

Visualización, experimentación y discusión: estrategia didáctica en la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de materiales

Jorge Olmedo Montoya-Vallecilla

Facultad de Ingeniería, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia. Jorge.montoya@unibague.edu.co

Resumen— En este paper se propone una metodología para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje de Mecánica de Materiales en cursos de ingeniería. La metodología fue empleada durante seis periodos académicos en el programa de Ingeniería Civil en la Universidad de Ibagué. Comprende tres etapas: observación de fenómenos, ecuaciones constitutivas y experimentación. En la primera, los estudiantes observan los fenómenos relacionados con los tópicos a estudiar, en la segunda, profundizan en la conceptualización teórica y realizan deducciones matemáticas y en la tercera, los estudiantes elaboran modelos físicos y matemáticos que les permiten medir deformaciones lineales y calcular esfuerzos y propiedades mecánicas. La metodología fue implementada como un intento de reducir los altos niveles de deserción y número de estudiantes reprobados que se presentaban en la universidad, ante un enfoque metodológico tradicional de clases magistrales. Como resultado se consiguió una reducción en la deserción y un mayor rendimiento académico de los estudiantes.

Palabras clave— enseñanza; mecánica de materiales; formación por proyectos; educación en ingeniería.

Recibido para revisar Enero 16 de 2018, aceptado Abril 16 de 2018, versión final Mayo 03 de 2018

Visualization, experimentation, and discussion: a strategy for teaching-learning of mechanics of materials

Abstract— This paper presents a theoretical and practical methodology to improve the teaching-learning process of Mechanics of Materials. The methodology was used during six academic periods in the Civil Engineering Department of Universidad de Ibagué. It comprises three stages: observation of the phenomena, study of constitutive equations, and experimentation. In the first stage, students observe phenomena related to the topics of study, in the second stage, professor and students deepen into the theoretical conceptualization of the observed phenomena, deduce the mathematical equations of practical use for the phenomena, and solve implementation problems. In the third stage, students build mathematical and physical models as a course project. The methodology was implemented as an attempt to reduce the high levels of desertion and failure, and to contrast the traditional teaching methodology where the lecturer teacher is the center of the learning process. With the proposed methodology desertion decreased and students' performance increased.

Keywords— teaching; mechanics of materials; project based learning; engineering teaching.

1. Introducción

La apropiación de los conocimientos básicos de esfuerzo y deformación en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Mecánica de Materiales supone un reto para docentes y

estudiantes de Ingeniería, debido a los altos componentes analíticos y teóricos. El estudio y la comprensión de fenómenos asociados a la Mecánica de Materiales son fundamentales en la formación y posterior desempeño profesional de algunas ingenierías, como es el caso de Ingeniería Civil. Dada la importancia de la Mecánica de Materiales, se requiere de la implementación de metodologías activas que favorezcan la inserción de los estudiantes en su proceso formativo, favoreciendo una apropiación lógica y estructurada del conocimiento y facilitando su permanencia en el tiempo. Dentro de los aspectos curriculares recomendados por organizaciones de inspección y control como el Ministerio de Educación Nacional de Colombia, en procesos de registro calificado y acreditación, está el que los programas de ingeniería propendan por la experimentación y la solución de problemas e incorporar estos aspectos en su currículo. Pero esta experimentación debe estar orientada a la solución de problemas prácticos y de la vida real, que permitan al estudiante ambientarse y enfocarse en cómo el conocimiento adquirido puede aplicarse en su profesión. En realidad, egresados de algunas ingenierías salen con buenos fundamentos en la ciencia de la ingeniería, pero no saben cómo aplicarlos en la práctica. [1] Esto indica que se debe profundizar en el conocimiento conceptual. El conocimiento conceptual se usa para conceptualizar experiencias; esto es, describir o diseñar, ya sea que se trate de sistemas existentes o sistemas nuevos. Si se profundiza en el conocimiento conceptual incrementan las posibilidades de que los egresados tengan mayor claridad en cómo aplicar el conocimiento en la vida profesional [2].

La Mecánica de Materiales debe entenderse como un todo integrado por partes conexas entre sí. Todos los temas deben estar comprendidos en un contexto global: el de los esfuerzos y las deformaciones. Observaciones y estudios han demostrado que a los estudiantes se les dificulta observar la conexión global entre los diferentes temas de la asignatura y que incluso los más brillantes tienen dificultades para recordar algunos conceptos poco tiempo después de tomado el curso [3]. Si bien, esta aseveración es cierta, no es menos cierto que la mayoría de estos estudiantes han sido expuestos a ambientes formativos poco

Como citar este artículo: Montoya-Vallecilla, J.O., Visualización, experimentación y discusión: estrategia didáctica en la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de materiales. Educación en Ingeniería, 13(26), pp. 47-53, Julio, 2018.

dinámicos, con poco o nada de experimentación y con un enfoque teórico matemático, que, si bien es fundamental y necesario, requiere de comparaciones y comprobaciones físicas y visuales para garantizar y favorecer una adecuada apropiación del conocimiento [4].

