

# Interferometría Autorrealimentada para la Medición de Deformación en Materiales Estructurales Sometidos a Cargas Dinámicas

Francisco J. Azcona<sup>1\*</sup>, Reza Atashkhouei<sup>1</sup>, Santiago Royo<sup>1</sup>,

Lluís Gil Espert<sup>2</sup>, Josep Pladellourens<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC-CD6).  
Rambla Sant Nebridi 10, 08222, Terrassa, España*

<sup>2</sup>*Laboratorio para la Innovación Tecnológica de Estructuras y Materiales, Universitat Politècnica de Catalunya  
(UPC-LITEM). 08222, Terrassa, España*

[francisco.javier.azcona@cd6.upc.edu](mailto:francisco.javier.azcona@cd6.upc.edu)

**Resumen:** Esta comunicación describe el uso de un interferómetro autorrealimentado para la caracterización de materiales sujetos a cargas dinámicas. Durante el ensayo, se tomaron datos de esfuerzo cortante sobre vigas de perfil I con matriz de materiales compuestos. Los datos obtenidos fueron procesados y posteriormente comparados con la respuesta de un sensor LVDT, el cual es usado tradicionalmente para esta tarea. Los resultados muestran la viabilidad del uso de esta técnica para la medición de esfuerzos cortantes, así como otros tipos de esfuerzos, y por tanto, la factibilidad de su aplicación en la caracterización de materiales estructurales.

## 1. Introducción

En el mundo moderno, el diseño de un sistema requiere además de funcionalidad, un uso eficiente de los recursos utilizados para su construcción. La caracterización de materiales, por tanto, se ha vuelto una necesidad, siendo de particular importancia para el diseñador datos como la dureza, elasticidad, puntos de esfuerzo máximo y fatiga del material. Tradicionalmente, la caracterización es obtenida usando máquinas universales, las cuales utilizan sensores electrónicos que requieren estar en contacto con el material a caracterizar.

Actualmente nuevos sensores sin contacto han comenzado a tomar mayor importancia para la caracterización de materiales, particularmente en el caso de aplicaciones de caracterización de cargas dinámicas, donde este tipo de transductores presentan un mayor ancho de banda que sus contrapartes que requieren contacto.

Los sensores basados en interferometría han sido utilizados con anterioridad para la detección de defectos superficiales sobre materiales utilizando técnicas de ultrasonido láser. Sin embargo, la interferometría, y en particular la interferometría laser autorrealimentada (SMI), no ha sido suficientemente explotada en el ámbito de la caracterización de materiales, donde, debido a su resolución y ancho de banda, podría remplazar a mediano plazo a los sensores de contacto tradicionales.

En la presente comunicación nos limitamos al uso de SMI para la medición de deformación de barras estructurales de fibra de vidrio reforzada por polímeros (GFRP) sometidas a esfuerzos dinámicos, pero se observa que el proceso puede ser aplicado para la medición de otros tipos de esfuerzos.

## 2. Algunas bases de SMI

Los primeros esfuerzos para la caracterización del fenómeno SMI datan de la década de 1980. La más célebre de estas caracterizaciones es el estudio de Lang y Kobayashi [1], en el

cual, se describe el efecto de modulación sobre la potencia óptica de salida debido al reflejo parcial del haz óptico sobre el punto de medición. Dicha reflexión, es realimentada en la cavidad activa del láser donde se mezcla con el haz original.

Como se observa en Fig. 1, el análisis básico de SMI se puede realizar de manera análoga al realizado para un resonador Fabry-Perot. En este caso se debe tomar no sólo la reflexión en la cavidad interna sino también los efectos del haz inyectado por la cavidad externa. Si se considera que el resonador no está sujeto a múltiples reflexiones, se puede llegar a la siguiente descripción de potencia de salida:

$$(1)$$

Donde  $P_o$  y  $P_i$  indican la potencia óptica de salida y de entrada respectivamente,  $m$  es un coeficiente de modulación,  $\omega_f$  el cambio de frecuencia angular inducido por el efecto de SMI y  $\tau$  el tiempo de vuelo del haz láser.

