



TÉCNICAS DE APRENDIZAJE ACTIVO APLICADO A LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA APLICADA EN INGENIERÍA

Julián Alfonso Trisancho Ortiz, Leonardo Emiro Contreras Bravo, Luis Fernando Vargas Tamayo

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Bogotá, Colombia**

Resumen

El uso de prácticas de laboratorios dentro de la formación de ingenieros es fundamental para reducir la distancia entre la teoría impartida en clase y el mundo real. La estandarización de las pruebas de laboratorio que son usadas de manera generalizada en los cursos de mecánica, disminuye la posibilidad del uso de la parte creativa y de solución de problemas de los estudiantes, impidiendo una apropiación adecuada del conocimiento.

En el presente proyecto se hace un análisis metodológico del aprendizaje para determinar de qué manera podría implementarse un proceso de aprendizaje con mayor participación del estudiante (aprendizaje activo) y como puede ser implementado mediante el uso de equipos especializados.

Para ello se hace un recorrido bibliográfico sobre estudios de los tipos de aprendizaje, la técnica de aprendizaje activo, estado actual en los cursos de mecánica, resultados académicos y experiencia docente. Luego se presenta el diseño de un nuevo equipo de laboratorio el cual permite al estudiante realizar prácticas con lo cual puede variar y ajustar a sus necesidades de acuerdo a su criterio de ingeniería y conocimiento.

Se presentan finalmente los diseños preliminares de un nuevo equipo de laboratorio que permitirá que los estudiantes puedan realizar prácticas que permiten aplicar los conocimientos teóricos desarrollados en clase y la solución de pequeños problemas de ingeniería para los cursos de materiales industriales y mecánica aplicada del proyecto curricular de Ingeniería Industrial en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Palabras clave: aprendizaje activo; mecánica de materiales; equipos de laboratorio

Abstract

The use of laboratory practices in engineering education is the principal tool to reducing the separation between the theory and the practice of engineering. The standardization of laboratory tests which are used in mechanics courses, decreases the possibility of using the creative part for troubleshooting of students, preventing adequate appropriation of knowledge.

In this paper is show a descriptive analysis about active learning to determine how it could be implemented and the characteristics necessary in the design of new specialized equipment for the laboratory of mechanical of materials. First a bibliographic review of studies in types of learning, active learning technique, current status in mechanics courses, academic performance and teaching experience was made.

After is show one preliminary designs of a new laboratory equipment. This equipment will allow students to do internships that allow you to apply theoretical knowledge developed in class and solving small problems of courses of introduction of materials and applied mechanics in industrial engineering curriculum at the Francisco José de Caldas District University

Keywords: *active learning; mechanics of materials; laboratory equipment*

1. Introducción

La mecánica de materiales estudia el comportamiento de elementos estructurales sometidos a cargas externas, con lo cual es posible determinar conceptos como resistencia, deformación y diseño estructural, mientras que en materiales industriales se trata el estudio micro y macroscópico del comportamiento mecánico, eléctrico, térmico y químico de los materiales usados en ingeniería. La necesidad de involucrar al estudiante enteramente en su propio proceso de aprendizaje es fundamental, de manera análoga a lo que hace un piloto en un avión de entrenamiento o un médico en sus prácticas al interior de un hospital; al alumno de ingeniería no se le debe restringir a un aprendizaje pasivo, en el que es un sujeto estático que observa, escucha, toma nota, lee libros y conceptualiza aisladamente. La propuesta que sugiere el aprendizaje activo es que el estudiante participe, manipule, experimente, proponga soluciones a un problema, analice resultados, tome decisiones, reformule su procedimiento, si es necesario y finalmente genere conclusiones de profundidad sobre el problema o su solución.

Las asignaturas de mecánica aplicada y materiales industriales; son de interés prioritario ya que hacen parte del módulo básico de ingeniería, estos cursos tienen un índice de repitencia muy por encima de la media de los demás cursos del proyecto curricular de

ingeniería industrial. Actualmente, en estos cursos se tienen prácticas de laboratorio, donde los estudiantes pueden hacer ensayos predefinidos para caracterizar macroscópicamente los materiales, de tal manera que en la realización de estos ensayos se emplean máquinas del tipo industrial que demandan una gran pericia en su utilización, altos costos por prueba y además consumo de materiales de prueba descartables (ensayos destructivos), lo que obliga a un número reducido de ensayos y a una participación a manera de observador del estudiante.

