

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CALIBRACIÓN DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN SIN CONTACTO ATRAVÉS DE UN BRAZO ROBOT

Ing. Miguel Angel Estrada Arroyo¹, Dr. Pedro Pérez², Dr. Elías Carrum³

Resumen— La aplicación de la ingeniería inversa, utilizando escáner láser, es muy extensa existiendo diferentes campos de aplicación, y entre ellos podemos mencionar el aseguramiento de la calidad de los productos utilizando la nube de puntos obtenida del escaneado para comparar éste con su modelo CAD (*Computer Aided Design*) original y así poder obtener las desviaciones del producto contra la especificación; solo que una de las desventajas de utilizar un escáner láser de manera manual es la variación del tiempo de calibración y de escaneado, lo cual también puede tener problemas de ergonomía. Por tal motivo se propone automatizar el proceso de calibración y escaneado utilizando un escáner láser de marca Exascan, realizando el diseño y manufactura de un sujetador para unir el escáner a un brazo robot. Ya que solo se encuentran en el mercado global aplicaciones automatizadas similares del escáner óptico en Alemania y Estados Unidos (Trejo 2010). Con la finalidad de seguir explorando la evolución de los sistemas tradicionales de inspección de la calidad, mostrando una opción de estación inspección con posibilidad de incorporarla dentro de una línea de producción, o con fines similares.

Palabras clave— Escáner sin contacto, CAD, método de inspección, ingeniería inversa.

Introducción

El incremento en la productividad en un sistema de inspección es muy importante en la industria actual. Por esta razón, existe una variedad de máquinas de inspección (Vinesh et al. 2008) que ayudan a generar reportes de inspección con gran precisión y de manera eficiente a un tiempo considerable para la industria. A través de los últimos años se ha estado desarrollando una gran cantidad de sistemas de inspección, incluyendo sistemas de contacto y sin contacto por medio de un escáner.

El escáner láser sin contacto tiene como función primordial la ingeniería inversa a través del barrido de piezas para la obtención de una nube de puntos, para después ser capaz de transformarla en modelo en 3D para su manufactura, de cualquier tipo de material. Además, una de las aplicaciones del escáner sin contacto es la inspección de la calidad de cualquier pieza a través de la comparación de la nube de puntos contra el modelo en 3D original, para poder obtener resultados dimensionales y las desviaciones con respecto a la especificación requerida del producto. El presente proyecto introducirá el diseño, manufactura y aplicación necesarios para poder automatizar el proceso de inspección de un escáner láser sin contacto asistido por un brazo robot dentro de una celda de manufactura. Iniciando con la automatización de la calibración de un escáner láser sin contacto.

Las aplicaciones del proceso de inspección automatizadas con un escáner sin contacto ya sea láser u óptico son muy escasos en México, y dentro de las fuentes consultadas solo se encontraron algunas aplicaciones a nivel mundial utilizando el escáner óptico Atos, de origen Alemán (Trejo 2010), y otro escáner óptico de nombre Naviscan, de los estados unidos. Dichas aplicaciones se realizan principalmente en la industria automotriz, y actualmente no se tiene registro de ninguna aplicación similar con el escáner láser Exascan en México.

En el proyecto se intenta introducir la aplicación del escáner láser Exascan en un proceso automatizado en una celda de manufactura asistido por un brazo robot; y los resultados obtenidos del proyecto se podrán utilizar en futuras aplicaciones de procesos de manufactura, por el cual se podrá introducir el proceso de inspección a detalle, especialmente en la inspección de superficies, dentro de una línea de proceso o una celda de manufactura, o simplemente utilizando un brazo robot para la inspección de piezas de manera automatizada.

Para lograr la unión del escáner láser es necesario crear un sujetador para acoplar el escáner láser con el brazo robot, pero a la vez teniendo un mecanismo para disparar el láser de manera automática por instrucciones de alguna

¹ Ing. Miguel Angel Estrada Arroyo es estudiante de Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMIMSA), Calle Ciencia y Tecnología, # 790, Fracc. Saltillo 400, Saltillo, Coahuila, México. Tel. (+52) 01 844 411 32 00. miguel.estrada@comimsa.com (autor corresponsal)

² El Dr. Pedro Pérez es profesor e investigador de Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMIMSA), Calle Ciencia y Tecnología, # 790, Fracc. Saltillo 400, Saltillo, Coahuila, México. Tel. (+52) 01 844 411 32 00. pperez@comimsa.com

³ El Dr. Elías Carrum es profesor e investigador de Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMIMSA), Calle Ciencia y Tecnología, # 790, Fracc. Saltillo 400, Saltillo, Coahuila, México. Tel. (+52) 01 844 411 32 00. eliascarrum@comimsa.com

subrutina del software del robot. El enfoque principal del proyecto se basa en la creación, manufactura, y aplicación del sujetador, el cual no se ha encontrado ninguna referencia física en el mercado actual y literatura.

