



**Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness**

***Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global***

USO DE LA INGENIERÍA INVERSA COMO METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA EN LA FORMACIÓN PARA LA INNOVACIÓN

Diego Alonso Ramos Acosta

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Bogotá, Colombia**

Resumen

La ingeniería inversa estudia o analiza un producto disponible en el mercado (software, dispositivo electrónico, pieza mecánica, estructura, etc.) con el fin de conocer detalles de su diseño, construcción y operación. La ingeniería inversa usada como una forma de producir una versión mejorada del producto y no con el objetivo de producir una copia, como lo ha demostrado Corea y otros países asiáticos ha resultado ser no solo una excelente herramienta para la innovación, sino también una efectiva estrategia de enseñanza para adquirir las competencias de diseño e innovación requeridas en la formación de ingenieros.

El propósito de este trabajo es mostrar los beneficios de incluir la ingeniería inversa como metodología de enseñanza en la formación para la innovación, realizar una propuesta de actividades y con un ejemplo mostrar cómo se podría implementar ésta en el currículo de algunos programas de ingeniería.

Son habilidades que se adquieren al realizar ingeniería inversa: entender de manera holística un producto de ingeniería, plantearse hipótesis, revisar los conceptos físicos y realizar experimentación para validar las hipótesis, y proponer nuevas mejoras sobre el diseño, construcción y operación del producto. Estas competencias son fundamentales en los futuros profesionales, para el desarrollo eficaz de las innovaciones requeridas en las empresas.

En este trabajo se expone la ingeniería inversa como una estrategia para el aprendizaje activo (Active learning) y para el aprendizaje Top-down, se realiza un análisis de algunos casos de universidades que la han incluido en algunas asignaturas.

Palabras clave: ingeniería inversa; metodología; innovación

Abstract

Reverse engineering studies or analyzes a commercially available product (software, electronic, mechanical part, structure, etc..) In order to learn about their design, construction and operation. Reverse engineering used as a way to produce an improved version of the product and not with the aim of producing a copy, as demonstrated by Korea and other Asian countries has proved to be not only an excellent tool for innovation, but also an effective strategy education to acquire the skills required for design and innovation in engineering education.

The purpose of this paper is to show the benefits of including reverse engineering and teaching methodology in training for innovation, to make a proposal of activities and with an example showing how you might implement this in the curriculum of some engineering programs.

These are skills that are acquired by reverse engineering: a holistic understanding of an engineered product, formulate hypothesis, review the physical concepts and conduct experiments to validate the assumptions, and propose further improvement on the design, construction and operation of the product. These skills are fundamental to future professionals for the effective development of the required innovations in business.

This paper presents the reverse engineering as a strategy for active learning (active learning) and learning top-down, an analysis of some cases of universities that have been included in some subjects.

Keywords: *reverse engineering; methodology; innovation*

1. Introducción

La ingeniería inversa estudia o analiza un producto disponible en el mercado con el fin de conocer detalles de su diseño, construcción y operación. Se denomina así porque se parte de un producto terminado, el cual se analiza minuciosamente con el objetivo de encontrar el porqué de cada detalle de construcción y funcionamiento, opuesto a los procesos de ingeniería los cuales inician con unas necesidades o requerimientos y finalizan con un producto. Los productos que con mayor frecuencia se analizan son el software y los dispositivos electrónicos, pero también es posible un puente, un edificio, un automóvil, un proceso químico o cualquier producto de ingeniería.

Se ha utilizado en el desarrollo de la ingeniería, como es el caso de: muchas empresas de producción que iniciaron copiando un producto, y posteriormente optimizándolo, las industrias militares que mejoraron su tecnología a partir del material de guerra incautado a los ejércitos enemigos, o Israel que en los años setenta recibía prácticamente la totalidad de armamento de Francia y luego de ganar la guerra de los Seis Días el presidente francés Charles de Gaulle declaró un embargo a la venta de armas a Israel, por lo que tuvo que desarrollar su industria militar para defenderse.

Un buen ejemplo del uso de la ingeniería inversa como herramienta de innovación es el caso de Corea del sur(Rockefeller Foundation, 2003), cuyo acierto fue promover el flujo de la tecnología en el país para conservar la independencia de los países desarrollados y sus tecnologías, manteniendo restricciones a la inversión extranjera directa, importando bienes de capital de los países avanzados,implementandolas fábricas llave en manoy no pagando licencias de productos que podían obtener a través de la ingeniería inversa.