La aparición en los años recientes de las nuevas tecnologías de comunicación y el fácil acceso que tienen los estudiantes a estas herramientas, motivan a que estos últimos tengan un papel más protagónico y activo en su proceso de enseñanza-aprendizaje. Lo anterior indica que es necesario que en los cursos de ingeniería y en el caso particular, de Mecánica de Materiales, se adopten metodologías activas de aprendizaje, en las que los estudiantes controlen espacios y tiempos de aprendizaje. De hecho, los enfoques de clase magistrales en los cursos de ingeniería han demostrado ser inefectivos, no llevan al desarrollo de habilidades avanzadas de solución de problemas, no generan pensamiento creativo o crítico y tampoco preparan a los estudiantes para el tipo de problemas que tienen que enfrentar en la vida profesional [5]. Se requiere, por tanto, un equilibrio en el cual el estudiante participe activamente en los modos y tiempos de apropiación del conocimiento, al tiempo que el docente ejerce un rol de facilitador y mediador en la adquisición de dicho conocimiento. Se requiere además que el docente comprenda el carácter individual de adquisición del conocimiento. De acuerdo con algunos autores [6] los estudiantes tienen múltiples formas de aprender, entre ellas, por visualización y construcción de modelos y que, por lo tanto, debe haber un balance entre las situaciones de la vida real, las teorías y los modelos matemáticos para permitir a los estudiantes demostrar comprensión en diferentes representaciones. Es recomendable que exista un balance entre la información concreta y la abstracta que se imparte en los cursos. [7]

En un curso tradicional de Mecánica de Materiales se hace uso de las ecuaciones y las representaciones gráficas de los fenómenos para lograr la comprensión de los conceptos. Ambos cumplen una función importante en el aprendizaje y bajo ninguna circunstancia deben ser dejados de lado. No obstante, ellos solo corresponden a una porción pequeña en la práctica de la ingeniería [8] Otros autores [9], [10] están de acuerdo en que las habilidades de los ingenieros no solamente se fundamentan en las ecuaciones y representaciones formales sino también en el uso de herramientas, materiales y en la interacción con los demás.

Las representaciones externas son importantes en la práctica profesional de la ingeniería ya que transforman los conceptos y los procesos en formas simbólicas y visuales que son requeridos para el desarrollo de ideas, objetos y relaciones [11]. Bajo este contexto, la experimentación, la visualización y el aprendizaje basado en proyectos y en problemas cobran gran importancia en el desarrollo de contenidos de la Mecánica de Materiales, así como en la formación de los ingenieros, toda vez que los proyectos de diseño y los experimentos para demostrar conceptos de mecánica, son dos formas en las que se puede mejorar el aprendizaje en los cursos de ingeniería a nivel de pregrado [12].

La metodología utilizada en el presente estudio puede enmarcarse tanto en la formación basada en proyectos como en

la formación basada en problemas. La formación basada en problemas, por un lado, está relacionada con la adquisición del conocimiento, mientras que la formación basada en proyectos está dirigida a la aplicación de un conocimiento, más allá de que ambas se fundamenten en principios de colaboración, orientación multidisciplinar y autodirección [13]

En realidad, la metodología aplicada en el presente estudio usa ambos enfoques por etapas según el progreso y la iniciativa de los estudiantes. Mientras, por un lado, los estudiantes controlan parte del contenido e interactúan en grupo, en tanto que el profesor determina el proyecto, por otro lado, el proyecto de asignatura es una actividad principal en la metodología y puede decirse que la dominante, condición necesaria para la formación por proyectos [14]. Debe entenderse la solución de problemas como un elemento esencial en los cursos de Ingeniería. Se ha probado que los estudiantes entienden con más facilidad las teorías de Ingeniería cuando hay una aplicación práctica en ella. Históricamente la teoría por sí sola ha llevado a niveles más bajos de comprensión y motivación y por consiguiente a mayores índices de mortalidad y deserción. [15].

Debido a resultados tangibles como la dificultad en la apropiación del conocimiento, el bajo rendimiento académico y la alta deserción que se presentaba en la asignatura Mecánica de Materiales en el programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Ibagué (Figs. 1-2), se observó la necesidad de emplear una metodología de enseñanza que permitiera una mejor comprensión de los tópicos de la asignatura por parte de los estudiantes, por lo cual se trazaron dos objetivos: el primero, mutar hacia una pedagogía activa en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Mecánica de Materiales, en la cual el estudiante se convirtiera en protagonista de su proceso formativo y el docente asumiera un rol de facilitador y guía en dicho proceso, sin renunciar al rigor matemático y conceptual; el segundo, reducir los niveles de mortalidad de la asignatura, incrementar la capacidad argumentativa y analítica de los estudiantes y mejorar el desempeño académico en asignaturas avanzadas del área de estructuras.

2. Metodología

El estudio se llevó a cabo durante seis periodos académicos en un programa de Ingeniería Civil, iniciando en el segundo semestre de 2012 (2012B). Se impartieron 9 cursos en los cuales participaron 367 estudiantes pertenecientes al 5to semestre de un programa de 10 semestres de duración. Los estudiantes fueron expuestos a un enfoque pedagógico activo en el cual ellos mismos participaban de la construcción propia del conocimiento. En la aplicación de la metodología, las dos horas de clase se dividían en seis sesiones, las cuales se enumeran en la Tabla 1.

