



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

RETOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN LA ERA DIGITAL

EXPERIENCIAS DE INTERACCIÓN EN EL AULA ENTRE EL CURSO DE DISEÑO MECÁNICO Y EL MUNICIPIO DE SAN PEDRO DE LOS MILAGROS

Elkin A. Taborda, Juan A. Ramírez Macías, Diego A. Flórez

**Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Colombia**

Resumen

El diseño es central en el ejercicio de la ingeniería, se encarga de aplicar conocimientos y habilidades técnicas, científicas y humanas para la solución de problemas en el contexto. Colombia es un entorno con grandes necesidades por ser resueltas, donde el diseño tiene un gran potencial de impacto. Por esta razón, se llevó a cabo la implementación de un curso de diseño mecánico que amplía la concepción tradicional de diseño calculista a diseño de ingeniería centrado en el usuario. En el curso se aplica el aprendizaje basado en problemas, donde los problemas surgen de emprendimientos del municipio de San Pedro de los Milagros (Antioquia, Colombia). Tras cuatro semestres de trabajo con diferentes emprendimientos, se ha notado una apropiación más natural de los métodos para el diseño conceptual, un mejor ejercicio de elaboración de requerimientos de usuario y una mayor motivación por encontrar soluciones viables. Según estos indicios, el camino adoptado es adecuado, pero hay aspectos por mejorar: se deben encontrar estrategias para aumentar el impacto tangible del trabajo de los estudiantes en los emprendimientos, que finalmente incentiven a que este ejercicio se lleve a cabo de forma más extendida.

Palabras clave: aprendizaje basado en problemas; diseño en ingeniería; diseño mecánico

Abstract

Design is a fundamental activity for engineering. It requires the application of technical and scientific knowledge and skills, as well as soft skills, in order to solve problems in different contexts. Colombian context includes several needs to be fulfilled, this means design has a big contribution potential. In order to enable this potential contribution, it is necessary to expand the formation of calculation engineers with skills related to user centered design. A new course for mechanical

engineering students was created. This is a class with a project-based learning approach, in which students are exposed to needs from real users. Currently, those users have been small entrepreneurs located in the municipality of San Pedro de Los Milagros (Antioquia, Colombia). After four semesters working with the entrepreneurs, students seem to adopt conceptual design tools better, they are more likely to elaborate on user requirements and they are more motivated to find viable solutions. This experience suggests the approach is working as expected even though there are improvements to be done: it would be desirable that students' work have a real impact on the entrepreneurs, thus incentivizing this kind of exercise to be extensively implemented.

Keywords: *project-based learning; user centered design; engineering design; mechanical design*

1. Introducción

El programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia tiene una historia de más de 60 años. Constantemente ha cambiado para adaptarse a las exigencias de la industria, la tecnología, el entorno social y el educativo. En 2006, el programa recibió su acreditación de alta calidad por parte del Ministerio de Educación Nacional y ésta fue renovada en 2011 por ocho años más. En 2009, la Universidad inició un proceso de repensar su currículo y para orientarlo publicó su Modelo Pedagógico Integrado para estructurar el desarrollo de los procesos de formación. En 2016 entra en funcionamiento el nuevo plan de estudios, fruto de la reflexión y el esfuerzo colectivo de los integrantes de la Facultad.

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"*. El nuevo currículo ha permitido cambiar y crear espacios para la integración de conocimientos de forma más aplicada y transversal, así como la ampliación de temáticas que no tenían suficiente énfasis. Uno de esos casos fue la creación del curso de *Diseño Mecánico*, con el objetivo de fortalecer el aprendizaje de los temas y el desarrollo de competencias relacionadas con el proceso y los métodos de diseño. Este curso cierra el área de Diseño Mecánico y Automatización, enfrentando al estudiante al reto de dar solución a una necesidad, abordando metodologías de diseño estructuradas y utilizando conocimientos adquiridos en todo su proceso formativo. Además, complementa cursos cuyo énfasis ha estado en los modelos de cálculo (diseño de detalle). Por esta razón, el nuevo curso de es creado teniendo la claridad de que el eje temático es el proceso de diseño, en sus múltiples etapas, y los diferentes métodos que se pueden aplicar durante el proceso.

