se resalta que los diseños contemplan la posibilidad de ensayar columnas de geometría variable, es decir, columnas de distintas longitudes y sección transversal. Los diseños también contemplan variar el tipo de apoyo ya sea con el uso de otro pasador o cambio de la base de apoyo.

Un resumen de los cálculos y resultados obtenidos se muestran en la tabla 2. Las diferencias entre los resultados analíticos y experimentales se deben en mayor parte a la precisión de los equipos disponibles para la medición.



**Figura 1: Diseño y construcción de un mecanismo para el estudio de columnas doblemente articulada**

La figura 2 muestra otros dispositivos fabricados para el estudio de columnas. En éstos mecanismos se estudian las columnas empotrada-articulada y empotrada-libre. Todos los grupos de alumnos encontraron dificultades en el diseño y construcción de los mecanismos, tales como: cambiar todo el diseño al momento de construir por errores en los cálculos analíticos, aprender el uso de programas que le facilitaran el diseño, adiestramiento en el uso de herramientas y el factor económico fue por su puesto uno de los factores que afectó a todos los grupos. Muchos de los materiales para la fabricación fueron obtenidos de desperdicios y materiales sobrantes. En otros casos ellos se organizaron cuando debían comprar materiales y elementos.



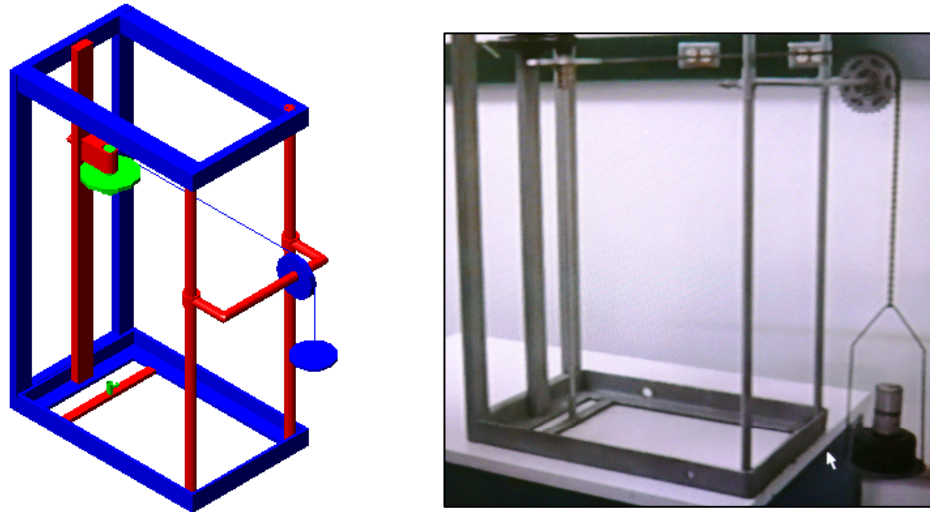
**Figura 2: Estudio de columnas a) Empotrada-articulada b) Empotrada-libre**

**Tabla 2: Datos obtenidos de los mecanismos fabricados para el estudio de columnas**

Datos del Ensayo Tipo de Ensayo	Material	Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Carga Crítica Analítica [Kgr]	Carga Crítica Experimental [Kgr]
doblemente articulada	Aluminio fundido	500	6,45	22,48	22
Empotrada articulada	Perfil U de aluminio	300	--	12,38	12,4
Empotrada libre	Aluminio comercial	1102	9,4	5,45	5,4

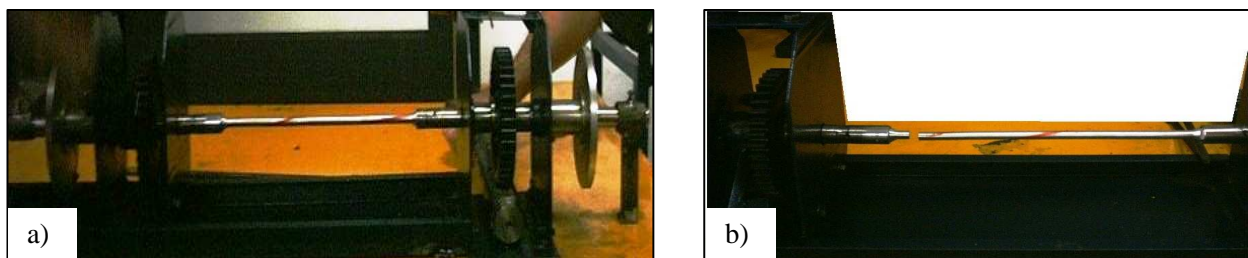
## ENSAYOS DE TORSION

La torsión se refiere a la deformación de una barra al ser sometida a momentos que tienden a producir una rotación alrededor del eje longitudinal de la barra. Un ejemplo real son los ejes ó árboles de transmisión de los vehículos. Otros ejemplos son: los ejes de las hélices de los aviones, taladros, barras de dirección, etc. Para este ensayo los estudiantes construyeron dos máquinas.