El profesor llevaba a las sesiones de clases, modelos físicos representativos de los fenómenos a estudiar. Esto es, se abrieron espacios de participación y discusiones grupales a partir de la presentación de diferentes tipos de modelos físicos simples para cada tema. Para esto, el docente, por medio de modelos físicos, realizaba experimentaciones que describían el fenómeno o concepto a estudiar (observación de fenómenos), esto, con la

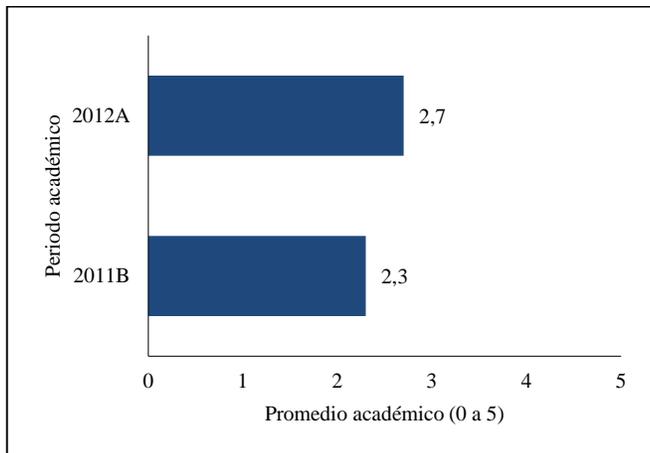


Figura. 1. Promedios académicos de grupos antes del período de estudio
Fuente: el autor.

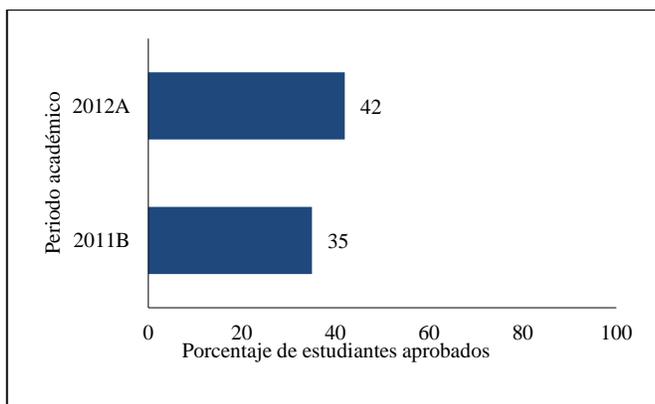


Figura. 2. Porcentaje de estudiantes aprobados antes del periodo de estudio
Fuente: el autor.

Tabla 1

Subdivisiones del tiempo de clase

Subdivisiones del tiempo de clase

- Llamado a lista
- Observación de fenómenos
- Discusiones grupales
- Socialización
- Ecuaciones constitutivas
- Ejercicios de aplicación

Fuente: el autor

participación de los estudiantes. Posterior a esto, los estudiantes realizaban experimentación y discusiones al interior de cada uno de los grupos (discusiones grupales) y compartían sus conclusiones con el resto de la clase (socialización). Una vez apropiado el concepto por parte de los estudiantes, se realizaba la deducción de las ecuaciones constitutivas del tema objeto de estudio (ecuaciones constitutivas) y, por último, se resolvían problemas de aplicación (ejercicios de aplicación), todo esto, con la participación activa docente-estudiantes. Para medir los tiempos de participación y la duración de cada sesión, el monitor de la asignatura cronometraba el tiempo empleado en cada una de las subdivisiones, así como las intervenciones de docente y estudiantes. Como objetivo de la asignatura y

complemento a la metodología, los estudiantes construían sus propios modelos físicos como proyecto final de la asignatura.

El estudio que se describe se llevó a cabo desde el segundo semestre de 2012 hasta el primer semestre de 2015. No obstante, los resultados de dos semestres académicos (2011B y 2012A), en los cuales se aplicó la metodología tradicional de clases magistrales, se usan en este estudio como periodos de control.

En el primer periodo de estudio (2012B) los modelos físicos contruidos por los estudiantes tenían el objetivo de representar fenómenos. A partir del segundo período de estudio, los modelos físicos contruidos tenían el objetivo de medir propiedades físicas y mecánicas, tales como deformaciones lineales, con lo cual se construyeron además modelos matemáticos para analizar el comportamiento de los materiales ante diferentes tipos de solicitaciones y, por ende, caracterizar dichos materiales calculando propiedades como módulo de elasticidad y razón de Poisson. Para esto, los estudiantes construyeron modelos para representar flexión, torsión, cortante y tracción y medir las deformaciones respectivas para cada caso. Para los modelos matemáticos se usaron hojas de cálculo cuyo objetivo en algunos casos era comparar los resultados obtenidos con el modelo físico y en otros, representarlos.

Para la introducción de los temas y la discusión en clase, se seleccionaron materiales deformables de tal forma que los fenómenos a presentar y discutir fueran visibles. Los temas seleccionados fueron tracción, compresión, torsión, cortante, razón de Poisson y deflexión de vigas. Para el caso de deformación por tracción, por ejemplo, se seleccionaron probetas cilíndricas de caucho Pib Butilo de diámetros variables entre 8mm y 16mm y longitudes de entre 300mm y 600mm. Después de aplicadas fuerzas de tracción de diferentes magnitudes por parte del profesor y mostrar el elemento deformado a la clase, los estudiantes organizados en grupos de 3 y 4 integrantes, tomaban el modelo y lo sometían a fuerzas. Procedimientos similares se llevaban a cabo para los diferentes modelos, según la naturaleza de estos y los temas a estudiar. (Figs. 3-4).

