



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“Cuantificación del NO y NO₂ en ambiente laboral por
monitoreo pasivo y cromatografía de líquidos”**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:
FORTUNATT PALACIOS IVÁN**



CIUDAD UNIVERSITARIA CDMX

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE

PROFESOR: MARIA RAFAELA GUTIERREZ LARA

VOCAL:

PROFESOR: SERGIO ADRIAN GARCIA GONZALEZ

SECRETARIO:

PROFESOR: GEMA LUZ ANDRACA AYALA

1er. SUPLENTE:

PROFESOR: ALEJANDRA MENDOZA CAMPOS

2do. SUPLENTE:

PROFESOR: CLAUDIA INES RIVERA CARDENAS

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

LABORATORIO COMPARTIDO DE CROMATOGRAFÍA DE LÍQUIDOS

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA

UNAM

ASESOR DEL TEMA

DRA. GEMA LUZ ANDRACA AYALA

SUSTANTE:

IVÁN FORTUNATT PALACIOS

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química por ser mi casa de estudio.

Al Centro de Ciencias de la Atmosfera por abrirme las puertas y realizar mi trabajo de tesis.

Al Laboratorio compartido de Cromatografía por prestarme el equipo HPLC.

A M.C. José Manuel Hernández Solís por el uso de la cámara de aire cero del grupo de Fisicoquímica Atmosférica.

A la Dra. Gema por su dedicación y tiempo durante todo el trabajo.

A la Sociedad Química de México por la beca otorgada para presentar los resultados del proyecto en el 52° Congreso Mexicano de Química.

A Lida, Gaby, Monse, Liz, por ayudarme a resolver alguna duda en el laboratorio.

Índice

1 Introducción	1
2 Objetivos	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivo específico	3
3 Antecedentes	4
3.1 Ambiente laboral	4
3.2 Normatividad.....	5
3.3 Óxido Nítrico (NO) y Bióxido de nitrógeno (NO ₂).....	5
3.3.1 Normas para NO y NO ₂	7
3.4.1 Muestreadores Pasivos Ogawa®	8
3.4.2. Factores ambientales que afectan los dispositivos.....	11
3.5 Cromatografía de Líquidos	11
3.6 Cromatografía de iónica.....	12
3.7 Instrumentación de HPLC	13
3.7.1 Sistema de bombeo	13
3.7.2 Inyectores	14
3.7.3 Columnas.....	15
3.7.4 Detector.....	16
3.7.5 Supresor.....	16
3.8. Nitrocelulosa.....	18
3.8.1 Degradación de la nitrocelulosa.....	19
3.9. Filtro de trietanolamina (TEA).....	20
3.10 Filtro de PTIO y TEA	20
4. Metodología	22
4.1 Sitio de muestreo	22
4.2 Armado de los dispositivos Ogawa®.....	23
4.2.1 Cámara de Aire Cero	24
4.3 Instalación de los equipos pasivos en el sitio de interés.....	25
4.4 Extracción de Pasivos Ogawa®.....	29
4.5 Técnica analítica	30

4.5.1 Método de supresión	30
4.5.1.1 Análisis de las muestras	30
4.6 Preparación de la fase móvil.....	34
4.7 Parámetros de Calidad	35
4.7.1 Curva de calibración para la cuantificación de NO ₂	35
4.7.2 Límite de detección y Límite de cuantificación	37
4.7.3 Incertidumbre	38
5 Resultados y Análisis	40
5.1 Cromatogramas	40
5.2 Resultados de NO ₂ y NO.....	41
5.3 Comparación los resultados con la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-201445	
6. Conclusiones	47
7. Referencias	48
8. Anexos	53
Anexo A.....	53
Anexo B.....	54
Anexo C	56
Anexo D	57
Anexo E.....	65
Anexo F.....	68

1 Introducción

Se realizó un monitoreo pasivo por un periodo de 8 días de óxido nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno (NO₂) en fase gas para cuantificar las concentraciones de estos contaminantes en las instalaciones de resguardo de material fílmico de nitrato de celulosa, compuesto que se utilizó como material cinematográfico en los inicios del cine, material es inestable ya que puede presentar una combustión espontánea, además con el paso del tiempo el nitrato de celulosa se descompone emitiendo NO y NO₂ (United States Army, 1976), material que por su peligrosidad se encuentra almacenado en construcciones adecuadas para el fin, llamadas bóvedas. Se colocó un dispositivo pasivo tipo Ogawa® en cada una de las 7 bóvedas, 2 en el área de manejo y uno en el área exterior. Es importante realizar mediciones precisas para la cuantificación de NO y NO₂ tanto en un ambiente interior como exterior, una vez teniendo los niveles de contaminación, podemos conocer los daños a la salud o el efecto ecológico que pueden causar.

Las concentraciones de los óxidos de nitrógeno en ambiente laboral han sido típicamente medidas usando muestreadores por difusión debido a que son (1) pequeños de tamaño y ligeros en peso, (2) no invasivos, (3) fáciles de manejar y usar ya que no requieren energía eléctrica y (4) costo/beneficio. (Ho Yu, Morandi, & Weisel, 2008). Sin embargo, los muestreadores pasivos tienen coeficientes de captación menores a otro tipo de sistemas como los muestreadores activos, por lo tanto, requieren de mayor tiempo de exposición de 24 h a varios días y estos dispositivos Ogawa® trabajan por medio de difusión.

La higiene laboral se refiere a un conjunto de normas y procedimientos que buscan proteger la integridad física y mental de los trabajadores, vigilar los riesgos de salud inherentes a las tareas del puesto y al ambiente físico donde las realiza.

El análisis de los extractos se realizó por cromatografía iónica modo supresión determinándose ambos contaminantes como bióxido de nitrógeno por su reacción con la sustancia reactiva selectiva que impregna filtros en el interior del dispositivo. Los límites de detección y cuantificación en fase acuosa fueron 2.19 y 3.99 ppm respectivamente. Las concentraciones promedio acumuladas determinadas van en un rango de 0.017 a 0.120 ppmv para NO₂ y 0.005 a 0.223 ppmv para NO. Se concluyó que existen emisiones derivadas de la degradación del material fílmico, además de una influencia exterior consecuencia de su cercanía con un paradero de autobuses foráneos a una distancia no mayor de 10 m. Las concentraciones determinadas se encuentran por debajo de la normatividad laboral aplicable.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

- Determinar las concentraciones en aire de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) en un ambiente laboral, por medio de monitores pasivos y análisis por cromatografía de líquidos de alta resolución.

2.2 Objetivo específico

- Comparar los resultados con la normatividad aplicable para determinar cumplimiento de la NOM 010-STPS-2014

3 Antecedentes

3.1 Ambiente laboral

Lo que se busca en una industria es tener una mayor productividad, por lo que uno de los factores que influyen es el ambiente laboral, refiriéndonos al ambiente físico es decir a la interacción que existe entre los trabajadores y las herramientas, sustancias con las que se trabajan o influyen en el ambiente.

Dentro del ambiente laboral encontramos diferentes factores que afectan la seguridad e higiene en los trabajadores, que son capaces de alterar las condiciones ambientales en el trabajo y que por sus propiedades, concentración, nivel y tiempo de exposición puede alterar la salud de los trabajadores.

Agentes Físicos.- Se deben a un intercambio de energía entre individuo (exposición a diferentes temperaturas, ruido, radiaciones infrarrojas, radiaciones ultravioleta, radiaciones ionizantes y presiones anormales.)

Agentes Biológicos.- Son enfermedades causadas por contagio causadas por agentes biológicos con los que se trabajan

Contaminantes Químicos.- Los riesgos que se presentan son causados por polvos, gases, vapores, humos o contacto de cualquier sustancia química.

Tensiones ergonómicas.- Se refiere a las condiciones laborales de forma biológica, psíquico, social y ambiental.

Una de las definiciones de la Higiene Industrial es la que propone la AIHA (American Industrial Hygienist Association), la cual dice:

“La Higiene Industrial es la ciencia y arte dedicados al reconocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales o tensiones emanadas o provocadas por el lugar de trabajo y que pueden ocasionar enfermedades, destruir la salud y el bienestar, o crear algún malestar significativo entre los trabajadores o los ciudadanos de la comunidad”

La seguridad en el trabajo es el conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objeto eliminar o reducir los riesgos que pueden dar lugar a que produzcan accidentes de trabajo. [Floria Mateo Pedro 2002]

3.2 Normatividad

En otros países se han formado instituciones para que el trabajador pueda realizar sus actividades en un ambiente laboral seguro tal como la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés), el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH, por sus siglas en inglés), y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), estas son algunas de las instituciones de gran impacto para que en los centros de trabajo se encuentren en buenas condiciones.

A nivel mundial la institución más conocida es la OSHA fue creada en 1970, para proteger a los trabajadores que su área laboral se encuentre en condiciones seguras y saludables con lo que se establecieron normas, capacitación y asistencia para su cumplimiento, aunque esto fue creado en Estados Unidos debido a su gran cobertura e importancia estas normas se ha adoptado en diferentes países del mundo.