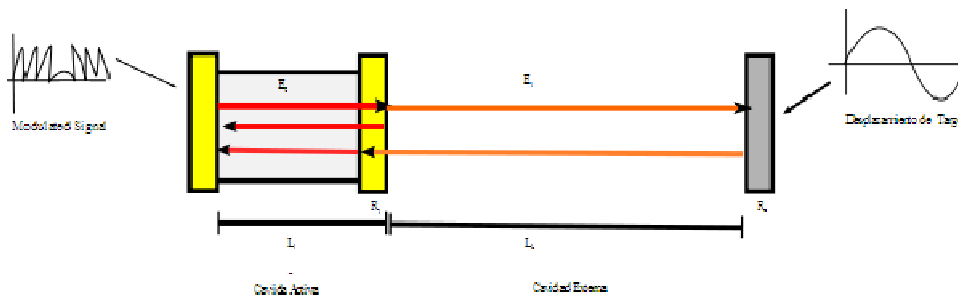


Figura 1: Esquema básico de láser en configuración SMI.

En función de la intensidad de la modulación, el efecto puede inducir diferentes tipos de conductas. El efecto moderado con coeficiente  $C \sim 0.9-4$  [2], es de particular interés para esta técnica pues induce una modulación con franjas como los mostrados en Fig.2b, las cuales se presentan con una resolución correspondiente a  $\lambda/2$ . Algunos algoritmos de procesamiento pueden mejorar esta resolución básica a niveles  $\lambda/16$  [3].

Además de la resolución, un factor importante a tomar en cuenta en este tipo de sensores es su ancho de banda, el cuál normalmente está limitado solamente por las etapas de amplificación electrónica, las cuales son usualmente se encuentran en un rango de cientos de KHz a cientos de MHz. Esto permite que los sensores basados en SMI presenten un alto grado linealidad, haciéndolos por tanto ideales para la medición de desplazamientos en distintos rangos de frecuencia.

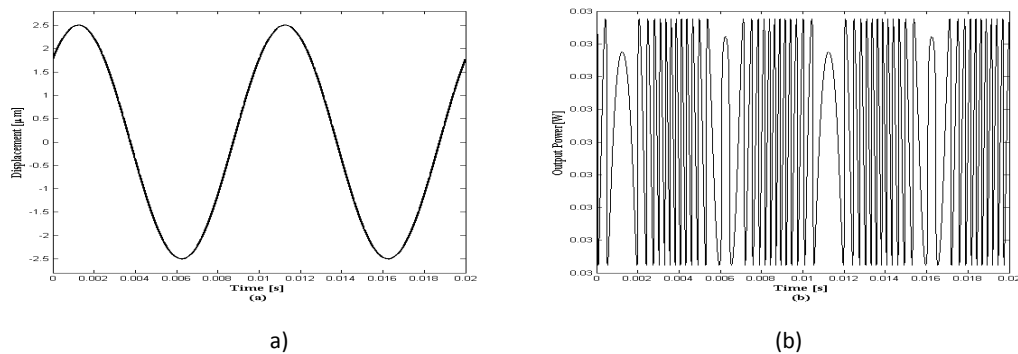


Figura 2: Simulación de efecto SMI para un desplazamiento determinado. En (a) se observa el desplazamiento simulado y en (b) la respuesta de SMI con  $C \sim 0.99$ .

### 3. Caracterización de deformación en GFRP

Como un ejemplo de la capacidad del sensor SMI para caracterizar las propiedades de materiales estructurales, se realizó un ensayo de deformación en una viga GFRP de perfil I, utilizando la configuración mostrada en Fig 3a.

Como se observa, la viga se encuentra sometida a un esfuerzo cortante dinámico en el centro de su longitud. Se utilizaron dos sensores durante la prueba: un sensor LVDT y un sensor SMI. Los sensores fueron colocados en paralelo y a una distancia de 155 mm Fig. 3b con el fin de medir aproximadamente el mismo punto, reduciendo de esta manera posibles errores en la medición por efectos de torsión o diferencias en la matriz del material compuesto.

