

# Determinación Experimental de la Función de Acoplo entre Fibras Ópticas.

A. COBO, J.R. PÉREZ, M.A. MORALES, M. LOBBER, J.M. LÓPEZ-HUERTAS  
GRUPO DE INGENIERÍA FOTÓNICA - UNIVERSIDAD DE CASTILLA  
LEÓN, 942-201539 FAX: 942-201875  
Correo electrónico: acobo@teisa.unican.es

## Abstract:

The determination of the optical power coupled between two optical fibres is of great interest in the field of optical sensors for vibration measurement. This calculation can be done theoretically, but an experimental approach is wanted due to the poor correlation between the theory and the laboratory measures. A software package has been developed, that is able to measure the optical power coupled between the fibres at many different spatial points, using automated instrumentation. This application can also deal with the bulk measurements and extracts useful information for the optimal design of optical sensors based on fibre-displacement intensity modulation.

## 1. Introducción.

Se presenta en este artículo el trabajo realizado para la determinación experimental de las curvas de acoplo entre fibras ópticas multimodo y el posterior análisis y tratamiento de las medidas obtenidas, que ha permitido el diseño y realización óptimo de sensores de vibraciones basados en modulación de intensidad.

Los transductores ópticos objeto de este análisis se basan en dos fibras ópticas enfrentadas, una de ellas fija, siendo la otra desplazada por la magnitud a medir (p.e., vibración) [1]. La potencia óptica que se acopla entre ellas es por tanto modulada por el desplazamiento relativo entre las fibras (Fig. 1). El estudio de cómo varía la potencia óptica en función de los desalineamientos relativos (tanto axiales, laterales como angulares) permite optimizar el diseño del sensor, es decir, elegir las fibras y su disposición en reposo más adecuadas.

El trabajo realizado pasa por dos fases. La primera es la realización de las medidas experimentales de acoplo de potencia, que deben hacerse necesariamente de forma automatizada por el elevado número de muestras recogidas. Para ello se ha realizado un programa que, utilizando instrumentación de laboratorio controlada por ordenador,

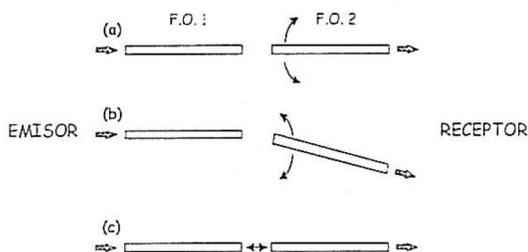


Fig. 1. Sensores de fibra óptica contemplados en el presente trabajo.

realiza las medidas y almacena los datos obtenidos para su posterior tratamiento. La segunda fase consiste en el tratamiento de las medidas de potencia acoplada, de forma que se obtenga información más "depurada" y orientada ya a la aplicación deseada, como es el cálculo de las prestaciones de sensores ópticos del tipo ya comentado.

A continuación se describe en detalle el trabajo realizado, tanto para la medición experimental del acoplo de potencia como para su tratamiento y depuración. Se incluye así mismo un ejemplo de aplicación para el diseño óptimo de un acelerómetro de fibra óptica para la medida de vibraciones en grandes máquinas rotatorias de generación eléctrica [2].

## 2. Obtención de las medidas.

El objetivo es determinar la cantidad de potencia óptica acoplada entre dos fibras ópticas enfrentadas, en función de distintas posiciones relativas entre ellas. Para ello se ha construido en el laboratorio un montaje basado en un posicionador sub-micrométrico (C812 de Phisylke Instrumente, 60 nm, de resolución) controlado por ordenador, que

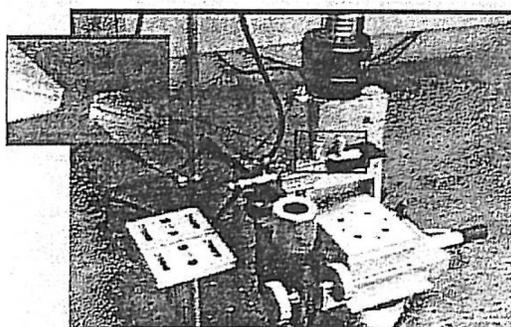


Fig. 2. Vista del sistema de posicionado utilizado para la toma de medidas.