En México la instancia encargada de la seguridad e higiene en el trabajo es la Secretaría del Trabajo y Previsión Social a través del Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo y sus 41 Normas Oficiales Mexicanas vigentes en materia de seguridad y salud en el trabajo

3.3 Óxido Nítrico (NO) y Bióxido de nitrógeno (NO₂)

El óxido de nitrógeno (NO) es un gas incoloro, tiene un olor dulce, el bióxido de nitrógeno (NO₂) agente altamente oxidante, gas de color marrón, con olor fuerte

desagradable, la combinación de ambos gases se les conoce con el termino óxidos de nitrógeno (NO_x), estos se encuentran en la naturaleza por la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y actividad volcánica. La producción de NO_x de forma antropogénica se da por la ignición de combustibles fósiles, durante la fabricación de ácido nítrico, el uso de explosivos, uso de gas L.P y proceso de soldadura.

De los óxidos de nitrógeno (NO_2 y NO) el bióxido de nitrógeno es el principal contaminante, debido a que puede convertirse en el aire ácido nítrico HNO_3 , el cual es absorbido por las gotas de agua dando como consecuencia la lluvia acida. Los óxidos nitrógeno reaccionan con los compuestos volátiles que se encuentran en el aire y de esta manera producir ozono troposférico que es uno de los contaminantes responsables del smog fotoquímico, los óxidos de nitrógeno experimentan diferentes reacciones debido a la radiación solar, Figura. 1.

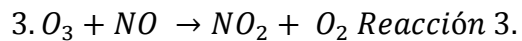
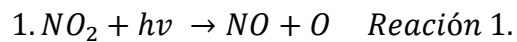


Fig. 1 Mecanismo de reacción ozono fotoquímico

La exposición de NO_x en pequeñas concentraciones puede irritar ojos, nariz, garganta y los pulmones, posiblemente cause tos, sensación de cansancio, falta de aliento y náusea, al respirar niveles altos 200 mg/m^3 [Organización Mundial de la salud 2016] de concentración de NO_x produce quemaduras, espasmos, dilatación de los tejidos de la garganta y las vías respiratorias, reduciendo la oxigenación produciendo acumulación de líquido en los pulmones y la muerte, al contacto con la piel u ojos de NO_x provocara graves quemaduras.

3.3.1 Normas para NO y NO₂

La Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014 para los agentes químicos contaminantes del ambiente laboral, reconocimiento, evaluación y control, que establece el Valor Límite de Exposición Promedio Ponderado en el Tiempo (VLE-PPT) para el óxido nítrico (NO) en 25 ppm y el dióxido de nitrógeno (NO₂) en 0.2 ppm.

Para el ambiente exterior existe la Norma NOM-023-SSA1-1993 Salud Ambiental, que evalúa la calidad del aire para el bióxido de Nitrógeno (NO₂) como medida de protección a la salud de la población con un Límite Máximo Permisible para una concentración promedio 1 hora de 0.2 ppmv

La OSHA también establece límites de exposición, para óxido nítrico (NO) con un límite de 25 ppm en el aire del trabajo durante una jornada de 8 horas diarias, para el bióxido de nitrógeno (NO₂) con el límite de 5 ppm en el aire de trabajo durante un periodo de 15 minutos.

3.4 Muestreo Pasivo

Método para determinar la calidad del aire, siendo un dispositivo que indica la concentración promedio de un contaminante en periodos que pueden ir de días, semanas y meses. Se denomina pasivo debido a que en el muestreo no existe un sistema de bombeo mecánico, debido a esto el flujo de aire se da por un proceso físico llamado difusión.

Los dispositivos para estas muestras generalmente tienen una forma de tubo o disco, que con ayuda de un filtro que contiene un sustrato químico, recogen el contaminante deseado por medio de la adsorción y/o absorción, después de su exposición en el sitio de muestreo se regresa al laboratorio, donde se realiza la desorción del contaminante y se analiza cuantitativamente.

3.4.1 Muestreadores Pasivos Ogawa®

Es un dispositivo de muestreo pasivo diseñado y producido por la compañía Ogawa & Company, USA, Inc. Utilizado para determinar concentraciones de contaminantes en el aire como; óxidos de nitrógeno NO_x , óxidos de azufre SO_x y ozono O_3 muestreadores son de forma cilíndrica (2.3 cm) de Teflón®, estos contienen dos cámaras separadas con dos filtros pretratados, colocados en dos pantallas, con dos rejillas de metal con una tapa difusora, Figura 2.

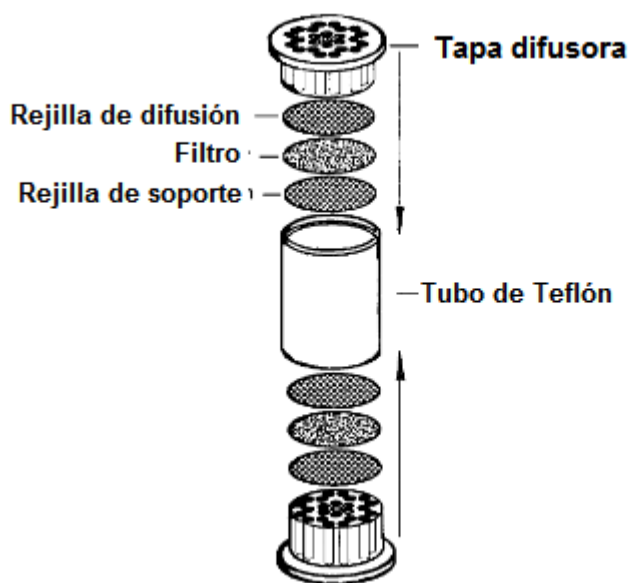


Fig. 2 muestreador Ogawa®, Imagen modificada [S.V. Krupa, Passive sampling of ambient, gaseous air pollutants: an assessment from an ecological perspective pp32]

Estos muestreadores pueden ser utilizados para muestreos en exterior e interior, es posible monitorear más de un gas con un solo dispositivo debido a sus dos cámaras, el muestreo puede ser en periodos cortos de 1 día hasta de dos semanas.

Estos captadores se rigen por la ley de Fick, donde las moléculas de un gas se difunden en todas direcciones con igual probabilidad y la suma de todos los movimientos resulta un transporte neto en la dirección de la concentración decreciente, en el difusor pasivo existe un volumen de aire donde se produce un gradiente de concentraciones desde la parte externa del volumen en contacto con el ambiente exterior y con una concentración ambiental, hasta la parte interna, donde se encuentra el agente absorbente, y que tiene una concentración nula de dicho contaminante a determinar.

Ley de Fick

$$J_A = D \frac{dN}{dz}$$

[Ec.1]

J_A : Flujo de átomos

D : Difusividad o coeficiente de difusión

$\frac{dN}{dz}$: Gradiente de concentración

De la Ley de Fick se puede expresar con las siguientes ecuaciones.

$$F = D \frac{[X]}{L}$$

[Ec. 2]

Donde:

- F ; Es el flujo del contaminante X , en moles por centímetro cuadrado y minutos (mol/cm² min)
- D ; Coeficiente de difusión del gas, en centímetros cuadrados por minuto (cm²/min)

- [X]; Concentración ambiental del contaminante X, en moles por centímetro cubico (mol/cm³)
- L; longitud de la zona de difusión, en (cm)

La cantidad de gas Q en moles, que se difunde a través de un captador pasivo con área a (cm²) y una longitud L (cm) por unidad de tiempo es:

$$Q = F * a * t$$

[Ec. 3]

Sustituyendo el valor de F

$$Q = D * \frac{[X]}{L} * a * t$$

[Ec.4]

Teniendo en cuenta que el valor de captación, S (cm³/min) es:

$$S = \frac{D * a}{L}$$

[Ec.5]

Sustituyendo en la Ec. 3 se obtiene

$$Q = S * [X] * t$$

[Ec.6]

Y despejando

$$[X] = \frac{Q}{S * t}$$

[Ec.7]

Conociendo el coeficiente de captación S del captador pasivo, la cantidad de gas en moles que ha difundido a través del captador (Q) y el tiempo que se ha expuesto (t), se conocerá la concentración ambiental promedio del contaminante X en el aire durante el periodo de muestreo. [Esteve Cano V. y Delgado Saborit J. 2009]

3.4.2. Factores ambientales que afectan los dispositivos

Temperatura y Presión; afectan el flujo del contaminante muestreado, por el coeficiente de difusión del analito, debido a esto se calcula la presión y la temperatura durante todo el tiempo de muestreo.

Humedad; Una alta humedad puede afectar la capacidad de sorción de los absorbentes hidrófilos, con lo cual reduce el tiempo de muestreo, antes de que ocurra la saturación del sorbente, también puede alterar el comportamiento de sorción de la pared interior expuesta de las muestras tipo tubo o de la pantalla de proyección, particularmente si se produce condensación.

Influencia del aire; El movimiento del aire ambiente y la orientación del muestreador (en relación con el flujo de aire externo) pueden afectar el rendimiento de un muestreador difusor porque pueden influir en la longitud efectiva del camino de difusión. [Brown R.H 2000]

3.5 Cromatografía de Líquidos

La cromatografía líquida HPLC (High Performance Liquid Chromatography) cromatografía de alto rendimiento, este método es utilizado para determinar que componentes existe en una muestra, es un método analítico cuantitativo con lo cual separa, identifica y cuantifica los compuestos que existen en una muestra, con

ayuda de este método se ha podido identificar componentes en concentraciones menores como partes por trillón (ppt), para el análisis la muestra tiene que ser disuelta en un solvente.

