

JULIÁN ALFONSO TRISTANCHO ORTIZ*

LEONARDO EMIRO CONTRERAS BRAVO**

LUIS FERNANDO VARGAS TAMAYO***

FECHA DE RECEPCIÓN: 9 DE MAYO DE 2014
FECHA DE EVALUACIÓN: 22 DE MAYO DE 2014

ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE ACTIVO EN MECÁNICA APLICADA

*Analysis and Application of Active Learning
Techniques in Applied Mechanics*

*Análise e aplicação de técnicas de
aprendizagem activo em mecânica aplicada*

* Doctor en Ingeniería. Magíster en Ingeniería Electrónica y de computadores. Ingeniero Mecánico. Docente de planta Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo de investigación DIMSI (Diseño Modelamiento y simulación). jatristanchoo@udistrital.edu.co

** Magíster en ingeniería – Materiales y procesos. Universidad Nacional de Colombia. Ingeniero Mecánico. Universidad Francisco de Paula Santander. Docente de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. lecontrerasb@udistrital.edu.co.

*** Magíster en Ingeniería – Materiales y procesos. Ingeniero Mecánico. Docente de planta Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo de investigación DIMSI (Diseño Modelamiento y simulación). lfvargast@udistrital.edu.co



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 disminuye la posibilidad del uso de la parte creativa y de solución de problemas de los estudiantes. En el presente artículo 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), dentro de los cursos de materiales industriales y mecánica aplicada del proyecto curricular de Ingeniería Industrial en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

En la primera parte del artículo se describe la metodología y tipos de aprendizaje según el modelo Kolb (1975), luego se presenta la problemática actual de las prácticas de laboratorio de la universidad y finalmente se muestran algunos de los equipos (software y hardware) implementados dentro de este proyecto de investigación, mostrando las ventajas y desventajas de cada uno.

Palabras Claves: Aprendizaje Activo, Enseñanza, Modelo Kolb, Mecánica Aplicada, Materiales Industriales, Laboratorios de Ingeniería

ABSTRACT

The use of laboratory practice in engineering training is key for bridging the gap between the theory taught in the classroom and the real world. Standardization in laboratory tests reduces the possibility for students to use creativity and problem-solving abilities. This paper performs a methodological analysis of learning in order to establish the way Industrial Materials and Applied Mechanics students could participate more actively in their own learning process (active learning) in the framework of the curricular project on Industrial Engineering at Francisco José de Caldas University.

In the first part of the paper, the methodology and types of learning are described according to Kolb model, followed by a description of current difficulties in laboratory practices at the University. To conclude, some of the equipments (software and hardware) used during this research project are shown, and their advantages and disadvantages are described.

Keywords: Active Learning, Teaching, Kolb model, Applied Mechanics, Industrial Materials, Engineering Laboratories

RESUMO

O uso de prácticas de laboratorio dentro del ensino da engenharia é fundamental para reduzir a distância entre a teoria ensinada em sala de aula e o mundo real. A padronização das provas de laboratorio diminui a possibilidade do uso da criatividade e a resolução de problemas dos alunos. No presente artigo se fez uma análise metodológica da aprendizagem para determinar como poderia ser implementado um processo de aprendizagem con maior participação do aluno (aprendizagem activa) dentro dos cursos de materiais industriais e mecânica aplicada

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se maneja mucho el término “acreditación de alta calidad”. Dicha calidad es el producto de múltiples factores, donde se resaltan la calidad docente, la seriedad de los currículos y la constante preocupación de la comunidad académica por mejorar permanentemente. En este sentido se sabe que el aprendizaje activo es una de las estrategias educativas que más resultados puede entregar en todas las disciplinas y en especial las relacionadas con la técnica y la tecnología; sin dejar de lado las estrategias tradicionales como: las clases magistrales, los ejercicios de clase y exposiciones, entre otras.

De hecho, la calidad de la educación es compromiso que atañe a todos los niveles educativos y directivos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. El grupo de investigación DIMSI (Diseño, Modelamiento y Simulación), en

do projeto curricular de Engenharia Industrial na Universidade Distrital Francisco José de Caldas.

Na primeira parte do artigo descreve-se a metodologia e tipos de aprendizagem segundo o modelo Kolb, logo se apresenta a problemática atual das práticas de laboratorio da universidade e finalmente mostra-se alguns dos equipamentos (software e hardware) implementados dentro deste proyecto de pesquisa, que mostra as vantagens e desvantagens de cada um.

