

LA INGENIERÍA INVERSA COMO METODOLOGÍA PARA POTENCIAR LA ENSEÑANZA DE LA METROLOGÍA

¹Eusebio Jiménez López, ²Alberto Luna Bracamontes, ³Luis Andrés García Velázquez, ⁴Víctor Manuel Martínez Molina, ⁵Gabriel Luna Sandoval, ⁶Juan Delfín Vázquez, ⁷Leonardo Arellano Rivera

¹CINNTRA de la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora-IIMM- Parque Tecnológico SonoraSOFT
Dr. Norman. E. Borlaug Km 14 CP. 85000, (01-644) 414-86-87 Cd. Obregón Sonora, México,
ejimenezl@msn.com

²CADET de la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora
aluna@uts.edu.mx

³Universidad La Salle Noroeste-IIMM
siul_xii@hotmail.com

⁴CADET de la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora-CECATI 94
servihidraulica@hotmail.com

⁵CESUES, SLRC
gabriel.luna@cesues.edu.mx

⁶CETA del Instituto Tecnológico Superior de Cajeme
jjidel1704@hotmail.com

⁷GIDASC de la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora-INNODITEC
leo_ar_1985@hotmail.com

Resumen: En este artículo se discuten algunas problemáticas acerca de la enseñanza de la Metrología dimensional y se presentan algunas consideraciones sobre la aplicación de la Ingeniería Inversa como medio para motivar a los alumnos al estudio sistemático de las mediciones en partes y componentes. Se presenta un método formal de la Ingeniería Inversa, el cual conduce al duplicado de partes y un programa de investigación orientado a la obtención de mediciones del objeto de referencia y al duplicado, el cual puede ser usado como método didáctico para motivar y conducir a los alumnos hacia la enseñanza de la Metrología.

1. INTRODUCCIÓN

En el estado mexicano de Sonora se han establecido empresas automotrices, como es el caso del Clúster de Ford (el más grande del mundo) y de aviación [1], las cuales requieren, por un lado, de prestadores de servicios especializados en Metrología y, por otro lado, de egresados competentes de las Universidades en el campo de las mediciones de partes y componentes. En la actualidad la enseñanza de la Metrología dimensional en las Universidades del sur de Sonora tiene los siguientes problemas: 1) los alumnos conocen muy poco de procedimientos sistemáticos que les permitan obtener mediciones correctas de los productos, 2) se desconoce casi por completo la metodología de la Ingeniería Inversa de partes y componentes, 3) no se tiene clara conciencia de las implicaciones del proceso de calibración de los instrumentos, 4) se tiene poco conocimiento y práctica en Máquinas de Medición por Coordenadas, 5) los alumnos no saben relacionar y contextualizar en forma sistemática la Metrología

con otros campos del conocimiento, como el Diseño y la Manufactura y 6) los alumnos tienen un pobre dominio del marco teórico mínimo requerido para realizar las mediciones y no usan las herramientas estadísticas.

Estos problemas no solo tienen graves implicaciones en los egresados (pues no pueden adquirir las competencias laborales necesarias en el campo de la Metrología), también hay implicaciones en las empresas, pues deben invertir recursos para la capacitación del recurso humano y atrasar proyectos por falta de conocimientos y destrezas.

Una de las estrategias que se puede usar para poder formar y capacitar a los alumnos de Ingeniería en el campo de la Metrología es, primero formarlos en la Metodología (tradicional y científica) de la Ingeniería Inversa [2]. La Ingeniería Inversa es el proceso que se sigue para obtener un duplicado a partir de un objeto de referencia. La metodología de la Ingeniería Inversa puede usarse para orientar y motivar a los alumnos al estudio y las aplicaciones

sistemáticas de la Metrología, puesto que, en primer lugar, el duplicado sistemático de partes y componentes exige que se diseñen programas de investigación especializados [3], por medio de los cuales sea posible obtener información útil y funcional acerca del objeto de referencia (en primer término información dimensional del producto) y, en segundo lugar, porque la Ingeniería Inversa, al intentar duplicar los objetos, requiere de la integración de la Metrología, el Diseño y la Manufactura de componentes, entre otras áreas de la Ingeniería.