Este método consiste que la fase móvil es un líquido que fluye a través de todo el cromatógrafo suministrado por altas presiones, que es llevado a una columna que contiene una fase estacionaria, que es donde las moléculas se retienen en la fase fija o avanzan con la fase móvil de acuerdo con su afinidad, posteriormente la separación es monitoreada por el detector. En la Figura 3 se muestra un diagrama de flujo en un sistema de cromatografía de líquidos

Este método es utilizado para diferentes tipos de muestras como productos farmacéuticos, alimentos, cosméticos, áreas ambientales, muestras forenses y productos químicos industriales.



Figura 3. Diagrama de flujo en un sistema de cromatografía de líquidos

3.6 Cromatografía de iónica

Técnica analítica para la separación y determinación de iones, donde los iones en solución son llevados por una solución iónica o eluyente fase móvil, los diferentes iones se separan en la columna que contienen resinas de intercambio iónico que están como fase estacionaria, en las resinas se lleva a cabo un intercambio iónico, con lo cual si se desea analizar aniones la resina posee grupos catiónicos capaces de retener los aniones en la fase estacionaria, posteriormente los iones se separan de las resina de acuerdo a su afinidad, los iones con mayor afinidad se conservaran en la columna durante un mayor tiempo que aquellos iones que tengan menor

afinidad a la fase estacionaria, esta técnica de cromatografía se basa en las diferencias de cargas que existe en los iones.

Los iones al salir de la fase estacionaria, son llevados a un detector para conocer las características del ion los tres detectores más ocupados para la cromatografía iónica son:

- Detector de conductividad con supresión química
- Detector de conductividad con supresión electrónica
- Detector de UV indirecta

3.7 Instrumentación de HPLC

3.7.1 Sistema de bombeo

La cromatografía de líquidos HPLC necesita una bomba de alta presión, que es de gran importancia para la fase móvil, y está se vea forzada a pasar con suficiente rapidez a través de nuestra columna, cuyo relleno es muy compacto.

Las bombas deben de cumplir aspectos importantes para tener un buen funcionamiento en el cromatografo HPLC:

- Ofrecer un rango amplio de presiones: de 500 a 5000 psi (0.9868 atmósferas), esto depende de la longitud de la columna y el grado de empaquetamiento, una vez seleccionada la presión debe permanecer constante todo el tiempo.
- Ofrecer caudales variables desde 0.5 a 10 mL/min para fines analíticos y hasta 50- 100 mL/ min para fines preparativos.
- Originar un flujo libre de pulsaciones, una forma de eliminar esto consiste en utilizar una bomba de doble pistón o dos bombas en serie.
- Debe ser inerte químicamente, en especial las zonas de contacto con la fase móvil, generalmente su interior es de acero inoxidable o Teflón®.

Se utilizan las bombas de alta presión para mantener el caudal sin pulsos, las bombas más utilizadas son de jeringa o desplazamiento y de vaivén en sus variedades de diafragma y de pistón [Valcarcel 1988].

3.7.2 Inyectores

Los inyectores sirven para introducir un volumen pequeño de muestra líquida, para llevar la muestra a la fase móvil, la inyección debe cumplir con:

- Introducir volúmenes pequeños (del orden μL)
- Originar la menor dispersión física posible del volumen mezclado en el sistema hidrodinámico para evitar picos en el cromatograma.
- No debe alterar el flujo y la presión del caudal

Existen varios modelos de inyección manuales y automáticos, pero el más utilizado en cromatografía HPLC es el de válvula Loop (inyector manual de bucle), Figura 4. este viene integrado al equipo su funcionamiento, tiene en un extremo la entrada donde se introduce la jeringa con la muestra, el bucle se llena con la solución de muestra y el sello interno del canal es el girado para llevar el bucle en el flujo de eluyente, haciendo especial hincapié en la exclusión del aire y de esta manera tenemos una mayor reproducibilidad, Figura 5.



Fig. 4 Inyector de bucle para HPLC (Vilanova Gisbert, 2015 pp 186)

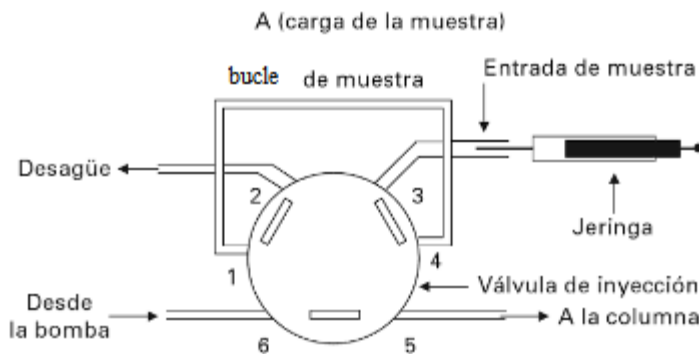


Fig. 5 Esquema de funcionamiento del inyector Loop (Vilanova Gisbert, 2015 pp 186)

3.7.3 Columnas

Es la parte principal del cromatógrafo HPLC, ya que en ella ocurren diferentes mecanismos (adsorción, partición, cambio iónico, exclusión, etc.), los materiales de mayor frecuencia de las columnas son acero inoxidable, vidrio, aluminio, cobre y politetrafluoroetileno PTFE.

Las columnas varían en tamaño (longitud 5 a 30 cm) y empaquetado, aquí tiene lugar la separación de los analitos e interferentes, la separación se lleva a cabo en la fase estacionaria que es un activo poroso, los materiales más ocupados son (Silica gel, C8,C18, Ciano, Aminas, Resinas y Polímeros).

3.7.4 Detector

El detector debe reconocer la sustancia que pasó por la columna, los detectores responden a cambios y de acuerdo a estos se puede saber a qué compuesto se refiere, existen diferentes tipos de detectores, cada tipo de detector responde a una propiedad o característica del compuesto que se está analizando,

De igual manera el detector es el monitor del cambio de composición que existe en la fase móvil, debido que no existen diferentes tipos de detectores como;

- Detector UV
- Detector índice de refracción
- Detector multi-ángulo de dispersión de luz
- Espectrómetro de masas
- Detector de conductividad
- Detector de Fluorescencia
- Detector electroquímico

3.7.5 Supresor

Es un dispositivo adicional en HPLC, el supresor es colocado entre la columna y el detector, la función del supresor es modificar tanto el eluyente como el soluto con el fin de mejorar la detectabilidad con un detector de conductividad. El funcionamiento es por medio de una membrana en donde hay un intercambio selectivo de protones en un canal regenerante externo para cationes del eluyente, Figura 6. El supresor

disminuye significativamente el nivel de conductividad de fondo y el ruido. El supresor requiere de una solución regeneradora para permitir que funcione por periodos prolongados.

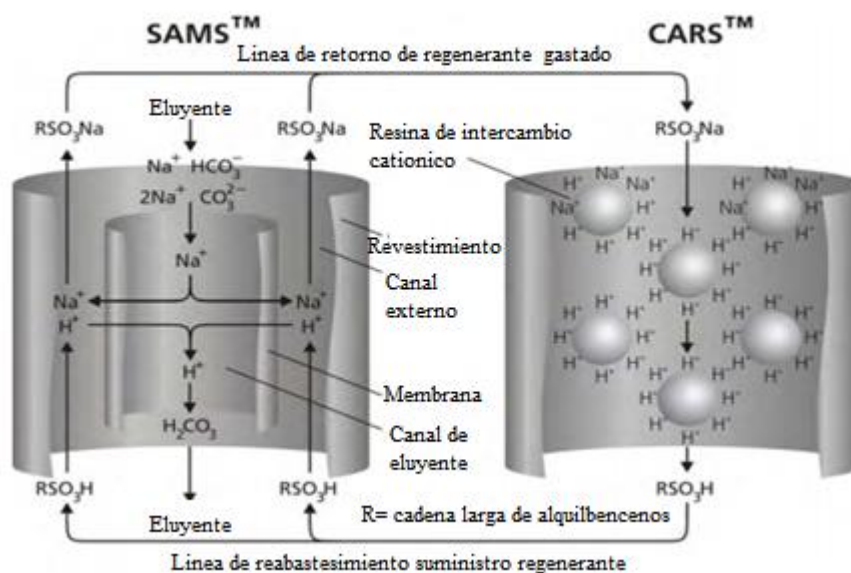
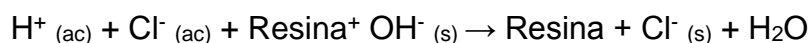


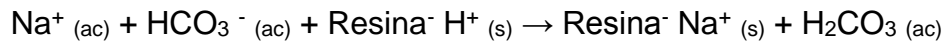
Fig. 6 Intercambio de iones en supresor CARS™ conectado al SAMS™ por continua regeneración (Instructions for Use SeQuant® CARS™ pp.3)

Cuando se determinan cationes, se elige en muchas ocasiones el ácido clorhídrico como reactivo eluyente, y la columna supresora es una resina de intercambio aniónico en la forma hidróxido. El producto de la reacción en la columna supresora es agua. Los cationes analito no se retienen en esta segunda columna.



