

APLICACION DE LAS TÉCNICAS DE INGENIERÍA INVERSA A LA ENSEÑANZA DEL DIBUJO TÉCNICO

MSc. Juan Manuel Rodríguez Grasso.¹

¹Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.
juanm.rodriguez@umcc.cu.

Resumen

La ingeniería inversa es una metodología para obtener modelos duplicados y/o mejorados a partir de modelos de referencia adquiribles de modo comercial, la cual es comúnmente confundida con la piratería industrial, por lo que no es enseñada en la formación de ingenieros, Sin embargo, el 80% de las tareas de ingeniería en la industria aplican de forma directa o indirecta metodologías afines a la ingeniería Inversa, por lo que el objetivo del presente trabajo es mostrar el estado del arte en la aplicación de las técnicas de ingeniería inversa en la enseñanza de las carreras de ingeniería, así como, la necesidad de implementar las mismas, dada la introducción en Cuba de nuevos planes de estudios, donde los estudiantes tienen una mayor participación en la gestión del conocimiento. Se muestra una experiencia realizada en la enseñanza del Dibujo Técnico en la Universidad de Matanzas en la carrera de Ingeniería Mecánica.

Palabras claves: Ingeniería Inversa; Metodología, Dibujo Técnico.

Introducción.

En la enseñanza de las especialidades de ingeniería, lo común es la impartición de clases teóricas, con la posterior realización de clases prácticas, talleres y seminarios, todo esto apoyado con el empleo de texto y materiales didácticos complementarios para que el estudiante amplíe su aprendizaje. Este proceso está vinculado a la Ingeniería Directa, donde a partir de un grupo de requisitos se calcula y diseña un producto, para su posterior implementación. Esto presenta dificultades en la explicación de fenómenos físicos y principios de funcionamiento que rigen el comportamiento los diferentes dispositivos mecánicos durante el proceso de enseñanza aprendizaje.

En otras palabras la dificultad está en vincular el conocimiento teórico con los elementos de ingeniería práctica. Esta dificultad ha generado en los profesores de ingeniería un interés para optar por nuevas estrategias de enseñanza que despierten en el estudiante la curiosidad para poner en práctica y corroborar la validez de los conocimientos teóricos aprendidos en clase (Carrion et al., 2015).

Por otro lado la introducción de los nuevos planes de estudios E en la enseñanza de las carreras de ingeniería, donde el estudiante tiene que lograr la apropiación del conocimiento sin la intervención directa del profesor, hace necesario instrumentar una nueva visión en los métodos y procedimientos a emplear. Actualmente a escala mundial se están implementando nuevos modelos pedagógicos. Uno de estos modelos es la iniciativa “Concebir, diseñar, implementar y operar”, conocida por sus siglas en inglés como CDIO, que cuenta con una estructura adaptable que se aplica a las necesidades de cada programa académico. Como parte de este modelo, las etapas de concebir y diseñar se pueden desarrollar mediante la metodología de ingeniería inversa, la cual facilita comprender el funcionamiento, el diseño final y conocer los materiales de fabricación de un producto comercialmente accesible. Además, esta metodología le permite al estudiante adquirir los conocimientos teóricos necesarios, alcanzar nuevas habilidades prácticas y desarrollar competencias profesionales pertinentes. (Carrion et al., 2015).

El problema radica en que en el ámbito académico el tema Ingeniería inversa se considera tabú, al igual que en el trabajo diario de los ingenieros por estar muy íntimamente relacionado con el plagio y a la ilegitimidad del producto obtenido, pero; si el producto u otro material que fue sometido a la ingeniería inversa fue obtenido de forma apropiada, entonces el proceso es legítimo y legal. De la misma forma puede fabricarse y distribuirse, legalmente los productos genéricos creados a partir de la información obtenida de la ingeniería inversa, como es el caso de algunos proyectos de software libre ampliamente conocidos. (Wikipedia 2017)

La Ingeniería inversa es legítima en el sentido de que busca obtener información acerca de cosas, productos componentes de sistemas. Las malas prácticas en el uso de dicha

información se deben al hombre y no a la metodología. En este sentido la ingeniería inversa no es sinónimo de piratería (Jiménez, E et al 2010)

Por lo que primero se impone aclarar algunos conceptos y definiciones relacionados con el tema para después dar una visión de su posible aplicación en el campo específico de la enseñanza de la ingeniería mecánica.