Palavras-chave: Aprendizagem ativa, Ensino, Modelo Kolb, Mecânica aplicada, materiais industriais, laboratorios de engenharia.

una de sus líneas de investigación sobre educación en ingeniería, se ha centrado en evaluar y mejorar las metodologías de enseñanza apropiando técnicas y tecnologías que se reportan en la literatura internacional, en áreas del conocimiento de ingeniería básica como son el diseño en ingeniería, la ciencia de materiales y mecánica de materiales, que corresponden a los cursos de: dibujo en ingeniería, materiales industriales y mecánica aplicada respectivamente; dentro del proyecto curricular de Ingeniería Industrial. De un lado, 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.

Por consiguiente, este trabajo se fundamenta sobre la necesidad de involucrar al estudiante enteramente en su propio proceso de aprendizaje, 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; por tanto, 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 reprobación o incidencia de pérdida de la asignatura 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.

En primer lugar este artículo hace una descripción de los procesos conceptuales y metodológicos asociados con el aprendizaje activo en

ingeniería, posteriormente, se muestran algunas de las técnicas que se han implementado dentro del área de diseño y manufactura de la facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital, de las cuales algunas se pueden considerar como tradicionales y otras emergentes debido al desarrollo tecnológico.

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 las 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 (Tabla 1).

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.

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

HABILIDADES COGNITIVAS	HABILIDADES PROFESIONALES
Aplicar los conocimientos	Funcionar en equipos multidisciplinares
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



Figura 1. Metodología de enseñanza y nivel de retención (Adaptado de Ruiz et al, 2006).

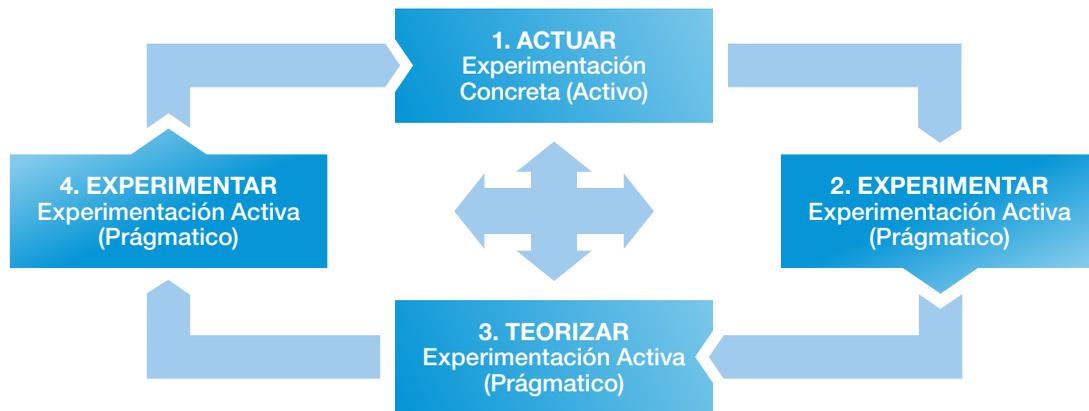


Figura 2. Modelo de aprendizaje de Kolb (Adaptado de Sharp, 1997)

En la Figura 1 se muestra el nivel de apropiación del conocimiento que los estudiantes pueden llegar a tener de acuerdo a la metodología usada, según lo plantea Chrobak (1996), el cual divide claramente en dos tipos fundamentales la educación: La enseñanza pasiva y la activa, refiriéndose al rol que el estudiante cumple durante su propia formación. La primera logra tener niveles de retención inferiores al 50%, mientras que la segunda obtiene niveles superiores al 70%. Estos tipos de resultados han sido demostrados por varios autores como Hadim, Donskoy, Sheppard, Gallois & Nazalewicz (2000), Caro & Reyes (2003), Magallón & Muñoz Ruiz, (2006) y Fernández & Millán (2013).

En la Figura 2 se ilustran los resultados basados en el modelo de estilo de aprendizaje de Kolb (1975) y Sharp, Harb y Terry (1997). El modelo 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 anteriormente.

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 a que se debe tener un método de aprendizaje que trate de cubrir las cuatro fases descritas por Kolb (1975), para garantizar que los estudiantes se logren apropiar del conocimiento de manera adecuada, siguiendo su método de aprendizaje especializado.

