

# Nuevas líneas de trabajo en metrología óptica en el CD6 de la UPC

**Santiago Royo\***, Josep Arasa, Miguel Ares, Reza Atashkhoei, Francisco J. Azcona, Jesús Caum, Jordi Riu, Irina Sergievskaya, Vincent Suc

*Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC-CD6)  
Rambla Sant Nebridi 10 E08222 Terrassa*

[santiago.royo@upc.edu](mailto:santiago.royo@upc.edu)

**Resumen:** Se revisan los principales resultados obtenidos en los últimos años en la línea de trabajo en Metrología Óptica del CD6 de la UPC. La línea persigue desde siempre el desarrollo de nuevas aplicaciones industriales basadas en la metrología sin contacto a diferentes escalas. Para ello, y a partir de los contactos del grupo con su entorno industrial, en los últimos años en el grupo se han incorporado un conjunto de nuevas capacidades metrológicas. Destacan las capacidades alcanzadas en los últimos años en óptica activa, medida tridimensional del cuerpo humano, interferometría láser autorrealimentada, y cámaras de tiempo de vuelo.

## 1. Introducción

La metrología óptica tiene enormes potencialidades para las aplicaciones más diversas, dada su naturaleza sin contacto y el gran número de principios de medida distintos que es posible utilizar. Por ello, existe una gran disparidad de aplicaciones ajustando esos principios de medida a diferentes tipos de superficies, resoluciones, o condiciones ambientales. En el CD6 tradicionalmente ha sido posible establecer puentes bidireccionales entre las contribuciones novedosas de las líneas de investigación y las necesidades de metrología sin contacto de nuestro entorno industrial [1].

Más allá de la actividad más conocida en Metrología Óptica en el CD6, en técnicas como la interferometría, la perfilometría confocal, los sensores Shack-Hartmann o el test de Ronchi [2][3], en los últimos años hemos incorporado un conjunto de líneas de trabajo adicionales a las capacidades tradicionales del centro. En el resto del documento presentamos brevemente algunos de los campos en los que se ha comenzado a realizar aportaciones. En concreto, se han iniciado con éxito líneas de trabajo en óptica activa, en reconstrucción tridimensional del cuerpo humano mediante proyección de franjas, en interferometría láser autorrealimentada y en sensores de imagen de tiempo de vuelo.

## 2. Óptica activa

Se están desarrollando nuevos algoritmos de control para mejorar la frecuencia máxima de respuesta en sistemas de óptica adaptativa. Se aborda el problema del incremento del tiempo de respuesta de estos sistemas causado por el aumento del número de actuadores en los espejos deformables actuales, donde algunos sistemas comerciales de uso general alcanzan ya el millar de actuadores independientes. Nuestra propuesta es un nuevo sistema de diagonalización de la matriz de control del sistema que aprovecha la existencia de los términos nulos o casi nulos de la matriz de control. Esto permite diagonalizarla en bloques independientes que permiten la paralelización del cálculo, con el consiguiente incremento de la velocidad de respuesta del sistema [4]. La figura 1a muestra el rms de las simulaciones numéricas de las técnicas clásicas de diagonalización comparadas con la técnica propuesta, contra el número de ciclos. Puede observarse cómo el valor de rms es algo superior, pero básicamente equivalente a la técnica propuesta en todos los ciclos, con la ventaja de permitir la diagonalización en paralelo de diferentes regiones de la matriz de control.

Dentro de esta línea se han desarrollado también algoritmos de óptica adaptativa sin sensor para el cálculo de las aberraciones de bajo orden introducidas en el foco primario de un telescopio, a partir de la evaluación de la entropía local de la imagen [5]. Este conjunto de algoritmos se ha implementado en un nuevo concepto de telescopio robótico de foco primario (Fig.1b) [6,7], que incorpora un sistema optomecánico activo de compensación de aberraciones. El telescopio se ha instalado recientemente en un observatorio en altura y se presenta en detalle en otro póster de esta Reunión.