Al revisar la historia del desarrollo de los países industrializados la ingeniería inversa se puede ver como una buena práctica para imitar. Apropiar y copiar la tecnología industrial ha sido una tendencia que han utilizado los países a lo largo de la historia del capitalismo moderno: durante el siglo XIX, Estados Unidos, Alemania, Francia y los países nórdicos desde Inglaterra; durante la segunda mitad del siglo XX los países del este asiático desde Estados Unidos, Europa y Japón; actualmente los países del este europeo, China e India (Kalmanovitz, 2007). Al analizar el proceso histórico que ha sufrido Colombia del paso de una sociedad industrial a una sociedad post industrial (Cárdenas Zorro, 2011), se vislumbran algunas de las causas del atraso tecnológico: la primera es que no ha existido un esfuerzo sistemático para apropiarse y copiar tecnologías y mucho menos para crear un conocimiento e innovación propios, la segunda la industrialización tardía de Colombia, la cual tuvo lugar mucho después de que se hubieran realizado las cuatro primeras revoluciones tecnológicas (revolución industrial, del vapor, del acero, y del petróleo), y la última, que las tecnologías que llegaron al país de cada una de estas revoluciones ya estaban en su etapa de plena madurez o acercándose a la misma.

Finalmente, el Centro para la Ciencia, la Políticas y el Desarrollo de la Fundación Rockefeller en los resultados del proyecto para el Programa de Inclusión Global, destinado a mejorar la comprensión de las conexiones entre las políticas de ciencia y tecnología y las perspectivas de desarrollo de los países pobres muestra la ingeniería Inversa como una herramienta en los sistemas de innovación en los países. (Rockefeller Foundation, 2003).

2. Propuesta

Al revisar los sistemas de innovación de varios países una de las conclusiones del proyecto para el Programa de Inclusión Global de la Fundación Rockefeller identificó que “El grado en el cual las empresas de los países en desarrollo pueden acceder al conocimiento global dependerá más de sus habilidades para la ingeniería inversa, la imitación y otras formas de asimilar y adaptar las tecnologías de los países desarrollados” (Rockefeller Foundation, 2003) surge la idea del trabajo: ¿Cómo lograr en el país habilidades para la ingeniería inversa?

Si muchas de las empresas en países en vías de desarrollo han iniciado copiando desarrollos tecnológicos de otras empresas de países desarrollados y posteriormente han iniciado un estudio detallado sobre el producto, conducente a entender mejor, modificar y mejorar el funcionamiento y la forma de producción; la pregunta es ¿Porque no desarrollar y enseñar en las universidades metodologías de ingeniería inversa que sirvan como motor de la innovación?

3. Ingeniería inversa como metodología

La ingeniería inversa es considerada como un producto de aprendizaje activo (ALP), los cuales son lecciones prácticas, demostraciones, objetos, herramientas multimedia, proyectos cortos, tareas y actividades que ofrecen enfoques alternativos y material complementario a las clases típicas de libros de texto en las áreas de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas. (Linsey, Talley, Jensen, & Wood, 2009)

Las metodologías para enseñar a leer se pueden plantear de tres formas, primero entendiendo la lectura de acuerdo al modelo lineal modular (*bottom-up*), como un proceso detallado de percepción secuencial y de identificación de letras y palabras que forman frases, segundo de acuerdo al modelo holístico

constructivista(*top-down*), como un proceso de formulación de hipótesis a partir de los conocimientos y experiencia del lector y su verificación, o finalmente de acuerdo al modelo interaccionista que surge de una combinación de los dos anteriores. Haciendo la analogía, la propuesta de incluir la Ingeniería inversa como metodología, es resultado de entender la enseñanza de la ingeniería como un proceso *Top-Down*, en contraste con los planes de estudio que tradicionalmente se orientan como un proceso *bottom-up*, comenzando por conceptos de ciencias básicas, los cuales se van enlazando para entender conceptos más complejos, que a su vez se articulan en aplicaciones de ingeniería.

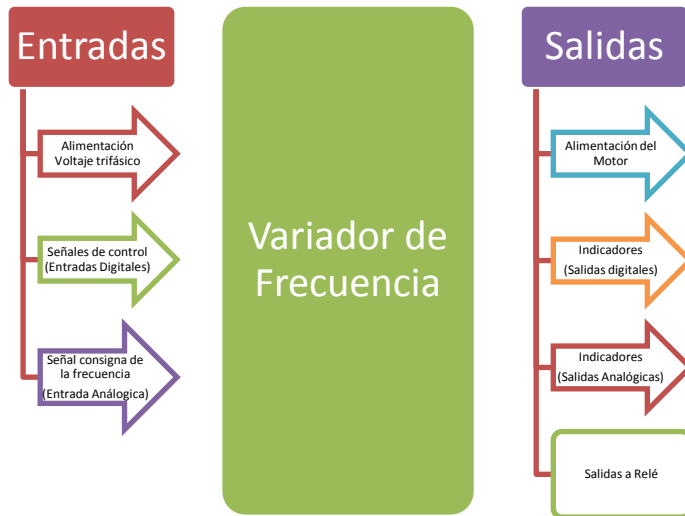
Así como en un principio se entendió el proceso lector como un proceso *bottom-up*, en los ochenta se comenzaron a encontrar mejoras al comprenderlo como un proceso *top-down* y posteriormente a principios de los noventa aumentaron los argumentos a favor del carácter complementario de ambos procesos, la idea es apuntar a entender la enseñanza de la ingeniería como un proceso complementario.

