

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE GIJÓN**

**ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN**

**PROYECTO DE CARRERA Nº:**

**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL DIGITALIZADO DE  
SUPERFICIES MEDIANTE SENSORES CONOSCÓPICOS  
INTEGRADOS EN MÁQUINA DE MEDIR POR COORDENADAS**

**DOCUMENTO Nº1**

**MEMORIA, ANEXOS, PLANOS, PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO**

**D. LUIS IGNACIO SUÁREZ RÍOS**

**Dr. DAVID BLANCO FERNÁNDEZ**

**JULIO 2011**

<b>1. Introducción</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Objetivo del Proyecto y fases del trabajo</b> .....	<b>6</b>
2.1. Objetivo del proyecto .....	6
2.2. Fases de trabajo .....	7
<b>3. Antecedentes</b> .....	<b>8</b>
3.1. Digitalizado de superficies .....	8
3.1.1. Sistemas de digitalizado.....	8
Sistemas de digitalizado por contacto.....	8
Sistemas de digitalizado sin contacto .....	11
3.1.2. Aplicaciones.....	14
3.1.3. Holografía Conoscópica .....	15
Principio de funcionamiento .....	15
Sistemas comerciales .....	17
Ventajas e inconvenientes.....	18
3.1.4. Principales aplicaciones .....	21
<b>4. Planteamiento del trabajo</b> .....	<b>23</b>
4.1. Equipo .....	23
4.1.1. MMC. Especificaciones.....	23
Hardware.....	23
Software .....	26
4.1.2. Sensor conoscópico. Especificaciones.....	27
Hardware.....	27
Software .....	31
4.2. Factores de influencia sobre la calidad de digitalizado.....	35
<b>5. Integración del sensor conoscópico en la MMC</b> .....	<b>37</b>
5.1. Especificaciones .....	37
5.1.1. Especificaciones del equipo.....	37
5.1.2. Especificaciones del sistema de trabajo.....	40
5.1.3. Especificaciones de diseño .....	40
5.2. Alternativas conceptuales.....	42
5.3. Diseño de detalle .....	46
5.3.1. Soporte para utillajes .....	46
5.3.2. Primer utillaje. Lente de 200 mm .....	48

5.3.3.	Segundo utillaje. Lentes de 16, 50 mm.....	51
5.4.	Fabricación y ensamblaje .....	54
5.4.1.	Soporte para utillajes .....	54
5.4.2.	Utillaje 1 .....	55
5.4.3.	Utillaje 2 .....	56
5.5.	Integración electrónica del conjunto .....	57
5.6.	Puesta a punto .....	58
5.7.	Ensayos previos.....	59
5.7.1.	Influencia de la temperatura y tiempo mínimo de establecimiento desde encendido.....	59
	Material y software de trabajo .....	59
	Ensayos a realizar .....	63
	Conclusiones derivadas de los ensayos .....	71
<b>6.</b>	<b>Desarrollo del procedimiento de calibración .....</b>	<b>72</b>
6.1.	Necesidad de establecer un procedimiento de calibración.....	73
6.2.	Planteamiento del procedimiento de calibración. ....	75
6.2.1.	Patrón poliédrico .....	76
6.2.2.	Patrón esférico .....	79
6.2.3.	Comparativa de ambos sistemas de calibración .....	80
<b>7.</b>	<b>Caracterización de la calidad del digitalizado .....</b>	<b>82</b>
7.1.1.	Factores intrínsecos al sensor .....	83
	Optimización de ajuste de parámetros de intensidad y frecuencia .....	84
7.1.2.	Factores extrínsecos al sensor.....	93
	Optimización del número de puntos .....	93
	Optimización del valor del semiángulo de cobertura sobre casquete esférico .....	95
	Optimización de la trayectoria de captación de puntos .....	98
<b>8.</b>	<b>Conclusiones y trabajos futuros .....</b>	<b>104</b>
8.1.	Conclusiones .....	104
8.2.	Trabajos futuros .....	105
<b>9.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>106</b>

## 1. Introducción

La holografía conoscópica es una técnica de medición sin contacto relativamente novedosa con gran proyección futura. Las ventajas que puede llegar a proporcionar, trabajando en las condiciones adecuadas, la diferencian de forma notable de otros sistemas similares empleados en la actualidad, como puede ser la medición mediante haz láser, por no mencionar la elevada velocidad de medida que proporciona si se comparan con métodos tradicionales de medición por contacto.