Una vez finalizado el tiempo de observación de fenómenos, se generaban espacios de discusión grupal. Después de periodos de discusión de 15 a 20 minutos, cada grupo hacía una presentación de lo que habían experimentado y socializaban sus propias conclusiones al respecto. Los tiempos de discusiones grupales y socialización eran variables en función del número de estudiantes presentes en el salón y del número de modelos disponibles. En la Fig. 5 se muestra a un grupo de estudiantes en un proceso de experimentación y discusión.



Figura 3. Aplicación de par torsor sobre probeta circular en poliuretano
Fuente: el autor.



Figura 4. Aplicación de fuerza de tracción en caucho tipo Pib Butilo
Fuente: el autor.



Figura 5. Experimentación y discusión grupal en clase
Fuente: el autor.

Se registraron tiempos máximos de discusiones grupales y socialización de 20 minutos y 25 minutos respectivamente, hasta tiempos mínimos de 12 minutos y 13 minutos. Después del periodo de socialización, en el cual la labor del profesor se limitaba a incentivar la participación de todos, este hacía un desarrollo conceptual del tema seguido de la deducción de las ecuaciones constitutivas, reforzando la relación existente entre lo concluido por los estudiantes, la fundamentación conceptual y las ecuaciones.

La deducción de las ecuaciones de uso práctico se realizaba con la participación activa de los estudiantes, para lo cual el profesor se apoyaba en el modelo que se estuviera usando, a fin de relacionar las ecuaciones constitutivas con deformaciones del modelo debido a las acciones externas. Al final, profesor y estudiantes hacían un análisis conceptual de la ecuación o ecuaciones deducidas y la relación entre las variables, el modelo y los fenómenos de la vida real que estas describían o representaban. Superada la etapa de deducción de ecuaciones y análisis matemático y conceptual, el profesor presentaba uno o dos ejercicios de aplicación cuidadosamente seleccionados, cuyo objetivo era relacionar las ecuaciones constitutivas con los modelos y reforzar el fundamento teórico y matemático del modelo. Estos ejercicios eran resueltos con la participación activa de los estudiantes, para lo cual el profesor formulaba preguntas sueltas sobre el procedimiento, la formulación o el desarrollo conceptual del ejercicio. Después de esto, los estudiantes, en grupo de trabajo, asumían el reto de resolver ejercicios de aplicación de mayor complejidad. El profesor

resaltaba la importancia de las discusiones grupales en torno al desarrollo conceptual y matemático, así como de los resultados obtenidos.

Al final del tema, que podía tomar entre 1 y 3 sesiones de clase, el profesor asignaba ejercicios de aplicación para trabajo individual. Los ejercicios asignados tanto en las sesiones de clase, como los de trabajo individual, eran de aplicación a fenómenos reales o a la profesión, siempre que fuera posible.

La construcción de modelos físicos representativos por parte de los estudiantes se dividió en dos etapas: la primera, en los dos primeros periodos descritos en este estudio (2012B y 2013A) y la segunda en los semestres 2013B, 2014A, 2014B y 2015A. En el primero, los modelos tenían el objetivo de describir fenómenos como torsión, flexión, cortante y tracción, mientras que, en el segundo, el objetivo de los modelos era calcular propiedades mecánicas de los materiales. Entre los modelos más representativos se seleccionaron: puente atirantado, viga compuesta, puente viga, cable en tracción, probetas en compresión, viga en cantiléver, viga simplemente apoyada y cortante sobre pernos y placas. Estos modelos han sido usados posteriormente como material de apoyo a la docencia en los cursos sucesivos. En la segunda etapa del estudio, los modelos además de calcular propiedades mecánicas, medían deformaciones lineales al someter los materiales a fuerzas externas. Para el caso de cargas axiales, estos permitían la medición de las deformaciones longitudinales y transversales por tracción y compresión, según fuera el caso. Para el caso de compresión se medía el acortamiento y el aumento de diámetro en elastómeros ante cargas variadas, a partir de lo cual y por métodos estadísticos se calculaba el módulo de elasticidad y la razón de Poisson. Lo mismo se hacía para el caso de cargas de tracción. En torsión, se medía el ángulo de rotación y la deformación máxima por cortante de elastómeros y neoprenos sometidos a un par de fuerzas. Los modelos de vigas eran sometidos a fuerzas puntuales y cargas distribuidas, a partir de lo cual se medía la deflexión máxima. Los modelos de cortante fueron elaborados con el objeto de medir la resistencia a la falla de pernos fabricados con tiza, yeso y jabón, entre otros materiales. Los proyectos de asignatura se seleccionaban en la segunda semana de clase y las asesorías eran personalizadas para cada grupo de trabajo. Un total de seis horas a la semana eran dispuestas para asesoría de los grupos: cuatro horas de asesoría regular y dos horas de la intensidad semanal de la asignatura (33%). Los grupos solicitaban la asesoría según su necesidad y velocidad de avance en el proyecto. Dado que algunos de los temas para los diferentes proyectos no se habían estudiado aun en clase, los estudiantes debían hacer consultas bibliográficas independientes y solicitar aclaración y ampliación del tema por parte del profesor.

