



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

## RETOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN LA ERA DIGITAL

# EXPERIENCIA PILOTO PARA LA INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN PROYECTOS DE AULA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**Juan M. Vásquez, Luis M. Aristizábal, Juan A. Ramírez Macías, Diego A. Flórez**

**Universidad Pontificia Bolivariana  
Medellín, Colombia**

### Resumen

Colombia es un entorno con grandes necesidades que pueden ser abordadas desde la ingeniería. Por esto, el diseño es el elemento central y la razón de ser de la formación de un ingeniero. Para la formación en diseño se vuelve necesario incluir en el currículo espacios para la integración de conocimientos y competencias, donde se deje a un lado la concepción tradicional de curso magistral y se motive al estudiante a que se empodere de su aprendizaje. Esto debe darse a lo largo de todo el proceso formativo para que el estudiante vaya alcanzando niveles de competencia de forma gradual. Como ejemplo de esto, en el currículo de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana Sede Medellín se han implementado cuatro Módulos de Ingeniería Aplicada, los cuales involucran algunas metodologías tales como proyectos de ingeniería, el pensamiento de diseño, el aprendizaje basado en problemas y el trabajo en equipo, con diferentes niveles de complejidad. En ellos, las actividades son motivadas por la solución de un problema. Este artículo reporta las experiencias recogidas durante el Módulo de Ingeniería Aplicada 2, donde los estudiantes desarrollan habilidades técnicas útiles para el diseño y la solución de problemas en ingeniería mecánica, desde la perspectiva de la manufactura, el prototipado rápido, la medición y el uso de herramientas computacionales. En el primer semestre de 2019 se propuso como reto el diseño, fabricación y prueba de una catapulta de doble muelle a escala reducida con elementos automatizados. Esto condujo a los estudiantes a interactuar con tecnologías emergentes, como los procesos de manufactura aditiva, el prototipado electrónico y la robótica. Al finalizar el curso, los equipos de estudiantes habían desarrollado habilidades técnicas que les facilitarían la solución de problemas de ingeniería y los harán más aptos para participar en futuros proyectos. Con base en esto, se estudian las implicaciones para así definir nuevas versiones del curso.

**Palabras clave:** pensamiento de diseño; prototipado rápido; tecnologías emergentes

## Abstract

*Colombia is an environment with great needs that can be addressed from engineering. For this reason, design is the central element and the raison d'être of the training of an engineer. For design training it becomes necessary to include spaces in the curriculum for knowledge and competences integration, where the traditional conception of masterclass is set aside, and the student is encouraged to take over their learning. This must be done throughout the training process for the student to gradually reach proficiency levels. As an example of this, four Applied Engineering Modules have been implemented in the Mechanical Engineering curriculum of the Universidad Pontificia Bolivariana Sede Medellin, which involve some methodologies such as engineering projects, design thinking, problem-based learning and teamwork, with different levels of complexity. In them, activities are motivated by the solution of a problem. This article reports the experiences collected during Applied Engineering Module 2, where students develop useful technical skills for designing and troubleshooting in mechanical engineering, from the perspective of manufacturing, the rapid prototyping, measuring and using computational tools. The proposed challenge for the first period of 2019 was the design, manufacture and testing of a reduced-scale double-spring catapult with automated elements. This led students to interact with emerging technologies, such as additive manufacturing processes, electronic prototyping and robotics. By the end of the course, teams of students had developed technical skills that will make it easier for them to solve engineering problems and make them more suitable to participate in future projects. Based on this, the implications are studied to define new versions of the course.*

**Keywords:** *design thinking; rapid prototyping; emerging technologies*

## 1. Introducción

El programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) Sede Medellín, con 62 años de historia, es uno de los primeros programas de Colombia. Ha graduado más de 2100 ingenieros y actualmente tiene 320 estudiantes aproximadamente.