2. Aprendizaje activo en la formación de ingenieros

La función de un profesional en ingeniería siempre está ligada a la manipulación de materiales, energía e información. Por ende, la formación de ingenieros en la universidad debe ser dinámica siguiendo los cambios tecnológicos, las necesidades sociales e industriales. De hecho, varios autores han tratado de establecer cuál es el perfil, en cuanto a sus habilidades, que un ingeniero debe tener al momento de terminar su formación universitaria de pregrado. Por ejemplo la organización ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) define las habilidades que un ingeniero debe tener al momento de terminar su formación.

HABILIDADES COGNITIVAS	HABILIDADES PROFESIONALES
Aplicar los conocimientos	Funcionar en equipos multidisciplinarios
Diseñar y realizar experimentos, analizar e interpretar datos	Responsabilidad ética y profesional
Diseñar un sistema, componente, o proceso para satisfacer necesidades teniendo en cuenta sus impactos	Comunicarse efectivamente
Identificar, formular y solucionar problemas de ingeniería	Comprender los posibles impactos de las soluciones de ingeniería
Usar las técnicas, habilidades, e instrumentos modernos de ingeniería	Compromiso con el aprendizaje durante toda la vida
	Conocimiento de temas contemporáneos

Tabla 1. Habilidades esperadas de formación para un ingeniero (Adaptado de Shuman et al, 2005)

Al analizar las habilidades necesarias por un ingeniero recién graduado según lo muestra la Tabla 1, se puede ver que las técnicas tradicionales de enseñanza no pueden llegar a fomentar muchas de las experiencias necesarias en su desarrollo. Las técnicas tradicionales están centradas en la labor del docente (presentaciones magistrales, solución de problemas teóricos planteados por el docente, prácticas de laboratorio completamente definidas en cuanto a sus metodologías y resultados, etc.), dejando un papel completamente pasivo a los estudiantes.

En la Figura 2 se ilustran los resultados basados en el modelo de estilo de aprendizaje de Kolb (Kolb&Fry, 1975, Sharp, 1997). Este propone que para aprender algún fenómeno se debe trabajar o procesar la información recibida, partiendo de: una experiencia directa y concreta o bien de una experiencia abstracta (por ejemplo de una lectura).

Estas experiencias se convierten en conocimiento cuando se elaboran de manera reflexiva o experimentando de forma activa. El aprendizaje óptimo ocurre cuando se trabajan de manera consecutiva cada una de las fases descritas.

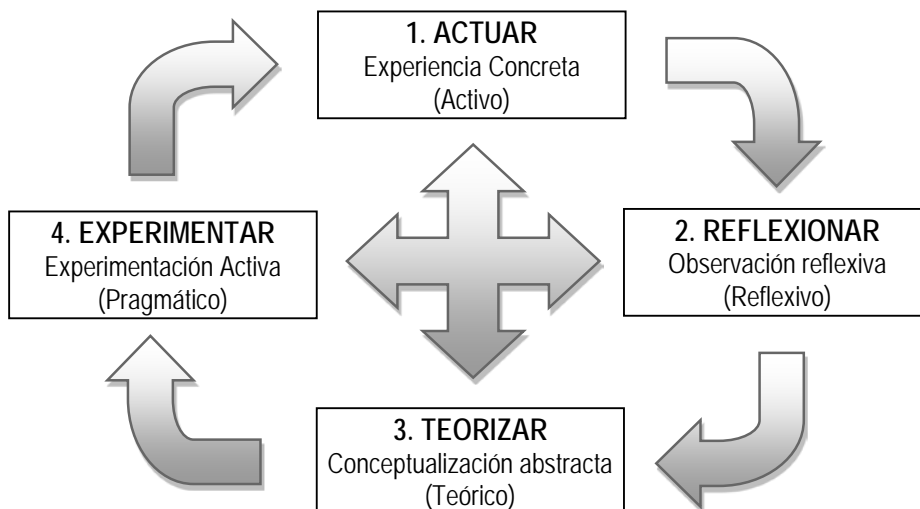


Figura 2. Modelo de aprendizaje de Kolb (Adaptado de Sharp, 1997)

