

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO

MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

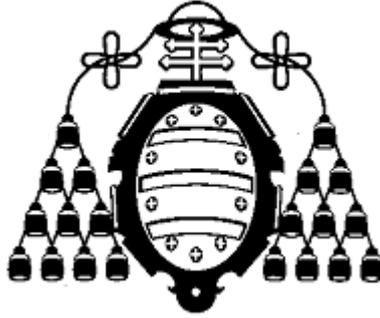
TRABAJO FIN DE MÁSTER

INTEGRACIÓN DE SENSORES DE HOLOGRAFÍA CONOSCÓPICA EN MÁQUINAS CNC PARA TAREAS DE VERIFICACIÓN E INSPECCIÓN

MAYO 2014

ALUMNO: PABLO ZAPICO GARCÍA

TUTOR: SABINO MATEOS DÍAZ



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO

MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

INTEGRACIÓN DE SENSORES DE HOLOGRAFÍA CONOSCÓPICA EN MÁQUINAS CNC PARA TAREAS DE VERIFICACIÓN E INSPECCIÓN

MAYO 2014

Pablo Zapico García

Sabino Mateos Díaz

AGRADECIMIENTOS

El contenido de este trabajo está directamente relacionado con el Proyecto de Investigación “*Aplicación de sensores de Holografía Conoscópica a la verificación en máquinas CNC de superficies mecanizadas*”, que se está desarrollando en el Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la Universidad de Oviedo y financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y FEDER (Ref. DPI2012-30987) y cofinanciado por la Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Principado de Asturias (Ref. SV-PA-13-ECOEMP-15).

RESUMEN

Actualmente el mercado exige una entrega de productos rápida y con una alta calidad, siendo la precisión en la fabricación un factor importante. Esto ha promovido en los últimos años que se realicen avances importantes en las fases de mecanizado e inspección en máquinas de control numérico (CNC). Entre estos avances, destacan las técnicas de medición en máquina (OMM) que integran en las propias máquinas de producción, tecnologías de inspección tradicionalmente utilizadas en las máquinas de medición por coordenadas (MMC). No obstante, la aplicación de estas técnicas plantea diferentes problemas ligados a la accesibilidad de las superficies a digitalizar, la precisión y la rapidez de trabajo, para los que hoy en día no existe una respuesta completamente satisfactoria desde un punto de vista industrial. Así pues, la mejora de la rapidez y la precisión en la *verificación en máquina*, por el perfeccionamiento de las técnicas existentes o mediante la incorporación de nuevas, constituye el principal reto de futuro en el campo de las técnicas OMM. Es en este punto donde juega un papel importante la capacidad de *integración* de diferentes sensores en máquinas CNC con el fin de ser utilizados para tareas de inspección.

Por todo lo anterior, en el presente trabajo fin de máster se pretende implementar un método que garantice la integración de sensores puntuales de medición sin contacto de *holografía conoscópica* para ser utilizados a tal efecto. Para ello se realizará un estudio del estado del arte actual acerca de diferentes sensores montados en máquinas CNC, destacando las posibilidades actualmente disponibles en el mercado para la integración. Más tarde, una vez desarrollado el método de integración, se pretende realizar la aplicación de éste a dos casos prácticos (integración en máquina MMC e integración en Centro de Mecanizado de 4 ejes) con el fin de demostrar su valía y de realizar diferentes estudios que comparen la información proporcionada por los sensores integrados con las técnicas tradicionales, desde el punto de vista de la productividad y de la calidad de digitalizado.

Para llevar a cabo todos estos estudios se utilizarán como modelos de análisis diferentes especímenes, tanto bloques patrón y elementos calibrados, como superficies obtenidas mediante fresado que representen modelos de piezas comunes en la aplicación industrial de los centros de mecanizado.