Desde el año 2016 su currículo fue rediseñado (Flórez, *et al*, 2017), según los lineamientos del Modelo Pedagógico Integrado de la Universidad (UPB, 2015), el cual contempla al 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 profesional descrito en los siguientes términos (UPB, 2017): “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.”

Para el desarrollo de este perfil se hizo una configuración mesoestructural, configurando cuatro grandes áreas medulares que componen parcialmente el ciclo profesional: Materiales y Procesos de Manufactura, Diseño Mecánico y Automatización, Termofluidos y Gestión. En primera instancia,

las áreas se pueden entender de forma aislada y es posible que el estudiante se forme en las cuatro áreas de forma independiente. Sin embargo, esta situación no es ideal ya que, si bien aborda la parte generalista, le falta el carácter integrador. Esto se basa en la idea de que en la medida en la que estas áreas se integren se mejora la capacidad de abordar la solución de problemas del contexto a través de proyectos de diseño. Esto exige esfuerzos por llevar a cabo integración entre las diferentes áreas.

Tanto el ciclo profesional como el ciclo básico disciplinar se articulan a través de cuatro cursos transversales llamados Módulos de Ingeniería Aplicada (MIA). Estos son cursos de tipo proyectual, que privilegian el aprendizaje significativo y la construcción del propio conocimiento por parte del estudiante, donde el profesor tiene un papel de mediador o de orientador. Los MIA apuntan directa y específicamente a los elementos que componen el perfil ya mencionado.

Con todos los retos para la educación en ingeniería que generan los cambios tecnológicos en la era digital, los MIA constituyen una estrategia de adaptación del currículo a las tecnologías emergentes, toda vez que dan la flexibilidad de abordar problemas haciendo uso de ellas. Es así como para el MIA 2, en su versión del año 2019, se decidió involucrar a los estudiantes con la manufactura aditiva y el prototipado mecatrónico con procesadores Arduino.

## **2. El rol de los Módulos de Ingeniería Aplicada**

Los MIA se configuran como espacios dentro del currículo para la integración de saberes y la solución de problemas usando metodologías para la ejecución de proyectos. Concretamente, los MIA se encargan de integrar las metodologías de proyectos de ingeniería, el pensamiento de diseño (Outlier School, 2019), el aprendizaje basado en problemas (Barrows, 1996), (Felder, *et al*, 2003), y el trabajo en equipo (AMA, 2011), (Crawford, 2012). En ellos, las actividades son motivadas por la solución de un problema, donde el énfasis y la dificultad de los problemas dependen de la ubicación del MIA dentro del currículo. El programa cuenta con cuatro módulos organizados de la siguiente forma:

- MIA 1: es el módulo introductorio ubicado en el primer semestre. En este módulo busca retar la creatividad de los estudiantes desarrollando un proyecto de diseño de baja complejidad, con un énfasis lúdico y un carácter informal, involucrando estrategias de gestión de proyectos. El ejercicio es poco riguroso y aprovecha las capacidades y competencias con las que llega el estudiante de su formación básica secundaria.
- MIA 2: es un módulo ubicado en el tercer semestre, para estudiantes que ya han avanzado en su formación básica disciplinar. Por su ubicación temprana en el currículo, se enfoca en las habilidades técnicas útiles para el diseño y la solución de problemas de ingeniería: el dibujo, los modelos de cálculo, el uso de software y la construcción misma de los prototipos. Además, afianza elementos de la gestión de proyectos y el trabajo en equipo. Este es el módulo considerado en este artículo.
- MIA 3: es un módulo ubicado en el sexto semestre, para estudiantes que ya han avanzado en su formación profesional. Se enfoca en las habilidades para la solución de problemas de diseño de detalle, a través de la elaboración de cálculos para la solución de problemas concretos de

ingeniería. El proyecto se realiza de forma más autónoma y la fabricación de los prototipos es técnicamente más elaborada.