En la práctica la mayoría de las personas se especializan en una de las fases o máximo en dos. Por lo tanto se pueden clasificar a los estudiantes en cuatro tipos, claramente diferenciados: Activo, Reflexivo, Teórico y Pragmático. Esto conlleva que se debe tener un método de aprendizaje que trate de cubrir las cuatro fases descritas por Kolb, para garantizar que los estudiantes logren apropiarse el conocimiento de manera adecuada, siguiendo su método aprendizaje especializado.

La integración de las prácticas o laboratorios permitirían integrar de manera más efectiva las cuatro etapas que el modelo de Kolb propone. Es por eso que Feisel & Rosa (2005) plantean que los objetivos que toda práctica o laboratorio debe cumplir para lograr su cometido formativo son las mostradas en la Tabla 2. Muchas de las prácticas clásicas de laboratorio no pueden cumplir con los objetivos propuestos en la Tabla 2, debido a dificultades técnicas (diseño de equipos) o metodológicas (diseño de la práctica).

ID	ÁREA	OBJETIVO
1	Instrumentación	Motivar la correcta selección de sensores, instrumentación y/o software para hacer la medición de las variables físicas
2	Modelos	Identificar claramente las ventajas y limitaciones que poseen los modelos teóricos usados, con respecto a los resultados del mundo real
3	Experimento	Diseñar el procedimiento experimental que debe ser seguido para obtener los resultados o mediciones deseadas
4	Análisis de datos	Diseñar el método de extracción adecuada de la información necesaria desde los datos capturados, tener la capacidad de interpretar los resultados, identificando los problemas y sacar conclusiones acordes a un nivel científico adecuado

5	Diseño	Tener la capacidad de crear procedimientos, metodologías o nuevos dispositivos que permitan obtener las mediciones necesarias
6	Realimentación positiva	Tener la capacidad de aprender de los errores cometidos durante la prueba debida a equipos, metodología, construcción, etc. Permitiendo usar esos errores para plantear soluciones más adecuadas o mejoras de su experimento
7	Creatividad	Usar su pensamiento creativo para la solución de problemas a partir de las herramientas disponibles y extrapolarlo a un problema real
8	Psicomotor	Demstrar competencia en el uso y selección de diferentes herramientas y recursos de ciencias aplicadas e ingeniería
9	Seguridad	Identificar claramente los riesgos y problemas ambientales que se podrían tener durante la práctica, mitigando sus posibles efectos
10	Comunicación	Tener la capacidad de comunicar efectivamente el método usado para la práctica, con sus resultados y conclusiones
11	Trabajo en equipo	Trabajar efectivamente en equipos, incluyendo estructuración individual y responsabilidad conjunta, asignados roles y responsabilidades.
12	Ética en el laboratorio	Comportamiento ético en la presentación de resultados, incluyendo el reporte de la información objetivamente.
13	Conciencia sensorial	Desarrollar el sentido común originario del uso de sus sentidos para realizar juicios de ingeniería, sobre comportamientos y problemas

Tabla 2. Objetivos que deben ser desarrollados en una práctica o laboratorio de docencia (Adaptado de Feisel & Rosa, 2005)

3. Prácticas y laboratorios aplicados actualmente en el área de materiales

Actualmente la actividad formativa de las asignaturas materiales industriales y mecánica aplicada se realiza mediante clases teóricas, planteamiento de problemas dentro y fuera del aula, y algunas prácticas de laboratorio. Las prácticas que se desarrollan en el laboratorio, el estudiante tiene una nula participación, limitándose a ser un recopilador de datos para elaborar un informe, aplicando algunos modelos de comportamiento y generando conclusiones sobre su experiencia. Sin embargo el estudiante no puede modificar alguna variable y analizar el cambio sobre el comportamiento del material, y así poder buscar soluciones a problemas de ingeniería o validando los modelos vistos en clase.