Reacción 4

Para la separación de aniones, el relleno supresor es la forma ácida de una resina de intercambio catiónico. En el caso de aniones, el bicarbonato o carbonato de sodio puede utilizarse como agente eluyente. La reacción en la columna supresora es entonces:



Reacción 5

En este caso, el ácido carbónico muy poco disociado que se forma no contribuye de manera significativa a la conductividad. Un inconveniente de las columnas supresoras es la necesidad de regenerarlas periódicamente (cada 8 o 10 h) a fin de convertir sus rellenos otra vez a la forma ácida o básica original.[V Gomis Yagües 2008, Técnicas Instrumentales en el Análisis Industrial]

3.8. Nitrocelulosa

La nitrocelulosa es un polímero, compuesto sintético obtenido a partir de la celulosa, componente primario de todas las plantas y árboles, para obtener nitrocelulosa, la celulosa tiene que ser expuesta en ácido nítrico o algún agente nitrante. La nitrocelulosa tiene muchas aplicaciones como la fabricación de películas fotográficas, tintas, pinturas y pirotecnia.

La nitrocelulosa es altamente inflamable. Existen diferentes tipos de nitrocelulosa de acuerdo al porcentaje de nitrógeno, para recubrimiento y pinturas el porcentaje de nitrógeno que tiene la nitrocelulosa es entre 10.7% y 12.3%, cuando sobrepasa el 12.6% de nitrógeno es clasificado como explosivo. [AZoM. (2005)]

3.8.1 Degradación de la nitrocelulosa

La nitrocelulosa presenta una degradación, durante la descomposición primaria se libera NO_2 y se desintegran tres anillos completamente nitrados de piranosa, En la degradación secundaria el NO_2 actúa como oxidante por lo que las velocidades de reacción de la degradación secundaria son más rápidas que las de la descomposición primaria, particularmente cuando se proporcionan luz UV y oxígeno porque la luz reduce NO_2 a NO .

Los mecanismos de descomposición de nitrocelulosa.

- Hidrólisis: Retención de pequeñas cantidades de ácido sulfúrico de la nitración por la fabricación de la nitrocelulosa.
- Descomposición térmica: La descomposición del nitrato de celulosa ocurre de manera inmediata entre 120°C y 135°C , y en menor grado también ocurre la descomposición en condiciones ambientales entre 20°C y 25°C auto catalizada por pequeñas cantidades de ácido nítrico.
- Descomposición por radiación ultravioleta: Este proceso es por la aplicación de luz ultravioleta, la cual rompe enlaces de unión del nitrógeno en el polímero de la nitrocelulosa.

En la descomposición de la nitrocelulosa produce nitratos inorgánicos y óxidos nítricos, al formarse estos se mezclan con la humedad del medio ambiente para formar el ácido nítrico y ácido sulfúrico los cuales son ácidos corrosivos, los óxidos de nitrógeno NO_2 y NO son tóxicos y nocivos. [Selwitz Charles 1988]

3.9. Filtro de trietanolamina (TEA)

La trietanolamina es un líquido, viscoso, incoloro o débilmente amarillento, es higroscópico, es miscible con agua y etanol, su fórmula es $C_6H_{15}NO_3$.

El bióxido de nitrógeno se puede determinar en aire por método de reacción Saltzman, con 0.1 N TEA en agua, donde se forma el ion nitrito NO_2^- , se presenta el mecanismo de TEA para capturar el NO_2 , mecanismo de la Figura 7.

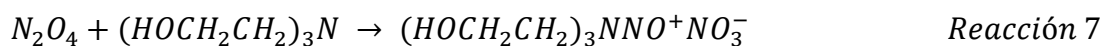
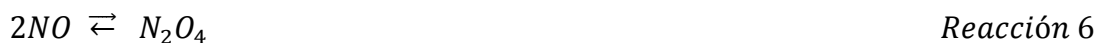
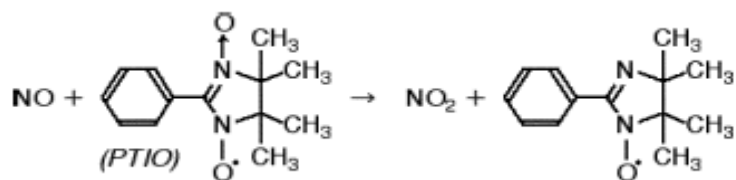


Fig. 7 Mecanismo de reacción de TEA para capturar NO_2

3.10 Filtro de PTIO y TEA

El 2-fenil-1-4,4,5,6-tetrametilimidazol-1-oxil-3-oxido (PTIO) es utilizado para la oxidación de NO y producir NO_2 , al tener el bióxido de nitrógeno este reacciona con la TEA para obtener el ion nitrito NO_2^- como se aprecia en el mecanismo citado en la Figura 8.



Reacción 9

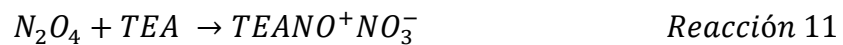


Fig. 8 Mecanismo de PTIO y TEA para el ion nitrito NO_2^-

4. Metodología

Se realizó un monitoreo pasivo de 8 días de óxido de nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno (NO₂) en fase gas para cuantificar las concentraciones de dichos contaminantes en instalaciones de resguardo de material fílmico de nitrato de celulosa. Este material debido a su peligrosidad se encuentra almacenado en construcciones diseñadas especialmente para ese fin, llamadas bóvedas. Se colocaron dispositivos pasivos de tipo Ogawa® uno en cada bóveda, 2 en el área de manejo y una en el área exterior.

El análisis de los extractos de los dispositivos Ogawa® se realizó por medio de cromatografía iónica modo supresión determinándose por esta técnica analítica ambos contaminantes NO y NO₂.

4.1 Sitio de muestreo

El sitio de muestreo es la zona de resguardo de material fílmico de nitrocelulosa, llamada comúnmente filmoteca, cuenta con 7 bóvedas de resguardo y un área de manejo de material. Cada una de las bóvedas cuenta con una doble pared de concreto, una puerta corrediza de acceso, un ventilador de techo sin motor, el techado es de material ligero prefabricado y las bóvedas no cuentan con electricidad. En un costado de las bóvedas se encuentra un paradero de autobuses foráneos a Diesel, en la Figura 9 se muestra un ejemplo de bóveda.



Fig. 9 Bóveda 4

4.2 Armado de los dispositivos Ogawa®

Los dispositivos Ogawa® (rejillas y cilindro de Teflón®) se lavan con un primer enjuague de agua desionizada, posteriormente se lavan con una solución al 5% de Extran®. Se sonicán por 15 minutos dos veces con agua desionizada con un cambio de agua limpia intermedio al terminar se dejan secar, como se muestra en la Figura 10.

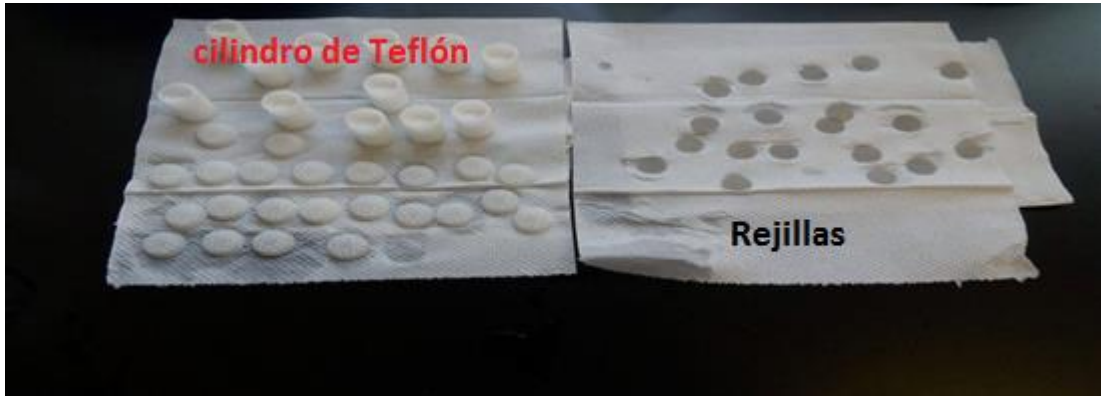


Fig. 10 Dispositivos Ogawa® y rejillas secando

4.2.1 Cámara de Aire Cero

Con la Figura 11, se observa una cámara de acrílico de 55 cm de ancho por 85 cm de largo, por 60 cm de alto, consta con dos orificios donde van colocados guantes largos de plástico para el manejo de los equipos e instrumentos en su interior. La cámara se conecta a un generador de aire cero (TELEDYNE INSTRUMENTS, modelo 701) que produce aire libre de contaminantes..



Fig. 11 Cámara de aire inerte

Los dispositivos Ogawa® se arman dentro de la cámara de aire cero para evitar cualquier contaminación del aire ambiente del laboratorio.

Se toma el dispositivo Ogawa® (tubo de Teflón®) en una de las caras se coloca una rejilla después un filtro de NO₂, sigue otra rejilla y por último se cierra una de las caras con su correspondiente tapón que ayuda a la difusión, se repiten los mismos pasos para la otra cara del dispositivo pero ahora poniendo un filtro de NO_x, ver Figura 12 y 13. Al finalizar el armado del dispositivo, se colocan en bolsas herméticas metalizadas.



