

La ingeniería inversa y sus aplicaciones en la educación en ingeniería

Eusebio Jiménez, Saúl Ontiveros, René Moroyoqui, Gabriel Luna y Julio Humberto

E. Jiménez, S. Ontiveros, R. Moroyoqui, G. Luna y J. Humberto
Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, Dr. Norman E. Borlaug Km. 14 S/N, Valle del Yaqui, 85095, Cajeme.
Universidad Tecnológica de Nogales, Sonora, Av. Universidad 271, Universitaria, 84080 Nogales.
Universidad Estatal de Sonora-IPN, Periférico Sur 810, 85875 Navjoa
ejimenezl@msn.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

Abstract

Reverse engineering is a methodology that looking for useful and reliable information about an object, technology or system, in order to know, duplicate and where appropriate enhance the characteristics of the objects. Although it's many applications in teaching and industry, Reverse Engineering is not taught formally in universities, in part because it is confused with piracy and the fact that there are few methods available for teaching. This paper presents the use of Reverse Engineering in teaching and industrial applications in some universities of Sonora. We describe a formal definition and a method associated with the concept of Reverse Engineering. The applications described and the experiences are oriented to duplicate parts and components, and hydrogen fuel cells reverse design.

22 Introducción

Según Ahmad (2001), la ingeniería inversa se describe como aquel proceso por medio del cual una parte existente o un modelo físico es recreado o clonado. La información que se obtiene durante todo el proceso de la ingeniería inversa tiene diversos usos, entre ellos para reproducir una parte o un componente, o bien conocer una máquina o un sistema (Jiménez, García y Montoya, 2006). Para el caso de las partes y los componentes, la ingeniería inversa requiere del análisis geométrico y dimensional, así como del análisis de los materiales.

Por otro lado, la ingeniería inversa desde el punto de vista científico y tecnológico no es una práctica ilegal, pues su uso está justificado en algunas aplicaciones industriales, como por ejemplo en el mantenimiento de equipos, en el duplicado de una pieza equivalente para problemas emergentes, en la asimilación de tecnologías e inclusive una parte del desarrollo de tecnologías se basa en el mejoramiento de las mismas (Luna et al 2011).

Para aplicar en forma eficiente a la Ingeniería Inversa en la obtención sistemática de información acerca de objetos, máquinas y sistemas, es necesario usar herramientas y técnicas de diversas áreas del conocimiento de la ingeniería. La aplicación de muchas áreas del conocimiento y diversas herramientas computacionales y experimentales en el duplicado de una parte o sistema, hace que la ingeniería inversa tenga un amplio potencial en la educación en ingeniería (Jiménez et al 2012). La Ingeniería Inversa se realiza bajo una conjunción o integración de diversas disciplinas, tales como la Metrología, la Ciencia de los Materiales, los Métodos Experimentales de Esfuerzos, el Análisis por Elemento Finito, el Diseño y la Manufactura Asistidos por Computadora entre otras disciplinas. Un proyecto de Ingeniería Inversa formal requiere de la formación de un grupo de trabajo multidisciplinario capaz de aplicar las experiencias y los conocimientos científicos y tecnológicos en la obtención de la información de los objetos, máquinas o sistemas de referencia.

La Ingeniería Inversa, al ser erróneamente confundida con la piratería, ésta como tal no es enseñada en las universidades, cuando menos no de manera formal. Sin embargo, en muchas universidades de todo el mundo los procesos del diseño inverso o ingeniería inversa se utilizan en la enseñanza de la ingeniería.

Por ejemplo, Hamid (2012), usa la ingeniería inversa como herramienta de aprendizaje en el proceso de diseño. Jahan y Dusseau, (1999) usan la Ingeniería Inversa para enseñar a los estudiantes en las diversas áreas en desarrollo de filtros de agua. Sirinterlikci A., Mativo J, (2010) enseñan ingeniería inversa a los estudiantes de ingeniería con aplicaciones no industriales y otros campos de estudio.