3. Resultados

La introducción de los modelos físicos por parte del profesor, junto con sus componentes asociados como las discusiones grupales y la socialización de las pruebas realizadas al modelo por cada grupo, consumió tiempo de clase que anteriormente era usado para clases magistrales. Por ejemplo, en aquellas clases donde se introducía tema nuevo, los

estudiantes tenían una participación activa de aproximadamente 60% del tiempo útil de clase, mientras el profesor tomaba aproximadamente el 32%, con un 8% aproximado de tiempo muerto. En las clases donde no se introducía tema nuevo, el profesor presentaba videos representativos de los fenómenos, y los estudiantes resolvían ejercicios de aplicación guiados, con lo cual, su porcentaje de participación activa era ligeramente mayor. En total el profesor utilizó diez modelos sencillos durante los seis periodos académicos: modelo para carga axial de compresión, carga axial de tracción, razón de Poisson, flexión de vigas, cizalladura, flexión biaxial, inercia, rigidez, flexión biaxial y círculo de Mohr.

Los estudiantes construyeron un total de 83 modelos físicos y elaboraron 53 modelos matemáticos durante el periodo de estudio (ver Fig. 6). Para ello usaron materiales variados tales como espuma de poliuretano, caucho, madera, aluminio, fibra de vidrio y acero. Se construyeron dos puentes: uno atirantado y uno colgante; modelos para visualizar cizalladura sobre planos y pernos, hechos en madera, fibra de vidrio y acero; vigas en cantiléver para visualización y medición de fenómenos asociados a flexión, deflexión e inercia; vigas en madera representando secciones compuestas y sección transformada; modelos representando compresión sobre probeta cuadrada y cilíndrica; y modelos para esfuerzos sobre planos inclinados. Los modelos fueron diseñados y construidos por los estudiantes con la asesoría del profesor. Las ideas de diseño nacieron enteramente de los estudiantes, los cuales asistían a las asesorías para recibir orientación o aprobación de las diferentes etapas.

El 100% de los grupos hizo uso de la asesoría docente para la construcción de los modelos físicos y matemáticos. De las 6 horas de aula asignadas a la asignatura, 4 horas eran dispuestas para la aplicación y desarrollo de la metodología y las 2 horas restantes eran de trabajo independiente y asesoría de proyectos. El 82% de los proyectos presentados evidenciaba de manera clara el fenómeno que querían mostrar y permitían una medición adecuada de las deformaciones lineales. El 18% de los proyectos tenían falencias bien sea de claridad conceptual de los fenómenos o disposición incorrecta o inadecuada de la estructura física, que impedía la medición de deformaciones.

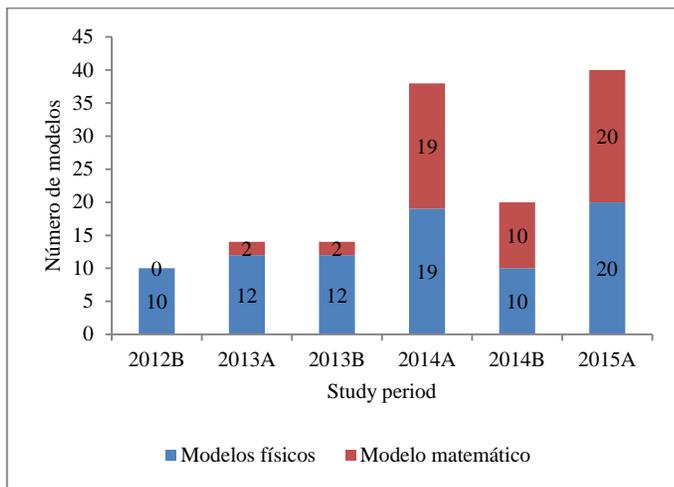


Figura 6. Número de modelos construidos por los estudiantes por periodo de estudio
Fuente: el autor.

Cada grupo de estudiantes diseñó su propio modelo con la asesoría permanente del profesor, cuando así lo requerían. Todos los grupos hicieron uso de la asistencia docente en diferentes etapas. El 87% indicó haber solicitado ayuda especializada para la manufactura de al menos una parte del modelo y el 13% manifestó haber manufacturado el modelo en su totalidad.

La metodología arrojó resultados respecto al número de estudiantes aprobados, deserciones y notas promedio de cada curso por periodo de estudio, lo cual permitió comparar los datos en los periodos de estudio con los periodos donde no se aplicó la metodología (2011B y 2012A). El porcentaje de estudiantes aprobados se elevó de 36% antes del inicio del estudio a 61% en el último periodo de estudio (2015A) y el promedio académico de 2.5 a 3.21 en una escala de calificación de 1 a 5. La deserción se redujo de 35% a 8% en el mismo tiempo de estudio. Tanto el 36% de estudiantes aprobados como el 2.5 en promedio de grupo obedecen al promedio calculado de los periodos 2011B y 2012A (Figs. 7-8).

La deserción bajó de un 34% en los periodos de control (2011B y 2012A) a un 8% en el último periodo de estudio (2015A). Esto puede apreciarse en la Fig. 9.

