



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



IMPLEMENTACIÓN DE AYUDAS DIDÁCTICAS PARA EL ESTUDIO Y LA ENSEÑANZA DE MECANISMOS

Luis M. Aristizábal, Juan A. Ramírez Macías, Julio C. Correa, Diego A. Flórez

**Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Colombia**

Resumen

La ingeniería tiene como propósito la aplicación de las ciencias y la matemática en contextos reales. Por esto, lograr una conexión entre la teoría y la práctica durante los procesos formativos en ingeniería es una tarea que requiere especial atención. El programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con un curso de Mecanismos, donde se aplican fundamentos de la mecánica newtoniana para el análisis y diseño de dispositivos que transforman el movimiento, a través del uso de herramientas y procedimientos gráficos, analíticos, experimentales y computacionales. En este ámbito, las herramientas que facilitan la materialización física de los conceptos teóricos son un recurso valioso y de alto impacto para los estudiantes. En este trabajo se describe la experiencia adquirida al involucrar diversas herramientas para la enseñanza de mecanismos. La implementación de estas herramientas se dio a lo largo de tres núcleos temáticos que se centran en tres aplicaciones: mecanismos articulados planos, mecanismos en el espacio usando un robot manipulador paralelo tipo delta y trenes de engranajes planetarios. Los resultados del curso fueron evaluados a través de una encuesta anónima y voluntaria de respuesta abierta, en la cual los estudiantes plasmaron sus opiniones con respecto a la experiencia. Las respuestas indican una recepción positiva por parte de los encuestados, donde dan testimonio de un aprendizaje significativo y aplicado. Se plantea como trabajo futuro el uso de ayudas didácticas en las siguientes versiones del curso de Mecanismos y en cursos similares, implementando mejoras basadas en los procesos de retroalimentación con estudiantes y docentes.

Palabras clave: ayudas didácticas; ingeniería mecánica; mecanismos

Abstract

Engineering has the purpose of applying science and mathematics in real contexts. Therefore, achieving a connection between theory and practice during formative processes in engineering is a task that requires careful consideration. Specifically, the study of mechanisms for motion transmission in mechanical engineering is essential. The Mechanical engineering program of the Universidad Pontificia Bolivariana offers a course in Mechanisms, where students apply Newtonian mechanics fundamentals for the analysis and design of devices that transform motion, using graphic, analytic, experimental, and computational tools and procedures. In this area, tools that facilitate physical realization of theoretical concepts are a valuable resource and have high impact on the students. In this work, the experience acquired through incorporating diverse tools for teaching mechanisms is described. Implementation of these tools was done along three core topics regarding three applications: articulated planar mechanisms, three-dimensional space mechanisms using a delta type parallel robot manipulator, and planetary gear trains. Results of the course were assessed through an anonymous and voluntary, open answer questionnaire, in which students gave their opinion regarding the experience. Results indicate positive reception from the respondents, where they state meaningful and applied learning. Use of such teaching aids on future versions of the Mechanisms courses and related ones, making improvements based on feedback processes from students and teachers.

Keywords: *teaching aids; mechanical engineering; mechanisms*

1. Introducción

El programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana en Medellín, con 62 años de historia, es uno de los primeros programas de ingeniería mecánica de Colombia, ha graduado más de 2100 ingenieros y actualmente tiene aproximadamente 320 estudiantes. Fruto de la reflexión y el esfuerzo colectivo de los integrantes de la Facultad, desde el año 2016 su currículo fue rediseñado, según los lineamientos del Modelo Pedagógico Integrado de la Universidad: El estudiante como centro del proceso de formación, el aprendizaje significativo, el desarrollo de capacidades humanas y competencias profesionales, y la conexión permanente con las necesidades y problemáticas del país.

