

Cabezal óptico compacto aplicado a la medición de vibraciones sin contacto

Andrés D. Aguilar, Eneas N. Morel y Jorge R. Torga

Resumen

En este trabajo presentamos un cabezal óptico diseñado para medición de vibraciones basado en la señal de error de foco (SEF), la misma utilizada para leer datos en un cabezal láser de DVD o CD. El sistema fue diseñado con la motivación de obtener un dispositivo compacto y robusto, de bajo costo y pequeñas dimensiones, que pueda ser usado para medir múltiples puntos y sin contacto con la muestra.

El CO presentado en este trabajo mide la posición absoluta entre el plano focal del sistema óptico y el punto iluminado en la muestra. Dado que la SEF es dependiente de la reflectividad de la superficie muestra es necesaria una calibración previa, por eso el sistema incorpora un actuador piezoeléctrico que le permite realizar calibraciones in situ y obtener medidas temporales de la posición. Con este esquema se midieron vibraciones con una amplitud de hasta $10 \mu\text{m}$ y una frecuencia de hasta 1 KHz. con una resolución espacial mejor que 0.5 micrones. Se presentan resultados experimentales en vibraciones de una superficie generadas con un sistema controlado por un elemento piezoeléctrico y en vibraciones transversales generadas en una barra metálica.

Palabras Claves: Vibraciones, sistema óptico, ensayo no destructivo, láser, medición sin contacto.

1. Introducción

Para la detección de vibraciones sin contacto se utilizan frecuentemente técnicas ópticas [1]. Los métodos tradicionales como la interferometría de fase [2], la interferometría Doppler [3] y sus variantes más recientes o las técnicas basadas en fibras ópticas y redes de Bragg [4],

Laboratorio de Optoelectrónica y Metrología Aplicada – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Delta
ad.agbur@yahoo.com / adaguilar@frd.utn.edu.ar

requieren comúnmente un procesamiento de señal complejo y sistemas experimentales sofisticados. En la industria son muy usados los vibrometros láser Doppler [5]. Se han desarrollado acelerómetros que utilizan en su interior sistemas ópticos, algunos incluso usando la misma técnica utilizada en este trabajo [6]. En este trabajo se presenta una técnica que hace uso de una tecnología establecida y probada, utilizada en los cabezales para lectores de discos ópticos (CDs o DVDs) y denominada comúnmente señal de error de foco (SEF) [6]. El sistema se presenta como una alternativa a las técnicas convencionales y fue diseñado con el objetivo de obtener un dispositivo compacto y robusto, de bajo costo y pequeñas dimensiones.

La técnica por SEF se basa en la medición del astigmatismo introducido en el sistema óptico empleado para enfocar el haz de luz en la superficie de la muestra [7]. Combinándola con una calibración previa la SEF provee una medida directa de la posición de la superficie muestra con respecto al cabezal óptico (CO) en función del tiempo, sin necesidad de un procesamiento extra de la señal. A partir de esta medida es posible obtener distintos parámetros como frecuencia, amplitud de vibración, velocidad y aceleración del punto muestreado. El método se ha utilizado exitosamente en diferentes aplicaciones con el objetivo de medir desplazamientos con alta re-

solución espacial (mejor que $1 \mu\text{m}$), medición de velocidad y posición en un actuador lineal [7]; así como en microscopía de efecto túnel [8], litografía térmica y microfabricación [9].

2. Principio de funcionamiento

El esquema experimental básico se muestra en la figura 1, un haz de luz láser se enfoca sobre la superficie de interés con un sistema óptico que produce un haz astigmático. La luz reflejada en la muestra es detectada con un sistema de fotodiodos de cuatro cuadrantes [6]. La señal de salida de este dispositivo es la señal de error de foco (SEF) mencionada anteriormente, y es el resultado de la diferencia de las intensidades de los cuadrantes A y D, y B y C (figura 2). Esta señal depende de la distancia entre el punto iluminado en la muestra y un punto de referencia en el cabezal detector.

