

NUEVO TRANSDUCTOR ÓPTICO REFLECTIVO PARA MEDIDA DE NIVELES DE TEMPERATURA, Y SU INTEGRACIÓN E INTERROGACIÓN EN UNA RED DE SENSORES ÓPTICOS

J.Echevarría, J.M.López-Higuera*, M. López-Amo**, y J.L.Arce**

** Grupo de Ingeniería Fotónica*

E.T.S.I.I. y Telecomunicación

Universidad de Cantabria

Avda. de Los Castros s/n, 39005 Santander

Tfno. 942-201498 - Fax 942-201873 - E-mail : higuera@teisa.unican.es

*** Dpto. de Tecnología Fotónica*

Universidad Politécnica de Madrid

ABSTRACT

A new optical reflective transducer for making temperature level measurements with the ability to be integrated in an all-fiber optical network is presented and discussed. The transducer is based on traditional Hg thermometers adapting this technology to the fiber optic technology. In order to demonstrate the viability of integrating the transducer in an optical fiber network a simple one has been designed and verified. The interrogation and measurement of the transducers in the network have been made by suitable use of optical time domain reflectometry. Experimental results are good.

1.- INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, dentro de las líneas de investigación relacionadas con los sensores ópticos, se produce una fuerte tendencia a la integración de los mismos dentro de redes de fibra óptica. Esta integración permite la posibilidad de interrogar simultáneamente y en tiempo real a todos o parte de los sensores pertenecientes a la red. Estas características de sensado confieren al sistema de medida un valor añadido gracias a la capacidad de monitorizar en tiempo real la variables físicas objeto de sensado de una estructura.

Para la consecución de los objetivos planteados se presentan dos retos fundamentales que están interrelacionados. El primero de ellos es la construcción de sensores aptos para su integración en fibra. El campo de investigación en este aspecto se divide a su vez en dos líneas básicamente diferentes. La primera de estas líneas consiste en adaptar sensores conocidos o tradicionales realizando pequeñas modificaciones para su funcionamiento en fibra. La segunda línea sería la correspondiente a proyectar nuevos esquemas de medida propios de la tecnología de fibra óptica.

El segundo de los retos planteados se refiere a la propia formación de la red de sensores que permita obtener la información requerida con las características ya mencionadas de simultaneidad y tiempo real. Para este objetivo es necesario conjuntar la estructura de la red con los parámetros de funcionamiento de los sensores insertados en la misma, lo cual produce el típico compromiso de características entre los diversos elementos para conseguir diseñar un sistema óptimo.

Una buena parte de las aplicaciones de los sensores de fibra óptica para la medida de la temperatura actuales son extrínsecos. Este tipo de diseño permite aprovechar más fácilmente las ideas de los sensores tradicionales. Con el diseño que se propone en este trabajo se pretende aprovechar la tecnología de los termómetros tradicionales de Hg para construir un transductor de temperatura con fibra óptica. El mecanismo de detección se basa en la medida de la interacción del haz de radiación de la fibra óptica y el Hg.

A la hora de estudiar la interacción del Hg con el haz de radiación de la fibra óptica existen básicamente dos posibilidades. La interacción en reflexión y la interacción en transmisión. La primera de ellas consiste en estudiar mediante reflectometría óptica en el dominio del tiempo los cambios producidos cuando se pone en contacto el extremo de una fibra con el Hg. La segunda de las posibilidades consiste en el estudio de los cambios que se producen en la transmisión de luz en la fibra óptica rodeada de Hg.

2.- SENSOR ÓPTICO REFLECTIVO.

La estructura de un sensor óptico reflectivo está formada por el adecuado posicionamiento de un extremo de una fibra óptica y un material reflectivo que en este caso concreto es el Hg. La interrogación del sensor se realiza mediante un OTDR. Este equipo recoge la luz reflejada por la substancia reflectiva y lo

monitoriza en tiempo real. Si se posiciona el extremo de la fibra de forma que detecte la expansión de una columna de Hg se podrá detectar un nivel de temperatura debido a la diferencia de potencia luminosa reflejada cuando la fibra está en contacto con el Hg y o con el aire. La diferencia de reflectividad entre el Hg y el aire permite distinguir al menos dos estados diferentes en la posición de la columna de Hg.

La investigación realizada ha ido encaminada a caracterizar el efecto del contacto físico de la fibra con el Hg. Para ello se han realizado ensayos con extremos de fibra convenientemente adelgazados y se ha estudiado el efecto de la reflexión cuando el Hg se pone en contacto y a medida que va cubriendo el extremo de la fibra. Además de esto, se han ensayado diversos mecanizados en le extremo de la fibra para determinar el más conveniente. El montaje utilizado para realizar los ensayos está descrita en la siguiente figura. En ella se puede observar una fibra conectada a un OTDR que monitoriza la señal reflejada por el extremo opuesto de la misma.

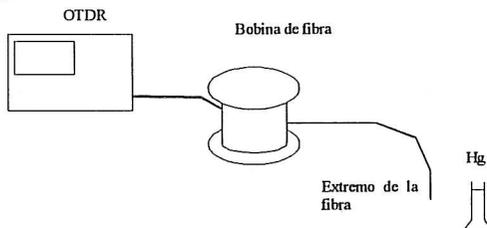


Figura 1. Sistema de caracterización del sensor reflectivo.