Fig.12 Colocación de rejilla en dispositivo

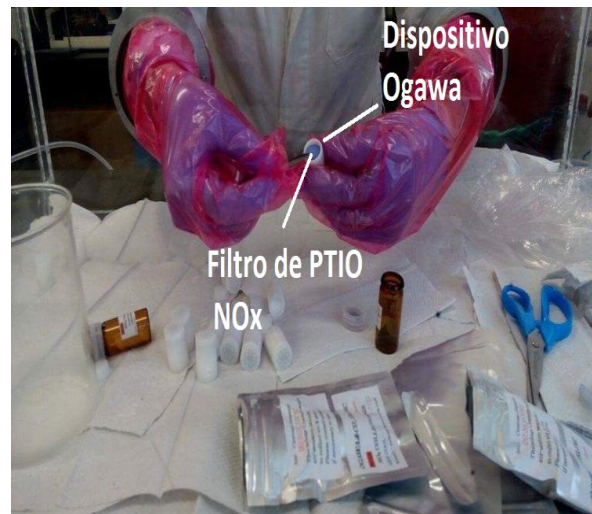


Fig.13 Colocación de Filtro para captación de NOx

4.3 Instalación de los equipos pasivos en el sitio de interés

Se colocaron los 10 dispositivos Ogawa® en las instalaciones de la filmoteca, uno en cada una de las siete bóvedas de resguardo, dos en el área de manejo del material y finalmente un dispositivo en el exterior que servirá para comparar las concentraciones de los óxidos de nitrógeno con el ambiente interior.

Los dispositivos se colocaron con ayuda de un soporte como el que se muestra en la figura 14.

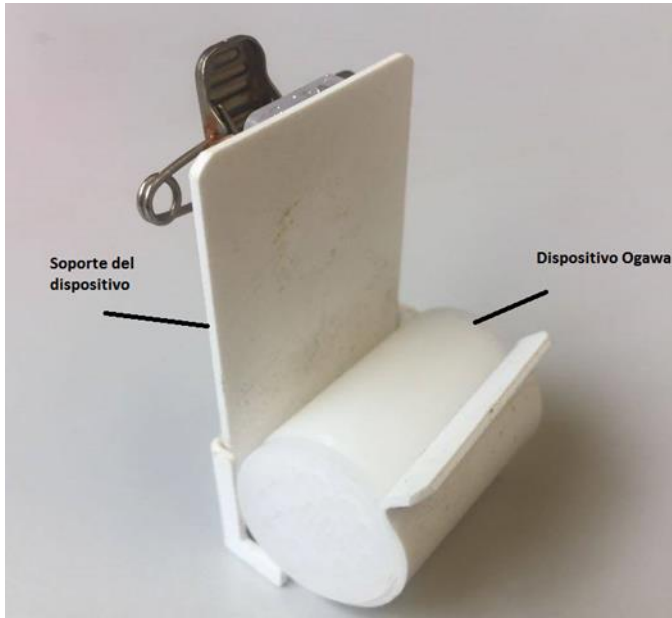


Fig. 14 Pasivo Ogawa® con soporte

Los dispositivos dentro de las bóvedas se colocaron en la parte superior de los anaqueles donde se encuentra el material fílmico, procurando que los dispositivos Ogawa® quedaran cerca de los instrumentos de medición de temperatura y humedad relativa, debido a que estos son factores importantes para calcular la concentración de óxidos de nitrógeno. La colocación de los dispositivos se realizó según las indicaciones del Protocolo Ogawa® [Ogawa &Co. USA, Inc., 2006].

Los dispositivos se colocaron por un periodo de 8 días, se registró la temperatura y humedad relativa de las bóvedas, las actividades se desarrollaron de manera normal.

La distribución de los pasivos en los sitios de muestreo se analizó como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de los sistemas Ogawa® durante el muestreo de NO y NO₂.

	Dispositivo NO	Dispositivo NO₂	Equipo de Temperatura	Equipo de Humedad Relativa
Bóveda 1	1	1	Data logger HOBO U12	Data logger HOBO U12
Bóveda 2	1	1	Data logger HOBO U12	Data logger HOBO U12
Bóveda 3	1	1	Termohigrograph YP No. 9700 De WiT INSTRUMENTS	Higrothermograph 7210 SIGMA II SATO
Bóveda 4	1	1	Termohigrograph YP No. 9700 De WiT INSTRUMENTS	Higrothermograph 7210 SIGMA II SATO
Bóveda 5	1	1	Termohigrograph YP No. 9700 De WiT INSTRUMENTS	Higrothermograph 7210 SIGMA II SATO
Bóveda 6	1	1	Termohigrograph YP No. 9700 De WiT INSTRUMENTS	Higrothermograph 7210 SIGMA II SATO
Bóveda 7	1	1	Termohigrograph YP No. 9700 De WiT INSTRUMENTS	Higrothermograph 7210 SIGMA II SATO
Área de revisión	2	2	Data logger HOBO UX100-011	Data logger HOBO UX100-011
Exterior	1	1	Datos del SIMAT Estación Pedregal	Datos del SIMAT Estación Pedregal

En las figuras 15 a la 18 se muestra la colocación de los pasivos en el interior de dos bóvedas y área de manejo.



Fig.15 y 16 Colocación de los dispositivos Ogawa®, en el interior de las bóvedas y área de manejo.



Fig. 17 y 18 Colocación del dispositivo Ogawa® e instrumento para medición de temperatura.

4.4 Extracción de Pasivos Ogawa®

Después de 8 días de muestreo se retiraron los dispositivos pasivos, cada uno se colocó en forma individual en bolsa metalizada etiquetada con el sitio de muestreo correspondiente, y fueron almacenados a 4°C, hasta su extracción y análisis, Figura 19.

La extracción de los filtros de los monitores pasivos se realizó en la cámara de aire cero. Tanto el filtro y malla se colocaron en un frasco de polipropileno de alta densidad Nalgene®, utilizando 8 mL de agua desionizada en cada frasco se sonicaron por un lapso de 30 minutos, Figura 20. El extracto es almacenado a 4°C, hasta su análisis por la técnica de cromatografía iónica con supresión.



Fig. 19 Extracción de filtros de NO₂ y NO_x



Fig. 20 Muestra de NO₂ y NO_x de las bóvedas en el sonicador

4.5 Técnica analítica

4.5.1 Método de supresión

4.5.1.1 Análisis de las muestras

Para el análisis de los filtros de los dispositivos Ogawa® por duplicado, se utilizó la técnica de cromatografía iónica [Willard, Merrit Jr., Dean, & Settle Jr., 1991] con supresión, integrada por el siguiente equipo y condiciones en el cromatografo (Tabla 2)

Cromatógrafo de líquidos marca Shimadzu:

- Bomba LC-20AD
- Comunicador CBM-20^a
- Detector de conductividad CDD-10A VP
- Horno CTO-20^a

Tabla 2 Condiciones cromatográficas

Tipo	PRP-X110S Intercambio de anión
Dimensión	150 x 4.1 mm
Tamaño de partícula	7 µm
Temperatura , pH	5- 30 °C , 13
Eluyente	1.7 mM NaHCO ₃ , 1.8 mM Na ₂ CO ₃ , 0.1 mM NaSCN, pH=10
Presión	< 1,500 psi
Detección	Supresor de conductividad
Volumen de inyección	100 µL

El supresor SAMS™ Standard (con membrana regeneradora 100 cm para cromatografía de aniones) se implementó de la siguiente forma:

Para la colocación en el supresor se usó la siguiente metodología [Instructions for use SeQuant® CARS™], primero se carga el cartucho CARS™, este un sistema que mantiene un ambiente ácido constante para el supresor SAMS™, donde continuamente son suministrados protones del cartucho CARS™ al supresor SAMS™ estos neutralizan los iones que puedan afectar el resultado de las muestras, pasándolos a sus respectivos ácidos (ver Figura 21).

Al cartucho CARS™ se le dejó pasar 250 mL de una solución ULB, esta solución ayuda a la regeneración de las membranas que se encuentran en el supresor, el cual es un ácido orgánico ultra puro que actúa como transporte de los protones entre los cartucho CARS™ y el supresor.

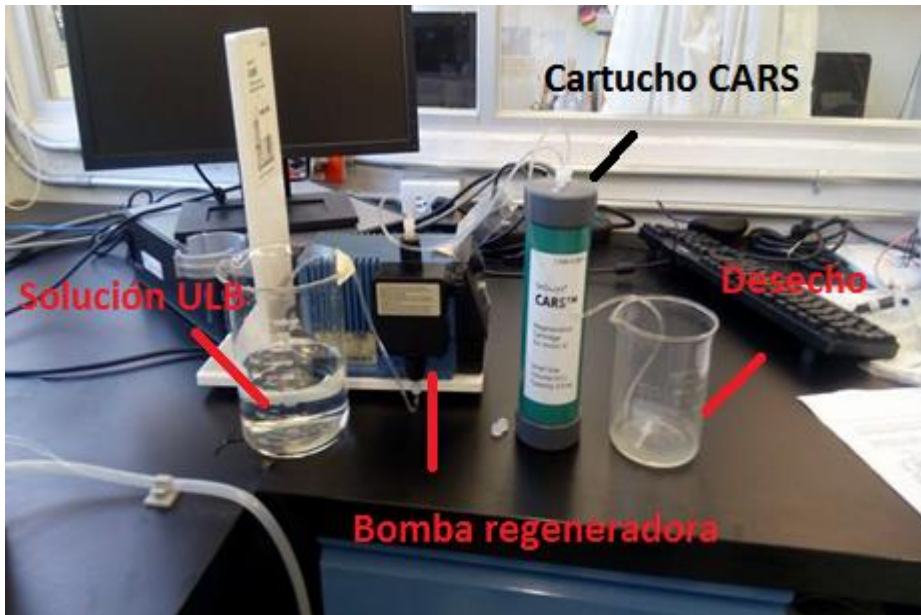


Fig.21 Conexión para pasar solución ULB al cartucho CARS™

En la Figura 22 se observa que el supresor cuenta con 2 entradas y 2 salidas, con lo cual al estar cargado el cartucho CARS™ se conectó por la entrada lateral del cartucho y la salida del supresor se conectó de nuevo al cartucho CARS™ dando un circuito entre el supresor y cartucho. En la otra entrada del supresor se conectó a la salida de la nuestra columna Hamilton PRP-X110S, la salida del supresor fue conectado al detector de conductividad CDD-10A VP, de esta manera podemos trabajar con el cromatografo, la bomba del supresor se trabajó a un nivel de 80 (ver Figura 23), teniendo el cromatografo montado ya se pueden realizar las inyecciones de las muestras como se observa en la Figura 24.