Se toman en cuenta las restricciones necesarias para llegar al objetivo principal, como el espacio, el peso del escáner y del material disponible para la creación del sujetador, el ahorro de material, la seguridad del escáner, además de la manufactura a emplearse para la construcción de partes, y consideración del volumen del sujetador y escáner para evitar limitaciones en el movimiento del robot.

Las aplicaciones de un escáner sin contacto tienen poca investigación en el campo de la inspección de calidad. Solamente la parte de ingeniería inversa por medio de un escáner está más ampliamente investigada, la cual solo es una parte de todas las aplicaciones de un escáner láser sin contacto.

Esta investigación es importante para las industrias (Caprari et al. 2012) que buscan implementar una estación de inspección de calidad dentro de una línea de proceso o una celda de manufactura de manera automatizada, para aumentar sus controles de calidad y su productividad. Además de poder utilizar dicha estación como una zona de inspección solamente, ya que brinda una diferente opción de inspección de piezas.

Estado del Arte

Las aplicaciones fundamentales de un escáner sin contacto son básicamente dos, la ingeniería inversa y la inspección de calidad de piezas, en la cual la segunda aplicación se derivaba prácticamente de la ingeniería inversa, por esta razón el proyecto se trata de automatizar la calibración del escáner láser Exascan lo cual es la base para caminar hacia la inspección de piezas de forma automática, a través de un escáner láser sin contacto apoyado en las técnicas de la ingeniería inversa, agregando también la automatización del proceso de barrido de pieza asistido por un brazo robot Kuka incluido en una celda de manufactura. Además de construir el sujetador, lo cual es un soporte esencial para que la automatización suceda.

El escáner láser es muy utilizado para la inspección haciendo uso de la ingeniería inversa, como robots autónomos que usan un escáner óptico para la captura de imágenes del entorno de trabajo con el fin de obtener parámetros dimensionales (Perrot et al. 2011). Otros robots son utilizados con fines específicos, por ejemplo para la inspección de piezas con determinado tamaño como piezas en plantas de energía (Caprari et al. 2012) las cuales se requiere un robot de inspección que cumpla con especificaciones de acuerdo al ambiente de trabajo. La aplicación de ingeniería inversa en la industria automotriz de Japón utiliza una metodología (Vinesh et al. 2008) para la aceleración de desarrollo de nuevos productos hacia el mercado automotriz. El artículo desarrollado por Vinesh y Fernandez (2008) menciona las principales razones específicas para el uso de la ingeniería inversa, utilizando un escáner sin contacto, las cuales se hace mención a tres puntos a continuación: 1) Crear formas de superficies complejas en un modelo CAD, a través de una nube de puntos, 2) Crear geometrías complejas que tal vez no podrían crearse realizando un modelo CAD en 3D paramétrico, 3) Para asegurar la calidad y desempeño a través de la ingeniería asistida por computadora en la industria.

Alrededor del mundo existen aplicaciones de inspección utilizando robots autónomos y escáneres ópticos, o estaciones automáticas para inspección (Carrasco et al. 2007), para el aseguramiento de la calidad de productos, tal es el caso de la empresa ALSTOM, la cual tiene aplicaciones de robots autónomos para inspección de acuerdo al tipo y tamaño de producto (Caprari et al. 2012), además son utilizados para ejecutar la inspección por varias razones: 1) Tareas automáticas o semiautomáticas, con más rápida ejecución y gran precisión, 2) Zonas de difícil acceso y rápida evaluación global, 3) Solo para mantener exacto el historia de la misma posición de medición.

En el desarrollo del estado del arte se presentaron pocas aplicaciones de inspección automatizadas para el escáner sin contacto óptico o láser utilizando un brazo robot, en donde se encuentra el escáner ATOS (Trejo 2010) y Naviscan.