La forma de conseguir que los estudiantes puedan llegar a traspasar las cuatro etapas descritas por Kolb (1975) durante su proceso educativo, es el uso de laboratorios de ingeniería, los cuales según Feisel & Rosa (2005), se pueden clasificar en tres tipos básicos:

- » **Ingeniería de desarrollo:** Usados para resolver cuestiones específicas acerca de la naturaleza y que deben ser contestadas antes que un proceso de diseño o desarrollo pueda continuar. Está pensado para resolver una pregunta específica de importancia inmediata.
- » **Investigación:** Son usados para explorar el borde del conocimiento que puede ser generalizado y esquematizado, pudiendo tener ningún uso específico en la actualidad.
- » **Docencia:** Usado para validar el comportamiento de los modelos matemáticos planteados, contrastándolos con el comportamiento real de los objetos. También pueden ser del tipo de capacitación tecnológica sobre el uso de herramientas computacionales o físicas.

De ahí que el tipo de laboratorio más usado en los procesos formativos de pregrado en ingeniería es el de docencia. En ellos el estudiante casi nunca se enfrenta a desarrollar una metodología que le permita extraer los datos necesarios para evaluar un nuevo dispositivo o crear un nuevo componente (Feisel & Rosa, 2005).

Por tal razón, la integración de las prácticas o laboratorios en el proceso de diseño o evaluación permitiría integrar de manera más efectiva las cuatro etapas que el modelo de Kolb (1975) 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).

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 reprobación o incidencia de pérdida de la asignatura muy por encima de la media de los demás cursos del proyecto curricular de ingeniería industrial.

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

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	Demostrar 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

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.

El laboratorio de materiales de la Universidad Distrital está localizado en la sede tecnológica, ubicada al sur de la ciudad de Bogotá, mientras que la facultad de Ingeniería (sede donde los estudiantes toman la mayoría de sus clases) se encuentra en la localidad de Chapinero. Esto implica que los estudiantes tengan que hacer desplazamientos de cerca de dos horas entre sedes. Esta pérdida de tiempo por trayecto, sumada al hecho de que los estudiantes pertenecen a los estratos 1, 2 y 3 ha generado una serie de inconvenientes para el desarrollo de las asignaturas.

Otro aspecto negativo que afecta el desarrollo de las prácticas de laboratorio, es que todos los ensayos de mecánica de materiales son destructivos, por lo tanto la probeta (suministrada por los estudiantes), solo puede ser usada una vez. Lo que genera una carga económica, factor determinante en los estudiantes provenientes habitualmente de grupos vulnerables de la sociedad. Adicionalmente, en 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.

En el proceso de formación los estudiantes realizan seis prácticas (resistencia a tensión, compresión, torsión, flexión, fatiga e impacto). En

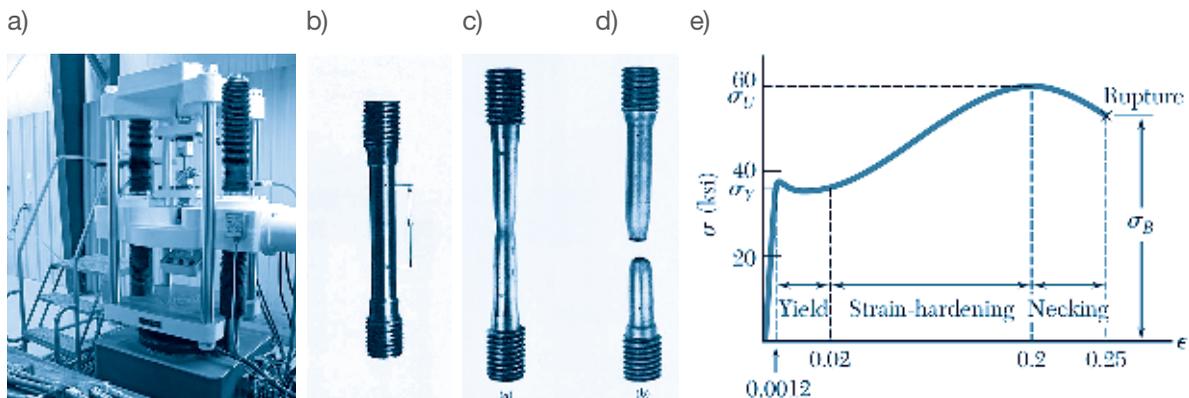


Figura 3. Prueba de resistencia a tensión. a) Máquina universal de ensayos, b) probeta en estado original, c) probeta en deformación plástica, d) ruptura final de la probeta y e) gráfica resultante del ensayo (Hibbeler, 2011)

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. La Figura 3 muestra los componentes principales de una prueba a tensión y la respuesta típica del material al aplicarse este tipo de carga.