Definición de Ingeniería Inversa.

Existen diferentes definiciones sobre el término, La ingeniería inversa se define como el proceso de análisis de un sistema con dos metas diferentes (Gordon y Melvin., 2003).

1) identificar los componentes de dicho sistema y la relación entre ellos. (Gordon y Melvin., 2003).

2) Crear representaciones del sistema de otra forma. (Gordon y Melvin., 2003).

Lefever la define no sólo como un medio para entender el comportamiento físico del producto sino también para comprender la lógica de por qué existe ese diseño (Lefever y Wood 1996). La ingeniería inversa es un proceso que utiliza técnicas en forma de modelos y pautas de desensamble para entender completamente el producto. Es muy común ver que la ingeniería inversa se usa como una herramienta de rediseño de sistemas y productos (Otto y Wood 1998) que pueden llegar a tener alguna mejora en su apariencia o funcionamiento. Simplemente se opta por este tipo de metodología por la evolución que tiene el mercado en cierto tipo de productos. (Carrion et al., 2015).

La ingeniería inversa puede también considerarse como un proceso de sistematización; esto es, un proceso que pone de manifiesto o explicita las relaciones objetivas entre los elementos y las relaciones que hacen posible la existencia de un objeto, para para posteriormente construir un modelo de dicho objeto (Jiménez, E. et al 2007)

La ingeniería inversa en el proceso de enseñanza aprendizaje.

La implementación de la ingeniería inversa como estrategia de enseñanza ya ha sido aplicada en universidades (Torres, 2008), normalmente de ingeniería, para que los estudiantes comprueben todo tipo de teoría aprendida (Jiménez et al., 2010).

Ejemplo de ellos tenemos 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 et al 2001), como curso en el primer año de ingeniería (Wanamaker y 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.

También la escuela Colombiana de ingeniería ha implementado el uso de los métodos de ingeniería inversa en temas como transferencia de calor (Carrion et al., 2015). Y se han presentado trabajos en eventos sobre la metodología a emplear para la formación en la innovación

La universidad de mejicana en el estado de Sonora ha empleado las técnicas de ingeniería inversa en la enseñanza de la Metrología. Dimensional (Jiménez, E et al 2010), presentando los resultados en simposios y eventos.

En la actualidad 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, J. et al.2009). 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. (Ramos D. 2013).

Objetivos de la ingeniería inversa en la educación

Dentro de los objetivos fundamentales que se persiguen con el empleo de este método El modelo de educación en ingeniería CDIO en sus estándares de creación plantea que su objetivo es la formación de estudiantes capaces de: (CDIO Initiative, 2010)

1. Dominar un profundo conocimiento operativo de los fundamentos técnicos.
2. Ser líderes en la creación y operación de nuevos productos y sistemas.
3. Conocer la importancia y el valor estratégico de la investigación y del desarrollo tecnológico de la sociedad

Objetivos Académicos para diseccionar productos.

Los objetivos académicos para diseccionar productos pueden encontrarse al responder la pregunta: ¿Por qué diseccionar objetos? (Torres, G. 2008).

- Para arreglarlos
- Por curiosidad
- Para aprender a partir de éxitos y fallas reales de ingeniería.
- Para conocer como está hecho el objeto, de tal manera que se puede documentar el diseño y duplicarlo (Ingeniería inversa) o para mejorarlo (rediseño).
- Para desarrollar habilidades de razonamiento visual y aptitud mecánica básica.

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. . (Ramos D. 2013).

Importancia desde el punto de vista económico.

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 (Ramos D. 2013).

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 M.J, 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 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.

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, como 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 de forma independiente para mantener su estatus.

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, implementándolas fábricas llave en mano y no pagando licencias de productos que podían obtener a través de la ingeniería inversa. (Ramos D. 2013).

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).

Al revisar los sistemas de innovación de varios países una de las conclusiones es 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 entonces la idea de ¿Cómo lograr en el país habilidades para la ingeniería inversa?

La respuesta es clara desde el proceso de formación de los futuros profesionales tenemos que crear la mentalidad y las habilidades necesarias que nos permitan asimilar y perfeccionar las tecnologías existente.

Ingeniería inversa como metodología

Ingeniería inversa es extensamente utilizada para propósitos de rediseño, puede también ser utilizada por otras razones, al menos cinco posibles motivaciones detrás de la ingeniería inversa de un producto son: (1) Benchmarking, (2) evaluación y estudio crítico del producto de un competidor, (3) mejoramiento de la calidad, (4) reducción de costos, y (5) simplemente para entender su funcionamiento. (Torres, G. 2008).

