

# DISEÑO OPTIMIZADO DE CELDAS SENSORAS PARA LA DETECCIÓN DE COMPUESTOS NOCIVOS PARA EL MEDIO AMBIENTE

Olga M. Conde, Sergio García, Jesús Mirapeix, Mauro Lomer, Adolfo Cobo, José M. López-Higuera

Grupo de Ingeniería Fotónica – Departamento T.E.I.S.A.  
Universidad de Cantabria

olga@teisa.unican.es

## ABSTRACT

This document is focused in the design of a transducer for an optical sensor system dedicated to the measurement of gaseous compounds. A comparison between two different gas cells are presented attending to parameters as insertion losses, independence of optical misalignments and interference effects. The new cell, designed with low-cost elements, is able to achieve an optical path of four times its physical size allowing the detection of lower concentrations of contaminant.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está centrado en el desarrollo de transductores para su integración en un sistema sensor óptico para la detección de gases contaminantes como puede ser el metano. Se utiliza la espectroscopía óptica por modulación de longitud de onda como técnica de detección [1]. El sistema sensor emplea un diodo láser DFB con una longitud de onda de emisión coincidente con la línea de absorción del gas. La intensidad de polarización que circula por el diodo láser se debe modular a una cierta frecuencia  $f$ . Cuando el diodo láser está perfectamente centrado en la línea de absorción del gas, la señal detectada en el segundo armónico de la frecuencia moduladora, una vez que el haz luminoso haya estado en contacto con el gas, tiene el siguiente valor [1]:

$$P_{2f} = -2k a C L I_0 \quad (1)$$

$P_{2f}$	Señal detectada en el segundo armónico de $f$
$k$	Magnitud relacionada con la línea de absorción del gas y la profundidad de modulación del láser
$a$	Coefficiente de absorción del gas en el centro de la línea
$C$	Concentración del gas (ppm, partes por millón)
$L$	Longitud de interacción entre el gas y el haz luminoso
$I_0$	Potencia óptica media recibida del láser

Parece evidente que a mayores concentraciones, mejor será la detección ya que mayor será la potencia detectada en el segundo armónico. Pero el objetivo de diseño se establece en otro sentido, ser capaces de detectar niveles bajos de concentraciones para lo cual se hace necesario maximizar la relación anterior aumentando la longitud de interacción luz-gas,  $L$ . Por otro lado, todo el esfuerzo encaminado a conseguir una reducción de pérdidas en el canal óptico, es decir, maximizar la potencia media  $I_0$ , también

redundará en una mejora en la sensibilidad de detección. Resumiendo, los requerimientos a satisfacer por un transductor para detectar y medir gases son:

- longitud de interacción luz-gas máxima en un tamaño físico lo más compacto posible para conseguir un diseño portable
- pérdidas de inserción lo más bajas posibles
- presentar un ruido interferencial lo menor posible para no distorsionar las medidas de concentración y reducir la sensibilidad

## 2. TRANSDUCTORES DISEÑADOS

### 2.1. Transductor basado en lentes GRIN

Las lentes GRIN de pitch 0.25 se han venido empleando en transductores tradicionales de sentido de gases [2]. Estas lentes coliman el haz de luz emitido por una fibra monomodo favoreciendo la expansión del mismo dentro de la celda para que esté en contacto con la sustancia a detectar, Figura 1. Al presentar una configuración transmisiva, la longitud de interacción luz-gas coincide con la separación entre ambas lentes y consiste, básicamente, en la dimensión física longitudinal del transductor.

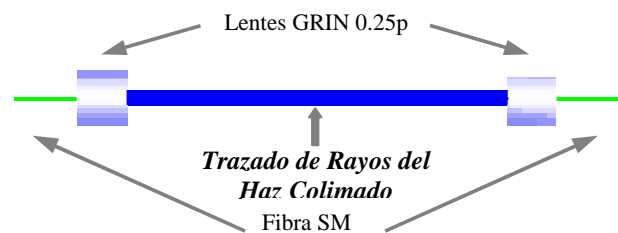


Figura 1. Esquema de la celda basada en lentes GRIN.

### 2.2. Transductor basado en 4 PASOS

Esta celda, aplicada de forma novedosa al sentido de gases, se construye con elementos ópticos muy sencillos como se aprecia en la Figura 2. El ajuste del sistema es tal, que el camino óptico recorrido por el haz de luz es 4 veces superior a las dimensiones físicas del transductor pudiendo llegar a disminuir en este mismo factor el límite de detección del sistema sensor para una misma magnitud de señal detectada en el segundo armónico.

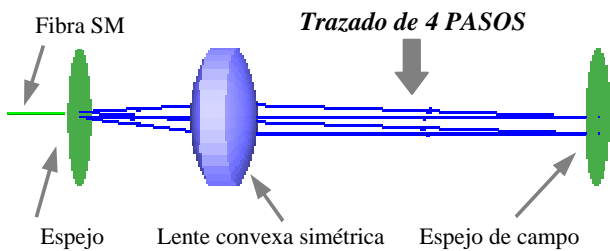


Figura 2. Esquema de la celda basada en sistema de 4 PASOS.

