

## **Sistema para determinación de forma y propiedades interiores en piezas de materiales transparentes utilizando interferometría óptica.**

Eneas N. Morel, Hernán Martínez Reina, Marina Gutierrez, Nahuel Legarreta, Jorge R. Torga.

Laboratorio de Optoelectrónica y Metrología Aplicada  
Facultad Regional Delta – UTN  
Campana – Bs As – Argentina  
nmorel@frd.utn.edu.ar

### **Resumen**

En este trabajo se presenta un sistema para la determinación de parámetros dimensionales y de forma en distintos materiales por medio de una topografía de su superficie. Para el caso de materiales transparentes la técnica permite además el estudio de propiedades interiores que son obtenidas por medio de una tomografía del material. El sistema propuesto está formado por un equipo que posiciona la muestra y se combina con un cabezal óptico que permite la medición en puntos específicos. El conjunto permite realizar barridos en distintas regiones de la pieza muestreando su superficie y su interior (para el caso de medios semitransparentes). En cada barrido se toman mediciones punto a punto que combinadas con el sistema de medición de la posición de la pieza y el software desarrollado permiten obtener distintos parámetros de la muestra. Se presentan resultados para muestras con simetría axial en un sistema que combina una plataforma de rotación, diseñada y construida para este fin, y un cabezal óptico que utiliza la técnica de interferometría de baja coherencia. Con este diseño es posible realizar mediciones con precisión en el orden del micrón y con una frecuencia de muestreo de 1000 puntos por segundo. El equipo incluye un sistema de control con microprocesador para el posicionamiento y un software de reconstrucción y presentación de resultados, todo diseñado y construido específicamente para las medidas mencionadas.

### **1. Introducción**

La medición de superficies y propiedades interiores de materiales por interferometría de baja coherencia ha evolucionado notablemente en los últimos años <sup>(1)</sup>. Esto se debe fundamentalmente a los excelentes resultados obtenidos en aplicaciones médicas, en lo que se conoce como tomografía óptica coherente (OCT, por sus siglas en inglés) <sup>(2)</sup>. Existen una cantidad de técnicas ópticas que se aplican actualmente en la obtención de topografía de superficies <sup>(3)</sup>, pero hay pocas que permiten en forma simultánea penetrar en la muestra y obtener mediciones de su interior <sup>(4,5,6)</sup>. En este trabajo se propone un sistema basado en la interferometría de baja coherencia para la determinación de la forma de una pieza a través de la obtención de la topografía de su superficie y para el caso de materiales semitransparentes la determinación de parámetros interiores a través de una tomografía óptica. En ambos casos es posible la obtención de imágenes tridimensionales con resolución en el orden del micrón y frecuencias de muestreo en el orden del kHz. Para el caso de la tomografía, la distancia de penetración depende del tipo de radiación, la potencia del haz incidente y el tipo de material de la muestra <sup>(2)</sup>. En el caso de medio altamente dispersivos (tejidos biológicos, fibras, algunos plásticos)

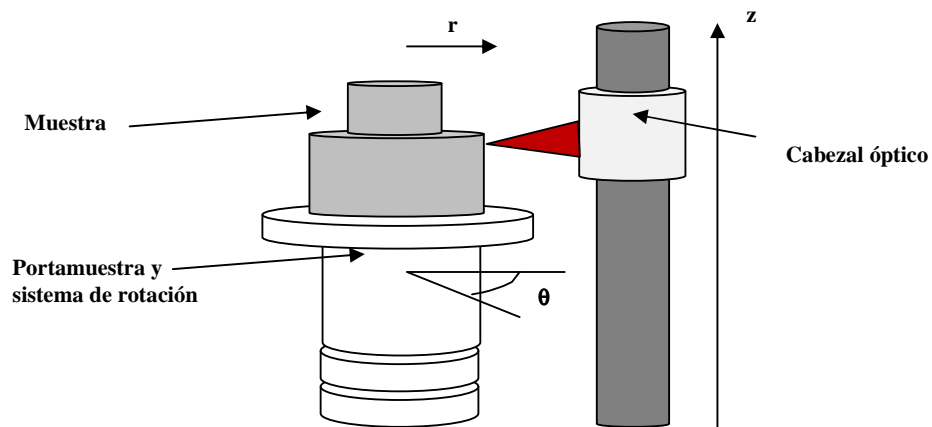
puede ser en el orden del milímetro y hasta el metro en casos de medios transparentes (vidrios, líquidos).