Metodología para la implementación de la ingeniería inversa en la enseñanza de la ingeniería.



Existen diferentes propuestas de metodologías para la implementación de la ingeniería inversa en la docencia. Una de las más utilizadas para cursos de diseños es la de Otto y Wood propuestas en el trabajo *Reverse Engineering and Redesign Methodology*. (Otto y Wood 1998). Esta metodología representa un proceso de 10 pasos, y es una recopilación de las más extendidas técnicas de diseño de ingeniería. Fig. 1

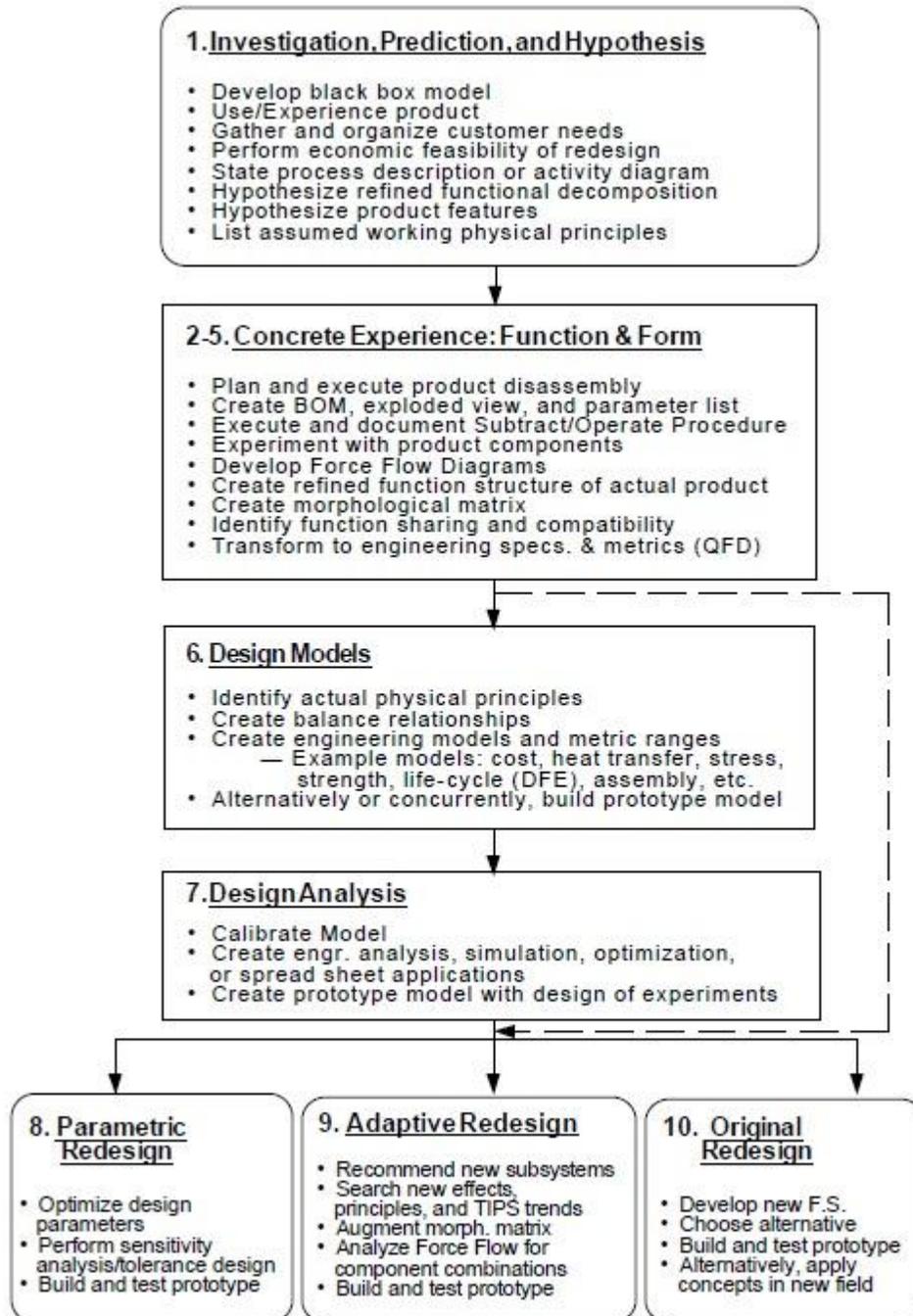


Fig.1 Metodología de ingeniería inversa y rediseño (fuente Leferver D. y Wood K.1996 Design for assembly techniques in reverse engineering and redesign. ASME Design Theory and Methodology Conference).