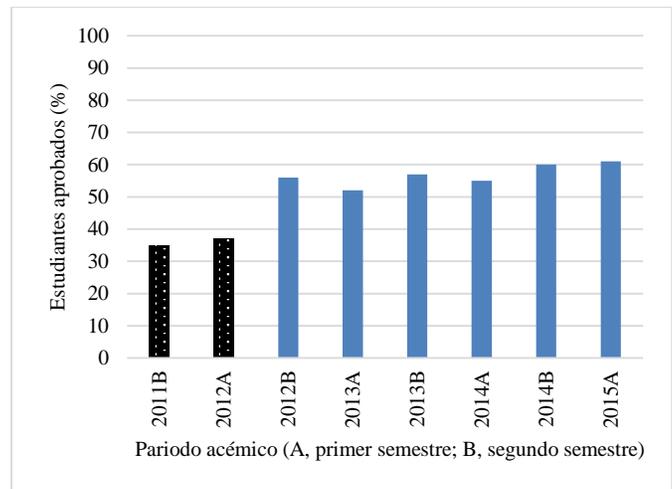


Figura 7. Promedios de estudiantes aprobados por periodo de estudio
Fuente: el autor.

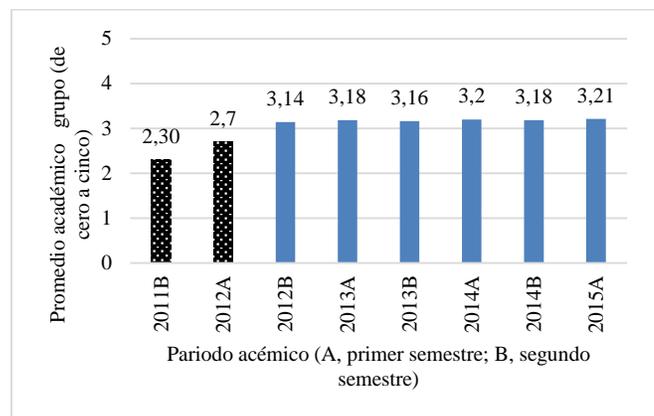


Figura 8 Promedios de calificaciones consolidadas por periodo académico.
Fuente: el autor.

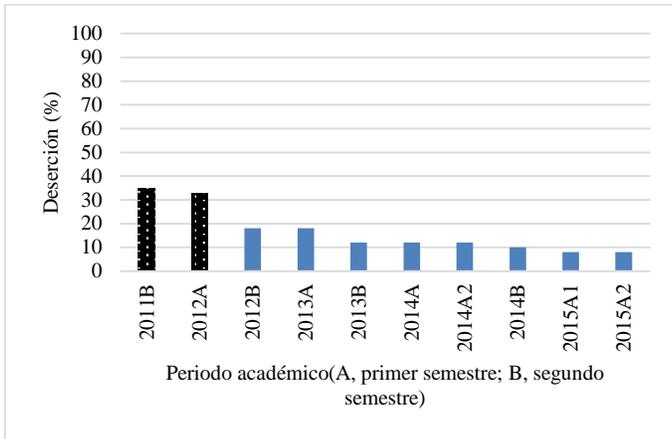


Figura 9. Comportamiento de la deserción antes y durante el periodo de estudio. Fuente: el autor

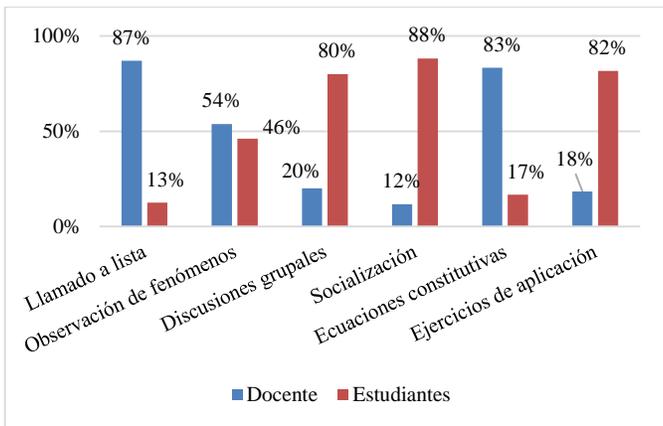


Figura 10. Porcentajes de participación promedios Docente-Estudiantes en las sesiones de clase. Fuente: el autor.

Los tiempos de participación docente-estudiante también variaron de manera sustancial. Estos pasaron de 80%-20% antes de la aplicación de la metodología a 32%-60%. La Fig. 10 muestra los tiempos empleados por los diferentes actores en el periodo de estudio, según la subdivisión del tiempo de clase.

3.1 Caso de estudio: construcción de modelo para medición de deformaciones lineales por tracción

A modo de ejemplo, se describe la experimentación realizada por dos grupos de estudiantes de periodos distintos, después de construir los respectivos modelos de tracción. Cada grupo estaba compuesto por cuatro estudiantes, quienes eran autónomos en el diseño de los componentes del modelo físico. El grupo 1, en el quinto periodo académico, construyó un modelo para aplicación manual de fuerza horizontal, consistente en una estructura en madera formada por láminas en U y riostras horizontales. Después de probar diferentes materiales durante la fase de experimentación, seleccionaron un elastómero tipo caucho Pib Butilo. La fase final para caracterización fue realizada con una probeta de 600mm de longitud y un diámetro inicial de 11.59mm, con una longitud

calibrada de 100mm. Las fuerzas fueron aplicadas por medio de un dinamómetro digital, para lo cual ataron el dinamómetro a un extremo de la probeta y alguno de los miembros tiraba de éste hasta alcanzar la fuerza requerida. Para cada fuerza calcularon una deformación unitaria longitudinal y una transversal. Los esfuerzos para cada estado de carga también fueron calculados. Para medir el alargamiento de la probeta utilizaron una cinta métrica metálica y el cambio de diámetro se midió con un calibrador Vernier digital.

