



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**CONFIRMACIÓN DE MÉTODOS PARA ESTACIONES
AUTOMÁTICAS DE MONITOREO DE CALIDAD DEL
AIRE DE LA EMPRESA GSA S.A.S.**

Autor(es)
Valeria Gil Cerpa

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2019



CONFIRMACIÓN DE MÉTODOS PARA ESTACIONES AUTOMÁTICAS DE
MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE LA EMPRESA GSA S.A.S.

Valeria Gil Cerpa

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniera Ambiental.

Asesores

Alexander Sierra Mondragón, Ingeniero Químico
Cristian Botero Álvarez, Ingeniero Sanitario

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2019.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| 1 INTRODUCCIÓN | 5 |
| 2 OBJETIVOS | 6 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL | 6 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 6 |
| 3 MARCO TEORICO | 6 |
| 4 METODOLOGÍA | 8 |
| 4.1 CALIBRACIÓN Y VERIFICACION | 8 |
| 4.1.1 Estación automática para medición de Óxidos de Nitrógeno (42i): | 8 |
| 4.1.2 Estación automática para medición de ozono (49i): | 8 |
| 4.1.3 Estación automática para medición de monóxido de carbono (CO12M): | 9 |
| 4.1.4 Estación automática para medición de dióxido de azufre (T102): | 9 |
| 4.1.5 Estaciones automáticas para medición de hidrocarburos totales (THC): | 9 |
| 4.2 MUESTREO EN AIRE AMBIENTE..... | 9 |
| 4.3 RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANALISIS ESTADISTICO..... | 9 |
| 5 RESULTADOS Y ANALISIS | 10 |
| 5.1 MÉTODO USEPA E-CFR TITULO 40, APÉNDICE F: FASE GAS QUIMIOLUMINISCENCIA. ÓXIDOS DE NITRÓGENO (42i)..... | 10 |
| 5.2 MÉTODO USEPA E-CFR TITULO 40, APÉNDICE D: MÉTODO QUIMIOLUMINISCENCIA. OZONO (49i)..... | 13 |
| 5.3 MÉTODO USEPA E-CFR TITULO 40, APÉNDICE C: FOTOMETRÍA INFRARROJA NO DISPERSIVA. MONÓXIDO DE CARBONO (48C) 16 | 16 |
| 5.4 MÉTODO USEPA E-CFR TITULO 40 PARTE 50 APÉNDICE A-1 (MÉTODO DE FLUORESCENCIA ULTRAVIOLETA). DIÓXIDO DE AZUFRE (T102) | 19 |
| 5.5 MÉTODO MASA 108: DETERMINACIÓN CONTINÚA DE HIDROCARBUROS TOTALES EN LA ATMOSFERA INFRARROJA NO DISPERSIVA. HIDROCARBUROS TOTALES (THC): | 21 |
| 6 CONCLUSIONES | 25 |
| 7 BIBLIOGRAFÍA | 27 |
| 8 ANEXOS | 28 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1.Sensibilidad del equipo 42i Observador 1. | 11 |
| Tabla 2.Sensibilidad del equipo 42i Observador 2. | 12 |
| Tabla 3.Resumen Estadísticos NO. | 12 |
| Tabla 4.Sensibilidad del equipo 49i Observador 1. | 14 |
| Tabla 5.Sensibilidad del equipo 49i Observador 2. | 15 |
| Tabla 6.Resumen Estadísticos O3. | 15 |
| Tabla 7.Sensibilidad del equipo 48C Observador 1..... | 17 |
| Tabla 8.Sensibilidad del equipo 48C Observador 2..... | 18 |
| Tabla 9.Resumen Estadísticos CO. | 18 |
| Tabla 10.Sensibilidad del equipo T102 Observador 1. | 20 |
| Tabla 11.Sensibilidad del equipo T102 Observador 2. | 20 |
| Tabla 12.Resumen Estadísticos SO ₂ | 21 |
| Tabla 13.Sensibilidad del equipo 9000THA Observador 1. | 23 |
| Tabla 14.Sensibilidad del equipo 9000THA Observador 2. | 23 |
| Tabla 15.Sensibilidad del equipo 9000MNHC Observador 1..... | 23 |
| Tabla 16.Sensibilidad del equipo 9000MNHC Observador 2..... | 23 |
| Tabla 17.Resumen Estadísticos THC equipo 9000THA. | 24 |
| Tabla 18.Resumen Estadísticos THCA equipo 9000MNCH. | 25 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Linealidad del equipo 42i Observador 1. | 10 |
| Figura 2. Linealidad del equipo 42i Observador 2. | 11 |
| Figura 3. Linealidad del equipo 49i Observador 1. | 13 |
| Figura 4. Linealidad del equipo 49i Observador 2. | 14 |
| Figura 5. Linealidad del equipo 48CO12M Observador 1..... | 16 |
| Figura 6. Linealidad del equipo 48CO12M Observador 2..... | 17 |
| Figura 7. Linealidad del equipo T102 Observador 1. | 19 |
| Figura 8. Linealidad del equipo T102 Observador 2. | 19 |
| Figura 9. Linealidad del equipo 9000THA Observador 1. | 22 |
| Figura 10. Linealidad del equipo 9000THA Observador 2. | 22 |
| Figura 11. Linealidad del equipo 9000MNHC Observador 1..... | 22 |
| Figura 12. Linealidad del equipo 9000MNHC Observador 2..... | 22 |

Resumen

Actualmente la contaminación atmosférica es un tema de gran relevancia a nivel global, por el deterioro y degradación que causa en el medio ambiente. Esta problemática es principalmente ocasionada por emisiones generadas mediante fuentes fijas y móviles en el medio, que hacen importante la medición de los niveles de calidad del aire en cuanto a las concentraciones de los contaminantes que se encuentran en el ambiente, para posteriormente tomar acciones correctivas y de control en la emisión de estos a través de diferentes mecanismos, como lo es principalmente la normativa vigente en calidad del aire. En la actualidad se utilizan estaciones automáticas para medir las concentraciones de los contaminantes, y estas proporcionan lecturas rápidas y confiables de los mismos; en la empresa Gestión y Servicios Ambientales S.A.S se cuenta con 6 estaciones automáticas de monitoreo para calidad del aire, cada estación automática trabaja con un método y principio de medición avalado por la Agencia de protección Ambiental (EPA).

Este trabajo se llevó a cabo con la finalidad de confirmar los métodos para las estaciones automáticas de monitoreo de calidad del aire; se realizaron entonces calibraciones multipunto a cada una de las estaciones para trazar la linealidad de los equipos y posteriormente proceder a verificar que los resultados arrojados por cada estación se encontraran dentro de este rango de linealidad; trabajando siempre en el rango de aplicabilidad (definido para demostrar la linealidad en la cual se está operando) en calidad del aire para cada contaminante, además de realizar el respectivo tratamiento y análisis de los datos que arrojan las estaciones, a través de estadísticos como el promedio, linealidad, exactitud, precisión, veracidad, sesgo y sensibilidad, también se calcularon los límites de cuantificación y detección para cada estación, logrando con esto demostrar que los resultados arrojados por cada equipo fueron precisos; y finalmente confirmar el adecuado funcionamiento de los métodos que aplica cada estación automática de monitoreo de calidad del aire en la empresa GSA S.A.S.

1 INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo los procesos y actividades de desarrollo e industrialización que se presentan en la sociedad han causado un deterioro en el medio ambiente, por lo que se genera la necesidad de establecer leyes y normas constitucionales encargadas de velar por los recursos naturales (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2016). La Constitución política de Colombia, considerada como una “Constitución verde”, decreta como una responsabilidad del Estado el cuidado y conservación del medio ambiente; conteniendo artículos en los que se consagra el medio ambiente, como el 79 y 80. A partir de esta reforma constitucional se crea mediante la Ley 99 de 1993 el Ministerio de Ambiente, el cual enfatiza en el enfoque del desarrollo sostenible y organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2016).

Por el deterioro ambiental que se presenta en la actualidad, y con la implementación de numerosas normas como el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible 1076 de 2015 y la resolución vigente en calidad del aire 2254 del 1 de noviembre de 2017, se establecen diferentes métodos con el fin de medir y monitorear los niveles de calidad del aire, para así analizar y comparar las condiciones ambientales en cuanto los niveles de emisión e inmisión permitidos en el aire (IDEAM, 2010). Anteriormente estos estudios se realizaban mediante métodos activos de absorción; y en la actualidad gracias a los avances de la tecnología se cuenta con una serie de equipos y estaciones automáticas de análisis sencillo, con medidores de lectura directa, que permiten reducir los tiempos de

entrega en los resultados de los monitoreos. Estos equipos surgen principalmente de una necesidad de entes privados y públicos de obtener mediciones de manera rápida y confiable de los niveles de calidad del aire ambiente o las condiciones ambientales (IDEAM, 2016).

Para asegurar la confiabilidad de los resultados que arrojan estas estaciones automáticas, es necesario realizar calibraciones de los equipos y validar que los resultados se encuentren dentro del rango de linealidad de cada uno (QA Handbook Vol II, 2013). La empresa Gestión y Servicios Ambientales S.A.S es líder en diagnósticos ambientales, cuenta con múltiples metodologías avaladas ante el IDEAM para los muestreos y análisis de contaminantes atmosféricos, además de softwares que permiten la elaboración de modelos de dispersión de los mismos; cuenta también con seis (6) estaciones de monitoreo automáticas para calidad del aire, por lo que se pretende realizar una calibración diaria de cada uno de los equipos y su respectiva validación, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de los mismos y la adecuada entrega de resultados que arrojan los analizadores en cuanto a los niveles de emisión o inmisión de ciertos contaminantes en la atmósfera; buscando confirmar así el adecuado funcionamiento de los métodos que utilizan dichas estaciones para medir las concentraciones de NO_x (Óxidos de Nitrógeno), CO (Monóxido de Carbono), SO₂ (Dióxido de Azufre), O₃ (Ozono), THC(Hidrocarburos totales) y TRS(Azufre total reducido). Esto se plantea con la finalidad de certificar las estaciones de monitoreo automáticas para calidad del aire ante el IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la confirmación de métodos para estaciones automáticas de monitoreo de calidad del aire en la empresa GSA S.A.S - Gestión y Servicios Ambientales.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ejecutar una revisión de la literatura para conocer los métodos por medio de los cuales trabaja cada equipo, su funcionamiento y el rango en el cual se calibran para calidad del aire.
- Realizar la calibración multipunto de cada una de las estaciones automáticas y su respectiva validación durante siete días consecutivos, además de dar seguimiento a las mediciones que arroja el equipo durante una hora cada día en el tiempo estipulado.
- Monitorear y llevar el control de los datos que arroja el equipo en los 7 días de medición durante una hora determinada, para realizar el respectivo procesamiento de los mismos con el fin de obtener información relevante como su rango lineal, sesgo, veracidad, incertidumbre, interferencia y sus límites de cuantificación y detección.