A continuación, los estudiantes almacenan los datos del ensayo, con los cuales logran realizar la gráfica Figura 4. 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.

RESULTADOS

Con el objetivo de implementar el modelo Knob (1975) y el aprendizaje activo dentro del área de diseño y manufactura del proyecto curricular de ingeniería industrial, se han propuesto diferentes prácticas y ensayos de laboratorio. A continuación se describen brevemente algunas de las técnicas implementadas.

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, cómo deben ser aplicados estos modelos y qué cuidados se debe tener en la práctica de ingeniería. Una breve descripción de laboratorios virtuales que se han implementado en el marco de este proyecto de investigación, se describen a continuación.

CÁLCULO NUMÉRICO DE ESTRUCTURAS

El software IIUD.DIMSI.CERCHAS (Contreras, 2012), permite evaluar de manera intuitiva y gráfica, el comportamiento de estructuras bidimensionales de elementos de área constante unidos por nodos, conocidos como cerchas. En la Figura 4 se aprecia como una estructura real (Figura 4a izq.) se

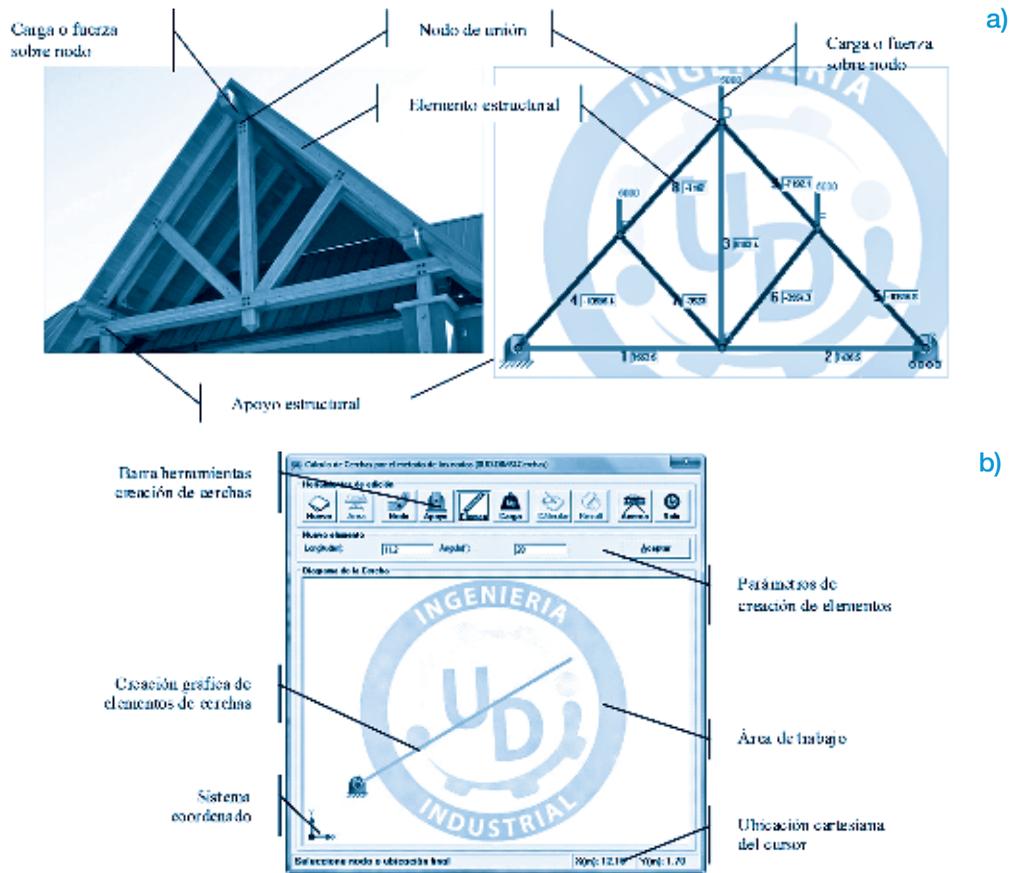


Figura 4. Software didáctico de análisis numérico de estructuras. a) Izq. estructura real y der. representación simplificada con resultados de distribución de fuerzas en IIUD.DIMSI.CERCHAS. b) Partes principales software didáctico IIUD.DIMSI.CERCHAS (Contreras, 2012)

puede simplificar a una estructura alámbrica (Figura 4a der.) cargándola con las fuerzas asociados a las cubiertas, viento y estructura. A partir de esta simplificación, se obtiene la distribución de reacciones y fuerzas de los componentes. Una ventaja del uso de este software, es que el estudiante puede variar de manera muy sencilla la geometría de la cercha, pudiendo analizar las consecuencias que estos cambios tienen sobre el comportamiento en conjunto del sistema estructural.