2. El proceso de diseño y la ingeniería

El diseño es central para la ingeniería (ICFES, 2016). La ingeniería se fundamenta en las ciencias exactas y las matemáticas, pero el proceso de diseño es un ejercicio social (Bucciarelli, 1988) y humano (Cross, 2008). Diferentes autores han descrito el proceso de varias formas (Norton, 2000),

otros lo proponen en forma de espiral, cascada y diagrama de flujo (Ullman, 2009) y en muchos casos haciendo explícita la posibilidad de retroceder en el proceso (iteraciones) (Pahl, 1999). Todas estas representaciones son formas ideales de mostrar el proceso, pero en realidad es difícil hacer que se cumplan de manera exacta; siempre está la claridad de que hay una necesidad inicial y que se espera llegar a unos resultados que responden a la necesidad. Esto usualmente se logra reconociendo que se debe seguir un proceso en el que se implementan las diferentes herramientas que tiene el diseñador en su haber, dependiendo de su dominio y experticia (Ullman, 2009). Muchas veces la necesidad inicial surge en el contexto del ingeniero calculista, donde los requerimientos son concretos y estructurados. En el caso en que se requiere solucionar problemas de un contexto más amplio, la necesidad inicial está menos estructurada. Esto requiere hacer explícito el papel central del usuario, quien es afectado por una brecha en el estado actual de las cosas y de ella detecta una necesidad inicial. El término *diseño centrado en el usuario* (Norman, 1986), enfatiza la importancia de entender la brecha que siente el usuario a partir de su experiencia y que el rol del diseñador es concebir un plan para producir una solución que cierre esa brecha y satisface la necesidad (Ulrich, 2011).

3. El modelo pedagógico de la UPB y su aplicación en un curso de diseño

El currículo actual del programa de Ingeniería Mecánica se formuló con base en el Modelo Pedagógico Integrado de la UPB. El modelo estructura los currículos de la Universidad desde las necesidades y los intereses de los estudiantes y las problemáticas propuestas desde el contexto sociocultural. En esta estructuración curricular, el estudiante se pone como el centro del proceso educativo, privilegiando el aprendizaje significativo y la construcción de su propio conocimiento, con un profesor que tiene un papel de mediador o de orientador del proceso. Asimismo, tiene como propósito final la formación integral a través de los valores y principios del humanismo cristiano, apuntando al desarrollo de un proyecto personal de vida, con un compromiso con la construcción y el desarrollo del país.

Lo anterior genera dos compromisos: en primer lugar, poner al estudiante como centro del proceso de aprendizaje y, en segundo lugar, que su ejercicio tenga un rol transformador en el contexto social de la región y el país. Estos compromisos tienen cabida natural dentro de un curso de diseño mecánico: la naturaleza del diseño es solucionar problemas del contexto y el diseñador es el estudiante. Con base en esto, se crea un curso de diseño mecánico, con un espacio de 3 créditos. Se busca en el estudiante la formación de capacidades y competencias para participar en la planeación y ejecución de proyectos de diseño en el ámbito de la Ingeniería Mecánica, por medio del manejo de herramientas para abordar las etapas del proceso y con la aplicación de las competencias adquiridas en los cursos previos.

La estrategia para que el estudiante sea el centro del proceso de aprendizaje es que el curso de diseño mecánico implemente los métodos activadores en clase, para que los estudiantes sean los protagonistas, no el docente, e implementar el método de *aprendizaje basado en problemas* (ABP), para que los temas de clase se relacionen inmediatamente con aplicaciones y contextos adecuados. El ABP se implementa a través del trabajo de semestre, generando un contexto y un problema para el que los estudiantes deben proponer una solución. Sin embargo, surge el reto de generar los

problemas que se van a proponer en el curso. Para esto se pueden plantear dos estrategias: primero, problemas propuestos y acotados por el docente y, segundo, problemas propuestos por externos.

4. El contexto de diseño propuesto

A partir del segundo semestre de 2017, se presentó una oportunidad que ha derivado en la experiencia que se reporta aquí. Gracias al acercamiento entre representantes del municipio de San Pedro de Los Milagros y la Facultad de Ingeniería Mecánica, surgió la idea de aprovechar necesidades reales del sector agrícola y agroindustrial del municipio como contexto real para implementar el ABP en el curso de Diseño Mecánico. El municipio de San Pedro de los Milagros está ubicado aproximadamente a 40 km al noroccidente de Medellín. El municipio tiene una vocación agrícola, combinando producción de lácteos con agricultura de diferentes frutas y otros productos del campo. Este municipio ha implementado algunas estrategias para enfrentar las crisis que se han tenido a lo largo de la historia, en las que hay algunas temporadas con sobreproducción en la que no se puede aprovechar la producción extra y esta producción se desecha y la abundancia del producto deriva en una caída de los precios.