- MIA 4: es un módulo ubicado en el octavo semestre, para estudiantes que están próximos a su práctica profesional. Se concentra en la aplicación de un proyecto completo de ingeniería para resolver un problema más abierto. Conceptualmente, es un módulo integrador de carrera. El MIA 4 se complementa con un curso previo de *diseño mecánico*, en el que el estudiante aprende a usar métodos para el diseño en ingeniería.

### 3. El Módulo de Ingeniería Aplicada 2

Desde la primera versión del curso, después de que la transformación curricular entró en vigencia en 2016, se han propuesto diversos retos, tales como puentes peatonales, biodigestores, calentadores y cocinas solares. En todos ellos se ha empleado la modelación CAD como herramienta fundamental del diseño mecánico. Igualmente, se ha usado la programación para resolver modelos matemáticos básicos que permitan hacer predicciones del comportamiento del prototipo. También se ha involucrado la medición e instrumentación para la verificar experimentalmente que el prototipo cumpla con los requerimientos del reto.

En la nueva versión del MIA 2, aparte de lo anterior, se creó una interacción entre los ingenieros mecánicos en formación y tecnologías nuevas para el curso: componentes electrónicos, controladores basados en Arduino e impresoras 3D.

En primer lugar, aparece la necesidad de involucrar herramientas de electrónica en el currículo de ingeniería mecánica. Se debe tener en cuenta que los sistemas mecánicos y electrónicos tienden a integrarse cada vez más, y las barreras entre ambos tienden a desaparecer. Los sistemas electrónicos son percibidos por los estudiantes como complicados, cajas negras que están fuera de su alcance. A esto se añade que concurrente con el MIA 2 están viendo programación y es poco lo han visto de electricidad y electrónica básica. Por eso se busca que los estudiantes conozcan estas herramientas y se familiaricen con uso, desarrollando competencias para integrarlas en prototipos. En el caso de Arduino, existen numerosos ejemplos de aplicación, a los cuales se tiene acceso abierto en cuanto a diseño y programación, y que los estudiantes pueden adaptar a sus proyectos.

En cuanto a tecnologías emergentes, temas como inteligencia artificial, internet de las cosas y manufactura aditiva no son tradicionalmente accesibles al ingeniero mecánico en formación. Si se quiere que éste interactúe con dichas tecnologías, debe al menos manejar un vocabulario y conceptos mínimos y usar herramientas básicas que le permitan empezar a incursionar en ese mundo. Por ello, el curso involucra la manufactura aditiva por deposición de material fundido. Al cabo de dos semanas, los estudiantes pasan de nunca haber usado, o vagamente haber escuchado qué es impresión 3D, a estar poniendo en funcionamiento una impresora, a hablar de materiales y parámetros de impresión y obtener sus primeras piezas de prueba.

#### 4. Experiencias en la ejecución del curso

El proyecto para el MIA 2 relatado en esta experiencia fue llevado a cabo en el primer semestre de 2019. Con motivo de los 500 años de la muerte de Leonardo da Vinci, el proyecto consistió en diseñar, construir y probar una catapulta de doble muelle a escala reducida, inspirada en los bocetos de Leonardo, con elementos automatizados. La catapulta debía lanzar un balón de acero de 6 milímetros de diámetro a una distancia de 5 metros. Se juzgó la exactitud y la precisión en el lanzamiento consecutivo de tres proyectiles. La diana estaba constituida por una trampa de arena delimitada por 5 anillos concéntricos. El anillo central tenía un radio de 50 mm. El radio de los demás anillos se incrementaba en 50 mm.

