

Desarrollo de un sensor de fibra óptica para detectar metano en ambientes explosivos o inflamables

Miguel A. Morante, George Stewart¹, Brian Culshaw¹, José M. López-Higuera

Grupo de Ingeniería Fotónica, Departamento TEISA, Universidad de Cantabria
E.T.S.I.I. y Telecomunicación, Avda. Los Castros s/n. 39005 Santander

Optoelectronics Division - University of Strathclyde, 204 George St., Glasgow G1 1XW, U.K.

Correo electrónico: morante@teisa.unican.es

Abstract:

An optical fibre sensor for measuring methane concentration in air is presented. It is specially suitable for industrial plants and places with explosion risks. It can detect, in real time, concentrations of 1% the lower explosion level of methane, and it allows multiple point monitoring.

1. Introducción

La detección de gases y sustancias contaminantes en el aire es esencial en muchas instalaciones industriales, tanto por motivos de seguridad en el trabajo como por cuestiones medioambientales. Uno de los compuestos cuya presencia es más importante medir es el metano. Esta sustancia es un componente importante del gas natural, y también aparece en los yacimientos de carbón y petróleo. Además, es inflamable y explosivo a partir del 5 % de concentración en el aire. Por ello es necesario detectar su aparición en minas de carbón, plantas de generación, almacenamiento y distribución de gas, y en industrias químicas de procesamiento de hidrocarburos, entre otros.

Por otra parte, en la mayoría de estas instalaciones se requiere monitorizar muchos puntos de posible presencia del gas, con mucha sensibilidad, en tiempo real, a distancia de forma automatizada, y con equipos no eléctricos para evitar el riesgo de explosión. Es por esto que no sirven los sensores electroquímicos y la mejor solución está en los sensores ópticos, y especialmente en los sensores de fibra.

En este trabajo se presenta un sensor de fibra óptica para detectar metano a presión atmosférica, que tiene todas las características mencionadas, y que puede ser fabricado con un coste moderado y un mantenimiento mínimo.

2. Funcionamiento del Sensor

El procedimiento de sensado es la espectroscopía óptica, que se basa en la absorción que presenta el gas a determinadas longitudes de onda, correspondientes a transiciones y rotaciones moleculares del gas en cuestión. Lo que se hace es

modular la longitud de onda de emisión de la fuente de radiación óptica para mejorar la sensibilidad de detección. La interacción entre la muestra y el campo de radiación modulado espectralmente lleva a la generación de una señal que varía a la frecuencia de modulación. Es decir, la absorción molecular convierte la modulación en frecuencia óptica en modulación en amplitud. En detección, la señal se demodula con electrónica sensitiva a frecuencia, de modo que el ruido se minimiza, permitiendo detectar la presencia de cantidades de gas muy pequeñas [1].

A continuación se presentan, en diferentes apartados, una descripción de las partes del sistema sensor, las características de la señal de interrogación de la muestra, y la forma de la señal detectada.

2.1. Partes del Sistema Sensor

El sistema está formado por un bloque de generación de la señal óptica de interrogación, un transductor remoto, un canal de fibra óptica, y una parte de detección de señal y extracción de la concentración de gas. El esquema de bloques del sensor se muestra en la Fig. 1.

El bloque de generación de señal se compone de un láser DFB, junto con sus equipos controladores de temperatura y corriente de inyección, y de un generador de las señales de modulación de la radiación del láser.

El transductor de gas consiste en una celda integrada por dispositivos microópticos y de fibra que ponen la señal óptica en contacto con el aire cuya concentración de gas se examina, para que sea absorbida en parte. A continuación se recoge con otra lente y se introduce de nuevo en fibra para retornarla a la unidad optoelectrónica para su

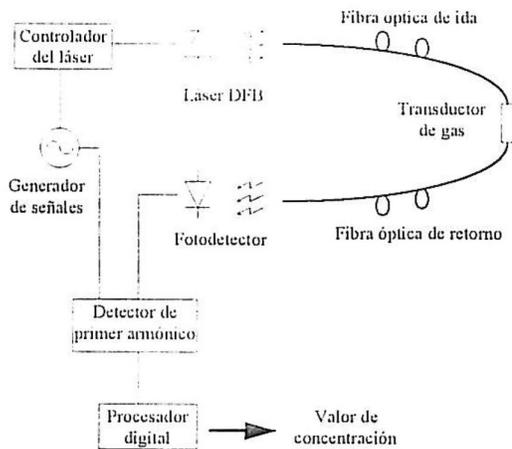


Figura 1 Diagrama de bloques del sistema desarrollado

procesado. La celda sensora tiene sólo unos centímetros de longitud, y puede estar situada a gran distancia del resto del sistema, comunicada mediante un canal de fibra óptica. Esto facilita el sensado remoto y permite desarrollar un sistema de detección multipunto que monitorice todas las dependencias de una planta industrial, por ejemplo.

