

# VIABILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DE TALLOS DE FIBRA ÓPTICA PARA DETECCIÓN Y MEDICIÓN DE VIBRACIONES.

A. Cobo García, M. Morante Rábago, J. Echevarría Cuenca, J. M. López Higuera.  
Grupo de Ingeniería Fotónica - Universidad de Cantabria  
E.T.S.I.I. y Telecomunicación  
Avda. Los Castros s/n, 39005 Santander  
Tfno. 942-201498 - Fax 942-201873  
E-mail: higuera@teisa.unican.es

## ABSTRACT

The possibility of using a simple optical fiber beam for accelerations measurement is considered in this paper. Its mechanical behavior has been developed, with the result that, for low frequency vibrations, the amplitude deflection of the fiber end is proportional to the acceleration to be measured. It has also been studied the way the light couples between the fiber beam and a receiving fiber in function of that movement. The electronic part converts these light variations in an electrical signal which is proportional to the acceleration detected. The theoretical calculations have been verified in the laboratory. A first prototype of the sensor was built, and it showed to be in great agreement with the behavior theoretically anticipated.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se presenta la posibilidad de emplear un simple tallo de fibra óptica como elemento transductor para detectar y medir vibraciones. La simplicidad de la arquitectura de la cabeza sensora así como de la electrónica asociada, que puede situarse muy alejada de aquella, lo hacen muy apropiado para el entorno industrial, donde los sensores de fibra óptica pueden competir con ventaja frente a los sensores tradicionales gracias a su inmunidad ante entornos hostiles en general e interferencias electromagnéticas en particular. Esto se debe al hecho de utilizar materiales dieléctricos en la región contaminada y la electrónica alejada de ésta.

La arquitectura propuesta de la cabeza sensora consiste básicamente en dos extremos ("tallos") de fibra óptica enfrentados, uno de ellos empotrado totalmente y el otro de cierta longitud, de forma que su extremo pueda oscilar libremente. La arquitectura del sistema propuesto, se muestra en la Figura 1.

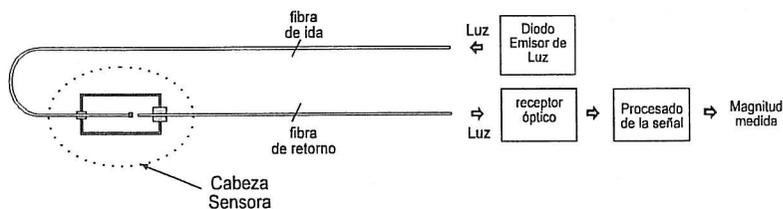


Figura 1. Arquitectura propuesta del sensor de vibraciones.

Con esta configuración, la luz recogida por el receptor óptico varía en función del desplazamiento relativo entre los tallos, produciéndose de esta forma el sentido de la vibración.

## 2. ESTUDIO MECÁNICO

En todo sistema para el sentido de vibraciones es importante un estudio del comportamiento mecánico del mismo. En nuestro caso, se trata de demostrar que el desplazamiento relativo de los tallos es directamente proporcional a la vibración. Se demuestra que si un sistema se puede modelar como el representado en la Figura 2, es decir, como una masa sismica libre unida a la carcasa de la cabeza sensora a través de un muelle y un amortiguamiento ideales, entonces el desplazamiento relativo de la masa es directamente proporcional a la aceleración[1]. Esto se cumple cuando la frecuencia de trabajo es baja, mucho menor que un parámetro del sistema conocido como "frecuencia de resonancia". Para que el sistema

del extremo de fibra ("tallo") sea modelable de esta forma, debería incluir una masa puntual en el extremo, como se muestra también en la Figura 2.

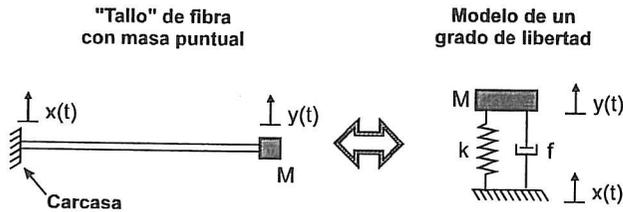


Figura 2. Modelo mecánico de un grado de libertad del tallo de fibra.

Es por ello por lo que otros sensores de vibraciones basados en fibra necesitan de la masa puntual[2]. Sin embargo, se puede demostrar que un simple tallo, sin incluir ninguna masa puntual que complicaría su construcción y reduciría su fiabilidad, puede funcionar como acelerómetro a bajas frecuencias.

Otra cuestión que se plantea en la utilización del tallo como medidor de vibraciones es la fiabilidad. Se espera que en la vida útil esté sometido a una intensa fatiga, por lo que es necesario asegurar que el comportamiento del tallo no se modifique al degradarse el material, y, en última instancia, que no se fracture. Estudio teóricos realizados indican que la fibra se degrada principalmente debido a la humedad y a la presencia de micro-fisuras superficiales. Para medir el nivel de degradación del material antes de la rotura se puede recurrir a la medida del radio mínimo de curvatura [3].

