

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN FOTOACÚSTICA A TRAVÉS DE UN RESONADOR DOBLE Y UN MICRÓFONO DIFERENCIAL

STUDY OF A PHOTOACOUSTIC SYSTEM BASED ON A DOUBLE RESONATOR AND A DIFFERENTIAL MICROPHONE

G. D. Santiago¹, A. L. Peuriot², V. B. Slezak² y M. G. González¹

1. Laboratorio de Láser, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Paseo Colón 850 (1063), Capital Federal.
2. Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP), Juan Bautista de Lasalle 4397 (1603), Villa Martelli, Bs. As.

e-mail: gsantia@fi.uba.ar

Varios autores han recurrido al uso de múltiples micrófonos para mejorar el límite de detección de señales fotoacústicas. Esta solución muestra una lenta mejora de la relación señal a ruido, la que progresa como la raíz cuadrada del número de micrófonos. En este trabajo se presenta una solución alternativa basada en un micrófono diferencial, acoplado a dos cavidades acústicas, que recibe señales en contrafase de forma tal de duplicar la salida. El sistema consta de dos resonadores con filtros de cuarto de onda en los extremos y dispuestos en serie. La celda así conformada es excitada axialmente por medio de un láser. Del punto medio de cada resonador se deriva una muestra de la señal la que es dirigida a cada una de las puertas de entrada de un micrófono diferencial. A la frecuencia de resonancia una de las muestras resulta retardada en media longitud de onda por medio de un camino extra. Así se consigue obtener una señal neta de aproximadamente el doble de valor del que habría resultado con un micrófono simple de la misma sensibilidad. El sistema se ensaya en la detección de trazas de NO₂ diluido en aire cromatográfico excitando por medio de un láser compacto de estado sólido que emite en 532 nm con una potencia de 200 mW y es bombeado con un diodo cuya corriente se modula a la frecuencia del modo acústico. El límite de detección del sistema es de 150 ppbV (1ppb=10⁻⁹), tomando como tal la señal neta que resulte igual a la desviación estándar de la señal de fondo.

Palabras clave: Detección fotoacústica, NO₂, micrófono diferencial.

Some authors have used several microphones in order to improve the detection limit of photoacoustic signals. This solution shows a rather slow improvement of the S/N ratio, which grows as the square root of the microphones number. In this work we show an alternative based on a differential microphone, coupled to two acoustic cavities, which receives out of phase signals so that the output is doubled. The system consists of two resonators in series with quarter wavelength filters at both ends of them. The laser beam is sent along the cell's axis. From the mid-point of each resonator a sample of the acoustic wave is diverted into each port of the microphone. A half-wavelength delay is introduced in one of the samples by means of an extra length. This way, a net signal, nearly twice the one attainable from a simple microphone, is obtained. The system is tested for detection of NO₂ in chromatographic air using a DPSS laser of 200 mW at 532 nm, pumped by a diode whose current is modulated at the acoustic mode frequency. The detection limit of the system is found to be 150 ppbV (1ppbV=10⁻⁹), corresponding to a net signal equal to one standard deviation of background.

Keywords: Photoacoustic detection, NO₂, differential microphone

I. INTRODUCCIÓN

La espectroscopía fotoacústica (FA) es una herramienta muy poderosa para la detección de trazas gaseosas, llegándose en algunos trabajos hasta un límite de detección inferior a partes por billón (1 ppb = 10⁻⁹).¹ El límite de sensibilidad de los sistemas FA está dado por la señal de fondo que, para el caso de contaminantes atmosféricos, es la proveniente de una muestra de aire limpio atravesado por el haz láser. En general esta señal consiste de una parte coherente con la excitación y otra

aleatoria. La primera posee varios orígenes, entre los cuales se destaca la absorción de radiación en las ventanas que cierran el recinto acústico, produciendo posteriormente un calentamiento de la muestra. Por el otro lado se encuentran los ruidos eléctricos o acústicos ambientales. Con el objetivo de mejorar la relación señal a ruido (SNR) en mediciones sobre muestras muy diluidas, varios autores han recurrido al uso de múltiples micrófonos cuyas salidas son sumadas en un amplificador.² Esta solución muestra una lenta mejora de la relación señal a ruido en cuanto a señales estocásticas,

ya que progresa como la raíz cuadrada del número de micrófonos. En el caso coherente, la reducción del ruido de fondo se consigue con diseños que minimizan la señal asociada con el calentamiento de las ventanas tales como el uso de materiales de baja absorción o la inclusión de filtros acústicos.³ También es posible descontar el fondo coherente a través de una medida diferencial entre dos señales. Ambas contienen la parte espuria y una de ellas presenta la generada por la absorción de la traza a detectar.^{4,5}

En este trabajo se presenta una solución alternativa a las nombradas, que consiste en el uso de un micrófono cuyo diafragma responde a la diferencia de presiones entre dos puertos de entrada, dando un alto rechazo a señales de modo común. Se diseñó una celda para explotar las características del dispositivo mencionado y se realizó un estudio de sensibilidad para detección de trazas de NO₂ en aire. Por tratarse de una molécula polar que presenta adsorción en las paredes de la cavidad acústica⁶ y que además es reactiva con metales; se eligieron materiales compatibles con la sustancia. Luego se muestra la calibración del sistema y se discuten las ventajas y dificultades del mismo.

II. ARREGLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

Se utilizó un sistema de excitación resonante por medio de un láser de estado sólido (DPSS) modulado a través de la corriente del diodo de bombeo, que emite 200 mW en 532 nm, con un diámetro de haz de 1,5 mm, y divergencia de 1 mrad.

La idea principal del diseño de la celda es la de presentar al micrófono dos señales en contrafase para aprovechar el carácter diferencial del mismo. La forma propuesta se muestra en la figura 1.

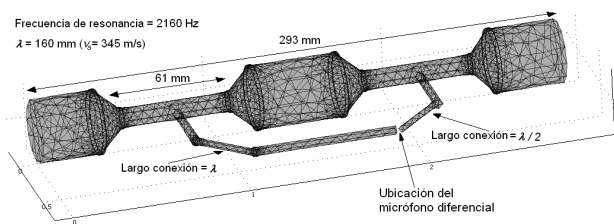


Figura 1. Celda acústica que aprovecha el carácter diferencial del micrófono.

Se observa que el conjunto es una combinación del bien conocido esquema resonador central más filtros de cuarto de onda.³ En este caso particular los resonadores son de 60 mm de longitud y 5,5 mm de radio, acoplados entre sí por medio de filtros de 18 mm de radio. Del punto medio de cada resonador se efectúa una derivación hacia el micrófono, cuyo diámetro (4 mm) resulta de un compromiso entre las pérdidas que ocasiona y la perturbación que introduce al modo de resonancia deseado. Los largos de éstas son calculados de forma tal que a la frecuencia de resonancia la diferencia de caminos equivalga a media longitud de onda, consiguiendo así el defasaje deseado. Para un ajuste fino es posible variar el

largo de cada una de estas conexiones de forma de maximizar la señal. Es interesante destacar que en esta situación la señal eléctrica obtenida por el micrófono es teóricamente el doble de la que se obtendría en un esquema convencional.

El comportamiento del arreglo fue simulado a partir de un modelo unidimensional de línea de transmisión, donde la celda es representada como una cadena de mallas infinitesimales con fuentes de excitación distribuidas a lo largo.⁷ Dado que el micrófono es alojado en un recinto, el equivalente acústico de éste (principalmente un volumen) es dejado como parámetro de ajuste.

Con estas dimensiones, la resonancia principal corresponde al modo longitudinal (002) a 2160 Hz para aire a 300 °K. Para la construcción de la cavidad se eligió vidrio Pyrex, ya que es el material que mejor resultado había dado en cuanto a adsorción de NO₂.⁶

Como sensor se utilizó un micrófono diferencial Knowles, serie NR, de sensibilidad nominal 25 mV/Pa a 1 kHz. En cada medición FA se realizó el barrido en pasos de 5 Hz alrededor de la de resonancia para determinar con precisión el pico de la misma. La señal del micrófono fue registrada con un amplificador lock-in (Stanford Research, Mod.SR830).

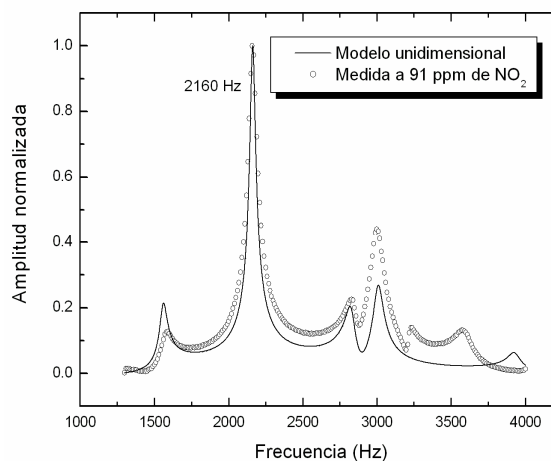


Figura 2. Espectro acústico. Curva: resultante de la aplicación del modelo unidimensional. Puntos: medida para 91 ppm de NO₂ en aire cromatográfico.

En la figura 2 se representa el espectro acústico experimental y el resultante de la aplicación del modelo unidimensional a una celda con las dimensiones señaladas. Se puede observar una buena concordancia entre ambos: el pico de mayor intensidad es la resonancia (002), que se calcula para el resonador mencionado, mientras que los otros picos corresponden a las derivaciones.