En este artículo se presentan algunas aplicaciones de la Ingeniería Inversa en la enseñanza de la ingeniería y en la industria realizadas por las universidades y empresas que conforman las distintas redes de colaboración en el Sur y Norte de Sonora. Se presenta una definición formal y un método de la ingeniería inversa por medio del cual se sistematiza el proceso de obtención de la información de partes y componentes. Se describe el proceso de duplicar una celda de combustible de hidrógeno y algunas aplicaciones al duplicado de piezas mecánicas.

22.1 Método

De acuerdo con Jiménez et al. (2006), no existe una definición única de la ingeniería inversa y tampoco un método universal. Por ejemplo, Borja (1997) la define como sigue:

La Ingeniería Inversa es el proceso de diseñar un sustituto, el cual reemplace de forma aceptable a un producto o parte. En este caso, Ingeniería Inversa es un caso particular de rediseño que se fundamenta en diversos aspectos del producto original y en el análisis de un ejemplar y se aplica cuando el proceso de diseño o la documentación original no está disponible.

Cualquier método de la Ingeniería Inversa debe estar relacionado con su definición. Así, Jiménez et al. (2006), propone que:

La ingeniería inversa es un proceso analítico-sintético que busca determinar las características, y/o funciones de un sistema, una máquina o un producto o una parte de un componente o un subsistema. El propósito de la ingeniería inversa es determinar un modelo genérico de un objeto o producto o sistema de referencia.

Las fases en las que se desarrolla la ingeniería inversa, relacionadas con la definición descrita anteriormente, son (Jiménez et al 2006):

- 1) Fase 1: Conocimiento preliminar del objeto de referencia (A).
- 2) Fase 2: Diseño de un plan de investigación (P).
- 3) Fase 3: Aplicación del plan *P* al objeto de referencia.
- 4) Fase 4: Sintetizar la información generada por el plan, generar el modelo B y demostrar que $B \sim A$.
- 5) Fase 5: Caracterizar el modelo B.
- 6) Fase 6: Usar B para diversos propósitos

O, en forma equivalente:

- 1) Se presenta el objeto de referencia A.
- 2) Se definen las referencias (determinación del conocimiento preliminar acerca de A).
- 3) Se definen los objetivos (requerimientos y la finalidad de la ingeniería inversa).

- 4) Con los pasos 2 y 3, se diseña el proceso de la investigación.
- 5) El producto del diseño del paso 4) es un plan o programa de investigación operativa.
- 6) Se aplica P al objeto A.
- 7) El resultado del paso 6) es información de A.
- 8) Se considera el paso 3) y con los resultados del paso 7) se genera B.
- 9) B es un modelo
- 10) Se verifica, según el paso 3), si B es equivalente a A.
- 11) Se dan las conclusiones, 12) Se reevalúa B y 13) B es aplicable.

Existen otros métodos que se pueden utilizar para el análisis y la caracterización de máquinas. Por ejemplo, Duarte, Martínez y Salazar. (2001), proponen los pasos siguientes:

- A) caracterizar los elementos móviles: constituyen la parte móvil de los mecanismos o elementos transformadores de la energía mecánica mientras fluye a través de la máquina.
- B) caracterizar los elementos fijos: sirven de apoyo a los demás para que estos pueden transmitir la energía mecánica cuando fluye a través de la máquina.
- C) elemento activo: aquel por medio del cual la máquina transfiere o recibe energía mecánica
- D) fuente de energía: puede provenir de un combustible, de un generador eléctrico o de una línea de aire
- E) planta de control: Los elementos que constituyen el componente que recibe señales y da respuesta.

22.2 Resultados

En esta sección se presentan el resumen de algunos proyectos en los cuales se aplicó la metodología de la Ingeniería Inversa para generar información de partes, piezas y dispositivos. El primer proyecto a describir es el duplicado de una pieza didáctica, el segundo proyecto es la obtención de información de un componente industria y, finalmente, el tercer proyecto es la aplicación de la ingeniería inversa a una celda de combustible de hidrógeno.