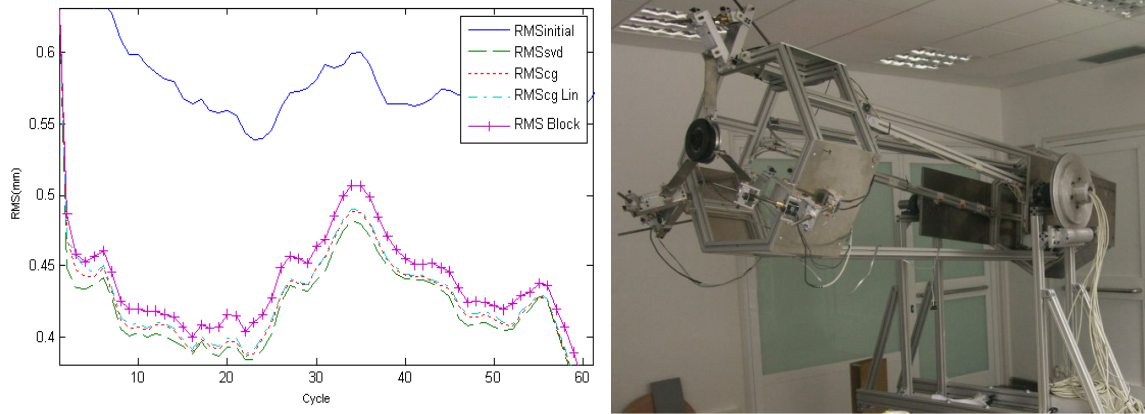


Figura 1: a) Simulación numérica del algoritmo de control por bloques; b) Telescopio basado en óptica activa sin sensor.

### 3. Reconstrucción 3D del cuerpo humano

Otra línea de trabajo en la que se han obtenido resultados destacables en los últimos años es en el desarrollo de equipos para la medición tridimensional *in vivo* de diferentes áreas del cuerpo humano. La técnica está basada en la fotogrametría con luz estructurada. El sistema incorpora técnicas de desplazamiento de fase de un patrón de franjas proyectado para identificar la pareja de píxeles correspondientes en dos cámaras de observación. Esta correspondencia permite establecer un proceso de triangulación que, una vez calibrados los parámetros del sistema, recupera las coordenadas 3D de la superficie de interés, que es posible combinar con la información de color píxel a píxel. El sistema, que se ha aplicado en la evaluación de tratamientos de estética, cosmética y cirugía, es escalable y permite medir diferentes áreas (de  $\text{mm}^2$  a  $\text{m}^2$ ) con resoluciones variables, que en general van desde la micra hasta la décima de milímetro. Mediante el uso de unidades de medida múltiples es posible medir perfiles 3D desde varios puntos de vista (incluso  $360^\circ$ ), y mediante técnicas de “stitching” es posible medir con elevado muestreo grandes áreas de la muestra.

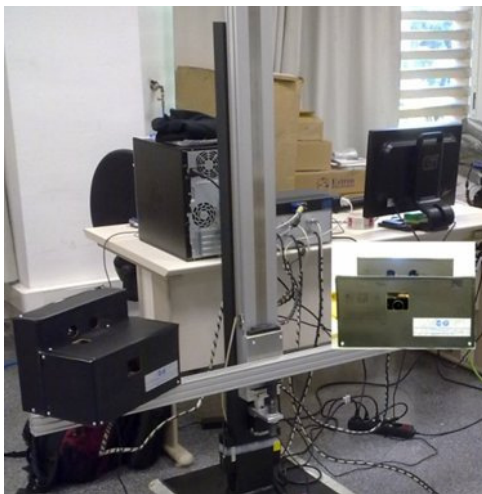


Figura 2: a) Prototipo de sistema de captura; b) Resultados de la medida de una cara completa *in vivo*.

#### 4. Interferometría láser autorrealimentada

La interferometría láser autorrealimentada se basa en un fenómeno que aparece cuando parte del haz emitido por un diodo láser hacia un objeto difusor se realimenta al interior de la cavidad láser. Esto genera una interferencia entre el haz estacionario de la cavidad y el haz difundido, de manera que se producen batidos de intensidad que es posible medir utilizando el fotodiodo de control del propio diodo láser. Se trata de una técnica de resolución interferométrica, con las ventajas de un montaje extremadamente simple, ya que el diodo láser actúa como emisor, cavidad resonante y detector. Es, por tanto, un interferómetro excepcionalmente compacto, robusto, y autoalineado.