**Figura 3: Diseño y construcción de un mecanismo para realizar el ensayo de torsión**

La figura 3 muestra un mecanismo para realizar el ensayo de torsión diseñado por un grupo de estudiantes. La máquina consta esencialmente de un bastidor, que soporta dos mordazas para sujetar la probeta. Estas mordazas están perfectamente alineadas. La probeta se instala en las mordazas, una mordaza impide la rotación de la probeta mientras la otra gira debido al par aplicado, provocando de este modo una torsión en la probeta. Para el cálculo del momento torsor se realizan los diagramas de cuerpo libre en el porta-pesa. La deformación angular se mide a través de un goniómetro. La figura 4 muestra otro dispositivo desarrollado por los estudiantes. A diferencia de otros mecanismos este permite llegar hasta la fractura del material. Para su construcción se aprovecharon unos engranajes que estaban abandonados. Los alumnos idearon medir la fuerza a través de un resorte calibrado unido a una cremallera. Dos goniómetros permiten medir la distorsión angular en los extremos. En el acercamiento en la figura 4b se puede ver un tipo de fractura típico de un material dúctil.



**Figura 4: a) Máquina para realizar el ensayo de torsión b) Detalle de la fractura de una barra**

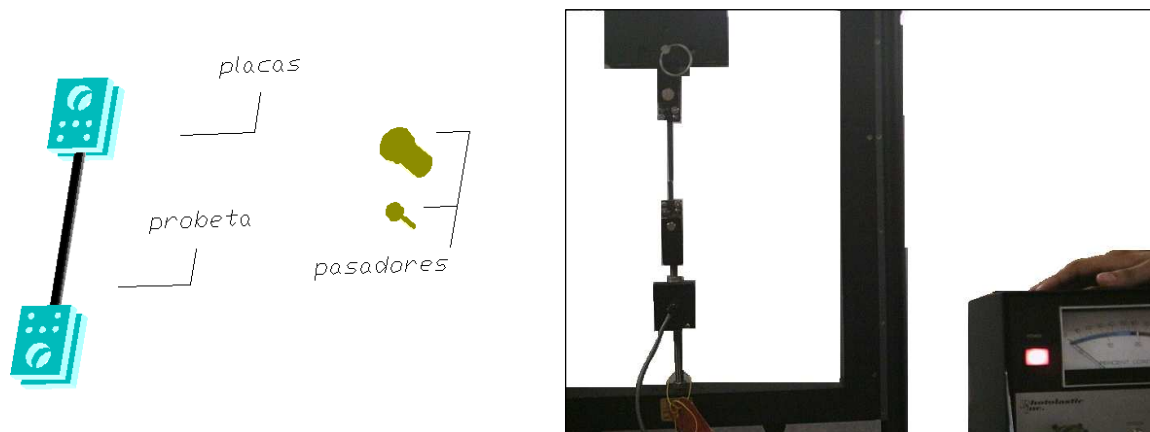
Los cálculos realizados por los estudiantes son omitidos por cuestión de espacio. Sin embargo en los ensayos realizados, la propiedad de rigidez determinada por este ensayo arroja resultados con una diferencia de 5% entre los analíticos y experimentales. En su informe ellos deben indicar las razones de la diferencia de sus resultados. Estas dos máquinas así como las demás máquinas dotan el laboratorio con mecanismos para la ejecución de los ensayos alcanzados.

## ENSAYOS DE POISSON

Cuando una fuerza axial es aplicada sobre un sólido, se deforma no sólo en la dirección de la fuerza aplicada, sino que también se expande o contrae dependiendo de si la carga es a tracción o a compresión. En el siglo XIX en el año 1811, Siméon Denis Poisson, descubrió que si el material es homogéneo e isotrópico, y permanece elástico bajo la acción de una fuerza aplicada, la deformación lateral sostiene una relación constante con la deformación axial. En recuerdo suyo, se ha dado su nombre a esta relación. Esta constante es una propiedad intrínseca del material así como el módulo de Young o esfuerzo de fluencia.

La relación de Poisson es una propiedad importante a considerar en el diseño de estructuras donde los cambios dimensionales que resultan de las fuerzas aplicadas necesitan ser tomados en cuenta. Es también usada en la teoría generalizada de elasticidad para análisis de estructuras, teoría en la que se basa el método de elementos finitos.