Pieza didáctica: Descripción: para motivar a los alumnos al aprendizaje de la Ingeniería Inversa, se procedió a aplicar el método descrito por Jiménez et al (2006), a una pieza didáctica (ver Figura 21) usada para las prácticas de la medición.

Figura 22 Pieza didáctica y su duplicado



Los programas particulares de la ingeniería inversa aplicados a la pieza fueron los siguientes (García et al 2008):

- Programa de digitalización (ver Figura 22.1).
- Modelos en CAD (Computer Aided Design).
- Modelos en CAM. (Computer Aided Manufacturing).

Las Figuras 22.2 y 22.3 muestran los modelos CAD y CAM.

Figura 22.1 Programa de digitalización

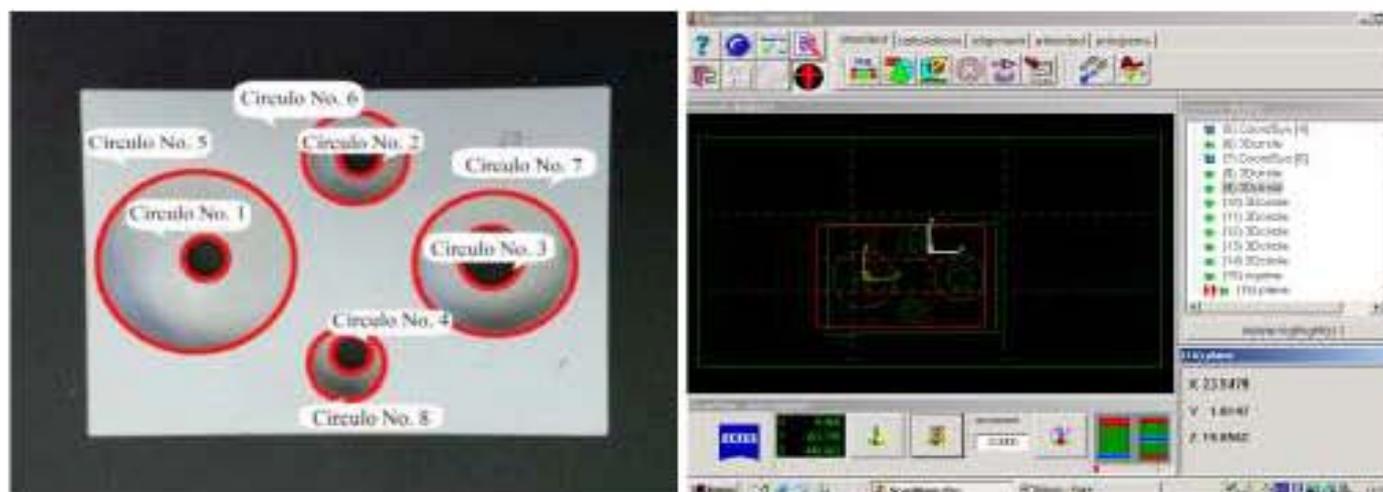


Figura 22.2 Programa de dibujado

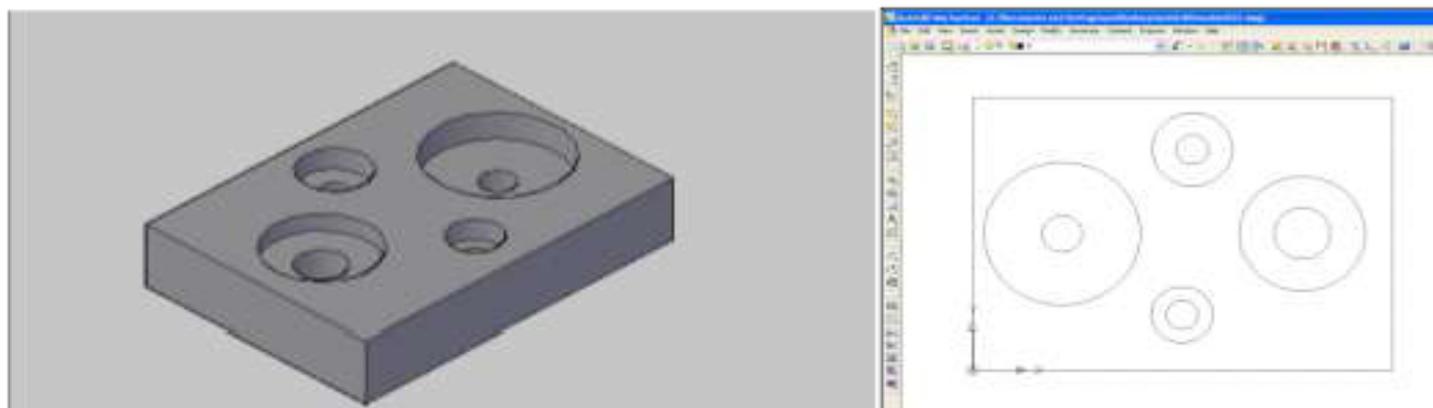
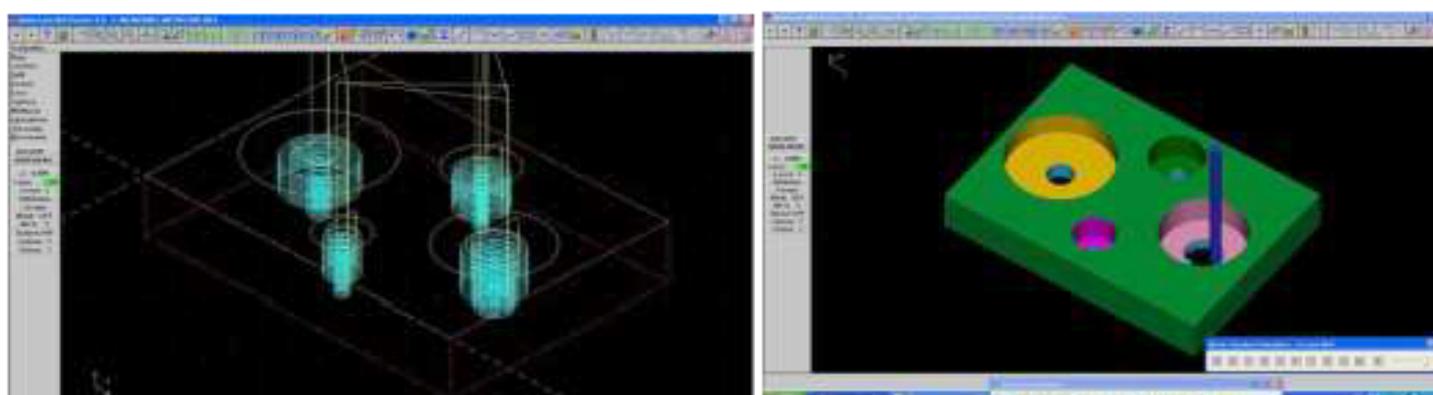


Figura 22.3 Programa de manufactura



Para obtener la información y los modelos de la pieza, fue necesario usar una máquina de medición por coordenadas, software Autocad y Mastercam.

Pieza industrial:

Descripción: el método de la ingeniería inversa desarrollado por Jiménez et al (2006) fue aplicado para obtener los modelos de un producto de un transformador industrial usado para la industria de las telecomunicaciones.

La Figura 22.4 muestra el componente analizado, así como su materia prima. Los programas de la ingeniería inversa consistieron en determinar dos modelos del producto generados por la teoría de primitivas de manufactura desarrollada por Jiménez (2013).

Dichos modelos dependen del número de operaciones principales de manufactura. El dominio de primitivas está compuesto por familias: materias primas (B_{MP}), productos preparados (B_{PP}), materiales agregados y extraídos (B_{MAE}), subproductos (B_{SUB}) y producto terminado (B_{PT}).

Figura 22.4 A) objeto de referencia, B) materia prima base



Para poder aplicar la teoría del dominio de manufactura es necesario identificar el número de operaciones (n). La tabla 22 muestra la naturaleza de las operaciones que se le aplican al transformador.