PALABRAS CLAVE

Verificación en máquina, Integración, Holografía Conoscópica, Máquinas CNC, Superficies Mecanizadas

ÍNDICE GENERAL

1	ESTADO DEL ARTE, DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	2
1.1	INTRODUCCIÓN	2
1.2	OBJETIVOS	3
1.3	METODOLOGÍA	4
1.3.1	<i>Integración física</i>	5
1.3.2	<i>Control</i>	6
1.3.3	<i>Relación entre la lectura del sensor y una posición del espacio</i>	7
2	EQUIPOS UTILIZADOS	8
2.1	SENSORES CONOSCÓPICOS	8
2.1.1	<i>Principio de funcionamiento</i>	8
2.1.2	<i>Sensor ConoProbe Mark 10</i>	12
2.1.3	<i>Sensor ConoProbe Mark 3</i>	26
2.2	MÁQUINA DE MEDICIÓN POR COORDENADAS (MMC)	27
2.3	CENTRO DE MECANIZADO <i>FANUC LAGUN LEAN 1000</i>	30
3	EJEMPLOS DE INTEGRACIÓN	32
3.1	INTEGRACIÓN DE UN SENSOR CONOSCÓPICO EN UNA MÁQUINA MMC	32
3.1.1	<i>Integración física del sensor</i>	32
3.1.2	<i>Implementación del sistema de control</i>	42
3.1.3	<i>Relación entre la lectura del sensor y una posición del espacio</i>	64
3.1.4	<i>Resultados</i>	74
3.2	INTEGRACIÓN DE SENSOR CONOSCÓPICO EN CENTRO DE MECANIZADO	83
3.2.1	<i>Integración física del sensor en el CM</i>	83
3.2.2	<i>Implementación del sistema de control (CM)</i>	86
3.2.3	<i>Relación entre la lectura del sensor y una posición del espacio (CM)</i>	94
3.2.4	<i>Resultados (CM)</i>	96
4	ESTUDIOS REALIZADOS	99
4.1	ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL FILTRADO EN LA REPETIBILIDAD Y LA VERACIDAD	99
4.2	INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD EN EL DIGITALIZADO	102
4.3	DIGITALIZADO EN ZONAS CERCANAS A CARAS VERTICALES	106
5	CONCLUSIONES	114
6	REFERENCIAS	115

1 INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA APLICADA

1.1 Introducción

El presente trabajo fin de máster se plantea a partir del proyecto de investigación “*Aplicación de Sensores de Holografía Conoscópica a la Verificación en Máquinas CNC de Superficies Mecanizadas*”. Este proyecto está financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y FEDER¹, y cofinanciado por la Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Principado de Asturias². El Proyecto de investigación tiene por finalidad evaluar las ventajas e inconvenientes que presenta la utilización de sensores de holografía conoscópica (Figura 1) integrados en máquinas de control numérico computarizado (CNC) para llevar a cabo tareas de medición en máquina y sin contacto de las superficies mecanizadas en la propia máquina.



Figura 1. Sensor de Holografía Conoscópica

De modo que el presente trabajo fin de máster, cuyo título es “*Integración de sensores de holografía conoscópica en máquinas CNC para tareas de verificación e inspección*”, se plantea como trabajo de integración de sensores conoscópicos en máquinas CNC con el fin de realizar estudios relacionados con esta tecnología y con el proyecto de investigación anteriormente citado en un futuro. Para ello se realizará un análisis de las posibilidades de integración de los equipos actualmente existentes en el mercado, para desarrollar una metodología que permita abordarla.

Con el fin de demostrar la valía de la metodología desarrollada, se plantearán dos ejemplos prácticos de integración de sensores conoscópicos en dos máquinas CNC: una máquina de medición por coordenadas (MMC) *DEA* (Figura 2) y un centro de mecanizado *FANUC* (Figura 3); realizando un análisis de cada caso de integración y mostrando resultados obtenidos en cada uno de ellos.

¹ Ref. DPI2012-30987

² Ref. SV-PA-13-ECOEMP-15



Figura 2. Máquina MMC DEA



Figura 3. Centro de mecanizado FAGUN (1)

Finalmente, se describirán ciertos estudios realizados hasta la fecha y llevados a práctica con un sensor integrado, que tratan de evaluar y cuantificar, aspectos relativos a la propia tecnología conoscópica.

1.2 Objetivos

Como se ha comentado anteriormente la finalidad de este trabajo fin de máster es el de integración de sensores conoscópicos en máquinas CNC. Para poder lograr esta meta será necesario realizar un análisis de las posibilidades de integración con las que cuentan los sistemas actualmente existentes en el mercado, para más tarde desarrollar una metodología que garantice la integración de los sensores en máquinas CNC de manera sistematizada. Además, se pretende integrar, a modo de ejemplo, dos sensores conoscópicos en dos máquinas CNC para y realizar un análisis de los resultados obtenidos.

Para conseguir todo esto, será necesario alcanzar una serie de objetivos parciales o específicos relacionados con la metodología y con la aplicación de la misma. Estos objetivos pueden resumirse en los siguientes:

- Desarrollo de la metodología:
 - Análisis del estado del arte acerca de la integración de diferentes sensores de medida sin contacto en máquinas CNC.
 - Análisis de los diferentes sistemas comerciales existentes y de sus posibilidades en cuanto a integración.
 - Descripción de la problemática y de las diferentes etapas de la integración.
 - Implementación de método que garantice la completa integración del sensor.
- Aplicación de la metodología
 - Descripción de los diferentes equipos utilizados.
 - Aplicación de la metodología desarrollada.
 - Presentación de resultados.
 - Descripción de estudios realizados hasta la fecha.

1.3 Metodología

La Holografía Conoscópica (HC) es una técnica de interferometría de luz coherente basada en la propiedad de doble refracción de los cristales uniaxiales. Fue desarrollada en 1984 [1] y, más tarde, mejorada y patentada como Holografía Conoscópica Lineal 1999 [2]. Los sensores de HC permiten calcular la distancia que los separa de un objeto mediante el análisis de la luz reflejada hacia el sensor desde la superficie del objeto medido (principio de funcionamiento descrito en apartado 2.1.1).

Los sensores de HC, al igual que otro tipo de sensores, como los sensores láser de triangulación, o los sensores de luz blanca estructurada [3] [4], son capaces de medir distancias a objetos sin necesidad de que exista un contacto físico sensor-objeto. Esto hace que permitan obtener información topográfica del objeto medido sin contacto [5] [6], con las ventajas que ello conlleva.

Además, la HC a diferencia de otros sistemas de medición sin contacto láser, es colineal, lo cual quiere decir que permite enviar y recibir el láser en forma de haz pudiendo así realizar digitalizados de agujeros o cavidades estrechas [7]. De las ventajas que la HC presenta frente a otras técnicas de medición sin contacto de uso común en máquinas MMC [8] se pueden destacar:

- Para una misma profundidad de campo, mejoran de 5 a 10 veces la precisión y la repetibilidad.
- Presentan un buen comportamiento para diferentes tipos de materiales (metales, polímeros, etc.).
- Un mismo sensor conoscópico puede utilizar diferentes lentes con el fin de adaptarse a diferentes profundidades de campo y precisión.
- Permite medir superficies con un ángulo de incidencia del láser de hasta 85° con respecto a la normal de la superficie.
- Al tratarse de sistemas colineales, es posible acceder a geometrías complicadas, como agujeros o cavidades estrechas, tan solo utilizando sistemas simple de redirección de luz.

La utilidad de los sensores de HC es amplia y sus aplicaciones numerosas y variadas, desde el digitalizado de órganos mediante laparoscopia [9], hasta su utilización en grafología forense [10], a parte de todas las aplicaciones que puede tener en industria en cuanto a verificación e ingeniería inversa.

Dicho lo anterior, las grandes ventajas que tienen los sensores conoscópicos frente a otros actualmente utilizados, con y sin contacto, hace que sea interesante el estudio de su integración en máquinas CNC (*On-Machine Measurement* <<OMM>>), tanto para mejorar las prestaciones de las mismas [11], como para realizar tareas de verificación [12], pudiendo mejorar así el control de la calidad y los tiempos de producción.

Debido a que hoy en día no existe opción comercial, para conseguir la integración será necesario llevar a cabo una serie de tareas cuyo objetivo sea el de implementar un sistema que permita utilizar el sensor como una herramienta más de medida de la máquina. Para ello, además de la integración física propiamente dicha, será necesario implementar un sistema de control que sea capaz de coordinar ambos e implementar un método que referencie la medida de

sensor y la máquina a un origen común. De modo que la tarea de integración se podría dividir en tres fases:

1. Integración física del sensor: implementación de un sistema físico que permita integrar el sensor en la máquina CNC con el fin de utilizarlo para realizar medidas en el total o parte del volumen de trabajo de la máquina. así como la realización de las conexiones que sean pertinentes entre ambos (sensor y máquina CNC).
2. Implementación del sistema de control: un sistema software que permita coordinar a lo largo del tiempo la lectura del sensor con el control de la posición de la máquina.
3. Relación entre la lectura del sensor y una posición del espacio: esta fase consiste en utilizar el mecanismo necesario para relacionar de forma biyectiva e incurriendo en el menor error posible la medida del sensor con una posición del espacio.

1.3.1 Integración física

Como se ha comentado anteriormente, esta fase de la integración consiste en la implementación de un sistema físico que permita integrar físicamente el sensor dentro de la máquina CNC. Para ello deberá estudiarse la forma montarlo en la máquina mediante un utillaje, salvaguardando la integridad y las prestaciones de ambos sistemas. Además esta fase incluye realizar todas aquellas conexiones eléctricas entre el sensor y la máquina.

En este punto se debe reflexionar acerca del movimiento que se le pretende dar al sensor una vez que esté integrado en la máquina. Para ello deberá decidirse:

- Eje de la máquina al que el sensor será solidario: en este punto se debe decidir a qué parte de la máquina se fijará el sensor. Esto determinará la capacidad de movimiento que tendrá el sensor y las posiciones que podrá alcanzar.
- Posibilidad de añadir ejes a la máquina en la que se integra el sensor: deberá decidirse si se realizará el diseño de un utillaje fijo [13] o con posibilidad de movimiento, de forma manual o motorizada [14], añadiendo así nuevos ejes a la máquina. Algo puede resultar interesante es dotar al utillaje diseñado con algún sistema de ajuste que permita orientar el sensor respecto a algún elemento de referencia [15], manteniendo fijos los ejes de la máquina.

Una vez que se hayan tomado las decisiones anteriores se deberá realizar el diseño del utillaje de sujeción del sensor a la máquina salvaguardando la integridad y las prestaciones de ambos. Una reducción de las prestaciones podría ocurrir, por ejemplo, en caso de que el sensor se colocase en una parte de la máquina que no estuviese dotada de un actuador lo suficientemente potente o de un sistema mecánico lo suficientemente resistente como para garantizar que el peso e inercia del sensor no afectasen a la integridad o a la precisión y exactitud de la máquina.

Cabe señalar que para todo este proceso de diseño de integración física del sensor en la máquina resulta especialmente interesante realizar una búsqueda de elementos comerciales que faciliten la integración (por ejemplo portaherramientas).

Una vez que se haya realizado la integración física del sensor dentro de la máquina CNC deberá estudiarse si es posible y si resultaría interesante realizar una conexión entre la interfaz del sensor y de la máquina. Este tipo de conexiones son las referidas a las señales de los sensores de posición de la máquina. Por lo general, las máquinas CNC cuentan con encoders (rotativos o lineales) que sirven a los controles para conocer la posición de los ejes de la máquina. En algunos casos las señales de estos sensores son accesibles y pueden ser monitorizados por el

sensor conoscópico, de manera que, se puede relacionar de manera directa cada medida del sensor con una lectura de los sensores de la máquina.

1.3.2 Control

En esta fase de la integración el objetivo es la implementación de un sistema software que sea capaz de controlar la máquina y el sensor para poder sincronizar la medida del sensor con el movimiento de la máquina a lo largo del tiempo.

Con el fin de implementar una aplicación que sea capaz de realizar esta tarea es importante estudiar las posibilidades que puede brindar el software comercial existente, ya que en el caso de algunos sensores comerciales como los de contacto, existen paquetes de software implementados por los fabricantes que permiten integrar sus sensores en el control de las propias máquinas CNC. No obstante, en el caso de los sensores conoscópicos, debido a que solamente existe un fabricante (*OptimetTM*), se puede decir que a día de hoy no existe una solución comercial que permita integrarlo en un control CNC como ocurre, por ejemplo, con los palpadores *Renishaw* [16], a pesar de que hay un proyecto a nivel internacional, denominado *Optical Sensor Interface Standard* (OSIS) [17], que está tratando de conseguir esto y en el cual está involucrado *OptimetTM*. Así pues, debido a que esta opción aún no está desarrollada en el caso de los sensores conoscópicos deberá implementarse una aplicación expofeso utilizando un paquete para desarrolladores software (*Software Development Kit <<SDK>>*) consistente en una serie de librerías dinámicas proporcionados por el fabricante y compatibles con distintos lenguajes de programación [18]. Estas librerías permitirán al usuario comunicarse y gobernar el sensor y con ello se puede resolver este problema.

Por otro lado, una vez resuelta la comunicación y control del sensor debe resolverse el problema de comunicación y control de la máquina CNC. Estas máquinas están dotadas de un control que las gobierna; para poder conducir la máquina y leer información de sus parámetros será necesario comunicarse él a través de una interfaz denominada “*Human-machine interface*” (HMI). A día de hoy no existe un estándar de HMI que permita realizar las tareas de gobierno de cualquier máquina CNC, ya que cada fabricante dispone de una serie de paquetes software o librerías basados en diferentes filosofías de diseño y paradigmas de programación, que permiten al usuario comunicarse realizar estas tareas [19]. Algunos de los fabricantes y sus paquetes de programación están recogidos de la Tabla 1.

Fabricante	Paquete	Implementación
Siemens	HMI programming package	OPC [20]
Heidenhain	RomoTool	DCOM services
Fanuc	FOCAS	C/C++, VB, C#

Tabla 1. Fabricantes y paquetes para comunicación con el control

Con el fin de resolver este problema de heterogeneidad en la comunicación y el manejo de los controles y con el fin de estandarizar el HMI de las máquinas CNC, algunos autores proponen una capa de abstracción software denominada *Common HMI* (CHMI) que permita servir de interfase entre los controles y las aplicaciones comunes a varios dispositivos [19]. Además, existe un proyecto a nivel internacional denominado *MTConnect* [21], basado en *eXtensive Markup Language* (XLM), que trata de estandarizar el método de manejo de esta información para así mejorar la interoperabilidad entre dispositivos [22]. Su objetivo final es el de implementar un estándar que permita recoger información de cualquier sistema de control mejorando así la integración. A pesar de ello, sigue siendo necesaria la utilización de las librerías o paquetes software suministrados por el fabricante para poder comunicarse con el

control de la máquina. Disponiendo de estos paquetes software o librerías el usuario puede utilizar el HMI del control para comunicarse con él y controlar la máquina, de manera que en este aspecto, el problema de gobierno de la máquina CNC estaría resuelto.

Una vez resuelto el problema de comunicación y control del sensor y de la máquina CNC quedaría por resolver el problema de realizarlo desde una misma aplicación y de forma sincronizada. Debido a la heterogeneidad anteriormente comentada de los estándares de comunicación y utilización del HMI de cada fabricante este paso puede ser muy particular dependiendo del control del que disponga la máquina CNC. No obstante, algo seguro es que se debe implementar una aplicación que sea capaz de comunicarse tanto con el sensor como con el control de la máquina utilizando para ello las capas software de abstracción que sean necesarias [23].

1.3.3 Relación entre la lectura del sensor y una posición del espacio

Una vez que se ha resuelto el problema de la integración física del sensor y de la implementación del sistema software de control de ambos sistemas, se debe resolver el problema de relacionar la medida del sensor con una posición del espacio. Este problema consiste en diseñar un método que permita conseguir relacionar de forma biyectiva, e incurriendo en el menor error posible, la medida del sensor con una posición del volumen de trabajo de la máquina más el sensor.

Hoy en día existen numerosas publicaciones que tratan este tema aplicado a sensores láser sin contacto de distinta naturaleza (siendo más habituales las referentes a láseres de cortina [24], aunque también de sensores HC [25] [26]). En ellas se utilizan diferentes elementos de los que se conoce su posición (debido a que han sido medido por contacto con la máquina en la que se integra el sensor) y su geometría (son elementos calibrados), de manera que una vez digitalizados por medio del conjunto máquina-sensor, éstos pueden ser reconstruidos (en posición, tamaño y orientación) mediante métodos matemáticos iterativos incurriendo en el menor error posible, consiguiendo así relacionar la posición y orientación del sensor respecto a los ejes de la máquina [25].

5 CONCLUSIONES

En este proyecto elaborado como trabajo fin de máster se ha implementado un método para la integración de sensores de holografía conoscópica en máquinas CNC para su utilización en tareas de inspección y verificación.

Se ha realizado un estudio del estado del arte tomando como fuentes publicaciones científicas que muestran diferentes sensores de medición, de naturaleza igual o similar a sensores conoscópicos, instalados en máquinas CNC de diferente índole y con diferentes fines. Además, se estudiaron las diferentes posibilidades de integración disponibles en el mercado para este tipo de sensores y máquinas.

A partir de los estudios realizados se desarrolló una metodología en la que se plantearon las diferentes fases necesarias para la integración y se expusieron diferentes posibilidades para lograr implementarlas de forma general. El modelo general establecido tiene que ver con la heterogeneidad que presenta el problema de integración planteado y la falta de estandarización presente en el campo del control de sistemas CNC.

Con el objetivo de demostrar la validez de la metodología desarrollada, esta fue aplicada a la integración de sensores de Holografía Conoscópica (HC) en dos máquinas CNC de diferente naturaleza: una máquina de medición por coordenadas (MMC) modelo *DEA Swift* y un centro de mecanizado *Lagun Lean 1000* con control *FANUC*.

Tras solventar en ambos casos las fases de la integración, se realizaron diferentes ensayos utilizando principalmente el sensor integrado en la máquina MMC. Estos ensayos fueron orientados al estudio de la propia tecnología conoscópica integrada en la máquina, con el fin de evaluar sus capacidades en comparación con otras tecnologías convencionales de mayor precisión, como las de medición por contacto. Las conclusiones obtenidas demuestran que el sistema integrado máquina-sensor desarrollado para este trabajo tiene suficientes capacidades para ser utilizado en tareas de verificación e inspección en comparación con los métodos convencionales con contacto.

Por todo lo anterior, se puede decir que el objetivo del trabajo fin de máster se ha cumplido satisfactoriamente. Además, la utilización de sensores conoscópicos en máquinas CNC como elemento de medición para inspección y verificación ha quedado demostrada gracias a diferentes ensayos llevados a cabo, avalados por varias publicaciones científicas realizadas en colaboración con el *Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación*.

6 REFERENCIAS

- [1] G. Sirat y D. Psaltis, «Conoscopic holography,» *Optic Letters*, 1984.
- [2] G. Sirat, J. Vecht y Y. Mallet, «Linear Conoscopic Holography». US Patente 5953137, 1999.
- [3] B. François, «Review of 20 years of range sensor development».
- [4] J. Sladek, P. M. Blaszczyk, M. Kupiec y R. Sitnik, «The hybrid contact-optical coordinate measuring system,» *Elsevier*, 2010.
- [5] D. Blanco, C. M. Suárez, G. Valiño, E. Cuesta y I. Ruiz, «Caracterización en ciclo del estado de herramientas de corte mediante digitalizado sin contacto,» de *Actas del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, 2008.
- [6] S. Huang y C. Lin, «A Three-dimensional Non-contact Measurement System,» *Advanced Manufacturing Technology*, pp. 419-425, 1997.
- [7] I. Álvarez, J. M. Enguita, M. Frade, J. Marina y G. Ojea, «On-Line Metrology with Conoscopic Holography: Beyond Triangulation,» *Sensors*, pp. 7021-7037, 2009.
- [8] G. Sirat, F. Paz, G. Agronik y K. Wilner, «Conoscopic systems and holography».
- [9] R. A. Lathrop, T. T. Cheng y R. J. Webster III, «Conoscopic Holography for Image Registration: A Feasibility Study,» *SPIE Medical Imaging*, 2009.
- [10] G. Spagnolo, L. Cozzella y C. Simonetti, «Linear conoscopic holography as aid for forensic handwriting expert,» *Elsevier*, 2012.
- [11] L. Bin, L. Feng, L. Hongqi, C. Hui, M. Xinyong y P. Fangyu, «A measurement strategy and an error-compensation model for the on-machine laser measurement of large-scale free-form surfaces,» *Measurement Science and Technology*, 2014.
- [12] F. Ferraz y R. Coelho, «Data acquisition and monitoring in machine tools with CNC of open architecture using internet,» *Manuf Technol*, pp. 90-97, 2005.
- [13] K. Fan, «A non-contact automatic measurement for free-form surface profiles,» *Elsevier*, pp. 277-285, 1997.
- [14] H. Qui, H. Nisitani, A. Kubo y Y. Yue, «Autonomous form measurement on machining centers for free-form surfaces,» *Elsevier*, pp. 961-969, 2004.
- [15] F. Shiou y M. Chen, «Intermittent process hybrid measurement system on machining centre,» *Taylor & Francis*, vol. 41, pp. 4403-4427, 2003.
- [16] Renishaw, «Sistema de sonda óptica de máquina OMP60,» 2013.

- [17] OSIS/WG2 Workgroup, «Optical Sensor Interface Standard,» 2003.
- [18] Optimet, «OEM Manual for OPTIMET'S Mark 10 Ver. 1».
- [19] S. Liang, J. Hsu y C. Ting, «Development of the Common Human-machine Interface for Multi-axis Machine Tools,» de *The 2012 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Kaohsiung, Taiwan, 2012.
- [20] W. Mahnke, S. Leitner y M. Damm, «OPC Unified Architecture,» *Springer-Verlag*, 2009.
- [21] M. Institute, «MTConnect Institute,» [En línea]. Available: <http://www.mtconnect.org/>. [Último acceso: 20 Marzo 2014].
- [22] S. Atluru, «Data Information: Can MTConnet deliver the promise?».
- [23] J. Michaloski, S. Birla y J. Yen, «Software models for standardizing the human-machine interface connection to a machine controller,» de *World Automation Conference*, Maui, 2000.
- [24] N. V. Gestel, S. Cuypers, P. Bleys y J. Kurth, «A performance evaluation test for laser line scanners on CMMs,» *Elsevier*, pp. 336-342, 2008.
- [25] P. Fernández, D. Blanco, G. Valiño, V. Hoang, L. Suárez y S. Mateos, «Calibration of a Conoscopic Holography Sensor on a CMM».
- [26] A. Paviotti, S. Carmignato, A. Voltan, N. Laurenti y G. Cortelazzo, «Estimating angle-dependent systematic error and measurement uncertainty for a conoscopic holography measurement system,» *Three-Dimensional Imaging Metrology*, 2009.
- [27] G. Häusler, «Three-Dimensional Sensors-Potentials and Limitations,» de *Handbook of Computer Vision and Applications. Sensor and Imaging*, vol. 1, St. Louis, 1999.
- [28] D. Blanco, P. Fernández, P. Zapico, N. Beltrán y C. Suárez, «Influence of Filtering upon Precision and Trueness in Conoscopic Holography,» *World Congress on Engineering*, 2014.
- [29] P. Fernández, D. Blanco, C. Rico, G. Valiño y S. Mateos, «Influence of Surface Position along the Working Range of Conoscopic Holography Sensors on Dimensional Verification AISI 316 Wire EDM Machined Surfaces,» *Sensors*, vol. 14, pp. 4495-4512, 2014.
- [30] DEA spa, Manual de unidad motorizada DEA Swift.
- [31] S. Atluru, A. Deshpande, S. Huang y J. Snyder, «Smart Machine Supervisory System: Concept, Definition and Application,» 2008.