Diego Alonso Ramos Acosta propone una modificación a esta metodología proponiendo: (Ramos D. 2013).

- 1 El profesor selecciona el producto de uso comercial que use los principios vistos en la clase teórica.
- 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.
- 3 Elaboran un modelo de caja negra (entender el producto como un sistema de entradas y salidas)
- 4 Desensamblan el producto.
- 5 Identifican y agrupan los subsistemas, componentes, funciones, interacciones y flujos de energías
- 6 Desarrollan diagramas de cuerpo libre para cada componente.(modelos de cajas negras).
- 7 Plantean los principios que rigen cada componente.
- 8 Mediante la experimentación se validan los diagramas planteados.
- 9 Se analiza cada una de las especificaciones de ingeniería del producto estudiado, y de que componentes dependen

Torres Giovanni plantea una metodología asociada a la experiencia adquirida con la realización de ejercicios utilizados para la formación en diseño en el semillero de investigación DIREMA (semillero de investigación en diseño y reconversión de máquinas. Universidad Tecnológica de Pereira) en la Facultad de Ingeniería Mecánica en la Universidad Tecnológica de Pereira (Torres, G. 2008).

- 1 Prerrequisitos. Hacen referencia a la necesidad desde el punto de vista académico de realizar actividades previas al ejercicio de deserción.
- 2 Propósito. Hacer con claridad entender los objetivos de la actividad.

- 3 Introducción. Hacer breve descripción del objeto
- 4 Logística. Tener disponibles todos los elementos requeridos para la ejecución de la actividad.
- 5 Seguridad. Aspecto trascendental, involucra no solo los elementos de protección, sino el comportamiento de los estudiantes.
- 6 Procedimiento de deserción Debe existir una guía para el trabajo y los estudiantes seguirán paso a paso la misma.
- 7 Discusión Grupal Aunque se incluye puede o no realizarse.

Cada definición de la ingeniería Inversa debe tener su propia metodología (Jiménez, E et al 2010).

En experiencia realizada en la universidad de matanzas en la asignatura de Dibujo Mecánico

Se implementó la siguiente Metodología

1. El profesor selecciona el producto de uso comercial que use los principios vistos en la clase teórica. (El producto seleccionado fue un motor de combustión interna de los empleados en aeromodelismo).



Fig. 2. Motor MK17. Ruso de aerodelismo

2. Estado del arte (los estudiantes hacen una búsqueda en internet del motor de sus parámetros técnicos).

Modelo MK17

Fabricante URSS

Año de fabricación: 1975

Cilindrada: 1,47 cc

Diámetro: 12.8 mm

Carrera: 11,4 mm

Clase de encendido: Diésel

Tiempos: 2

Tipo de carburador: Fijo (sin regulación de velocidad)

Admisión Válvula Rotativa trasera.

Cojinete: Interior y exterior.

Cigüeñal sobre Carter.

Combustible: Éter 33%, Petróleo 33% y aceite 33%.

Comentarios: Evolución del MK-16 que rápidamente obtuvo un gran éxito por su funcionamiento fiable y fácil arranque. Se fabricó en grandes cantidades y su principal aplicación fueron las escuelas estatales rusas de aerodelismo. Cigüeñal sobre cojinetes de bolas y válvula rotativa trasera

3. Despiece del producto (El cual se realiza con sumo cuidado para garantizar la integridad del mismo, ya que debe ser ensamblado nuevamente y ser funcional).fig.

3



Fig. 3. Despiece Motor MK 17

4. Práctica (Elaboración de la documentación técnica planos de pieza, ensambles y subensambles y creación de modelos tridimensionales todo en el programa AUTOCAD) para la realización de esta fase de la metodología el estudiante tiene que realizar la medición de cada pieza para poder realizar los planos y la modelación tridimensional de los objetos, conocer los materiales de fabricación y proponer tolerancias dimensionales y tolerancias de forma y posición, así como, los ajustes entre las piezas. Algunos ejemplos del trabajo realizado. Fig. 4, Carburador Modelado en 3D, Fig. 5. Plano del carburador. Fig. 6. Modelado en 3D de la camisa del Motor MK17 Fig. 7. Plano de la camisa del motor MK17 con las especificaciones técnicas del producto.