La primera actividad del curso fue poner en funcionamiento la impresora 3D. Cada equipo, conformado por cuatro o cinco estudiantes, recibió una impresora Kossel 3D Plus de Anycubic, nueva, desarmada, en su caja original. El reto fue estudiar de forma autónoma los manuales y videos de la impresora, armarla e imprimir un modelo de prueba. Los estudiantes debieron superar dificultades tales como entender material técnico en inglés, aprender a seguir instrucciones, interpretar diagramas electrónicos, trabajar en equipo, resolver problemas asociados a errores de procedimiento o al funcionamiento propio de la impresora, entre otros. También debieron consultar sobre materiales compatibles y sus características, para poder seleccionar el material. Las opciones se redujeron a ácido poliláctico (PLA) y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Este ciclo de trabajo concluyó con la realización de un procedimiento de autonivelación y la impresión de un modelo de prueba. En paralelo con estas tareas, cada equipo debió consultar sobre la catapulta de da Vinci, sus partes y principios de funcionamiento. Además, debían encontrar antecedentes de catapultas fabricadas con impresoras 3D. Se resalta que el proceso fue autónomo y los tutores solo intervinieron para resolver problemas puntuales.

La segunda fase del proyecto comprendió varias tareas paralelas. Por una parte, cada equipo aplicó técnicas de divergencia – convergencia, para proponer y evaluar alternativas de solución. El producto obtenido fueron bocetos donde se especificaba preliminarmente componentes, formas, dimensiones básicas, materiales y funciones. Por otro lado, cada equipo debía llevar a cabo un protocolo de evaluación para el método de deposición de material fundido (Andreas, 2018). Esto implicó: descargar un archivo en formato .STL de una pieza de prueba, aprender a manejar el software *Cura* para cargar el archivo y fijar valores para los múltiples parámetros de impresión acordes con el material seleccionado, configurar los parámetros de la impresora, preparar y enviar a la impresora el código G, imprimir la pieza, y aplicar el proceso de evaluación. El producto obtenido fue una pieza impresa. La meta no era obtener una pieza perfecta, sino identificar los posibles defectos que se pueden presentar en el proceso, analizar su relación con los parámetros seleccionados y comprender las limitaciones de la tecnología. Finalmente, cada equipo debía el boceto de un logo con el cual se identificarían (Crawford, 2012), modelarlo en CAD a modo de emblema en alto relieve (*maker coin*) con unas dimensiones máximas de 100 x 100 mm y 5 mm de espesor, e imprimirlo. Esto implicó aprender a usar el software *Fusion 360*, diferente a los programas que manejaron en el curso previo de Dibujo Mecánico y CAD, pero que tiene las ventajas de trabajo colaborativo basado en la nube y exportación directa de modelos a *Cura*. De nuevo, todo el proceso fue autónomo y los estudiantes se enfrentaron a dificultades similares a las de la primera fase.

La tercera fase del proyecto incluyó la elaboración de un modelo de cálculo de la catapulta. Primero debían analizar la secuencia de pasos requeridos para lanzar el proyectil. Luego tenían que identificar los fenómenos físicos involucrados, tales como tiro parabólico, movimiento rotacional acelerado de un cuerpo rígido alrededor de un eje fijo y deformación elástica de un material. Después debían consultar modelos de cálculo básicos para cada fenómeno, identificar las ecuaciones necesarias y las variables involucradas. En este proceso se evidenciaron varias dificultades. Una de ellas es que hay una separación mental entre el entendimiento del fenómeno físico y las ecuaciones que tratan de describirlo, pues para la mayoría éstas son solo letras, números y operadores. El otro problema es la identificación de variables conocidas e incógnitas, requisito para poder determinar si el sistema de ecuaciones tiene solución. Y el otro asunto tiene que ver con el manejo correcto de unidades, a pesar de haber pasado por un curso previo de Medición e Instrumentación.

La parte experimental se involucró a través de la caracterización del módulo de elasticidad del material seleccionado para imprimir los muelles de la catapulta. Esta caracterización se hizo bajo norma y utilizando equipos propios de la Universidad. Cada equipo debió imprimir y ensayar cinco probetas, para luego analizar las mediciones directas y derivar un módulo de elasticidad experimental. Si bien se conocen valores de referencia para el ABS y el PLA bajo ciertas presentaciones, se logró evidenciar que los parámetros de impresión cambiaban significativamente los valores prácticos. En particular, se halló una correlación con el patrón y porcentaje de relleno seleccionados por cada equipo. El módulo de elasticidad experimental fue usado dentro del modelo de cálculo para hallar las dimensiones transversales mínimas requeridas en los muelles para almacenar la energía potencial elástica que impulsara el rotor, el brazo y el proyectil. El modelo de cálculo se resolvió por lo menos una vez de forma manual y luego se procedió a programarlo en Excel para poder iterar sobre las múltiples variables libres del problema. El resultado final del modelo era el torque requerido en el motor para deformar los muelles.