Tabla 22 Operaciones de manufactura

Operación real de manufactura	Elemento geométrico B_{MAE}	Nomenclatura	Operador boleano parametrizado
O_1 (Montaje de Bobina 1)		B_1	M, B \cup (Unión de montaje de Bobina)
O_2 (Entaipado 2)		C_1	M, P \cup (Unión de montaje de entaipado)

Para $n=2$ se tienen los resultados siguientes:

$$\alpha (B^M) = 2(2n + 1) = 10 \quad (22)$$

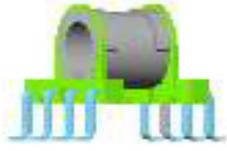
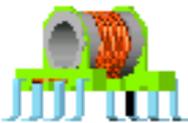
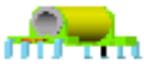
$$\theta (B_{MP^*}) = 2 + (n - 1) = 3 \quad (22.1)$$

$$\theta (B_{PP}) = \theta (B_{MAE}) = \theta (B_{SUB}) = 2 \quad (22.2)$$

$$\theta (B_{PT}) = 1 \quad (22.3)$$

Aquí, $\alpha (B^M)$ es el número de elemento del dominio de manufactura el cual es mostrado en la tabla 22.1

Tabla 22.1 Dominio de manufactura

Materias primas (B_{MP})			
Productos preparados (B_{PP})			
Materiales agregados y extraídos (B_{MAE})			
Subproductos (B_{SUB})			
Producto terminado (B_{PT})			

Por otro lado, sólo existen dos secuencias de operaciones: una admisible (primero la bobina y luego el empapelado) y una no admisible (primero el empapelado y luego la bobina). La ecuación de forma (modelo del producto) asociada con la secuencia admisible es la siguiente:

$$PT \approx B_{SUB2} = ((((A \overset{Pr}{\cup} B_1) \overset{M,B}{\cup} B_1) \overset{Pr}{\cup} C_1) \overset{M,P}{\cup} C_1) \quad (22.4)$$

Aquí, PT es el producto terminado y $\overset{Pr}{\cup}$ es la unión por preparación.

Celda de combustible de hidrógeno.

Descripción: otra aplicación del método de la ingeniería inversa desarrollado por Jiménez et al (2006) fue en el análisis de una celda de combustible de hidrógeno. A continuación se describen los programas de investigación aplicados a dicha celda (Luna et al, 2012):

- 1) P1: Contextualización del objeto de estudio.

Es una unidad formada de diferentes materiales que conforman en su conjunto una celda de combustible, formado de polímeros y metales, particularmente aceros inoxidable y acrílicos (para pruebas experimentales). Los materiales deben escogerse para soportar el proceso químico de la electrolisis. La figura 22.5 muestra el objeto de referencia.

Figura 22.5 Objeto de referencia: celda de combustible



- 2) P2: Búsqueda de información sobre el objeto de referencia.

Necesaria para conocer las propiedades mecánicas de los elementos, la funcionalidad de las partes y el tipo de maquinado utilizado. Esta búsqueda de información es necesaria para el diseño apropiado y el buen funcionamiento de la celda a ser manufacturada.

- 3) P3: Determinación de los parámetros de entrada y salida.

El objetivo de este procedimiento es obtener información sobre los parámetros necesarios que afectan el funcionamiento del objeto de estudio, tales como: hidrógeno, oxígeno, agua y electricidad, según sea el caso de estudio, cabe destacar que existen varios tipos de celdas de combustible, como ya se explicó con anterioridad, el caso de estudio corresponde a una celda de combustible para la producción de hidrógeno y oxígeno por medio de la electrolisis.

- 4) P4: Desmontaje y clasificación de componentes.

Se desensambla el objeto de estudio, parte por parte, estas se van clasificando según el nivel de desensamble, esto es, del primer componente presente en el exterior hasta llegar al interior del objeto de estudio. Este procedimiento tiene el objetivo de caracterizar las partes de conforman el objeto de estudio para sus futuros usos académicos o de manufactura. La figura 7 muestra algunas partes de la celda estudiada.