Un aspecto importante y fundamental es la creación del sujetador para poder unir el escáner al robot Kuka y de alguna manera controlar el escáner mediante un mecanismo para accionar el botón que permita empezar el escaneado, ya que el escáner no permite controlar el disparo para empezar el escaneo de forma automática desde una computadora. A través de la literatura consultada (Clevenger et al. 2013), se incluyeron referencias que soporten el diseño del sujetador en base a estrategias de toma de decisión para seleccionar la mejor opción de diseño, teniendo en cuenta las restricciones como dimensionamiento, espacio, volumen y peso.

Clevenger y otros (2013) mencionan que existen estrategias de diseño, por ejemplo de Phadke y Taguchi (1987) que hablan de radios de señal a ruido que han sido utilizadas para evaluar la robustez de un diseño desafiante, pero con un enfoque para evaluar dimensiones de un proceso individual de diseño. Por lo tanto lo que proponen es un nuevo método para el proceso de diseño llamado DEAM (*Design Exploration Assessment methodology*) que puede

contribuir a la mejora del proceso del diseño, lo cual contribuye al proyecto a tratar de manera de explorar las opciones de diseño a través de los objetivos, alternativas e impacto.

El diseño PSS (*Product-service systems*), es una metodología no muy explorada, pero existen métodos con modelos maduros de diseño PSS (Vasanth et al. 2012) que tienen un enfoque en tres dimensiones: procesos de diseño para integrar productos y servicios, definiciones de nuevas terminologías y consideraciones de planeación y fases del ciclo de vida de diseño, lo cual aporta al proyecto el enfoque hacia otros objetivos en el diseño del sujetador, principalmente hacia el ciclo de vida de diseño.

Dentro de la literatura, referente a la toma de decisión para el diseño, el cual fue de interés para conocer que método es mejor, uno intuitivo o uno lógico (Chulvi et al. 2012). Menciona que la creatividad ha sido estudiada desde varios puntos de vista e incluye, factores que motivan la innovación de producto (Francis et al. 2005), el perfil de la creatividad individual (Nappier et al. 2006), y la solución de problemas creativos (Rivera et al. 2010). Así mencionan que como resultado de estos estudios, numerosas contribuciones han desarrollado técnicas para la creatividad y métodos para evaluar la creatividad de resultados. Las metodologías utilizadas en el artículo (Chulvi et al. 2012), fueron el TRIZ y el SCAMPER (Eberle 1996) como principales, el último siendo un método intuitivo, donde los resultados mostraron que el TRIZ, el método lógico, obtuvo mejores soluciones que el SCAMPER, pero ambos métodos producen alternativas de soluciones de utilidad, y el método intuitivo de lluvia de ideas produce una solución con más innovación que el TRIZ y SCAMPER, pero fue el método con menor utilidad que los antes mencionados.

El proceso de creatividad está asociado con la generación de ideas que facilita la síntesis de las propuestas de diseño; mientras los procesos analíticos están relacionados a la calidad del diseño a través del cumplimiento de la especificación de diseño (Chulvi et al. 2012). Dentro de los métodos creativos, los intuitivos, son divergentes y fácil de aprender y dependen de la inspiración para la generación de ideas, en contraste, los métodos lógicos son convergentes y son usados para generar nuevas soluciones de diseño del conocimiento que fue recopilado por otras personas (Ogot et al. 2006).

Descripción del Método

La aportación principal en el desarrollo del proyecto es la parte tecnológica, la cual es el diseño y creación del sujetador, el cual se comentará su desarrollo más adelante. En términos generales para poder alcanzar la calibración automática del escáner láser se siguió la siguiente metodología.

- Búsqueda del estado del arte: búsqueda de diseños y/o aplicaciones similares al proyecto que aporten el desarrollo del producto (el sujetador), y sustenten la justificación del proyecto e impacto en la industria de hoy.
- Creación del sujetador (Diseño y manufactura): diseñar el sujetador del escáner láser, por medio de un software de diseño, analizando principalmente puntos importantes como la protección del escáner, búsqueda de una sujeción adecuada que permita un agarre correcto del brazo robot, considerando el volumen y peso, como también el diseño de un mecanismo para accionar el botón de escaneado.
- Experimentación con calibración manual y con robot: comparación de tiempos y diferencias de los dos procesos de escaneo.
- Creación de subrutina de robot Kuka para calibración automática: escritura de subrutina en el software del robot Kuka para conseguir la calibración automática con el robot.
- Prueba y corrección de errores en el código de subrutina: recolectar puntos de mejora para disminuir el tiempo de calibración, si es posible.
- Pruebas del sistema de calibración automática: verificar tiempos de calibración y comparar con el promedio de tiempo de calibración manual y comprobar que la calibración automática tiene un tiempo menor que la manual.
- Inspección de pieza muestra optimizando el tiempo de escaneado: escaneo de una pieza ejemplo.