3 MARCO TEORICO

En la actualidad la contaminación atmosférica es un tema de gran relevancia a nivel mundial, ya que las concentraciones de los contaminantes que se encuentran en el medio ambiente vienen en aumento continuo por la alta actividad industrial y urbana (IDEAM, 2016). Este fenómeno tiene efectos directos sobre la salud, la continua degradación del medio ambiente, el cambio climático, entre otros. Por lo anterior se hace importante instaurar sistemas de vigilancia y control sobre la calidad del aire y todas las actividades que puedan afectarla. A partir del establecimiento de estos sistemas se ha notado un aumento progresivo en la

implementación de estaciones de monitoreo automáticas para calidad del aire desde el año 2011 (IDEAM, 2016). Estas estaciones automáticas se encargan de medir las concentraciones de los contaminantes en el medio ambiente, entre los cuales se encuentran los contaminantes criterio, que son: PM_{2,5} (Material particulado fino, su tamaño no supera los 2,5 micrómetros), PM₁₀ (Material particulado grueso, su tamaño oscila entre los 2,5 y 10 micrómetros), NO₂ (Dióxido de nitrógeno, formado por la combustión de óxidos de nitrógeno a elevadas temperaturas), SO₂ (Dióxido de azufre, se originan de la combustión de sustancias que contienen azufre), CO (Monóxido de carbono, se ocasiona mediante combustibles que poseen carbono y realizan una combustión incompleta) y O₃ (Ozono, ocasionado por reacciones fotoquímicas) (IDEAM, 2016); denominados así por tener criterios asociados en cuanto a los niveles máximos de concentraciones permisibles en el medio ambiente ya que causan efectos adversos sobre la salud. Las estaciones automáticas además se encargan de medir otros contaminantes como los Hidrocarburos totales (THC), entre otros.

La empresa Gestión y Servicios Ambientales cuenta con seis (6) estaciones automáticas de monitoreo para calidad del aire, que se encuentran en las instalaciones de la empresa y son desplazadas a campo cuando se realizan estudios de calidad del aire o niveles de inmisión de los siguientes contaminantes: NO (Óxido Nítrico), O₃, CO, SO₂ y THC. Cada uno de estos equipos se encarga de medir la concentración de un contaminante, y para estos el IDEAM avala métodos de referencia, principios de medición y procedimientos de calibración.

Para la medición de la concentración de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) en la atmósfera se utiliza el método de quimioluminiscencia en fase gaseosa (IDEAM, 2010), para la medición del NO_x se utiliza el equipo 42i que opera en un rango de 50 a 1000 ppb (Thermo Fisher Scientific Inc). La concentración de Ozono en la atmósfera se mide a partir del método de lámpara uv fotométrica, que trabaja bajo un principio de medición donde la concentración de ozono se conoce por medio de la luz que se emite en la reacción del etileno con aire ambiente (IDEAM, 2010); para la medición de este contaminante se utiliza el equipo 49i que analiza en un rango de 50 a 1000 ppb (Thermo Fisher Scientific Inc). Por otro lado, la medición de Monóxido de carbono se realiza mediante el método de fotometría infrarroja no dispersiva, en la que el principio de medición se realiza mediante un fotómetro encargado de absorber la radiación infrarroja del CO (IDEAM, 2010), para la medición del monóxido de carbono se utiliza la estación automática que trabaja en un rango de 0 a 200 ppm. La concentración de SO₂ es medida por el método de fluorescencia UV (IDEAM, 2010), mediante la estación automática T102 que trabaja en un rango de 50 ppb a 10 ppm. Para la determinación de las concentraciones de Hidrocarburos totales se utiliza el método de ionización de llama, el cual reconoce la intensidad de los iones y los cambios o incrementos que puedan presentar, el rango del equipo puede encontrarse entre 4 y 3000ppm (Methods of Air Sampling and Analysis), además la medición de las concentraciones de este contaminante se realiza por medio de los equipos 9000NMHC y 9000THA.

Para realizar la confirmación de los métodos en las estaciones automáticas definidas anteriormente se requiere ejecutar una calibración previa al equipo, es decir, comparar concentraciones de gases o patrones de referencia certificados con trazabilidad NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos), de cada contaminante con la respuesta que arroja el analizador, esto con el fin de encontrar la incertidumbre o error que presenta cada estación y realizar el ajuste respectivo para que el equipo muestre resultados acertados. En este caso utilizaremos la calibración multipunto, en la cual se calibra con el gas de referencia en el punto cero (aire cero, no hay concentración del contaminante, es decir 0 partes por millón) y en el span o full escala, el cual es el rango de aplicabilidad en el cual se trabaja para el estándar admisible de cada contaminante por la norma de calidad del aire; buscando con esto trazar la linealidad del equipo y verificar a través de múltiples puntos

intermedios que la respuesta que arroja el analizador sea correcta y se encuentre dentro del rango de calibración previo(QA Handbook Vol II).

Para llevar a cabo la calibración multipunto de algunas estaciones es necesario usar el calibrador multigas de contaminación del aire, el cual se encarga de diluir el gas a analizar, es decir lo mezcla con aire cero para disminuir la concentración del mismo con el fin de crear puntos intermedios con diferentes concentraciones, este calibrador multigases puede trabajar con NO, NOX, SO₂, CO y THC (HORIBA APMC-370). Para realizar la calibración del analizador de ozono se requiere el uso de un calibrador primario de ozono, el cual se encarga de producir niveles de ozono según sea el rango establecido, en este caso para calidad del aire (IDEAM, 2010).

Cuando los equipos van a ser utilizados en campo es recomendable realizar su respectiva calibración, para asegurar una entrega correcta de resultados en los monitores. Finalmente, estas mediciones son útiles para comparar los niveles de inmisión resultantes en los estudios con la normativa vigente de calidad del aire, en la que se establecen los niveles máximos de contaminantes permitidos en el aire (Resolución 2254, 2017).

4 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la confirmación de los métodos en estaciones automáticas de monitoreo de calidad del aire, en primera medida se realizó una revisión literaria para comprender y conocer cuáles son los métodos desarrollados de cada contaminante y el principio de calibración que los rige.

4.1 CALIBRACIÓN Y VERIFICACION

Posterior a la profundización en el tema a desarrollar, se procedió a entender y conocer el correcto funcionamiento de cada una de las estaciones automáticas, para así continuar con una calibración de dos puntos (en cero y full escala) en cada estación y con esto trazar una curva de calibración; dentro de esta curva se seleccionan múltiples puntos para verificar que la diferencia de los resultados arrojados por el analizador no superen un 2,1% a los de dicha curva.

4.1.1 Estación automática para medición de Óxidos de Nitrógeno (42i):

Esta estación automática se calibró mediante el calibrador multigases, primero se conectó el generador de aire cero al calibrador y también un cilindro que contiene una concentración de 15,1 ppm de NO y otro con 1520ppm de NO_x. Se procedió a calibrar el equipo en el punto cero y luego se calibró el full escala o span, con estos dos puntos se trazó la linealidad del equipo. Después se verificó la calibración realizada con puntos intermedios que aumentan en un 20% a partir del cero, en el caso de NO el rango lineal definido en calidad del aire es de 0 a 100 ppm y los puntos para la verificación fueron 20, 40, 60 y 80% respecto al full escala, con el fin de que estos puntos fueran aproximados a la linealidad del equipo, en caso de no ser así y los valores que arrojaba el analizador eran muy diferentes a los del calibrador, se debía repetir la calibración hasta lograr que los valores que muestre el analizador fueran precisos.

4.1.2 Estación automática para medición de ozono (49i):

Para realizar la calibración de esta estación se requirió del uso del calibrador de ozono, con el fin de generar inicialmente los puntos cero y full escala para enviar al analizador y graficar la linealidad del equipo. Luego se verificó a través de los puntos intermedios generados cada

20% a partir de cero (20, 40, 60 y 80% respecto a la full escala) la calibración de la estación automática, en el método de medición de ozono se trabaja con un rango de aplicabilidad en los niveles de concentración en calidad del aire de 0 a 100 ppm.

4.1.3 Estación automática para medición de monóxido de carbono (CO12M):

Para llevar a cabo la calibración del equipo fue necesario trabajar con el calibrador multigases, al cual se le suministró aire cero (desde el generador de aire cero) y CO de un cilindro certificado con una concentración de 10.000ppm y otro con una concentración de 3024ppm, el procedimiento para la calibración del punto cero y full escala fueron como los descritos anteriormente y también se realizó una verificación con puntos intermedios para detectar si las respuestas que arrojaba el calibrador se encontraban dentro del rango lineal del equipo analizador. Para el monóxido de carbono el rango de aplicabilidad bajo el que se trabaja es de 50 ppm, por lo tanto, los puntos de verificación van en un aumento del 20% a partir del punto cero con respecto a la full escala.

4.1.4 Estación automática para medición de dióxido de azufre (T102):

La calibración de esta estación se realizó mediante el uso del calibrador multigases, el cual se abasteció de aire cero (desde el generador) y SO₂ suministrado de un cilindro certificado que cuenta con una concentración 15,1 ppm del gas, se ejecutó la calibración de los puntos 0 y el span, y luego se procedió a verificar con los puntos intermedios que la calibración se encontrara dentro de la linealidad del equipo, en este caso los puntos también iban en un incremento del 20% a partir del punto cero y el rango lineal definido en el cual se trabaja para SO₂ es de 200 ppb.

4.1.5 Estaciones automáticas para medición de hidrocarburos totales (THC):

Se cuenta con dos estaciones encargadas de medir THC y para que estas funcionen correctamente se les suministró Hidrógeno de un cilindro certificado y aire cero desde el generador, se utilizó también el calibrador multigases para calibrar en primera instancia los puntos cero y span, en el caso de THC el rango de aplicabilidad en el que se trabaja es 50 ppm, luego se procedió a verificar con los puntos intermedios que la calibración estuviera dentro del rango de linealidad del equipo.

Cada una de las calibraciones se realizaron durante siete días consecutivos para las estaciones de monitoreo.

4.2 MUESTREO EN AIRE AMBIENTE

Una vez terminada la calibración multipunto de una estación se determinó una hora en la cual el equipo realizó el análisis del aire ambiente que se encontraba en el laboratorio instrumental, lugar donde están ubicadas las estaciones automáticas de monitoreo. Este procedimiento se repitió durante los 7 días consecutivos que se realizó la respectiva calibración de cada equipo y en el mismo horario durante cada día, además se llevó un registro de la temperatura y humedad del ambiente en el momento que el analizador se encontraba muestreando el aire en el laboratorio.

4.3 RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANALISIS ESTADISTICO.

En este punto procedimos a recolectar los datos horarios de cada uno de los siete días en los que se realizó la respectiva calibración multipunto y posteriormente el muestreo de aire ambiente en el laboratorio de instrumentación, para realizar su respectivo procesamiento estadístico, con el fin de encontrar información relevante como la linealidad del equipo, la precisión, exactitud, intervalos de confianza, sensibilidad, sesgo, límites mínimos de concentración detectados y aceptados por el equipo, veracidad y finalmente con estos datos la confirmación del método para las estaciones automáticas.

5 RESULTADOS Y ANALISIS

Los resultados obtenidos durante el proceso de confirmación de los métodos para las estaciones automáticas de calidad del aire son mostrados a continuación.

5.1 Método USEPA e-CFR Titulo 40, Apéndice F: Fase gas Quimioluminiscencia. Óxidos de Nitrógeno (42i)

Para llevar a cabo la confirmación de este método se realizó una serie de calibraciones multipunto por parte de dos observadores diferentes en distintas horas del día (para el observador 1 se realizó a las 10:00 am y para el 2 a las 02:00pm), con la finalidad de comparar los resultados arrojados por el equipo y además recolectar cierta cantidad de datos que arrojó el analizador 42i cada 30 segundos en cada uno de los puntos intermedios de la calibración. Para el caso de NO, se trabajó en un rango de aplicabilidad de 0 a 100ppb y se recolectaron 7 datos en cada uno de los puntos intermedios (generados cada 20% a partir de cero) y en el punto cero, para cada uno de los siete días en los cuales se trabajó con el equipo. Primero se describe un poco sobre la selectividad del analizador donde se encuentra que este cuenta con un filtro óptico que elimina las posibles interferencias, luego para realizar las curvas de calibración de los dos observadores se utilizó el promedio de la serie de datos de cada uno de los 7 días como se puede ver en la Figura 1 y Figura 2, en estas se aprecia que para ambos observadores el método es capaz de entregar resultados directamente proporcionales a las concentraciones que son enviadas al analizador, además para evaluar la linealidad del método se tuvo en cuenta el criterio de aceptación de la EPA (Agencia de protección ambiental) para la calibración donde cada punto experimental no debe sobrepasar 2,1% de diferencia con los puntos teóricos.