Para asegurar la fiabilidad, se han realizado dos tipos de experimentos en el laboratorio. Por un lado, una muestra de tallos de fibra de diferentes características han sido sometidos a vibración forzada durante un total de 912 horas, en unas condiciones de esfuerzo muy superiores a las de trabajo previstas (tallos cargados con una masa en el extremo y vibración en resonancia con máxima amplitud). El resultado del experimento fue satisfactorio, pues ninguna fibra se rompió. Por otro lado, a las fibras ya fatigadas y a unas fibras testigos no utilizadas se les midió el radio mínimo de curvatura, que da una idea cualitativa del nivel de degradación de las mismas. La rotura con un radio menor indica mayor resistencia, y viceversa. El resultado del experimento se muestra en la Figura 3. A pesar de la dispersión de los valores, se aprecia la mayor degradación de las fibras fatigadas, aunque es difícil obtener una conclusión cuantitativa.

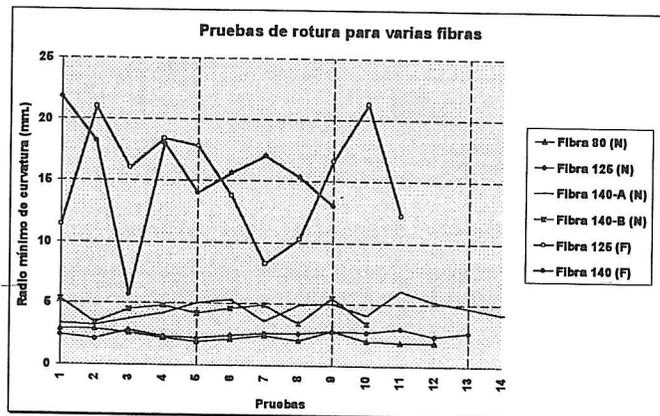


Figura 3. Pruebas de rotura de fibras nuevas (N) y fatigadas (F).

### 3. MECANISMO DE MODULACIÓN

Una vez demostrado que el movimiento relativo de los extremos de los tallos es proporcional a la aceleración, es necesario demostrar así mismo que este movimiento modula de forma proporcional la luz

que circula por el camino óptico. Para ello, se ha desarrollado una formulación[4] que permite hallar la potencia óptica acoplada entre ambas fibras en función de su posición relativa, y que esta basada en un modelo de iluminación propuesto por He *et al.* en 1991. Este modelo es aplicable a fibras multimodo de salto de índice, y proporciona resultados más acordes con la realidad que el modelo utilizado convencionalmente, el cual supone que la luz esta distribuida uniformemente en el núcleo de la fibra multimodo.

El planteamiento geométrico del problema se muestra en la Figura 4, junto con unas curvas obtenidas en base a esta formulación. El objetivo es obtener la potencia acoplada entre dos fibras separadas una distancia axial  $s$  y una distancia lateral  $d$ . Para ello, se calcula en primer lugar el patrón de iluminación que incide sobre la fibra receptora, y a continuación se integra sobre la superficie de su núcleo. Las curvas representan cómo varía la potencia óptica al variar la distancia  $d$  (el movimiento relativo del extremo del tallo), y para varias distancias  $s$ .

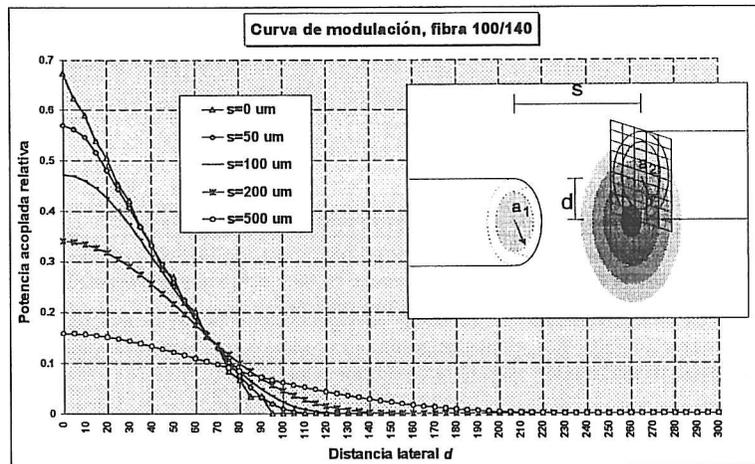


Figura 4. Curva de modulación.

Un vez conocidos los requerimientos del sensor, se puede obtener el rango máximo de variación de distancia  $d$  que va a soportar el extremo de la fibra emisora. En todo este rango interesa:

- Que la potencia acoplada sea grande, para disminuir el ruido en el receptor óptico-eléctrico y aumentar la resolución del sensor.
- Que la sensibilidad sea grande, es decir, que la pendiente de la curva sea elevada para aumentar de igual forma la resolución.
- Que la curva sea lineal en todo el rango, para no distorsionar la aceleración medida.