varía la posición relativa entre las fibras. Una de ellas actúa como fibra emisora conectada a una fuente de luz (LED en primera ventana Anritsu MG-9002A), mientras que la otra actúa como fibra receptora y se conecta a un medidor de potencia óptica Hewlett-Packard 8153-A. La Fig. 2 muestra una imagen del sistema de posicionado empleado. El cuadro de la izquierda es una ampliación al microscopio mostrando los extremos de las dos fibras utilizadas en el experimento.

Se ha realizado un programa en entorno Windows que realiza los barridos en las tres dimensiones del espacio y almacena los datos de potencia obtenidos. Se obtiene por tanto una "nube" de puntos de medida, correspondiente cada uno de ellos a una posición relativa de las fibras entre sí. La Fig. 3 muestra la pantalla principal del programa, que permite posicionar una fibra en cualquier punto del espacio de forma manual, o bien realizar un barrido programado automático de hasta tres ejes.

Se han tomado medidas con distintos tipos de fibras monomodo y multimodo (9/125, 50/125, 62.5/125 y 100/140) y para desplazamientos tanto axiales como laterales de hasta centenares de micras. Los resultados se han almacenado en un fichero para su tratamiento posterior.

### 3. Tratamiento de los datos.

Como ya se ha comentado, es imprescindible tratar las medidas "en bruto" realizadas para obtener información más depurada, que permitirá la determinación de ciertos parámetros críticos para el diseño óptico de los sensores ópticos considerados. El software desarrollado parte del fichero de medidas realizadas y, después del tratamiento de las mismas, suministra un informe ampliamente detallado con la información solicitada. De este programa destaca su facilidad de uso, con abundantes explicaciones sobre el significado de cada resultado.

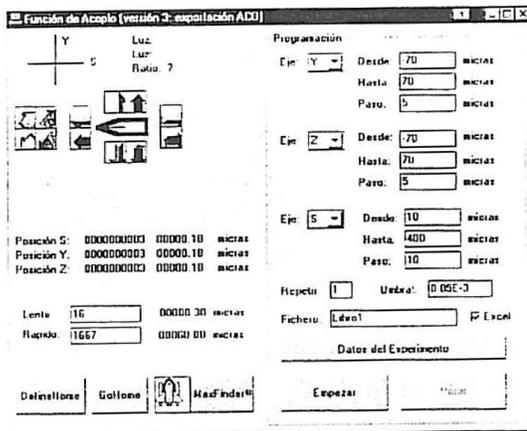


Fig. 3. Pantalla principal del programa para la captura automática de datos.

la forma de obtenerlo, etc. La pantalla principal, que permite seleccionar al usuario los resultados a obtener, se muestra en la Fig. 4.

A continuación se analiza la información suministrada por el programa desarrollado, haciendo hincapié en su necesidad y aplicación al diseño de sensores.

En primer lugar, puede obtenerse la potencia óptica máxima absoluta medida. Este dato sirve principalmente para detectar un experimento erróneo, por falta de limpieza de las fibras, corte imperfecto, etc.

Es posible estimar el valor de potencia óptica en un punto cualquiera, aunque no se haya medido expresamente, gracias al empleo de una técnica de interpolación. Un estudio previo ha determinado que la técnica más adecuada para este tipo de datos es la "regresión de mínimos cuadrados polinomial múltiple", que permite ajustar datos experimentales de variación no-lineal y multidimensionales simultáneamente con gran precisión. Realmente, esta técnica es usada a lo largo de toda la aplicación como método de acceso único a los datos experimentales, lo que permite independizar en gran medida los resultados de la forma en que se realizó la toma de muestras experimentales.