Los estudiantes realizan seis prácticas (resistencia a tensión, compresión, torsión, flexión, fatiga e impacto). En esencia, estas pruebas consisten en tomar probetas de dimensiones normalizadas, someterlas a un tipo de carga diferente de acuerdo al tipo de ensayo, almacenar las variables de deformación y esfuerzo con respecto al tiempo, finalmente se llega a un nivel falla mecánica de la probeta (rotura). Posteriormente, el comportamiento de cada material queda determinado por la curva esfuerzo deformación generada por la carga aplicada.

A continuación, los estudiantes almacenan los datos del ensayo, en una etapa posterior los estudiantes calculan de manera teórica los parámetros del material, según los modelos disponibles en la teoría, que son comparados con las pruebas realizadas por otros estudiantes o de la bibliografía existente. El problema radica en la intangibilidad que los resultados ofrecen, generalmente los estudiantes no pueden cuantificar adecuadamente los valores obtenidos y por ello no logran conceptualizar

apropiadamente los modelos matemáticos (sus limitaciones y aproximaciones) y el comportamiento real del material.

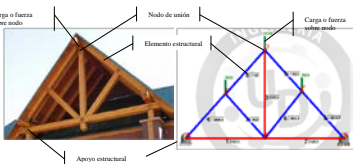
4. Implementación de nuevos tipos de prácticas

Con el objetivo de implementar el modelo Knob y el aprendizaje activo dentro del área de diseño y manufactura de proyecto curricular ingeniería industrial, se ha propuesto diferentes prácticas y ensayos de laboratorio. A continuación se describen brevemente algunas de las técnicas implementadas.

4.1 laboratorios virtuales

Los laboratorios virtuales (basados en modelos numéricos) presentan una serie de importantes ventajas frente a los laboratorios tradicionales tales como brindar la posibilidad de hacer el mismo ensayo pero cambiando: condiciones geométricas, condiciones de carga, criterios de diseño o condiciones de resistencia, de una manera interactiva, rápida, gráfica y que no implican gastos adicionales. En la actualidad estos sistemas además están presentando un nivel de difusión mucho más alto, debido a la facilidad que tienen de ser instalados en dispositivos móviles o por medio de aplicaciones en la nube.

A su vez tiene como desventaja que el estudiante solo interactúa con objetos idealizados descritos por medio de leyes matemáticas, haciendo imposible que el estudiante logre hacer la relación entre “mundo real” y modelo, sin identificar las limitantes que el modelo idealizado tiene, como deben ser aplicados estos modelos y que cuidados se debe tener en la práctica de ingeniería. En la Tabla 3 se presenta un resumen de las técnicas de laboratorios virtuales implementados.

Nombre	Descripción	Ventajas	Desventajas
 <p>Cálculo numérico de estructuras</p>	<p>Evaluar de manera intuitiva y gráfica, el comportamiento de estructuras bidimensionales de elementos de área constante unidos por nodos, conocidos como cerchas</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Variación geométrica interactiva * Validación numérica de los resultados mediante la exposición de la matriz de cálculo * Análisis del comportamiento estructural de diferentes tipos de apoyos 	<ul style="list-style-type: none"> * Simplificación excesiva del problema de ingeniería * Intangibilidad de los resultados obtenidos

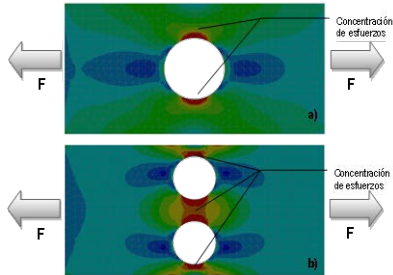

 <p>Modelamiento mecánico por elementos finitos</p>	<p>Discretización de un componente en partes más pequeñas (un número finito), cuya solución elástica de esfuerzo/deformación es muy sencilla (numéricamente hablando). La acumulación de cada una de las soluciones de los elementos discretizados, genera la respuesta general del componente o pieza.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Visualización de mapa de esfuerzos y/o deformaciones * Magnificación de deformaciones * Variación de condiciones de carga y geométricas de la pieza en análisis * Análisis del comportamiento estructural de diferentes tipos de apoyos y/o restricciones 	<ul style="list-style-type: none"> * Intangibilidad de los resultados obtenidos * Necesidades de entrenamiento previo importante para el uso del software especializado * Uso computacional intensivo para la solución de los problemas
---	---	--	--