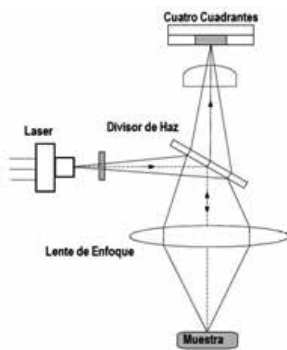


Figura 1 – Esquema experimental.

Cuando la muestra está a la distancia focal de la lente de enfoque, el spot (figura de intensidad) del haz de luz sobre el detector tiene forma circular, mientras que si la muestra se aleja o se acerca de este punto, la forma del spot es elíptica, con su eje mayor en el sentido de una de las diagonales del detector para el acercamiento y en el otro sentido para el alejamiento. (Figura 2). La misma figura muestra la curva de variación de la SEF en función de la distancia cabezal – muestra (curva-S).

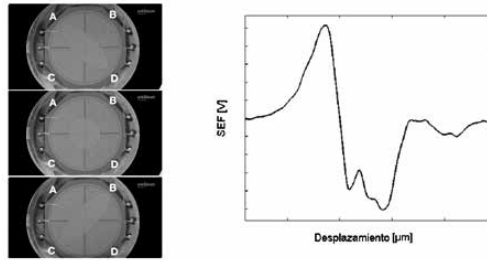


Figura 2 – Croquis del detector en tres estados diferentes y curva-S o señal de error de foco (SEF).

3. Calibración

Como la SEF depende de la reflectividad en la superficie muestra es necesaria una calibración previa. Para realizar la calibración se construyó un sistema que permite montar un espejo sobre un actuador piezoeléctrico con un puente de galgas extensiométricas (PZS001) y un sistema de control a lazo cerrado (Marca Thorlabs Modelo TPZ001). Para el proceso de calibración se realiza una secuencia de pasos que varían, en forma controlada, la distancia cabezal – muestra a lo largo del rango lineal del instrumento comprendido entre el pico y el valle de la curva-S (figura 2). Esto corresponde para nuestro sistema a un rango de 8 micrones. Para cada paso se mide con el sistema de galgas la distancia recorrida en forma simultánea con la SEF. Con esto se obtiene la curva de calibración. Entre cada paso se tomó un tiempo de varios segundos para estabilizar el actuador.

El proceso de calibración propuesto exige la caracterización de movimientos espurios del cabezal debidos a inestabilidades mecánicas. En la figura 3 se muestra un conjunto de curvas que muestran como estos movimientos se manifiestan a través de corrimientos entre las curvas correspondientes a distintos barridos. Este efecto se minimizó mejorando la estabilidad mecánica del cabezal y aumentando la velocidad del proceso de calibración. Un resultado con el sistema optimizado se muestra en la figura 4-a

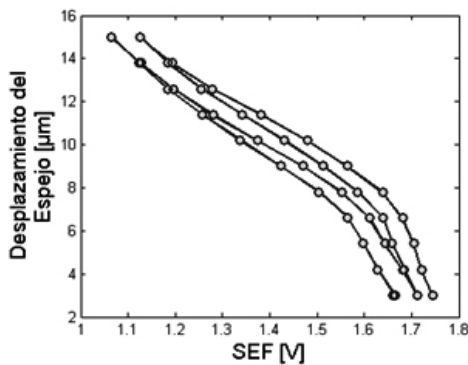


Figura 3 – Superposición de un movimiento aleatorio y los pasos del actuador piezoeléctrico.