4. Implementación de la propuesta

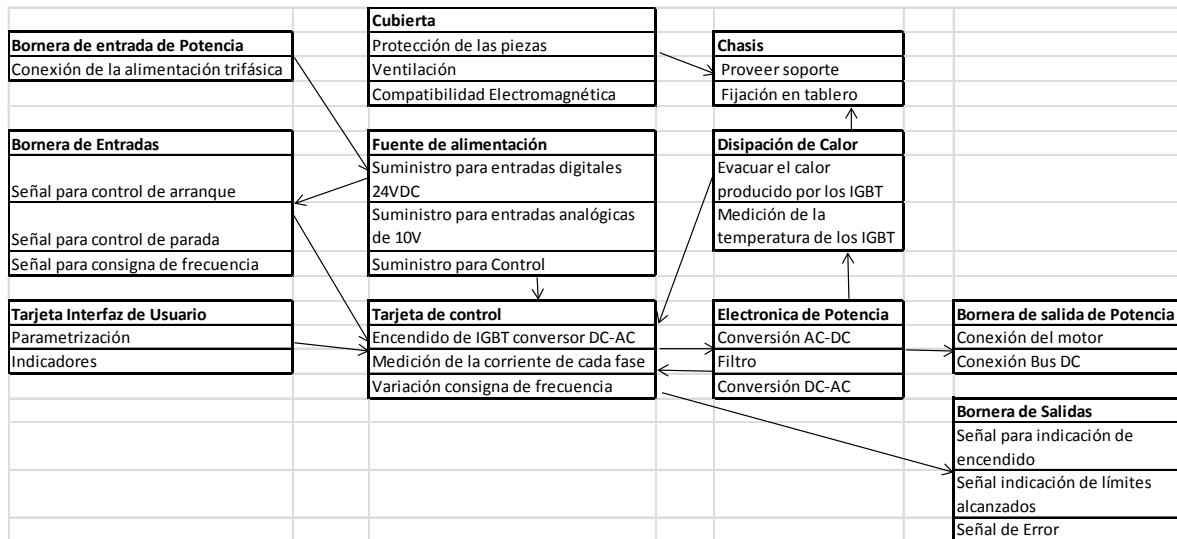
Al pensar en una solución al problema, se planteó la opción de incluir la Ingeniería Inversa en los currículos de los programas de ingeniería, se realizó una revisión bibliográfica encontrando varios ejemplos del uso de la ingeniería inversa como metodología de enseñanza: en cursos de diseño en ingeniería en la Universidad de Texas, el Instituto técnico de Massachusetts MIT, y la Academia de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, mostrando beneficios en cuanto a motivación al diseño y la innovación. (Wood, Jensen, & Bezdek, Jul 2001), como curso en el primer año de ingeniería (Wanamaker & Miller, 2012) y no solo a nivel universitario si no en el grado 12 a nivel de secundaria en los cursos de introducción a la ingeniería (White, 2011) , donde se mostró como una herramienta para integrar conocimientos de Matemáticas, Ciencias y Tecnología.

Tomando como base las dos primeras etapas de la metodología planteada por Otto y Wood (Otto & Wood, 1998), una de las más utilizadas para cursos de diseño, se plantea una modificación con las siguientes actividades para ser incluida en la formación de ingeniería:

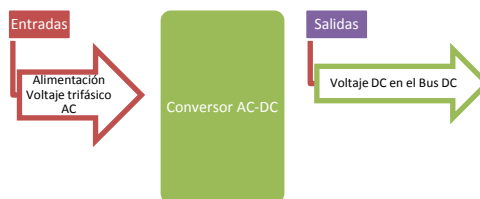
1. El profesor selecciona el producto de uso comercial que use los principios vistos en la clase teórica. Por ejemplo para una asignatura de Electrónica de potencia, un variador de frecuencia es un producto que incluye la conversión de potencia AC-DC y la conversión de potencia DC-AC.
2. Los estudiantes toman el manual de funcionamiento y prueban cada una de las funciones, cuestionándose su aplicación y planteándose hipótesis de cómo podrían implementarse. Para el ejemplo del variador, hay una función que se ofrece que es la protección térmica del motor, la pregunta sería: ¿Si solamente se observan los cables de alimentación hacia el motor, cómo hace el variador para ofrecer una protección térmica?
3. Elaboran un modelo de caja negra, es decir entender el producto como un sistema compuesto de entradas y salidas.