En la mayoría de las aplicaciones presentadas utilizando esta técnica los resultados son obtenidos haciendo barridos del haz de luz enfocado sobre la muestra en estudio <sup>(7)</sup>. Para cada punto muestreado se obtiene un perfil de distancias desde la superficie hacia el interior hasta la distancia de penetración (A-scan). En este trabajo se propone un sistema desarrollado con el objetivo de obtener la forma espacial y propiedades del interior (solo en medios semitransparentes) en piezas de distintos materiales. Se muestran resultados preliminares obtenidos con un sistema en etapa experimental con dos objetivos. El primero es el desarrollo del sistema de posicionamiento de la muestra para que sea dedicado específicamente a la aplicación descrita. Como segundo objetivo se busca identificar aplicaciones donde la interferometría de baja coherencia pueda brindar una alternativa a los sistemas existentes en la actualidad.

En lo que sigue se describe con detalle el sistema propuesto y a continuación se presentan resultados en topografías de superficies en piezas metálicas con simetría cilíndrica y en envases de vidrio donde se muestran tomografías del material.

## 2 Esquema general

El sistema de medición consiste en un cabezal óptico que enfoca un haz de luz sobre la muestra en estudio. Este cabezal está montado sobre un sistema que permite su desplazamiento en forma lineal sobre un eje vertical (eje  $z$ ), como se muestra en las figura 1. La muestra se ubica sobre una plataforma que permite un movimiento rotacional. De esta manera es posible obtener para cada punto medido, entendiendo esto como el punto sobre el que es enfocado el haz de luz del cabezal, una medida de las coordenadas espaciales (figura 1).



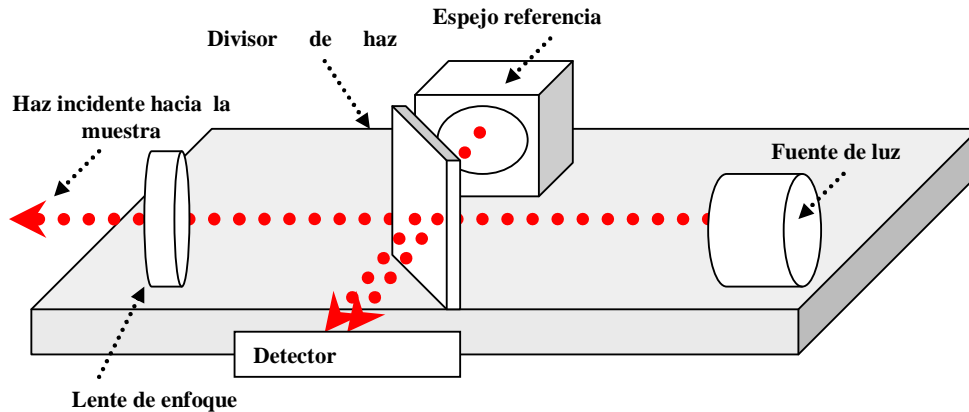
**Figura 1. Esquema general del sistema propuesto**

La medida de cada punto se obtiene utilizando un sistemas de coordenadas cilíndricas  $(r, \theta, z)$  (ver figura 1), donde dos de las coordenadas ( $\theta$  y  $z$ ) se miden utilizando el sistema de posicionamiento descrito. La coordenada angular ( $\theta$ ) se obtiene midiendo la rotación de la plataforma que tiene un sistema incorporado basado en encoders. La coordenada axial ( $z$ ) se obtiene con el sistema de posicionamiento del cabezal óptico también basado en encoders. La coordenada radial ( $r$ ) se determina con una medida

interferométrica utilizando el cabezal óptico. Para muestras semitransparentes esta medida permite además un perfil de valores radiales para un valor fijo de  $(\theta, z)$ .

## 2.1 Cabezal óptico

El esquema utilizado para el cabezal óptico es el de un interferómetro tipo Michelson de baja coherencia que puede ser en aire<sup>(7)</sup> o en fibra óptica<sup>(2,10)</sup>, la fuente de luz utilizada es un diodo superluminiscente con un haz de salida con una potencia máxima de 5mw, en el infrarrojo (840 nm) y con un ancho espectral de 20 nm.(figura 2).