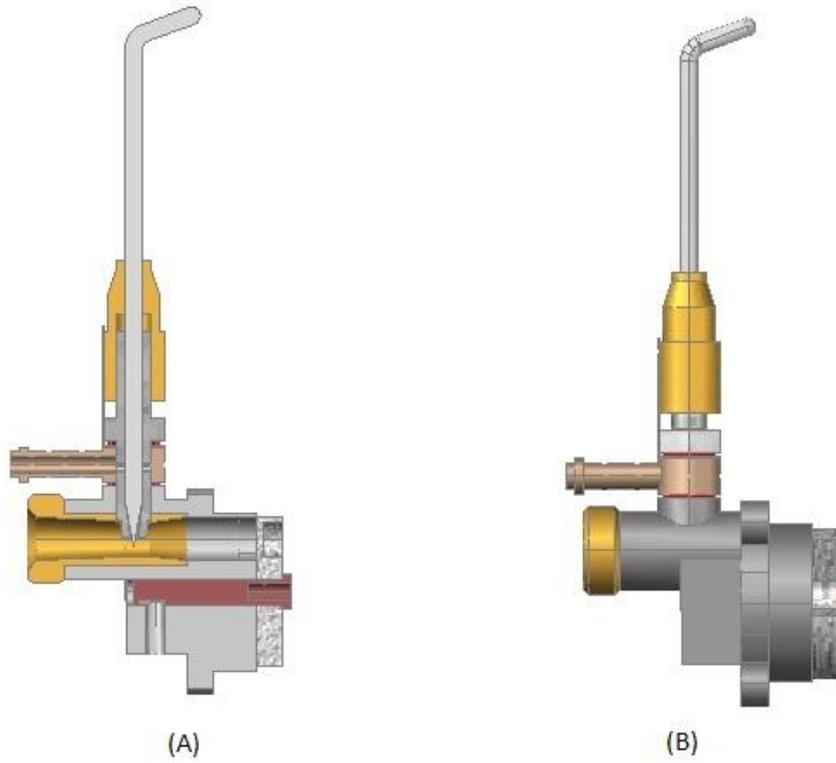
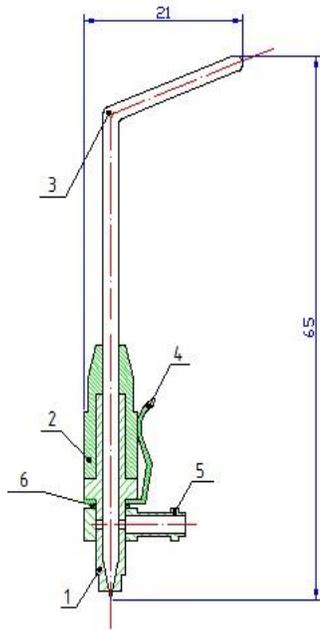


Fig. 4 Carburador MK 17. (A) Seccionado, (B) Sin Seccionar



2	Arandela 4x5	6		
	Articulos normalizados			
1	Entrada de Combustible	5	PP-00-00-12	Aluminio
1	Fijador de Aguja	4	PP-00-00-12	Aluminio
1	Aguja	3	PP-00-00-05	Aluminio
1	Porta Aguja	2	PP-00-00-06	Aluminio
1	Tubo Economizador	1	PP-00-00-24	Aluminio
1	Piezas			
Cantidad	Denominación	Marca	Referencia	Material

Lista de Elementos

Fig. 5. Plano del ensamble del Carburador con la lista de elementos componentes del mismo