Las deformaciones laterales son de orden de magnitud muy bajo. La principal dificultad encontrada por los estudiantes fue medir esta deformación. Al momento de diseñar la probeta tuvieron que moldear más de 6 probetas, probar más de 3 materiales. Aunque al final de su proyecto no pudieron entregar buenos resultados su experiencia fue muy enriquecedora, ya que aprendieron a manejar el torno, se enteraron de equipos de medición de gran precisión, visitaron galpones de la zona industrial y allí pudieron encontrar plomo, material que al final les dio la posibilidad de acercarse a resultados, aunque su diseño es simple (ver figura 5) en sus ensayos experimentaron el efecto de los concentradores de esfuerzo. Como menciona Torres y Redondo (2006), cuando un estudiante es provisto con medios para experimentar y aplicar la teoría al mundo real, no sólo mejora el entendimiento de los conceptos teóricos, sino también le da confianza para enfrentar situaciones complejas.



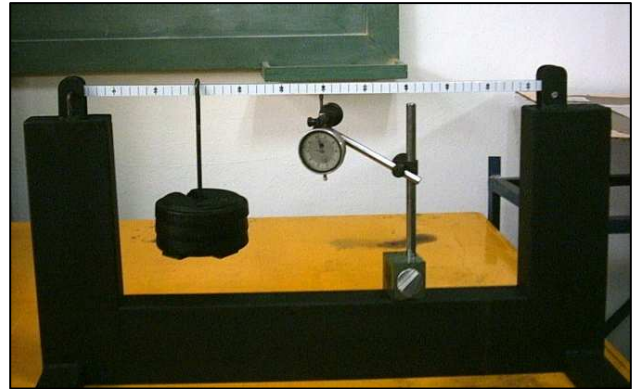
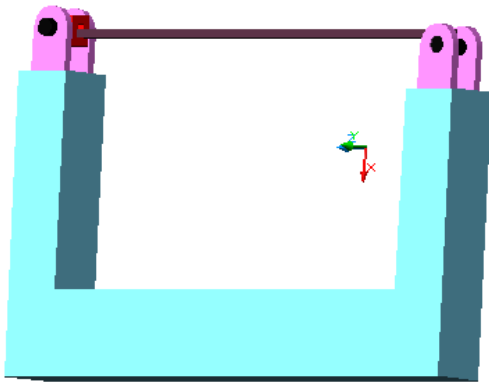
**Figura 5: Diseño y construcción de un mecanismo para realizar el ensayo de Poisson**

## ENSAYOS DE FLEXION

Este ensayo se estudia las vigas, que son barras sometidas a cargas laterales, es decir, a fuerzas o momentos que tienen sus vectores perpendiculares al eje de la barra. La determinación de las fuerzas cortantes y momentos flectores es esencial para el diseño de cualquier viga.

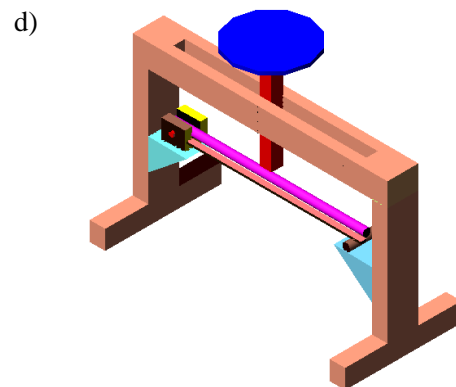
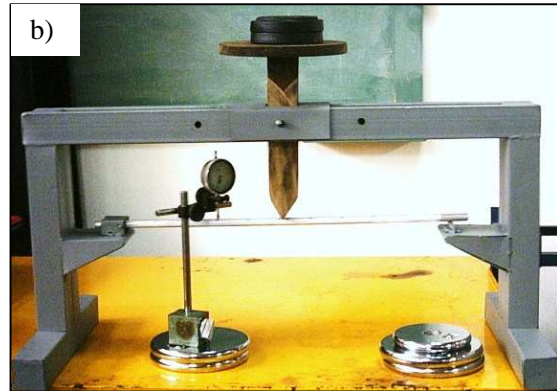
En flexión se realizan tres tipos de ensayos. La norma ASTM 855 establece las medidas y tolerancias para los tipos de ensayos que se pueden realizar sobre las vigas: ensayos en cantiléver, ensayos de vigas simplemente apoyadas o en voladizo.

