

TECNOLOGÍA

Diseño y construcción de un sistema óptico para medir la contaminación atmosférica

Samuel Ángel Jaramillo Flórez
 Instituto Tecnológico Pascual Bravo Tecnología Electrónica
 Calle 73 N° 73A - 226, Bloque 3 Tel: 57-4-2340400 Ext. 126
 Medellín, Colombia
 samuajaramilloflores@hotmail.com

Resumen

En este trabajo se describe el diseño y la construcción de un sistema óptico para medir el nivel de contaminación por partículas suspendidas en el aire. Se determina experimentalmente la potencia recibida para diferentes atmósferas en un ambiente industrial o en las calles de una ciudad. Se hace una comparación con los valores teóricos y se elabora una curva que sirve para predecir la contaminación para varias longitudes de onda de la luz utilizada, constituyendo un método rápido, económico y versátil de medir la polución del aire en cualquier ambiente.

Palabras Clave. Medio ambiente, contaminación, enlace óptico, concentración de partículas, atenuación, dispersión de Rayleigh.

Abstract

This work describes the design and the construction of an optic system that measures the level of contamination for particles suspended in the air. Experimentally the power received is determined for different levels of contamination as inside an industrial atmosphere or in the streets of a city. A comparison is made with the theory and is elaborated a curve that is good for to predict the level of contamination for different wavelength of the used light, providing a cheap, quick and versatile method of measuring the pollution of the air in any atmosphere.

Key words. Index Terms, Environment, contamination, optic link, concentration of particles, attenuation, Rayleigh dispersion.

I. INTRODUCCIÓN

A medida que aumenta la población, se produce un incremento de los residuos y desperdicios volátiles que son resultados de los procesos de producción necesarios para el bienestar humano. Las instituciones que controlan el medio ambiente vienen realizando una labor de monitoreo de las diferentes variables que afectan el clima y la calidad del aire, en sus diferentes clases de contaminación. Recientemente en varios centros de investigación nacionales y extranjeros se han realizado experimentos con luz láser para transmitir información entre dos puntos, comunicar dos o mas computadores y estudiar el alcance de un enlace de este tipo a través del espacio libre. En este trabajo se aprovecha la experiencia adquirida en dichas instituciones. Existen varias formas de contaminación atmosférica: por ruido, por partículas y por ondas electromagnéticas. Es importante tener control sobre

ellas para conservar el medio ambiente y garantizar que se mantenga adecuado para la preservación de la vida. Para ello, es necesario hacer mediciones constantemente utilizando dispositivos apropiados para ello, ya sea eléctricos, mecánicos u ópticos. En este proyecto se propone uno de estos últimos, usando tecnología de punta de elevada eficiencia y confiabilidad comparado con los demás dispositivos disponibles en el mercado para medir la contaminación del aire.

II. MÉTODO UTILIZADO

El principal indicador del nivel de contaminación por partículas suspendidas en el aire es la medida de la atenuación de la luz debido a la dispersión que ellas le producen. Esto hace que la potencia recibida disminuya, y es menor mientras mayor contaminación exista en un lugar. Si la potencia emitida por el láser es P_2 y la potencia recibida en el fotodetector es P_r

Fig. 1, la atenuación α que se medirá en un trayecto de longitud de enlace óptico l , se puede calcular con la (1).

$$\alpha = \frac{10 \log_{10} P_f / P_i}{l} \quad (1)$$

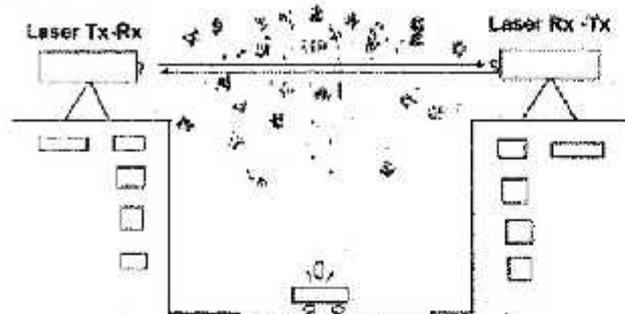
La atenuación en atmósfera sin contaminar se calcula con la (2)

$$\alpha_0 = \frac{10 \log_{10} P_{f_0} / P_i}{l_0} \quad (2)$$

La atenuación en atmósfera contaminada se calcula con la (1). El cambio en la atenuación por contaminación se determina con la (3).

$$\alpha - \alpha_0 = \frac{10 \log_{10} P_f / P_{f_0}}{l_0} \quad (3)$$

Figura 1. Esquema del montaje para medir la contaminación atmosférica.



III. MODELO DEL SISTEMA OPRÓN

Los estudios que se han estado desarrollando en el campo de las redes ópticas durante los últimos años se han centrado en tres áreas principales [1]:

- 1) El estudio de los canales de transmisión
- 2) El plan de modulaciones más adecuado. Diseño de los circuitos moduladores y demoduladores, emisores y receptores.
- 3) Algoritmos de simulación eficiente.

El método convencional de simulación propuesto por varios autores proporciona una solución exacta. Sin embargo, el tiempo necesario para obtener

la solución es prohibitivo para diseñar rápidamente una red de área local. Las ventajas del método que se propone aquí son que posee una gran flexibilidad para aproximar el modelo del canal a la realidad y que permite conocer la respuesta al impulso en tiempos comparativos.

Un dispositivo optoelectrónico opera con radiación electromagnética en el rango óptico. En general, estos se pueden clasificar en los siguientes grupos principales:

- 1) Radiadores de luz tales como los láseres y los diodos LED
- 2) Detectores fotoeléctricos tales como las fotoresistencias y los fotodetectores de unión PN
- 3) Dispositivos de control de radiación tales como los moduladores, los deflectores de haz de luz y las transparencias controlables
- 4) Dispositivos para mostrar datos (display) tales como los paneles indicadores y señalizadores
- 5) Optrones, cuyas variedades son conocidas como pares acoplados por fotón (*photon-coupled pairs*, PCP), pares fuente-detector, optoaisladores, etc, utilizados para aislamiento eléctrico entre componentes.
- 6) Canales de comunicación óptica y memorias ópticas (almacenamiento) tales como las fibras ópticas, los enlaces ópticos en espacio libre (*free space optics*, FSO) y medios de almacenamiento (permanentes y reversibles).

La optoelectrónica está causando un gran impacto en muchas ramas de la industria produciendo cambios cualitativos y cuantitativos en la electrónica, en ingeniería de radio, en ingeniería de comunicaciones, en ingeniería de la computación, en automática y en la cibernética. La optoelectrónica marca cualitativamente una nueva etapa en el desarrollo de la ingeniería electrónica.

El oprón es un dispositivo optoelectrónico que consiste de dos componentes básicos: una fuente de luz junto con un fotodetector óptico y estructuralmente acoplado. Este dispositivo es conocido como aislador fotoacoplado, fotoacoplador, aislador, fotoacoplador, par acoplado por fotón (PCP), fotorelevador, etc. Cualquier tipo de oprón funciona por el principio de conversión de doble energía: el radiador convierte la energía de una señal eléctrica en radiación óptica y el fotodetector hace lo contrario, convierte esta radiación a corriente eléctrica o voltaje.

El oprón entonces tiene una entrada y una salida eléctrica para conectarlo a un circuito externo. Dentro del dispositivo, la conexión entre la entrada y la salida

es óptica: las señales ópticas suministran acoplamiento óptico (y aislamiento eléctrico) entre el radiador y el fotodetector, y de ahí el nombre del dispositivo, fotoacoplador o aislador fotoacoplado. Un dispositivo como estos incorporado dentro de un circuito eléctrico desempeña la función de un elemento de salida, un fotodetector que simultáneamente suministra aislamiento eléctrico (desacople conductivo) entre las señales de entrada y salida. Pero el propósito del optrón no es simplemente la de proporcionar la seguridad del aislamiento eléctrico.

El optrón puede servir para controlar ópticamente circuitos electrónicos y permitir así al diseñador desarrollar dispositivos con parámetros y características únicas. Como un componente de circuito diseñado para realizar funciones definidas, el optrón se define principalmente por el tipo de fotodetector que lleva incorporado. Esto es porque, dependiendo de la aplicación, es el fotodetector quien representa un elemento decisivo del optrón, siendo el radiador seleccionado según el fotodetector. Desde el punto de vista del diseño y de la tecnología, ambos elementos constitutivos del optrón son igualmente importantes. Sin embargo, en la mayoría de los casos el radiador determina la efectividad de la conversión de energía y la vida del optrón, de tal manera que a este elemento generalmente se le hacen muchas consideraciones de diseño. No obstante, es el fotodetector el que determina las características eléctricas del optrón. La principal ventaja física del optrón es que utiliza fotones como portadores de información. Estos dispositivos proporcionan un aislamiento eléctrico entrada-salida muy alto el cual evita la realimentación salida-entrada, suministrando un flujo de información unidireccional, y poseen un gran ancho de banda. Existen dos clases de optrones especiales. Estos optoaisladores difieren de los tradicionales pares acoplados por fotón y de los circuitos integrados ópticamente acoplados por el tipo de medio óptico que utilizan para acoplar la fuente luminosa (LS) al fotodetector (PD).

IV. OPTRÓN DE ESPACIO LIBRE

En estos dispositivos el espacio entre la fuente y el fotodetector sirve como trayectoria óptica para transmitir una señal óptica al fotodetector. Cualquier obstáculo mecánico puesto en este espacio cambiará la intensidad del haz y, por lo tanto, la amplitud de la señal de salida del fotodetector. Estos optrones desempeñan las funciones de sensores ópticos, que son utilizados para identificar objetos, evaluar el estado de una superficie, medir la tasa de movimiento, etc.

Las figuras 2 y 3 muestran dos versiones de diseño de estos sensores. La Fig. 2 ilustra un aislador de haz directo y la Fig. 3 un aislador de haz reflejado. La razón de transferencia de corriente (CTR, *Current Transfer Ratio*, corriente de salida dividida por la corriente de entrada) aquí es obviamente pequeña debido al espacio de aire [1]. Estos dispositivos normalmente emplean un fototransistor en el circuito de salida. En el sensor óptico del segundo tipo, la CTR depende de la distancia a la cual está un objeto frente al fotodetector y de las propiedades de la superficie del objeto. La frecuencia de operación de estos dispositivos cubre el rango de hasta 1MHz. El espacio de aire de estos optrones pueden actuar también como detectores de gas, de humedad o de contaminación ambiental. Un detector contiene dos fuentes de luz, una de las cuales emite a la longitud de onda correspondiente al máximo de absorción de la luz por el gas contaminante y la otra fuente sirve como una referencia. Los más comunes son los optrones sensores de humedad de varios medios.

Figura 2. Optrón de haz directo

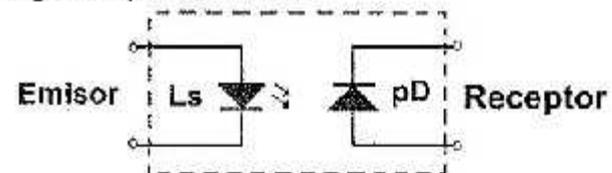
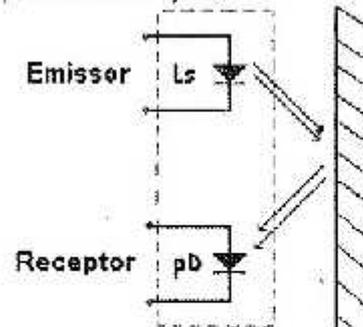


Figura 3. Optrón de haz reflejado



V. MONTAJE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

La atenuación se debe principalmente a la presencia de partículas, vapor de agua y niebla, las cuales producen fenómenos de absorción y reflexión. Las Tablas 1 y 2 muestran la clasificación de las partículas según su tamaño y nivel de contaminación [2].

Tabla 1. Tipos de humo en la atmósfera

Nivel de Contaminación	Diámetro	Densidad
Baja	5µm	0,03 gr/m ³
Medio	5µm	0,8 gr/m ³
Alta	10 µm	2,3 gr/m ³

Tabla 2. Tipos de partículas en la atmósfera

Nivel de Contaminación	Radio (mm)	n, # de partículas/cm ³	Distancia entre partículas (cm)	Densidad gr/m ³
Muy baja	0,1	-	-	0,09
Baja	0,2	-	-	0,14
Medio	0,5	530	12	0,28
Alta	0,75	450	-	0,83
Muy Alta	1	-	-	1,90
Saturado	1,5 a 2,5	400	14	5,40

Las curvas de las Figuras 4, 5 y 6 se elaboran por métodos experimentales empleando un láser semiconductor trabajando en una longitud de onda de 850 nm y en el receptor con un fototransistor a la misma longitud de onda del láser. Se esparce un gas-aerosol o spray- a diferentes presiones en el trayecto entre el láser y el receptor y se mide la potencia recibida. La potencia óptica perdida por dispersión en las partículas puede ser calculada usando la dispersión Rayleigh. Según esta teoría, para esferas de radio a cuando le incide un rayo de luz con longitud de onda λ , el área de la sección eficaz de eco, para $a < \lambda/10$, se calcula con la (4):

$$A_e = \frac{9 \lambda^2 (Ka)^6}{4\pi} \quad (4)$$

Sustituyendo el valor del número de onda $k=2\pi/\lambda$ en la (4), se llega a:

$$A_e = \frac{45000a^6}{\lambda^4} \quad (5)$$

Como las partículas tienen un radio promedio máximo de 1 mm, puede verse que la atenuación debido a la reflexión por partículas es muy elevada a frecuencias ópticas.

Experimentalmente se determina el voltaje recibido para diferentes niveles de contaminación, como se muestra en la Tabla 3, pudiendo obtenerse las curvas mostradas en las Figuras 4, 5 y 6. Para una distancia

de 1 m entre el emisor y receptor óptico, se obtuvo una atenuación de 7,2 dB a una longitud de onda de 0.85µm para concentración alta(A) de partículas, según se especifica en la Tabla 2. Esto corresponde aproximadamente al valor obtenido en la curva de la Figura 8.

Tabla 3. Datos experimentales de voltajes en el receptor

Concentración	Voltaje
Muy Baja	20 mV
Baja	10 mV
Medio	8 mV
Alta	6 mV

Con la medida del voltaje y/o de la potencia en el fotoreceptor se conoce si el nivel de contaminación atmosférica es Baja(B), Medio(M) o Alta(A), utilizando la curva de la Figura 4. Con este valor se usan las curvas de las Figuras 5 y 6., determinando así el número de partículas ($n_c = \#$ de partículas/cm³) y el radio de las partículas, y con las curvas de la Figura 8, con λ y el dato del nivel de contaminación MB, B, M, A, MA, S, se conoce la atenuación. El rango entre **Muy Baja** (MB) y concentración de **Saturación** (S) puede ser discretizado con diferentes niveles de voltaje, permitiendo una mayor precisión en la medida.

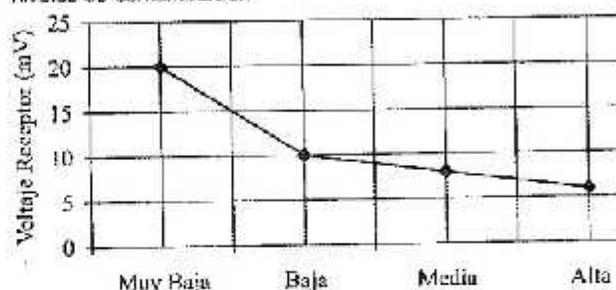
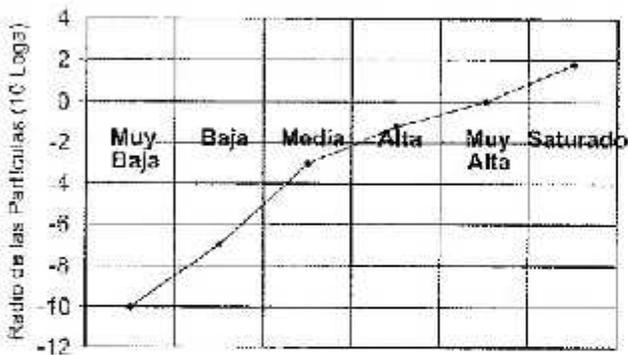
Figura 4. Voltaje en el fotodetector V_r en función de los diferentes niveles de contaminación**Figura 5.** Densidad de partículas en función del nivel de contaminación atmosférica