Centrándonos en los sistemas sin contacto, diremos que tienen cabida en dos contextos en torno a los cuales se enfocarán los resultados de este trabajo y de otros futuros: el digitalizado de superficies (por ejemplo, en los dispositivos de triangulación láser) y la verificación en máquina (*On Machine Measuring*).

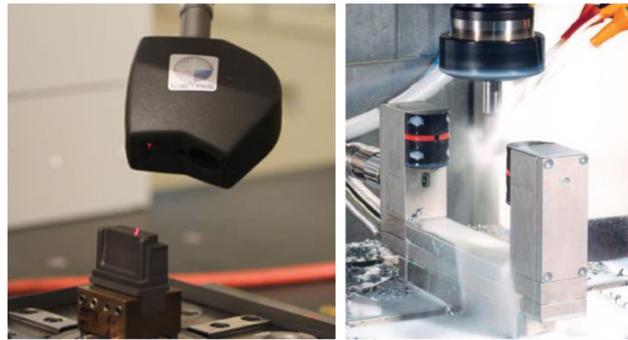


Figura 1.1. Sistemas de digitalizado de piezas (izquierda) y comprobación de desgaste de herramienta.

Estos últimos son utilizados sobre todo en máquinas herramienta en dos aplicaciones principales: la verificación dimensional *in situ* de las piezas que están siendo mecanizadas con la ventaja de no necesitar detener la producción para medirlas por otros métodos externos. Otra aplicación, cada vez más empleada, es el control del desgaste de herramientas para poder realizar una compensación de la misma o en su defecto, sustituirlas de ser dicho desgaste (o incluso rotura) inaceptable para continuar con las tareas de mecanizado.

Sin embargo, esta tecnología no está exenta de ciertas limitaciones. Comparándola con la holografía conoscópica, podríamos mencionar ventajas tales como una sustancial mejora en cuanto a precisión y repetibilidad para una misma profundidad de campo, así como la posibilidad de adaptarse a diferentes rangos por las ópticas intercambiables, la capacidad de acceder a zonas complejas por ser colineales los haces proyectados por los sensores de este tipo, o un buen comportamiento ante distintos tipos de materiales y características superficiales.

De esta forma, resultan evidentes las ventajas de poder aplicar la holografía conoscópica en los campos anteriormente mencionados. No obstante, el bajo grado de desarrollo de esta tecnología la convierte en un candidato ideal para estudiar las condiciones de captura de

puntos óptima, así como valorar por qué tipo de factores se ve más afectada y como podrían solucionarse dichas deficiencias, para, en último lugar, obtener una primera aproximación de la calidad que este sistema puede llegar a reportar.

## **2. Objetivo del Proyecto y fases del trabajo**

### **2.1. Objetivo del proyecto**

Teniendo presente todo lo descrito anteriormente, el Área de ingeniería de los Procesos de Fabricación se plantea acometer un proyecto a largo plazo con objetivo principal y último la integración de un sensor conoscópico comercial *ConoProbe Mark III*, del fabricante *Optimet* en un recientemente adquirido centro de mecanizado. Sin embargo, al ser, como ya se ha comentado, una tecnología relativamente joven que no se ha enfocado hacia esta vertiente hasta la fecha, se antoja necesario un primer acercamiento a la misma para poder estudiar las posibilidades, ventajas e inconvenientes que ofrece y acotar todas estas para garantizar que la calidad de medición sea óptima.