La tercera fase se completó con la modelación CAD de la primera versión del prototipo. Durante esta tarea, los equipos pudieron comprobar el carácter iterativo del diseño y la utilidad de todas y cada una de las herramientas utilizadas. En un sentido, se requería que el modelo de cálculo arrojara ciertas dimensiones para poder sintetizar la geometría de las piezas clave de la catapulta. Pero en otro sentido, el modelo de cálculo requiere de los ciertos resultados numéricos que arrojan las funciones de análisis de ingeniería del software CAD, tales como masas, áreas, volúmenes, momentos de inercia de área y de masa. Y ambos necesitan de los resultados arrojados. Es esta parte del proceso donde los equipos enfrentaron las mayores dificultades: integración y aplicación de competencias previas, desarrollo de competencias nuevas, trabajo en equipo, coordinación, comunicación y responsabilidad.

La cuarta fase involucraba la selección de componentes comerciales, tanto mecánicos como electrónicos. Esto presentó dos dificultades. Por una parte, la selección de los motores dependía de una correcta solución del modelo de cálculo y a su vez, condicionaba la selección de *drivers* y fuentes de energía. Por otra parte, a pesar de no haber visto un curso previo de control, debían definir una estrategia de retroalimentación de la posición de los elementos mecánicos y los sensores necesarios para ello. Además, al no tener conocimiento previo de elementos electrónicos, cada equipo debió consultar tanto aspectos teóricos, técnicos como comerciales. Pero lo más difícil fue

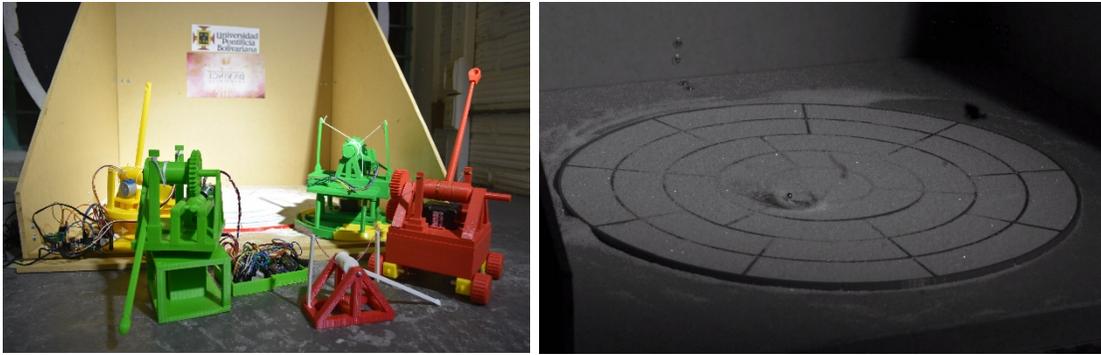
vencer el temor y la resistencia a de los estudiantes a involucrarse con los elementos electrónicos. A medida que se avanzaba con esta selección, los equipos debían involucrar los componentes electromecánicos dentro del modelo CAD, con las modificaciones que esto implica. Y todo lo anterior sirvió además para elaborar una primera versión de un presupuesto que involucrara materiales, insumos, herramientas, mano de obra e imprevistos. Usando el software Cura, cada equipo pudo estimar el tiempo y cantidad de material requerido para imprimir la catapulta.