La Metrología Dimensional en el contexto de la Ingeniería Inversa, adquiere una gran importancia, pues en principio los programas de investigación relacionados con mediciones se encargan de obtener los datos geométricos y dimensionales (información) de los objetos a ser reproducidos, y de dicha información depende otros programas asociados con el diseño y la fabricación de las piezas. Además, una vez reproducido el objeto de referencia, es necesario realizar pruebas al duplicado y una de ellas es precisamente de mediciones. Para concluir que el duplicado es un modelo representativo del objeto de referencia, las mediciones de ambos deben ser equivalentes [4].

El uso de la Ingeniería Inversa como estrategia para motivar a la enseñanza de la Metrología se ha implementado en algunas Universidades del Sur de Sonora, como la Universidad La Salle Noroeste y la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora [5,6]. Estas universidades cuentan con infraestructura y líneas de investigación en Ingeniería Inversa, lo cual ha contribuido a que la investigación generada sea transferida a las Ingenierías, generando tesis y materiales didácticos.

En este artículo, se describe primeramente un breve marco teórico relacionado con la Ingeniería Inversa y un método el cual puede ser útil para guiar, de manera sistemática, el duplicado de partes y componentes. Se propone un programa didáctico de la Ingeniería Inversa orientado a las mediciones de piezas.

2. Algunas consideraciones sobre la Ingeniería Inversa de partes y componentes.

La Ingeniería Inversa se ha practicado desde que el hombre tiene conciencia de sí mismo y de la necesidad por dominar el mundo que le rodea. A lo largo de la historia del hombre la Ingeniería Inversa ha sido útil para reproducir objetos de guerra, para

el desarrollo y la innovación tecnológica e incluso para malas prácticas con es el caso del espionaje industrial y la piratería. Algunos Países han adaptado la metodología de la Ingeniería Inversa como estrategia tecnológica para el desarrollo de sus regiones productivas, como es el caso de diversos países asiáticos.

Por otro lado, en el campo de la Ingeniería, la tecnología y la educación, la Ingeniería Inversa se aplica cotidianamente (a pesar de que muchas prácticas de la Ingeniería no las reconocen como tal). Por ejemplo las empresas que se dedican al diseño de equipo original, regularmente usan algunos programas de la Ingeniería Inversa para el desarrollo de los productos. Otro ejemplo del uso de la Ingeniería inversa se puede observar en el mantenimiento industrial. En el caso de la educación, por lo general se duplican planes y programas de estudio, o bien prototipos y materiales didácticos. En síntesis se puede decir que:

- 1) La Ingeniería Inversa es de uso común, y no se limita solo a la reproducción de partes y componentes.
- 2) La Ingeniería Inversa es legítima en el sentido de que busca obtener información acerca de cosas, productos, componentes o sistemas. Las malas prácticas en el uso de dicha información deben al hombre y no a la metodología. En este sentido, la Ingeniería Inversa no es sinónimo de piratería.

2.1 Conceptos de la Ingeniería Inversa.

La Ingeniería Inversa no tiene una definición única y, por lo tanto, cada autor le da un sentido diferente. Por ejemplo, en [7] se define la Ingeniería Inversa de la manera siguiente:

La Ingeniería Inversa representa el proceso de analizar un sistema con dos metas en mente: 1) para identificar los componentes del sistema y sus relaciones y 2) para crear las representaciones del sistema en otra forma o en un nivel de abstracción más alto.

En [8] se define la Ingeniería Inversa como:

La Ingeniería Inversa es el proceso de diseñar un substituto, 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.

De acuerdo con [2,5]:

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.