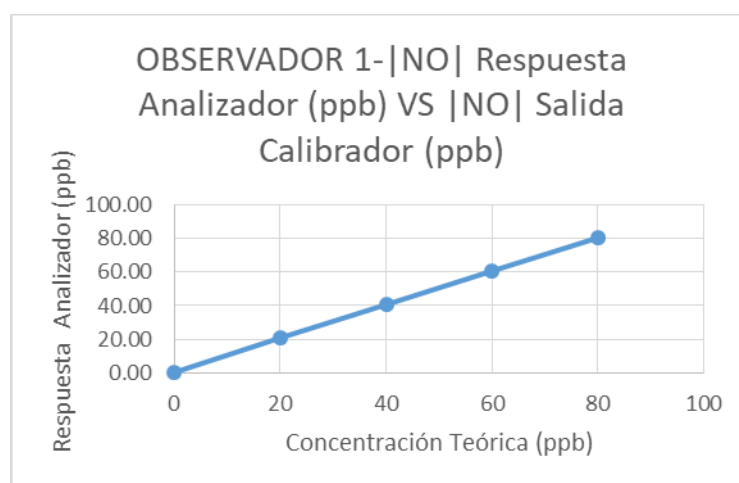


Figura 1. Linealidad del equipo 42i Observador 1.

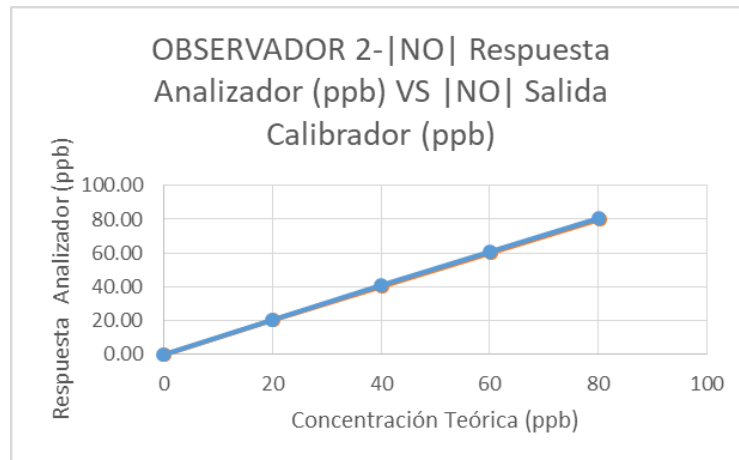


Figura 2. Linealidad del equipo 42i Observador 2.

Para el análisis estadístico respectivo de la serie de datos arrojados por el analizador se procede a realizar en cada uno de los puntos una prueba de hipótesis mediante la distribución t-student, con la finalidad de descartar los valores extraños y trabajar con los datos más representativos de la muestra. Con estos valores representativos se procede a evaluar estadísticamente la linealidad y la sensibilidad del equipo, en la Tabla 2 y Tabla 2 se puede observar que ambas pendientes son aproximadamente 1 siendo posible afirmar que el método responde positivamente y es sensible ante los cambios en las concentraciones de la muestra, también se analiza que ambos coeficientes de correlación (r) son 0,9999 (un valor cercano a 1) lo que implica que en los dos casos existe una correlación lineal con alta probabilidad entre la concentración teórica y experimental arrojada por el analizador, además el coeficiente de determinación (r^2) de los dos observadores fue de 0,9999 aportando una mayor significancia estadística a la linealidad del método por su valor tan próximo a uno.

| $y = a + bx$ | |
|--------------------------|---------|
| Pendiente (b) | 1.00443 |
| Intercepto (a) | 0.09096 |
| R2 (Coef. Determinación) | 0.99998 |
| R (Coef. correlación) | 0.99999 |

Tabla 1.Sensibilidad del equipo 42i Observador 1.

| y = a + bx | |
|--------------------------|-----------|
| Pendiente (b) | 1.001967 |
| Intercepto (a) | -0.027781 |
| R2 (Coef. Determinación) | 0.999998 |
| R (Coef. correlación) | 0.999999 |

Tabla 2.Sensibilidad del equipo 42i Observador 2.

El la Tabla 3 se observa un resumen de los estadísticos aplicados en la serie de datos para cada observador, entre los cuales se encuentra la precisión del método calculada mediante el porcentaje del coeficiente de variación que es aceptable en resultados menores al 10%, para el observador 1 fue de 5% mientras que para el observador dos fue de 3% indicando con esto, que los datos no tienen un alto grado de dispersión ya que el porcentaje del coeficiente de variación es menor al 10%, por lo tanto se puede decir que se trabajó con un conjunto de datos homogéneos y la media es un valor representativo de los mismos, además es viable concluir que las respuestas que arroja el equipo representan poca variabilidad (debida a errores aleatorios) en el método, por consiguiente este cuenta con una alta repetibilidad y al comparar los resultados de ambos observadores es posible inferir que el metodo cuenta poca variabilidad bajo dos condiciones operativas diferentes por ende tiene una alta reproducibilidad. También se calculó la exactitud del método en términos del error relativo porcentual el cual es aceptable en resultados menores al 10%, para el observador 1 fue de 3,49% y para el 2 fue de 5,75% representando con esto una alta proximidad entre el valor calculado experimentalmente y el valor teórico.

| | | | |
|--|---|-----------------|---------------------|
| Nombre del Metodo: | Método USEPA e-CFR Titulo 40, Apéndice F: Fase gas Quimioluminencia . | | |
| Rango Lineal | 0-100ppb | | |
| Parámetro | Observador A | Unidades | Observador B |
| Limite de detección | 0.1337 | ppb | 0.135386 |
| Limite de cuantificación | 0.4456 | ppb | 0.45129 |
| Precisión en terminos de %C/V | 5% | % | 3% |
| Exactitud en terminos de Error Relativo % | 3.49% | % | 5.751% |

Tabla 3.Resumen Estadísticos NO.

Mediante la desviación estándar se puede encontrar experimentalmente que el límite de detección del equipo para ambos observadores fue 0,13 ppb, indicando que el analizador 42i detecta una mínima concentración de 0,13 ppb en una muestra de óxidos de nitrógeno aunque no necesariamente se puede cuantificar experimentalmente, es decir, el límite de

detección se puede definir como un término más cualitativo mientras que el límite de cuantificación se refiere a uno más cuantitativo, para ambos observadores se puede ver en la Tabla 3 que el límite de cuantificación fue aproximadamente de 0,45 ppb, se calculó una diferencia de 1,3% entre los resultados de los observadores, indicando que esta es la mínima cantidad capaz de cuantificar experimentalmente el analizador con una precisión y exactitud adecuada, por lo tanto valores por debajo a este límite de cuantificación serán reportados con el valor del mismo.

5.2 Método USEPA e-CFR Titulo 40, Apéndice D: Método Quimioluminiscencia. Ozono (49i)

Para realizar la confirmación de este método se llevaron a cabo calibraciones durante siete días consecutivos por dos observadores diferentes en horas distintas del día (para el observador 1 a las 11:00am y para el 2 a la 01:00pm), con el fin de contrastar los resultados obtenidos en ambos casos. Se recolectaron los datos que arroja el equipo 49i cada 30 segundos en cada uno de los puntos de la verificación y para el análisis estadístico se trabajó con el promedio de cada día. En el caso del Ozono el rango de aplicabilidad fue de 0 a 100ppb; en cuanto a la selectividad se especifica que este método se basa en el coeficiente de absorción de O_3 a una longitud de onda de 254nm y cualquier componente gaseoso o partícula que absorba o disperse la luz esa longitud de onda representa una interferencia para el método. En la Figura 3 y Figura 4 se pueden ver en las curvas de calibración para ambos observadores que el método fue capaz de arrojar resultados directamente proporcionales a las distintas concentraciones enviadas al analizador, además de tener en cuenta que la diferencia entre los puntos teóricos y experimentales no sobrepase el criterio de aceptación de la EPA del 2,1%.

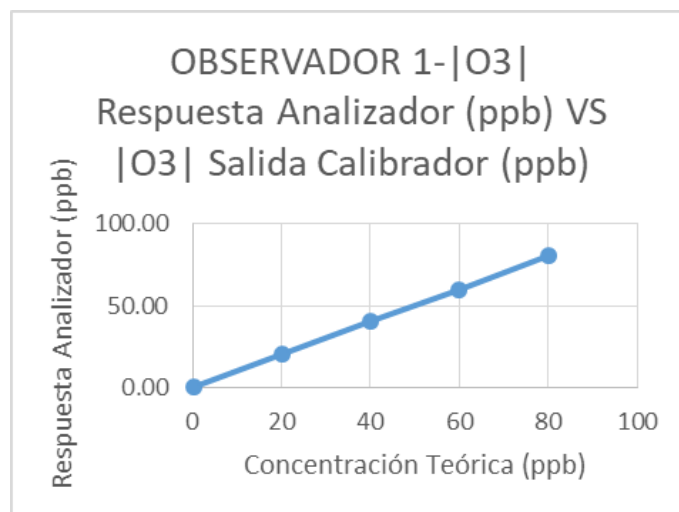


Figura 3. Linealidad del equipo 49i Observador 1.

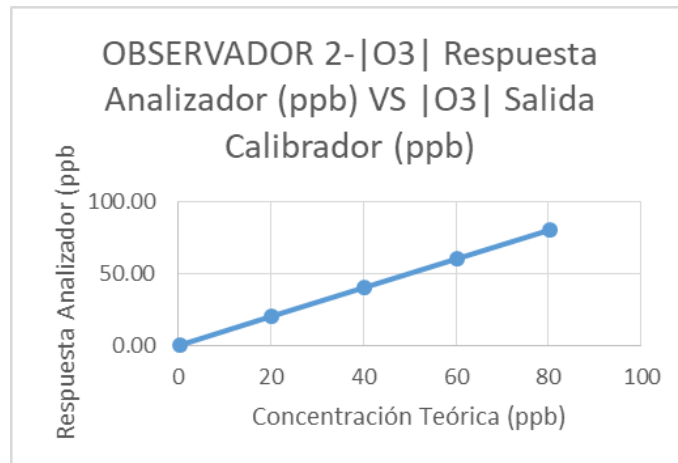


Figura 4. Linealidad del equipo 49i Observador 2.

Para realizar el análisis estadístico a la serie de datos arrojados por el equipo 49i se llevó a cabo una prueba de hipótesis mediante la distribución t-student en cada uno de los puntos, con la finalidad de rechazar los valores extraños y trabajar con los más representativos de las series de datos. En la Tabla 4 y Tabla 5 se pueden observar los resultados de los estadísticos por medio de los cuales se evaluó la linealidad y sensibilidad de los datos, para el observador 1 la pendiente fue aproximadamente 1 mientras que para el observador 2 la pendiente fue de 0,999 implicando en ambos casos que el método es sensible ante los cambios en las concentraciones de la muestra y responde de manera rápida a los mismos, se encontró que el coeficiente de determinación para los dos observadores fue de 0,9999 (aproximadamente 1) y esto permite concluir que hay una correlación lineal entre la concentración experimental arrojada por el analizador y la concentración teórica, además con un valor de 0,999 para el coeficiente de correlación en ambos observadores se puede afirmar una mayor significancia estadística a la linealidad del método.

| $y = a + bx$ | |
|---------------------------------|-----------|
| Pendiente (b) | 1.002429 |
| Intercepto (a) | -0.031456 |
| R2 (Coef. Determinación) | 0.999991 |
| R (Coef. correlación) | 0.999996 |

Tabla 4.Sensibilidad del equipo 49i Observador 1.

| y = a + bx | |
|---------------------------------|----------|
| Pendiente (b) | 0.999798 |
| Intercepto (a) | 0.046684 |
| R2 (Coef. Determinación) | 0.999994 |
| R (Coef. correlación) | 0.999997 |

Tabla 5.Sensibilidad del equipo 49i Observador 2.