MODELAMIENTO MECÁNICO POR ELEMENTOS FINITOS

El modelamiento por elementos finitos (FEM por sus siglas en inglés) es uno de los métodos de laboratorio virtual más usado en la actualidad. Este método está basado en la discretización de un elemento en partes más pequeñas (un número finito), cuya solución elástica de esfuerzo/deformación es muy sencilla (numéricamente

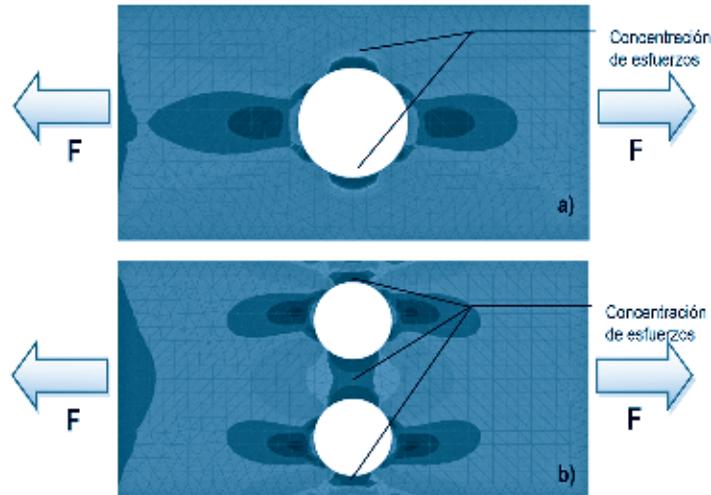


Figura 5. Análisis de elementos finitos sobre elemento estructural con igual sollicitación mecánica. a) Agujero para remache doble y b) Agujero para remache sencillo (Contreras, 2011)

hablando). La acumulación de cada una de las soluciones de los elementos discretizados, genera la respuesta general del componente o pieza. La exactitud de la solución depende del número de componentes discretizados, la homogeneidad de las propiedades elásticas y las condiciones de frontera impuestas al modelo.

En la Figura 5 se puede observar un análisis típico de FEM sobre el comportamiento mecánico de dos alternativas de diseño diferentes, realizado en el software SolidWORKS® (2011). Por ejemplo, la sujeción de una lámina por medio de remaches. En la Figura 5a, la lámina está unida por un remache mientras que en la Figura 5b la lámina está unida por dos remaches. A partir del análisis de elementos finitos se muestra claramente como la solución de dos remaches tiene un área más grande de esfuerzos concentrados comparado

La integración de las prácticas o laboratorios en el proceso de diseño o evaluación permitiría integrar de manera más efectiva las cuatro etapas que el modelo de Kolb propone.

El modelamiento por elementos finitos (FEM) es uno de los métodos de laboratorio virtual más usado en la actualidad. Este método está basado en la discretización de un elemento en partes más pequeñas.

con el diseño de un solo agujero (esfuerzos más altos son de color más oscuro). Este fenómeno es uno de los problemas clásicos que pueden generar fallas sobre componentes mecánicos e imposible de apreciar de manera directa en las prácticas clásicas de laboratorio o en campo.

Este tipo de prácticas presentan un importante parámetro didáctico que ayuda a entender el comportamiento de los elementos, la posibilidad de ver el mapa de esfuerzos y/o deformaciones asociados sobre la pieza y observar de forma magnificada las deformaciones ocasionadas por las condiciones de las cargas impuestas. Pero

siguen presentando las desventajas asociadas con la realización de prácticas virtuales como las discutidas al inicio de esta sección.

FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ELEMENTOS

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 (Figura 6a), mientras



Figura 6. a) Estructura construida en cobre por estudiantes (Hadim et al., 2000) b) Pruebas de estructuras realizadas con pasta comestible construidas por estudiantes (Ruiz et al., 2006)

Ruiz et al. (2006) propone el uso de material mucho más económico y de fácil consecución como lo es la pasta comestible (Figura 6b). 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 mecánico 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. De igual forma, la instrumentación de este tipo de trabajos también es complicada y poco confiable debido a la dificultad de contacto mecánico de los sensores sobre la estructura construida. Sin un método por el cual el estudiante pueda cuantificar el cambio de las variables principales dentro de la estructura a medida que cambia las condiciones del problema (cargas aplicadas), impide de igual manera que el estudiante haga la relación entre el mundo real y los modelos matemáticos.

Para lograr que estas estructuras puedan ser aprovechadas didácticamente, de una mejor manera, es necesario el uso de nuevos sistemas de medición. Estos sistemas de medición deben

garantizar su bajo costo de implementación, cero o mínima influencia sobre el comportamiento estructural del modelo a escala y finalmente su fácil implementación. A continuación se hace una descripción de las técnicas implementadas dentro del proyecto de investigación que se pueden considerar como tecnologías emergentes.

TÉCNICAS FOTOMÉTRICAS PARA MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTOS Y/O DEFORMACIONES

El desarrollo de sensores electrónicos de captura de imágenes con alta resolución High Definition(HD), sumado al incremento de poder de computo en los sistemas informáticos portátiles, han permitido que los sistemas de visión artificial estén en expansión. La Figura 7a presenta el análisis de reflexión sobre una viga empotrada en voladizo y la Figura 7b su digitalización, obtenida por el algoritmo de visión artificial desarrollado en el marco del proyecto.

La principal ventaja de este tipo de instrumentación es su costo, pues se tiene una inversión muy baja en hardware y el componente fundamental del sistema es el software de procesamiento. Entre otras ventajas se encuentran: ausencia de contacto entre la estructura en estudio y los sensores, monitoreo continuo a velocidad media (hasta 30 muestras por segundo – FPS) y la medición multi-objeto simultaneo de movimiento relativo o absoluto. La principal desventaja de los sistemas de análisis fotométrico es que la deformación medida debe ser “visible”, esto implica que debe ser superior a 0.5mm (Tristancho, 2008)

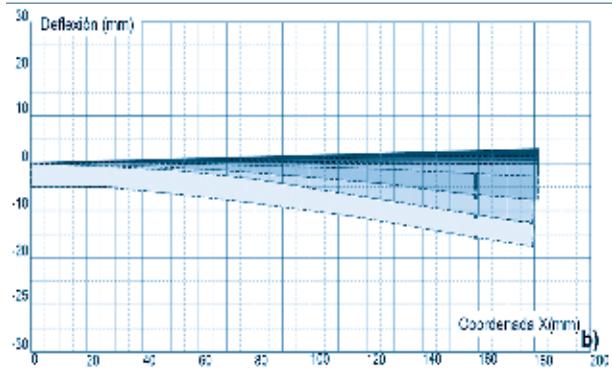
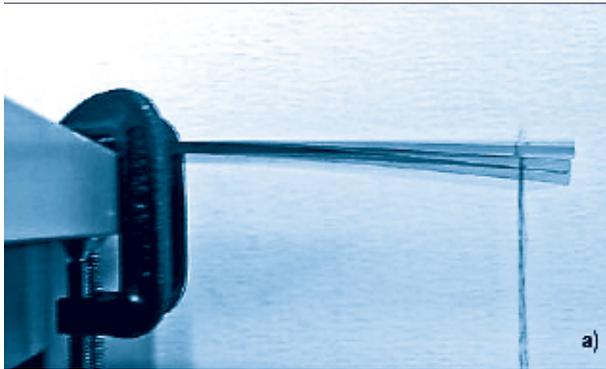


Figura 7. Análisis de deflexión en una viga de acrílico empotrada por análisis fotométrico. a) Fotografías secuenciales de análisis y b) Digitalización de movimientos y contornos.

GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIONES Y CÁLCULO DE ESFUERZOS

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. Pese a que el uso de este tipo de sensores inició en la década de los 40 del siglo pasado, su popularización y expansión ocurrió a finales de los 80, debido al desarrollo de sistemas electrónicos de acondicionamiento y captura de señales (Sharpe, 2008).

Esta técnica de instrumentación, por medio de galgas corresponde a la adhesión con productos químicos sobre la superficie del elemento a monitorear del sensor, al deformarse el objeto en estudio la resistencia interna de la

galga cambia. Este tipo de equipos pueden llegar a ser de alto costo, debido a sus capacidades técnicas y tecnológicas.