En este ensayo como en todos, se busca que el estudiante haga una comparación entre los cálculos analíticos y los ensayos experimentales diseñados por ellos. A continuación se presentan dos de los mecanismos construidos. El ensayo se basa en la comprobación de la teoría de deflexión de las vigas. Los estudiantes plantearon diseños para aplicar la carga, a lo largo de la viga colocaron una regla y miden la deflexión de la viga con comparadores de esfera. Sus diseños abarcan distintos tipos de perfiles. La figura 6 muestra uno de los diseños.



**Figura 6: Diseño y construcción de un mecanismo para realizar el ensayo de flexión**

La figura 7 muestra otro de los mecanismos construidos por los estudiantes. Los alumnos disfrutaron de su experiencia mientras aprenden, descubren la aplicación de la ingeniería y se motivan al trabajo de campo. Y lo más importante es que ellos están asimilando los conceptos teóricos expuestos en el curso de teoría que acompaña el laboratorio a través de tres diferentes modos: por cálculos analíticos, por análisis en computador y por experiencia, los cuales ayuda a fijar mejor los conocimientos. También es necesario mencionar que con todos estos mecanismos se lograr dotar el laboratorio con equipos que servirán para impartir clase.

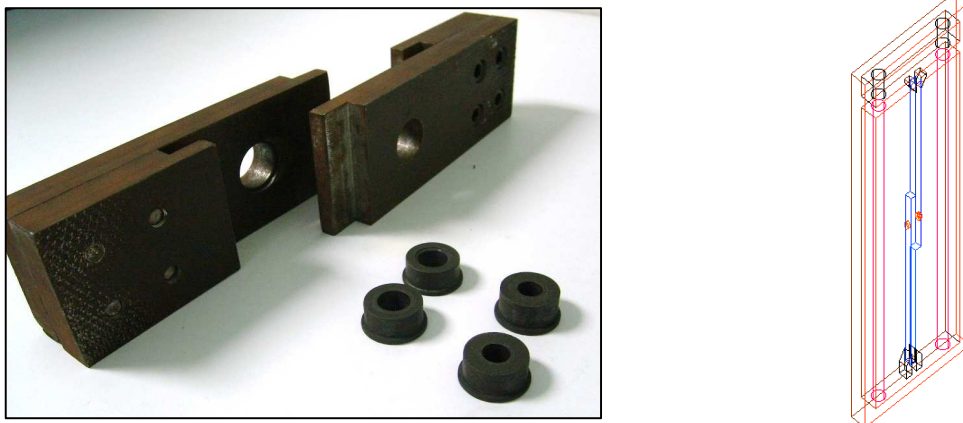


**Figura 7: Mecanismo para ensayo de flexión a) fresando b) Mecanismo final c) Soldando d) Diseño**

## ENSAYOS DE CORTE

En esta práctica se estudia el esfuerzo de corte que actúa en dirección tangencial a la superficie del material. Muchos diseños del hombre, tales como puentes, carros, torres de electricidad, bicicletas, etc., poseen conexiones de sus partes a través de pernos, pasadores, soldadura, etc. Sobre estos elementos reside el funcionamiento de la máquina o estructura y están sometidos a esfuerzos de corte constantemente que pueden conducir a su fractura.

El proyecto asignado a los estudiantes consistió en el diseño de unas mordazas “especiales” para realizar el ensayo de corte. Las mordazas se deben instalar sobre una máquina universal de ensayos. Los estudiantes de este grupo a diferencia de los otros grupos además de adquirir experiencia en herramientas y soldadura, tuvieron que aplicar tratamientos térmicos a las mordazas por los altos esfuerzos que soportan los elementos de unión y así garantizar que no fallen. Uno de las ideas más novedosas desarrolladas por los estudiantes fue fabricar distintos dados para poder realizar ensayos a distintos pasadores o pernos sin necesidad de cambiar las mordazas por completo, esto a su vez implicó sólo hacer tratamiento térmico a los dados (ver figura 8). Las placas cuentan con un diseño reforzado, una guía que permite asegurar la alineación de las mismas durante todo el ensayo.



**Figura 8: Diseño y construcción de un mecanismo para realizar el ensayo de flexión**

El alumno no solo aplica los conocimientos de ingeniería aprendidos en clase, sino que también se familiariza con las normas para la elaboración y ejecución de ensayos. Por otro lado adquiere una formación integral que contempla: adiestramiento para el diseño de piezas en el computador, aprende y se familiariza con máquinas y herramientas para la construcción de los dispositivos, normas de seguridad para la operación de equipos y herramientas, conocen más los distintos laboratorios y personal de la universidad, aprenden y adquieren una experiencia en ingeniería de detalle.

