

USO DE LOS SENSORES DE FIBRA ÓPTICA EN LA DETECCIÓN DE GASES EN EL AMBIENTE

Alexander Maestre Martínez¹

Abstract

This paper describes a model that detects the concentration of any gas absorbed in a wavelength of 780 nm. The model was designed using a fiber optics laboratory kit mostly used for telecommunications experiments. The gases used were oxygen, isopropanol vapor and acetone vapor mixed with water vapor in different concentrations. The physics phenomena are described. This study suggests modifications that must be improved in order to apply the model to other gases.

Palabras Claves

Sensores de Fibra Óptica, Detectores de gases, Espectroscopia, Absorción, Monitoreo de gases.

INTRODUCCIÓN

Se encuentran en el mercado innumerables técnicas y equipos que permiten la determinación de varios parámetros indicadores del grado de contaminación de un cuerpo de agua o la detección de determinados gases liberados hacia el ambiente.

Para algunos parámetros específicos es necesario utilizar equipos como cromatógrafos de gases, que determinan cuantitativamente la presencia de ciertas sustancias en el aire o agua, pero el costo de los equipos, su mantenimiento y personal altamente capacitado implica la necesidad de contratar laboratorios especializados para la captura y análisis de las muestras de campo.

En muchos casos, como es el caso de las muestras de aire, es necesario enviarla antes de un determinado tiempo, algunas veces minutos hasta el laboratorio en condiciones especiales de refrigeración lo que realmente requiere de una coordinación y metodología precisa

tanto del grupo que transporta la muestra como del que se encuentra en el laboratorio.

El empleo de nuevas técnicas en donde de forma remota se puedan identificar sustancias y su concentración ha llevado a los sensores de fibra óptica como una nueva alternativa en la detección de sustancias en agua y aire.

FENÓMENO FÍSICO

La espectroscopía es la ciencia que estudia los átomos, moléculas o fenómenos físicos asociados con la absorción, emisión ó dispersión de la radiación electromagnética.

Cuando un átomo o una molécula entra en contacto con un medio y pasa de su nivel de energía a uno superior se produce absorción; cuando ocurre lo contrario, es decir se pasa a un nivel de energía inferior se produce una emisión y cuando se produce una redirección de la

¹ Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Civil, Especialista en Telemática, Universidad de los Andes

luz debido a la interacción con la molécula se presenta una dispersión.

En el año 1852 A. Beer¹ presentó una medición cuantitativa de la absorción en soluciones, donde la absorción es proporcional a la concentración y al espesor de la muestra.



Figura 1. Concepto sobre el cual se basa la ley de Bouguer-Lambert-Beer. La intensidad de la luz que sale del modelo depende de la intensidad de entrada (I_0), la concentración de la muestra (c) y la distancia recorrida (b).

La formulación de la ley de Bouguer-Lambert-Beer se basó en esta observación y originó la base de mediciones cuantitativas de la absorción. En la Figura 1 se presenta el concepto que originó esta ley.

Beer notó que la intensidad de un rayo de luz al atravesar una muestra disminuía. Este comportamiento dio origen a la siguiente formulación:

$$\log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \epsilon \cdot b \cdot c$$

En donde I es la intensidad del rayo incidente, I_0 es la intensidad del rayo transmitido, ϵ es el coeficiente de absorción el cual es función de la longitud de onda y tiene unidades $l \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, b es el recorrido de la muestra en centímetros y c es la concentración del analito en unidades de mol por litro [mol l^{-1}]

MÉTODO

En el laboratorio de ingeniería eléctrica de la Universidad de los Andes, hay disponible un kit que contiene todos los elementos necesarios para adquirir los conceptos básicos sobre la tecnología de fibra óptica y sus aplicaciones como medio de comunicación y como sensor.

El kit cuenta con tres emisores de luz en longitudes de onda diferentes (633, 780 y 830 nm), 4 diferentes tipos de fibras (8/125 F-SS, 4/125 F-SV, F-SPV y 100/140 F-MLD) y un detector (818 SL). También cuenta con un sistema de accesorios que permite manejar con alta precisión la fibra.

Con base en la experimentación con este kit se concluyó que era factible utilizarlo en el montaje de un modelo que permitiera la determinación de absorción en gases. Para esto se construyó un modelo en acrílico que permitiera el paso del gas y la señal luminosa.