Para afrontar estos escenarios, el municipio creó *la dirección de desarrollo comunitario y productividad*, encargada de impulsar programas para la mejora de la productividad del municipio. El objetivo del municipio es apoyar las iniciativas que buscan generar valor agregado a la producción agrícola. Estas iniciativas productivas se encuentran en diferente grado de desarrollo e implementación, todos los emprendimientos han empezado a adquirir equipos apropiados para sus labores, sin embargo, en todos los casos las labores requieren un alto porcentaje de trabajo manual y el uso de herramientas muy simples. Es un entorno lleno de necesidades y oportunidades, pero donde los emprendedores no necesariamente las han identificado todas, no las tienen restringidas o no tienen una solución preferida. Esta situación hace que estos emprendimientos sean usuarios reales que pueden comunicar a los diseñadores experiencias reales y en un lenguaje que no necesariamente es el lenguaje de ingeniería. También brindan un entorno que más amigable y menos restrictivo que el que se suele encontrar en grandes empresas.

5. La experiencia en San Pedro de los Milagros

Actualmente el curso no propone un problema definido para resolver, sino que el curso expone a los estudiantes a un contexto real con necesidades reales y los estudiantes deben analizar esas necesidades en contexto y definir el problema que van a resolver del semestre. Para orientar el proceso, sin embargo, como necesidad inicial genérica se ha propuesto el enunciado:

“Implementar, mejorar o cambiar sistemas en un proyecto productivo para ayudar a dar valor agregado a la producción agrícola en el municipio de San Pedro de los Milagros”.

Este enunciado es clara e intencionadamente abierto y no da dirección del tipo del sistema específico que deben abordar los estudiantes. Sin embargo, es presentado a los estudiantes desde la primera clase del curso y se les explica que una de las primeras competencias a desarrollar es la capacidad de identificar necesidades u oportunidades específicas y plantear problemas que pueden ser resueltos a partir de sus conocimientos.

Para este curso son indispensables las visitas de campo. La dinámica durante la primera visita es que los microempresarios expliquen a los estudiantes en qué consiste su empresa, qué procesos llevan a cabo, qué limitaciones tienen actualmente y qué proyecciones tienen para la empresa. Se incentiva a los estudiantes a que de forma organizada hagan preguntas pertinentes y observen cuidadosamente el entorno. A partir de esta sesión cada grupo debe llegar a un consenso sobre qué necesidad abordar. Una consecuencia de esta aproximación es que es poco probable que todos los equipos de trabajo terminen desarrollando el mismo tipo de sistema mecánico.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las necesidades que han abordado los diferentes equipos de trabajo durante el semestre 201910. Si se construye una tabla ampliada de todos los semestres, el comportamiento es similar en cada uno de ellos. Se evidencia en las filas de la tabla la divergencia que se presenta. Todos los estudiantes son expuestos al mismo contexto y se les presenta la misma necesidad genérica inicial. Sin embargo, en la cuarta columna se observa que los grupos se empiezan a decantar por necesidades específicas diferentes. Incluso, si dos equipos coinciden en la necesidad específica a resolver, definen y desarrollan soluciones diferentes. Esta diversidad es vista como un elemento positivo, y la autonomía que tienen los grupos de trabajo para definir su camino suele ser un elemento motivador.

A partir de esa primera inmersión, y el trabajo que los llevó a orientarse hacia una necesidad concreta. Los estudiantes deben definir el problema a resolver y una arquitectura funcional, como se ilustra en el ejemplo de la Figura 1.