- Desensamblan el producto. En esta etapa es muy importante observar las precauciones de seguridad y si es posible los manuales de mantenimiento del producto. Para el ejemplo es muy importante tener en cuenta las precauciones para el manejo de altos voltajes DC y AC.
- Identifican y agrupan los subsistemas, componentes, funciones, interacciones y flujos de energía (uniones, cables, datos, etc.). teniendo en cuenta en el paso 2.



- Desarrollan diagramas de cuerpo libre para cada uno de los componentes., es decir un modelo de caja negra



7. Plantean los principios que rigen el trabajo de cada uno de los componentes. Para el ejemplo se revisan en un libro de electrónica de potencia los conceptos de un convertidor de AC-DC.
8. Mediante la experimentación se validan cada uno de los diagramas planteados. Para el ejemplo es posible alimentar el variador y observar con un osciloscopio o un multímetro las señales de entrada y salida.
9. Se analizan cada una de las especificaciones de ingeniería del producto, estudiando de qué componentes dependen y realizando los cálculos de diseño. Para el ejemplo si se analiza la especificación de potencia máxima se concluye que tiene que ver con las corrientes máximas que pueden alcanzar los dispositivos de potencia del convertidor AC-DC y DC-AC

5. Conclusiones

La ingeniería inversa es una metodología que puede aportar a la enseñanza de la ingeniería si se considera ésta como un proceso *top-down*, mostrando al estudiante no solo los conceptos que rigen el funcionamiento de un producto sino todo lo que implica su diseño y fabricación.

Tiene mayores habilidades para la innovación un estudiante con una visión holística de un producto, el cual llevado por la curiosidad o por la necesidad profundiza en cada uno de los aspectos y áreas del conocimiento involucrados, que un estudiante que comienza por ver los conocimientos básicos, e intenta enlazarlos, aplicarlos e integrarlos en un producto.

Entender de manera sistémica un producto de ingeniería, plantearse hipótesis, revisar los conceptos físicos y realizar experimentación para validar las hipótesis, y proponer nuevas mejoras sobre el diseño, construcción y operación del producto son habilidades que se adquieren al hacer ingeniería inversa. Estas competencias son fundamentales en los futuros profesionales, para el desarrollo eficaz de las innovaciones requeridas en las empresas.

6. Referencias

- Cárdenas Zorro, M. J. (2011). De la sociedad industrial a la sociedad post industrial: Reflexiones históricas sobre el caso colombiano. *Revista de Negocios internacionales*, 67-90.
- Kalmanovitz, S. (2007). Colombia en las dos fases de globalización. . Seminario Internacional sobre la Globalización. , (pág. 2). La Habana, Cuba. .
- Linsey, J., Talley, A., Jensen, D., & Wood, K. (2009). From Tootsie Rolls to Broken Bones: An Innovative Approach for Active Learning in Mechanics of Materials. *Advances in Engineering Education*, 1-23.
- Oppenheimer, A. (2012). ¡Basta de Historias! La obsesión latinoamericana con el pasado y las doce claves del futuro. Bogotá D.C.: Panamericana.
- Otto, K., & Wood, K. (1998). Reverse Engineering and Redesign Methodology. *Research in Engineering Design*, 226-243.
- Rockefeller Foundation. (2003). Volume 1: Knowledge Flows, Innovation, and Learning in Developing Countries. Recuperado el 18 de Febrero de 2013, de [www.un.org: http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/apcity/unpan017425.pdf](http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/apcity/unpan017425.pdf)

- Wanamaker, T., & Miller, C. (2012). Implementing reverse Engineering Methodology into First Year Engineering Curricula from a Student Perspective. 66th EDGED mid-Year Conference Proceedings (pág. 133). Galveston, Texas: Purdue University.
- White, P. L. (2011). Introduction to Engineering: A Case Study of an Interdisciplinary Course in Mathematics, Science, and Technology. Ontario: Faculty of Education, Brock University St. Catharines.
- Wood, K., Jensen, D., & Bezdek, J. (Jul 2001). Reverse engineering and redesign: Courses to incrementally and systematically teach design. Journal of Engineering Education, 363.

Sobre los autores

- **Diego Alonso Ramos Acosta:** Ingeniero Mecánico, Ingeniero Electrónico, Máster en Ingeniería. Decano de Ingeniería Mecánica. Escuela Colombiana de Ingeniería. diego.ramos@escuelaing.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)