En la Tabla 6 se encuentra el resumen de los estadísticos mediante los cuales se logró la confirmación de este método para cada uno de los observadores. Mediante el cálculo de la desviación estándar en el punto cero se halló experimentalmente el límite de detección para el analizador 49i, en donde para ambos observadores fue de 0,064ppb indicando que esta es la mínima concentración que puede detectar el analizador aunque no necesariamente cuantificado con exactitud y precisión, mientras que el límite de cuantificación encontrado por ambos observadores fue 0,214ppb indicando que esta es la mínima concentración que puede determinar el equipo con una exactitud y precisión adecuada, es decir, concentraciones que se encuentren por debajo del límite de cuantificación serán reportadas con el valor de este límite.

Se calculó también la precisión del método en términos del porcentaje de variación, para el observador 1 fue de 1,36% y para el 2 de 1,20% indicando una baja dispersión en los datos respecto a su media, por lo tanto es posible afirmar que el método representa poca variabilidad y una alta repetibilidad además al obtener valores tan aproximados para ambos observadores se puede concluir que bajo dos condiciones operativas diferentes el método también cuenta con una baja variabilidad y por consiguiente su reproducibilidad es alta.

| | | | |
|--|--|-----------------|---------------------|
| Nombre del Metodo: | Método USEPA e-CFR Titulo 40, Apéndice D: Metodo Quimioluminiscencia | | |
| Rango Lineal | 0-100ppb | | |
| Parámetro | Observador A | Unidades | Observador B |
| Límite de detección | 0.0643 | ppb | 0.064286 |
| Límite de cuantificación | 0.2143 | ppb | 0.21429 |
| Precisión en terminos de %C/V | 1.36% | % | 1.203% |
| Exactitud en terminos de Error Relativo % | 1.84% | % | 8.008% |

Tabla 6.Resumen Estadísticos O3.

Al calcular la exactitud del método para ambos observadores se realizó en términos del error relativo porcentual, para el observador 1 fue de 1,84% y el observador 2 de 8%, ambos valores calculados fueron menores al 10% implicando una proximidad alta entre el valor calculado experimentalmente y el valor de referencia, teniendo en cuenta que para el observador 1 se obtuvo una mayor exactitud.

5.3 Método USEPA e-CFR Titulo 40, Apéndice C: Fotometría Infrarroja no dispersiva. Monóxido de carbono (48C)

La confirmación de este método se llevó a cabo mediante calibraciones durante 7 días consecutivos por parte de dos observadores en diferentes horas del día (para el observador 1 a las 09:00am y para el 2 a la 01:00pm), esto con la finalidad de comparar los resultados obtenidos para cada uno. Los datos fueron recolectados del equipo 48C y eran arrojados cada 60 segundos en todos los puntos de verificación. El rango de aplicabilidad para calidad del aire en el cual se trabajó fue de 0 a 50ppm y el análisis estadístico se realizó con el promedio de cada uno de los puntos intermedios en los 7 días consecutivos. En cuanto a la selectividad del equipo se tiene que las interferencias pueden surgir de gases que absorben la radiación infrarroja en bandas que se superponen con la del CO.

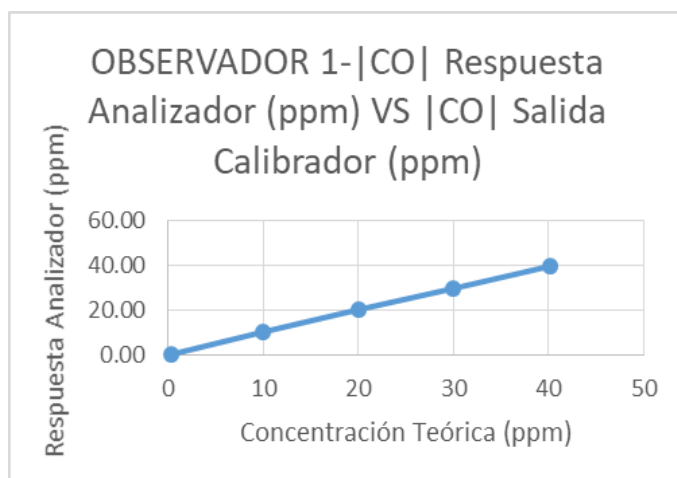


Figura 5. Linealidad del equipo 48CO12M Observador 1.

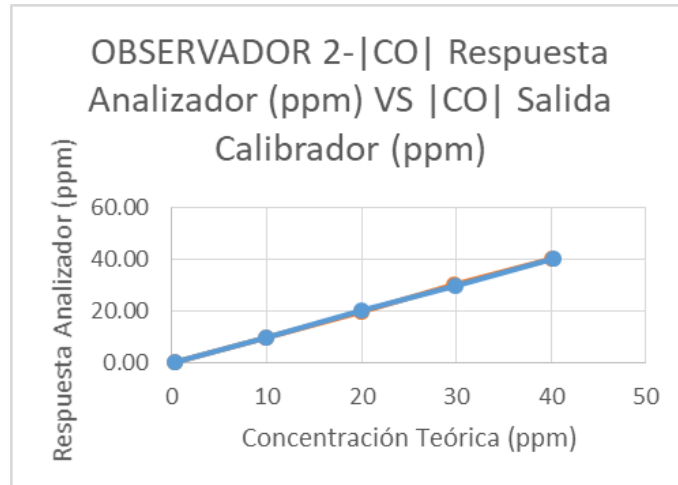


Figura 6. Linealidad del equipo 48CO12M Observador 2.

En la Figura 5 y Figura 6 se pueden visualizar las curvas de calibración para los dos observadores y a partir de estas es posible inferir que la respuesta que arroja el analizador es directamente proporcional a las concentraciones teóricas, además la diferencia porcentual entre los puntos teóricos y experimentales no sobrepasó en ningún caso el 2,1%.

Para llevar a cabo el análisis estadístico de la series de datos recolectados del analizador 48C se realizó una prueba de hipótesis mediante la distribución t-student a cada uno de los puntos de verificación, logrando así descartar los valores extraños y poder trabajar con los valores más representativos en cada serie de datos; en la Tabla 7 se puede ver que para el observador 1 la pendiente fue de 0,98 y en la Tabla 8 para el observador 2 fue de 0,99 indicando que el método es sensible ante los cambios en las concentraciones de la muestra y tiene la capacidad de responder de manera positiva ante los mismos, el coeficiente de determinación y correlación para ambos observadores fue de 0,9999 lo que implica que existe una correlación lineal entre la concentración teórica y experimental del analizador con una alta significancia estadística.

| y = a + bx | |
|---------------------------------|---------|
| Pendiente (b) | 0.98977 |
| Intercepto (a) | 0.25521 |
| R2 (Coef. Determinación) | 0.99999 |
| R (Coef. correlación) | 0.99999 |

Tabla 7.Sensibilidad del equipo 48C Observador 1.

| y = a + bx | |
|---------------------------------|--------|
| Pendiente (b) | 0.9988 |
| Intercepto (a) | 0.1195 |
| R2 (Coef. Determinación) | 0.9999 |
| R (Coef. correlación) | 0.9999 |

Tabla 8.Sensibilidad del equipo 48C Observador 2.

El resumen de los estadísticos calculados para confirmar este método se encuentra en la Tabla 9, en donde se puede analizar que para ambos observadores se obtuvo un límite de detección de 1,153ppm indicando que esta es la mínima concentración de CO que puede detectar el analizador, mientras que el límite de cuantificación calculado mediante la desviación estándar para el observador 1 fue de 0,512ppm y para el 2 fue de 0,511ppm, debido a que estos valores difieren en un 0,19% se procedió a verificar experimentalmente en el analizador este límite, con un valor capaz de ser encontrado o replicado experimentalmente con una adecuada precisión y exactitud, en este caso se definió el límite del equipo 48C en 0,512ppm.

| | | | |
|--|--|-----------------|---------------------|
| Nombre del Metodo: | Método USEPA e-CFR Titulo 40, Apéndice C: Fotometría Infrarroja no dispersiva. | | |
| Rango Lineal | 0-50ppm | | |
| Parámetro | Observador A | Unidades | Observador B |
| Límite de detección | 0.1537 | ppm | 0.153369 |
| Límite de cuantificación | 0.5124 | ppm | 0.51123 |
| Precisión en terminos de %C/V | 1% | % | 1% |
| Exactitud en terminos de Error Relativo % | 0.37% | % | 0.479% |

Tabla 9.Resumen Estadísticos CO.

La precisión calculada en términos del porcentaje de variación fue de 1% para ambos observadores, indicando con esto una baja dispersión de los datos y poca variabilidad en el método, por lo tanto es posible afirmar que el método tiene una alta repetibilidad y bajo condiciones operativas diferentes la variabilidad es baja, implicando una gran reproducibilidad en el mismo. La exactitud fue calculada en términos del error relativo porcentual en donde para ambos observadores el valor calculado fue muy bajo (0,37% y 0,479% respectivamente) lo cual conlleva a concluir que la proximidad entre el valor calculado de forma experimental y la concentración de referencia es muy alta.

5.4 Método USEPA e-CFR Título 40 Parte 50 Apéndice A-1 (método de fluorescencia Ultravioleta). Dióxido de azufre (T102)

Para realizar la confirmación de este método se llevaron a cabo una serie de calibraciones durante 7 días consecutivos por parte de 2 observadores en diferentes horas del día (el observador 1 trabajó a las 12:00m y el 2 a las 03:00pm), logrando tener condiciones operativas distintas y poder comparar los resultados presentados por el método. En cuanto a la selectividad del analizador se tiene que este cuenta con un diseño óptico que elimina hidrocarburos (que emiten una fluorescencia similar al SO_2), para evitar imprecisiones causadas por las interferencias. En el caso de SO_2 se trabajó en un rango lineal definido para calidad del aire de 0 a 200ppb y en la Tabla 7 Figura 7 y Figura 8 se puede analizar que para los dos observadores el método responde de una manera directamente proporcional en cuanto a los resultados entregados por el equipo en cada uno de los puntos intermedios de la verificación y las concentraciones teóricas, además se realiza la diferencia porcentual entre los puntos teóricos y los arrojados por el equipo T102, encontrando que en ningún caso la diferencia es mayor al 2,1% cumpliendo así con el criterio de aceptación de linealidad dado por la EPA.