Tabla 1. Resumen de empresa visitada y necesidades abordadas durante el semestre 201910

Semestre	Contexto/ Microempresa	Número de equipo	Necesidades definidas a partir de la información de usuario	Función principal del sistema propuesto	Solución desarrollada	Nivel de desarrollo final
201910	Productora de guacamole. Es propiedad de dos socios y adicionalmente tienen alrededor de cuatro empleados. Su producto es el guacamole y necesitan aumentar su capacidad de producción para cubrir la demanda. Equipos industriales: molino, dosificadora, empacadora, licuadora. Los demás equipos son equipos domésticos y herramientas manuales.	Equipo 1	Aumentar la velocidad del lavado de los aguacates	Lavar y desinfectar aguacates	Sistema de tanques estáticos para pre-enjuagado y desinfección. Tanque con rodillos y chorros para el lavado	Diseño paramétrico con variables de proceso, diseño básico en CAD y presupuesto básico
		Equipo 2	Disminuir el esfuerzo de los trabajadores asociado al transporte de materias primas dentro de la planta de producción	Transportar materia prima entre procesos exitentes	Carro manual transportador y elevador, con superficies intercambiables para el transporte de materias primas	Diseño paramétrico con variables de proceso, diseño básico en CAD y presupuesto básico
		Equipo 3			Integración de la maquinaria existente en una configuración de cascada, aprovechando la gravedad para el transporte de la materia prima	Diseño paramétrico con variables de proceso, diseño básico en CAD y presupuesto básico
		Equipo 6	Aumentar la velocidad del proceso de despulpado de los aguacates	Separar la pulpa de la cascara del aguacate	Presna manual con posibilidad de versión activada por motor	Diseño paramétrico con variables de proceso, boceto en CAD y presupuesto básico

Estas tareas hacen parte del diseño conceptual y se busca que utilicen otras herramientas como consulta de fuentes de información, entrevistas, House of Quality, bocetos, técnicas de ideación, etc. Se hace énfasis en el análisis y comprensión de los requerimientos del usuario y se incentiva tener una comunicación constante con el cliente. Adicionalmente, la Facultad de Ingeniería Mecánica suministra el transporte para llevar a cabo varias visitas de campo durante el semestre.

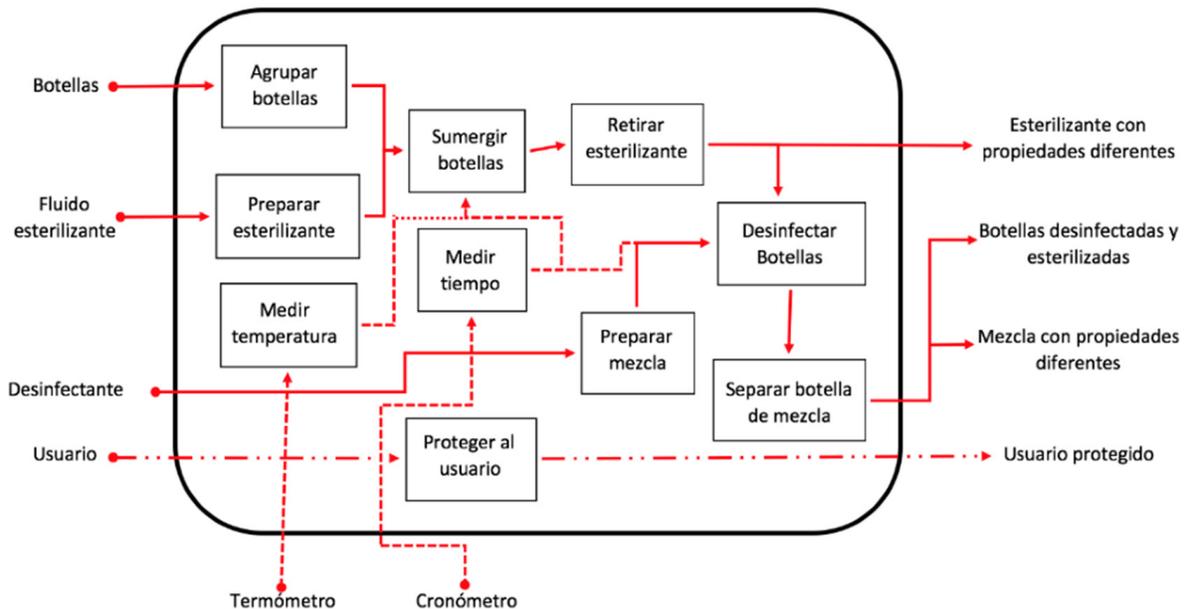


Figura 1. Arquitectura funcional para un sistema de esterilización y desinfección de botellas.