Fig. 22 Conexión del supresor SAMS™

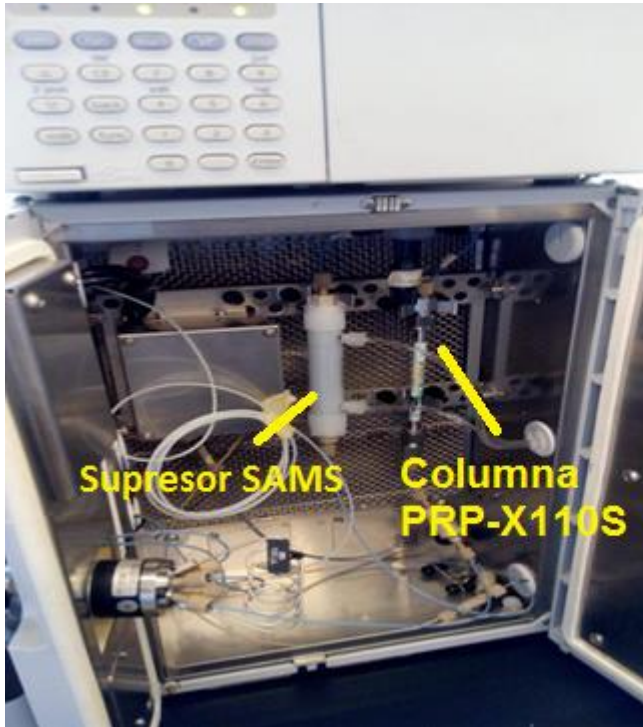


Fig. 23 Colocación de columna y supresor SAMS™

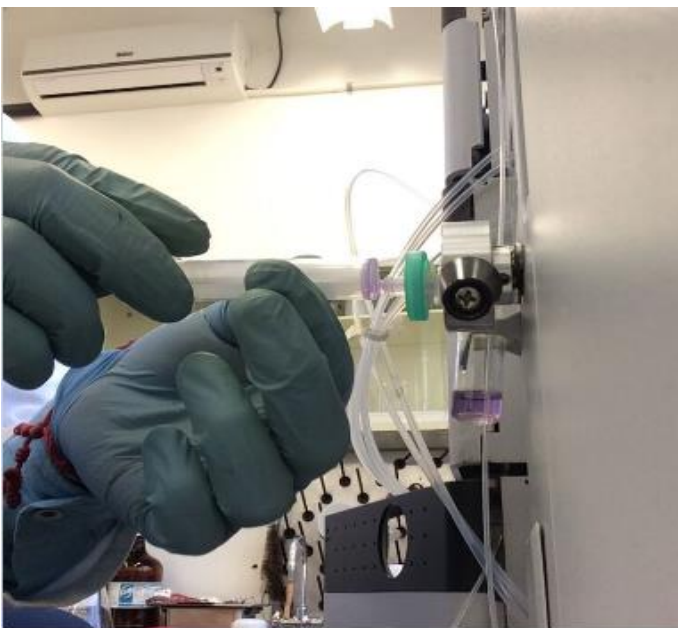


Fig. 24 Inyección de muestra de NO_x

4.6 Preparación de la fase móvil.

De acuerdo a los parámetros de la columna PRP-X110S, se utiliza la fase móvil; 1.8 mM de Na₂CO₃, 1.7 mM de NaHCO₃, 0.1 mM NaSCN, pH= 10.

Los reactivos se pesan en la balanza analítica con precisión 0.0006 mg, posteriormente se afora a 2000 mL con agua HPLC, después fue agitado hasta que se disolviera nuestro soluto (ver Figura 25) y por último fue llevado a sonicar por 15 minutos. En el Anexo A se encuentran los cálculos utilizados para la preparación de la fase móvil.

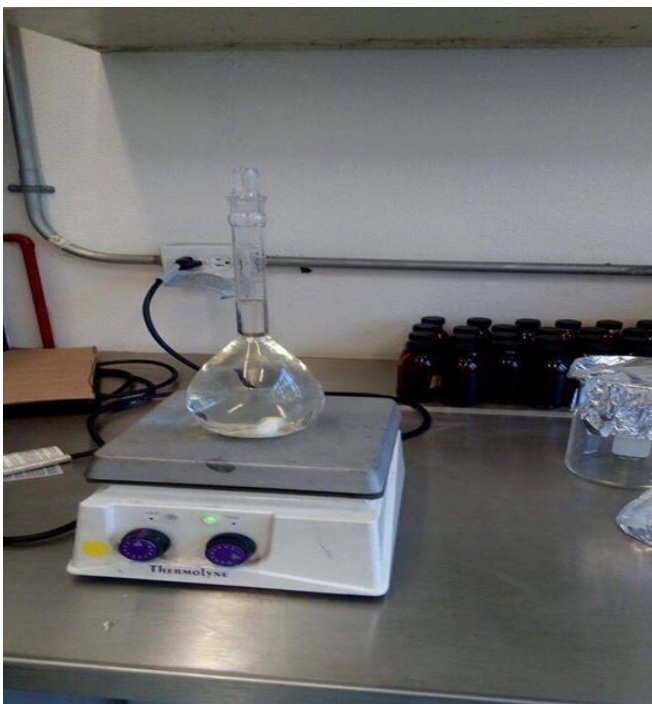


Fig. 25 Fase Móvil 1.8 mM de Na_2CO_3 , 1.7 mM de NaHCO_3 , 0.1 mM NaSCN

4.7 Parámetros de Calidad

Define los criterios de validación de métodos de cuantificación en este caso en la cromatografía de líquidos HPLC con supresión.

4.7.1 Curva de calibración para la cuantificación de NO_2

Se preparó una solución madre de NO_2 de concentración 20 ppm a partir de un estándar de calibración Marca HIGH-PURITY STANDARDS de 1000 ppm certificado, con esta disolución se prepararon 6 patrones de 1, 2, 3, 4, 5, y 6 ppm. Los cálculos se encuentran en el Anexo B.

La curva de calibración las concentraciones preparadas fueron de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 ppm, se utilizó una solución madre de 20 ppm de NO₂. Los cálculos se encuentran en el Anexo B.

Se analizaron los estándares por duplicado, con los resultados obtenidos por el cromatógrafo para construir la curva de calibración, en la Tabla 3 se muestra los resultados del cromatógrafo de los estándares, con dichos resultados se ha construido la curva de calibración para la determinación de NO₂ en fase acuosa por cromatografía iónica, se presenta en el gráfico 1.

Tabla 3. Resultado de los estándares por el cromatógrafo

Conc. [ppm] NO₂	ÁREA mV
1	34245
2	70141
3	115079
4	147531
5	174250
6	192218

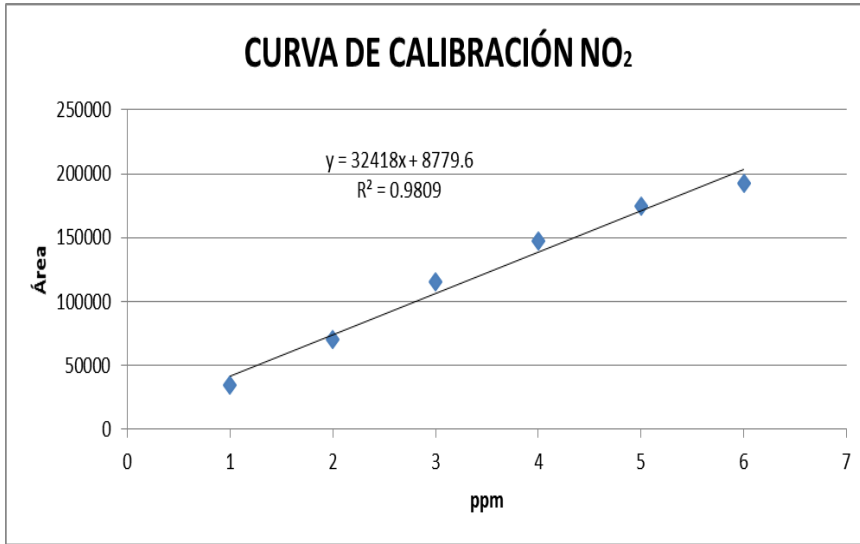


Gráfico 1. Curva de calibración para cuantificación de NO₂ en fase acuosa

4.7.2 Límite de detección y Límite de cuantificación

Se evaluó el límite de detección (LD), concentración más baja a la cual puede detectarse el analito y límite de cuantificación (LC), Es la concentración más baja a la cual el analito puede cuantificarse con una precisión y veracidad aceptables bajo las condiciones experimentales establecidas.