Por esta razón, se decide partir de un paso previo, y, contando con el sensor conoscópico, tratar de integrarlo en una de las máquinas de medir por coordenadas disponibles en el Área, para, de esta forma, conjugar en un solo elemento la movilidad y precisión de posicionamiento que sólo una máquina de este tipo proporciona, y la calidad de captura de puntos que se puede llegar a obtener mediante la técnica de la holografía conoscópica correctamente ajustada. Para esto, el primer paso será diseñar, fabricar y ensamblar un utillaje que permita la unión de ambos elementos. A parte de la propia integración física, acometer este proyecto de forma previa abre dos frentes de trabajo principales:

- Estudiar la eficiencia del sensor en un sistema móvil de gran precisión, permitiendo cuantificar la bondad de medición tanto para distintos parámetros intrínsecos al mismo y lentes disponibles, como para aquellos dependientes del material que se vaya a medir y cómo la variación de estas afecta a la lectura, así como establecer hasta qué punto es aceptable para poder, en un futuro, extrapolar todas las conclusiones obtenidas cuando se trabaje fuera de este entorno controlado.
- Afrontar el digitalizado de superficies a partir de una nube de puntos, para lo cual será necesario, a parte del estudio previo descrito en el punto anterior, la configuración de un protocolo de calibración que complete el proceso de integración del sensor sobre la *MMC*, y la creación de un software específico que permita al usuario trabajar en un nuevo sistema de coordenadas que contenga de forma ordenada datos provenientes tanto de las lecturas del sensor como de los encoders de la máquina.

## **2.2. Fases de trabajo**

El trabajo desarrollado en el presente proyecto se divide básicamente en las siguientes tres fases:

### 1) Integración del sensor en la *MMC*.

Para lo cual se valorarán, en primera instancia, las especificaciones de ambos dispositivos (*MMC DEA Swift* y sensor conoscópico *ConoProbe Mark III*) así como aquellas que deberá cumplir el sistema integrado resultante de esta fase de trabajo. A continuación, se trabajará en la creación de un utillaje diseñado ex profeso para permitir dicha integración, cubriendo los procesos de búsqueda de alternativas conceptuales, diseño de detalle de todos los componentes que lo conformen y el ensamblaje posterior de todas ellas.

En esta fase también se hablará brevemente de la integración electrónica de ambos sistemas, objeto de un proyecto realizado de forma paralela al presente, cuyo resultado fue un software empleado como herramienta para llevar a cabo gran parte de los ensayos que figuran en apartados posteriores.

Por último, se analizarán algunos ensayos realizados de forma previa para establecer las condiciones óptimas de funcionamiento del sensor conoscópico, de cara a garantizar los futuros ensayos en condiciones de máxima precisión.

### 2) Desarrollo de un procedimiento de calibración.

Por tratarse de dispositivos independientes, para poder trabajar de forma simultánea con ambos, se requiere de un procedimiento de calibración que permita su coordinación para que las posiciones dadas por la *MMC* puedan referirse al sensor, en lugar al sistema de coordenadas propio de la misma.

Se valorarán dos procedimientos de calibración diferenciados, estableciendo una comparativa entre ambos y concluyendo cuál de ellos resulta más apto para el trabajo con el sistema.

### 3) Caracterización de la calidad del digitalizado de superficies.

Tras establecer un procedimiento de calibración válido, se procederá al estudio de todos aquellos parámetros que influyen de forma negativa en la lectura dada por el sensor, para posteriormente optimizarlos y configurar unas condiciones de captura tales que la calidad obtenida sea la mejor posible.

En este apartado se incluye el estudio de los parámetros intrínsecos al sensor, y de los extrínsecos al mismo.

## **8. Conclusiones, trabajos futuros y publicaciones derivadas**

### **8.1. Conclusiones**

A lo largo de la realización de este proyecto se han extraído las siguientes conclusiones relativas al trabajo con sensores conoscópicos:

- La versatilidad que ofrecen estos dispositivos a la hora de afrontar su integración en un dispositivo externo. En este caso se trata de una *MMC*, aunque con un diseño adaptativo adecuado y la fabricación del consiguiente utillaje correctamente dimensionado para cumplir los requisitos existentes, podría afrontarse su integración en casi cualquier equipo de características similares, de forma análoga a como se ha llevado a cabo en el presente trabajo.
- Los factores externos que afectan al sistema conoscópico, siendo el más relevante el efecto térmico debido al calentamiento progresivo del sensor a lo largo del tiempo de encendido. Esto conduce a pensar que trabajando en entornos no adaptados térmicamente, o sometido a regímenes de calentamiento/enfriamiento repentinos, como en un taller o sobre una máquina de mecanizado, este sea un factor crítico a controlar por posibles afecciones no detectadas aquí, pero que podrían manifestarse en otras condiciones.
- La ausencia de afectación luminosa al sistema conoscópico. Mientras que en otros equipos similares, como los de triangulación láser, los efectos de este fenómeno son visibles y apreciables, en el sensor *ConoProbe* se puede trabajar de forma indistinta en entornos bien iluminados o oscuros, siendo los resultados derivados de estos idénticos en ambos casos
- La aplicación de un procedimiento de calibración, adaptado al dispositivo conoscópico en concreto y la posterior comparación con un sistema diseñado, desarrollado e implementado *ex profeso* para esta situación, basado en una geometría esférica similar a las empleadas para calibraciones de dispositivos de digitalizado sin contacto comerciales, con resultados mucho más satisfactorios que el primero.
- La posibilidad de adaptar los parámetros intrínsecos del sensor a cualquier material, pudiendo encontrar una pareja de intensidad/frecuencia óptimas que garanticen una calidad óptima de digitalizado.
- La posterior comprobación de este hecho mediante el digitalizado de grupos de esferas captadas con un reducido número de puntos para comprobar cuál de ellas se ajusta mejor a la esfera real empleada, caracterizada por su radio teórico, obteniendo resultados que llegan a alcanzar una precisión del orden de micras.

## **8.2. Trabajos futuros**

Como se ha explicado en la introducción, este proyecto se engloba dentro de otro de mayores dimensiones y proyección futura, que es la implantación de todo el sistema desarrollado en un centro de mecanizado. Al margen de la integración electrónica, que constituiría otro problema en sí mismo, las tareas a desarrollar en futuros trabajos orientados en esta línea podrían incluir:

- Caracterización de diversos materiales. De forma análoga a como se ha procedido con la esfera de calibración, todo material podría, en teoría, ser caracterizado mediante la obtención de los parámetros  $I_t$ ,  $F_t$  (intensidad de trabajo y frecuencia de trabajo, respectivamente). Así, sería interesante la creación de una tabla de experimentos que recogiese aquellos materiales más empleados en los trabajos de mecanizado a realizar, para ser ensayados en igualdad de condiciones y obteniendo dichos parámetros, aplicarlos en el digitalizado de diversas geometrías complejas, previo ajuste del sensor *ConoProbe* en cada caso.

## **8.3. Publicaciones derivadas**

Parte de las conclusiones extraídas de los ensayos recogidos en el presente documento, analizadas en conjunto por los miembros integrantes del grupo de investigación del Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, han dado lugar al artículo titulado “*Integración de sensor conoscópico en máquina de medir por coordenadas*”, actualmente aceptado, y en espera de ser presentado en la cuarta edición del *MESIC* (Congreso Internacional de la Sociedad de Fabricación) organizado por la Universidad de Cádiz que se celebrará el próximo mes de Septiembre y cuyo principal objetivo es la difusión de conocimientos en el ámbito de la ingeniería de fabricación.

## **9. Bibliografía**

- [1] Gabriel Y SIRAT, Freddy PAZ, Gregory AGRONIK, Kalman WILNER, *Conoscopic Systems and Conoscopic Holography*.
- [2] OPTIMET MANUAL P/N 3J06007, *ConoProbe MKIII OEM Manual version 0.99B*.
- [3] I. Álvarez, J. M. Enguita, M. Frade, J. Marina, G. Ojea, *On-Line Metrology with Conoscopic Holography: Beyond Triangulation*. *Sensors*, 9 (2009), pp.7021-7037.
- [4] K. B. Smith, Y. F. Zheng, *Point Laser Triangulation Probe Calibration for Coordinate Metrology*. *J.Manuf. Sci. Eng.* 122 (2000).
- [5] VDI/VDE 2634 Part I, *Optical 3D measuring systems - Imaging systems with point-by-point probing*.
- [6] VDI/VDE 2634 Part II, *Optical 3-D measuring systems - Optical systems based on area scanning*.
- [7] Ray A. Lathrop, Tiffany T. Cheng, and Robert J. Webster III, *Conoscopic Holography for Image Registration: A Feasibility Study*.