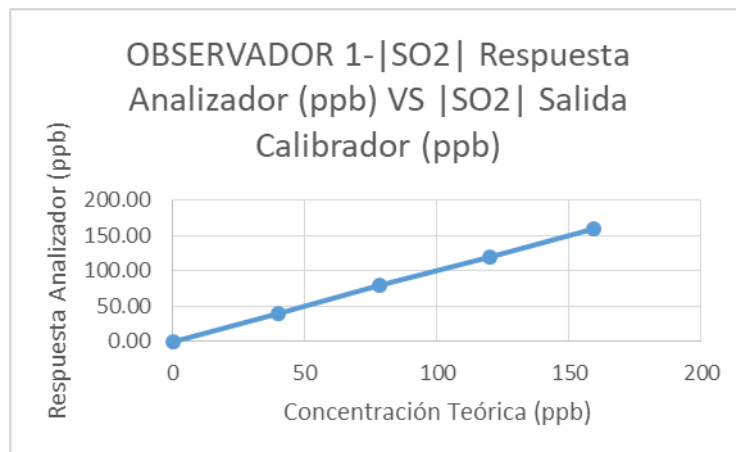


Figura 7. Linealidad del equipo T102 Observador 1.

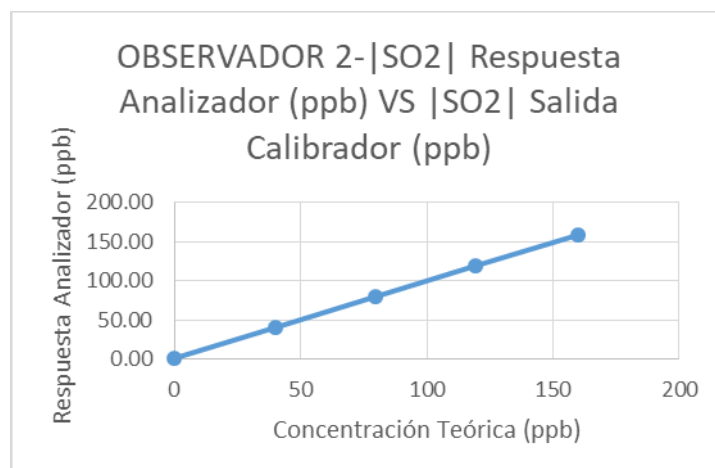


Figura 8. Linealidad del equipo T102 Observador 2.

Para realizar el posterior análisis estadístico se llevó a cabo primero el descarte de valores extraños en cada una de las series de datos mediante una prueba de hipótesis con la distribución t-student, logrando así trabajar con una serie de datos más homogénea y representativa. En la Tabla 10 y Tabla 11 se encuentra los valores de las pendientes para cada observador la cual se relaciona de manera directa con la sensibilidad del equipo para el observador 1 fue de 0,998 y para el 2 de 0,994 , esto permite afirmar que el método responde positivamente y es sensible ante los cambios en las concentraciones de la muestra, en este caso el coeficiente de determinación y correlación fue de 0,9999 para ambos observadores por lo que se puede concluir que hay una correlación lineal de alta significancia entre la concentración teórica y experimental arrojada por el equipo T102.

| y = a + bx | |
|---------------------------------|---------|
| Pendiente (b) | 0.99837 |
| Intercepto (a) | 0.27607 |
| R2 (Coef. Determinación) | 0.99994 |
| R (Coef. correlación) | 0.99997 |

Tabla 10.Sensibilidad del equipo T102 Observador 1.

| y = a + bx | |
|---------------------------------|---------|
| Pendiente (b) | 0.99471 |
| Intercepto (a) | 0.30759 |
| R2 (Coef. Determinación) | 0.99998 |
| R (Coef. correlación) | 0.99999 |

Tabla 11.Sensibilidad del equipo T102 Observador 2.

En la confirmación del método se realizaron una serie de cálculos que se presentan en la Tabla 11, primero se puede observar que el límite de detección para ambos observadores fue de 0,035ppb, es decir, la mínima cantidad capaz de ser detectada por el analizador sin una precisión y exactitud determinadas, mientras que el límite de cuantificación fue de 0,11ppb para el analizador T102, implicando que es la mínima cantidad capaz de cuantificar el equipo con una exactitud y precisión aceptables, además las concentraciones por debajo del límite de cuantificación en una muestra serán reportadas con el valor de dicho límite.

La precisión en términos del porcentaje de variación para ambos observadores fue de 2%, representando con esto poca dispersión en los datos ya que el valor calculado es menor al 10%, se puede afirmar entonces que se tiene un conjunto de datos homogéneos que representa poca variabilidad en cuanto al método utilizado, es decir, que el método tiene una alta repetibilidad y al ser iguales los coeficientes para ambos observadores bajo condiciones operativas diferentes se puede inferir que el método cuenta con una alta reproducibilidad. La

exactitud calculada para el observador 1 fue de 6,2% y 5,32% ambas menores al 10% por lo que representan una gran semejanza entre la concentración teórica y experimental.

| | | | |
|--|---|-----------------|---------------------|
| Nombre del Metodo: | Método USEPA e-CFR Titulo 40 Parte 50 Apéndice A-1 (método de fluorescencia Ultravioleta) | | |
| Rango Lineal | 0-200ppb | | |
| Parámetro | Observador A | Unidades | Observador B |
| Limite de detección | 0.0354 | ppb | 0.035285 |
| Limite de cuantificación | 0.1179 | ppb | 0.11762 |
| Precisión en terminos de %C/V | 2% | % | 2% |
| Exactitud en terminos de Error Relativo % | 6.20% | % | 5.322% |

Tabla 12. Resumen Estadísticos SO₂.

5.5 Método MASA 108: Determinación continua de hidrocarburos totales en la atmosfera Infrarroja no dispersiva. Hidrocarburos totales (THC):

Se cuenta con dos equipos encargados de medir la concentración de THC, para realizar la confirmación del método mediante el cual funcionan estos analizadores se ejecutaron una serie de calibraciones por dos observadores distintos en diferentes condiciones operacionales (el observador 1 trabajo a las 10:00am y el observador 2 a las 02:00pm) a cada uno de los equipos; se recolectaron los datos arrojados por cada uno durante siete días consecutivos para trabajar con el promedio de los mismos, los valores fueron arrojados cada 30 segundos por los analizadores y el rango lineal definido para THC fue de 0 a 50ppm; en el caso de los hidrocarburos totales se trabajó con un punto de verificación para la calibración en el 80% del rango. En cuanto a la selectividad de estos equipos se tiene que la muestra es bombeada en un detector de ionización de llama, el cual reconoce la intensidad de los iones y los cambios o incrementos que puedan presentar, además los átomos de carbono unidos a oxígeno, nitrógeno o halógenos pueden proporcionar una respuesta reducida.

En la Figura 9 a la Figura 12 se pueden ver las curva de calibración para ambos observadores en los dos equipos encargados de medir la concentración de hidrocarburos totales, según estas es posible inferir que la respuesta arrojada por ambos analizadores es directamente proporcional a la concentración teórica, además para evaluar la linealidad del método según el criterio de aceptación para la calibración y verificación de la EPA se aseguró que en ninguno de los puntos la concentración experimental tuviera una diferencia mayor al 2,1% de la teórica

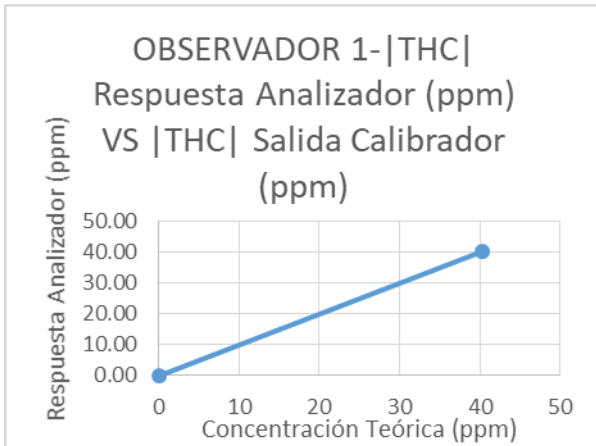


Figura 9. Linealidad del equipo 9000THA Observador 1.

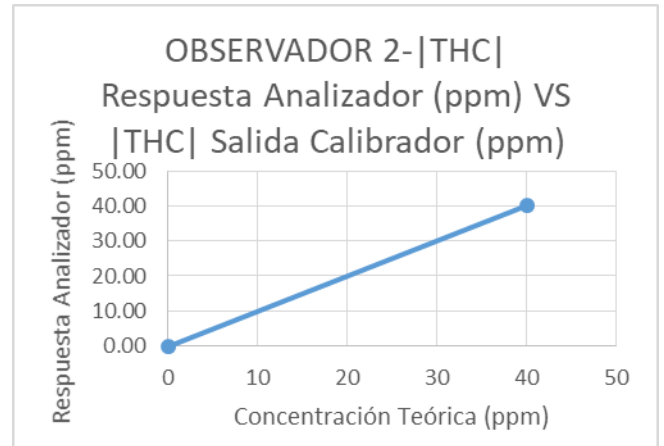


Figura 10. Linealidad del equipo 9000THA Observador 2.

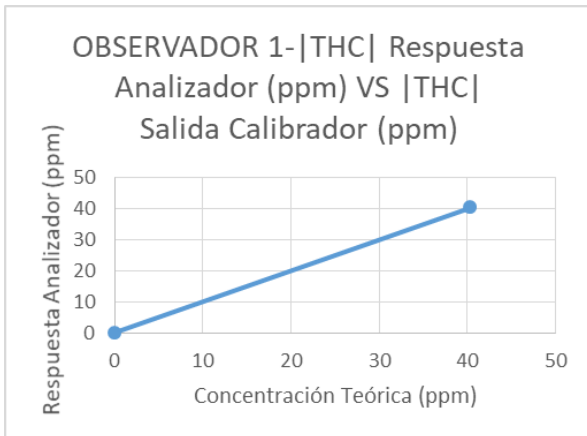


Figura 11. Linealidad del equipo 9000MNHC Observador 1.

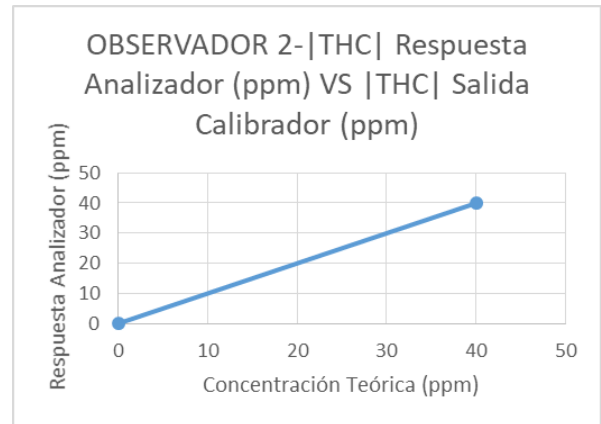


Figura 12. Linealidad del equipo 9000MNHC Observador 2.

Para desarrollar el análisis estadístico en ambas series de datos se realizó primero una prueba de hipótesis mediante la distribución t-student que permite rechazar los valores extraños en la serie de datos y trabajar con los valores más representativos de la misma. En la Tabla 13 a la Tabla 16 se encuentran los valores de las pendiente para cada curva de calibración y esta se encuentra relacionada directamente con la sensibilidad del método, el valor de la pendiente para el observador 1 en ambos equipos fue de 0,99 y para el observador dos en ambos analizadores fue de 1 indicando que el método responde de manera positiva a los cambios en las concentraciones de la muestra, además para los dos equipos el coeficiente de determinación y correlación en ambos observadores fue 1, lo que permite concluir que existe una correlación lineal estadísticamente significativa entre la concentración teórica y experimental que arrojan los dos analizadores.

| $y = a + bx$ | |
|--------------------------|-------|
| Pendiente (b) | 0.994 |
| Intercepto (a) | 0.000 |
| R2 (Coef. Determinación) | 1.000 |
| R (Coef. correlación) | 1.000 |

Tabla 13.Sensibilidad del equipo 9000THA Observador 1.

| $y = a + bx$ | |
|--------------------------|-------|
| Pendiente (b) | 1.001 |
| Intercepto (a) | 0.000 |
| R2 (Coef. Determinación) | 1.000 |
| R (Coef. correlación) | 1.000 |

Tabla 14.Sensibilidad del equipo 9000THA Observador 2.

| $y = a + bx$ | |
|--------------------------|-------|
| Pendiente (b) | 0.990 |
| Intercepto (a) | 0.000 |
| R2 (Coef. Determinación) | 1.000 |
| R (Coef. correlación) | 1.000 |

Tabla 15.Sensibilidad del equipo 9000MNHC Observador 1.

| $y = a + bx$ | |
|--------------------------|-------|
| Pendiente (b) | 1.005 |
| Intercepto (a) | 0.000 |
| R2 (Coef. Determinación) | 1.000 |
| R (Coef. correlación) | 1.000 |

Tabla 16.Sensibilidad del equipo 9000MNHC Observador 2.