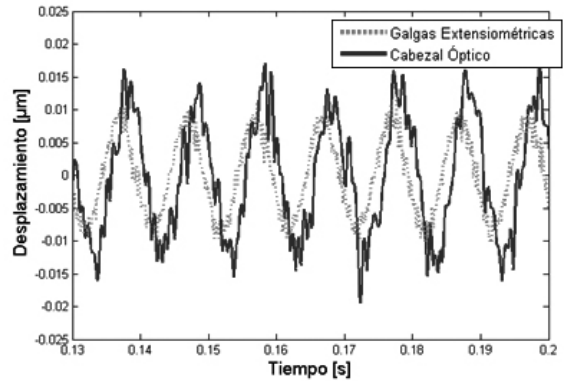


Figura 5 – Oscilación de la muestra a 100 Hz con un desplazamiento pico a pico de aprox 20 nm.

También se realizó un estudio para evaluar las magnitudes de los errores obtenidos en el proceso de calibración. Para esto se compararon las curvas de calibración para varias secuencias consecutivas. Una secuencia típica se puede apreciar en la figura 4-a, donde se muestran cuatro barridos consecutivos del actuador.

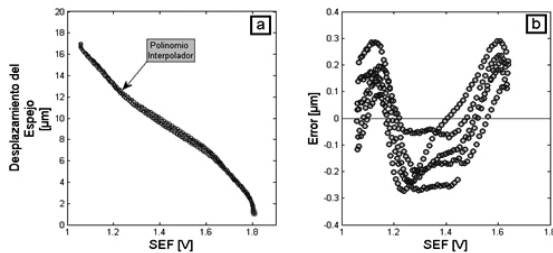


Figura 4 – a-Cuatro barridos consecutivos y la curva de calibración encontrada. b-Error entre los datos obtenidos y la curva de calibración.

Con estas curvas se realiza la calibración cuya curva se grafica en la misma figura. En la figura 4-b se muestra una estimación del error que produce cada punto medido respecto del polinomio interpolador.

3. Resultados

Se muestran los resultados obtenidos en dos casos. En el primero se midió la vibración de un espejo de primera superficie montado sobre un actuador piezoeléctrico excitado con una señal senoidal. Se realizaron varias mediciones a diferentes amplitudes y frecuencias. En la figura 5 se muestran las curvas obtenidas para una amplitud de 0.02 µm a 100 Hz.

En este caso se utilizó una nueva calibración para el espejo de muestra Figura 6, y la SEF se ajustó utilizando un polinomio interpolador de grado 3. Con el fin de obtener un mejor ajuste se excluyeron los puntos correspondientes a tensiones mayores que 1.7 V. Estos resultados se validaron con los datos obtenidos del sistema de control del actuador piezoeléctrico.

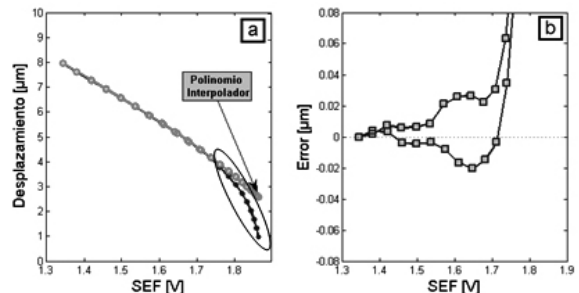


Figura 6 – a-Calibración para un espejo como muestra. Se excluyeron los puntos indicados dentro de la elipse para mejorar el ajuste. b-Error entre los datos obtenidos y la curva de calibración..

En un segundo experimento se posicionó el cabezal sobre una viga de acero en voladizo (fijo en un extremo y libre en el otro). A esta se le adosó un film reflectivo para mejorar la relación señal/ruido. Una vez posicionado el cabezal en el rango de medición, se midió la vibración al excitar la viga mediante un suave impulso mecánico aplicado en el extremo empotrado.

El movimiento del extremo de la viga medido con el cabezal astigmático se muestra en la Figura 7.