A partir de la arquitectura funcional se inicia la aplicación de herramientas orientadas hacia el diseño básico. La idea consiste en generar un banco de alternativas de solución para cada una de las funciones. La herramienta principal es la matriz morfológica, acompañada de procesos de ideación. Se incentiva a los estudiantes a utilizar herramientas como los bocetos a mano alzada y evitar el uso prematuro de las herramientas CAD (Figura 2).

Con respecto al diseño de detalle se guía a los estudiantes a que apliquen las habilidades adquiridas en cursos previos, como modelos de cálculo y procedimientos de selección, programación, CAD, CAE, CFD, CAM, etc., que lleven a detallar la solución propuesta y definir adecuadamente su fabricación e implementación. Uno de los ejemplos resaltables ocurrió en el semestre 201720. El contexto fue una microempresa que fabrica pulpa congelada de frutas. Durante una de las visitas se tuvo la oportunidad de conocer uno de los cultivos que estaban relacionados con esa empresa. Aprendiendo de la problemática de los cultivos, un equipo de estudiantes decidió no intervenir necesidades de la planta donde se elabora la pulpa de fruta congelada y concentrarse en el cultivo. Crearon un dispositivo que ayuda a disminuir los desperdicios de mora durante la recolección (Figura 2).



Figura 2. Solución al problema de las frutas dañadas durante su recolección. Incluye prototipo funcional.

Otro ejemplo interesante es el de los equipos 2 y 3 del semestre 201910 (Tabla 1). Los dos equipos buscaron disminuir el esfuerzo de los trabajadores asociado al transporte de materias primas dentro de la planta de producción. El equipo 2 definió su problema de manera que terminaron desarrollando una carretilla elevadora con módulos especiales para transportar materia prima. El equipo 3 propuso la integración de la maquinaria existente por medio de una configuración en cascada, de modo que se minimizara la necesidad de transportar las materias primas de forma manual entre los procesos (Figura 3)



Figura 3. Soluciones divergentes para la misma necesidad inicial

6. Hallazgos positivos, aspectos a mejorar y retroalimentación de los estudiantes

El desempeño de los estudiantes durante el curso durante los diferentes semestres de la experiencia permite sugerir varios elementos. Por un lado, los estudiantes se apropian de mejor forma de los problemas, dado que no es un problema artificial y no está lleno de supuestos. Eso se nota en la motivación que tienen para afrontar el reto. Comprender por qué es importante la interacción con el usuario y entender la importancia de sus requerimientos hace que los estudiantes se motiven más a encontrar soluciones viables al problema que ellos mismos definieron.

Tener esta experiencia en un contexto real ayuda a que el docente no tenga que demostrar tanto por qué es importante interpretar los requerimientos de usuario, sino que los estudiantes se dan cuenta de que a diferencia de los problemas de los libros, la información está incompleta y el problema es abierto. El docente se libera de la responsabilidad de crear problemas realistas y se puede concentrar en hacer el acompañamiento al proceso ejecutado por los estudiantes. La experiencia de sacarlos del barrio privilegiado de la ciudad donde estudian y habitan y llevarlos

a otros entornos donde hay problemáticas reales y donde se puede ver también que los ingenieros podrían generar impactos positivos en diferentes comunidades.

Es importante generar la interacción con el usuario lo más temprano posible para maximizar el aprovechamiento de las 16 semanas del semestre y que los estudiantes puedan tener el mayor nivel de desarrollo posible de sus propuestas. Otro reto es que las propuestas que hacen los estudiantes no se queden en modelos CAD. Sería deseable encontrar estrategias materializarlas y que el impacto en los emprendimientos sea tangible. La forma en que los estudiantes comunican sus propuestas frecuentemente no hace justicia al trabajo que han hecho, esto puede generar la percepción de que los trabajos no han tenido el empeño y profundidad adecuados. Deben reforzarse, también, las competencias de comunicación.