Para el diseño y manufactura del sujetador se desarrolló el diagrama mostrado en la Figura 1, para la toma de decisión del proceso de elección del sujetador final, para así llegar a obtener un diseño que cumpla con los requerimientos específicos ya establecidos y restricciones de diseño; como también, que se encuentre dentro de las posibilidades de manufactura que se tienen disponible.

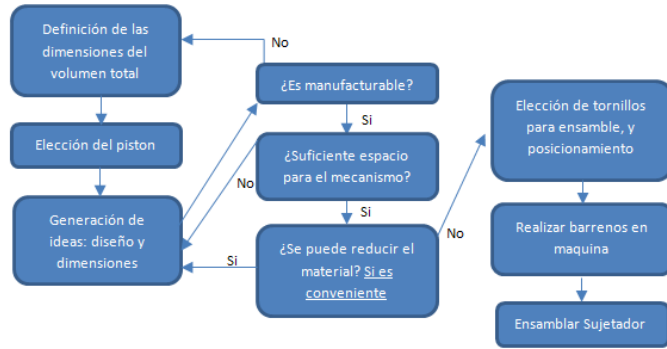


Figura 1. Diagrama para toma de decisión en diseño y manufactura del sujetador.

Comentarios Finales

Análisis y resultados

En el uso normal del escáner laser sin contacto se encontró una alta variabilidad en el tiempo del proceso de escaneado, ya que el tiempo depende del operador y es afectado por el cansancio del mismo.

Por el lado ergonómico, el proceso normal provoca fatiga al operador, ya que al sostener el escáner por más de 5 minutos se vuelve difícil la inspección por cansancio al cargar el aparato. Ahora, si se desea medir al 100% un gran lote de piezas se puede tornar muy tardado el proceso de escaneado e inspección.

En la Figura 2 se muestran 20 datos de toma de tiempo al intentar calibrar el escáner de manera manual con 5 diferentes usuarios.

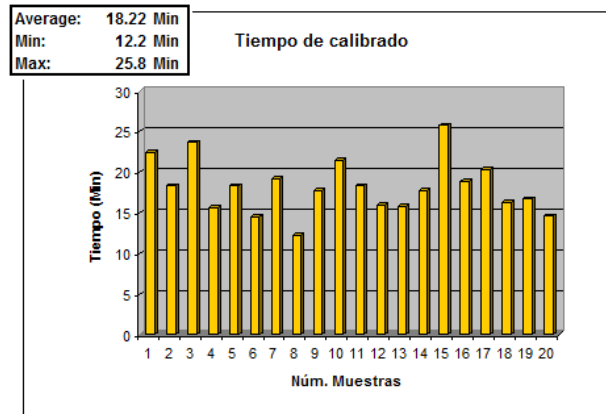


Figura 2. Registro de tiempos con el proceso manual de calibrado de la pieza.

Se observa que existe una alta variabilidad en el proceso de calibrado manual, en el cual se debe de seguir 14 pasos o movimientos del escáner para completar el calibrado, así como se muestra en la Figura 3.

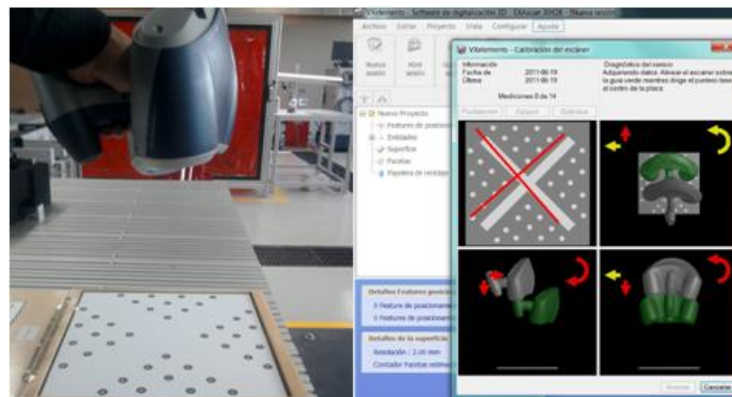


Figura 3. Proceso de calibrado del escáner y software.