En el subsistema de detección y procesado, la señal óptica procedente del transductor se pasa al dominio eléctrico, se demodula, se identifica la máxima absorción y se escala para que el valor de concentración proporcionado sea independiente de la cantidad de potencia óptica emitida.

2.2. Señal Óptica de Interrogación

El metano, al igual que la mayoría de los gases de interés industrial o medioambiental, tiene transiciones y rotaciones moleculares fundamentales correspondientes a longitudes de onda entre 2 y 10 μm . Pero dado que en esa región, por un parte, no existen diodos láser que funcionen a temperatura ambiente, y, además, las características de propagación en fibra son muy pobres, es necesario utilizar sobretonos o combinaciones de transiciones y rotaciones. La absorción más fuerte del metano a presión atmosférica por debajo de 2 μm corresponde a la rama Q de la banda $2\nu_3$, localizada en 1.66 μm [2], y dentro de ella la línea de mayor absorción es la Q(6), centrada en 1665.4 nm. Esta línea, que se muestra en la Fig. 1 medida de forma experimental para una concentración de metano de 2.5 % a presión atmosférica, es la que se explora con el sensor presentado en este trabajo.

El sensor utiliza un láser de realimentación distribuida (DFB), especialmente diseñado para funcionar a 1665 nm, y que tiene una anchura de línea espectral tres órdenes de magnitud menor que

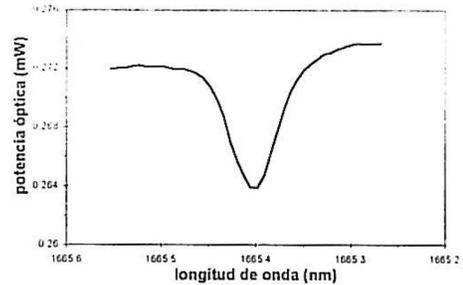


Figura 2 Función de absorción inspeccionada: línea Q(6) del metano obtenida experimentalmente para una concentración de 2.5 % de volumen en aire

la línea Q(6) del metano. Modulando la corriente de inyección del láser se obtiene en su salida un haz óptico modulado en frecuencia que permite recorrer toda la línea de absorción. En detección se busca el punto de máxima absorción, que da idea de la concentración de metano encontrada. A esta longitud de onda no existe absorción significativa por parte de ningún otro compuesto químico, de modo que una variación en la potencia óptica emitida indicará la presencia de metano.

2.3. Señal Detectada

La señal detectada a la frecuencia de modulación en las condiciones mencionadas es proporcional a la primera derivada de la función espectral examinada [3], y tiene la forma que se muestra en la Fig. 3. La máxima pendiente de dicha curva es directamente proporcional al valor de concentración de gas encontrado.

En la práctica, esta primera derivada aparece montada sobre una curva de fondo que es producto de la modulación en amplitud de la radiación de salida del láser. Esto es una situación no deseada pero inevitable, puesto que con la corriente de inyección no sólo cambia la longitud de onda sino también la intensidad luminosa de salida de la fuente. Se soluciona mediante un procesado de la señal detectada, restándole la línea de base previamente adquirida.

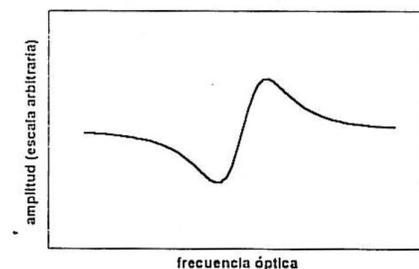


Figura 3 Señal detectada ideal: primera derivada de la curva de absorción

3. Resultados Experimentales

El sistema completo se montó y se probó en los laboratorios del Grupo de Optoelectrónica de la Universidad de Strathclyde. El objetivo era medir, en tiempo real, concentraciones de metano entre 0 y el nivel explosivo inferior (NEI, 5 % de volumen en aire), de forma que se pudiera dar una alarma con suficiente antelación en instalaciones con riesgo de explosión por la presencia de este gas.