Parte de la retroalimentación del curso se obtiene al final directamente de los estudiantes por medio de encuestas anónimas y se tienen diferentes tipos de comentarios, algunos positivos y otros no tanto. Parte del espíritu de esos comentarios ya está reflejado en los hallazgos positivos y los aspectos a mejorar presentados anteriormente. Según estos comentarios, el potencial de impacto es llamativo para ellos, por ejemplo, un estudiante indica que *“Me gustó que el proyecto impactara algo real y que nuestro trabajo pueda ayudar a la gente”*. También la interacción con usuarios reales tiene buena percepción, un estudiante indica que *“Con el curso pudimos ver muchas cosas de más sumamente importantes que tiene que ver en la ingeniería para que un proyecto sea exitoso, como por ejemplo toda la parte humana/cliente/usuario y sus necesidades y todo el contexto que hay detrás mucho antes de que importe si un cálculo está bien o no, porque de nada sirve algo calculado que no se acomode a las necesidades existentes de un cliente o de algo que haya que solucionar”*. Sin embargo, por ejemplo, un estudiante manifiesta con respecto al tiempo disponible que *“El tiempo es muy corto y considero que hizo falta organizar mejor los temas para que se dedicara un poco más al diseño de detalle. Si bien, no es el enfoque del curso el detalle, es una parte fundamental para sacar mejores resultados al final”*.

9. Conclusiones

La necesidad de formar estudiantes de ingeniería en diseño es imperativa, como lo ratifican los requerimientos de acreditación internacional. Aparte del requisito, en un entorno como Colombia, el diseño es especialmente relevante dada la gran cantidad de necesidades por atender que pueden beneficiarse de los métodos y la estructura de pensamiento de la ingeniería. La implementación de un curso de diseño mecánico, que explícitamente amplía la concepción tradicional de diseño calculista a diseño de ingeniería centrado en el usuario, es un punto de partida para materializar el ideal de formar futuros ingenieros diseñadores.

El curso gira alrededor de la metodología de diseño y del aprendizaje basado en problemas. Sin embargo, debido a que las metodologías de diseño son una representación aproximada de un proceso esencialmente humano, conocer metodologías no es suficiente. Asimismo, la aplicación de aprendizaje basado en problemas no es trivial y no garantiza por sí misma una transformación positiva en el estudiante. A partir de las experiencias de interacción entre estudiantes de diseño mecánico y pequeños productores del municipio de San Pedro de los Milagros, se encuentra que

la generación de problemas de diseño, la aplicación de los métodos de diseño y la creación de un entorno de aprendizaje donde el estudiante es el centro del proceso de formación suceden de manera natural.

Se ha notado que las versiones del curso mejoran paulatinamente, por ejemplo, en el alcance y el nivel de completitud del resultado final. Sin embargo, entre los asuntos que requieren atención para versiones futuras está el prestar más atención al impacto generado en los emprendimientos, en este momento no se tiene evidencias de impacto social real; aunque sí se ha notado que este tipo de interacciones sensibilizan al estudiante y hacen un aporte a su experiencia profesional que ven como valioso. Se ha encontrado que la variable clave de todo el proceso es generar una interacción sostenida en el tiempo con los pequeños productores; particularmente, la disposición del municipio y la Universidad y la cercanía a Medellín han permitido mantener esta interacción. Comparativamente, otras variables, como los métodos, los alcances y demás detalles relacionados con el curso solo han sido susceptibles de mejorar a través de las distintas iteraciones a lo largo del tiempo.

10. Referencias

- Bucciarelli, L. L. (1988). An ethnographic perspective on engineering design. *Design Studies*, 9.
- Cross, N. (2008). *Engineering design methods: strategies for product design*. Wiley.
- ICFES. (2016). *Marco de referencia para la evaluación, ICFES. Módulo Diseño en Ingeniería Saber Pro*. Bogotá, D.C.: ICFES.
- Norman, D. A. (1986). *User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. NJ: Lawrence Earlbaum Associates,.
- Norton, R. L. (2000). *Diseño de maquinaria*. McGraw-Hill.
- Pahl, G. a. (1999). *Engineering Design*. London: Springer.
- Ullman, D. (2009). *The Mechanical Design Process*. McGraw-Hill Education.
- Ulrich, K. T. (2011). *Design: Creation of Artifacts in Society*. University of Pennsylvania.

Sobre los autores

- **Elkin A. Taborda:** Ingeniero Mecánico, Máster en Ciencias en Ingeniería Mecánica de la Universidad Purdue, Docente titular de la Universidad Pontificia Bolivariana. Miembro del grupo de Automática y Diseño. elkin.taborda@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.
- **Diego A. Flórez:** director de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Docente titular de la Universidad Pontificia Bolivariana. Miembro del grupo de Automática y Diseño. 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)