El modelo construido es una caja de 6.2 x 6.2 x 2.9 centímetros con 4 orificios, uno anterior y otro posterior para la entrada de la fibra y el detector y 2 laterales para el paso del gas. En la Figura 2 se presenta una fotografía del modelo construido.



Figura 2. Fotografía del modelo construido. De izquierda a derecha se encuentra la entrada de la fibra, el modelo construido y el detector. En la parte frontal la entrada del gas a detectar.

Se realizaron dos tipos de montajes, uno para la transmisión de la señal y otro para el paso del gas a analizar. El montaje de la transmisión de la señal hacia el modelo se presenta en la Figura 3.

La emisión de luz desde el diodo es direccionada luego de pasar por un lente GRIN hacia uno de los extremos de la fibra permitiendo la entrada de la mayor cantidad de luz. Luego la señal es enviada a través de la fibra hasta el modelo en donde entra en contacto con el gas y la intensidad del rayo que pasa la muestra es captada por el detector.

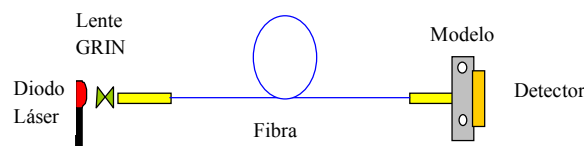


Figura 3. Esquema del montaje realizado. De izquierda a derecha se encuentra el emisor, un lente GRIN, la fibra óptica el modelo y el detector

De las tres fuentes con las que cuenta el kit, se seleccionó el Diodo Infrarrojo Láser debido a la restricción de sustancias con las cuales se podía realizar el experimento.

to. Se revisó en la literatura cuales sustancias eran absorbidas a la longitud de onda del Diodo ($\lambda = 780 \text{ nm}$) y se encontró que el oxígeno, el Isopropanol y la Acetona se presentaban una alta absorción para la longitud de onda emitida.²

El montaje para el paso de gas al modelo se presenta en la Figura 4.

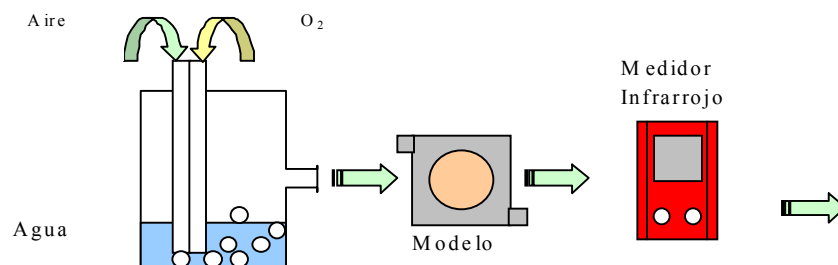


Figura 4. Montaje para el paso del gas. De izquierda a derecha: entrada de la sustancia a analizar y aire para arrastrar la muestra al modelo y calibración (opcional) mediante el uso de un medidor infrarrojo.

De izquierda a derecha se encuentra erlenmeyer en donde inicialmente se encuentra agua y poco a poco se adicionan pequeñas cantidades la sustancia a analizar. El erlenmeyer recibe aire bombeado por un aireador de acuario para pasar el vapor al modelo. 30 segundos después de la adición de la sustancia se realizó la lectura de la intensidad de luz captada en el detector. Cuando era posible se conectó un medidor para la verificación de la lectura.

RESULTADOS

El primer gas analizado fue el oxígeno. En este caso no se utilizó agua en el erlenmeyer y la concentración del oxígeno se controló mediante un regulador y un bombeo continuo de aire al modelo.

En la Figura 5 se presentan los resultados del experimento.

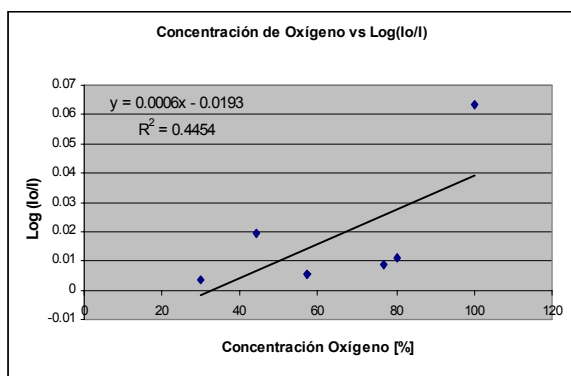


Figura 5. Resultados de la prueba con oxígeno.

De acuerdo con la ley de Beer se espera que exista una relación constante entre la concentración y el logaritmo de la relación de la intensidad de salida y de entrada.

Esta relación es cierta en caso que solo se encontrara la sustancia a analizar. De acuerdo con los montajes además de oxígeno también entran otras moléculas al modelo debidas al bombeo de aire.

Los resultados muestran una baja correlación lo que presumió la existencia de dos variables que afectaban la medición. La entrada externa de luz y una variación en la potencia muy baja que no alcanza a ser captada por el detector.

Por esta razón se pintó el modelo de negro en su interior y se realizó la prueba con el vapor de isopropanol.

En la Figura 6 se presentan los resultados con la segunda sustancia.

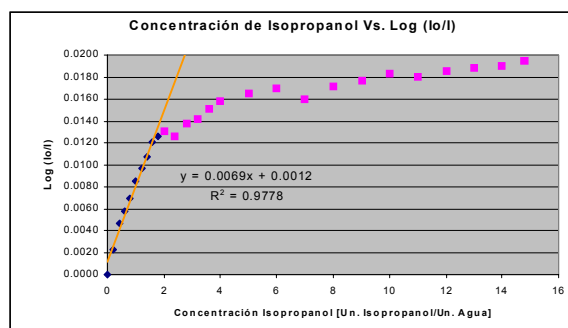


Figura 6. Resultados con vapor de Isopropanol.

2 Seinfeld John, Pandis Spyros. Atmospheric Chemistry and Physics. John Wiley and sons 1998. The Encyclopedia of spectroscopy. George L. Clark. 1960 Reinhold Publishing. Pag. 510 - 519

A 5 mililitros agua se fue agregando 1 mililitro de isopropanol hasta obtener una concentración 15 veces mayor que la inicial de agua. Existe una primera región en la cual el isopropanol es diluido en agua, en esta zona se observa un comportamiento lineal entre la diferencia de la intensidad y la concentración del vapor de isopropanol que pasa por el modelo.

Cuando ya no es posible diluir mas isopropanol en agua la pendiente de la curva cambia debido a que el solvente forma una capa sobre la superficie del agua y el aumento en la concentración del vapor liberado depende de su espesor.

Para la primera parte de la gráfica se observa un valor de R^2 cercano a 0.98 y un coeficiente de absorción de 0.0069, indicando que el montaje genera respuestas confiables hasta cuando la concentración de isopropanol es el doble de la de agua.

El último ensayo se realizó con acetona. Los resultados se presentan en la Figura 7.

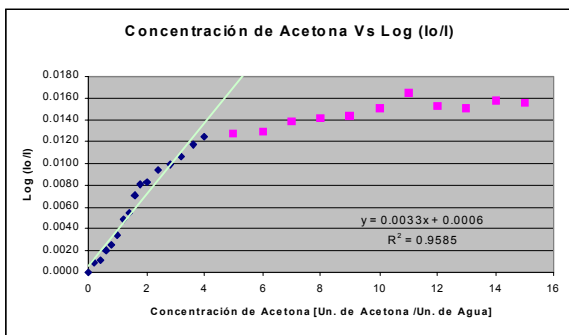


Figura 7. Mediciones con Acetona

Como se puede observar en gráfica existe el mismo efecto que en el caso anterior, solo que la dilución se obtuvo cuando la concentración de acetona es 4 veces la de agua.

Se obtuvo un valor de R^2 cercano a 0.96 y un coeficiente de absorción de 0.0033. Permitiendo establecer una relación para este primer rango. El fenómeno presentado es el mismo que en el caso anterior por esta razón existe un cambio de pendiente en la curva.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es posible utilizar el kit de laboratorio de fibra óptica en la determinación de gases existentes o enviados al am-

biente. Su uso depende principalmente de 4 factores: La longitud de onda emitida, el tipo de fibra utilizada, la disponibilidad del espectro de absorción de la sustancia que se desea analizar y la curva de calibración entre la variación de la intensidad y la concentración del gas.

