



## TÍTULO DE PATENTE No. 417293

**Titular(es):** RODOLFO ALVARADO CERVANTES; RODOLFO ALVARADO MARTÍNEZ  
**Domicilio:** Papagayo 5, Col. Lago De Guadalupe, 54760, Cuautitlan Izcalli, Estado De México, MÉXICO; \*  
**Denominación:** MÉTODO Y APARATO PARA LA MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE OZONO MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA EN LA BANDA DE CHAPPUIS.  
**Clasificación:** **CIP:** G01J3/42; G01N21/31  
**CPC:** G01J3/42; G01N21/31  
**Inventor(es):** RODOLFO ALVARADO CERVANTES; RODOLFO ALVARADO MARTÍNEZ

### SOLICITUD

**Número:**  
MX/a/2019/010158

**Fecha de Presentación:**  
26 de agosto de 2019

**Hora:**  
15:39

**Vigencia:** Veinte años

**Fecha de Vencimiento:** 26 de agosto de 2039

**Fecha de Expedición:** 02 de octubre de 2024

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 1º, 2º fracción V, 6º fracción III, y 59 de la Ley de la Propiedad Industrial.

De conformidad con el artículo 23 de la Ley de la Propiedad Industrial, la presente patente tiene una vigencia de veinte años improrrogables, contada a partir de la fecha de presentación de la solicitud y estará sujeta al pago de la tarifa para mantener vigentes los derechos.

Quien suscribe el presente título lo hace con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5º fracción I, 9, 10 y 119 de la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º fracción V, inciso a), 4º y 12º fracciones I y III del Reglamento del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º, 4º, 5º fracción V, inciso a), 16 fracciones I y III y 30 del Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; 1º, 3º y 5º fracción I Acuerdo Delegatorio de Facultades del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

El presente documento electrónico ha sido firmado mediante el uso de la firma electrónica avanzada por el servidor público competente, amparada por un certificado digital vigente a la fecha de su elaboración, y es válido de conformidad con lo dispuesto en los artículos 7 y 9 fracción I de la Ley de Firma Electrónica Avanzada y artículo 12 de su Reglamento. Su integridad y autoría, se podrá comprobar en [www.gob.mx/imp](http://www.gob.mx/imp).

Asimismo, se emitió conforme lo previsto por los artículos 1º fracción III; 2º fracción VI; 37, 38 y 39 del Acuerdo por el que se establecen lineamientos en materia de Servicios Electrónicos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

## SUBDIRECTORA DIVISIONAL DE EXAMEN DE FONDO DE PATENTES ÁREAS MECÁNICA, ELÉCTRICA Y DE DISEÑOS INDUSTRIALES Y MODELOS DE UTILIDAD

### MARINA OLIMPIA CASTRO ALVEAR



Cadena Original:  
MARINA OLIMPIA CASTRO ALVEAR|00001000000510738631|SERVICIO DE ADMINISTRACION  
TRIBUTARIA|1987|MX/2024/98403|MX/a/2019/010158|Título de patente normal|2056|CMPC|Pág(s)  
2|uuLHCXrNvjQZZhZbEprjiHuD87M=

Sello Digital:  
bue7RHYt5Nlhp67DDX1o5QjsZhzKvjY2pMugmkkroaUpdPoBTXkxHgfGfYLSJBb6UDS6wBahxWZuhxT7GixXnc5KE  
wW6rvB4ocaZ1Ymy5nOEWm7i7Cj2bVYHhIPZKyjzF+bwbuQ8f6g7Scm01MOWUb4g0aXecGq1SAOt+xYdl0ErsST2B4c  
uUwtWrepzAepFzi1ck0Lc5cGPIYGfxdoxhoN/wlzZuG50qvFg/RzHIUSYNJzrrqxjBhLW2CwISFUUX4ErUQGnqRbnR  
n9A2ymJW3bNgT2yza+s3r2/9GbOmUHhRpgiCDK7ySNqoYdm/54JtRRWYxme4jZ2A0aNHPmMA==

\* Información adicional en la siguiente página.



MX/2024/98403



### **Continuación de Domicilios**

**Domicilio:** Papagayo 5, Col. Lago De Guadalupe, 54760, Cuautitlan Izcalli, Estado De México,  
MÉXICO



# MÉTODO Y APARATO PARA LA MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE OZONO MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA EN LA BANDA DE CHAPPUIS

## 5 ANTECEDENTES

La presente invención se refiere a un método y a un aparato como producto, para medir la concentración de ozono en una mezcla de gases, con alta resolución, mediante espectrofotometría en las longitudes de onda de mayor (602 nm) y menor absorción (400 nm) del ozono en la banda de Chappuis. La presente invención es una forma novedosa de utilizar la ley de Lambert - Beer, con detalles propios de la forma de calcular la intensidad incidente (de referencia)  $I_0$ , también es una forma novedosa de la disposición de los elementos que constituyen el aparato y la utilización adecuada de un sistema sensor óptico de alta resolución, apropiado para inhibir el ruido eléctrico y los errores de medición asociados.

En la ley de Lambert - Beer se relaciona la cantidad de una sustancia con la cantidad de luz absorbida al pasar por una muestra conteniendo a la sustancia de interés [1].

20 La cantidad de luz absorbida depende de:

- 1.- La energía de la radiación (Intensidad) y la frecuencia de la misma.
- 2.- La naturaleza de la muestra.
- 3.- El número de moléculas sobre el que la incide la radiación.

25 Estas relaciones se expresan en las siguientes ecuaciones:

$$A = -\log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) = \alpha(C)l \quad (\text{Ec. 1})$$

30

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$C = -\frac{48000}{V\alpha l} \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

- 5  $I_0$  = Intensidad incidente  
 $C$  = Concentración molar  
 $I$  = Intensidad transmitida  
 $l$  = distancia recorrida por la luz en la celda de prueba.  
 $T$  = Transmitancia
- 10  $A$  = Absorbancia  
 $\alpha$  = Coeficiente de absorción molar ( $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) en  $\lambda$  (v)  
 $V$  = Volumen a diferentes alturas (atmosferas) y temperaturas de acuerdo a la ley de los gases perfectos.
- 15 La longitud de onda de la radiación aplicada en nuestro sistema para medir la concentración de ozono a partir de su absorción es de 602 nm, que corresponde a la luz visible en la banda de Chappuis y cuyo pico de máxima absorción del ozono corresponde a 603 nm, con coeficiente de absorción  $\alpha = 0.054 \text{ cm}^{-1}$  [2].
- 20 El gas ozono tiene varios valores de absorción en las bandas de radiación UV, visible e infrarroja. La mayor absorción ocurre en el UV alrededor de 254 nm, la banda Hartley. En esta banda los espectrofotómetros para medición de ozono son comunes. En esta banda se tienen problemas para la medición de ozono en altas concentraciones debido a que la relación señal a ruido disminuye exponencialmente con el aumento lineal la
- 25 concentración [3]. En cambio al hacer mediciones de absorción en la de Chappuis no se tiene ese problema en niveles superiores a 300 mg/lit [3].
- 30 En la banda Chappuis la absorción de la radiación por el ozono es muy débil, siendo del orden de  $\alpha = 0.054 \text{ cm}^{-1}$  comparado con el de la banda de Hartley que es de  $130 \text{ cm}^{-1}$ , la diferencia es de 2600 aproximadamente en magnitud [2][3].

La facilidad de medir grandes valores de concentración de ozono parte del valor del coeficiente de absorción pequeño en esta longitud de onda y al contrario pequeños valores de concentración son difíciles de medir [2][3][4][5], sin embargo esta gran dificultad fue superada por nuestro método y dispositivo..

## ESTADO DE LA TÉCNICA

En [1] se mencionan los principios básicos de la espectrofotometría para medir concentraciones de ozono en mezclas de gases. Se utiliza el principio de absorción de luz ultravioleta del ozono en la banda de Hartley. Se mencionan las principales fuentes de errores en los sistemas de medición basados en este principio y algunos consejos para evitarlos.

Los sistemas y dispositivos que se pueden producir con el método presentado en esta solicitud de patente, minimizan varias de estas fuentes tradicionales de errores tales como: 1) Error de acumulación de polvo o suciedad en el sistema óptico. A diferencia del diseño de [1] y [3] la acumulación de polvo no acumula un error de medición debido a que se utiliza la misma trayectoria de medición para la lectura y cálculo de la intensidad incidente y la intensidad transmitida (medición de  $I_0$  e  $I$ ) y al afectar tanto a la señal con longitud de onda que es sensible al ozono (600 nm) como a la señal que es insensible al ozono (400 nm) que se usa para calcular la intensidad incidente  $I_0$ . 2) Se minimizan los errores de offset al utilizar un solo sensor sensible a un ancho de banda para recibir la señal. 3) Al tomar en cuenta el coeficiente de absorción en la longitud de onda de menor absorción (400 nm) en el cálculo de la intensidad incidente  $I_0$ , nuestro método minimiza el error de luz extraviada (stray light) debido a que solo hay dos tipos de luz que llegan al sensor y se conocen los coeficientes de absorción en ambas frecuencias [1].

En [2] se hace un estudio preciso del espectro de absorción del ozono en la región visible entre los 350 a 830 nm correspondiendo a la Banda de Chappuis. Se calcularon los coeficientes de absorción con gran precisión y sirven de referencia para obtener el



coeficiente en la longitud de onda de mínima absorción (380 a 420 nm) para el cálculo de la intensidad incidente  $I_0$  en el método propuesto en la presente solicitud de patente.

5 En [3] se presenta la patente de un método y forma de generar un aparato para la medición de gases en mezcla y de ozono en particular. En el caso de la medición del ozono se utiliza la banda de Chappuis en su punto de máxima absorción (longitud de onda de 603 nm) y en otra frecuencia infrarroja (longitud de onda de 830 nm) donde se tiene una absorción menor. Los autores argumentan que con su método crean un sistema de medición “ultra estable” aunque no dan prueba de ello. La manera en que se utiliza la información obtenida de la medición de absorción en las 2 frecuencias (longitud de onda de 603 nm y 830 nm) es notoriamente diferente a la presentada en nuestra solicitud de patente: En la nuestra la medición obtenida en la banda de mínima absorción (400 nm)  $I_v$  es utilizada para estimar el valor de la intensidad incidente  $I_0$  de la ley de Lambert de manera directa al multiplicarla por un factor constante  $F_c$  el cual es estimado al dividir  $I_n/I_v$  en el instante de reducción a cero (zeroing). Posteriormente este valor  $I_v$  es corregido al utilizar el coeficiente de absorción para la banda de 400 nm una vez conocida la concentración  $C$  del paso anterior y usando la Ley de Lambert para estimar  $I_{v0}$  y usarlo para calcular  $I_0$  en el nuevo paso. De esta manera no se necesita medir señales que no pasen por la celda de prueba. En cambio en la patente [3] se necesitan dos señales (una pasando y otra no pasando por la celda de prueba) de la frecuencia de mínima absorción (830 nm) para obtener sus “compensaciones de variabilidad relativa” a cambios en el sistema óptico (por suciedad u otros) en tiempo de reducción a cero (zeroing) o en tiempo de medición. Su método hace imprescindible el tener mediciones de referencia por un camino que no pase por la celda de prueba para estimar la intensidad incidente  $I_0$ , con todos los problemas y errores en la medición que de esto deriva como sensores separados, sistemas ópticos, fuentes de ruido adicionales, etc., a diferencia del aquí presentado que hace todas las mediciones necesarias por las dos frecuencias (con longitud de onda de 602 y 400 nm) que pasan por la celda de prueba y que simplifica el problema y su configuración física. Otra de las diferencias notables es que no utilizan colimador para concentrar los haces de luz que pasan por la celda de prueba como en nuestro diseño, entre otras.

10

15

20

25

30



En [4] se investigó la medición de concentración de ozono basada en fotoabsorción visible en la banda de Chappuis. Lograron mediante este método la correcta medición de concentraciones que van de 7.3 a 70.4 gr/m<sup>3</sup> (mg/lit) con precisión de alrededor de 2 mg/lit, utilizando una celda de prueba lineal de 50 cm de longitud en sus experimentos. A diferencia de nuestro método, ellos obtienen la intensidad incidente (valor de referencia)  $I_0$  a partir de la medición de la muestra sin gas y sin utilizar otra frecuencia más que la generada por un led naranja con longitud de onda de 609 nm. Esto provoca (al contrario de nuestro método) que la medición de luz de referencia se pueda desplazar de su valor real por diferentes motivos (circuitos electrónicos o variabilidad de las propiedades ópticas) durante el tiempo de medición originando errores de offset que nuestro método reduce al constantemente medir el valor de absorción en una frecuencia que tiene mínimo valor del coeficiente de absorción (400 nm) y obtener el valor de referencia  $I_0$  de ahí. Otra de las diferencias notables es que no utilizan colimador para concentrar los haces de luz hacia el sensor. Con las mejoras presentadas en esta solicitud de patente pudimos incrementar la precisión de medición de 0.3 a 200 mg/lit con resolución de 0.15 mg/lit con una celda de prueba lineal de solo 10 cm, esto sin usar métodos estadísticos que pudieran incrementar la precisión de nuestros resultados.

En [5] se investigó el uso de fibras ópticas para la medición de ozono basado en espectrofotometría en las bandas de Hartley (UV a 254 nm) y de Chappuis (a 600 nm). Para esto se usó como fuente de iluminación y radiación una lámpara de amplio espectro electromagnético y un espectrómetro de alta resolución para medir la absorción a diferentes frecuencias. La intensidad incidente  $I_0$  se obtiene a partir de mediciones en una frecuencia donde la absorción es mínima tanto para la banda de Hartley y la de Chappuis: 400 nm.

En este trabajo no se toman en cuenta los errores de medición en la banda de Chappuis al despreciar la absorción de la señal en 400 nm y considerarla cero. Por esta razón se generan errores de medición que aumentan exponencialmente al incrementar la concentración y que muestran en sus gráficas. Este error llega al 15% al medir 120 mg/lit [5]. Este tipo de error no existe en nuestro método debido a que se toma en cuenta la



absorción en la banda de 400 nm y se recalcula la intensidad incidente  $I_0$  con esta información. De esta manera ellos solo obtienen mediciones con saltos de 27 mg/lit al inicio y 10 mg/lit al final del rango de medición de 27 a 138 mg/lit con errores del 15% aproximadamente, mientras nosotros logramos 0.3 a 200 mg/lit con precisión de 0.15 mg/lit con una celda de prueba lineal de solo 10 cm sin los errores de medición que tienen.

En [6] se presenta una celda de absorción óptica multipaso que se basa en una cavidad esférica. Se detectaron concentraciones de ozono en la región visible a 603 nm, en la banda Chappuis. La cavidad esférica tiene la ventaja de reflejar internamente los fotones haciendo que pasen varias veces en promedio por el gas conteniendo al ozono y de esta manera tener un comportamiento como si la distancia recorrida fuera varias veces el diámetro de la esfera. Los resultados muestran detección de ozono pero la distancia equivalente del camino recorrido por los fotones varía de manera notoria de un equivalente de 70 cm a 50 cm al incrementar la concentración del ozono. Esto hace que no se puedan tener mediciones precisas en altas concentraciones de ozono debido al error inducido al cambiar este importante parámetro de la Ley de Lambert. En cambio nuestro sistema adolece de este problema permitiendo tener alta precisión en todo el rango de medición.

Existen otros métodos publicados de medición de ozono que miden el ozono presente en la atmosfera [7][10][11] o que hacen uso de principios diferentes a nuestro método y no afectan a la presente solicitud de patente, tales como uso de núcleo metálico de película delgada con nano islas [8], medición de ozono con sensor de gas Pd-InP pseudo-schottky [9], entre otros.



## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Lo anterior, así como los objetivos, características y ventajas de la presente invención, se comprenderán mejor con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se utilizan los mismos números de referencia para elementos similares, en los que:

La figura 1 representa un diagrama esquemático de la disposición de los elementos para obtener un aparato medidor de concentración de ozono de acuerdo a nuestro diseño. Las partes que lo componen son:

1 y 2 son los emisores de radiación incidente y de referencia.

3.- es el colimador.

4.- es el sensor único para para medir la radiación de 1 y 2.

5.- es la celda de prueba de largo  $l$

6.- son las entradas y salidas del ozono a medir.

7.- Procesador de datos

8.- Display y/o puertos digitales de salida como USB, Bluetooth entre otros posibles.

9.- Sensores electrónicos de presión y temperatura

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

### DETALLES CARACTERÍSTICOS

La presente invención se basa en que es ventajoso el medir la concentración de ozono presente en una mezcla de gases a partir de espectrofotometría en las longitudes de onda de mayor (602 nm) y menor absorción (400 nm) del ozono en la banda de Chappuis mediante nuestro novedoso aparato y método. Además, la presente invención se basa en que es ventajoso el tener una novedosa disposición geométrica adecuada de los elementos emisores de luz, la celda de prueba, el colimador de luz y el sensor fotométrico, entre otros que permitan hacer mediciones precisas de espectrofotometría de la luz que pasa por la muestra de la mezcla de gases en longitudes de onda de mayor

(602 nm) y menor absorción (400 nm) del ozono y no necesite de mediciones a través de algún camino óptico alternativo a la celda de prueba (fibra óptica u otro) para obtener el valor de la intensidad incidente  $I_0$  a ser aplicado a la Ley de Lambert, de esta manera se simplifica el diseño mecánico y óptico del dispositivo. La presente invención comprende tanto el aparato como el método usado dentro del aparato para hacer los cálculos por lo que están muy relacionados entre sí. En el diseño del dispositivo de la invención se basa en que es ventajoso el tener un solo sensor fotométrico de amplio espectro para medir las dos señales de luz recibidas a través de la muestra de la mezcla de gases, de manera alterna por un mismo camino y no necesite de esta manera ningún otro sensor adicional que pudiera incrementar la fuente de errores en la medición [1].

Los detalles característicos de nuestro novedoso aparato y método de calcular la concentración de ozono presente en una mezcla de gases se describe a continuación:

Primero se detalla el método como un primer aspecto de la invención y a continuación se detalla el aparato como un segundo aspecto que utiliza al método del primer aspecto para poder calcular la medición. Tanto el aparato como el método son los objetos que se quieren proteger en esta patente.

De acuerdo con un primer aspecto y en forma resumida, la presente invención comprende un método para calcular la concentración de ozono presente en una mezcla de gases a partir de espectrofotometría en las frecuencias de mayor y menor absorción del ozono en la banda de Chappuis (longitudes de onda de 602 y 400 nm respectivamente), comprendiendo el método las etapas de: (Ver como referencia figura 1 y el aparato descrito en el segundo aspecto)

- 1) Obtener los valores fotométricos de la luz que cruza la muestra en cada una de las 2 frecuencias:  $I_v$  con longitud de onda de 400 nm e  $I_n$  con longitud de onda de 602 nm. Mediante el seguimiento de los siguientes pasos:



- 5
- a) Apagar ambos leds emisores (400 y 602nm) y esperar un tiempo  $t_s$  de estabilización de los datos antes de la medición por parte del sensor. Este tiempo  $t_s$  es al menos 2 veces el valor de integración y digitalización del sensor de las señales recibidas para asegurar que el valor leído sea confiable.
- b) Leer el valor del sensor  $I_s$ , si este valor es mayor o igual a un umbral de confiabilidad  $h$  de completa oscuridad, se produce un error y no se prosigue.
- 10
- c) Encender el led de 400 nm y esperar el tiempo estabilización e integración de los datos  $t_s$ .
- d) Leer el valor del sensor  $I_s$  y asignarlo a  $I_v$  ( $I_v = I_s$ ).
- e) Apagar el led de 400 nm y encender el led de 600 nm.
- f) Esperar un tiempo  $t_s$  de estabilización e integración de los datos de medición del sensor.
- 15
- g) Leer el valor del sensor  $I_s$  y asignarlo a  $I_n$  ( $I_n = I_s$ ).

Los valores  $I_v$   $I_n$  corresponden a los valores fotométricos medidos en las frecuencias de menor absorción (400 nm) y de mayor absorción (602 nm) respectivamente.

- 20
- 2) Inicializar la concentración en tiempo de reducción a cero (zeroing)  $C = 0$ ; Esto se hace calculando el factor de conversión entre las frecuencias:  $F_c = I_n / I_v$  dividiendo los valores fotométricos obtenidos ( $I_n$ ,  $I_v$ ) en el paso previo. Este factor de conversión sirve para calcular el valor de la intensidad incidente  $I_0$  en cada ciclo de cálculo de las ecuaciones (1), (2) y (3).
- 25
- 3) Obtener los valores de la luz que cruza la muestra de gases en cada una de las 2 frecuencias:  $I_v$  con longitud de onda de 400 nm e  $I_n$  con longitud de onda de 602 nm. Siguiendo los pasos del inciso a) al g) previamente establecidos en el paso 1)
- 30
- 4) Obtener los valores de la presión atmosférica local  $P$  y la temperatura de la muestra  $t$  (en grados K) de los sensores de presión y temperatura (sección 9 del aparato y figura 1).



- 5) Calcular el valor  $I_{0v} = I_v * I_0^{(A_v * C * l * f(t,P))}$ . Donde  $A_v$  es el valor del coeficiente de absorción del ozono a la frecuencia de menor absorción con longitud de onda de 400 nm ( $\alpha = 0.012 \text{ cm}^{-1}$  aprox),  $C$  es la concentración calculada o inicializada,  $l$  es la distancia de la celda de prueba y  $f(t,P)$  es un factor de corrección que depende de la presión y la temperatura de la muestra. El valor calculado  $I_{0v}$  corresponde a la radiación incidente en la frecuencia de menor absorción del ozono.
- 6) Calcular el valor de la intensidad incidente  $I_0 = F_c * I_{0v}$ . Siendo  $F_c$  el factor de conversión entre frecuencias calculado en el paso 2 y  $I_{0v}$  el calculado en el paso 5.
- 7) Calcular la concentración actualizada  $C$  a través de la ecuación (3) de la ley de Lambert-Beer y los valores calculados y leídos de  $I_0$ ,  $I_n$ ,  $P(\text{presión})$ ,  $t$  (*temperatura*). La longitud de la celda de prueba es  $l$ , el coeficiente de absorción es  $\alpha = 0.054 \text{ cm}^{-1}$ .
- 8) Desplegar en pantalla el valor calculado de la concentración  $C$ . Este valor también puede ser transmitido por cualquier tipo de puerto de salida/entrada como puertos USB, Wifi, Bluetooth, transmisión modulada de radiofrecuencias, o algún otro medio digital.
- 9) Tomar acciones en su caso, tales como encender/apagar alarmas, interruptores de control, u alguna acción de control.
- 10) En caso que se desee inicializar la concentración (zeroing) en tiempo de reducción a cero ir al paso 2)
- 11) Regresar al paso 3)

25

De acuerdo con un segundo aspecto y en forma resumida, la presente invención comprende el diseño de un aparato para medir ozono en una mezcla de gases a partir de espectrofotometría en las longitudes de onda de mayor (602 nm) y menor absorción (400 nm) del ozono en la banda de Chappuis. Este aparato utiliza el método expuesto en el primer aspecto.

30



Dicho aparato cuenta con los siguientes elementos: (Ver la figura 1 como referencia)

1. y 2. Emisores de radiación electromagnética. Los emisores de radiación electromagnética (1 y 2) son diodos emisores de luz (leds) a la longitud de onda adecuada: 602 nm para máxima absorción y 400 nm para mínima absorción del ozono en la banda de Chappuis.  
5
3. Colimador óptico. Consiste en un lente cóncavo en ambas caras que sirve para concentrar los rayos paralelos que cruzan la celda de prueba con el gas a medir. Los rayos se concentran en el foco del lente a una distancia focal  $df_c$  del lente. En este punto es donde se coloca el sensor óptico.  
10
4. Sensor óptico de amplio espectro. El sensor es el mismo para la cuantificación de las dos radiaciones con frecuencias diferentes siendo este de muy alta resolución y con gran blindaje contra el ruido eléctrico.  
15
5. Celda de prueba. Es la parte del dispositivo que contiene la mezcla de gases . La longitud de la celda de prueba es  $l$ .
6. Entradas y salidas de ozono.  
20
7. Procesador de datos. Las señales de salida del sensor óptico (4) son digitalizadas y recogidas por una microcomputadora, en conjunto con la información de presión atmosférica y temperatura (en grados K) del sensor (9) la cual calcula la concentración a partir de esta información con la ecuación 1.  
25
8. Display y puertos de entrada y salida de datos. La concentración puede mostrarse en el display en forma de mg/lt, ug/cc o PPM.
9. Sensores de presión y temperatura. Estos sensores sirven para conocer la temperatura y presión atmosférica del lugar donde se está haciendo la medición y de  
30



esta manera corregir los valores de concentración de acuerdo a la ley de Lambert-Beer. Este factor es muy importante porque puede afectar el valor de la medición de manera considerable.

5

La disposición de los elementos que conforman el medidor de ozono es conforme a la figura 1 Basándonos en la figura 1, la relación que guardan los elementos 1 al 9 entre sí y que en su conjunto forman al aparato es la disposición y la forma en que están conectados:

10

a) La disposición de los elementos 1, 2, 3, 4 y 6 conforman la celda de medición 5 con entrada y salida de la mezcla de gases 6. La luz procedente de los elementos 1 y 2 atraviesan el espacio de la celda de medición 5 al igual que al lente colimador 3, que debe de colocarse a una distancia focal  $d_{fc}$  tal que el sensor 4 esté en el foco del colimador 3. Los elementos 1 y 2 deben de colocarse lo más cerca posible entre sí para que la luz radiada por ambos elementos incidan en el mismo sensor único 4 en un solo punto.

15

b) La forma en que están conectados los elementos 1, 2, 4, 7, 8 y 9, en la figura 1 se muestra como están conectados los sensores de temperatura y presión (9) con el procesador de datos o microcomputadora (7) y este con los emisores de luz (1 y 2), y con el sensor único 4 para medir la radiación procedente de 1 y 2; el display y/o puertos digitales (8) muestra la información calculada por el procesador de datos (7).

20

Sin considerar la relación que guardan estos elementos en su disposición y en la forma en que están conectados no se podría llevar a cabo la operación exitosa del aparato.

25

Las señales de salida del sensor óptico (4) son digitalizadas y recogidas por la microcomputadora (7), en conjunto con la información de la presión atmosférica local y temperatura (en grados K) de los sensores (9). Se calcula la concentración a partir de esta información con la ecuación (1). La concentración puede mostrarse en el display (8)

30

en forma de mg/lt, ug/cc o PPM o enviarse por algún medio o puerto de salida, tales como USB, Bluetooth o Wifi u otros. Ver como referencia la figura 1.

5 La resolución que tiene hace posible detectar cambios de 0.15 ug/cc sin el uso de técnicas de procesamiento de datos (por ejemplo técnicas estadísticas) que podrían mejorar esta resolución de manera notable.

10 El experto en la técnica da por entendido de que la presente invención no se limita en modo alguno a las implementaciones preferidas y descritas. Por el contrario, son posibles muchas modificaciones y variaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

## Referencias

- 15 1. Christopher R, *Accuracy of High Concentration Ozone Photometry*, IOA IUVA World Congress & Exhibition, Paris, France – May 23-27 , 12 p., 2011
2. Brion J, Chakir A, Charbonnier J, Daumont D, Parisse C and Malicet J, *Absorption Spectra Measurements for the Ozone Molecule in the 350–830 nm Region* Journal of Atmospheric Chemistry 30: 291–299, 1998. © 1998 Kluwer Academic Publishers. Netherland, 1998
- 20 3. Dosoretz VJ, Mazor B, Keller S, Behr D, *Multiwavelength Based Ozone Measurement Method and Apparatus*, US Patent, Número de la solicitud: 08953157 , Número de concesión: 6010665, Fecha de solicitud: 17-10-1997, Fecha de concesión: 04-01-2000
- 25 4. Teranishi K, Shimomura N, and Itoh H, *Measurement of Ozone Concentration Based on Visible Photo Absorption Method*, 30<sup>th</sup> International Conference on Phenomena in Ionized Gases (ICPIG), August 28th - September 2nd, Belfast, UK, 2011
5. O’Keeffe S, Dooly G, Fitzpatrick C, Lewis E, *Optical Fibre Sensor for The Measurement of Ozone*, Journal of Physics: Conference Series 15 (2005) 213–218 Sensors & their Applications XIII · August 2005, DOI: 10.1088/1742-6596/15/1/036
- 30 6. Hawe E, Fitzpatrick C, Chambers P and Lewis E, *Ozone detection using an integrating sphere as an optical absorption cell*, Journal of Physics: Conference Series 76 (2007) 012041, Sensors and their Applications XIV (SENSORS07), IOP Publishing 2007, doi:10.1088/1742-6596/76/1/012041
7. Danielsson HR, Wester U, and Persson, BRR, *Test of an empirical method for ozone detection in the stratosphere using two filtered broadband UVmeters*, Acta Scientiarum Lundensia, Vol. 2013-004, pp. 1-20, ISSN: 1651-5013, 2013
- 35 8. Addankia S, Nedumarab D, *Fabrication and characterization of optical sensors using metallic core-shell thin film nanoislands for ozone detection*, Optics Communications 394 (2017) 62–68, Elsevier 2017

9. Mazet L, Varenne C, Brunet J, Pauly A, Wierzbowska K, et al. *An original methodology of measurements for ozone detection in a mix (O<sub>3</sub>,NO<sub>2</sub>) with pseudo-schottky Pd-InP gas sensor*, Eurosensors XIX, 2005
- 5 10. Balatsko L, Dziomin V, Krasouski A, Liudchik A and Pakatashkin V, *Multi-wave differential optical absorption spectroscopy surface ozone measurement with open path meters*, Advances in Measurement Systems Cap. 22, pp 537-560
- 10 11. Wang C, Becker RW, Kappeler O, Cimalla V, Matthes M, Mundhenke J, *Stratospheric Ozone Detection Using a Photon Stimulated Ozone Sensor Based on Indium Oxide Nanoparticles*, Journal of Environmental Protection, 2011, 2, 1108-1112  
doi:10.4236/jep.2011.28128 Published Online October 2011  
(<http://www.scirp.org/journal/jep>)
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35



## REIVINDICACIONES

Habiendo descrito suficientemente nuestro método y aparato, los consideramos como una novedad y por lo tanto reclamamos como de nuestra exclusiva propiedad lo contenido en las siguientes cláusulas:

1. Un aparato para calcular y/o medir la concentración de ozono en una mezcla de gases que utiliza espectrofotometría en frecuencias de mayor (602 nm) y menor absorción (400) del ozono en la banda de Chappuis, caracterizado por las siguientes partes para su funcionamiento:

Leds emisores de radiación electromagnética (1) y (2) a la longitud de onda adecuada de menor (400 nm) y mayor (602 nm) absorción del ozono,

Colimador óptico (3). Consistente en un lente cóncavo en ambas caras que sirve para concentrar los rayos paralelos que cruzan la celda de prueba con el gas a medir,

Sensor óptico de amplio espectro (4). El sensor es el mismo para la cuantificación de las dos radiaciones con frecuencias diferentes que atraviesan la celda de prueba,

Celda de prueba, contiene la mezcla de gases a medir, por ella pasa la radiación electromagnética; la luz procedente de los elementos (1) y (2) atraviesan el espacio de la celda de medición (5) al igual que al lente colimador (3), que debe de colocarse a una distancia focal  $d_{fc}$  tal que el sensor (4) esté en el foco del colimador (3); los elementos (1) y (2) deben de colocarse lo más cerca posible entre sí para que la luz radiada por ambos elementos incidan en el mismo sensor único (4) en un solo punto,

Entradas y salidas de la mezcla de gases (6) conectados a la celda de medición (5),

Procesador de datos o microcomputadora (7) está conectado con los emisores de luz (1 y 2), y con el sensor único (4) para medir la radiación procedente de (1) y (2),

Display y puertos digitales (8) muestran la información calculada por el procesador de datos (7),

5 Sensores electrónicos de temperatura y presión (9) para corregir los valores de concentración de acuerdo a la ley de Lambert-Beer; dichos sensores electrónicos (9) están conectados al procesador de datos o microcomputadora (7).

10 2. Un aparato en conformidad con la reivindicación 1 caracterizado por que la fuente de iluminación electromagnética sean lasers en frecuencias de mayor y menor absorción del ozono en la banda de Chappuis.

15 3. Un método para calcular la concentración de ozono presente en una mezcla de gases que está caracterizado por, utilizar espectrofotometría en la banda de Chappuis, donde la frecuencia de mayor absorción del ozono es de longitud de onda de 602 nm y la de menor absorción del ozono es de 400 nm, y por constar de los siguientes pasos:

20 a) Obtener los valores fotométricos de cada una de las 2 frecuencias:  $I_v$  con longitud de onda de 400 nm e  $I_n$  con longitud de onda de 602 nm. Siguiendo los siguientes pasos:

25 i. Apagar ambos leds emisores (1) y (2) y esperar un tiempo  $t_s$  de estabilización de los datos de medición del sensor óptico de amplio espectro. Este tiempo  $t_s$  es al menos 2 veces el valor de integración y digitalización del sensor de las señales recibidas para asegurar que el valor leído sea confiable.

ii. Leer el valor del sensor  $I_s$ , si este valor es mayor o igual a un umbral de confiabilidad  $h$  de completa oscuridad, se produce un error y no se prosigue.

30 iii. Encender el led de 400 nm (1) y esperar un tiempo  $t_s$ .

iv. Leer el valor del sensor  $I_s$  y asignarlo a  $I_v$  ( $I_v = I_s$ ).

- v. Apagar el led de 400 nm (1) y encender el led de 600 nm (2).
- vi. Esperar un tiempo  $t_s$  de estabilización de los datos de medición del sensor
- vii. Leer el valor del sensor  $I_s$  y asignarlo a  $I_n$  ( $I_n = I_s$ ).

5

- b) Inicializar la concentración en tiempo de reducción a cero (zeroing)  $C = 0$ ; por medio del procesador de datos (7) se calcula el factor de conversión entre las frecuencias:  $F_c = I_n/I_v$ .
- c) Obtener los valores fotométricos de cada una de las 2 frecuencias
- d) Obtener los valores de la presión atmosférica local P y la temperatura local (en grados K). Estos valores se obtienen del sensor de datos ambientales (9).
- e) Con el procesador de datos (7) se calcula el valor  $I_{0v} = I_v * 10(A_v * C * l * f(t,P))$  donde  $A_v$  es el valor del coeficiente la absorción del ozono a la frecuencia de menor absorción con longitud de onda de 400 nm. C es la concentración calculada o inicializada, l es la distancia de la celda de prueba, f(t,P) es un factor de corrección que depende de la presión y la temperatura de la muestra, el valor calculado  $I_{0v}$  corresponde a la radiación incidente en la frecuencia de menor absorción del ozono.
- f) Calcular con el aparato de la reivindicación 1 el valor de la intensidad incidente  $I_0 = F_c * I_{0v}$ .  $F_c$  es el factor de conversión entre frecuencias calculado en el paso b) teniendo  $I_{0v}$  calculado en el paso anterior.
- g) Calcular con el aparato de la reivindicación 1 la concentración actualizada C a través de la ecuación de la ley de Lambert-Beer,

10

15

20

25

$$C = -\frac{48000}{V \alpha l} \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

Donde:

$I_0$  = Intensidad incidente

C = Concentración molar

I = Intensidad transmitida

30

$l$  = distancia recorrida por la luz en la celda de prueba.

$\alpha$  = Coeficiente de absorción molar ( $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) en  $\lambda$  (v)

$V$  = Volumen a diferentes alturas (atmosferas) y temperaturas de acuerdo a la ley de los gases perfectos.

5

los valores calculados de  $I_0$ ,  $I_n$ ,  $P$ ,  $t$ , y la distancia  $l$  de la celda de prueba.  $\alpha = 0.054 \text{ cm}^{-1}$ .

10

15

20

25

30

## RESUMEN

5 La presente invención se refiere a un método y un aparato como producto, para calcular  
y medir la concentración de ozono presente en una mezcla de gases, con alta resolución,  
mediante espectrofotometría en las longitudes de onda de mayor (602 nm) y menor  
absorción (400 nm) del ozono en la banda de Chappuis. La presente invención es una  
forma novedosa de utilizar la ley de Lambert - Beer, con detalles propios de la forma de  
calcular la intensidad incidente  $I_0$  a partir de lecturas en frecuencias de mayor y menor  
10 absorción del ozono. Se tiene un diseño novedoso en la disposición de los elementos que  
constituyen el aparato y una forma ingeniosa de localizar de manera adecuada el  
sistema sensor de amplio espectro, con alta resolución y apropiado para inhibir el ruido  
eléctrico y los errores de medición asociados. Con estos cambios novedosos se logró  
tener una resolución de 0.15 mg/lit en el rango de 0 a 200 mg/lit sin el uso de técnicas  
15 estadísticas u otros, que pudieran mejorar estos resultados.

Hay varios campos donde es útil nuestra invención por ejemplo pero no limitado a:  
equipos de ozonoterapia, calibración de equipos de generación de ozono, medición de  
generadores industriales de ozono, laboratorios, etc.

20

1/1

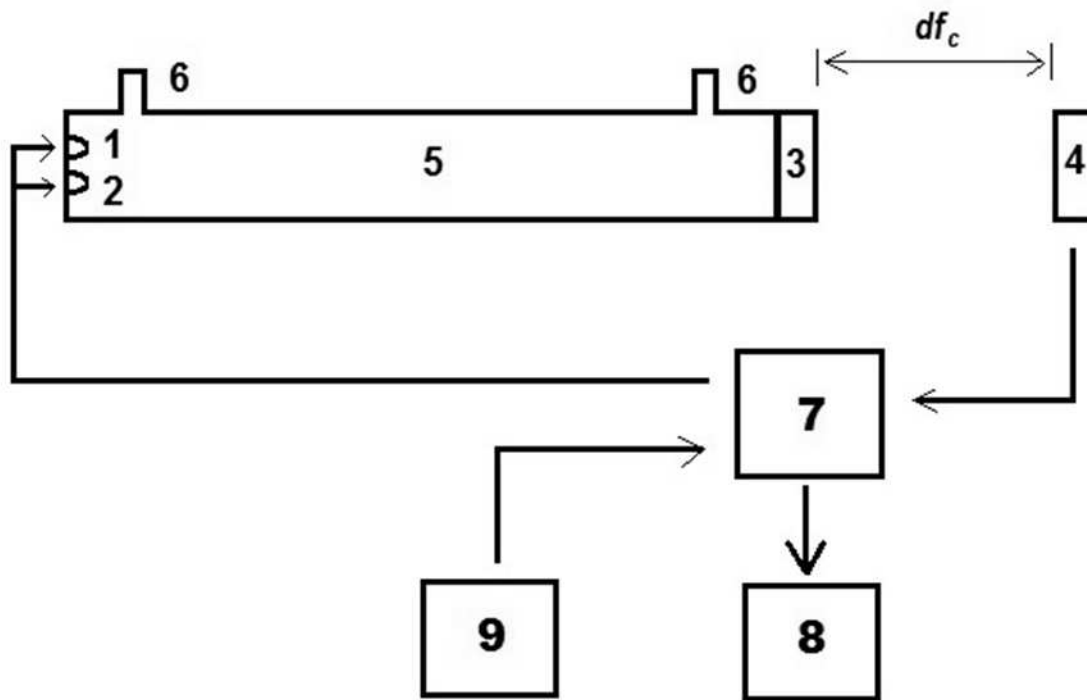


Figura 1