Fig. 6. Camisa modelada en 3D con el material asignado

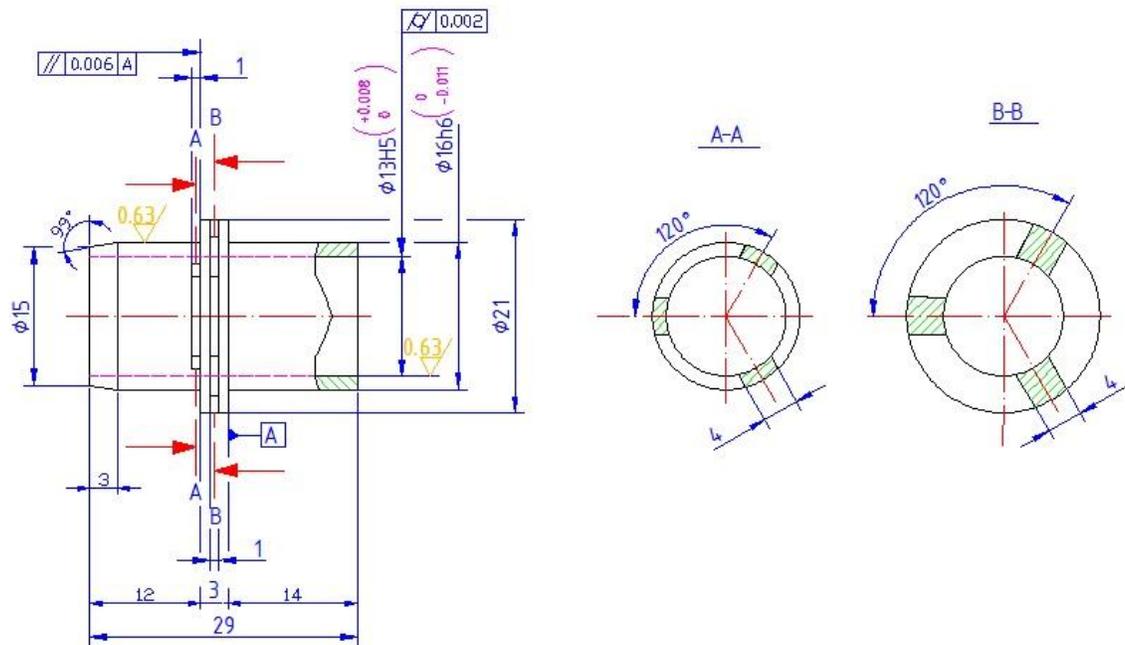


Fig. 7. Plano de pieza de la camisa del motor MK17.

5. Análisis de los resultados Los resultados de este proceso aportan la información necesaria para el diseño y construcción de un modelo de motor con algunas modificaciones y cambios de parámetros. Además se deja abierta la posibilidad de trabajar en otros años de las carrera con otras asignaturas como mediciones técnicas, ciencia de los materiales, diseño y resistencia de materiales, lo que garantiza el vínculo intermateria El profesor evalúa el desempeño de los estudiantes en el desarrollo de la metodología, lo que permite, por ejemplo, generar proyectos que involucren el producto utilizado.

Esta metodología acerca a los estudiantes a las nuevas tendencias en los procesos de diseño de partes empleando el concepto ingeniería inversa que han logrado en los últimos años abrirse campo en medio de los procesos convencionales de diseño. La ingeniería inversa permite digitalizar, analizar, modificar y fabricar productos basados en objetos existentes (Z.Y. Yang and Y.H. Chen.2005)

Conclusiones.

Es importante resaltar que para implementar un modelo de enseñanza como la iniciativa CDIO es necesario empezar por procesos básicos que motiven a docentes y estudiantes a dar y recibir los conocimientos necesarios en el proceso de aprendizaje.

La aplicación de la ingeniería inversa como método de enseñanza le permite al profesor acercar a sus estudiantes a un conocimiento teórico-práctico de los conceptos y procesos que rigen el diseño de elementos de máquinas y mecanismos

La disección de productos puede ser aplicada en la universidad en las carreras de pregrado para mejorar el proceso de la enseñanza del diseño de ingeniería ya que provee actividades prácticas para acoplar los principios de ingeniería con las actividades denominadas “aprender haciendo”, fomentando el desarrollo de la curiosidad y la habilidad manual en los estudiantes de ingeniería.

La ingeniería inversa involucra el metódico desarme y ensamble de un dispositivo, en el cual se documentan, se evalúan y se reportan los resultados alcanzados en el proceso; un paso más allá se alcanza cuando a partir de estos resultados surgen propuestas de modificaciones o mejoras al dispositivo.

Recomendaciones.

Es recomendable no dejar a los estudiantes solos en la aplicación de estas metodologías sino, por el contrario, ayudarlos a aclarar las dudas que se puedan generar sobre el tema para impedir posibles daños que se le puedan causar al producto y que surjan confusiones sobre su funcionamiento.

El trabajo debe realizarse en equipos.