El kit podría utilizarse para determinar las moléculas existentes en la muestra. Para esto sería necesario disponer de varios emisores a diferentes longitudes de onda o uno que emita en un ancho de banda entre los 200 y 1500 nm. Con este equipo y un archivo que contenga los espectros de absorción de las moléculas más comunes en el aire se puede determinar el tipo de gas existente en la muestra.

El uso de la fibra ocasiona una distorsión en la determinación de la sustancia debido a que el rayo de luz al pasar por la fibra ocasionaría fenómenos como absorción, dispersión que disminuirían la potencia de la señal. Es por esta razón que debe seleccionarse el tipo de emisor y la fibra de acuerdo a su disponibilidad y realizar una calibración entre el gas a analizar y su concentración. Si la absorbancia de la molécula a la longitud de onda seleccionada es baja no es posible utilizar el kit debido a que la disminución de la señal entra en el rango de detección del receptor.

Este problema se evidenció en el ensayo realizado con el oxígeno. Aunque no fue posible encontrar el espectro de absorción para esta molécula se encontró que las longitudes de onda en las cuales hacía resonancia se encuentran en el rango entre 915 y 1966 nm³ y los emisores disponibles son menores a este rango.

Los emisores, el detector y la fibra han sido diseñados para mejorar la transmisión en comunicaciones. Es por esta razón que el kit solo podría utilizarse con gases que presentaran una alta absorción en las siguientes longitudes de onda: 633 nm, 780 nm y 830 nm.

Gases que presenten poca absorción en los cuales el detector no sea capaz de percibir cambios en la intensidad necesita de un rediseño del modelo aumentando la distancia recorrida en el gas entre la salida de la fibra y el detector.

Los resultados obtenidos así como las pruebas realizadas no corresponden a vapor de isopropanol o acetona, estos se encontraban mezclados con vapor de agua y la cantidad exacta de cada compuesto no se logró determinar en los experimentos. Para lograr su concentración exacta es necesario utilizar métodos como el cromatógrafo de gases que son muy costosos y no se

3 Morton Donald, Atomic data for resonance absorption lines. Herzberg Institute of Astrophysics

previeron en el desarrollo de este trabajo.

Es posible realizar mediciones de gas utilizando esta tecnología. Se necesitan nuevos montajes con diferentes emisores, detectores de mayor precisión y modelos de mayor recorrido para obtener mejores resultados.

Desde el punto de vista del montaje de gas es necesario construir un nuevo mecanismo que permita el paso del gas a analizar únicamente con una concentración deseada mezclada con un gas que sea transparente a la longitud de onda en la cual este trabajando.

El modelo de laboratorio se puede mejorar con el uso de un emisor que trabaje a diferentes longitudes de onda, preferiblemente que cubra los rangos ultravioleta, visible e infrarrojo. De otro lado es necesario investigar si es factible encontrar en el mercado fibras que permitan enviar la señal para diferentes longitudes de onda sin perder mucha potencia en su recorrido.

DISCUSIÓN

El potencial de este método es muy alto, es factible monitorear con este equipo emisiones de gas en diferentes puntos no muy distantes del centro de control. En la actualidad se está diseñando un modelo que permita monitorear varios sitios al tiempo con un solo emi-

sor y un detector. Esta información puede ser capturada y luego enviada a un sistema de información geográfica que permita en tiempo real el seguimiento de ciertas emisiones a la atmósfera.

Hacia el futuro el avance tecnológico en la informática y las telecomunicaciones ofrece a la ingeniería civil una nueva perspectiva para la captura de datos con intervalos de tiempo mas cortos y con la posibilidad realizar seguimientos en tiempo real sin importar las distancias.

Es así como el Internet, la comunicación de paquetes vía celular (CDPD), los sistemas de radio, la comunicación satelital a través de VSAT son alternativas que actualmente ofrece el mercado y permite el envío de información a una central, útil en cualquier proyecto de ingeniería civil.

Adicionalmente al uso de la fibra óptica como sensor de gases, también se puede utilizar como sensor de presiones y desplazamientos a través de la construcción de modelos conocidos como interferómetros.

El manejo de los datos y su interpretación permite a los ingenieros participar de forma activa en proyectos de ingeniería y de cualquier otra disciplina como economía, biología y urbanismo, entre otros, en la cual la conceptualización de los fenómenos, el planteamiento del problema y la evaluación de alternativas ofrecen un amplio campo de acción.