La quinta fase del proyecto comprende la fabricación de piezas, la adquisición de los elementos comerciales y la integración. Pero esta parte estaba condicionada a que el modelo de cálculo estuviera finalmente corregido y resuelto, que los elementos comerciales estuvieran bien seleccionados, que las piezas a fabricar estuvieran completamente modeladas y debidamente ensambladas, y que tuvieran una planeación de actividades detallada acorde con los plazos establecidos. Muchos de los equipos no cumplían con uno o más de estos requisitos, por lo que el inicio del proceso de impresión se retrasó. A esto se sumó que, pese al nombre de prototipado rápido que se le da a los procesos 3D, en realidad resultó ser una actividad que consumió bastante tiempo. Por una parte, las impresoras adquiridas no son de la categoría de producción industrial, sino para uso doméstico. Por otra parte, cada equipo debía hacer un ajuste fino de los parámetros de impresión, así como hacer impresiones de prueba para encontrar las tolerancias dimensionales apropiadas para que las piezas encajaran bien. Fue recurrente que todos los equipos debieron repetir la impresión de varios componentes, así como rediseñarlos para acomodarse a las limitaciones prácticas del proceso.

La quinta fase concluyó con la llegada de la prueba alfa o prueba inicial. Esta no tiene el propósito de evaluar funcionalmente el prototipo, pues esto se hace en la prueba omega o final. El objetivo de la prueba alfa es el que no se deje la construcción del prototipo para el último momento, porque basados en experiencias previas, esto no dejaba margen para hacer pruebas preliminares y realizar los ajustes necesarios. Cada equipo debía presentar un prototipo completo, conforme con lo calculado, modelado y presupuestado durante el proyecto. Sin embargo, ninguno cumplió completamente con lo requerido.

La sexta y última fase del proyecto comenzó por los ajustes requeridos, tanto a nivel de cálculos, como de diseño y fabricación de los componentes que se habían identificado como defectuosos, así como la adquisición de elementos comerciales y la impresión de las piezas faltantes. Como excepción, los tutores del curso dictaron una charla introductoria sobre el manejo básico del Arduino Uno R3, el lenguaje de programación y una rutina básica de control de motores paso a paso. Con este insumo básico, cada equipo comenzó la programación del Arduino, la integración mecánica y eléctrica necesarias para realizar las pruebas preliminares.

Los tutores elaboraron un protocolo de seguridad que contemplaba el uso de gafas de protección contra impacto, debido al riesgo de daño ocular por el lanzamiento de los proyectiles metálicos. También elaboraron un reglamento para el desarrollo de la prueba omega a modo de competencia, donde se establecieron procedimientos, así como los puntajes basados en criterios de exactitud y precisión. Dentro de estos procedimientos, se estableció el uso de una cámara de alta velocidad para determinar con certeza el lugar del primer impacto del proyectil, dado el pequeño tamaño de este y su gran velocidad.



**Figura 1.** Derecha: algunos de los prototipos de catapultas realizados por los estudiantes. Izquierda: fotograma del instante del impacto captado por la cámara de alta velocidad.

La prueba omega arrojó como resultado que dos de los siete equipos lograron que sus proyectiles impactaran la diana. Hubo un empate, al obtener cada uno 80 puntos por exactitud de 300 posibles, pero en cuanto a precisión no alcanzaron ninguno de los 300 puntos disponibles. Los demás equipos no obtuvieron puntaje, ya sea porque no lograron realizar lanzamientos por problemas mecánicos o eléctricos, o porque sus lanzamientos se desviaban y no impactaron la diana. Estos resultados fueron consecuencia directa del grado de completitud y refinamiento que cada equipo alcanzó en sus respectivos prototipos.