O, en forma equivalente [2]:

La Ingeniería Inversa puede también considerarse como un proceso de sistematización; esto es, un proceso que pone de manifiesto o explícita las relaciones objetivas entre los elementos y las relaciones que hacen posible la existencia de un objeto, para posteriormente construir un modelo de dicho objeto.

También [2],

La Ingeniería Inversa busca obtener información acerca de un objeto o sistema de referencia. Dicha información es obtenida bajo un proceso de análisis del objeto, y puesto que todo análisis hecho por la Ingeniería Inversa debe ser guiado, entonces la información obtenida debe ser específica con dos claros propósitos; esto es, por un lado la información es referida al objeto inicial o de referencia o mejor dicho, debe caracterizar al objeto y, por otro lado, la información guía a la síntesis hacia la obtención de un modelo del objeto.

De las definiciones anteriores se resalta que la Ingeniería Inversa es un proceso que busca obtener información acerca de un objeto de referencia. La información obtenida transformada a un modelo se le llama duplicado (objeto reproducido B) del objeto de referencia A. En síntesis, la Ingeniería Inversa tiene elementos primitivos: 1) el objeto de referencia, 2) el objeto reproducido y 3) un conjunto de relaciones específicas entre dichos objetos. Algunas propiedades del objeto de referencia A y del objeto reproducido B se mencionan a continuación [2]:

“A puede ser un objeto real o virtual. Es real si es un objeto físico y con propiedades físicas, químicas, eléctricas, etc. Es virtual si dicho objeto no es físico. El objeto de referencia puede ser un objeto o parte de un objeto o sistema o subsistema y se clasifica

también en completo o incompleto. Es completo si dada una referencia el objeto A satisface todas las características de la referencia y es incompleto si cuando menos una de tales características no cumple con la referencia. El objeto A es también finito, medible y admite descomposición”.

La naturaleza del objeto reproducido B es la siguiente:

“B puede ser real o virtual, objeto o parte del objeto o sistema o subsistema. Por naturaleza el objeto reproducido B es completo dada la referencia. B siempre es un modelo de A”.

2.2 Método de la Ingeniería Inversa

Cada definición de la Ingeniería Inversa debe tener su propia metodología. Para el caso de la definición propuesta en [2], se tienen las siguientes fases:

- 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 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.

Las fases 1 y 2 se refieren al conocimiento inicial del objeto que se va a reproducir y al diseño de un plan de investigación (determinación del número y tipo de programas que se usarán de acuerdo con los requerimientos del cliente, y los instrumentos y las herramientas necesarias para ejecutar dichos programas). La fase 3 se refiere a la aplicación de la planeación hecha en la fase 2 (aplicación de los programas de investigación). La fase 4 se refiere a organizar la información obtenida del proceso de la fase 3, esto es, a sintetizar la información buscando la obtención de un modelo preliminar del objeto de referencia. En esta misma fase se diseñan programas para determinar la equivalencia entre el objeto reproducido y el duplicado ($B \sim A$). La fase 5 se refiere a realizar un análisis y una re-caracterización del duplicado, esto con el propósito de valorar toda la información obtenida durante el proceso de análisis y síntesis de la Ingeniería Inversa (Fase 3 y 4). Finalmente la fase 6 se refiere a darle uso al duplicado (modelos de información)

más allá de las funciones del objeto de referencia (por ejemplo en la mejora de un producto).

De acuerdo con [2,3], las fases descritas anteriormente se pueden explicitar de la manera siguiente:

- 1) *Se presenta el objeto de referencia A.*
- 2) *Se definen las referencias.*
- 3) *Se definen los objetivos.*
- 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 revalúa B.*
- 13) *B es aplicable.*

2.3 Programas de la Ingeniería Inversa

Una de las etapas más importantes en la Ingeniería Inversa de partes y componentes es aquella donde se define el tipo y número de programas necesarios para obtener la información del objeto de referencia y la generación del duplicado. De la correcta planeación y ejecución de los programas depende el éxito o el fracaso del proceso de la Ingeniería Inversa.