Distintos trabajos que muestran el comportamiento y respuesta de las galgas extensiométricas en sistemas didácticos como los realizados por Forero, Henao & Moncada (2007), Idrovo & Quintanilla (2010) y Zorob (2010). La principal desventaja de los sistemas monitoreados con galgas extensiométricas es su vida útil, un dispositivo de estos al estar pegado sobre la estructura que se está monitoreando no permite que sea recuperado si es llevado a deformación plástica o fractura. El costo de cada sensor debido a sus especificaciones también es alto y por lo tanto no puede ser considerado un elemento “desechable”.

En la Figura 8 se puede observar la instalación de una galga extensiométrica sobre una viga en voladizo. En este experimento los estudiantes pueden obtener la respuesta de la viga frente a la variación de una carga estática, el resultado es el mostrado en la Figura 8c.

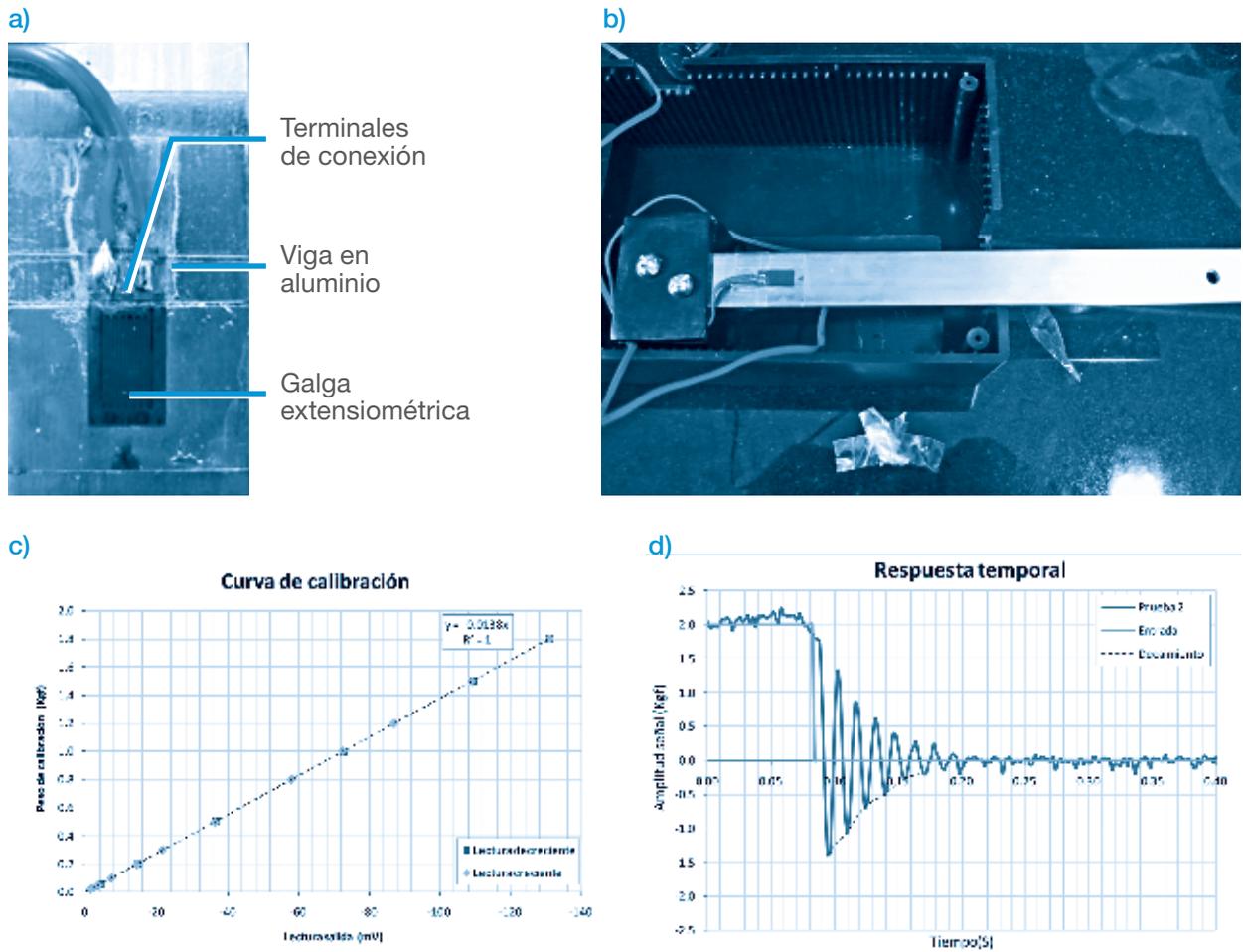


Figura 8. Instrumentación con galga extensiométrica de un modelo de viga en aluminio. a) Ubicación galga extensiométrica, b) montaje completo del experimento c) respuesta de la galga ante una carga estática variable y d) respuesta de la viga frente a una carga de impacto

Con el experimento mostrado en la Figura 8 y usando el modelo de deformación elástica para vigas empotradas, los estudiantes pueden determinar todas las características del material en el que está construido la viga. De igual manera pueden avanzar a un análisis de mayor complejidad como lo es la respuesta dinámica del

montaje (Figura 8d), analizar su respuesta temporal y la variación del comportamiento teórico frente al mundo real. Para ello los estudiantes deben planear el experimento que necesitan hacer, como estimar los parámetros desconocidos y qué modelo deberían usar para poder hacer la verificación teórica-práctica.

La principal desventaja de los sistemas monitoreados con galgas extensiométricas es su vida útil, un dispositivo de estos al estar pegado sobre la estructura que se está monitoreando no permite que sea recuperado si es llevado a deformación plástica o fractura.

CONCLUSIONES

Según lo descrito en las secciones anteriores la mejor técnica para lograr el ciclo Kolb (1975) 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.

REFERENCIAS

- ▶▶ CARO, S. & REYES, J. (2003). Prácticas docentes que promueven el aprendizaje activo en Ingeniería Civil. *Revista de ingeniería*, 18, 48-55.