El nuevo currículo pretende forjar un perfil de ingeniero mecánico descrito en los siguientes términos: “El Ingeniero Mecánico egresado de la UPB es una persona capacitada para integrar conocimientos de las diferentes áreas que enmarcan su profesión, contrastarlos con la realidad y usarlos, bajo el modelo de la gestión por proyectos, para la mejora de la calidad de vida y el desarrollo sostenible de la sociedad” (UPB, 2017). Para el desarrollo de este perfil se hizo una configuración mesoestructural estableciendo cuatro grandes áreas medulares que componen, parcialmente, el ciclo profesional. Estas áreas son: Materiales y Procesos de Manufactura, Diseño Mecánico y Automatización, Termofluidos, y Gestión (Flórez et al., 2017). Dentro del área Diseño Mecánico y Automatización, está el curso de Mecanismos (quinto semestre), que recibe estudiantes que aprobaron el curso de Dinámica Aplicada y entrega estudiantes al curso de Elementos de Máquina.

En el curso de Mecanismos se aplican fundamentos de la mecánica newtoniana útiles para el análisis y diseño de dispositivos que transforman el movimiento. Para ello, se hace uso de herramientas y procedimientos gráficos, analíticos, experimentales y computacionales que permiten describir el movimiento de sistemas mecánicos conformados por cuerpos rígidos interconectados. El desarrollo experimental del curso ha sido una inquietud histórica, dado que tener experiencias vivenciales facilita de forma considerable el entendimiento de la mecánica, pero tener la plataforma flexible, que permita la incorporación de actuadores, barras y conectores, para que el estudiante pueda interactuar de forma segura y desarrollar el nivel de abstracción necesario para abordar ciertos problemas de diseño, no ha sido fácil.

2. Contextualización del curso

La teoría de los mecanismos está fundamentada en la cinemática, la cual es geometría aplicada al movimiento. En este contexto se puede decir que la geometría es abstracta, pero las aplicaciones de los mecanismos están en el mundo real. Debido a que el fundamento en la geometría es demandante e intelectualmente atractivo, existe la posibilidad de que el estudio de los mecanismos se quede exclusivamente en el problema matemático y su estudio se refleje únicamente en el papel o en simulaciones. Se ha encontrado que cuando la enseñanza de la cinemática se limita a la simulación y al libro, se pierde la conexión con la realidad de los mecanismos que se estudian. Esto se vuelve tangible en aspectos como la percepción del volumen en el análisis de mecanismos planos, porque las interferencias y los detalles de la implementación real no se evidencian en el estudio de la cinemática, que se concentra en lo abstracto.

De este modo, se plantea abordar la cinemática involucrando simultáneamente el aspecto teórico-abstracto y lo práctico, manifestado a través de la materialización, el prototipado y la implementación real del mecanismo. Esto implica que *el estudio de los mecanismos se facilita cuando se involucran elementos físicos reales*. Es deseable entonces contar con herramientas didácticas que sirvan de plataforma de interacción y que estructuren dichos espacios. Adicionalmente, los sistemas que se usan para transformar el movimiento han evolucionado de modo que la complejidad mecánica ha sido paulatinamente reemplazada por la adición de componentes electrónicos y de control automático, por ejemplo, los manipuladores robóticos. Atendiendo estas cuestiones, en el presente documento se describe la experiencia obtenida durante el primer semestre del año 2018 (el periodo académico comprendido entre enero y mayo de 2018) en el curso de Mecanismos, al haber implementado diversas ayudas didácticas en los contenidos de las clases teóricas.

3. Restricciones generadas por el nuevo currículo

El nuevo currículo del programa se elaboró a cabo a partir del Modelo Pedagógico Integrado de la UPB, el cual privilegia el aprendizaje significativo del estudiante y la construcción de su propio conocimiento, donde el profesor tiene un papel de orientador. El modelo establece, dentro de los objetivos formativos de cada programa, la formación de profesionales con capacidades de integrar

conocimientos de distintas áreas, contrastándolos con la realidad de la sociedad. Asimismo, se proponen la investigación, la innovación y el emprendimiento como ejes transversales que orientan los procesos formativos y a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) como eje integrador (UPB, 2016). Estos aspectos orientadores del modelo pedagógico se convierten en requerimientos que se tienen en cuenta para darle forma al curso de Mecanismos.