Para calcular LD y LC del cromatógrafo, se hizo por medio de curvas de calibración de NO₂ las ecuaciones para determinarlo fueron las siguientes; ver Anexo C

$$LD = \frac{3.3 * Sa}{m}$$

[Ec.8]

$$LC = \frac{6 * Sa}{m}$$

[Ec.9]

Donde:

Sa. Es la desviación estándar de la ordenada al origen de la curva de calibración de NO₂

m. Pendiente de la curva de calibración de NO₂.

Resultado de límites de detección y cuantificación

LD	2.19 ppm
LC	3.99 ppm

4.7.3 Incertidumbre

Se calculó la incertidumbre de la curva de calibración de NO₂, el material utilizado en la experimentación, al igual que la incertidumbre de la estructura del modelo. En la Tabla 4 se muestra la incertidumbre del material y sustancias ocupadas las cuales se encontraba en el equipo.

Tabla 4. Incertidumbre de materia y sustancia.

Material / Sustancia	Incertidumbres
Micropipeta 100-1000	± 0.0008 mL
Matraz aforado 50 mL	± 0.05 mL
Matraz aforado 25 mL	± 0.03 mL
Pipeta 10 MI	±0.06 mL
Estandar Nitrate	± 5µg/mL
Estandar Nitrite	± 10 µg/mL

En el Anexo D se muestra como obtener la incertidumbre de la curva de calibración NO₂ y de la estructura del modelo para calcular NO₂ y NO, los resultados de las incertidumbres se encuentran en la Tabla 5.

Incertidumbre promedio de la curva de calibración

±0.0328

Tabla 5. Incertidumbre de NO₂ y NO en ppm

Lugar de muestreo	incertidumbre NO2 en ppm	incertidumbre NO en ppm
bóveda 1	±0.001	±0.001
bóveda 2	±0.0007	±0.0005
bóveda 3	±0.002	±0.007
bóveda 4	±0.001	±0.003
bóveda 5	±0.009	±0.0004
bóveda 6	±0.001	±0.019
bóveda 7	±0.002	±0.02
Área de trabajo	±0.002	±0.0006
exterior	±0.002	±0.0004

5 Resultados y Análisis

5.1 Cromatogramas

El cromatograma es la representación gráfica de la señal que se obtiene a partir del detector. En las Figuras 26 y 27 se presentan dos ejemplos de cromatogramas típicos de análisis para determinar NO_2^- , de las muestras de NO_2 y NO_x , ya que el compuesto a cuantificar en ambos casos es NO_2 como se indica en las Figuras 7 y 8 del capítulo 3.

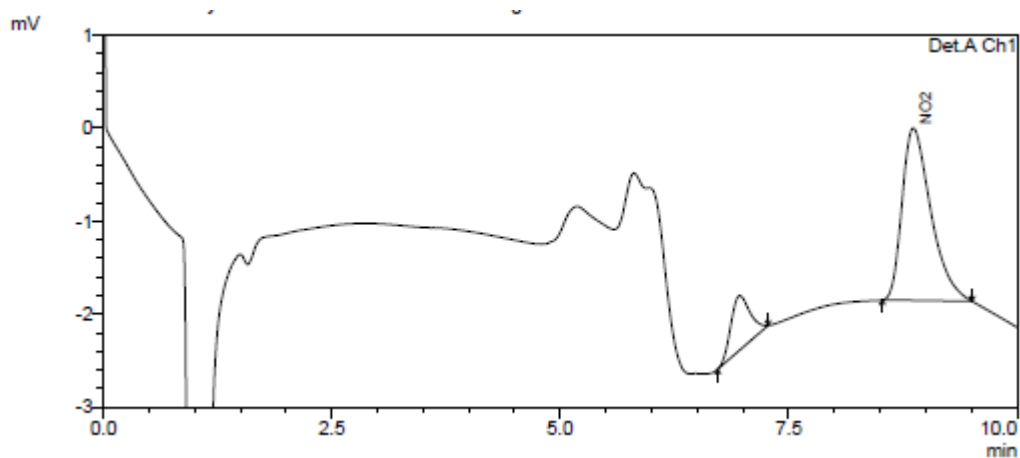


Fig.26 Cromatograma de bóveda 4 determinación de NO_2

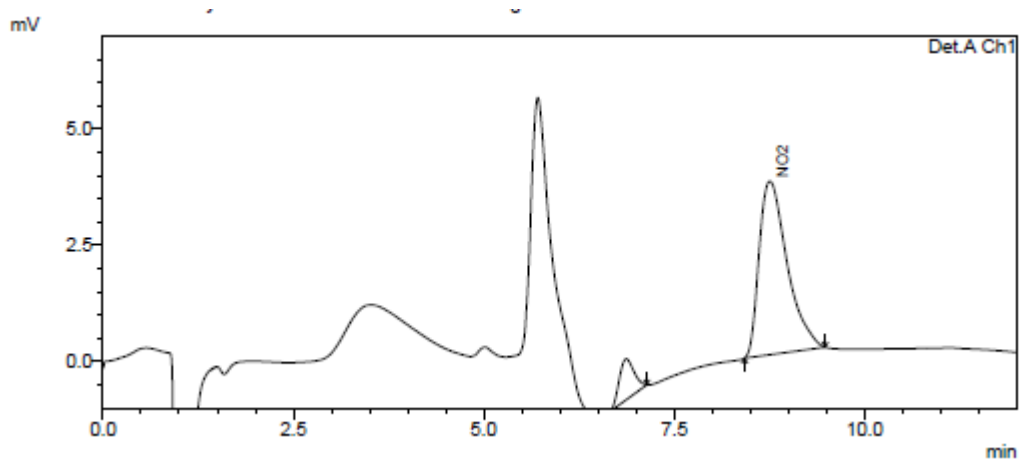


Fig.27 Cromatograma de bóveda 5 determinación de NO_2

5.2 Resultados de NO₂ y NO

Los resultados de las concentraciones promedio acumuladas en los sitios de muestreo se presenta en la tabla 7 en partes por billón en volumen (ppbv) de acuerdo con el protocolo Ogawa® [Ogawa &Co. USA, Inc.2006] y en partes por millón volumen (ppmv), en las condiciones promedio de temperatura y presión locales del sitio de muestreo 17°C y 0.76 atm.

$$[NO_x] = [NO] + [NO_2]$$

[Ec.10]

Se utilizó datos meteorológicos temperatura y humedad relativa durante el tiempo de muestreo para obtener el coeficiente de cada contaminante NO₂ y NO con las ecuaciones 11 y 12

$$\alpha NO_2 = \frac{10000}{(0.677 * (P * RH)) + (2.009 * T) + 89.8}$$

[Ec.11]

$$\alpha NO = \frac{10000}{(-0.78 * P * HR) + 220}$$

[Ec.12]

Donde:

T: temperatura promedio del tiempo de muestreo (°C)

RH: humedad relativa promedio del tiempo de muestreo (%)

P: la presión que se obtiene con la ecuación 13

$$P = \left(\frac{2 P_N}{P_T + P_N} \right)^{2/3}$$

[Ec.13]

P_N = presión de vapor de agua (17.54 mmHg a 20 °C)

P_T = presión de vapor de agua a temperatura ambiente (en tablas protocolo Ogawa®) [Anexo F]

Obtener WNO_2

$$WNO_2 = \frac{[Cc] * V}{1000mL}$$

[Ec.14]

donde:

[Cc]; Concentración del cromatograma

V; volumen de extracción (8 mL)

Se utiliza la misma ecuación para WNO_x , posteriormente de la ecuación 10 despejamos NO por lo tanto tenemos la ecuación 15

$$WNO = WNO_x - WNO_2$$

[Ec.15]

Para obtener los resultados por partes por billón (ppb), NO_2 y NO.

$$[ppb NO_2] = \alpha NO_2 \left(\frac{WNO_2}{t} \right)$$

[Ec.16]

$\alpha \text{ NO}_2$: coeficiente de conversión de concentración para NO_2

$W\text{NO}_2$: masa acumulada determinada por HPLC (ng)

t : tiempo de exposición del filtro en el ambiente (min)

$$[\text{ppb NO}] = \alpha \text{ NO} \left(\frac{W\text{NO}}{t} \right)$$

[Ec.17]

$\alpha \text{ NO}$: coeficiente de conversión de concentración para NO.