Figura 22.6 Desensamble de la celda



5) P5: Determinación de las interrelaciones entre las partes.

Interrelacionar componente por componente para conocer la función específica de cada elemento relacionado con otro. Esto se lleva a cabo para tener de manera detallada el componente o parte del objeto de estudio para futuras modificaciones sin afectar a las partes que le sigan o le antecedan.

6) P6: Análisis de las partes y subsistemas

El análisis de las partes tiene como objetivo obtener la información necesaria de las partes: medidas y el material de cada una de ellas con el objetivo de poder utilizar estas medidas en programas de computadora CAD, CAM y/o CAE, de esta forma poderlos utilizar para la manufactura del objeto de estudio.

7) P7: Re-ensamble de las partes.

Con la información del P4 se procede al re-ensamble de cada una de las partes del objeto de estudio. En este paso ya se tiene toda la información obtenida del objeto de estudio gracias a la metodología de la ingeniería inversa. La figura 22.7 muestra la celda en proceso de re-ensamble.

Figura 22.7 Montaje de la celda



8) P8: Documentación.

Se documenta la información de todos los programas implícitos para llevar a cabo el estudio del objeto. Esta documentación será necesaria para futuros casos de estudios donde intervengan partes y subsistemas de un objeto, y para futuras modificaciones en el diseño sin afectar su funcionalidad o aún mejor, incrementando su rendimiento.

22.3 Discusión

La ingeniería inversa debe ser enseñada formalmente en las universidades, no solo por su enorme potencialidad en la educación en ingeniería, si no por sus aplicaciones estratégicas para la asimilación y la innovación tecnológica. Muchos países han usado a la ingeniería inversa como medio para la transferencia tecnológica.

Sin embargo, en México no es fomentada de manera institucional, pues en principio faltan programas gubernamentales de largo plazo que permitan direccionar una estrategia de desarrollo económico basada en el desarrollo de tecnología y, en segundo término, el sistema productivo nacional es maquilador, esto es, la tecnología usada para la producción es generalmente importada y son pocas las innovaciones documentadas que se realizan en las industrias.

En lo que respecta a la educación, es necesario, además de enseñar la metodología y las herramientas que se usan en el proceso de la ingeniería inversa, promover en los alumnos el conocimiento relacionado con protección intelectual, así como el uso de los bancos de patentes para el diseño y la mejora de productos. Es importante señalar que la ingeniería inversa no es una práctica ilegal pues el tratar de conocer una tecnología a fondo no necesariamente es para violar patentes o secretos industriales. No es posible mejorar e innovar una tecnología sin antes conocerla. Lo ilegal es hacer mal uso de la información obtenida por la aplicación de la ingeniería inversa. Finalmente, es necesario saber planear correctamente los programas de investigación de la ingeniería inversa que serán aplicados a los casos de estudio, pues en primer lugar no es mismo duplicar una pieza, parte o componente que un sistema, como es el caso de la celda de hidrógeno analizada. Por otro lado, la ingeniería inversa puede usarse para generar modelos del producto, como fue el caso del transformador para la industria de las comunicaciones. En este trabajo, se obtuvieron una ecuación de forma y un dominio de manufactura del transformador y ambos modelos fueron obtenidos determinando el número de operaciones de manufactura.

22.4 Conclusiones

En este artículo se han descrito algunas aplicaciones de la Ingeniería Inversa a la educación en Ingeniería y a los proyectos industriales. Las principales conclusiones se resumen en los puntos siguientes:

- La Ingeniería Inversa es una metodología que tiene múltiples aplicaciones en la Educación en Ingeniería y en las empresas. En este trabajo se han mostrado algunos ejemplos prácticos del uso de dicha metodología en la obtención de información de partes y componentes, y sistemas (celda de combustible), con resultados positivos. Es necesario que las universidades enseñen de manera formal la Ingeniería Inversa, pues en primer lugar no es una práctica ilegal (sería ilegal si la información obtenida es aplicada violando patentes o secretos industriales) y en segundo lugar, la Ingeniería Inversa es uno de los métodos claves en las estrategias que usan la mayoría de los Países para asimilar e innovar tecnologías.