El grupo 2, en el sexto periodo académico, construyó un modelo físico independiente con el mismo material (intencionalmente asignado) pero con autonomía en los demás aspectos, incluyendo el diseño del modelo y los procedimientos de ensayo. El modelo consistió de dos láminas dispuestas horizontalmente y unidas por dos columnas de sección cuadrada en los extremos. Utilizaron una probeta de 700 mm de longitud, con un diámetro inicial de 7.9mm y una longitud calibrada de 100mm. El modelo permitía una aplicación vertical de la fuerza, lo cual hicieron para un total de diez fuerzas con incrementos aproximados de 20N, las fuerzas fueron aplicadas por medio de masas fijas dentro de un recipiente atado a la probeta por debajo del modelo. Los mismos instrumentos y procedimientos de cálculo fueron utilizados para la medición de deformaciones. El objetivo principal trazado por los grupos, era realizar un experimento que les permitiera medir deformaciones longitudinales y transversales, visualizar el fenómeno de razón de Poisson y calcular esfuerzos a partir de una fuerza aplicada. No obstante, realizaron una aproximación al cálculo del módulo de elasticidad del material. En la Fig. 11 se presentan los resultados obtenidos por cada grupo.

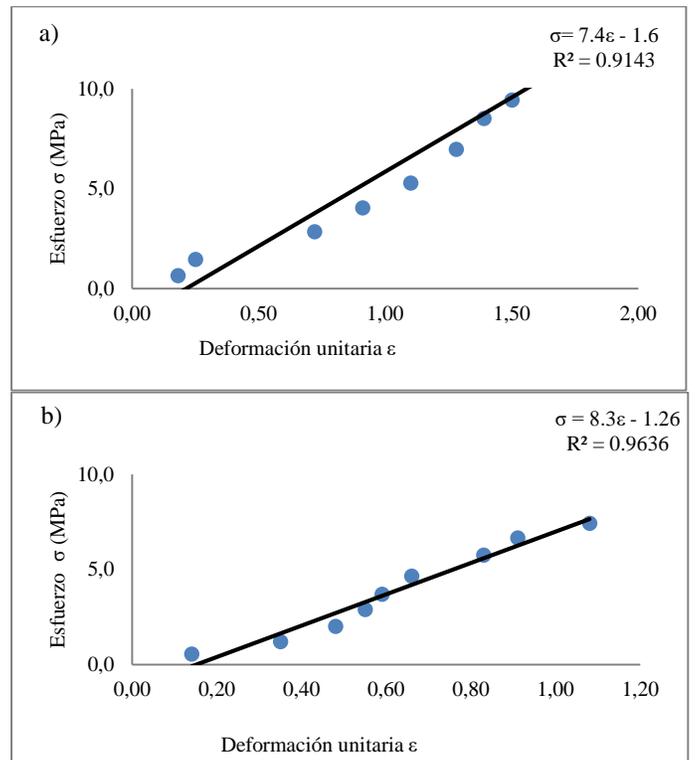


Figura 11. Diagramas esfuerzo-deformación caucho Pib Butilo. a) Experimento grupo 1; b) Experimento grupo 2. Fuente: el autor

4. Discusión de resultados

La construcción de modelos físicos y elaboración de modelos matemáticos ha permitido a los estudiantes ir más allá de las ecuaciones constitutivas; esto es, se ha realizado experimentación haciendo uso de los conceptos y los algoritmos para representar y medir fenómenos o para comparar un modelo físico con el sustento matemático. Para el caso de los modelos de medición de deformaciones lineales por tracción presentados como caso de estudio, los dos grupos, en tiempos de trabajo distinto y con modelos marcadamente diferentes, obtuvieron resultados cercanos entre sí, pero también a las características reales del material. En particular, para el módulo de elasticidad, el primer grupo obtuvo un valor de 8.3MPa, en tanto que el otro calculó un valor de 7.4MPa. Para este material, el fabricante da un valor aproximado para el módulo de elasticidad de 7MPa. [16]. Los coeficientes de Poisson de ambos ensayos, aunque muy cercanos entre sí (0.35 y 0.38), estuvieron un poco alejados del real, el cual se estima en aproximadamente 0.5. Aunque las deformaciones unitarias medidas para el material están en su mayoría fuera del rango lineal, el cálculo de los módulos de elasticidad les generó claridad conceptual.

Los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología avalan la necesidad de una modificación de los procesos de enseñanza-aprendizaje de las diferentes asignaturas en ingeniería, especialmente en las asignaturas de fundamentación, como lo es la Mecánica de Materiales. Esto puede evidenciarse claramente en los tiempos de participación. Son los estudiantes quienes tienen el rol protagonista en la solución de ejercicios de aplicación tanto en forma independiente como en aquellos de fundamentación resueltos por el docente (82%). Socialización y Discusión es otro campo donde el estudiante es actor principal (88% y 80% respectivamente). El docente por su parte, controla la sesión de ecuaciones constitutivas, como era de esperarse (83%) y ambos, profesor y estudiantes comparten protagonismo en la observación de los fenómenos. (54% profesor y 46% estudiantes).

5. Conclusiones

Los porcentajes de participación de los estudiantes en las sesiones de clase, junto con el trabajo independiente indican claramente que la metodología está relacionada con una pedagogía activa en la cual el estudiante es protagonista de su propia formación y lidera su proceso de aprendizaje, desde el momento en que experimenta con un modelo sencillo explicativo de un fenómeno, hasta que logra construir su propio modelo. El rol del profesor ha mutado hacia el de un facilitador y orientador de la formación de sus estudiantes, pero bajo ninguna circunstancia se ha disminuido la profundidad con la que este aborda los temas ni el rigor analítico requerido desde la física y la matemática, solo se ha cambiado el foco en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura y se ha variado los tiempos y modos de participación. La metodología usada ha dado resultados satisfactorios en los indicativos de apropiación del conocimiento por parte de los estudiantes, lo cual se ha evidenciado en un mayor grado de seguridad y capacidad argumentativa al enfrentarse a los ejercicios aplicativos, una reducción en los índices de deserción y mejores resultados en esta y en asignaturas con requerimiento de conocimientos previos de Mecánica de Materiales.

Referencias

- [1] Mills, J.E. and Treagust, D.F., Engineering education—Is problem-based or project-based learning the answer?. *Australasian Journal of Engineering Education*, [online]. 3(2), 2003. Available at: http://www.academia.edu/download/31039433/Engineering_Education.pdf
- [2] Moore, T.J., Miller, R.L., Lesh, R.A., Stohlmann, M.S. and Kim, Y.R. Modeling in engineering: The role of representational fluency in students' conceptual understanding. *Journal of Engineering Education*, 102(1), pp. 141-178. 2013. DOI: 10.1002/jee.20004
- [3] Burns, K.L. and Egelhoff, C.J., AC 2011-1261: A heuristic to aid teaching, learning, and problem-solving for mechanics of materials. *American Society for Engineering Education*. [online]. Available at: http://www.asee.org/file_server/papers/attachment/file/0001/1382/2011_ASEE_Final_1261.pdf
- [4] Roylance, D., Jenkins, C. and Khanna, S., Innovations in teaching mechanics of materials in materials science and engineering departments. In *Proceedings of the 2001 Spring Meeting of the American Society for Engineering Education*, [online]. 2001, 4 P. Available at: http://www.web.mit.edu/roylance/www/ASEE_Albuquerque.pdf
- [5] Johnson, P.A., Problem-based, cooperative learning in the engineering classroom. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 125(1), pp. 8-11, 1999.
- [6] Felder, R.M. and Silverman, L.K., Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering Education*, 78(7), pp. 674-681, 1988.
- [7] Felder, R.M., Woods, D.R., Stice, J.E. and Rugarica, A., The future of engineering education II. Teaching methods that work. *Chemical Engineering Education*, 34(1), pp. 26-39, 2000.
- [8] Gainsburg, J., The mathematical modeling of structural engineers. *Mathematical Thinking and Learning*, 8(1), pp. 3-36, 2006.
- [9] Hall, R. and Nemirovsky, R., Introduction to the special issue: Modalities of body engagement in mathematical activity and learning. *Journal of the Learning Sciences*, 21(2), pp. 207-215, 2011. DOI: 10.1080/10508406.2011.611447
- [10] Johri, A. and Olds, B.M., Situated engineering learning: bridging engineering education research and the learning sciences. *Journal of Engineering Education*, 100(1), pp. 151-185, 2011.
- [11] Nathan, M.J., Srisurichan, R., Walkington, C., Wolfram, M., Williams, C. and Alibali, M.W., Building cohesion across representations: a mechanism for STEM integration. *Journal of Engineering Education*, 102(1), pp. 77-116, 2013. DOI: 10.1002/jee.20000
- [12] Crone, W.C., Using an advanced mechanics of materials design project to enhance learning in an introductory mechanics of materials course. Presented at the 2002 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, American Society for Engineering Education. [online]. 2002, Available at: http://mandm.engr.wisc.edu/faculty_pages/crone/PDF/ASEE_paper_2002_RevisedFINAL.pdf
- [13] Perrenet, J.C., Bouhuijs, P.A.J. and Smits, J., The suitability of problem-based learning for engineering education: theory and practice. *Teaching in Higher Education*, 5(3), pp. 345-358, 2000.
- [14] Hadgraft, R.G. and Young, W., *Teaching Strategy*. Department of Civil Engineering, Monash University, 1998.
- [15] Mahendran, M., Project-based civil engineering courses. *Journal of Engineering Education*, 84(1), pp. 75-79, 1995.
- [16] Tecno Tres A. (n.d.). Elastómeros. Available at: <http://tecnologiaadi.blog.com/files/2013/06/Elast%C3%B3meros.pdf>

J.O. Montoya-Vallecilla, recibe el título de Ing. Civil de la Universidad del Quindío, Colombia en el año 2001 en Armenia-Colombia y posteriormente el grado de MSc. en Estructuras y Cementaciones de la Universidad Politécnica de Madrid, España en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en el año 2010. Ha sido profesor del Tompkins Cortland Community College de The New York State University (2014 y 2015) e investigador invitado del área de educación en ingeniería en Purdue University, School of Engineering Education (2017) en West Lafayette, Indiana. Desde el año 2011 se desempeña como profesor asociado del programa de ingeniería civil de la Universidad de Ibagué, Colombia. Su interés en la investigación se centra en las metodologías activas de aprendizaje aplicadas a Ingeniería.
ORCID: 0000-0003-0424-1058