## 6. Conclusiones

Al finalizar la experiencia, se evidenció que sí era posible que estudiantes de tercer semestre de ingeniería mecánica pudieran elaborar un prototipo mecatrónico, a pesar de que la exigencia del reto era alta y que los resultados finales no fueron en su mayoría satisfactorios. Se hizo un ejercicio de reflexión con los estudiantes sobre el proceso adelantado durante el proyecto. Más allá del producto final que era el prototipo, ellos valoraron el hecho que, con excepción de la clase de introducción a Arduino, los tutores no les enseñaron nada. Que todo lo que hicieron lo aprendieron ellos por cuenta propia, de que sí son capaces de hacer un proceso de aprendizaje, aunque no del todo autónomo, pero sí dirigido. Se identificó que una de las mayores dificultades fue abandonar el modelo de clase magistral al que están acostumbrados, donde el docente es que hace el trabajo mientras el estudiante es un receptor pasivo. También se reconoció que los resultados dependieron del trabajo en equipo y el grado de compromiso de sus integrantes. Como resultado de esta experiencia, se mantendrá esta línea de trabajo para las siguientes versiones del MIA 2.

## 7. Referencias

- American Management Association AMA. (2011). Turning a group of people into a team. ASME Career & Education Articles. Consultado el 13 de junio de 2019 en <https://www.asme.org/career-education/articles/team-building/turning-a-group-of-people-into-a-team>

- Andreas, B. (2018). Fused deposition modeling assessment protocol. Consultado el 13 de junio de 2019 en <https://github.com/kickstarter/kickstarter-autodesk-3d/tree/master/FDM-protocol>
- Barrows, Howard S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. *New Directions for Teaching and Learning*, Vol. 1996, No. 68, pp. 3-12.
- Crawford, M. (2012). Teaching teamwork to engineers. *ASME Career & Education Articles*. Consultado el 13 de junio de 2019 en <https://www.asme.org/career-education/articles/team-building/teaching-teamwork-to-engineers>
- Felder, R. M. and Brent, R. (2003). Designing and teaching courses to satisfy the ABET engineering criteria. *Journal of Engineering Education*, Vol. 92, No. 1, pp. 7-25.
- 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.
- Outliers School. (2019). Prototopía: contribución a la evolución de la cultura digital, la educación y los medios en Iberoamérica. Consultado el 13 de junio de 2019 en [http://outliersschool.net/wp-content/uploads/2019/03/Manual\\_OutliersSchool\\_v2019.pdf](http://outliersschool.net/wp-content/uploads/2019/03/Manual_OutliersSchool_v2019.pdf)
- Universidad Pontificia Bolivariana. (2015). Modelo Pedagógico Integrado. Consultado el 11 de junio de 2019 en <https://www.upb.edu.co/es/documentos/doc-modelopedagogicoesn-lau-1464098892245.pdf>
- Universidad Pontificia Bolivariana. (2017). Proyecto educativo del programa de Ingeniería Mecánica. Consultado el 11 de junio de 2019 en <https://www.upb.edu.co/es/documentos/doc-pepmecanicamed-1464179639438.pdf>

## **Sobre los autores**

- Juan M. Vásquez: Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería. Profesor titular de la Facultad de Ingeniería Mecánica y miembro del Grupo de Automática y Diseño A+D de la Universidad Pontificia Bolivariana. [juan.vasquez@upb.edu.co](mailto:juan.vasquez@upb.edu.co)
- Luis M. Aristizábal: Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería. Profesor asistente de la Facultad de Ingeniería Mecánica y miembro del Grupo de Automática y Diseño A+D de la Universidad Pontificia Bolivariana. [luismiguel.aristizabal@upb.edu.co](mailto:luismiguel.aristizabal@upb.edu.co)
- Juan A. Ramírez-Macías: Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería. Profesor titular de la Facultad de Ingeniería Mecánica y miembro del Grupo de Automática y Diseño A+D de la Universidad Pontificia Bolivariana. [juan.ramirez@upb.edu.co](mailto:juan.ramirez@upb.edu.co)
- Diego A. Flórez: Ingeniero Mecánico, Magister en Gestión Tecnológica. Director de la Facultad de Ingeniería Mecánica, profesor titular y miembro del Grupo de Automática y Diseño A+D de la Universidad Pontificia Bolivariana. [diego.florez@upb.edu.co](mailto: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)