Tabla 3. Laboratorios virtuales implementados

4.2 fabricación y evaluación del comportamiento mecánico de elementos a escala

Existen diferentes técnicas para poder aplicar esta técnica didáctica. Autores como Hadim et al. (2000) proponen hacer modelos en metales dúctiles que pueden ser fácilmente unidos por soldadura o pegamento, mientras Ruiz et al. (2006) propone el uso de material mucho más económico y de fácil consecución como lo es la pasta comestible. Generalmente el objetivo planteado para la práctica es que el estudiante diseñe una estructura que pueda tener la mayor capacidad de carga antes de rotura con relación al peso total, con algunas limitaciones geométricas de tamaño planteadas por el docente. Así mismo el estudiante puede además plantear cuales son las condiciones que su estructura va a presentar según los modelos matemáticos vistos en clase. El proceso constructivo de este tipo de proyectos es complicado y conlleva un tiempo importante de trabajo por parte de los estudiantes, de igual manera es necesaria una habilidad psicomotriz elevada, para obtener un resultado mecánica y estéticamente adecuado. Estas características hacen que estos trabajos sean planteados como proyecto final de curso lo que impide que los estudiantes puedan generar alternativas de diseño y evaluar su comportamiento.

Un parámetro importante que difiere una técnica de la otra es la posibilidad de realizar mediciones en tiempo real del comportamiento de las estructuras, a continuación se encuentran algunas de las técnicas implementadas usando estructuras a escala reducida.

Nombre	Descripción	Ventajas	Desventajas
 <p>Estructuras a escala reducida</p>	<p>Generar estructuras simples a escala reducida que son llevadas a rotura mediante la aplicación incremental de carga puntual hasta rotura</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Validación de resistencia última * Validación de modelos numéricos frente a comportamiento real 	<ul style="list-style-type: none"> * Ensayo destructivo * imposible determinar comportamientos intermedios * Altísima influencia del proceso de fabricación y calidad del

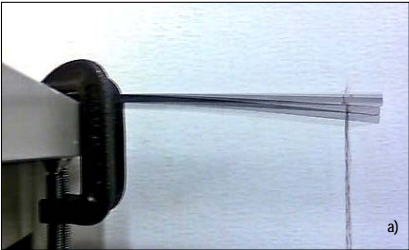
			modelo
 <p>Técnicas fotométricas para medición de desplazamientos y/o deformaciones</p>	<p>Análisis por medio de cámaras de alta resolución y algoritmos de procesamiento de imágenes</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Almacenamiento continuo del proceso de carga y resultados de deformación * Ausencia de contacto entre la estructura en estudio y los sensores * Inversión muy baja en hardware y el componente fundamental del sistema es el software de procesamiento 	<ul style="list-style-type: none"> * La deformación medida debe ser "visible", esto implica que debe ser superior a 0.5mm (Tristancho, 2008)
 <p>Galgas extensiométricas para medición de deformaciones y cálculo de esfuerzos</p>	<p>Las galgas extensiométricas, son los sensores comúnmente usados para la medición de deformaciones de orden muy pequeño y el posterior cálculo de los esfuerzos asociados por medio de la teoría de deformación elástica. Estos sensores se basan en la variación de la resistividad que presenta un conductor eléctrico debido al cambio de su longitud y/o sección transversal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Lectura directa de deformaciones de muy baja amplitud * Relación directa para la determinación de esfuerzos * Caracterización puntual o zonal del comportamiento del elemento en análisis * Análisis de mayor complejidad como lo es la respuesta dinámica del montaje 	<ul style="list-style-type: none"> * Sensor debe ser pegado a la estructura en análisis y por ello no es recuperable * Instrumentación necesaria para la lectura es de alto costo

Tabla 4. Laboratorios con estructuras a escala reducida implementados

5. Diseño prácticas y equipos para solución de problemas por aprendizaje activo

El Equipo de Trabajo para el Aprendizaje Activo en Mecánica Aplicada (ETAAMA), es un equipo que permite a los estudiantes implementar estructuras y probetas especializadas pre instrumentadas o utilizando técnicas fotométricas de medición, para obtener en tiempo real todas la mediciones y características de un ensayo mecánico, típico en los problemas existentes en la bibliografía especializada.