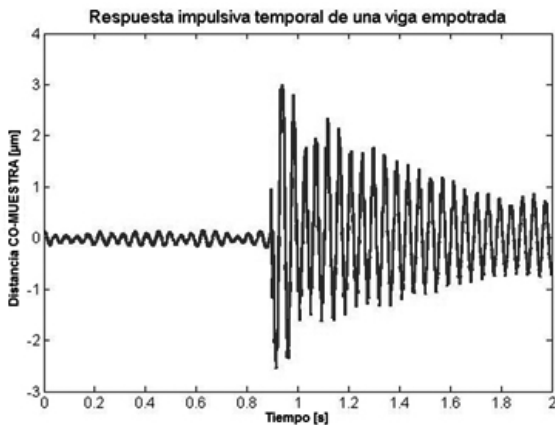


Figura 7 – Respuesta de una viga en voladizo a un impulso.

4. Conclusiones

Se presenta una nueva técnica para medir vibraciones, basada en la medición de la señal de foco obtenida de la luz reflejada en la muestra de estudio. Si bien este método permite una correlación directa entre la SEF y la distancia cabezal-muestra, es necesaria una calibración de la SEF para que esta sea realmente de utilidad. En el trabajo se ha hecho hincapié en el proceso de calibración que si bien en teoría no presenta un reto, requiere de un diseño mecánico cuidado para que los desplazamientos parásitos que se presentan durante la calibración impidan una rápida implementación para mediciones in situ. El camino a seguir consiste en mejorar el emplazamiento mecánico del cabezal detector para minimizar estos desplazamientos parásitos y mejorar el sistema con un diseño propio y específico para esta aplicación.

5. Referencias

- [1] A. L. Kachelmyer, K. 1. Schultz, "Laser Vibration Sensing", Vol. 8. N^o 1, The Lincoln Lab journal, 1995.
- [2] Depth-resolved dual-beamlet vibrometry based on Fourier domain low coherence interferometry. Subhash HM1, Choudhury N, Chen F, Wang RK, Jacques SL, Nuttall ALJ Biomed Opt. 2013 Mar;18(3):036003. doi: 10.1117/1.JBO.18.3.036003.
- [3] Akobuije Chijioke and John Lawall, "Laser Doppler vibrometer employing active frequency feedback," Appl. Opt. 47, 4952-4958 (2008)
- [4] Xueqing Gao, Yongjiao Wang, Bo Yuan,

Yinquan Yuan, Yawen Dai, and Gang Xu, "Low-cost vibration sensor based on dual fiber Bragg gratings and light intensity measurement," Appl. Opt. 52, 6782-6787 (2013).

[5] Polytec, Panfleto de productos, [En Línea], 2007 http://www.polytec.com/fileadmin/user_uploads/Products/Vibrometers/LM_Vibrometer_Flyer/Documents/OM_BR_ProductFlyer_2007_12_ES.pdf [consultado en 29/07/2014]

[6] "Development of an optical accelerometer with a DVD pick-up head", Chih-Liang Chu and Cha-Hao Lin 2005 Meas. Sci. Technol. 16 2498

[6] S. Goldwasser, "Lasers in Consumer Electronics: The Optical Pickup," Optics & Photonics News 22(2), 12-13 (2011).

[7] A. Bartoli, P. Poggi, F. Quercioli, and B. Tiri-billi, "Fast One-Dimensional Profilometer with a Compact Disc Pickup," Appl. Opt. 40, 1044-1048 (2001)

[8] J. Friedt, "Realization of an optical profiler: Introduction to scanning probe microscopy", Am. J. Phys., Vol. 72, No. 8, (2004).

[9] Yuan-Chin Lee, Shih Chao, Chun-Chieh Huang, and Kuen-Chiuan Cheng, "A compact optical pickup head in blue wavelength with high horizontal stability for laser thermal lithography," Opt. Express 21, 23556-23567 (2013).

<http://www.polytec.com/us/news/product-literature/>

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Facultad Regional Delta de la Universidad Tecnológica Nacional por el apoyo brindado y al Laboratorio de Mecánica Computacional por su colaboración en este trabajo.