Los programas de la Ingeniería Inversa se pueden clasificar en [3]:

- 1) Programas analíticos
- 2) Programas sintéticos.

Los programas analíticos son todos aquellos programas, procedimientos y métodos que tienen por objetivo conocer o determinar las propiedades y las características del objeto de referencia (por ejemplo, los programas de mediciones y la caracterización de materiales). Por otro lado, los programas de síntesis son todos aquellos programas, procedimientos y métodos que usan la información del análisis para conocer primeramente a los objetos de referencia y, posteriormente, reproducirlos o mejorarlos (por ejemplo los programas de dibujo y los de manufactura son

sintéticos). Los objetivos principales de los programas analíticos son los siguientes:

- 1) Obtener datos e información fidedigna, funcional y objetiva del objeto de referencia.
- 2) Transformar los datos en modelo de información manejables.

De acuerdo con [6], en los programas de síntesis la información que viene del análisis del objeto de referencia a menudo no es suficiente y debe ser complementada y además, tales programas responden al rediseño de nuevos productos, duplicados y manufacturas, partiendo de la base de la información obtenida de los programas de análisis.

Cabe señalar que de los programas de investigación dependen la calidad, confiabilidad y representatividad de los modelos obtenidos. Además, otros aspectos importantes relacionados con los programas de la Ingeniería Inversa son, por un lado, el buen estado de las herramientas, dispositivos y máquinas que se usan para realizar los análisis y, por otro lado, el correcto dominio de las teorías y los métodos usados para la interpretación y la modelación de los resultados [6].

3. RESULTADOS

En este apartado se presenta un programa de investigación de la Ingeniería Inversa orientado a las mediciones de partes y componentes.

3.1 Sobre un programa de medición de la Ingeniería Inversa (propuesta didáctica)

La Metrología Dimensional en el contexto de la Ingeniería Inversa, adquiere una gran importancia, pues en principio los programas de investigación relacionados con mediciones, se encargan de obtener los datos geométricos y dimensionales (información) de los objetos a ser reproducidos, y de dicha información depende otros programas asociados con el diseño y la fabricación de las piezas. Además, una vez reproducido el objeto de referencia, es necesario realizar pruebas al duplicado y una de ellas es precisamente de mediciones. Para determinar (en el sentido geométrico y dimensional) que el duplicado es un modelo representativo (modelo confiable, útil y funcional) del objeto de referencia, las mediciones de ambos deben ser equivalentes de acuerdo con criterios preestablecidos.

Las mediciones realizadas al objeto de referencia (para el caso de duplicados que requieren manufactura), son la materia prima de casi todo el proceso de la Ingeniería Inversa, pues la información geométrica y dimensional obtenida se procesa por ejemplo en paquetes computacionales de Diseño y de Manufactura. Por lo tanto, es muy importante realizar las mediciones en forma correcta de tal manera que los datos obtenidos puedan ser usados para generar un duplicado representativo y funcional del objeto de referencia.

En este sentido la Ingeniería Inversa puede ayudar a la enseñanza de la Metrología, pues:

- 1) Los alumnos deben saber contextualizar las mediciones de los objetos puesto que la Metrología está relacionada con otros campos del conocimiento.
- 2) Los alumnos deben aprender a planear correctamente un proyecto de Ingeniería Inversa diseñando programas de investigación, entre los que destacan los programas de mediciones.
- 3) Los estudiantes deben entender que un programa de investigación en la Ingeniería Inversa (programa de mediciones) está gobernado por una metodología (no solo es la operación de medir).
- 4) Los alumnos deben entender que las mediciones no dependen necesariamente de la calidad de los instrumentos de medición (que deben funcionar correctamente) si no de todo el proceso que tiene que ver desde el análisis preliminar de la pieza hasta la obtención de los datos.
- 5) Los alumnos deben entender que en el duplicado de partes y componentes, las mediciones hechas al objeto de referencia y al duplicado determinan el grado de representatividad y funcionalidad del objeto reproducido (en el sentido dimensional y geométrico).