Posteriormente, se efectuó la calibración del sistema para mezclas de NO₂ puro (Liquid carbonic 99.5%) en aire cromatográfico (L'Air Liquide 99.5%) a presión atmosférica, entre 400 ppbV y 400 ppmV (figura. 3).

Se encontró que la señal FA proveniente de aire cromatográfico era sincrónica y desfasada en media longitud de onda con respecto a la señal debida al NO₂. Este resultado es compatible con una señal generada por calentamiento de las ventanas. Mediciones sistemáticas de

dicha señal de fondo, tomadas en días distintos, dieron como resultado un valor medio de amplitud y fase que permitió realizar una resta vectorial entre las distintas medidas FA sobre muestras de NO₂ y la señal de fondo promedio. La desviación estándar (σ) de esta última estableció un límite de detección de 150 ppbV, tomando SNR= σ .

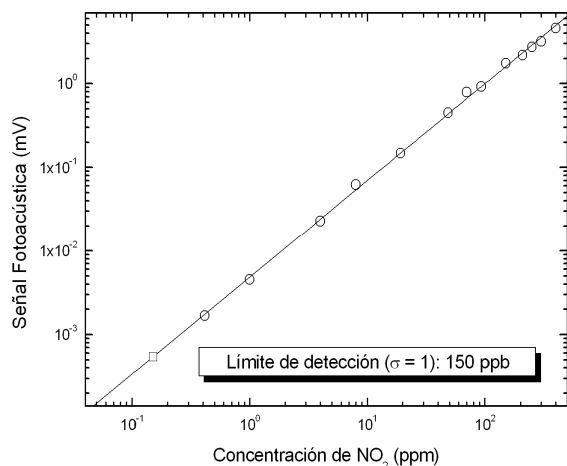


Figura 3. Curva de calibración del sistema.

Este límite no presenta una notable mejora con respecto a otros sistemas estudiados en este laboratorio.⁸ El principal motivo de esto proviene de la señal asociada por el calentamiento de las ventanas; situación que no se había presentado tan marcadamente en experiencias previas. Como posible causa se encuentra el desempeño imperfecto de los filtros debido a que la ejecución en vidrio de la celda no tiene la tolerancia mecánica necesaria. También es posible que la impedancia acústica de las derivaciones, que conectan al micrófono con los resonadores, degrade el comportamiento de los filtros. Esta inesperada señal coherente impidió lograr la duplicación prevista en la SNR.

III. CONCLUSIONES

El dispositivo presentado constituye, en nuestro conocimiento, el primero en utilizar un micrófono diferencial en la detección FA de trazas gaseosas.

A pesar de las dificultades encontradas el sistema es promisorio en cuanto a su capacidad de mejorar la SNR para ruidos aleatorios, como los de carácter eléctrico o ambientales.

Para las situaciones como la encontrada, donde el fondo coherente es dominante, es posible utilizar el mismo micrófono con otra forma de celda. Esta variante está siendo analizada al presente.

Este trabajo fue realizado con financiación de la ANPCyT a través del PICT 14267/03.

Referencias

[1] F. Harren, F. Bijnen, C. Heffels and J. Reuss en "Photoacoustic and Photothermal Phenomena II" (Eds.) J.C. Murphy, J.W. McLachlan Spicer, L.C. Aamodt, B.S.H.

Royce, Springer Series in Optical Science 62 (Springer Verlag Heidelberg, 1990) 457-459.
 [2] Daniel Hofstetter, Mattias Beck, Jérôme Faist, Markus Nägele, Markus W. Sigrist, "Photoacoustic spectroscopy with quantum cascade distributed-feedback lasers", *Optics Letters* **26**, 887-889 (2001).
 [3] A. Miklós, P. Hess and Z. Bozóki, "Application of acoustic resonators in photoacoustic trace gas analysis and metrology", *Rev. Sci. Instrum.* **72**, 1937-1955 (2001).
 [4] V.P. Zharov, V.S. Letokhov, "Laser Optoacoustic Spectroscopy" (Springer-Verlag, Berlin, 1986) 93-95.
 [5] A. Schmohl, A. Miklos y P. Hess, *Appl. Opt.* **40**, 2571-2578 (2001).
 [6] A. Romero, D. Cartelli, A. Peuriot, V. Slezak y G. Santiago, *Anales AFA* **17**, 77-80 (2005).
 [7] A. Peuriot, G. Santiago, V. Slezak. *Anales AFA* **15**, 90-93 (2003)..
 [8] V. Slezak, J. Codnia, A.L. Peuriot and G. Santiago, *Rev. Sci. Instrum.* **74**, 516-518 (2003).