En general, la diferencia de reflectividad entre la fibra expuesta al aire y en contacto con el Hg es lo suficientemente acusada para que se pueda realizar la detección sin gran esfuerzo ya que está comprendida entre 3 y 12 dB. Esta gama de valores vienen dados por los distintos mecanizados. La siguiente figura resume los datos obtenidos para múltiples muestras.

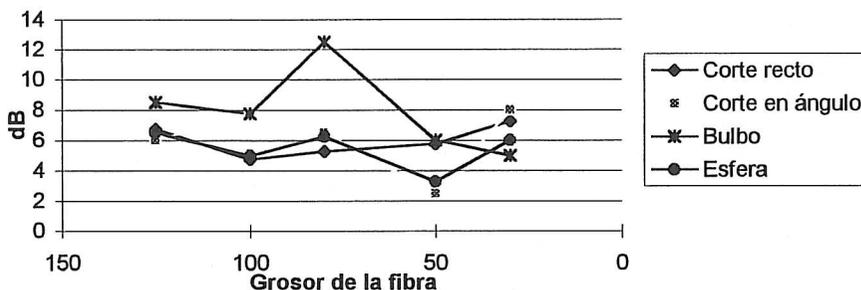


Figura 2. Incrementos de reflexión con el Hg en función del grosor y del tipo de terminación.

De los resultados obtenidos se puede concluir que :

- Es posible la detección de la presencia de Hg mediante reflectometría óptica en el dominio del tiempo. Esta detección se manifiesta en forma de un incremento de la reflexión al final de la fibra en una magnitud apreciable.
- El mecanizado realizado al extremo de la fibra que se posiciona frente al Hg tiene gran importancia en la detección. El corte del extremo de la fibra en ángulo recto es el que produce una magnitud de reflexión más alta. Sin embargo, produce un efecto secundario que consiste en la aparición de la reflexión de Fresnel producida en el comienzo la fibra cuando se pone en contacto el extremo de la misma con el Hg. Este hecho no se da en ninguna de las otras terminaciones estudiadas.
- No se ha observado ninguna variación de la magnitud de la reflexión de Fresnel en función de la longitud de fibra cubierta por el Hg para ninguno de los grosores estudiados. Estos significa que no se puede detectar el nivel del Hg, sino sólo su presencia en el extremo de la fibra óptica.

3.- INTEGRACIÓN E INTERROGACIÓN EN UNA RED DE SENSORES.

La integración de un sensor en una red de fibra óptica depende en gran medida de las características del propio sensor. En primer lugar, el principio de funcionamiento del sensor, reflectivo o

transmisivo, limita la topología de la red. Así, para monitorizar los sensores reflectivos se ha utilizado la técnica de los OTDR. La topología de la red utilizada se muestra en la figura siguiente.

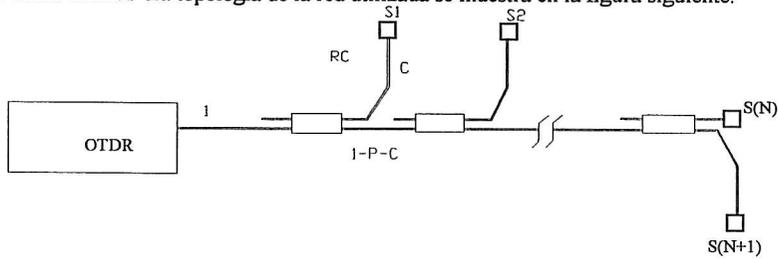


Figura 3. Estructura genérica de un red de sensores reflectivos.

Se tienen una serie de tramos de fibra unidos mediante acopladores ópticos. Los extremos de los acopladores no usados se debe adaptar para evitar reflexiones indeseadas y los tramos de fibra que se conectan a la cabeza sensora deberán ser de una longitud sensiblemente menor que los tramos de fibra entre acopladores.

Los métodos de medida de la luz reflejada ofrecen importantes ventajas frente a los basados en luz retrodispersada ya que por una parte el rango dinámico es mayor y por otra parte no hay ningún compromiso entre la resolución y el rango dinámico de medida. En efecto, el rango dinámico de medida depende del coeficiente de reflexión del sensor. El rango dinámico es proporcional a este parámetro porque cuanto mayor sea este parámetro mayor será la cantidad de potencia reflejada en el último sensor de la red.

Teniendo en consideración los parámetros de la red y del OTDR se puede obtener el número de sensores que soporta una red en función del resto de los parámetros.

$$N = E \left[1 - \frac{\log \left(R \cdot 10^{\frac{-RangoD}{10}} \right)}{2 \cdot \log(1 - C_a - P_i)} \right] \quad (1)$$

El número máximo de sensores es $N+1$. La notación E significa que se toma el valor entero inferior. Cada uno de los acopladores tiene un coeficiente de acoplo C_a y unas pérdidas de inserción P_i . R es el coeficiente de reflexión de cada sensor.