A partir de las curvas de acoplo, se han calculado los valores de sensibilidad y linealidad para varios tipos de fibra y-distintas posiciones relativas ( $s,d$ ). Estos resultados permiten elegir el tipo de fibra y el posicionamiento óptimos para unos requerimientos concretos.

#### 4. SIMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA COMPLETO

Conocidos los comportamientos mecánico y de la modulación en la cabeza sensora, se ha completado el modelo de un sistema completo para la medida de vibraciones, y su comportamiento se ha simulado por ordenador. En esta simulación, se ha incluido el comportamiento de la fuente de luz, del camino óptico, de la cabeza sensora, del receptor y de la electrónica asociada. Como resultado, se han obtenido las prestaciones alcanzables por este sistema: rango de frecuencias de funcionamiento, aceleración máxima y mínima, distorsión máxima de la señal, etc. A partir de la simulación se puede obtener la función de transferencia global del sistema ,es decir, la señal de salida en función de la aceleración aplicada. En la

Figura 5 se compara la función de transferencia ideal con la simulada, para un diseño concreto en el que la aceleración máxima a medir es del orden de  $14 \text{ m/s}^2$ .

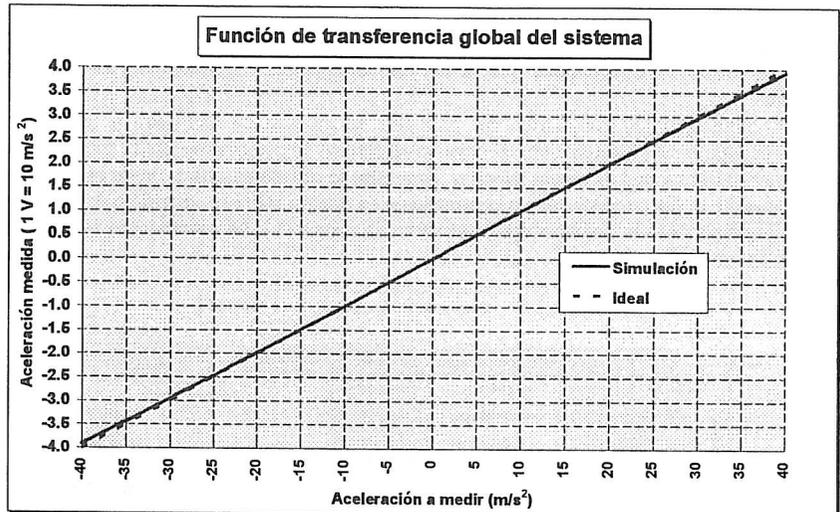


Figura 5. Función de transferencia del sistema obtenida por simulación.

Por último, se ha construido un prototipo en laboratorio, sobre el se han realizado ensayos para determinar su comportamiento. Los resultados preliminares indican que tanto el comportamiento mecánico como del mecanismo de modulación están de acuerdo con la teoría.

## 5. CONCLUSIONES

Se ha demostrado la viabilidad de un simple tallo de fibra óptica para el sensado de vibraciones, en base al movimiento relativo entre dos extremos de fibra enfrentados. Desde el punto de vista mecánico, se ha comprobado que el movimiento del extremo del tallo es directamente proporcional a la aceleración a que está sometida el conjunto de la cabeza sensora. Además, este movimiento modula eficazmente la cantidad de potencia acoplada entre las fibras, por lo que las variaciones de luz (o de señal eléctrica a la salida del receptor óptico-eléctrico) son proporcionales a la aceleración a medir. El estudio del mecanismo de acoplo de luz entre las fibras permite encontrar la configuración que proporciona más potencia acoplada (menos ruido), más sensibilidad y más linealidad, y por tanto, el diseño óptimo del sensor.

En base a las formulaciones desarrolladas se ha realizado una simulación del conjunto del sistema que permite predecir su comportamiento. Las distintas facetas del mismo han sido verificadas en el laboratorio, obteniéndose resultados acordes con lo previsto.

## RECONOCIMIENTO

Este trabajo ha sido soportado por el proyecto CICYT n° TIC92-0052-C02.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.W. Dally, *Instrumentation For Engineering Measurements: Displacement, Velocity and Acceleration Measurements*, cap. 7, pp. 293-398
- [2] G.A. Rines, *Fiber-optic accelerometer with hydrophone applications*, Applied Op-tics, vol. 20, no. 19, pág. 3453-3459, 1981
- [3] D.R. Biswas, *Coatings make optical fibers stronger and more reliable*, Laser Focus World, Abril, 1993
- [4] M. Morante, A. Cobo, R. López, Mauro Lomer, J.M. López-Higuera, *Contribución a la mejora de la teoría de acoplo entre fibras ópticas: su utilización en conectores de fibra multimodo*, Libro de Actas del X Simposium de la Unión Radiocientífica Internacional de Radio, Valladolid, 1995.