En esencia ETAAMA es un actuador electromecánico, instrumentado con una celda de carga y un deformímetro, conectado a un sistema de control microcontrolado, capaz de realizar ciclos con deformación o carga controlada. El sistema consta además un sistema de adquisición de datos con canales amplificados de manera diferencial para la lectura de strain gauges y deformímetros amplificados. Todos los sistemas están

conectados a un computador táctil incrustado dentro el equipo, que permite la visualización y control de todas las variables registradas. En la Figura 3, se puede ver un esquema general del ETAAMA y una vista del diseño mecánico.

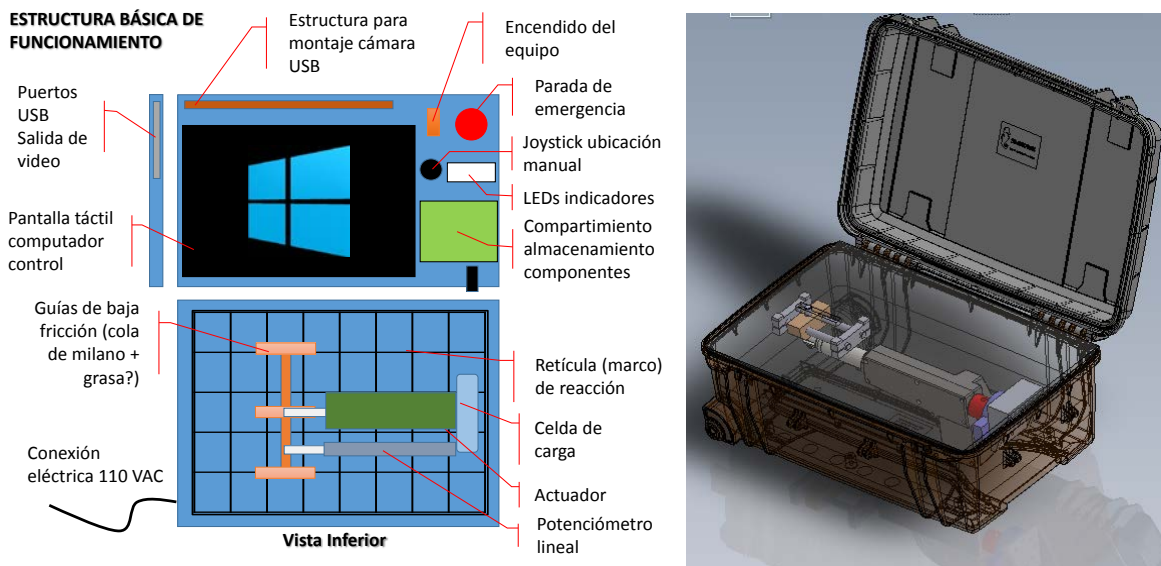


Figura 3. Estructura principal de ETAAMA (izq) y diseño mecánico del equipo (der)

ETAAMA tiene la capacidad de realizar las siguientes prácticas prediseñadas de caracterización de materiales:

- Tensión - Deformación acumulada: Determinar la variabilidad de la deformación en una probeta uniforme
- Compresión - rotura: Verificar proceso de falla por compresión y diferencia resistencia tensión/compresión
- Relación de Poisson: Relación entre deformación axial y transversal, baja variabilidad entre materiales
- Concentración de esfuerzos: Efecto de discontinuidades y variabilidad geométricas
- Flexión en vigas: Determinar el comportamiento por flexión en vigas, efecto en la deformación por la inercia geométrica, determinar eje neutro y determinar curva de deformación
- Ensayo de tensión a rotura curva real: Verificar formación de cuello y variación del área transversal en la probeta y comparar curva de ingeniería y curva real
- Elementos compuestos: Distribución de esfuerzos en elementos compuestos