Otra posibilidad contemplada es el trabajo con planos perpendiculares al eje de la fibra, llamados "planos en s" (s es el eje axial a la fibra). Esto se debe a que, normalmente, los sensores van a trabajar con un valor de s constante, variando la posición por tanto en un plano transversal. El programa es capaz de calcular las coordenadas transversales ( $x_0, z_0$ ) en las que se encuentra el máximo de potencia óptica, siempre para un plano s concreto. Este cálculo es importante porque el punto de máxima potencia se considera el origen de un plano transversal. Además, aporta una información valio-

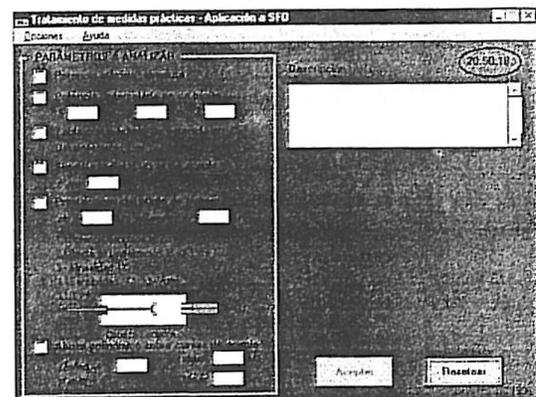


Fig. 4. Pantalla principal del programa para el tratamiento de los datos.

sa: analizando la evolución de este máximo para distintos valores de  $s$ , es posible detectar un posible desalineamiento entre las fibras ópticas, que es muy difícil de detectar de forma experimental. Basado en esta idea, el programa estima la dirección espacial de la fibra receptora, que debe ser tan paralela al eje  $s$  como sea posible.

La información más importante suministrada por esta aplicación se ha denominado "curva de acoplo". Es la variación de la potencia óptica en un eje radial respecto al origen, para un plano  $s$  dado. Su importancia radica en que es la curva que describe la variación de la potencia óptica en función de la magnitud a medir por el sensor. Para el caso de la medida de vibraciones, por ejemplo, se produce el desplazamiento relativo entre las fibras en función de la aceleración, siendo ésta proporcional a la distancia radial entre ambas. La figura 5 muestra una curva de modulación, representando el eje vertical la potencia óptica y el horizontal la distancia radial entre fibras, " $d$ ".

Para determinar esta curva, y una vez fijado por el usuario el plano  $s$  elegido, se necesita en primer lugar buscar el punto de máxima potencia óptica. A continuación se recorre el plano angularmente mediante radiales, anotando la potencia óptica en función de la distancia al punto de máxima potencia. Por último, se realiza el promediado de todos los radiales obtenidos para minimizar el efecto de posibles asimetrías en la medida.

Como ejemplo, se calculan las prestaciones previstas de un sensor a desarrollar con esta técnica. Se supone, como ya se ha comentado, que las fibras se desplazan radialmente entre sí en función de la magnitud a medir. Surge así el concepto de distancia en reposo,  $d_0$ , que representa la separación radial de las fibras en ausencia de medida (por ejemplo, aceleración igual a 0). Las fibras se desplazarán entonces en torno a este punto una distancia, denominada "rango" del sensor. Estos desplazamientos provocan una variación proporcional de la potencia óptica, como se puede ver en la Fig. 5. Conocidos

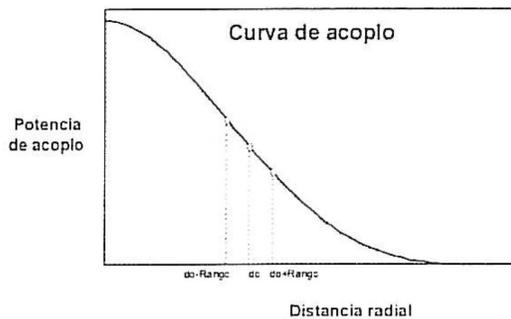


Fig. 5. Curva de acoplo.

los valores de  $d_0$  y el rango, interesa, para un diseño óptimo:

- Que la potencia óptica en el punto de reposo sea lo más alta posible. Esto redundará en una mayor resolución.
- Que la pendiente de la curva de modulación en torno a  $d_0$  sea lo más grande posible, lo que redundará en una mayor sensibilidad del sensor y también en una mayor resolución.
- Que la linealidad de la curva en esta zona sea grande, porque determina la linealidad global de la respuesta del sensor.