La automatización del proceso de calibrado por medio de un brazo robot Kuka, brindará ventajas como mantener un tiempo uniforme estándar de calibrado del escáner, resaltando la importancia de este proceso de manera que en algún proceso que se produzcan piezas de diferentes tamaños es recomendable calibrar el escáner entre cada cambio de tamaño de pieza para mantener la precisión del escaneado, con el objetivo de disminuir al mínimo el error del escáner y poder tener una precisión mayor de la inspección de la pieza.

Para tal aplicación se diseñara y fabricara un sujetador para integrar el escáner láser con el brazo robot, brindando protección al escáner para que trabaje con total seguridad de acuerdo a los movimientos del robot, agregando el diseño de un mecanismo el cual activará el botón de accionamiento del escáner, donde se tomará en cuenta la fuerza aplicada al accionador y se controlará la fuerza de presión del botón. Además se manufacturará el sujetador dentro de la celda de manufactura localizada dentro de las instalaciones de COMIMSA.

La implementación del nuevo sujetador para el escáner láser Exascan tiene una utilidad importante porque elimina la variación que un operador aplica al proceso de calibración y escaneo, por lo tanto proporciona una uniformidad del ciclo de tiempo para la calibración, y un escaneo determinado. Además que resuelve el problema de ergonomía presentado en el proceso manual, y se adiciona una operación más al brazo robot, aumentando las capacidades de una celda de manufactura.

Las limitantes que se consideraron para la creación del fixture, fueron el material a utilizar, y restricciones de peso para estar dentro de las especificaciones del robot Kuka, para esto se eligió el nylamid como material base y se realizó el primer prototipo para unir del escáner con el brazo robot, como se muestra en la Figura 4.

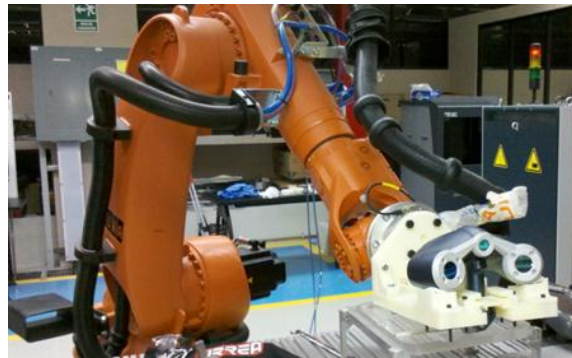


Figura 4. Construcción parcial del sujetador para escáner láser.

El escáner láser se activa por medio de un botón que acciona el láser para empezar la recolección de puntos del objeto a escanear, por tal razón se desarrolló un mecanismo asistido por el software NX y una máquina de prototipado rápido para la creación de distintos prototipos para lograr tener un accionador eficaz que brinda la confianza y protección para mantener en buen estado el accionador del escáner. Además, se utilizó una válvula neumática de 1 MPa de fuerza para proporcionar movimiento al mecanismo, misma que se conecta al robot Kuka y es activada por comandos dentro del código de la rutina de calibración automática. En la Figura 5 se muestra el diseño del sujetador acoplado al mecanismo, donde se pueden observar en color naranja los puntos de apoyo para el escáner, que será asegurado por la parte de color azul, el cual atrapará el mando del escáner. La pieza de color verde será el pistón neumático de 1 Mpa con el volumen que se aprecia. La parte en color rojo es el diseño de la guía para la pieza que accionará el botón, la cual se muestra en color rosa.

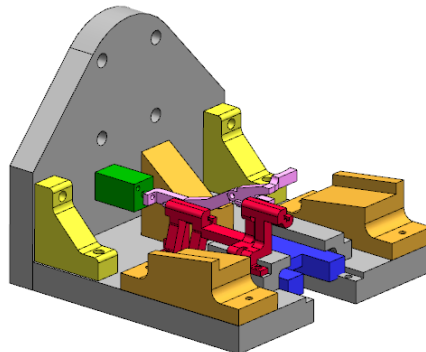


Figura 5. Diseño completo del sujetador y mecanismo para escáner láser.

Conclusiones y trabajo futuro

Con la metodología propuesta, diseño y manufactura del sujetador y calibración automática, se establecen las bases para continuar la investigación en la automatización del escáner láser por medio de un brazo robot, y así seguir extendiendo el campo de la ingeniería inversa y aplicar sus ventajas dentro de la industria o quienes trabajan en una línea de producción, o celdas de manufactura. En la actualidad se busca incorporar la inspección para la calidad de los productos dentro de la línea de producción, agregando una estación en línea dentro de la línea de producción, por tal motivo existen investigaciones (Trejo 2010) para la inspección por medio de escaneo óptico incorporado en una estación de trabajo, de manera automática o semi-automática, por este argumento se resalta la importancia de ampliar la investigación de la automatización del escáner láser sin contacto por medio de un brazo robot, ya que es una línea de investigación importante para la industria que utiliza celdas de manufactura con un brazo robot.