- ▶▶ CHROBAK, R. (1996). *The Globalization and the Engineering Teaching for the XXI Century*. Primer Congreso Argentino de Enseñanza en la Ingeniería.
- ▶▶ Colciencias (2005). *Guía para la presentación de proyectos de investigación científica y tecnológica*, Colciencias, Colombia.
- ▶▶ CONTRERAS, L., VARGAS, L. & TRISTANCHO, J. (2012). Estudio de la aplicación de herramientas computacionales en el desarrollo de competencias en el cálculo de estructuras. *Revista Educación y Desarrollo Social*, 6(1), 145-155.
- ▶▶ CONTRERAS, L., ESCOBAR, I. & TRISTANCHO, J. (2011). Innovación curricular: uso de las TIC como herramienta para el fortalecimiento y el desarrollo de la educación en ingeniería", *Dialéctica Revista de investigación*, 29, 15-25.
- ▶▶ FEISEL, L. & ROSA, A. (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education, *Journal of Engineering Education* 94(1), 121-130.
- ▶▶ FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, G. & MILLÁN, M. (2013). Structural Analysis Education: Learning by Hands-On Projects and Calculating Structures, *Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice*, 139(3), 244-247.
- ▶▶ FORERO, J., HENAO, F. & MONCADA, D. (2007). Laboratorio de simulación y ensayos para resistencia de materiales", *Revista AVANCES Investigación en Ingeniería*, 6, 95-102.
- ▶▶ 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.
- ▶▶ HIBBELER, R. (2011). *Mechanics of Materials*, Pearson Prentice Hall.
- ▶▶ IDROVO, P. & QUINTANILLA, L. (2010). *Aplicación de galgas extensiométricas en el laboratorio de mecánica de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas*, Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador.
- ▶▶ 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*, 10(1), 97-115.
- ▶▶ SHARP, J., HARB, J. & TERRY, R. (1997). Combining Kolb learning styles and writing to learn engineering classes, *Journal of Engineering Education*, 86(2), 93-101.
- ▶▶ SHARPE, W. (2008). *Springer Handbook of Experimental Solid Mechanics*. New York: Springer Science+Business Media.
- ▶▶ SHUMAN, L., BESTERFIELD-SACRE, M. & MCGOURTY, J. (2005). The ABET Professional Skills – Can They Be Taught? Can They Be Assesad, *Journal of Engineering Education*, 94(1), 41-55.
- ▶▶ TRISTANCHO, J. (2008). *Análisis de comportamiento mecánico de elementos estructurales a escala por medio de fometría y galgas extensiométricas*, Documento interno de investigación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes.