

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

**ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE
GIJÓN**

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN

PROYECTO FIN DE CARRERA N° 3131361

**CARACTERIZACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA DISTANCIA
ENTRE SENSOR Y SUPERFICIE EN LA CALIDAD DEL
DIGITALIZADO MEDIANTE HOLOGRAFÍA CONOSCÓPICA DE
SUPERFICIES MECANIZADAS EN AISI 316**

DOCUMENTO N° 1

MEMORIA

JUAN MACHADO ALEGRE

**TUTOR: DAVID BLANCO FERNÁNDEZ
CO-TUTOR: PEDRO FERNÁNDEZ ÁLVAREZ**

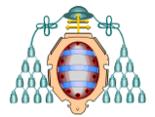
JULIO 2014





Índice

1	Introducción	4
1.1	Título	4
1.2	Introducción	4
1.3	Objetivo.....	5
2	Estado de la técnica.....	6
2.1	Técnicas y aplicaciones del digitalizado de superficies.....	6
2.1.1	Técnicas que utilizan CONTACTO.....	6
2.1.2	Técnicas SIN CONTACTO	8
2.2	Fundamentos de holografía Conoscópica.....	12
3	Objetivos y planificación.....	16
3.1	Desglose de tareas	17
3.2	Medios materiales y recursos	17
3.2.1	El sensor conoscópico.....	17
3.2.2	La MMC.....	19
3.2.3	Software.....	21
3.3	Variables controladas.....	23
4	Diseño fabricación y verificación de un patrón de ensayos.....	25
4.1	Especificaciones	25
4.2	Primer diseño	26
4.3	Segundo diseño	28
5	Diseño del soporte del patrón.....	31
6	Mejora del sistema de soporte del sensor	36
7	Experimentación.....	41



7.1	Ensayos previos	41
7.2	Procedimiento experimental	42
7.3	Procesamiento de Datos	47
8	Representación e interpretación de resultados.....	49
8.1	SNR	49
8.2	Total.....	50
8.3	Número de puntos	50
8.4	Diferencia entre palpado y HC	51
8.5	Gráfica de las diferencias y desviaciones típicas entre palpado y HC	52
9	Análisis de resultados	54
9.1	Número de puntos de alta calidad (n).....	54
9.2	Diferencia de posición X_{Δ}	55
9.3	La diferencia de posición X_{δ}	57
10	Conclusiones	60
11	Bibliografía	63
12	Agradecimientos	65



1 Introducción

1.1 Título

La memoria de este proyecto describe las tareas realizadas y los resultados obtenidos en el marco del proyecto fin de carrera titulado “Caracterización de la influencia de la distancia entre sensor y superficie en la calidad del digitalizado mediante holografía conoscópica de superficies mecanizadas en AISI 316”

1.2 Introducción

Las técnicas de digitalizado tridimensional permiten calcular la posición espacial de puntos pertenecientes a una superficie respecto de un origen de coordenadas. De esta forma, es posible obtener una representación virtual de las superficies que delimitan un objeto a través de conjuntos de puntos digitalizados, comúnmente denominados nubes de puntos. El conocimiento de la geometría y las dimensiones del objeto digitalizado, obtenido a través del análisis de la información contenida en las nubes de puntos, puede ser empleado en tareas de verificación o ingeniería inversa.

Las técnicas de digitalizado existentes pueden dividirse entre aquellas que precisan de contacto físico entre el sensor y la superficie del objeto y aquellas en las que no es necesario dicho contacto. A pesar de que las técnicas sin contacto tienen una menor precisión, también presentan claras ventajas: elevadas tasas de captura de puntos, mayor simplicidad en las trayectorias de digitalizado y ausencia de deformaciones en la pieza.

Uno de los sistemas de digitalizado sin contacto es la denominada holografía conoscópica (HC). Se trata de una tecnología colineal en la que un haz láser es proyectado sobre la superficie a digitalizar y retorna siguiendo la misma dirección en sentido contrario hacia el sensor que lo emitió. Dentro del sensor, el haz se divide en dos y forma una imagen holográfica, a partir de la cual es posible determinar la distancia entre la superficie del objeto y el propio sensor. Al integrar sensores HC en máquinas capaces de describir trayectorias respecto al objeto a digitalizar, es posible realizar barridos de las superficies que lo delimitan y, de esta forma, obtener nubes de puntos que constituyen una representación “virtual” del objeto.



La tecnología descrita presenta una serie de ventajas respecto a los métodos tradicionales, entre ellas, permite minimizar los problemas de oclusión de la superficie y las limitaciones en cuanto al ángulo de visión tan comunes en técnicas de mayor implantación (triangulación laser) sin renunciar por ello a una elevada precisión. Esto se debe a que en los sistemas de triangulación el haz incidente y la dirección de visión no son co-lineales, sino que forman un pequeño ángulo, lo que puede provocar problemas de sombras y oclusiones.

Debido a que se trata de un sistema novedoso, en la actualidad el Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la Universidad de Oviedo está desarrollando un proyecto del Plan Nacional de Investigación, cuyo objetivo es comprobar la viabilidad del uso de la holografía conoscópica (*HC*) para la verificación en máquina de piezas mecanizadas. Esta técnica presenta unas características de precisión, robustez y accesibilidad, que la convierten en una alternativa interesante a las técnicas de contacto y triangulación laser. El objetivo final es la integración de un sensor conoscópico (*SC*) en un centro de mecanizado de 3 ejes, que será posteriormente empleado para evaluar su capacidad en la verificación de superficies tridimensionales complejas.

En este proyecto se pretende caracterizar el comportamiento del sensor, en condiciones de laboratorio, en función de las diferentes posiciones que la superficie a digitalizar puede ocupar dentro del rango de medida del sensor.

1.3 Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es el estudio de la influencia en la calidad del digitalizado de la distancia entre el sensor y la superficie a digitalizar mediante Holografía Conoscópica. Este objetivo se puede desglosar en una serie de tareas u objetivos parciales:

- Mejora del sistema de sujeción del sensor
- Diseño de la probeta
- Diseño de la estructura soporte de la probeta
- Diseño del plan de experimentación.
- Ejecución de ensayos y análisis de resultados



10 Conclusiones

El presente trabajo analiza cómo la calidad de la medición se ve afectada por la profundidad de campo y de los parámetros de configuración en un sensor de holografía conoscópica (HC). Con este objetivo, numerosos experimentos han sido realizados en una probeta escalonada de AISI 316 cuyas superficies planas fueron mecanizadas por electroerosión por hilo. Con el propósito de analizar el comportamiento del sensor en todo el rango de trabajo, se realizaron las pruebas de todos los escalones y para diferentes combinaciones de frecuencia (F) y de Potencia (P).

Los datos adquiridos se sometieron a un proceso de filtrado para eliminar las combinaciones de F y P, que dieron lugar a las mediciones de baja calidad y que no permiten una buena reconstrucción geométrica de la muestra a lo largo de todo el *Workingrange*. Las combinaciones resultantes de este proceso de filtrado y que permiten la reconstrucción de todo el rango de trabajo del sensor definen el *Área de Confianza* (AC).

Con el fin de conocer el comportamiento metrológico del sensor, se consideraron tres indicadores de calidad diferentes: número de puntos de alta calidad (n) y las diferencias de distancia (X_{Δ} y X_{δ}).

El indicador n ha permitido determinar las combinaciones de F y P que garantizan una reconstrucción de alta calidad de todos los escalones. El grado de calidad está representada por la media del indicador (\bar{N}) que es mayor del 82 % dentro de la AR en todos los casos.

Los valores del indicador X_{Δ} revelan que los errores en las mediciones de distancia varían dependiendo de la posición de las superficies con respecto a la de referencia. El error aumenta cuando las superficies se encuentran más lejos del stand-off teórico. De hecho, la relación entre el error medio (X_{Δ}) y la distancia nominal al stand-off (Z_T) muestra un comportamiento casi lineal.

Sin embargo, la pendiente de la curva varía con los valores de F y P, por lo que debe calcularse en función de la combinación seleccionada. La existencia de una pendiente constante para estas curvas sugiere que el error medio se puede reducir con un ajuste apropiado de F y P. Sin embargo, también se ha encontrado que una reducción del error



implica un aumento de la desviación estándar (σ_{Δ}) de manera que la repetibilidad empeora y este efecto es más notorio cuando la superficie se encuentra más alejada del stand-off.

Por otro lado, el indicador X_{δ} muestra un comportamiento casi independiente de la ubicación de cada par de superficies adyacentes dentro del WR. También parece no estar afectado por la combinación seleccionada de F y P. La repetibilidad es mejor para este indicador que para el anterior, ya que los valores para la desviación estándar generalmente están por debajo de 5 micras. Esto refleja que el cálculo de las distancias entre las superficies planas adyacentes tiene un nivel similar de calidad (precisión y repetibilidad) a lo largo del WR para las combinaciones dentro de la RA. Sin embargo, los mejores resultados para este parámetro se obtienen de nuevo en los alrededores de la posición teórica stand-off.

Varias conclusiones se pueden destacar del estudio, que se resumen a continuación:

- Los criterios de ajuste sobre la base de los valores de SNR y Total recomendado por el fabricante deben ser considerados como necesarios, pero no suficientes, para garantizar una buena precisión en las mediciones realizadas por el sensor de HC.
- La recomendación de utilizar una superficie situada en el stand-off para el ajuste F y P no es totalmente adecuada, ya que la calidad de las mediciones empeora a medida que la distancia aumenta respecto a esta posición. Por lo tanto, podría haber situaciones en las que las superficies situadas más alejadas del stand-off no serán adecuadamente reconstruidas, aun cuando se hayan obtenido buenos valores de SNR y Total para las superficie situada en el stand -off.
- Un alto número de puntos digitalizados asegura la reconstrucción geométrica fiable de la superficie, pero este hecho no proporciona información adicional acerca de la exactitud de la medición.
- Se encuentra un significativo empeoramiento de la precisión y la repetibilidad al medir grandes distancias dentro del WR. Una caracterización adecuada de este efecto podría permitir para la definición de los procedimientos de compensación para mejorar la precisión de las mediciones.



- Cuando se miden distancias cortas los parámetros F y P, así como la posición dentro de la WR no tienen influencia significativa en la precisión y repetibilidad. Estos errores muestran un comportamiento aleatorio que impide realizar ningún tipo de compensación. Sin embargo, podrían ser aceptadas, ya que su valor medio es bajo y su repetibilidad es alta.

A la vista de estas conclusiones, se puede decir que el comportamiento metrológico del sensor HC es más preciso para las distancias cortas dentro de la WR que para distancias entre superficies en los extremos del Workingrange. Por ejemplo, esto podría ser aplicado para la comparación de las distancias con los valores nominales cercanos. Cuando se utiliza el sensor para la medición de distancias más grandes, será necesario aplicar compensaciones de error y ajuste de F y P.

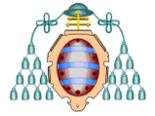


11 Bibliografía

- Fernández P, Blanco D, Rico JC, Valiño G, Mateos S. Influence of Surface Position along the Working Range of Conoscopic Holography Sensors on Dimensional Verification of AISI 316 Wire EDM Machined Surfaces. *Sensors* 2014; 14(3):4495–4512.
- Fernández P, Blanco D, Valiño G, Hoang H, Suárez CM, Mateos S. Integration of a Conoscopic Holography Sensor on a CMM. In: Marcos M, Salguero J, editors. *AIP Conference Proceedings* 1431, Cádiz, Spain; 2012, p. 225–232.
- Álvarez I, Enguita JM, Frade M, Marina J, Ojea G. On-Line Metrology with Conoscopic Holography: Beyond Triangulation. *Sensors* 2009; 9(9):7021–7037.
- Conoscopic Holography: Influence of part material and sensor configuration on the quality of digitized point-clouds.
- ConoProbe MKIII OEM Manual. Disponible en: <http://www.optimet.com>.
- Sansoni, G.; Trebeschi, M.; Docchio, F. State-of-the-art and applications of 3D imaging sensors in industry, cultural heritage, medicine and criminal investigation. *Sensors* 2009, 9, 568–601.
- Vukasinovic, N.; Mozina, J.; Duhovnik, J. Correlation between angle, measurement distance, object colour and the number of acquired points at CNC laser scanning. *J. Mechan. Eng.* 2012, 58, 23–28.
- Isheil, A.; Gonnet, J.-P.; Joannic, D.; Fontaine, J.-F. Systematic error correction of a 3D laser scanning measurement device. *Opt. Laser Eng.* 2011, 49, 16–24.
- Muralikrishnan, B.; Ren, W.; Everett, D.; Stanfield, E.; Doiron, T. Performance evaluation experiments on a laser spot triangulation probe. *Measurement* 2012, 45, 333–343.
- Gestel, N.V.; Cuypers, S.; Bleys, P.; Kruth, J.-P. A performance evaluation test for laser line scanners on CMMs. *Opt. Laser Eng.* 2009, 47, 336–342.
- Sirat, G.; Psaltis, D. Conoscopic Holography. *Opt. Lett.* 1985, 10, 4–6.
- Malet, Y.; Sirat, G.Y. Conoscopic holography application: Multipurpose rangefinders. *J. Opt.* 1998, 29, 183–187.



- Sirat, G.Y.; Paz, F.; Agronik, G.; Wilner, K. Conoscopic Systems and Conoscopic Holography. Laboratory for CAD & Lifecycle Engineering. Faculty of Mechanical Engineering, Technion-Israel Institute of Technology. Available online: http://mecadserv1.technion.ac.il/public_html/IK05/Sirat_9375.pdf (accessed on 19 November 2013).
- Lathrop, R.A.; Hackworth, D.M.; Webster, III, R.J. Minimally Invasive Holographic Surface Scanning for Soft-Tissue Image Registration. IEEE Trans Biomed. Eng. 2010, 57, 1497–1506.
- Lonardo, P.M.; Bruzzone, A.A. Measurement and Topography Characterization of Surfaces Produced by Selective Laser Sintering. CIRP Annals–Manufacturing Technology 2000, 49, 427–430.
- Lombardo, E.; Martorelli, M.; Nigrelli, V. Non-Contact Roughness Measurement in Rapid Prototypes by Conoscopic Holography. In Proceedings of the XII ADM International Conference, Rimini, Italy, 5–7 September 2001.
- Smith, K.B.; Zheng, Y.F. Point Laser Triangulation Probe Calibration for Coordinate Metrology. J. Manuf. Sci. Eng. 2000, 122, 582–586.



12 Agradecimientos

Este trabajo forma parte de una investigación apoyada por el Ministerio Español de Economía y Competitividad y FEDER (DPI2012-30987) y la Consejería de Economía y Empleo del Principado de Asturias (España) (SV-PA-13-ECOEMP-15). También agradecer al ITMA Materials Technology por su ayuda en la fabricación de la probeta.