- Es importante que se diseñen correctamente los programas de investigación de cada caso de estudio al cual se le aplica ingeniería inversa. En este trabajo se muestra la aplicación de un método de la ingeniería inversa general en piezas y en una celda. A pesar que en lo general es el mismo método, en lo particular deben desarrollarse programas específicos para cada caso estudiado.
- En la Educación en Ingeniería, cada profesor, en conjunto con sus alumnos y otros maestros, deben diseñar cada proyecto en donde se aplique la ingeniería inversa, pues cada problema, cada pieza o cada sistema requiere de un análisis y estudio previo y propio para ser analizado.
- Los proyectos educativos donde se aplica la Ingeniería Inversa permiten la discusión sobre propiedad intelectual e industrial, lo que ayuda a los alumnos a comprender las consecuencias de las prácticas ilegales.
- Se requiere desarrollar marcos teóricos y conocimiento sobre la metodología de la ingeniería inversa, pues en México existen pocos estudios sobre el tema, lo que limita las aplicaciones hacia la asimilación y la innovación tecnológica.

22.5 Referencias

Ahmad M. (2001). Engineering framework integrating analysis and design improvement in a reverse engineering framework. International Conference on Engineering Education, Oslo, Norway, pp 6N7-24, 6B-31.

Borja, V. (1997). Redesign Supported by Data Models with Particular Reference to Reverse Engineering, Ph D Thesis, Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University.

Duarte A., Martínez C., Salazar D. (2001). "Metodología que sirve de base para la fabricación de máquinas". V CIDIM, IV CONIM. Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Mérida Venezuela.

García A., Ruiz J., Jiménez E., Reyes E., Luna, G., Ontiveros S., Martínez M., Ochoa F., Carrillo E. (2008). "Clasificación de programas y Modelos de la Ingeniería Inversa: Aplicaciones a un caso de estudio." SOMIM 2008. Puebla, México.

Hamid R. (2012). Reverse Engineering as a Learning Tool in Design Process. ASEE Annual Conference. San Antonio TX, 2012.

Jahan K., Dusseau R. (1999). Reverse Engineering of Water Filters. ASEE Annual Conference and Exposition, Charlotte, NC.

Jiménez E., García L. and Montoya N. (2006). Algunas consideraciones sobre la ingeniería inversa. Informe Interno de Investigación. CETA-ITESCA, RED ALFA. Sonora México.

Jiménez, E., García L., Longorio R., Luna A., Luna G., Martínez V., Delfín J and Ontiveros S. (2012). Development Procedures for the Systematic Measurement of Parts and Components, from an Analytical Programs of Reverse Engineering Perspective. INTERTECH 2012, Timor East.

Jiménez, E. (2013). Una propuesta para la sistematización de los planos de fabricación en la generación de modelos del producto. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México.

Luna G., Jiménez E., García L., Ontiveros S., Reyes L., Martínez V., Delfín J., Lucero B. (2011). Importance of Research Procedure in Reverse Engineering for Engineering Education. Innovations 2011: World Innovations in Engineering Education and Research, ed. W. Aung, et al., iINNER, Potomac, MD, USA; pp. 379-390.

Luna G., Jiménez E., Hernández L., Urriolagoitia G., Luna N. (2012). Ingeniería inversa como una forma de mejorar el desarrollo de la tecnología: el caso de las pilas de combustible de hidrógeno. XII Internacional Conference on Engineering and Technology Education. Timor East.

Jiménez, E. (2013). Una propuesta para la sistematización de los planos de fabricación en la generación de modelos del producto. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México.

Sirinterlikci A., Mativo J. (2010) Teaching Reverse Engineering for Non-Industrial Applications. Annual Conference & Exposition. Louisville, Kentucky.