Por último se presenta la Tabla 17 y Tabla 18 en las cuales están contenidos los valores de los estadísticos y cálculos realizados para la confirmación de este método.

Para el analizador 9000THA se encontró que el límite mínimo que logra detectar es de 0,5ppm sin precisión y exactitud determinadas, mientras que el mínimo límite que puede cuantificar el equipo con una precisión y exactitud adecuada es de 0,8 ppm; inicialmente el valor encontrado teórico del límite de cuantificación fue de 0ppm y este dato no fue posible de replicar en el equipo, ya que el analizador no respondía a concentraciones tan bajas, por lo tanto el límite de cuantificación se redefinió de una forma experimental, con el valor más bajo capaz de ser replicado y detectado por el analizador con una precisión y exactitud determinadas de 5,78% y 9,52% respectivamente. En la precisión se encontró que para ambos observadores el porcentaje de variación fue de 0,39% y esto indica que la variabilidad y dispersión de los datos es muy pequeña (menor al porcentaje aceptable del 10%), siendo posible afirmar que la repetibilidad del método es alta y mientras el comportamiento bajo dos condiciones operacionales siga siendo aproximado la reproducibilidad también será alta. Los valores calculados de la exactitud son muy bajos y por lo tanto es posible afirmar que existe una alta proximidad entre el valor calculado experimentalmente y el valor de teórico.

| | | | |
|--|--|-----------------|---------------------|
| Nombre del Metodo: | Método MASA 108: Determinación continua de hidrocarburos totales en la atmósfera Infrarroja no dispersiva. | | |
| Rango Lineal | 0-50ppm | | |
| Parámetro | Observador A | Unidades | Observador B |
| Límite de detección | 0.5 | ppm | 0.5 |
| Límite de cuantificación | 0.8 | ppm | 0.8 |
| Precisión en términos de %C/V | 0.39% | % | 0.397% |
| Exactitud en términos de Error Relativo % | 0.58% | % | 0.069% |

Tabla 17. Resumen Estadísticos THC equipo 9000THA.

En el caso del analizador 9000MNCH se definió el límite de detección como 0,6ppm mientras que para el límite de cuantificación se presenta el mismo caso que en el equipo 9000THA y se redefine este límite a 1ppm con una exactitud de 5,31%. En cuanto a la precisión el porcentaje de variación calculado (0,64% para el observador 1 y para el 2 de 0,58%) permite concluir que los datos arrojados por el analizador presentan una baja dispersión y variabilidad en el método, contribuyendo a la repetibilidad y reproducibilidad del mismo, además de su comportamiento homogéneo bajo condiciones operativas diferentes. Los valores calculados de la exactitud para ambos observadores fueron muy bajos y por lo tanto se puede afirmar nuevamente que existe gran cercanía entre el valor calculado experimentalmente y el valor de referencia

| | | | |
|--|--|-----------------|---------------------|
| Nombre del Metodo: | Método MASA 108: Determinación continua de hidrocarburos totales en la atmósfera infrarroja no dispersiva. | | |
| Rango Lineal | 0-50ppm | | |
| Parámetro | Observador A | Unidades | Observador B |
| Límite de detección | 0.6 | ppm | 0.6 |
| Límite de cuantificación | 1 | ppm | 1 |
| Precisión en términos de %C/V | 0.64% | % | 0.592% |
| Exactitud en términos de Error Relativo % | 0.97% | % | 0.535% |

Tabla 18. Resumen Estadísticos THCA equipo 9000MNCH.

6 CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos al trazar las curvas de calibración para cada uno de los métodos y la evaluación de la linealidad conforme al criterio de aceptación de la EPA, se puede llegar a la conclusión de que los métodos son capaces de entregar resultados directamente proporcionales a las concentraciones enviadas a los analizadores; además la correlación lineal entre la concentración teórica y experimental arrojada por el analizador confirma mediante el coeficiente de determinación y de correlación una mayor significancia estadística a la linealidad de cada uno de los métodos.
- Con base a los resultados obtenidos para las pendientes (1 o aproximado a este valor) de cada curva de calibración en los diferentes métodos es posible afirmar que estos responden correctamente a los cambios en las concentraciones de la muestra y el método se considera con alta sensibilidad ante los mismos.
- Conforme a los resultados obtenidos en la precisión de cada uno de los métodos en ambos observadores se analiza que los porcentajes de variación fueron menores al 10%, indicando en cada una de las series de datos recolectada poca dispersión de los mismos y por lo tanto se puede decir que se trabajó con un conjunto de datos homogéneos, además es viable deducir que las respuestas arrojadas por los equipos representan poca variabilidad en los métodos, por consiguiente cada método cuenta con una alta repetibilidad y bajo condiciones operativas diferentes se tiene una alta reproducibilidad del mismo.
- Teniendo en cuenta que los cálculos de la exactitud en cada uno de los métodos para ambos observadores siempre se encontró por debajo del 10%, un valor considerado como aceptable para deducir una buena exactitud del método, es posible concluir que existe una alta proximidad entre los valores calculados experimentalmente y los valores de referencia o teóricos.

- En cuanto a los límites, para cada método se encontró el límite de detección, siendo la diferencia de los valores detectados entre ambos observadores menor al 1,3% indicando resultados semejantes, y teniendo en cuenta que este límite no necesariamente se puede cuantificar experimentalmente, es decir, el límite de detección se define como un término más cualitativo mientras que el límite de cuantificación se refiere a uno más cuantitativo, para ambos observadores se calculó el límite de cuantificación, el cual indicaba la mínima cantidad capaz de cuantificar experimentalmente el analizador con una precisión y exactitud adecuadas, por lo tanto valores por debajo a estos límites de cuantificación serán reportados con el valor del mismo. En algunos casos inicialmente el valor encontrado del límite de cuantificación no fue posible de replicar en el equipo, ya que el analizador no respondía a concentraciones tan bajas, por lo tanto el límite de cuantificación se redefinía de una forma experimental, con el valor más bajo capaz de ser replicado y detectado por el analizador con una precisión y exactitud determinadas.
- Finalmente se logra confirmar los métodos para las 6 estaciones automáticas de monitoreo de calidad del aire de la empresa GSA S.A.S, mediante la definición de un rango de seguridad en el cual se trabajó para calidad del aire, el trazado de las curvas de calibración, la confirmación de la linealidad arrojada por los analizadores y el método, la alta sensibilidad relacionada directamente a la pendiente de cada una de las curvas, los resultados arrojados en cuanto a coeficientes de variación y errores porcentuales que demuestran alta precisión y exactitud, y por último los límites de detección y cuantificación de analizador según el método que utiliza.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Environmental Protection Agency. Calibration. En: QA Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II. U.S, 2013. p. 112-221
- [2] IDEAM. Contaminación atmosférica. 2010. [Consultado 24 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
- [3] IDEAM. Principio de medición del Dióxido de Nitrógeno (SO₂) en la atmósfera (Método pararosanilina), 2010. 27 p.
- [4] IDEAM. Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de Ozono (O₃) en la atmósfera, 2010. 12 p.
- [5] IDEAM. Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de Carbono (CO) en la atmósfera (Fotometría infrarroja no dispersiva), 2010. 8 p.
- [6] IDEAM. Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) en la atmósfera (Quimioluminiscencia en fase gaseosa), 2010. 23 p.
- [7] IDEAM, Segundo boletín sobre contaminación atmosférica, Bogotá, D. C., 2016. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. Noviembre de 2016, Bogotá D.C., Colombia. [Consultado 28 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023669/Segundo_boletin_contaminacion_atmosferica.pdf
- [8] IDEAM, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015 Bogotá, D.C., 2016. 179p. [Consultado 28 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023637/Informe_del_estado_de_la_calidad_del_aire_en_colombia_2011-2015_vfinal.pdf
- [9] HORIBA. Calibration of gas analyzers, manually, remotely or automatically controlled APMC-370. Germany. 2007.
- [10] LODGE, James. METHODS FOR AMBIENT AIR SAMPLING AND ANALYSIS, Carbon Compounds. En: Methods of Air Sampling and Analysis. Third Edition. United States: Lewis Publishers, INC, Año de publicación. p 243-566.
- [11] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Constitución del 91, la carta que le dio un reconocimiento al medio ambiente. Bogotá, D.C. 2016. [Consultado 24 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2351-constitucion-del-91-la-carta-que-le-dio-un-reconocimiento-al-medio-ambiente>
- [12] Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 por cual se adopta la norma de calidad del aire ambiental y se dictan otras disposiciones
- [13] Thermo Fisher Scientific Inc. Model 42i Chemiluminescence NO-NO₂-NO_x Analyzer. 2007. 334p
- [14] Thermo Fisher Scientific Inc. Model 49i UV Photometric O₃ Analyzer. 2007. 314p

8 ANEXOS

ANEXO 8.1 CERTIFICADOS

G1-58-C9



Praxair Gases Industriales Ltda.
 Nit. 900.239.671-4
Sede Principal
 Parque Industrial Gran Sabana Lote M
 Unidad 62 Frente autódromo Tocancipá
 Vereda Tibitó - Tocancipá
 Línea de Atención al Cliente en Bogotá
 PBX: 705 2000 - 401 3000
 PBX: 360 7000 - Administración
 Fax: 360 1476
 Línea de Atención Nacional
 01800527527

CERTIFICADO DE ANALISIS Certificate Of Analysis

N° 10 0727

Mezcla Patrón Calibración

| | | | |
|--|------------------|--|-------------|
| Código Producto: <i>Product Part Number:</i> | 0901113 | N° Lote Producto: <i>Product Lot Number:</i> | GE-51725/18 |
| Cilindro Tipo: <i>Cylinder Style:</i> | A3 | Conexión Válvula: <i>Valve Outlet Connection:</i> | CGA 350 |
| Capacidad Cilindro m ³ : <i>Cylinder Volume m³:</i> | 0,9 | Método de Llenado: <i>Filling Method:</i> | Gravimetría |
| N° Serial Cilindro: <i>Cylinder Serial Number:</i> | FF35051 | Fecha de Llenado: <i>Date of Fill:</i> | 30/10/2018 |
| Presión de Llenado: <i>Filling Pressure:</i> | 2000 psig @ 21°C | Fecha Expiración: <i>Expiration Date:</i> | 30/10/2020 |



| Análisis <i>Analyte</i> | Especificación <i>Specification</i> | Resultados Analíticos <i>Analytical Results</i> | Principio Analítico* Instrumento <i>Analytical Principle* Instrument</i> | Incertidumbre Analítica <i>Analytical Uncertainty</i> |
|---|--|--|--|--|
| Metano <i>Methane</i> | 0,5 ± 0.15 % | 0,50 % | C - Cromatografía Gaseosa con TCD | ± 2% |
| Monóxido de Carbono <i>Carbon Monoxide</i> | 0,5 ± 0.15 % | 0,52 % | C - Cromatografía Gaseosa con TCD | ± 2% |
| Nitrógeno <i>Nitrogen</i> | Balance | Balance | Por Diferencia | |



Firma Aprobada:
Approved Signer

Los análisis descritos en este documento fueron preparados por el Área de Gases Especiales utilizando instrumentos calibrados con PRM (Praxair Reference Material's) certificados. Los PRM son preparados con pesos rastreables con la ONAC (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia), NIST (National Institute of Standards and Technology) o NIST Standard Reference Material's cuando aplica.

NOTA: Todas las expresiones de concentración (g) : % o ppm) son para fase gaseosa, y por volumen (v): ppmv) sin especificar otra forma.

* Convenciones para el Principio Analítico:

| | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| A Melenizador con Ionización de Llama | E Infrarrojo FTIR o NIR | I Vía Húmeda | M Celda Electroítica |
| B Cromatografía Gaseosa con FID | F Paramagnetismo | J Tubo Detector | N Volumétrico |
| C Cromatografía Gaseosa con TCD | G Celda Electroquímica | K Olor | O Conductividad Térmica |
| D Método Gravimétrico | H Ionización de Llama | L Quimioluminiscencia | |

IMPORTANTE

La información aquí contenida ha sido preparada por personal experto de Oxígenos de Colombia Ltda. a manera de orientación hacia el usuario. Las técnicas analíticas sugeridas han demostrado una alta confiabilidad en sus resultados, sin embargo la responsabilidad del uso que se le da a esta información estará bajo responsabilidad exclusiva del usuario. La reproducción del documento sólo podrá ser hecha íntegramente sin alteración alguna. La garantía será establecida a partir del almacenamiento del cilindro en lugar seco, ventilado, al abrigo de la intemperie y entre temperaturas de 10°C a 35°C, o en caso que apliquen recomendaciones particulares.



G1-58-C23



HiQ® Certificate.

Cliente / customer name

GSA S.A.S. GESTION Y SERVICIOS AMBIENTALES
 CALLE 33 A N 71-03
 AGENCIA COMERCIAL MEDELLIN/ COLOMBIA

Fecha / Date of issue

18 de junio de 2018

Nº de cilindro / Cylinder no.

FF29751

Nº de Análisis / Analysis no.

13688

Nº orden producción / Order no.

57073

Nº de Página / Page number

1 de 1 / (1 of 1)

Certificado de Analisis – Certified of Analysis

tipo de Patrón / Standard type: PAIRON CERTIFICADO

Cilindro / Cylinder

| Tipo de cilindro / Cylinder type | Conexión de cilindro / Cylinder connection | Presión de llenado / Filling pressure (15°C) | Volumen de gas / Gas vol (15°C, 0.101325 bar) |
|-------------------------------------|---|---|--|
| AD7 | CGA 350 | 15000 Kpa | 1.0 m ³ |

| Componente Component | Solicitado Order | Análisis Analysis | * Uncertainty Abs. | Unidad Mole Unit |
|-------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| METANO | CH ₄ 5000 | -985 | ± 100 | µmol/mol |
| NITROGENO | N ₂ BALANCE | BALANCE | | |

Nivel de Confianza / Confidence level:

95% k=2,78

*Incertidumbre Expandida / Expanded uncertainty

Gravimétrico / Gravimetric

Método de Preparación / Preparation method

Temperatura Recomendada de almacenamiento y uso

0 °C a / to +45 °C

Recommended storage and usage temperature

Presión mínima de uso / Minimum pressure of use

3 bar

Método analítico / Analytical method

NDIR

Patrón Empleada / Standard used

1379873

Componentes tóxicos / Toxic component

NO

Mezcla inflamable u oxidante / Flammable or oxidant mix.

SI

Utilizar antes de / use before

Jun 2020

Comentarios / Comments:

1 µmol/mol corresponde a 1 ppm, 1 Bar corresponde a 100 Kpa.

La composición de los productos es analizada por comparación con pesajes de calibración trazables a NIST, pesos y materiales de referencia.
 / Product composition is verified by comparison to calibration standards, traceable to NIST, weights and certified gas mixture reference materials.

Lugar de producción / Production Site

LINDE COLOMBIA S.A. Planta Gases Especiales - Av. 68 No 11 - 51

Lugar de análisis / Analysis Site

LINDE COLOMBIA S.A. Lab. de Gases Especiales - Av. 68 No 11 - 51

Responsable del análisis / Responsible for the analysis

<http://hiq.linde-gas.com>

Rodrigo Salazar Zapata
 Telefono: +57-1 - 4254550 Ext. 4150,
 Fax: +57-1 - 4254562
 Bogotá Col.



Propiedad Intelectual de LINDE COLOMBIA S.A. COPROD0063A

Prohibida su reproducción total o parcial, sin permiso del Laboratorio de Gases Especiales de LINDE COLOMBIA S.A.



Global Calibration Gases
Sarasota, FL

41-58-C21

Certificate of Analysis

NIST Traceable

Primary Standard

Customer: EPSI
CGA: 660
Customer PO#: 2645
Cylinder #: BK0080489

Reference#: 022318SY-M
Certification Date: 02/28/2018
Expiration Date: 02/28/2021
Pressure, psig: 2000

| Components | Certified Concentration | Expanded Uncertainty |
|--------------------|-------------------------|----------------------|
| Nitric Oxide | 15.0ppm | 1.2% |
| Oxides of Nitrogen | 15.1ppm | 1.2% |
| Sulfur Dioxide | 15.1ppm | 1.3% |
| Carbon Monoxide | 3024ppm | 0.7% |
| Nitrogen | Balance | - |

| Instrument/ Model | Serial Number | Last Date Calibrated | Analytical Method |
|--------------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| CAI/ 600 | Y09003 | 2/28/2018 | Chemiluminescence |
| Horiba/ VIA-510 | MAID39C8 | 2/28/2018 | Non-Dispersive Infrared |
| Micro GC/ MTI M200 | 170612 | 2/28/2018 | Thermal Conductivity |

These mixtures were prepared gravimetrically using a high load high sensitivity electronic scale. Prior to filling the scale is verified for accuracy throughout the target mass range against applicable NIST traceable weights. We certify that the weights are calibrated to ASTM E617-97 Echelon 1 tolerances. This calibration is referenced by serial # 7210-1, Certificate # 16000781 and NIST Inst # 822/272103-06

This report states accurately the results of the investigation made upon the material submitted to the analytical laboratory. Every effort has been made to determine objectively the information requested. However, in connection with this report, Global Calibration Gases LLC shall have no liability in excess of the established charge for this service.

The calibration results published in this certificate were obtained using equipment and standards capable of producing results that are traceable to National Institute of Standards and Technology (NIST) and through NIST to the International System of Units (SI). The expanded uncertainties, if included on this certificate, use a coverage factor of k=2 to approximate the 95% confidence level of the measurement, unless otherwise noted. If uncertainties are not included on this certificate, they are available upon request. This calibration certificate applies only to the item described and shall not be reproduced other than in full, without written approval from the calibration facility. Calibration certificates without signatures are not valid.



Produced by:
Global Calibration Gases LLC.
1090 Commerce Blvd N.
Sarasota, Florida 34243
PGVP Vendor ID.: N22018



Global Calibration Gases
Sarasota, FL

Certificate of Analysis
NIST Traceable
Primary Standard

Customer: EPSI
CGA: 660
Customer PO#: 2645
Cylinder #: BK0080489

Reference#: 022318SY-M
Certification Date: 02/28/2018
Expiration Date: 02/28/2021
Pressure, psig: 2000

| Components | Certified Concentration | Expanded Uncertainty |
|--------------------|-------------------------|----------------------|
| Nitric Oxide | 15.0ppm | 1.2% |
| Oxides of Nitrogen | 15.1ppm | 1.2% |
| Sulfur Dioxide | 15.1ppm | 1.3% |
| Carbon Monoxide | 3024ppm | 0.7% |
| Nitrogen | Balance | - |

| Instrument/ Model | Serial Number | Last Date Calibrated | Analytical Method |
|--------------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| CAI/ 600 | Y09003 | 2/28/2018 | Chemiluminescence |
| Horiba/ VIA-510 | MAID39C8 | 2/28/2018 | Non-Dispersive Infrared |
| Micro GC/ MTI M200 | 170612 | 2/28/2018 | Thermal Conductivity |

These mixtures were prepared gravimetrically using a high load high sensitivity electronic scale. Prior to filling the scale is verified for accuracy throughout the target mass range against applicable NIST traceable weights. We certify that the weights are calibrated to ASTM E617-97 Echelon 1 tolerances. This calibration is referenced by serial # 7210-1, Certificate # 16000781 and NIST Inst # 822/272103-06

This report states accurately the results of the investigation made upon the material submitted to the analytical laboratory. Every effort has been made to determine objectively the information requested. However, in connection with this report, Global Calibration Gases LLC shall have no liability in excess of the established charge for this service.

The calibration results published in this certificate were obtained using equipment and standards capable of producing results that are traceable to National Institute of Standards and Technology (NIST) and through NIST to the International System of Units (SI). The expanded uncertainties, if included on this certificate, use a coverage factor of k=2 to approximate the 95% confidence level of the measurement, unless otherwise noted. If uncertainties are not included on this certificate, they are available upon request. This calibration certificate applies only to the item described and shall not be reproduced other than in full, without written approval from the calibration facility. Calibration certificates without signatures are not valid.



Produced by:
Global Calibration Gases LLC.
1090 Commerce Blvd N.
Sarasota, Florida 34243
PGVP Vendor ID.: N22018

Principal Analyst: *Keith Walker*
Date: 02/28/2018

Principal Reviewer: *Jeanette Honeys*
Date: 02/28/2018



Cal-58-C20

Praxair Gases Industriales Ltda.
 Nit. 900.239.671-4
 Sede Principal
 Parque Industrial Gran Sabana Lote M
 Unidad 62 Frente autódromo Tocancipá
 Vereda Tibitó - Tocancipá
 Línea de Atención al Cliente en Bogotá
 PBX: 705 2000 - 401 3000
 PBX: 360 7000 - Administración
 Fax: 360 1476
 Línea de Atención Nacional
 018000527527

CERTIFICADO DE ANALISIS
Certificate Of Analysis

N° 01 0021

Mezcla Patrón Calibración

| | | | |
|--|------------------|--|-------------|
| Código Producto: <i>Product Part Number:</i> | 0901847 | N° Lote Producto: <i>Product Lot Number:</i> | GE-50045/18 |
| Cilindro Tipo: <i>Cylinder Style:</i> | A3 | Conexión Válvula: <i>Valve Outlet Connection:</i> | CGA 350 |
| Capacidad Cilindro m ³ : <i>Cylinder Volume m³:</i> | 1,0 | Método de Llenado: <i>Filling Method:</i> | Gravimetría |
| N° Serial Cilindro: <i>Cylinder Serial Number:</i> | CC358290 | Fecha de Llenado: <i>Date of Fill:</i> | 11/01/2018 |
| Presión de Llenado: <i>Filling Pressure:</i> | 2200 psig @ 21°C | Fecha Expiración: <i>Expiration Date:</i> | 11/01/2020 |



| Análisis <i>Analyses</i> | Especificación <i>Specification</i> | Resultados Analíticos <i>Analytical Results</i> | Principio Analítico* Instrumento <i>Analytical Principle* Instrument</i> | Incertidumbre Analítica <i>Analytical Uncertainty</i> |
|---|--|--|--|--|
| Monóxido de Carbono <i>Carbon Monoxide</i> | 1,0 ± 0,1 % | 1,0 % | Q - Metodo Gravimetrico | ± 2% |
| Nitrógeno <i>Nitrogen</i> | Balance | Balance | Por Diferencia | |



Firma Aprobada:
Approved Signer

A. Perez

Los análisis descritos en este documento fueron preparados por el Área de Gases Especiales utilizando instrumentos calibrados con PRM (Praxair Reference Materials) certificados. Los PRM son preparados con pesos rastreables con la ONAC (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia), NIST (National Institute of Standards and Technology) o NIST Standard Reference Materials cuando aplique.

NOTA: Todas las expresiones de concentración (ej.: % o ppm) son para fase gaseosa, y por volumen (ej.: ppmv) sin especificar otra forma.

* Convenciones para el Principio Analítico:

| | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| A Metanizador con loriación de Llama | E Infrarrojo FTIR o NDIR | I Vía Húmeda | M Celda Electroquímica |
| B Cromatografía Gaseosa con FID | F Paramagnetismo | J Tubo Detector | N Volumétrico |
| C Cromatografía Gaseosa con TCD | G Celda Electroquímica | K Olor | |
| D Método Gravimétrico | H loriación de Llama | L Quimioluminiscencia | |



IMPORTANTE

La información aquí contenida ha sido preparada por personal experto de Oxigenos de Colombia Ltda. a manera de orientación hacia el usuario. Las técnicas analíticas sugeridas han demostrado una alta confiabilidad en sus resultados, sin embargo la responsabilidad del uso que se le dé a esta información estará bajo responsabilidad exclusiva del usuario. La reproducción del documento sólo podrá ser hecha íntegramente sin alteración alguna. La garantía será establecida a partir del almacenamiento del cilindro en lugar seco, ventilado, al abrigo de la intemperie y entre temperaturas de 10°C a 35°C, o en caso que apliquen recomendaciones particulares.

41-58-025



HiQ® Certificate.

| | |
|--|---|
| Cliente / customer name GSA S.A.S. GESTION Y SERVICIOS AMBIENTALES CALLE 33 A N 71-03 AGENCIA COMERCIAL MEDELLIN/ COLOMBIA | Fecha / Date of issue 11 de julio de 2018 |
| N° de cilindro / Cylinder no. 0650873 | N° de Análisis / Analysis no 13768 |
| N° orden producción / Order No. 57327 | N° de Página / Page number 1 de 1 / (1 of 1) |

Certificado de Analisis – Certified of Analysis

Tipo de Patrón / Standard type: PATRON CERTIFICADO

Cilindro / Cylinder

| Tipo de cilindro / Cylinder type | Conexión de cilindro / Cylinder connection | Presión de llenado / Filling pressure (15°C) | Volumen de gas / Gas vol (15°C, 0.13bar) |
|-------------------------------------|---|---|---|
| A 07 | CGA 660 | 15000 Kpa | 1,0 m3 |

| Componente Component | Solicitado Order | Análisis Analysis | * Uncertainty Abs. | Unidad Malar Unit |
|-------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| OXIDO NITRICO | NO | 1500 | ± 32 | µmol/mol |
| DIOXIDO DE AZUFRE | SO ₂ | 265 | ± 5 | µmol/mol |
| NITROGENO | N ₂ | BALANCE | BALANCE | |

Nivel de Confianza / Confidence level: 95% k=2,78

*Incertidumbre Expandida / Expanded uncertainty: Gravimétrico / Gravimetric

Método de Preparación / Preparation method: 0 °C a / to +45 °C

Temperatura Recomendada de almacenamiento y uso / Recommended storage and usage temperature: 3 bar

Presión mínima de uso / Minimum pressure of use: NDIR

Método analítico / Analytical method: 1423860/LL125077

Patrón Empleado / Standard used: SI

Componentes tóxicos / Toxic component: NO

Mezcla inflamable u oxidante / Flammable or oxidant mixt.: jul-2019

Utilizar antes de / use before: 1 µmol/mol corresponde a 1 ppm, 1 Bar corresponde a 100 Kpa.

Comentarios / Comments:

La composición de los productos es analizada por comparación con patrones de calibración trazables a NIST, pesas y materiales de referencia.
 / Product composition verified by comparison to calibration standards, traceable to NIST, Weights and/or NIST gas mixture reference materials.

Lugar de producción / Production Site: LINDE COLOMBIA S.A. - Planta Gases Especiales - Av. 68 No 11 - 51
 Lugar de análisis / Analysis Site: LINDE COLOMBIA S.A. - Lab. de Gases Especiales - Av. 68 No 11 - 51

Responsable del análisis / Responsible for the analysis

<http://lin.linde-gas.com>

Rodrigo Salazar Zapata
 Telefono: +57-1 - 4254550 Ext. 4150,
 Fax: +57-1 - 4254562
 Bogotá Col.



CERTIFICADO GENERADOR AIRE CERO

HORIBA

Explore the future

HORIBA Europe GmbH, Geschäftsstelle Leichlingen, Julius-Kronenberg-Str. 9, 42799 Leichlingen/Germany

TEST REPORT

ZNV-7 Compressor

Serial No. : 904096

Construction year : **10.2015**
month year

- Mechanic assembly : OK
- Electric wiring : OK
- Leak check
- 24 hours 7 bar boiler : OK
- Leak check
- 24 hours 4 bar pressure out : OK
- Check electric instrument
- according DIN VDE 0701/0702 : OK

Quality Check OK.

M. Braun
M. Braun
QC- Inspector

05.10.2015
Date
HORIBA Europe GmbH
Umwelt- and Systemtechnik
Julius-Kronenberg-Str. 9
D-42799 Leichlingen
Tel. 0 21 75 / 89 78 - 0
Fax 0 21 75 / 89 78 - 00

CERTIFICADO CALIBRADOR MULTIGASES

HORIBA

TEST REPORT

APMC 370

Customer: HBR Order-Nr: 2100466920

Serial Nr.: 904095 Softwareversion: 1.40

Solenoid valves: OK

Backpressure regulator: 160 mbar

MFC Zero gas: Serialnumber: M15206700G

Range: 5,0 l/min

Flowrate: OK

MFC Span gas: Serialnumber: M15202770P

Range: 200 ml/min

Flowrate: OK

Temperature O3 generator for GPT: 70 °C

O3 Concentration: 456 ppb at 1,0 l/min 30 %

Ambient pressure: 1020 mbar

Temperature: 23 °C

Date: 09.12.2016

QC-Inspector:

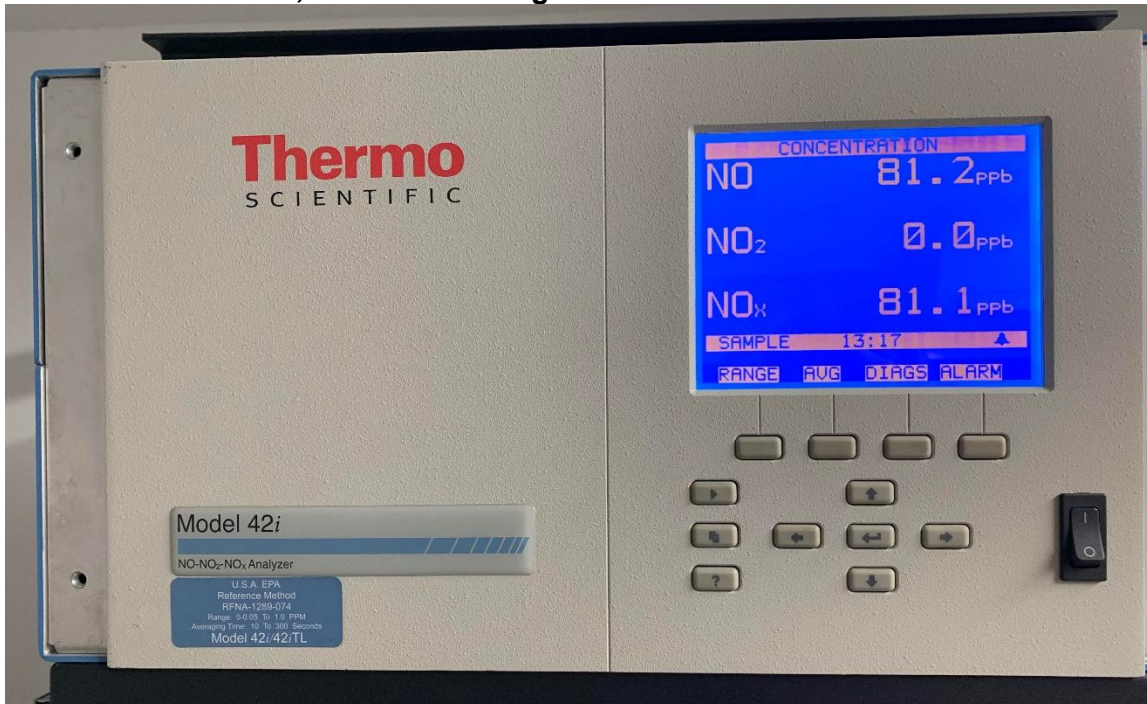


ANEXO 8.2 REPORTE FOTOGRÁFICO

1. ANALIZADOR 49i, Ozono



2. ANALIZADOR 42i, Óxidos de Nitrógeno



3. ANALIZADOR T102, Dioxido de Azufre



4. ANALIZADOR CO12M, Monoxido de Carbono



5. ANALIZADOR 9000THA, Hidrocarburos Totales



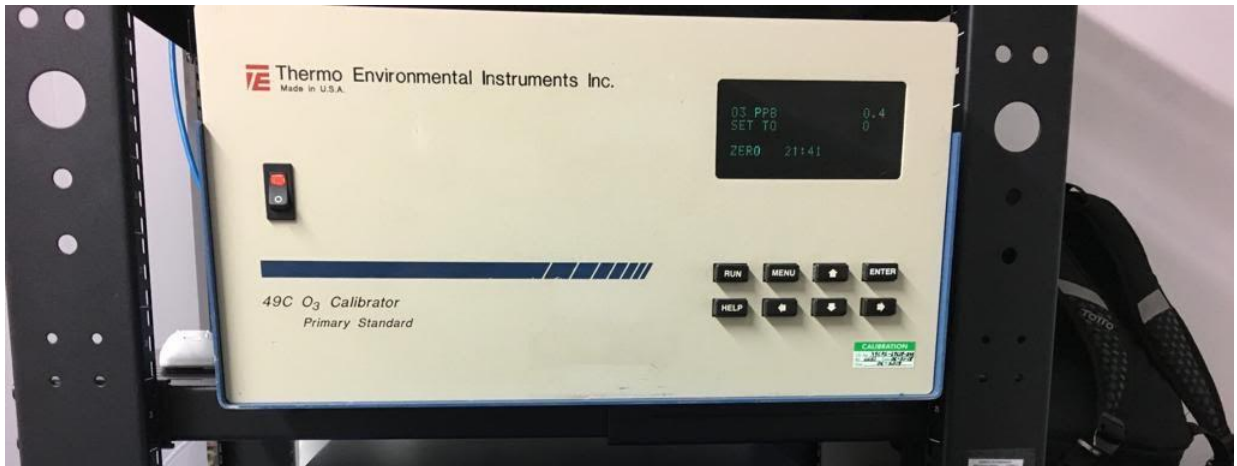
6. ANALIZADOR 9000MNCH, Hidrocarburos Totales



7. CALIBRADOR DINAMICO MULTIGASES



8. CALIBRADOR DE OZONO



9. GENERADOR AIRE CERO



---FIN DEL INFORME---