Se puede demostrar que el número máximo de sensores $N+1$ de una red es lineal frente al rango dinámico ($RangoD$ en dB) que se disponga en el equipo de medida. Sin embargo, la variación del número de sensores en función de la reflectividad de los sensores no es lineal, sino logarítmica. En la figura siguiente se muestra una gráfica con el número máximo de sensores para una reflectividad variable cuando el rango dinámico del OTDR es de 25 dB si se toma $C_a = 0,10$ y $P_i = 0,10$.

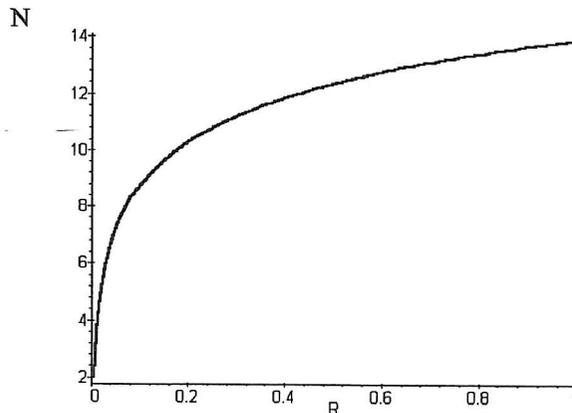


Figura 4. Número máximo de sensores en función de la reflectividad de los mismos.

Del resultado obtenido se puede deducir que la reflectividad es un parámetro crítico. Es necesario controlarlo para poder utilizar el mayor número posible de sensores. De la figura anterior se deduce que a partir de un cierto valor de la reflectividad una mejora en la misma no es substancialmente importante. Sin embargo, para valores de reflectividad pequeños la red soportará un número muy reducido de sensores.

Para demostrar la viabilidad de una red de sensores como la propuesta, se ha realizado una versión sencilla de laboratorio como la que se muestra en la figura :

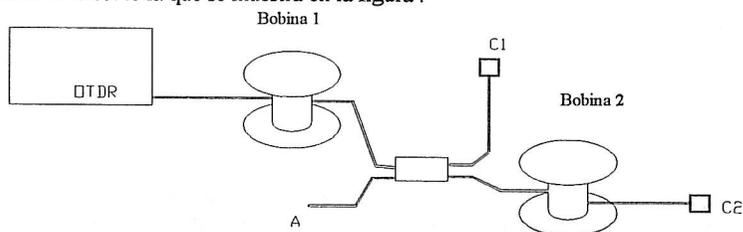


Figura 5. Versión simplificada de una red de sensores reflectivos.

El extremo de la segunda bobina de fibra tiene formada una cabeza sensora que junto con la cabeza sensora de uno de los extremos del acoplador forman una red de dos sensores para detectar simultánea e independientemente niveles de temperatura.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, sin embargo, como ya se comentó en el estudio particular del transductor reflectivo es muy importante realizar un correcto mecanizado de los extremos de fibra que forman las cabezas sensoras. Efectivamente, si se deja el extremo de la fibra con un corte recto como el que habitualmente realizan las máquinas cortadoras de fibra se obtienen efectos espúreos a combinación lineal de las longitudes de las fibras que unen las cabezas sensoras. Esto da lugar a unas medidas erróneas en el caso de superposición de reflexiones y a la obtención de reflexiones adicionales en puntos no localizados de la red.

4.- RESUMEN.

En este trabajo se ha planteado la construcción de transductores ópticos para la medida de temperatura adaptando la tecnología tradicional de termómetros de Hg a su integración en fibra óptica. Se ha desarrollado un transductor óptico reflectivo capaz de detectar niveles de temperatura basándose en la dilatación de una columna de Hg. Para demostrar la viabilidad de integrar los mencionados sensores en redes de fibra óptica, se ha diseñado y realizado un red, *todo óptica*, con los mencionados dispositivos. Los sensores han sido interrogados, en tiempo real, utilizando convenientemente reflectometría óptica en el dominio del tiempo. Los resultados experimentales han demostrado que tanto los nuevos sensores como la red desarrollada funcionan correctamente.

5.- REFERENCIAS.

- [1] Jones. Instrument Technology. Measurement of Temperature and Chemical Composition. Ed. B.E. Noltingk. 1985.
- [2] Brunco, J.A. Kitti, C.E. Otis, P.M. Goodwin, M.O. Thompson & M.J.Aziz. "Time-resolved temperature measurements during pulsed laser irradiation using thin film metal thermometers". Rev.Sci.Instrum. Vol.64,nº9, pp.2615-2623. Sep 1993.
- [3] X.Bao, D.J. Webb & D.A. Jackson, "Temperature non-uniformity in distributed temperature sensors", Elec.Lett., Vol.29,nº11,pp-976-978. 27 May 1993.
- [4] Chamn, N.Y. Liang & W.C. Liu, "Measurement of the shape of a liquid-liquid interface by the method of light reflection", Rev.Sci.Instrum. Vol.64,nº3, pp.632-637, Mar 1993.

RECONOCIMIENTO: Este trabajo ha sido financiado por la CICYT a través del proyecto TIC92-0052-C02.