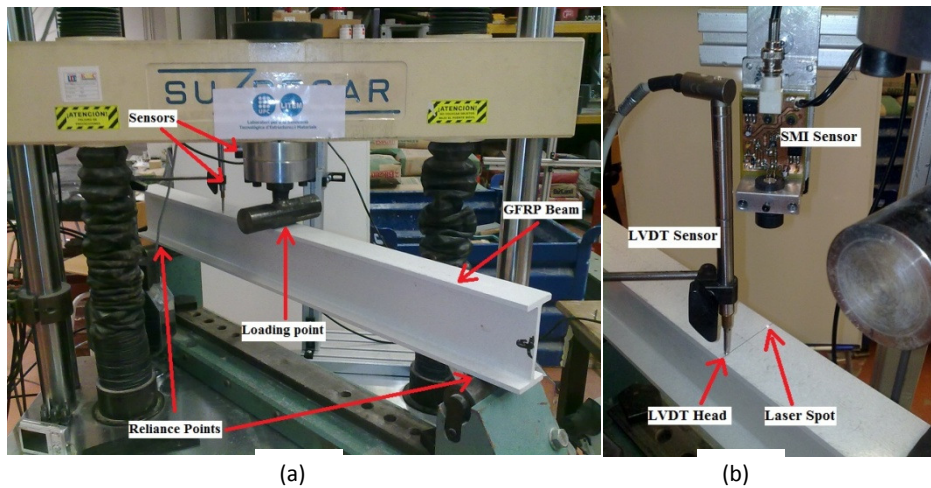


Figura 3: (a) Montaje experimental para la medición de deformación. (b) Posicionamiento de los sensores.

El desplazamiento medido por ambos sensores se muestra en Fig. 4. El sensor SMI utilizando es un diodo láser HL7851G con  $\lambda \sim 784$  nm. La señal del sensor LVDT presenta variaciones de alta frecuencia, con lo cual un filtrado de tipo paso bajo es necesario para eliminar el ruido de la señal.

Los resultados muestran que incluso en el caso de utilizar un procesamiento simple, la diferencia de resultados entre ambos sensores se encuentra entre 1 y 2 micras. Es posible que utilizando técnicas de procesamiento más complejas se reduzca ese nivel de diferencia entre ambos sensores.

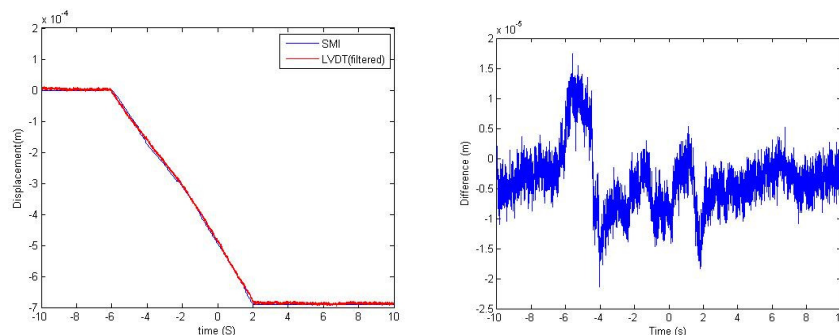


Figura 4: Comparación de medición entre ambos sensores. A la izquierda los resultados de medición y a la derecha la diferencia de resultados entre ambos sensores

#### 4. Conclusiones

Se ha comprobado la factibilidad de utilizar el sensor SMI para medir la deformación sobre materiales estructurales. La medición de deformación puede ser utilizada posteriormente para caracterizar el material en función de la carga aplicada. Por tanto, un sensor SMI representa una gran oportunidad para la caracterización de materiales sin la necesidad de montajes de contacto, particularmente importante para materiales que soportan poca carga en la dirección de la medición.

El trabajo futuro se centra en la mejora de los algoritmos de procesamiento con el fin de lograr un mayor nivel de automatismo en la medición y obtener resultados en tiempo real. Además se están analizando técnicas para mejorar la resolución del presente sensor.

#### Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al MICINN los proyectos DPI2009-13379 y DPI2011-25525 que han financiado parcialmente este trabajo. R. Atashkhoei y F. Azcona agradecen a la Universidad Politècnica de Catalunya por la financiación parcial de este proyecto. Con el apoyo del Departamento de Universidades, Investigación y Sociedad de la Información de la Generalidad de Cataluña.

#### Bibliografía

- [1] Roy Lang, Kohroh Kobayashi, “External Optical Feedback Effects on Semiconductor Injection Laser Properties”, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 16, no. 3, p. 347–355(1980).
- [2] W. M. Wang, K. T. V. Grattan, A. W. Palmer, W. J. O. Boyle, “Self-Mixing Interference Inside a Single Mode Diode Laser for Optical Sensing applications”, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 12, no. 9, p 1577–1587 (1994).
- [3] C. Bes, G. Plantier, T. Bosch, “Displacement measurements using a self-mixing laser diode under moderate feedback”, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 55, no. 4, p. 1101–1105(2006).
- [4] Silvano Donati, “Responsivity and Noise of Self-Mixing Photodetection Schemes”, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 47, no. 11, p.1428–1433(2011).
- [5] Reza Atashkhoei, Santiago Royo Royo, Francisco Azcona, Usman Zabit, “Analysis and Control of Speckle Effects in Self-Mixing Interferometry”, *Sensors IEEE 2011*, p. 1390–1393 (2011).  
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6127054>