En el proceso de diseño se han contemplado dos tipos de recubrimientos para los espejos: *plata* con una reflectividad del 95% y *oro* cuya reflectividad mejora hasta el 98%.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un transductor debe presentar pérdidas de inserción lo menores posible. Mayores pérdidas implican una relación señal-ruido menor en el detector, con lo que el *límite de detección* teórico, medido en ppm·m para una SNR de 1dB, aumenta en un factor que se puede comprobar en la Figura 3.

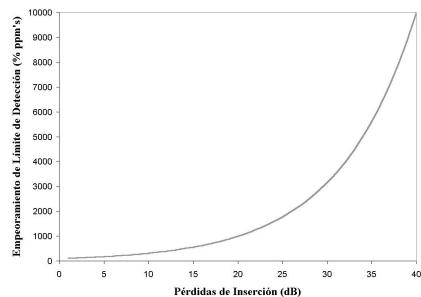


Figura 3. Límite de detección en función de pérdidas del sistema.

La Figura 4 presenta la estabilidad de dichas pérdidas ante posibles desalineamientos angulares entre los elementos ópticos del transductor debidos bien a la construcción del transductor o a los desajustes en la operación del mismo.

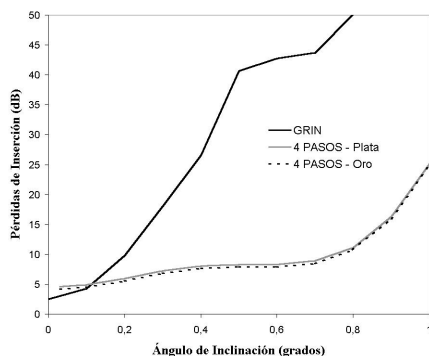


Figura 4. Pérdidas de Inserción que introduce cada celda cuando el alineamiento angular no es el óptimo.

En el transductor basado en lentes GRIN influyen fuertemente los desalineamientos angulares con pérdidas de hasta 40 dB para un desvío de apenas 0.5°. Además, en este tipo de celda, el querer

incrementar la longitud de la misma lleva aparejado el riesgo de provocar un mayor desalineamiento angular.

Con respecto al ruido interferencial, la celda GRIN presenta una limitación debido a la cavidad Fabry-Perot establecida entre las caras de las lentes por ser de un material parcialmente reflectivo [1]. Esto provoca una disminución de la relación SNR del sistema sensor con lo que el límite de detección teórico aumenta drásticamente. En el transductor de 4 *pasos*, al tener el haz un grado de colimación global menor que el ofrecido por las lentes GRIN, la influencia del ruido interferencial será menor. Además, la potencia del haz interfiere se vería fuertemente reducida por tener su punto de vuelta a la celda fuera del foco de la lente, las pérdidas en este último caso se pueden comprobar en la Figura 5.

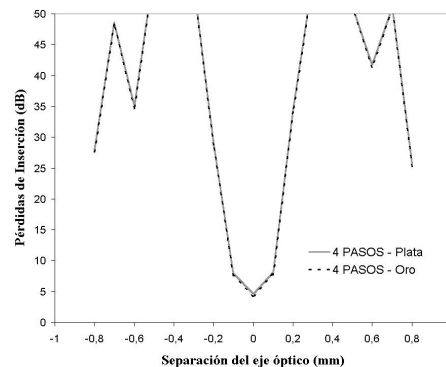


Figura 5. Efecto del desplazamiento transversal al eje óptico en la celda de 4 PASOS.

### 4. CONCLUSIONES

Se ha realizado un nuevo transductor para la detección de gases contaminantes. La ventaja de la nueva celda estriba en la consecución de un mayor camino óptico, que cuadruplica la longitud física de la celda, y en una mayor independencia del desalineamiento entre los elementos de la celda. Este último hecho favorece considerablemente su fabricación y posterior ajuste en instalación. Este transductor, evaluado a nivel teórico en la presente comunicación, se encuentra en fabricación para su integración en un sistema de detección de metano actualmente en desarrollo en la Universidad de Cantabria.

### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Unión Europea la financiación recibida a través del proyecto FEDER "SOGAM" 1FD97-2257.

### 6. REFERENCIAS

- [1] W.Jin, Y.Z.Xu, M.S.Demokan, G.Stewart, "Investigation of interferometric noise in fiber-optic gas sensors with use of wavelength modulation spectroscopy", *Applied Optics*, Vol.36, No.28, pp.7239-7246, October 1997.
- [2] M.A.Morante, G.Stewart, B.Culshaw, J.M.López-Higuera, "Nueva celda sensora para la medida de concentraciones de gases mediante espectroscopia óptica", *Actas de la URSI'97*, Vol. I, pp.323-325, Bilbao, Septiembre 1997.