La transformación del currículo exigió un análisis profundo de los contenidos de cada uno de los cursos para actualizarlos y propiciar que cada uno de ellos aportara al perfil de egreso definido por la Facultad. Este ejercicio permitió identificar varios temas centrales y dejar otros que, aunque valiosos, pueden ser estudiados por el futuro ingeniero en caso de ser necesario. Se mantuvieron los temas centrales asociados con el estudio de los mecanismos planos y engranajes, pero también se incluyeron mecanismos espaciales, en particular los manipuladores robóticos paralelos. La razón de esta elección es que el análisis de este tipo de mecanismos se puede hacer de manera sencilla con métodos gráficos y analíticos, sin necesidad de que el estudiante se tenga que adentrar en temas propios de la robótica que están por fuera del alcance de un pregrado. Además, era importante mostrarle al estudiante la comprensión de este tipo de dispositivos estaba a su alcance.

4. Organización del curso

El propósito de formación del curso de mecanismos se diseñó alrededor de *“la aplicación de los conceptos de la mecánica newtoniana para el planteamiento y solución de problemas de movimiento en sistemas mecánicos, el análisis y diseño de dispositivos que transmiten la potencia y transforman el movimiento, apoyándose en el uso de herramientas conceptuales, medios de comunicación escrita, gráfica y matemática, herramientas computacionales y experimentos”*. El desarrollo del curso puede ser explicado con la Figura 1, en donde se ilustra la línea de tiempo de los contenidos abordados en el curso en orden cronológico, junto con la respectiva ayuda didáctica empleada.

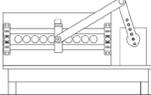
	<p>Banco de Mecanismos</p> 	<p>Robot Manipulador Paralelo tipo Delta</p> 	<p>Engranajes Planetarios</p> 
<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de posición, velocidad y aceleración de mecanismos en el plano. - Análisis de manipuladores en el plano. 		<ul style="list-style-type: none"> - Manipuladores en el espacio - Generación de trayectorias 	<ul style="list-style-type: none"> - Trenes de engranajes - Engranajes planetarios

Figura 1. Temas abarcados por el curso y la ayuda didáctica asignada.

En orden temático, el curso aborda la cinemática de: 1) mecanismos planos, 2) mecanismos en el espacio y 3) trenes de engranajes. Para el estudio de mecanismos planos se usan conjuntos de LEGO Mindstorms EV3 y un banco de mecanismos planos instrumentado para medición de variables cinemáticas. Para el estudio de mecanismos en el espacio se usa un manipulador delta de tres grados de libertad, diseñado y fabricado en la universidad (Correa, et al., 2010; Cock y

Correa, 2010). Finalmente, para el estudio de trenes de engranajes se usan kits de reductores de velocidad.

Debido a que el curso de Mecanismos está fundamentado en la geometría del movimiento. Esto implica que los modelos matemáticos asociados a esta geometría se pueden solucionar numéricamente. Por esta razón, el curso posee una componente de desarrollo de lógica de programación que ocupa una parte de la mayoría de los temas, de manera que el estudiante puede fortalecer sus competencias en pensamiento algorítmico. Usualmente, el software desarrollado consiste en efectuar simulaciones del mecanismo estudiado en cada caso. Luego, la conexión entre la teoría y las ayudas didácticas físicas se da al verificar el comportamiento de la simulación y contrastarlo con el dispositivo físico. Al final de cada actividad, el estudiante debía producir un análisis matemático, una simulación y la comprobación con el prototipo físico.

5. Uso de sistemas Lego para el estudio de mecanismos planos articulados

La primera parte del curso aborda dispositivos de transmisión de movimiento analizados en dos dimensiones. Para esta tarea, los sistemas LEGO Mindstorms EV3 son plataformas educativas de alta versatilidad: son ampliamente utilizados para la enseñanza de sistemas mecatrónicos, ya que son modulares, permiten la construcción de sistemas mecánicos completos en tiempos muy reducidos y son automatizables (Mathias, et al., 2019). Estos sistemas abren las puertas para demostrar de manera clara los conceptos de movimiento de mecanismos en el plano, conectándolos con sistemas físicos. Además, se crea la posibilidad de incentivar al estudiante a enfrentarse a problemas que difícilmente pueden ser descritos de forma adecuada en un tablero.

Herramientas como LEGO son de alto valor ya que ofrecen flexibilidad y facilidad de uso (Mathias, et al., 2019), lo que permite aprovechar de manera eficiente el tiempo disponible en la clase. La materialización de conceptos comienza incluso desde antes de establecer la teoría, por medio de una actividad de exploración de la herramienta, en la cual los estudiantes deben identificar las posibles uniones y pares que se dan entre las distintas piezas de los conjuntos LEGO. La complejidad de los mecanismos implementados va acorde a los casos de estudio vistos en la clase. En la Figura 2 se observa el proceso realizado con un mecanismo de una máquina para poner tapas, compuesto por seis barras, múltiples pares de revoluta y un par prismático.

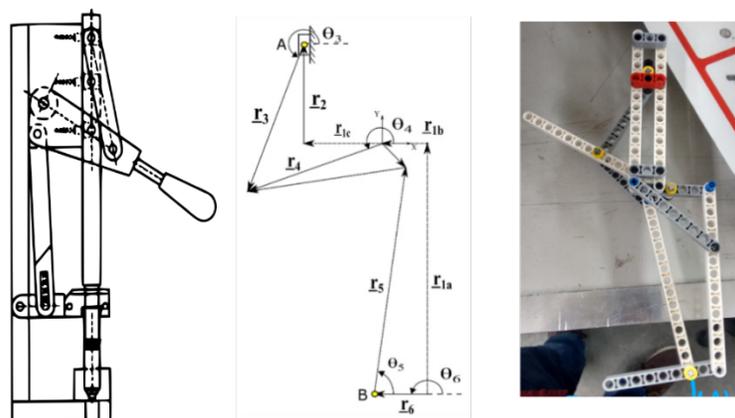


Figura 2. Análisis de mecanismo plano de 6 barras real (Izquierda). Descripción vectorial del mecanismo (Centro). Implementación real en LEGO (Derecha).

6. El uso de un robot manipulador paralelo tipo Delta para el estudio de mecanismos en el espacio

Para el tema de mecanismos en el espacio, se hizo uso del Robot Manipulador Paralelo tipo Delta construido en la Universidad (Correa, et al., 2010; Cock y Correa, 2010). El grado de complejidad en el análisis aumenta, pero se conserva la metodología usada en el análisis de mecanismos planos, por lo que es en esencia extrapolar dicho conocimiento previamente adquirido. El estudiante debe realizar el análisis del robot real, desarrollar un software que le permita generar la trayectoria que la herramienta del robot debe seguir. Para verificar que la trayectoria generada fue recorrida por el robot correctamente, se instaló un emisor de luz en la herramienta que permite capturar una imagen con tiempo de exposición largo, logrando grabar la trayectoria descrita por la herramienta en el espacio. En la Figura 3 se puede observar el contraste de la trayectoria generada por el simulador, con la obtenida en el robot real.

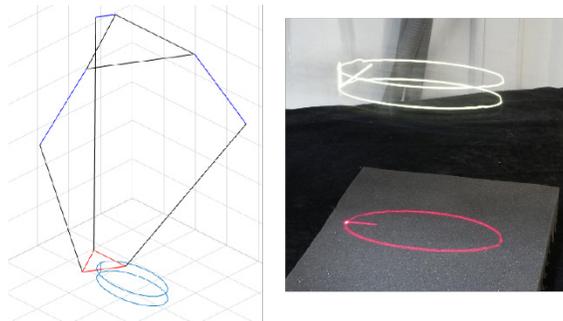


Figura 3. Análisis cinemático del Robot Paralelo Delta teórico en el espacio (Izquierda). Trayectoria ejecutada por el robot real (Derecha).

7. El estudio de engranajes planetarios para la conexión con elementos de máquina

El último tema surgió por una necesidad que se estaba presentando en el curso de Elementos de Máquina, que estudia los sistemas de transmisión de potencia en detalle. En Mecanismos se estudia el comportamiento de los trenes de engranajes desde la perspectiva cinemática, es decir, sin tener en cuenta las fuerzas que ocasionan el movimiento. Para completar la experiencia haciendo uso de ayudas didácticas, se contaba con sistemas de transmisión de movimiento basados en engranajes, los cuales el estudiante podía armar. Durante la clase se hacía el análisis de dichos sistemas, de manera que los resultados obtenidos se contrastaban con el mecanismo real (ver Figura 4).



Figura 4. Tren de engranajes planetario usado como caso de estudio en clase.

Finalmente, uno de los elementos que hizo parte de la evaluación consistió en analizar un mecanismo real y funcional contextualizado a la realidad de cada estudiante. Entre los mecanismos analizados se encontraron máquinas usadas en marroquinería, extractores de jugo, relojes, máquinas herramientas, entre otros (ver Figura 5).



Figura 5. Tren de engranajes compuesto de reductor de velocidad.

8. Hallazgos

Finalmente, se realizó una encuesta anónima y voluntaria en la cual los estudiantes plasmaron sus opiniones al respecto, algunos realizando sugerencias. Una de las preguntas indagaba directamente por el uso de ayudas didácticas, específicamente los sistemas LEGO, el Robot Delta y el Banco de Mecanismos: *"Comentarios sobre el uso de ayudas didácticas (Lego, Robot Delta, Banco de Mecanismos)"*. Las respuestas indican una recepción positiva por parte de los encuestados, donde dan testimonio de un aprendizaje significativo y aplicado. Por ejemplo, un estudiante manifestó acerca de la visualización de los problemas que *"Fue de gran ayuda todos los mecanismos presentes en el laboratorio, ya que, en ocasiones era difícil visualizar en un dibujo lo que se deseaba explicar, y mediante estos era más claro"*. Acerca del apoyo en entender aspectos teóricos, otro estudiante manifestó que *"Me parece que el uso de todas las ayudas didácticas fue muy positivo, ya que de esta manera se logra comprender mejor la teoría explicada y se logra tener claridad de los conceptos"*. Con respecto a la opinión de darle continuidad al uso de las didácticas un estudiante manifestó que *"Es importante aplicarlas más, son una gran ayuda"*

para entender el funcionamiento, creo que el mismo nombre lo dice, mecanismos, se aprende haciendo y construyendo, y no en un papel ya está mandado a recoger, hay que utilizar las herramientas que tenemos a la mano y explotarlas al máximo para un mejor aprendizaje del curso”.

Cabe resaltar que uno de los resultados positivos de la experiencia es el acercamiento de los estudiantes a temáticas actuales que son objeto de trabajo de los grupos de investigación de la Universidad. Al finalizar el curso, cinco estudiantes manifestaron interés en iniciar trabajos en temas de investigación con el grupo de Automática y Diseño – A+D. Aunque la experiencia fue en general exitosa y se cumplieron los objetivos planteados, se requiere un esfuerzo adicional para mejorar la parte logística del manejo de las ayudas, en particular con la generación de guías para técnico de laboratorio que prepare los elementos necesarios para cada clase.