Uno de los problemas de la técnica es la dificultad de ajustar el grado de realimentación de la cavidad, ya que para diferentes niveles de realimentación las señales obtenidas son diferentes, y determinados niveles de realimentación son más favorables para aplicaciones de metrología. En el CD6 se ha desarrollado un sistema de control del grado de realimentación basado en una lente líquida que ha permitido ajustar el nivel de realimentación obtenido, extendiendo el rango de medida en condiciones óptimas desde algunos centímetros hasta varios metros de manera automática (Figura 3). El sistema se ha aplicado a medidas interferométricas de vibrometría a varias distancias del objeto [8].

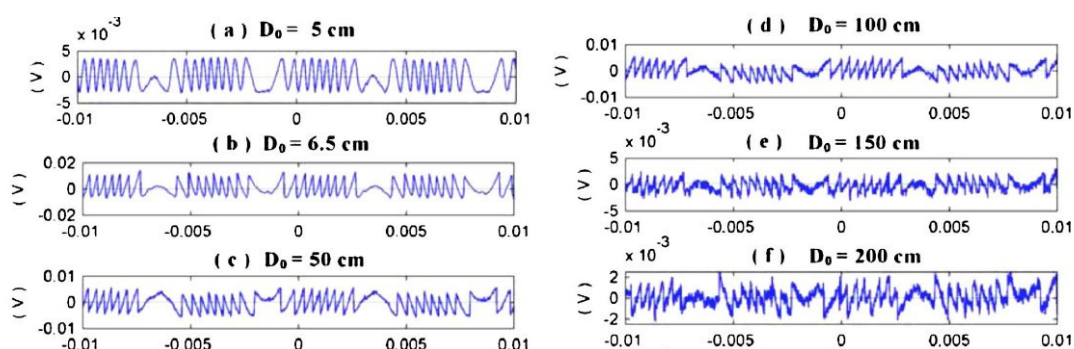


Figura 3: Resultados de vibrometría a diferentes distancias, equivalentes gracias al uso de una lente líquida para ajustar el grado de realimentación. Sin el sistema de lente líquida la distancia de trabajo se limita a un rango de unos 15cm.

Una adaptación del sistema se ha aplicado a la compensación del ruido de speckle introducido en la medida de desplazamientos largos del objeto a medir. Utilizando estas técnicas se han llevado a cabo aplicaciones relacionadas con el control no destructivo del desplazamiento del eje de motores [9-11], o en NDT de estructuras compuestas en ingeniería civil, así como para la obtención de dispositivos compactos de resolución subnanométrica [12].

#### 5. Sensores de tiempo de vuelo

La última línea de trabajo introducida es, en cierto modo, complementaria de la anterior, ya que se basa en el uso de láseres pulsados para la realización de medidas de tiempo de vuelo. En esta línea trabajamos en el desarrollo de sistemas de imagen de tiempo de vuelo con el objetivo para obtener sistemas de elevada resolución espacial. Ello ha permitido desarrollar proyectos para la validación de detectores de estado sólido (MPPC) en sistemas lidar atmosféricos [13] utilizando sistemas de contaje de tiempo digitales (TDC) de alta resolución, mostrando la equivalencia de resultados entre los detectores de estado sólido y los tubos fotomultiplicadores clásicos en la detección de aerosoles (Figura 4a). Asimismo, utilizando una nueva propuesta de escaneo óptico se está desarrollando un nuevo concepto de cámara de tiempo de vuelo de muy alta definición, que permite obtener imágenes de profundidad de las escenas con resolución espacial de megapíxeles [14], lo que mejora en dos órdenes de magnitud las tecnologías disponibles comercialmente (Figura 4b).