Bajo este contexto, en la Universidad La Salle Noroeste y en la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, ambas localizadas en Cd. Obregón, Sonora, se ha implementado un programa didáctico de la Ingeniería Inversa orientado a motivar a los alumnos al estudio de las mediciones. El programa se desarrolló debido a las siguientes problemáticas detectadas en los alumnos:

- 1) No hacían un estudio preliminar de las piezas por medir.

- 2) Tenían dificultades para caracterizar las primitivas geométricas de las piezas y su parametrización.
- 3) Tenían pocos criterios válidos para seleccionar los instrumentos de medición.
- 4) No tenían clara conciencia acerca de la importancia de la calibración de los instrumentos y, por lo tanto, no sabían cómo calibrar los instrumentos básicos.
- 5) Tenían poca conciencia acerca de las normas para las mediciones correctas.
- 6) Tenían poco dominio del marco teórico básico.
- 7) Había deficiencias en la operación de medir.
- 8) No usaban la Estadística para el procesamiento de los datos.
- 9) Tenían problemas para representar la información obtenida.

Para lograr darle solución a los problemas descritos anteriormente, se diseñó un programa orientado a las mediciones de partes y componentes bajo el contexto de la Ingeniería Inversa. El programa consta de 3 fases las cuales se describen a continuación:

Fase 1: Caracterización preliminar de la pieza

1. Selección de la pieza o piezas.
2. Análisis general de la pieza.
3. Caracterización visual de primitivas geométricas.
4. Parámetros de las primitivas geométricas.

Fase 2: Selección del instrumento y calibración

5. Selección de los instrumentos de medición.
6. Buscar la norma de calibración del instrumento de medición.
7. Calibrar el aparato según la norma.

Fase 3: Proceso de medición

8. Decidir la secuencia de medición de las primitivas.
9. Buscar la norma o criterio que indique cuantas mediciones se le deben hacer a cada primitiva.
10. Tomar las medidas (operación de medir)
11. Usar la Estadística para procesar la información.
12. Representación de la información (Tabla de Excel, PDF, WORD).
13. Hacer una tabla donde se presente las primitivas, sus parámetros y sus medidas.

Cabe señalar que por el hecho de ser un programa de mediciones en el contexto de la Ingeniería

Inversa, la primera fase indica que el alumno debe contextualizar la pieza (objeto de referencia). Esto es, debe investigar el origen y el estado inicial de la pieza (pieza original o pieza usada). Una vez hecho eso, se procede al análisis de la pieza identificando geometrías simples o también llamadas primitivas. Posteriormente, el alumno debe saber parametrizar cada primitiva. El resultado de la fase 1 es la investigación preliminar del objeto de referencia y las primitivas parametrizadas (debe generar un documento).

La fase 2 señala que los alumnos deben saber seleccionar correctamente los instrumentos de medición (que dependen, entre otras cosas, de las primitivas y de la información preliminar de la pieza). Una vez seleccionados los instrumentos, los alumnos deben saber evaluar si dichos instrumentos están en condiciones de operar y si están calibrados o no, y buscar las normas de calibración según el aparato y su marca. Si el aparato no está calibrado el alumno debe, o bien poder calibrarlo (en caso de que se tengan los materiales adecuados), o bien enviar el aparato a un centro certificador de calibración. El resultado de la fase 2 es la información de los aparatos de medición y de su calibración (se debe generar un documento).

Finalmente, la fase 3 está relacionada con el proceso de medir y de representar los datos. En esta fase el alumno debe saber cómo medir, en que secuencia, cuantas medidas debe tomar de cada primitiva, debe saber utilizar la Estadística y paquetes computacionales. Los datos obtenidos deben ser representados en tablas perfectamente interpretables (se debe generar un documento).

El resultado de la aplicación del programa descrito anteriormente, es uno de los primeros modelos de la Ingeniería Inversa. Esto es, es un modelo analítico [3] que sistematiza la información geométrica (primitivas) y dimensional del objeto de referencia (datos obtenidos).