**Figura 2. Dibujo esquemático del interior del cabezal óptico. Se muestra el diseño del interferómetro de baja coherencia.**

El cabezal contiene en su interior un espejo que es utilizado como superficie de referencia. La señal de interferencia medida es entre la luz reflejada en la muestra y el haz de referencia. Los dos haces son detectados con un espectrómetro utilizando la técnica conocida como interferometría de baja coherencia en el dominio de la frecuencia<sup>(9)</sup>. Con este método de detección la señal de interferencia es la superposición del espectro de la fuente de luz para ambos haces, lo que genera una modulación. Haciendo una transformada de Fourier del espectro (FFT(I)) se obtiene un “pico de interferencia” donde la abscisa correspondiente al máximo del pico es directamente el valor de esta distancia. Esta medida requiere una calibración previa.

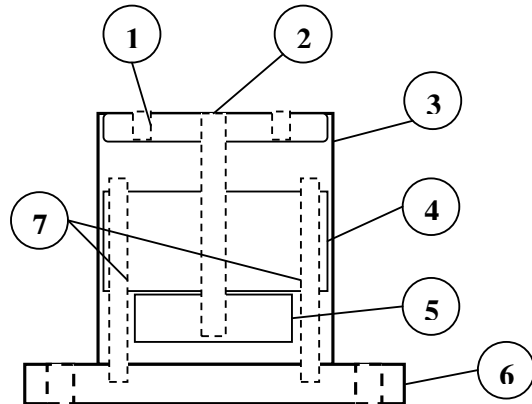
De esta manera para cada punto iluminado en la muestra se obtiene una medida de distancia en el eje radial ( $r$ ) con respecto a una referencia. Más detalles sobre la técnica se pueden encontrar en los trabajos<sup>(2,8,9,10)</sup>.

## 2.2 Sistema de posicionamiento

La plataforma que permite fijar la muestra y generar el movimiento de rotación (coordenada  $\theta$ ) y el sistema que controla la altura del cabezal (eje  $z$ ) fueron desarrollados para este fin específico. La primera fue construida en base a un motor paso a paso, un codificador óptico incremental de posición, un controlador electrónico, una interfase de potencia para el motor paso a paso, un sistema de soporte para los componentes mecánicos, una platina con agujeros roscados para el acople de las piezas bajo estudio y el software necesario para el comando y control del sistema. Se

implementó un sistema realimentado para control y ajuste de posición angular del eje del equipo. La finalidad del dispositivo es manejar la posición de la muestra bajo estudio a través del motor paso a paso, según los comandos enviados por un computador externo, y garantizar dicha posición con el grado de precisión y exactitud necesaria. Esta en etapa de desarrollo el diseño de un sistema basado en la misma configuración para el posicionamiento en el eje z.

Se presenta en la figura 3 un diagrama de las diferentes piezas que conforman la plataforma de rotación.



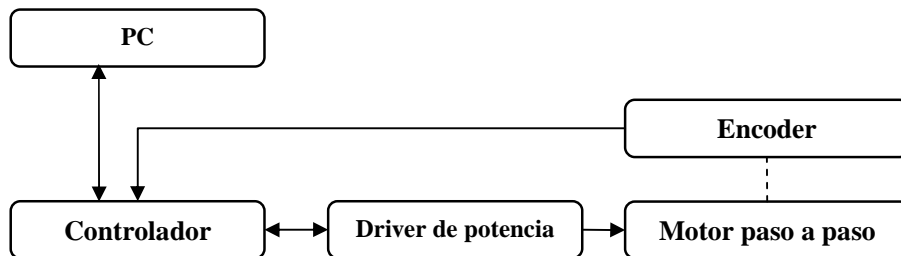
**Referencias**

1. Platina perforada
2. Eje del motor
3. Carcasa
4. Motor Paso a Paso
5. Encoder óptico
6. Base de apoyo
7. Tornillos de fijación

**Figura 3: Esquema de la plataforma de rotación utilizada también como base para la muestra.**

El sistema de control fue diseñado y construido para el sistema descrito guiados por los siguientes requerimientos:

- Control de motor paso a paso haciendo uso de driver de potencia externo.
- Lectura, interpretación y almacenamiento de posición por medio de codificador óptico incremental.
- Interface RS-232 para conexión con PC.
- Protocolo de comunicación y comandos compatibles con sistemas preexistentes.
- Provisión de drivers para control con Matlab y LabView.

