

Técnicas de medición de ozono:

Métodos tradicionales frente al método de cámara de absorción con led ultravioleta como fuente de luz

Ozone measurement techniques:

Traditional versus chamber absorption methods with ultraviolet led as light source

Recibido para evaluación: 22 de febrero de 2013
Aceptación: 5 de junio de 2013
Recibido versión final: 27 de junio de 2013

Amado Ospina Montoya¹
Miguel Ángel Garrido Tamayo²

RESUMEN

En este artículo se describen las técnicas tradicionales de medición de ozono en la baja atmósfera. Se hace énfasis en el método de cámara de absorción con diodo Led ultravioleta como fuente de luz por su alto desempeño, y se finaliza con un análisis de las ventajas y desventajas de cada método.

Palabras claves: Fotometría, Ozono, Diodo UV, Fotodetector.

ABSTRACT

This article describes the traditional techniques for measuring ozone in the lower atmosphere, emphasizing the absorption chamber method with UV LED diode as a light source for high performance. Ends with an analysis of the advantages and disadvantages of each method.

Key words: Photometry, Ozone, UV diode, Photodetector.

1. INTRODUCCIÓN

Como es bien sabido, el ozono se forma en la baja atmósfera por el efecto conocido como *smog fotoquímico*, debido a la reacción de la luz con óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV), como el metano generado por la descomposición de la materia orgánica. El ozono que se encuentra en la estratósfera (capa de ozono) es formado por fotodisociación del oxígeno molecular. Las propiedades ópticas del ozono, en relación a su espectro de absorción y emisión de radiación, juegan un papel muy importante en numerosos procesos atmosféricos, entre ellos la protección contra la fuerte radiación UV que llega del sol.

A mediados del siglo XVII, las primeras mediciones de ozono consistieron en impregnar papeles con una solución de Yoduro Potásico (IK) y almidón que eran expuestos al aire; al reaccionar con el ozono que se encontraba en el mismo producían diferentes tonos de azul, indicando así una escala comparativa de los niveles. Técnicamente, la medición de ozono, empezó en 1924 con el científico británico Gordon Miller Bourne Dobson. En este año Dobson utilizó un prisma para descomponer el rayo solar en su espectro y utilizando registros fotográficos pudo determinar la intensidad de radiación en el espectro total solar por encima de 295 nm (Cuevas, 1995).

1. Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Especialista en Gestión Energética Industrial del Instituto Tecnológico Metropolitano. Docente Instituto Tecnológico Metropolitano. amadoospina@yahoo.com

2. Bacteriólogo de la Universidad de Antioquia, Tecnólogo en electrónica del Instituto Tecnológico Metropolitano. Pendiente trabajo de grado para optar al título en ingeniería Electrónica del ITM. mgarrido@garridode.com

Los fotómetros solares, como el Dobson, toman la luz directamente del sol, la descomponen en su espectro y con fotodetectores miden la absorbancia¹ en determinadas longitudes de onda. Los medidores de ozono que utilizan el método de cámara de absorción no toman la luz directa del sol, sino que la generan en el mismo medidor y la hacen pasar por una cámara por donde se hace pasar al mismo tiempo la muestra, y al final miden su intensidad.

En el método LIDAR se emite un haz de luz que interactúa con el medio o el objeto bajo estudio, como el ozono. Parte de esta luz es dispersada de regreso al sistema. La luz retro-dispersada es capturada y usada para determinar propiedades del medio en el cual el haz se propagó o del objeto que causó la dispersión. El método LIDAR más usado para la determinación de ozono es el LIDAR de Absorción Diferencial -DIAL-. (Nisperuza, 2010).

Los captadores pasivos para la medición de ozono se rigen por la ley de Fick que dice “que el flujo difusivo que atraviesa una superficie es directamente proporcional al gradiente de concentración”. Estos dispositivos de toma de muestra, generalmente con forma de tubo o disco, recogen un contaminante específico por medio de su adsorción y/o absorción en un sustrato químico seleccionado. Después de su exposición durante un apropiado periodo de muestreo, que varía desde un par de horas hasta un mes, la muestra regresa al laboratorio, donde se realiza la desorción² del contaminante y después se analiza cuantitativamente (Delgado, 2004).

El desarrollo tecnológico de los diodos emisores de luz como el diodo laser y recientemente el diodo que emite luz ultravioleta por debajo de los 300nm, proporcionó un desarrollo importante en las técnicas de medición con espectrofotometría UV, entre ellas la medición de Ozono. Actualmente se están fabricando medidores de ozono de alta precisión (0.5 partes por billón) y bajo costo, mediante cámara de absorción que utilizan diodos UV como fuente de luz (Sensor Electronic Technology, 2012).

1. Absorbancia es la cantidad de luz que absorbe la muestra.

2. Desorción es la eliminación de materia desde un medio adsorbente, usualmente para recuperar el material en estudio.

2. BREVE HISTORIA SOBRE LAS TECNICAS PARA MEDICIÓN DE OZONO

El científico Holandés *Martinus Van Marun* (1750-1837) fue el primero en describir el intenso y característico olor que sigue a las descargas eléctricas en presencia del oxígeno. En 1839 el químico Suizo *C. F. Schönbein* detectó el mismo olor al realizar dichas descargas en aire, identificando la sustancia causante del olor, y proponiendo para la misma el nombre de ozono, derivado de la palabra griega *ozein*, “olor”. Soret y Andrews realizaron entre 1863 y 1874 la primera identificación química, y establecieron que el ozono es una forma alotrópica del oxígeno constituido por tres átomos de oxígeno (Figura 1).

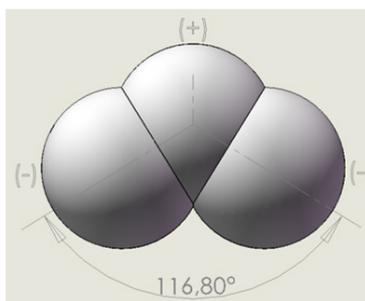


Figura 1 Molécula de Ozono (tomado de www.textoscientificos.com)

Houzeau, en 1858, demostró químicamente la existencia de ozono en la atmósfera usando papeles impregnados con una solución de Yoduro de Potasio que contenía Almidón (test ozonométricos). Este método desarrollado por *Schönbein*, es un procedimiento cualitativo de medida; el tono azulado del papel indica la cantidad de ozono en el aire sobre una escala relativa de 1-10. Con este método *Boeckel* observó en 1865 que el ozono troposférico presentaba ciclos diarios y estacionales (Delgado, 2004).

En 1881 Hartley utilizando un tubo de 90cm de largo, cerrado en ambos extremos por unas placas de cuarzo y lleno de una mezcla de oxígeno y ozono, descubrió que el ozono contenía una banda ancha y muy intensa de absorción entre 233 y 285nm, con un máximo de absorción alrededor de los 256nm. Años más tarde Hartley, basado en las observaciones realizadas en 1863 por Miller,

concluyó que el constituyente que absorbe en la atmósfera era el ozono, puesto que los límites del espectro solar corresponden a los límites de absorción debida al ozono.

En 1882, el físico francés Chappuis enfrió una mezcla de oxígeno y ozono por medio de etileno líquido, y obtuvo ozono en forma de gotas dando como resultado un fluido de color azul oscuro, a una temperatura de -112°C. Chappuis encontró que el ozono poseía al menos 11 picos de absorción en sus bandas de la parte visible del espectro. De ellas, las más intensas fueron dos bandas: entre 609.5, 593.5nm y 577, 560nm. En 1890, el astrónomo inglés Huggings, estudiando el espectro de la estrella Sirio, descubrió un grupo de seis bandas de absorción en las longitudes de onda de 333.8, 332.6, 331.1, 327.8, 325.4 y 319.9nm, que fueron denominadas “bandas de Huggins”. Él no las identificó como las bandas de absorción del ozono atmosférico si no que las consideró una simple característica del espectro de Sirio. En 1908, Angstrom detectó una serie de bandas de absorción en la región infrarroja del espectro del ozono y estimó sus correspondientes longitudes de onda en 480, 580 y 910-1000nm.

Los test ozonométricos fueron ampliamente usados hasta la década de 1920; en este año, el físico y meteorólogo Británico *Gordon Miller Bourne Dobson*, científico de la universidad de Oxford, con el propósito de investigar la circulación atmosférica, construyó el primer instrumento para medir los cambios en el ozono atmosférico, más tarde llamado “espectrofotómetro de Dobson”. En honor a este investigador, se creó la Unidad Dobson (UD) utilizada en la actualidad para indicar los niveles de ozono. Una UD equivale a 0,01 milímetros de espesor de capa de ozono en condiciones normales de presión y de temperatura (1 atmosfera y 0 °C); expresado en número de moléculas; una UD representa la existencia de 2.69×10^{16} moléculas por centímetro cuadrado de ozono (Cuevas, 1995).

3. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE OZONO

3.1. FOTÓMETROS SOLARES

El principio de medición de estos instrumentos se basa en la ley de absorción de Beer-Lambert que consiste en relacionar la intensidad de luz entrante en un medio con la intensidad saliente después de que en dicho medio se produzca absorción. Matemáticamente la ley de Beer-Lambert se expresa así (Komhyr *et al.*, 1993):

$$T = \frac{I(z)}{I_0} = e^{-kz}, \tag{1.0}$$

donde T es la transmitancia, $I(z)$, I_0 son las intensidades de luz con absorción y sin absorción respectivamente, k es el coeficiente de atenuación, y z es longitud del camino de transmisión.

El coeficiente de atenuación debido a la atmósfera está determinado por cuatro procesos individuales: absorción molecular, dispersión molecular, absorción por aerosoles, y dispersión por aerosoles, y se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$k = \alpha_m + \beta_m + \alpha_a + \beta_a, \tag{1.1}$$

donde α es el coeficiente de absorción y β es el coeficiente de dispersión; los subíndices m y a designan los procesos moleculares y de aerosol, respectivamente. Cada coeficiente en la ecuación (1.1) depende de la longitud de onda de la radiación.

El ozono presenta una fuerte absorción entre los 300nm y los 350nm (bandas de Huggings); por lo tanto, el espectrofotómetro de Dobson utiliza pares de longitudes de onda en esta franja del espectro. Para realizar la medición, este instrumento descompone la luz solar en su espectro mediante prismas monocromáticos, y mediante fotodetectores mide la intensidad de luz entre cada par de longitudes de onda. En la tabla 1 se presentan cuatro pares de longitudes de onda **A**, **C**, **C'** y **D**, cada par corresponde a una λ con alta absorción y una λ con baja absorción. Estos pares de longitudes de onda expresados en nanómetros corresponden a:

A	C	C'	D
A 305.5 - 25.4nm	C 314.4 - 32.4nm	C? 332.4 - 453.6nm	D 317.6 - 339.8nm

Tabla 1. Pares de longitudes de onda empleados por el espectrofotómetro Dobson

En el exterior de la atmósfera las intensidades que se registran en el par de longitudes de onda **A, C, C'** y **D** son esencialmente iguales. En el recorrido de ambos rayos a través de la atmósfera, se ven atenuados por la dispersión de las moléculas de ozono, y en menor cantidad por el aire y otros aerosoles. Adicionalmente $\lambda = 305.5\text{nm}$ es fuertemente atenuada al atravesar la capa de ozono, mientras que la atenuación registrada por este motivo a $\lambda = 325.4\text{nm}$ es relativamente pobre. Así pues, un incremento del contenido total de ozono presente en la atmósfera se traduce en una mayor absorción en $\lambda = 305.5\text{nm}$ con su consiguiente pérdida de intensidad, mientras que $\lambda = 325.4\text{nm}$ permanece prácticamente inalterable.

Aproximadamente en 1928 ya se disponía de células fotoeléctricas de buena calidad y de amplificadores de suficiente precisión, permitiendo que Dobson pudiera desarrollar en el periodo 1929-1931 un nuevo espectrómetro con células fotoeléctricas, gas de sodio y una ventana de cuarzo. Este instrumento fue diseñado a partir del principio del doble cromatógrafo, el cual reduce el efecto de luz dispersada en el instrumento (Cuevas, 1995). En 1978 como sustituto al Dobson, fue diseñado el espectrofotómetro Brewer por el servicio del medio ambiente atmosférico de Canadá (AES). El Brewer mejora algunos inconvenientes de operación y de medición del Dobson tales como:

En los espectrofotómetros Dobson la calidad de las medidas dependen en gran parte de la habilidad del operador, debido a la falta de automatización de las observaciones del instrumento, pues se requiere la presencia activa del operador en las medidas y en los test de ajuste.

- El mantenimiento del equipo y los ajustes necesarios de sus elementos ópticos exigen una gran cantidad de tiempo.
- El Dobson presenta interferencia en las medidas de ozono con el SO_2 ya que este gas también presenta bandas de absorción en las longitudes de onda en las que mide el instrumento, por lo que el SO_2 es contabilizado como ozono. Así, en ambientes polucionados ricos en SO_2 , el Dobson sobrestima el contenido de ozono.
- Los coeficientes de absorción asociados a las longitudes de onda elegidas para el espectrofotómetro Brewer son menos dependientes de la temperatura que los asociados a las longitudes de onda utilizadas por el Dobson.

El principio de Brewer es el mismo que en el Dobson: la cantidad de ozono se calcula a partir de las medidas de la intensidad relativa de la radiación solar entre longitudes de onda en las que el ozono absorbe fuertemente y longitudes de onda donde el efecto del ozono es menor. De esta forma se evita trabajar con medidas de irradiación absoluta, siempre difíciles de calibrar en el UV. Estas longitudes se eligen de modo que sean sensibles a las variaciones de ozono y, al mismo tiempo, que al tomar la razón se cancele el efecto de los aerosoles. Al contrario del Dobson, que utiliza pares de longitudes de onda, el Brewer mide en cinco longitudes de onda simultáneamente lo cual le permite eliminar la interferencia del dióxido de azufre (SO_2). La primera de ellas $\lambda_1 = 306.6\text{nm}$ está cerca del máximo de absorción de SO_2 , mientras que para $\lambda_4 = 316.8\text{nm}$ y $\lambda_5 = 320.1\text{nm}$, la absorción es mínima (en el rango de medida del instrumento) (Brewer, 1973).

3.2. EL MÉTODO LIDAR (Light Detection And Ranging)

El mayor uso científico del LIDAR es la medida de propiedades de la atmósfera terrestre. En 1930, Synge fue el primero en proponer que se podía determinar la densidad atmosférica a partir de la detección de luz dispersada de un haz de luz proyectado a la atmósfera. Duclaux, en el mismo año, obtuvo resultados similares utilizando una fotografía de luz dispersada del haz de un reflector a una distancia de 2.4 km y a una altura de 3.4 km. En 1936, Hulbert realiza cálculos de perfiles de densidad atmosférica, al fotografiar un haz a una altitud de 28 km. En 1938, Bureau usó el primer sistema monostático para determinar la altura de las nubes usando una fuente de luz pulsada. En ese año Elterman calculó perfiles de densidad hasta una altura de 67.6 km, usando un sistema biestático. Más adelante, en 1956, Friedland y sus colaboradores reportaron el uso del primer sistema monoestático pulsado para medir la densidad atmosférica. En 1960, la invención del láser provee una nueva y potente fuente de luz para los sistemas LIDAR, de esta manera, en 1962, Smullins y Fiocco reportaron el primer uso del láser en un sistema LIDAR, al detectar luz láser dispersada desde la superficie lunar usando un láser de rubí que emitía pulsos de 0.5 J a 694nm, luego detectaron luz retrodispersada por la atmósfera usando el mismo sistema láser (Nisperuza 2010).

La mayoría de los LIDAR que determinan la concentración de especies gaseosas en la atmosfera usan técnicas DIAL. Esta técnica usa dos o más longitudes de onda para medir la diferencia en la absorción de la señal LIDAR cuando la frecuencia del láser es modificada entre una longitud de onda que es absorbida por moléculas en la atmósfera y una longitud de onda que no es absorbida. La intensidad de las dos longitudes de onda que son retrodispersadas, al instrumento DIAL, pueden ser usadas para determinar la atenuación óptica debido a las especies y así, sus concentraciones. Esta atenuación esta descrita por la ley de Beer-Lambert en la ecuación (1.0). Esta técnica ha sido exitosamente usada en medidas espacio temporales de especies como NO, H₂O, O₃, SO₂, y CH₄ en la baja atmósfera. El uso de la técnica DIAL en la atmósfera media ha sido restringida principalmente a la medida de perfiles de ozono. Típicamente, un DIAL para medir ozono estratosférico (Figura 2) usa un láser de XeCl³ que opera a 308nm para la línea "on", o longitud de onda absorbida, y el tercer armónico de un YAG⁴ a 355nm para la línea "off", o longitud de onda de referencia. (Nisperuza 2010).

3. Laser con haz monomodo. Energía de salida de 0.5mJ y una duración de 20nanosegundos

4. Un Láser YAG (acrónimo del inglés Yttrium Aluminium Garnet) es una emisión láser en medio sólido que utiliza el dopaje con neodimio de cristales de óxido de itrio y aluminio

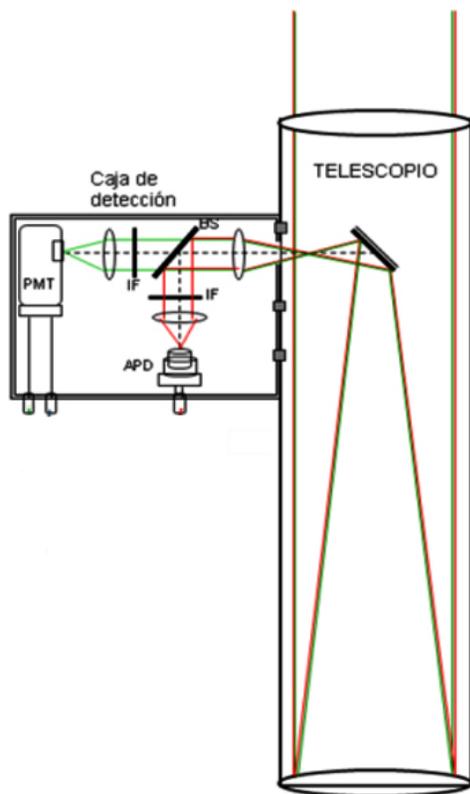


Figura 2. LIDAR de absorción diferencial (tomado de Nisperuza 2010).

3.3. Método de Quimioluminiscencia

La quimioluminiscencia es una de las técnicas utilizada para la medida en continuo de ozono en aire ambiente, y se basa en la detección de fotones producidos en la reacción exotérmica entre Etileno (C₂H₄) y Ozono (O₃).



La intensidad de la emisión de luz quimioluminiscente (350-550nm) es proporcional a la concentración de ozono de la muestra en el aire siempre que el etileno esté en exceso. Otras olefinas alifáticas dan también quimioluminiscencia con ozono, a bajas presiones (Delgado, 2004).

Los flujos regulados de aire de muestra y etileno se mezclan en la cámara de reacción donde los fotones producidos son detectados por un tubo fotomultiplicador, cuya fotocorriente de salida es luego amplificada y procesada electrónicamente. La ventaja del sistema etileno-ozono es que, a presiones cercanas a la atmosférica, la emisión quimioluminiscente que se produce es fácilmente detectable, lo que permite simplificar el sistema de captación de muestra. Este método es adecuado

para la medida de concentraciones de ozono en el rango de 0,001 a 100 ppm y la respuesta es lineal en este rango siempre que los flujos de muestra y de etileno se mantengan constantes. No existen interferencias conocidas, el tiempo de respuesta es del orden de 1 segundo y puede alcanzarse una precisión del 2% a 50 ppb de ozono (CIEMAT, 2002).

3.4. Medidores de ozono pasivos

Los captadores pasivos para la captación de gases se rigen por la Ley de Fick, la cual relaciona el flujo de un gas que difunde desde una región de alta concentración (extremo abierto del tubo), con el tiempo de exposición y el área del captador, que está expuesto al contaminante.

$$F = D \frac{[X]}{L}, \quad (3,0)$$

Siendo,

F Flujo del contaminante X, en moles por centímetro cuadrado y minutos ($\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$)

D Coeficiente de difusión del gas, en centímetro cuadrado por minutos (cm^2/min)

$[X]$ Concentración ambiente del contaminante X, en moles por centímetro cúbico (mol/cm^3)

L Longitud de la zona de difusión, en centímetros (cm)

En el difusor pasivo existe un volumen de aire donde se produce un gradiente de concentraciones desde la parte externa del volumen en contacto con el ambiente exterior y con una concentración ambiental, hasta la parte interna, donde se encuentra el agente absorbente, y que tiene una concentración nula de dicho contaminante a determinar. Este gradiente de concentraciones producido es la fuerza que mueve al contaminante por difusión a través del captador hasta llegar al absorbente.

Para determinar la concentración del contaminante se tiene que:

$$Q = F * a * t = D * \frac{[X]}{L} * a * t \quad (3,1)$$

Como

$$S = \frac{D * a}{L} \Rightarrow Q = S * [X] * t \quad (3,2)$$

Despejado

$$[X] = \frac{Q}{S * t} \quad (3,3)$$

Por lo tanto, conociendo el coeficiente de captación (S) del captador pasivo, la cantidad de gas en moles que ha difundido a través del captador (Q) y el tiempo que ha estado expuesto (t) se conocerá la concentración ambiental del contaminante X $[X]$ en el aire durante el periodo de muestreo (Delgado, 2004).

En 1991 desarrollan en la Universidad de Harvard, el captador pasivo para ozono "Ogawa", basado en la impregnación de los filtros captadores con una solución de iones Nitrito que al reaccionar con ozono se oxidan a ión Nitrato. La cantidad de ozono se obtiene al medir por cromatografía iónica el volumen de iones Nitrato (Liu *et al.*, 1993). El captador pasivo Ogawa (Figura 3) consta de un cuerpo polimérico cilíndrico (de 2 cm de diámetro x 3cm de longitud) y un broche dentado (4 x 3 cm). Tiene dos cavidades en los extremos del cilindro, cada una de las cuales custodia entre dos rejillas de acero inoxidable un filtro impregnado. Las cápsulas de difusión cubren y fijan los filtros y las rejillas (Delgado, 2004)

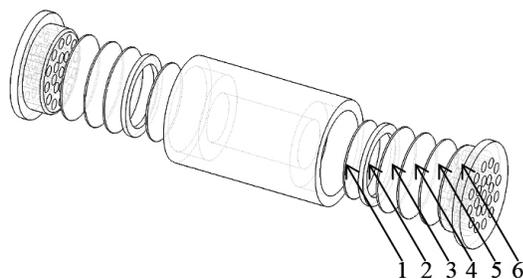


Figura 3. Componentes del captador pasivo Ogawa (tomado de Delgado 2004).

- 1- Almohadilla sólida.
- 2- Anillo de retención de la almohadilla.
- 3- protector inoxidable.
- 4- Filtro de recolección recubierto.
- 5- protector inoxidable.
- 6- Tapa final difusora.

El método Ogawa tiene un uso ampliamente contrastado en campañas de medición del ozono troposférico en la ciudad de Toronto desde 1995, en Ciudad de México desde 1995 y en California desde 1997. El gobierno de los Estados Unidos, en el Servicio de Parques Nacionales utiliza actualmente desde el año 1994 la metodología de captadores pasivos Ogawa® para medir el ozono troposférico en una treintena de Parques Nacionales.

3.5. Fotómetros que utilizan cámara de absorción

También se basan en la ley de Beer Lambert, la luz es dirigida a través de una cámara de absorción y al final de esta se mide su intensidad mediante foto-detectores, la muestra a medir, se hace pasar por dicha cámara y se mide su absorción comparándola con una muestra que tenga cero contenido del gas a medir (ver figura 4).



Figura 4. Fotómetro con cámara de absorción (esta gráfica no se tomó de ninguna fuente, fue realizada por los autores)

Tomando nuevamente la ecuación (1.0) pero, para un sistema aislado de la atmósfera, como el de la figura 4, donde se puede seleccionar la sustancia a medir, la ecuación de Beer-Lambert quedaría entonces:

$$T = \frac{I(l)}{I_0} = e^{-\alpha cl} \tag{3.4}$$

Donde:

α = absorbancia debida únicamente a la sustancia que se encuentre en la cámara al momento de incidir la luz. Para el caso del ozono, la constante α , estaría dada por su coeficiente de absorción, que es igual a $308 \text{ cm}^{-1} \text{ atm}^{-1}$, a una longitud de onda de 255nm, 273°K y 1 Atmósfera de Presión.

c = concentración de absorbente en el medio

l = la longitud atravesada por la luz en el medio.

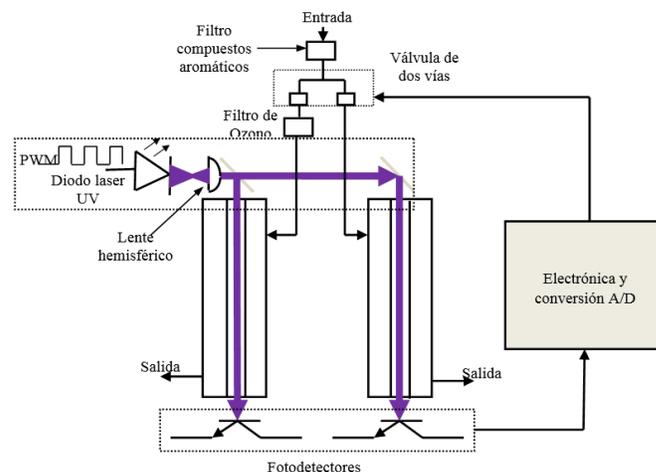
Estos fotómetros son los más comercializados en la actualidad ya que miden en el rango de los 255nm (franja de Hartley). Utilizaban como fuente de luz una lámpara de vapor de mercurio

de baja presión que genera luz en esta longitud de onda. Este método por su alta precisión ha sido aceptado por el Comité Europeo de Normalización (CEN) como el método de referencia para el análisis y calibrado de los aparatos para medición de ozono según normas UNE 77 221:2000 equivalente a ISO 13964:1998 y UNE 77 221:2000 equivalente a ISO 13964:1998.

A mediados del 2010 la empresa Japonesa **Hamamatsu (2012)** construye el diodo LED ultravioleta que genera luz por debajo de los 300nm. Esta solución tecnológica permitió el reemplazo de la ineficiente lámpara de vapor de mercurio, lográndose la construcción de medidores de ozono con precisión que ningún otro método la ha podido alcanzar (0.5 ppb). Como ejemplo del empleo del diodo Led uv en un medidor de ozono con cámara de absorción, se expone el siguiente sistema desarrollado en el 2010 para la NASA por los ingenieros Krishnan R. Parameswaran y David M. Sonnenfroh (Figura 5).

Como fuente de luz utilizan un diodo UV cuya emisión está centrada en 258,5nm. Su funcionamiento consiste en entregar un pulso de corriente de 1Khz de Frecuencia y 10 μ s de ancho de pulso al diodo UV. La señal óptica generada por el Diodo Led uv, es compactada mediante un lente hemisférico y dividida en dos haces de luz con un sistema de dos lentes simples, y dirigida a través de dos canales ópticos de 20 cm. de largo y un diámetro 1.25 cm. hacia dos fotodetectores de silicio. Uno de los canales ópticos contiene un filtro de Ozono, para tomar el nivel cero. La medición de Ozono se realiza tomando la relación de las señales detectadas por los dos fotodetectores, logran una precisión de 0.5 ppb (Parameswaran *et al.*, 2010).

Figura 5. Fotómetro construido por Krishnan Parameswaran y Sonnenfroh, 2010



CONCLUSIONES

1. Las ventajas de los medidores de ozono pasivos, se reflejan en el bajo costo de adquisición, en la sencillez de su manipulación y en la facilidad de emplazamiento; además permiten el desarrollo de estudios a largo plazo en amplias zonas de muestreo.

Como desventaja de este método se consideran que no son útiles para algunos contaminantes, solo pueden tomar medidas semanales, quincenales o mensuales, las muestras se deben transportar hasta el laboratorio para su análisis, presentan datos con incertidumbre. El límite de detección del medidor de ozono Ogawa es de 0.8 ppm en 24 horas y de 0.11 ppm en 168 horas (Delgado, 2004).

2. La técnica Lidar se ha convertido, en una herramienta importante en las ciencias atmosféricas debido a sus aplicaciones. Permite estudiar, entre otros, la capa límite planetaria, transporte a gran distancia, el aerosol estratosférico originado en erupciones volcánicas, crecimiento higroscópico de partículas de aerosol y calidad del aire (Guerrero, 2009).

Como desventaja los equipos LIDAR suelen ser extremadamente costosos, así como su mantenimiento y funcionamiento, requiriendo de personal altamente cualificado. Además, debido a la propia complejidad del sistema, no es posible realizar una calibración absoluta por lo que el

proceso de calibración debe diseñarse de modo que se pueda llevar a cabo la calibración durante el proceso de medida, usando alturas o rangos de referencia. De este modo, la señal Lidar se calibra de forma relativa en cada sesión experimental (Guerrero, 2009).

3. Hasta mediados del 2010, la técnica fotométrica de absorción en el rango del Ultravioleta, dependía exclusivamente de las lámparas de descarga de Mercurio de alto consumo, pues requieren de aproximadamente 1 kV para iniciar la descarga; además presentan degradación de su capacidad con el tiempo.

El caso de medición de ozono utilizando diodos UV como fuente de luz tiene muchas ventajas sobre las tecnologías que utilizan línea de emisión de 254 nm con lámparas de descarga de mercurio. Las atractivas características del LED-UV incluyen: (Parameswaran et al., 2010)

- Luz de baja divergencia, lo que permite la alineación y propagación a larga distancia.
- Alto brillo, lo que permite acortar la longitud del camino óptico y tener mayores tasas de medición que los sensores basados en lámparas.
- Potencia de salida estable durante largo tiempo de vida.
- Modulación de amplitud por corriente, y
- Longitud de onda estable.

Este método cuenta con algunas desventajas como la posible interferencia de compuestos carbonílicos o aromáticos que absorben en la misma región del UV y que pueden quedar retenidos al filtrar el ozono en el ciclo de referencia, aunque normalmente las concentraciones de estos compuestos en aire son mucho menores que la del ozono, además es necesario efectuar una corrección por temperatura y presión, para muestras distintas a las de referencia, (0°C y 1 atm) (Delgado, 2004).

4. La técnica de absorción UV es la técnica aceptada como método de referencia por el Comité Europeo de Normalización (CEN) para el análisis y calibrado de los aparatos de medición de ozono. En nuestro medio, los analizadores de ozono que actualmente poseen las entidades del medio ambiente como Redaire, utilizan este mismo principio y como fuente de luz usan lámpara de Mercurio de baja presión. Como alternativa a esta tecnología, se está desarrollando en los laboratorios Calaire de la Universidad Nacional sede Medellín, un medidor de ozono mediante cámara de absorción con diodo Led UV como fuente de luz. Se espera con este desarrollo reducir los altos costos de los medidores actuales, en más de un 60% y mejorar la precisión de 1 a 0.5 ppb.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andria G., Sassi M.P. Campo, A., Ribeiro, A.L, Lanzolla, A.M.L. (2007). "Air Pollution Control Measurement of Ground Level Ozone with the Photometric Method Uncertainty Analysis of the Sampling Phase". *Instrumentation and Measurement Technology*, IEEE, pp. 1-5.
- Brewer, W A. (1973). "Replacement for the Dobson Spectrophotometer", *Pure Appl Geophys*, vol 16, pp. 919-927.
- CIEMAT. (2002). *Química analítica de los Contaminantes Medioambientales*. Serie ponencias. Ed. Ciemat, Madrid, España.
- Cuevas, Emilio A. *Estudio del Comportamiento del Ozono Troposférico en el Observatorio de Izana (tenerife) y su Relación con la Dinámica Atmosférica*. Universidad computense de Madrid, España, 1995. 251p. (Tesis Doctoral)
- Delgado, Juana S. *Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos del ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea*. Universidad Jaume Castellón de la Plana. España. 2004. 563p. (Tesis doctoral)
- Empresa Fabricante de medidores de ozono 2B Thechnologies [consultado el 16 de Julio de 2013] Disponible en < <http://www.twobtech.com>>

- Guerrero, Juan L. R. *Técnica lidar para la caracterización atmosférica mediante dispersión elástica y ramán*. Centro andaluz del medio ambiente, Universidad de Granada. Granada, 2009. 433 P. (Tesis Doctoral)
- Hamamatsu, empresa Japonesa fabricante de diodos laser UV. [consultado el 14 de Mayo de 2012] Disponible en <<http://jp.hamamatsu.com/en/index.html>>.
- Parameswaran, Krishnan R, Sonnenfroh, David M. (2010). "Compact Ozone Photometer Based on UV LEDs". *Photonics Society*, IEEE pp 375-376.
- Liu, L.J.S., Koutrakis, P., Leech, J. and Broder, I.,(1995). "Assessment of Ozone Exposures in the Greater Metropolitan Toronto Area". *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 45, No. 4 (Abril) ,pp. 223-234.
- Nisperuza, Daniel T. *Diseño y construcción de un sistema óptico de monitoreo atmosférico aplicado a la determinación de la capa límite atmosférica en la ciudad de Medellín*. Medellín: Universidad Nacional, 2010. 86p. (Tesis de Maestría).
- Sensor Electronic Thecnology Inc. Empresa fabricante de diodos Laser UV [consultado el 16 de Julio de 2013] Disponible en < <http://www.s-et.com/>>.