Por otro lado, el programa de mediciones descrito anteriormente, se ha usado para la enseñanza de la Metrología y la Ingeniería Inversa en la ULSA Noroeste y en la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora. Para lograr buenos resultados, es necesario formar grupos de trabajo de 3 a 4 alumnos y distribuir varias piezas que van de las geometrías simples a las complejas. Para que el alumno comprenda las relaciones entre la Ingeniería Inversa y la Metrología, debe usar todo el método descrito en la sección 2.2 y de ser posible,

reproducir el objeto de referencia. Además, el método de la Ingeniería Inversa y el programa didáctico deben ser enseñados en los últimos semestres de las carreras de Ingeniería, pues solo es funcional si los alumnos tienen conocimientos previos de Metrología, Dibujo y Manufactura, Estadística y uso de paquetes computacionales.

4. DISCUSIÓN

Es de gran importancia diseñar estrategias para formar alumnos competentes en el campo de la Metrología. La Ingeniería Inversa de partes y componentes puede usarse para potenciar la enseñanza de la Metrología. Son muchas las implicaciones que se derivan de una mala formación de los estudiantes en Metrología, pues se ven afectadas áreas como el Diseño, la Manufactura y la Ingeniería Inversa de productos, ya que estas áreas dependen precisamente de la realización correcta de las mediciones. Por otro lado, los alumnos deben tener un dominio básico de los conceptos de Metrología, pues a menudo se confunden al preferir desarrollar habilidades en la práctica de las mediciones (practicidad) y olvidan la teoría básica. Muchos problemas en la Metrología solo son resueltos con la ayuda del marco teórico. Es necesario proponer proyectos en donde el alumno tenga que usar necesariamente el marco teórico para lograr sus objetivos. Además, los alumnos deben saber las relaciones de la Metrología con otros campos de la Ingeniería de forma práctica, pues de otro modo la conciben en forma aislada.

La Ingeniería Inversa a través de sus programas de investigación, le ayuda al alumno a:

- 1) Diferenciar entre medir sin planear y a medir piezas con planeación (puesto que un programa de la Ingeniería Inversa no se puede aplicar si antes no fue planeado y contextualizado).
- 2) Le ayuda a comprender la importancia de las mediciones, tanto para fabricar un componente, como para hacerle pruebas dimensionales al duplicado (le encuentra sentido a la práctica de las mediciones).
- 3) Le ayuda a comprender la importancia de la Metrología en la Ingeniería Inversa y a observar las relaciones de la misma con otros campos de la Ingeniería (pues el duplicado de partes y componentes requiere de la aplicación de varios programas analíticos y sintéticos, como por ejemplo, caracterización de materiales, diseño por computadora, análisis de esfuerzos y

- deformaciones, manufactura por computadora, fabricación, etc.).
- 4) Le ayuda a tener clara conciencia de la importancia de los instrumentos de medición y de la calibración de los mismos (la Ingeniería Inversa requiere de información útil y confiable).
 - 5) Le ayuda a comprender que las mediciones correctas deben realizarse con cuidado y con el uso del marco teórico.

El programa didáctico descrito en la sección 2.3 ha contribuido, en forma positiva, a auxiliar a los alumnos de ingeniería a comprender la importancia de la Metrología. Sin embargo, es necesario que dicho programa se aplique no en forma individual, si no como un programa derivado del duplicado de partes y componentes. En otras palabras, es necesario que los alumnos pongan en práctica no solo sus conocimientos en Metrología, sino también en diseño, dibujo, manufactura y fabricación de componentes.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se ha descrito un método de la Ingeniería Inversa y un programa de investigación didáctico relacionado con las mediciones de partes y componentes. Las conclusiones derivadas de este trabajo se resumen en los puntos siguientes:

- La Ingeniería Inversa auxilia al estudio de la Metrología, pues le da sentido e importancia al proceso de medir y obliga a los alumnos a sistematizar dicho proceso.
- La Ingeniería Inversa, para el caso del duplicado de partes y componentes, requiere de programas de investigación relacionados con la Metrología, tanto para obtener información geométrica y dimensional del objeto de referencia, como del objeto reproducido. Esto hace que los alumnos tomen conciencia de la importancia de realizar correctamente las mediciones en dichos objetos.
- El programa didáctico de mediciones propuesto en este trabajo, ha sido usado para la docencia en algunas universidades del Sur de Sonora. Los alumnos de Ingeniería (de los últimos semestres) han podido encontrarle sentido y aplicabilidad a dicho programa y ahora pueden contextualizar la Metrología dentro de la Ingeniería Inversa.

- El programa didáctico aplicado correctamente, muestra a los alumnos que las mediciones realizadas sobre las partes y componentes no son simples, si no que se requiere de todo un procedimiento sistemático que involucra análisis preliminar de las piezas, instrumentos de medición en buen estado y calibrados, el uso de paquetes estadísticos para procesar datos y el dominio de los conceptos básicos de Metrología.
- El programa didáctico puede ser aplicado en cualquier laboratorio convencional de Metrología (en forma de programa único), puesto que no es cuestión de instrumentos ni de equipos, es más bien cuestión conceptual y de contexto. Para el caso en que se requiera aplicar toda la metodología de la Ingeniería Inversa si es necesario que se cuente con equipos de fabricación, análisis de materiales, software para el diseño y la fabricación, etc.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen al cuerpo académico CADET de la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, a las Universidades y Empresas relacionados a través de la RED ALFA, a la RED PYME del Noroeste, al CESUES Campus SLRC, al grupo GIDASC de la UTS, a las Empresas Innovación en Ingeniería de Manufactura y Mantenimiento S de RL MI e INNODITEC S.A. (Empresas SPIN OFF incubadas por la UTS) y al Parque de Software SonoraSOFT, por el apoyo brindado para el desarrollo de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] Jiménez, E.; Reyes, L.; Galindo, F.; Soto, E.; Martínez, V.; Ochoa, F. (2007). La Red ALFA: Una propuesta de integración Empresa Universidad en el Sur de Sonora, México; *International Conference on Engineering and Computer Education ICECE*, 2007, Manguagua, Brazil.
- [2] 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.
- [3] Luna G., Jiménez E., García L., Ontiveros S., Reyes L., Martínez V., Delfín J., Lucero B. "The Importance of the Research Programs of

- Reverse in Engineering Teaching Education” International Conference on Engineering Education ICEE-2010. July 18-22 2010, Gliwice, Poland.
- [4] García A., Ruiz J., Jiménez L., Reyes L., Luna G., Ontiveros S., Martínez V., Ochoa F., Carrillo E. Clasificación de programas y Modelos de la Ingeniería Inversa: Aplicaciones a un caso de estudio. SOMIM2008. Puebla, México.
- [5] García A., Jiménez E., Ontiveros S., Luna G., Reyes L., Martínez V., Delfín J, Arellano L. On the Reverse Engineering and Engineering Education in General. Proceedings of the XI International on Engineering and Technology Education. March, 2010, Ilhéus, Bahia, BRAZIL.
- [6] Jiménez E., García A., Martínez V., Urrea G., Arellano L., Luna A., López A., Delfín J. Algunas consideraciones sobre la Metrología automatizada y sus relaciones con la Ingeniería Inversa. XXII Congreso Nacional de Metrología, Normalización y Evaluación de la conformidad. Abril 2009. Nuevo Guaymas, Sonora.
- [7] Richard Gordon and Cameron A. Melvin. Reverse engineering the embryo: a graduate course in developmental biology for engineering students at the University of Manitoba, Canada *Int. J. Dev. Biol.* 47: 183-187 (2003)
- [8] Borja, V., “Redesign Supported by Data Models with Particular Reference to Reverse Engineering”, PhD Thesis, Loughborough University, 1997.