Figura 6. Radio de las partículas (en escala logarítmica) en función del nivel de contaminación atmosférica



Para calcular atenuación se utilizó el circuito mostrado en la Figura 7[3]: La manguera sirve para conservar los gases y partículas suspendidas dentro de ella dando un mayor margen de tiempo para medir las variaciones del voltaje en el receptor.

Figura 7. Circuito usado para medir la potencia luminica recibida

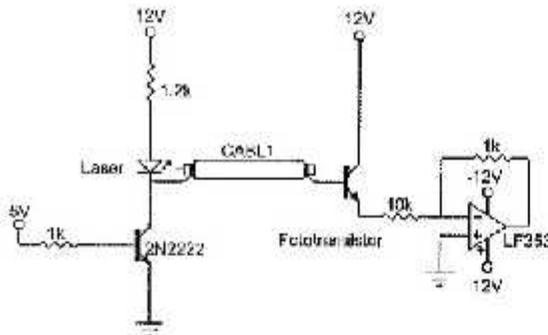
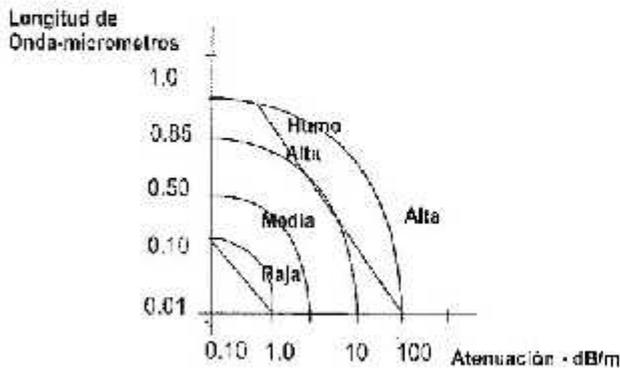


Figura 8. Curvas para determinar la atenuación conociendo λ y el dato del nivel de contaminación atmosférica



VI. CONCLUSIONES

Se ha descrito un método óptico para medir la contaminación atmosférica en las calles o en recintos cerrados industriales utilizando sensores de luz láser en espacio libre, siendo una forma económica y eficiente de controlar el nivel de partículas en suspensión y de mejorar la calidad de vida en ambientes laborales.

El impacto de este proyecto es el aporte científico a la comunidad local y nacional para tomar conciencia de la necesidad de un control efectivo y económico, por medios ópticos, de la contaminación del medio ambiente por partículas suspendidas en el aire y por moléculas de CO₂.

Agradecimientos

El autor agradece a los estudiantes Luisa Fernanda Soto, Cristian Echeverry y Marcial Vargas por su asistencia en las pruebas de laboratorio. Este trabajo ha sido financiado parcialmente por COLCIENCIAS de Colombia y por el Instituto Tecnológico Pascual Bravo de Medellín, Colombia.

Referencias

- [1] L. Sharupich et al, *Optoelectronics*, Ed. Mir, Moscú, 1987.
- [2] S.A. Jaramillo Flórez, *Redes de Telecomunicaciones*, Serie Nabilia-Delta, UPB, N°34, Medellín, Colombia, 1994, p. 96-98.
- [3] S. A., Jaramillo Flórez, "Caracterización Sistemica de un Optrón con Canales de Fibra Óptica y de Espacio Libre" en *Memorias del Primer Encuentro Nacional de Investigación e Innovación en Telecomunicaciones y Áreas Afines*, Centro de Investigación de las *Telecomunicaciones*, - *CINTEL*, 1 y 2 de Septiembre de 2003, Bogotá, Colombia.