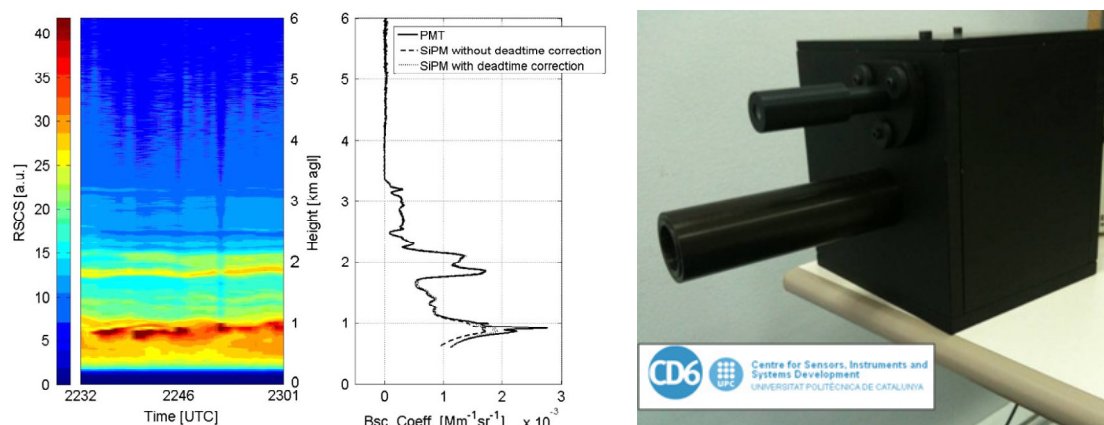


Figura 4: a) Comparación del coeficiente de backscattering obtenido utilizando un tubo multiplicador (PMT) y un detector de estado sólido (SiPM); b) Cámara de tiempo de vuelo de alta definición desarrollada en el CD6.

## 6. Conclusiones

En el CD6 de la UPC se están desarrollando diferentes técnicas experimentales relacionadas con la Metrología Óptica, que complementan la experiencia ya existente en el Centro. La diversidad de aplicaciones posibles y el elevado número de principios de medida disponibles, permite el desarrollo de contribuciones científicas con aplicación directa a necesidades metroológicas de interés industrial.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer al MICINN los proyectos DPI2009-13379 y DPI2011-25525 que han financiado parcialmente este trabajo.

## Bibliografía

- [1] S.Royo, J.Arasa "Le CD6 de l'UPC: Un centre d'innovation en ingénierie optique près de Barcelone". C. Invitada CMOI 2010
- [2] M.Ares, S.Royo, I.Sergievskaya, J.Riu "Active optics null-test system based on a liquid-crystal spatial light modulator" Appl. Opt. 49 6201-6206 (2010)
- [3] J.Caum, J.Arasa, S.Royo "Design of adaptive digital filters for phase extraction in complex fringe patterns obtained using the Ronchi test" J.Mod.Opt, aceptado (2012)
- [4] I.Sergievskaya, S.Royo, J.Riu, M.Ares "Fast correction in adaptive optical systems using block control" Proc. International Workshop on Adaptive Optics in Industry and Medicine, Murcia (2011)
- [5] V.Suc, S.Royo, A.Jordán "Using local entropy as a merit function in a sensorless AO arrangement" Proc SPIE **8449**, pp40, 1-12
- [6] S.Royo, V.Suc "Method and system to compensate optical aberrations in a telescope" Patente ESP20100907 Prioridad 30.07.2010, PCT en trámite
- [7] V.Suc, S.Royo "Proyecto SAPACAN" Premio en el II Concurso de Propiedad Intelectual 2010, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- [8] U.Zabit, R.Atashkhoeei, T.Bosch, S.Royo, D.Rakic "Adaptive self mixing vibrometer based on a liquid lens" Opt.Let **35** 1278-1280 (2010)
- [9] R.Atashkhoeei, J.Urresty, S.Royo, J.Riba-Ruiz "Sistema y método de medida del desplazamiento transversal de un eje físico giratorio" Patente ESP201132100 Prioridad 23.12.2011.
- [10] R.Atashkhoeei, J.Urresty, S.Royo, J.Riba-Ruiz, J.L.Romeral "Run-out tracking of electrical motors using self-mixing interferometry" IEEE Optomechanics, Submitted (2012)
- [11] J.Urresty, R.Atashkhoeei, J.Ribas-Ruiz, J.L.Romeral, S.Royo "Mechanical effects of demagnetization faults on permanent magnet synchronous motors" IEEE Industrial electronics, submitted (2012)
- [12] S.Royo, R.Atashkhoeei, F.Azcona "A method of measuring a displacement-related parameter using a laser self-mixing measuring system, and a laser self-mixing measuring system" Patente EP1038130 Prioridad 15.10.2010
- [13] J.Riu, M.Siccard, S. Royo and A.Comeron "Silicon photomultiplier for atmospheric lidar applications" Opt.Let. **37** 1229-1231 (2012)
- [14] S.Royo, J.Riu "System, method and computer program for receiving a light beam" EP11002231 Prioridad 21.02.2011