9. Conclusiones

Implementar ayudas didácticas para el estudio y la enseñanza de temas en ingeniería es una necesidad recurrente. La adquisición de fortalezas en infraestructura física y tecnológica para soportar docencia de calidad es un paso necesario que es difícil para muchas universidades; sin embargo, la sola adquisición no es garantía para que las ayudas didácticas sean efectivas. Por otro lado, las claridades metodológicas que aporta un modelo pedagógico son un insumo fundamental para orientar el currículo, pero su implementación concreta en la didáctica de un curso no es obvia, porque los objetivos que se plantean en los modelos pedagógicos son abstractos. En el contexto de la Ingeniería Mecánica, específicamente en el del curso de Mecanismos, elementos como sistemas LEGO, un manipulador paralelo o conjuntos de trenes de engranajes se pueden considerar como herramientas didácticas de gran aporte a los procesos formativos, cuyo valor se ha ido corroborando a través de su uso en el aula de clase. Sin embargo, los esfuerzos institucionales por adquirir infraestructura y orientar metodológicamente la pedagogía solo se logran articular de manera práctica en el aula de clase a través de un trabajo consistente a lo largo de varios años y a partir de ejercicios de iteración en los que los participan docentes con habilidades, especialidades e intereses diferentes. En este orden de ideas, este trabajo es una fotografía del momento actual del proceso de iteración.

10. Referencias

- Bonilla, J. I. (2016). La cuarta revolución industrial y Colombia: ¿Qué podemos hacer? Recuperado el 11 de 05 de 2018, de https://innovacionyciencia.com/articulos_cientificos/la_cuarta_revolucion_industrial_y_colombia
- Cock, J. A. (2012). Control de robot de geometría paralela. Universidad Pontificia Bolivariana. Tesis de Maestría en Ingeniería área de Automática.
- Correa J. C., Ramírez J. A., Taborda, E. A., Cock, J. A., Gómez, M. A., Escobar, G. A. (2010). Implementation of a Laboratory for the Study of Robot Manipulators. ASME. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Volume 6: Engineering Education and Professional Development:23-30. doi:10.1115/IMECE2010-39136.

- David Mathias, Chris Snider, Ben Hicks, Charlie Ranscombe. (2019), Accelerating product prototyping through hybrid methods: Coupling 3D printing and LEGO, Design Studies, Volume 62, Pages 68-99, ISSN 0142-694X, <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.04.003>.
- Flórez D. A., Ramírez J. A., Builes C.A. (2017). Propuesta Curricular para un Programa de Ingeniería Mecánica Basado en Capacidades Humana y Competencias, que le Apunta a la Innovación y el Impacto Social. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería, ACOFI 2017.
- UPB (2016). Proyecto Educativo Institucional. Obtenido de: <https://www.upb.edu.co/es/identidad-principios-historia/proyecto-institucional-modelo-pedagogico>
- UPB (2017). Proyecto Educativo del Programa de Ingeniería Mecánica. Obtenido de: <https://www.upb.edu.co/es/documentos/doc-pepmecanicamed-1464179639438.pdf>

Sobre los autores

- **Luis M. Aristizábal:** Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana. Docente interno de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingenierías, Universidad Pontificia Bolivariana. Miembro del Grupo de Automática y Diseño A+D. luismiguel.aristizabal@upb.edu.co.
- **Juan A. Ramírez-Macías:** Ingeniero Mecánico, Especialista en Automática, Magíster en Ingeniería. Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingenierías, Universidad Pontificia Bolivariana. Investigador Asociado del Grupo de Automática y Diseño A+D. juan.ramirez@upb.edu.co.
- **Julio C. Correa:** Ingeniero Mecánico, Especialista en Ingeniería Ambiental, Master of Science, Ph.D. in Mechanical Engineering. Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingenierías, Universidad Pontificia Bolivariana. Investigador del Grupo de Automática y Diseño A+D. julio.correa@upb.edu.co.
- **Diego A. Flórez:** Ingeniero Mecánico, director de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Profesor Titular de la Universidad Pontificia Bolivariana. Miembro del Grupo de Automática y Diseño A+D. Magister en Gestión Tecnológica. diego.florez@upb.edu.co.

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

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)