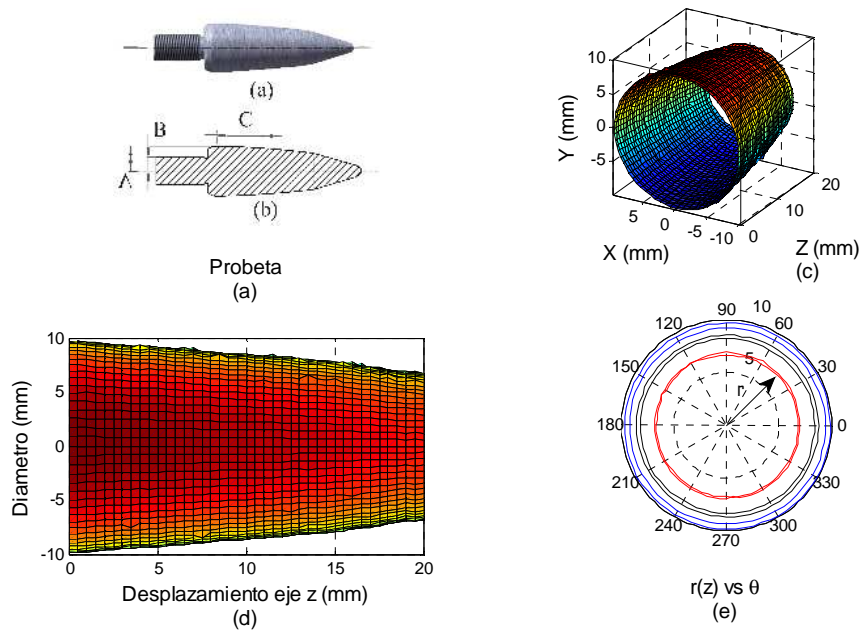


**Figura 4. Diagrama de bloques del sistema completo**

### 3 Resultados

#### 3.1 Topografía de una pieza metálica

Con el sistema descrito se han realizado una serie de medidas en distintos materiales. A modo de ejemplo mostramos en primer lugar la topografía de una porción de la pieza mostrada en la figura 5-a. La muestra es una probeta metálica de acero de 5.49 cm. de largo total, con una superficie maquinada de forma ovoide con dimensiones que se muestran en la figura 5-b. (Largo: 54.9 mm Radio (A): 9.81 mm Radio (B): 7.4 mm, zona medida (C): 16.0 mm)



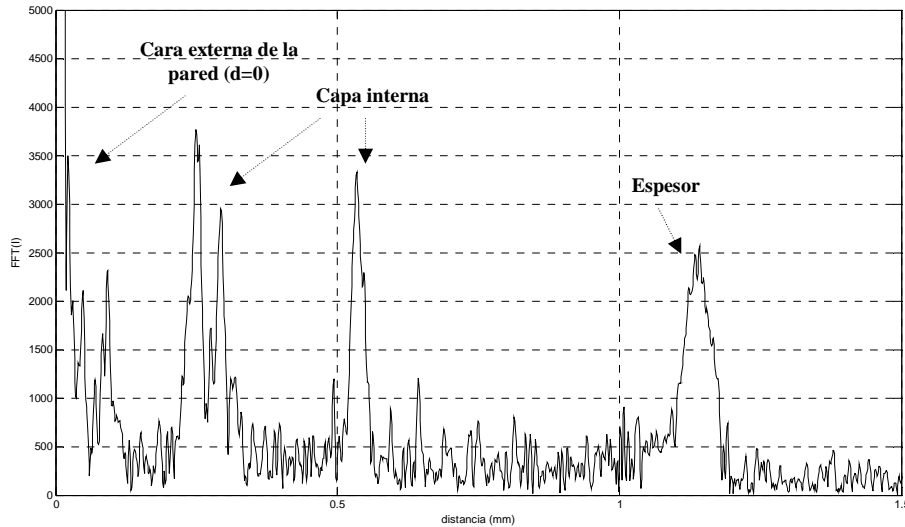
**Figura 5. a) Muestra b) Imagen 3D de la zona indicada , c) Detalle de un corte lateral d) Radio en función del ángulo para distintos valores de z (0, 0.5,10, 10.5, 20 y 20.5 mm)**

La medición se realizó haciendo un barrido sobre la superficie de interés en pasos angulares de  $5^\circ$  y en desplazamientos en el eje z de 0.5 mm (zona C en la figura 5a-(b)). La imagen 3-D se obtiene con las coordenadas  $(r, \theta, z)$  de cada punto medido obtenidas con la señal de interferencia  $(r)$  y los datos del sistema de posicionamiento  $(\theta, z)$ . A partir de esta imagen es posible obtener factores de forma como curvatura (figura 5-c), diámetros de la pieza obtenidos para distintas posiciones del eje z como se muestra en la figura 5-c y variaciones en el radio en función del ángulo para distintos valores del eje z como se muestra en la figura 5-d.