Como reporta el periódico EL TIEMPO el 8 de diciembre de 2007, el Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes de Indicadores de Resultados Educativos (PISA, por su sigla en inglés), desarrollado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que agrupa a los países más ricos, según encuestas realizadas (2000, 2003 y 2006) el sistema educativo finlandés es considerado el mejor del mundo. ¿Cuál es el secreto de su éxito? Uno de los lemas de la educación finlandesa es “aprender haciendo”. De esta filosofía han salido insólitas invenciones y a su vez se da solución a problemas reales. Otro lema es el juego el cuál es vital para el aprendizaje, esto hace que el estudiante se sienta atraído y motivado en todo momento del aprendizaje. Este trabajo surge como una necesidad del laboratorio de resistencia de los materiales de la UNET, donde las prácticas eran “ficticias”. Es curioso para el autor encontrar el reporte de éste periódico después de realizar este trabajo.

El profesor Blanco en su trabajo presentado el 2007 menciona: “Los ingenieros del futuro se deben centrar principalmente en formación básica profunda, en habilidades y en valores. Parece vislumbrarse un retorno a la formación de personas íntegras, honestas, responsables, con aptitudes para el auto-aprendizaje, trabajo en grupo y



multidisciplinario, con buenas bases teóricas y grandes capacidades de raciocinio y entendimiento. Ingenieros con don de gentes, con principios, con disciplina para el trabajo y para la toma correcta de decisiones, con sentido de lógica y proporciones; persona íntegra en el sentido estricto de la palabra. Los ingenieros necesitarán estructuras intelectuales sólidas, resistentes a los fuertes y continuos sismos tecnológicos, más que variados y poco durables recubrimientos profesionales”. Su trabajo estaba enfocado al como debe ser la formación del ingeniero del siglo XX. Este trabajo es un ejemplo claro de cómo lograr plasmar todas estas cualidades en un salón de clase de manera efectiva y eficiente.

#### 4. CONCLUSIONES

El alumno no sólo aplica los conocimientos de ingeniería aprendidos en clase, sino que también se familiariza con las normas para la elaboración y ejecución de ensayos. Por otro lado adquiere una formación integral que contempla: adiestramiento para el diseño de piezas en el computador, aprende y se familiariza con máquinas y herramientas para la construcción de los dispositivos, normas de seguridad para la operación de equipos y herramientas, conocen más los distintos laboratorios y personal de la universidad, aprenden y adquieren una experiencia en ingeniería de detalle.

Es claro que para que esta filosofía tenga éxito los profesores deben cumplir un rol importante. En muchas universidades se plantean políticas educativas y los departamentos oficializan los programas a impartir, pero los profesores deciden su sistema de evaluación y material a utilizar. Todo en un ambiente individualista, que apela más al alto sentido de la ética que a controles estrictos.

No sólo se mejora la formación profesional sino que aprenden y se organizan para trabajar en equipo.

Aunque los proyectos asignados requerían más tiempo y dedicación por parte de los estudiantes, los alumnos se sentían más motivación e interesados en esta actividad.

Por otro lado se logra dotar el laboratorio con máquinas que permitirán a futuras generaciones poder contar con experiencias prácticas.

Todavía queda mucho por hacer, futuros trabajos mejoraran los diseños actuales e incorporarán sistemas electrónicos para obtener equipos funcionales y modernos, demostrando que en las universidades se puede desarrollar tecnología para el progreso del país y se están formando ingenieros capaces y con cualidades que requiere el mercado laboral.

#### REFERENCIAS

Blanco, L. Ernesto (2007). “Perfil del Ingeniero Colombiano para el 2020”. *Procedente del V International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, Tampico, México. pp 1-5

Gere, M. James (2006). *Mecánica de materiales*, 6<sup>ta</sup> edición, THOMSON, México.

S. Koh (2004). Teaching Philosophy and Interests, Trabajos desarrollados en el laboratorio de Universidad de Pensilvania, <http://www.seas.upenn.edu/~skkoh>, 07/26/06 (fecha de absceso).

Torres, J. y Redondo, J. (2006). “Reparación y Automatización de una Máquina Universal de Ensayos”. *Procedente del VI congreso nacional de ingeniería mecánica*, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. pp 1-8

Periódico el tiempo (2007). Los profesores clave para que Finlandia ocupe de nuevo el primer puesto en las pruebas Pisa, reportaje del periódico, [http://www.eltiempo.com/vidadehoy/educacion/home/ARTICULO-WEB-NOTA\\_INTERIOR-3851683.html](http://www.eltiempo.com/vidadehoy/educacion/home/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR-3851683.html) , 08/12/07 (fecha de absceso).

#### *Autorización y Renuncia*

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.*