Bibliografía

- CARDENAS, M. J. *De la sociedad industrial a la sociedad post industrial: Reflexiones históricas sobre el caso colombiano*. Revista de Negocios internacionales, 2011 p 67-90.
- CARRION S.; MARTINEZ D; GIOVANNY E; *Aplicación de la Ingeniería Inversa a un problema de curso de transferencia de calor*. Revista Educación en Ingeniería ISSN 1900-8260 Julio a Diciembre de 2015, Vol. 10, N°. 20; PP1-11 © 2015 ACOFI Disponible en: <http://www.educacioneningenieria.org>.
- CDIO Initiative. (2010). *Estandares CDIO v.2.0* (con rúbricas personalizadas). Disponible en: <http://www.cdio.org/files/syllabus/CDIOStandardsv2Spanish%202010.pdf> el 30 de mayo 2014.
- GORDON R; MELVIN A. *Reverse engineering the embryo: a graduate course in developmental biology for engineering students at the University of Manitoba, Canada*. International Journal of Developmental Biology, 2003. 47(2), pp. 183-187.
- JIMÉNEZ, E. LUNA, A. GARCÍA, A. MARTÍNEZ, V. LUNA, G. DELFÍN, J. ARELLANO, L. *La ingeniería Inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la Metrología*. Simposio de Metrología 27 al 29 de octubre México. 2010
- JIMÉNEZ, E, REYES, L. GARCÍA, I. *Algunas consideraciones sobre la ingeniería inversa*. Informe Interno de Investigación, Centro de Tecnología Avanzada de ITESCA, Red Alfa Sonora México. 2006 ISBN: 970-9895-12-5
- JIMENEZ, E, LUNA, A, GARCÍA, L, MARTINEZ, M, SANDOVAL, G, DELFIN, J, Y ARRELLANO, L. *La ingeniería inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la metrología*. Simposio de Metrología, Santiago de Querétano. (2010). Disponible en: <https://www.cenam.mx/sm2010/info/carteles/sm2010-c11.pdf>
- KALMANOVITZ, S. (2007). *Colombia en las dos fases de globalización*. . Seminario Internacional sobre la Globalización. , (pág. 2). La Habana, Cuba. .
- LEFEVER D; WOOD K.. *Design for assembly techniques in reverse engineering and redesign*. 1996. American Society of Mechanical Engineers (ASME), California. Disponible en: http://www.sutd.edu.sg/cmsresource/idc/papers/1996-Design_for_Assembly_Techniques_in_Reverse_Engineering_and_Redesign-DFA_sop_force_flow.pdf.

LINSEY, J., TALLEY, A., JENSEN, D., Y WOOD, K. From Tootsie Rolls to Broken Bones: An Innovative Approach for Active Learning in Mechanics of Materials. *Advances in Engineering Education*, 1-23. 2009.

OTTO, K y WOOD, K. *Reverse engineering and redesign methodology*. *Research in Engineering Design*, 1998 p 226-243.

RAMOS D, *Uso de la ingeniería inversa como metodología de enseñanza en la formación para la innovación* World Engineering Education Forum (WEEF) Cartagena Colombia 2013. Disponible en: <http://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/viewFile/380/189>

ROCKEFELLER FOUNDATION.: *Knowledge Flows, Innovation, and Learning in Developing Countries*. Volume 1. 2003. Disponible en: www.un.org/http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/apcity/unpan017425.pdf

TORRES G. *Ingeniería inversa: una herramienta para la iniciación al diseño*. V Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica II Congreso Binacional de Ingeniería Mecánica 17-20 Junio 2008, Cúcuta, Colombia ISBN 978-958-44-3510-1. Disponible en: <http://www.utp.edu.co/~gtorres/VARDOCS/IngenieriaInversa.pdf>

WANAMAKER, T, y MILLER, C. *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. 2012.

WHITE, P. *Introduction to Engineering: A Case Study of an Interdisciplinary Course in Mathematics, Science, and Technology*. Ontario: Faculty of Education, Brock University St. Catharines .2011.

WOOD, K, JENSEN, D Y BEZDEK, J. Reverse engineering and redesign: Courses to incrementally and systematically teach design. *Journal of Engineering Education* 363 Jul 2001.

Z.Y. YANG Y Y.H. CHEN. "A reverse engineering method based on haptic volume removing". *Comput. Aided Des*. Vol. 37 N° 1 2005. pp. 45-54.

WIKIPEDIA https://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_inversa