En cuanto a sistemas estructurales se tiene:

- Elementos tipo LEGO, algunos instrumentados (Strain gauge) que permiten al estudiante crear estructuras sencillas. Apoyos instrumentados para medir la carga vertical y horizontal que soportan. Algunas de las prácticas son:
 - Con las reacciones y carga determinar las fuerzas sobre los elementos estructurales. Comparar con las lecturas

- Con las reacciones sobre algunos elementos determinar reacciones en los apoyos y comparar
- Realizar variaciones geométricas de la estructura determinar los cambios sobre el comportamiento
- Estructura pre-diseñada e instrumentada. Variación geométrica de diferentes estructuras. Apoyos instrumentados para medir la carga vertical y horizontal que soportan. Algunas de las prácticas son:
 - Con las reacciones y carga determinar las fuerzas sobre los elementos estructurales. Comparar con las lecturas
 - Con las reacciones sobre algunos elementos determinar reacciones en los apoyos y comparar
 - Variar dirección de carga, determinar cambios sobre la estructura, determinar usos y beneficios de cada tipo de estructura

6. Conclusiones

Según lo descrito en las secciones anteriores la mejor técnica para lograr el ciclo Kolb de aprendizaje es la de Hands-On, usando como respaldo la simulación por computador. En las referencias no existen datos en los cuales se traten proyectos de prácticas tanto de diseño estructural como de caracterización de materiales simultáneamente, planteadas para cumplir con la mayoría de los objetivos de la Tabla 2.

La integración entre software (elementos finitos, cálculo estructural, sistemas automáticos de visualización e instrumentación), visión artificial e instrumentación electrónica, generan una serie de experimentos con altísimas características didácticas convirtiéndose en el centro de apropiación de conocimiento por parte de los estudiantes.

La mayoría de los equipos de laboratorio disponibles por fabricantes especializados o diseñados en los propios centros educativos, son robustos, grandes y costosos; no pueden ser movilizadas con facilidad. Esto restringe el tiempo disponible por los estudiantes para tratar de solucionar problemas “reales”, interacción de sistemas de instrumentación, diseño de laboratorio y análisis de resultados. El diseño de equipos portátiles, configurables e instrumentados puede mejorar la posibilidad de acceso de estos dispositivos por parte de los estudiantes y/o el uso por parte del docente durante el desarrollo mismo de la clase teórica, además de la reducción en costos por materiales en equipos de menor tamaño y el problema de espacios físicos no disponibles en la actualidad.

7. Referencias bibliográficas

- Feisel L. & Rosa A. (2005). "The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education", *Journal of Engineering Education* Volume 94, Issue 1, p.p. 121-130.
- Hadim H., Donskoy D., Sheppard K., Gallois B. & Nazalewicz J. (2000). Teaching Mechanics to Freshmen by Linking the Lecture Course to a Design Course, ASEE Conference Proceedings Search.
- Kolb D., & Fry R., (1975) "Toward an applied theory of experiential learning", in C. Cooper (ed.), *Theories of Group Process*, London: John Wiley.
- Ruiz, D., Magallón, J. & Muñoz, E. (2006). "Herramientas de aprendizaje activo en las asignaturas de ingeniería estructural", *Ingeniería y Universidad*, vol. 10, núm. 1, p.p. 97-115.
- Sharp J., Harb J. & Terry R., (1997). "Combining Kolb learning styles and writing to learn engineering classes", *Journal of Engineering Education*, Vol. 86, Issue 2, pages 93-101, April.
- Sharpe W. (2008). *Springer Handbook of Experimental Solid Mechanics*, Springer Science+Business Media, New York, p.p. 283-333.
- Shuman, L., Besterfield-Sacre, M. & McGourty, J. (2005). "The ABET Professional Skills – Can They Be Taught? Can They Be Assessed", *Journal of Engineering Education*, Vol. 94, N° 1, pp. 41-55.
- Tristancho J. (2008). "Análisis de comportamiento mecánico de elementos estructurales a escala por medio de fotometría y galgas extensiométricas", Documento interno de investigación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)