#### 3.2 Tomografía de un envase de vidrio.

Como segundo ejemplo se muestran resultados obtenidos en mediciones hechas sobre la pared de un envase de vidrio de forma cilíndrica de 40 mm de diámetro, 60 mm de

altura y espesor de pared de 1.4 mm. En este caso para cada punto en la superficie de la muestra se miden las coordenadas  $(r, \theta, z)$  utilizando el mismo método del ejemplo anterior. A partir de esa medida se obtiene un perfil de distancias del interior de la pared manteniendo fijo el valor de  $(\theta, z)$ . Un ejemplo de una medida típica se muestra en la figura 6. En el gráfico se muestra la transformada de Fourier de la señal de interferencia (FFT(I)) generada por las reflexiones en distintos punto del interior de la muestra y en las caras de la pared (de acuerdo al método explicado en 2.1). Con cada pico de interferencia se obtiene la distancia (abscisa del máximo) desde el punto medido a la cara externa de la pared que se toma como origen ( $d=0$ ).



**Figura 6.** Gráfico de la transformada de Fourier de la señal de interferencia (FFT(I)), en función de la distancia (d) medida desde la cara externa de la pared. Se indican los picos de interferencia de las interfases interiores detectadas y la medida del espesor de la pared.

## 4 Conclusiones.

Se ha presentado un sistema completo de medición de parámetros de forma e interiores apto para piezas de distintos materiales. El sistema está en etapa de desarrollo y muestra un gran potencial en aplicaciones industriales en el área de control de calidad, análisis de fallas y análisis estructurales. Por ese motivo el trabajo a futuro estará orientado a transformar el sistema actual en un equipo apto para uso industrial y en la búsqueda de nuevas aplicaciones de la técnica propuesta que a nuestro juicio es aún muy poco utilizada.

## Agradecimientos

Estos trabajos fueron financiados por proyectos de investigación de la Facultad Regional Delta de la UTN y la ANPCyT. Eneas Morel y Jorge Torga son miembros del CONICET.

## Referencias

1. <http://www.octnews.org/category/14/non-medical/>
2. Drexler, W. & Fujimoto, J. *Optical Coherence Tomography: Technology and Applications*, Springer Publishing, (2008). ISBN 978-3-540-77549-2, 1400 pages.
3. Richard Leach, "Optical Measurement of Surface Topography", Springer; 1st Edition. (April 21, 2011), ISBN-13: 978-3642120114
4. Woo June Choi, Sung Pyo Jung, Jun Geun Shin, Danning Yang, and Byeong Ha Lee, "Characterization of wet pad surface in chemical mechanical polishing (CMP) process with full-field optical coherence tomography (FF-OCT)," *Opt. Express* 19, 13343-13350 (2011)
5. Manuel H. De la Torre-Ibarra, Pablo D. Ruiz, and Jonathan M. Huntley, "Double-shot depth-resolved displacement field measurement using phase-contrast spectral optical coherence tomography," *Opt. Express* 14, 9643-9656 (2006)
6. Karin Wiesauer, Michael Pircher, Erich Götzinger, Siegfried Bauer, Rainer Engelke, Gisela Ahrens, Gabi Grützner, Christoph Hitzenberger, and David Stifter, "En-face scanning optical coherence tomography with ultra-high resolution for material investigation," *Opt. Express* 13, 1015-1024 (2005).
7. Schmitt, J. ;(1999). "Optical coherence tomography (OCT): a review" *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*", Vol. 5, No. 4, July/August.
8. R. Leitgeb, C. Hitzenberger, and Adolf Fercher, "Performance of fourier domain vs. time domain optical coherence tomography," *Opt. Express* 11, 889-894 (2003).
9. Fercher, A.; Hitzenberger, C.; Kamp, G.; El-Zaiat, S.; "Measurement of intraocular distances by backscattering spectral interferometry," *Opt. Commun.* 117, 43-48,(1995).
10. S. Yun, G. Tearney, B. Bouma, B. Park, and Johannes de Boer, "High-speed spectral-domain optical coherence tomography at 1.3  $\mu\text{m}$  wavelength," *Opt. Express* 11, 3598-3604 (2003).