La importancia del tema es de gran interés porque se quiere evolucionar los sistemas de aseguramiento de calidad para incrementar la productividad de las empresas disminuyendo el tiempo de producción y de la inspección, por lo tanto se presenta una opción posible de diseño y creación del sujetador para incorporar un escáner láser sin contacto a un brazo robot, para el aseguramiento de la calidad como un sistema innovador y de vanguardia utilizando un escáner láser, el cual cabe mencionar que nunca se ha automatizado este tipo de escáner, a excepción de algunos escáner ópticos.

Se establecen las bases para poder continuar con la automatización del proceso de escaneado del escáner láser Exscan, ya que solo existe el escaneado manual actualmente; proporcionando un sujetador adecuado para el propósito; además, automatizando el proceso de escaneado se evitará la fatiga del operador, el cual es un tema muy importante en el tema de ergonomía para una operación de producción, ya que es muy fácil tener cansancio cuando el operador dura más de cinco minutos sosteniendo el escáner láser y como consecuencia una ineficiencia si se quiere tener una operación con un tiempo estándar o si se pretende tener un tiempo constante de escaneado.

Finalmente, la incorporación del sujetador al brazo robot, sirve como una capacidad más al mismo, el cual brindará estabilidad en el tiempo de calibrado, evitando la fatiga del operador y posibles lesiones a largo plazo.

Referencias

- Caprari, G., A. Breitenmoser, W. Fischer, C. Hurzeler, F. Tache, y R. Siegart. *Highly compact robots for inspection of power plants*. 2012. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rob.21411/full> (último acceso: 17 de Febrero de 2012).
- Carrasco, M., y D. Mery. *Automatic Multiple Visual Inspection on Non-calibrated image sequence with intermediate classifier block*. 2007. <http://www.springerlink.com/content/6287255480643676/> (último acceso: 31 de Enero de 2012).
- Chulvi, Vicente, María del Carmen González-Cruz, Elena Mulet, y Jaime Aguilar-Zambrano. *Springer*. 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s00163-012-0134-0> (último acceso: 26 de Febrero de 2013).
- Clevenger, Caroline M, John R Haymaker, y Andrew Ehrich. *Taylor and Francis Online*. 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/09544828.2012.698256> (último acceso: 26 de Febrero de 2013).
- Eberle, B. *Scamper: games for imagination development*. Waco, TX: Prufrock Press, 1996.
- Francis, D., y J. Bessant. «Targeting innovation and implications for capability development.» *Technovation*, 2005: 171-183.
- Nappier, N., y M. Nilsson. «The development of creative capabilities in and out of creative organizations: three case studies.» *Creat Innov Manag*, 2006: 268-278.
- Ogot, M, y G Okudan. «Systematic creativity methods in engineering education: a learning styles perspective.» *Int J Eng Educ*, 2006: 566-576.
- Perrot, Y., y otros. *Long-reach articulated robots for inspection and mini-invasive interventions in hazardous environments: Recent robotics research, qualification testing, and tool developments*. 2011. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rob.20422/abstract> (último acceso: 18 de Febrero de 2012).
- Phadke, M. S., y G. Taguchi. «Selection quality characteristics and s/n ratios for robust design.» *GLOBECOM'87 Meeting, IEEE Communication Society*. Tokyo, Japan: American Statistical Association, 1987. 1002-1007.
- Rivera, J, R Vidal, V Chulvi, y J Lloveras. «La transmisión visual de la información como estímulo cognitivo de los procesos creativos.» *An Psicol*, 2010: 226-237.
- Trejo, Manuel. «Medición eficiente con un Panel de Inspección.» *Sistemas Ópticos GOM*. Cd. de México: GOM: Optical Measuring Techniques, 2010.
- Vasanth, Gokula Vijaykumar Annamalai, Rajkumar Roy, Alan Lelah, y Daniel Brissaud. *Taylor and Francis Online*. 2012. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09544828.2011.639712> (último acceso: 26 de Febrero de 2013).
- Vinesh, R., y K. Fernandez. *Reverse Engineering: An Industrial Perspective*. 2008. <http://www.slideshare.net/jk.kingsly/fernandes-reverse-engineerin> (último acceso: 31 de Enero de 2012).