Se construyó un sensor con un solo transductor, con unas pérdidas de inserción menores de 3 dB, de modo que en recepción se tenía una potencia óptica media del orden de -2 dBm. El hecho de que el fotodetector pueda distinguir potencias entre dos y tres órdenes de magnitud menores indica que el número de puntos de medida se puede ampliar considerablemente, todo ello manteniendo una única fuente láser, que es el componente más caro del sistema.

Se probaron varias concentraciones de metano en aire, y se midió la resolución, la linealidad y la exactitud de la medida aportada por el sistema. En la Fig. 4 se muestran las señales detectadas para tres cantidades diferentes de gas, de las que se obtiene el valor de concentración mediante procesado digital buscando el punto de máxima absorción. El sistema presenta una resolución del 1 % del NEI del metano, es decir, 500 partes por millón, con una alinealidad en la salida menor del 1 %, y un rango de amplitud de medida entre 0 y el 100 % del NEI. El error en el valor de concentración aportado es de ± 0.5 % del NEI. El sensor proporciona una medida cada segundo.

4. Conclusiones

Se ha presentado un sistema sensor de fibra óptica dedicado a detectar, en tiempo real, concentraciones de gas metano en aire, con aplicaciones en industrias químicas, plantas de generación y distribución de gas, y minas de carbón, entre otras. Dado que todos los componentes eléctricos del mismo se mantienen a distancia del área de medida, con este sistema sensor se evita cualquier riesgo de explosión, lo que constituye, de hecho, una de sus ventajas más importantes. Además, el uso de la fibra óptica facilita el desarrollo de un sistema de detección multipunto y simultáneo que comparta la fuente de radiación luminosa, lo que permite conseguir un coste reducido por punto de medida en grandes instalaciones.

El sistema desarrollado proporciona una medida cada segundo y es capaz de detectar concentraciones del 1 % del nivel explosivo inferior del metano, lo cual permite monitorizar la posible

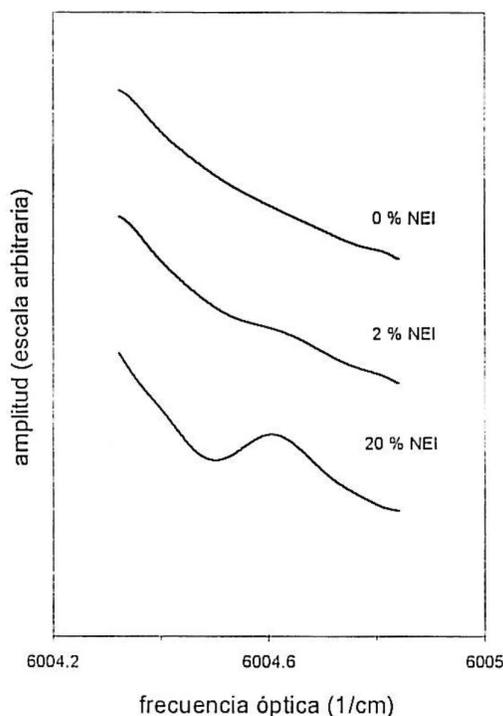


Figura 4 Señales detectadas para bajas concentraciones de metano: 0 %, 2 %, y 20 % del nivel explosivo inferior

presencia de este gas en tiempo real y con un gran rango de seguridad en ambientes explosivos o inflamables.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó principalmente durante la estancia del primer autor en la Universidad de Strathclyde, Glasgow (Reino Unido), financiada por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica del M.E.C. español, y utilizando recursos del proyecto OMEGA del Programa Fotónico LINK del Gobierno Británico.

Referencias

- [1] Cassidy, D.T. and Reid, J., "Atmospheric pressure monitoring of trace gases using tunable diode lasers". *Applied Optics*, 21, 7, 1185-1190, (1982).
- [2] Rothman, L.S., Gamache, R.R., Goldman, A., Brown, L.R., Toth, R.A., Pickett, H.M., Poynter, R.L., Flaud, J.M., Camy-Peyret, C., Barbe, A., Husson, N., Rinsland, C.P., and Smith, M.A.H., "The HITRAN database: 1986 edition". *Applied Optics*, 26, 19, 4058-4097, (1987).
- [3] Arndt, R., "Analytical line shapes for Lorentzian signals broadened by modulation". *Journal of Applied Physics*, 36, 8, 2522-2524, (1965).