Estas magnitudes (potencia acoplada en reposo, sensibilidad y linealidad) son proporcionadas para distintos planos  $s$ , lo que permite hallar la separación óptima entre las fibras.

A modo de resumen, La Fig. 6 muestra uno de los informes suministrados. Este informe puede ser exportado a una hoja de cálculo de Excel para facilitar la representación gráfica de los datos, o bien para un tratamiento posterior.

#### 4. Ejemplo de aplicación.

La Fig. 7 muestra la arquitectura de una cabeza sensora para la medida de aceleraciones. Como se puede observar, un tallo móvil de fibra se desplaza en función de la vibración, variando su posición respecto a dos fibras receptoras. En base al presente trabajo, se ha podido diseñar de forma óptima la configuración de la cabeza sensora, determinado el tipo de fibra a emplear y la distancia axial  $s$ . Dados los valores de  $d_0$  y rango (70 +/- 4 micras), determinados por los requerimientos de frecuencias de trabajo y rango de aceleraciones), se ha determinado la configuración óptima como:

Fibra: multimodo 100/140.  
 $s = 340 \mu\text{m}$ .  
 $P_0 = 5.2 \mu\text{W}$ .  
 Alinealidad = 0.13 %  
 Sensibilidad =  $0.157 \mu\text{W}/\mu\text{m}$ .

Informe final - (Ejecución) Las magnitudes demandadas por usuario objeto de estudio.

INFORME FINAL | RESULTADOS I

**DATOS SOBRE MEDIDAS DE LABORATORIO**

F.D. Emisor: F.D. Multimodo 100/140 CORRINHO  
 Diámetro del núcleo: 100 (um)  
 Diámetro de cubierta: 140 (um)

F.D. Receptor: F.D. Multimodo 100/140 CORRINHO  
 Diámetro del núcleo: 100 (um)  
 Diámetro de cubierta: 140 (um)

Potencia Inyectada: 500 (uW)

**POTENCIA MÁXIMA ABSOLUTA**  
 P<sub>max</sub> = 0.754 (uW)

**TARJA CON ASUMOS DE POTENCIA EN EJE "S"**

S (um)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Vol (uW)	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721
Vol (uW)	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721
Pot (uW)	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721	0.721

Fig. 6. Ejemplo de un informe suministrado por el programa.

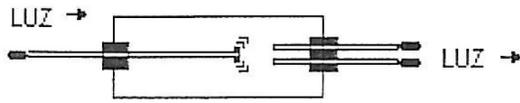


Fig. 7. Arquitectura de un acelerómetro de fibra óptica cuyo diseño ha sido optimizado en base al presente trabajo.

## 5. Conclusiones

Se ha presentado un trabajo para la determinación experimental de la función de acoplo entre fibras ópticas. Los programas desarrollados permiten adquirir automáticamente las medidas de potencia en el laboratorio, para después, mediante diversas técnicas de tratamiento de datos experimentales, poder extraer la información necesaria de las medidas "en bruto". Este trabajo ha sido aplicado con éxito al diseño óptimo de sensores para la medida de vibraciones.

## Agradecimientos.

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto TIC95-0631-C04-01 financiado por la CICYT, a la que los autores muestran su agradecimiento.

## Bibliografía.

- [1] Eric Udd, "Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists", John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- [2] José Miguel López-Higuera *et al.*, "Simple low-frequency optical fiber accelerometer with large rotating machine monitoring applications", *Journal of Lightwave Technology*, July, 1997.
- [3] He *et al.*, "A Light Intensity Function Suitable for Multimode Fiber Optic Sensors", *Journal of Lightwave Technology*, vol. LT-9, pág. 541-551, 1991.
- [4] William H. Press *et al.*, "Numerical Recipes in Fortran: The Art of Scientific Computing", Cambridge University Press, 1992.