$W\text{NO}$: (masa acumulada NO_x) – (masa acumulada NO_x) determinado por HPLC (ng)

t : tiempo de exposición del filtro en el ambiente (min)

Tabla 6. Concentraciones (ppbv) y (ppmv) en condiciones locales

Sitio	Concentración (ppb) NO₂	Concentración (ppm) NO₂ (17°C y 0.76 atm)	Concentración (ppb) NO	Concentración (ppm) NO (17°C y 0.76 atm)
Bóveda 1	32.24 ± 1.28	0.032±0.001	31.40 ± 1.43	0.031±0.001
Bóveda 2	14.57 ± 0.58	0.014±0.0005	9.95 ± 0.45	0.009±0.00045
Bóveda 3	29.87 ± 2.41	0.029±0.0024	75.49 ± 6.83	0.075±0.006
Bóveda 4	33.33 ± 1.08	0.033±0.001	83.11 ± 3.03	0.083±0.003
Bóveda 5	102.27 ± 8.26	0.102±0.008	5.07 ± 0.46	0.005±0.0004
Bóveda 6	17.72 ± 1.44	0.017±0.001	216.97 ± 19.43	0.216±0.019
Bóveda 7	22.99 ± 1.88	0.022±0.001	218.93 ± 19.67	0.218±0.019
Área de trabajo promedio	50.81 ± 2.01	0.050±0.002	12.08 ± 0.55	0.012±0.0005
Exterior	53.41 ± 1.77	0.053±0.001	9.30 ± 0.40	0.0093±0.0004

5.3 Comparación los resultados con la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014

Dado que la normatividad vigente Norma Oficial Mexicana, NOM-010-STPS-2014 es para contaminantes químicos. De esta manera se verifica el cumplimiento de la para agentes químicos contaminantes del ambiente laboral que establece el Valor Límite de Exposición Promedio Ponderado en el Tiempo (VLE-PPT), esto es la concentración máxima promedio ponderada en el tiempo de un agente químico contaminante del ambiente laboral, a la que la mayoría de los trabajadores expuestos, durante una jornada de ocho horas diarias y una semana laboral de cuarenta horas, para el bióxido de nitrógeno (NO_2) en 0.2 ppm y para el óxido de nítrico (NO) en 25 ppm. Para la parte exterior se refiere a la NOM-023-SSA1-1993 Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de nitrógeno (NO_2). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO_2) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población con un Límite Máximo Permisible para una concentración promedio de 1 hora de 0.2 ppmv.

Tabla 7. Concentraciones en ppm y estandarizados, comparadas con los valores límite de exposición promedio ponderado en el tiempo (VLE-PPT) establecido con las Norma Oficial Mexicana aplicable para ambiente laboral.

Sitio	Concentración (ppmv) NO₂ (17°C y 0.76 atm)	VLE-PPT (ppmv) NOM-010-STPS-2014 para NO₂	Concentración (ppmv) NO (17°C y 0.76 atm)	VLE-PPT (ppmv) NOM-010-STPS-2014 para NO
Bóveda 1	0.032±0.001	0.2	0.031±0.001	25
Bóveda 2	0.014±0.0005	0.2	0.009±0.00045	25
Bóveda 3	0.029±0.0024	0.2	0.075±0.006	25
Bóveda 4	0.033±0.001	0.2	0.083±0.003	25
Bóveda 5	0.102±0.008	0.2	0.005±0.0004	25
Bóveda 6	0.017±0.001	0.2	0.216±0.019	25
Bóveda 7	0.022±0.001	0.2	0.218±0.019	25
Área de trabajo	0.050±0.002	0.2	0.012±0.0005	25
		Límite NOM-023-SSA1-1993		
Exterior	0.053±0.001	0.21	0.0093±0.0004	No hay normatividad

Existe una influencia de las emisiones de los autobuses foráneos de Dissel en las bóvedas 5, 6 y 7 que son las construcciones que colindan con dicho paradero (menos de 5 m.)

6. Conclusiones

Las concentraciones de óxido de nitrógeno y bióxido de nitrógeno en las áreas de trabajo son menores con respecto a las concentraciones del exterior (bióxido de nitrógeno 0.053 ppm y óxido nítrico 0.0093 ppm) excepto las bóvedas 5, 6 y 7 debido a influencias externas.

En base a los resultados obtenidos, la técnica de cromatografía de líquidos de alta resolución, usada es aplicable para la determinación de la concentración de NO y NO₂ en aire de un ambiente laboral.

Las concentraciones obtenidas en las diferentes áreas de trabajo, cumplen con la normatividad aplicable para el ambiente laboral, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014 para bióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido nítrico (NO) con límites máximos 0.2 ppm y 25 ppm (VLE-PPT) correspondientes.

No existe algún riesgo a la salud para los trabajadores en las diferentes áreas de trabajo.

7. Referencias

- ©Copyright, Merck SeQuant AB, (1997-2012). Instructions for Use SeQuant® CARS™ Continuous Auto-Regeneration System for SeQuant SAMS Suppressors, ©Copyright, Merck SeQuant AB.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2002). ÓXIDOS DE NITRÓGENO (monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, etc.). División de tecnología ToxFAQs™
- Atkins P.W. (1985) Fisicoquímica Oxford University Inglaterra
- Avram Gold. (1977). Stoichiometry of Nitrogen Dioxide Determination in Triethanolamine Trapping Solution. ANALYTICAL CHEMISTRY, 49, 1448-1450.
- AZoM. (2005). Nitrocellulose – Applications, Characterisation, Production and Storage - Supplier Data by Wolff Cellulosics a Division of Bayer Materialsience. 19 Julio 2017, de Azo Materials Sitio web: <https://goo.gl/YwP8Po>
- Barajas González Nancy C. (2011). Propuesta de mejora utilizando diseño de experimentos en el desarrollo de técnicas analíticas en un laboratorio farmacéutico. Maestría en Ingeniería Ambiental México CDMX, Instituto Politécnico Nacional.
- Brown Richard H. (2000) Monitoring the ambient environment with diffusive samplers: theory and practical considerations Environmental Science: Processes & Impacts.
- Charles Calmbacher. (2017). The Properties of Nitrocellulose. 19 Julio 2017, de Sciencing Sitio web: <https://goo.gl/g2GYAc>
- Copyright © 2017 Eastman Kodak Company. (2017). Nitrate Base Film. 9 Junio 2017, de Copyright © 2017 Eastman Kodak Company Sitio web: <https://goo.gl/Jwx1xV>
- Crespo Bartolomé Laura (2016). Uso de geles como captadores pasivos para la determinación de NO₂ . Ingeniería Química, Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

- Erazo Arcos Marcela A. (2016). Caracterización espacio-temporal de la contaminación atmosférica de partículas 2.5 μm , carbono negro y óxidos de nitrógeno al lado del arroyo vehicular. Maestría en Ciencias de la Tierra CDMX UNAM programa de posgrado en Ciencias de la Tierra.
- EROSKI CONSUMER. (30 de noviembre de 2005). Óxidos de nitrógeno Tienen diversos efectos negativos en el medio ambiente y la salud. 10 Julio 2017, de Eroski consumer Sitio web: <https://goo.gl/RdbxCF>
- Esteve Cano V., Delgado Saborit J. (2009). Medida de contaminantes Atmosféricos: métodos pasivos frente a métodos automáticos Depto. De Química Inorgánica y Orgánica, Universidad Jaume I, Castellón.
- Evaluación y control. <http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/nom/.pdf>
- Federación Empresarial de Industrias Gráficas de España (FEIGRAF), (2001), Guía para la Evaluación y Control de Riesgos Laborales en las pequeñas y medianas empresas del Sector de Artes Gráficas. España Fundación para la prevención de riesgos laborales.
- Fundación Iberoamericana de Seguridad y Salud Ocupacional. (2016). La importancia de la higiene industrial . 5 Julio 2017, de Fundación Iberoamericana de Seguridad y Salud Ocupacional Sitio web: <http://www.fiso-web.org/Content/files/articulos-profesionales/4102.pdf>
- Garcia de Marina Bayo Adrián. (2016). HPLC Instrumental. España: Universitat Politècnica de València.
- Haddad Paul R.. (1990). Ion chromatography principles and applications. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science Publishers
- Heftmann E. (1992). Chromatography 5th edition, fundamentals and applications of chromatography and related differential migration methods. Amsterdam, The Netherlands : Elsevier Science Publisher
- Janak Jaroslav. (1975). Liquid column Chromatography, A Survey of Modern Techniques and Applications. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Jessica Ángeles Razo (2011) “Determinación química de aniones en descargas naturales de la zona costera de bahía concepción, Baja California

Sur México; cromatografía iónica” (tesis de Licenciatura) Facultad de Química UNAM

- Koutrakis Petros (1993) Measurement of Ambient Ozone Using a Nitrate-Coated Filter Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health, Boston pp.209-214
- Lough W.J. (1995). High Performance Liquid Chromatography, Fundamental Principles and Practice. Great Britain: An Imprint of Chapman & Hall.
- Manrique Carvajal A. M.; Ossa Morales D. (2010). Validación de los métodos espectrofotométricos para la determinación de SO_x y NO_x en muestra de aire. Tecnóloga Química, Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Tecnología.
- Martinez Rivera A. (1994). Prevención y determinación de riesgos de trabajo. Ediciones Contables y Administrativas, S.A. de C.V.
- Michael Lederer. (1994). Chromatography for Inorganic Chemistry. England: Wiley.
- Miguel Ángel Sogorb Sanchez, Eugenio Vilanova Gisbert. (2015). Técnicas Analíticas de contaminantes químicos, aplicaciones toxicológicas, medio ambientales y alimentarias. Diaz de Santos.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2007). NO_x (óxidos de nitrógeno) . 10 Julio 2017, de PRTR España Sitio web: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2007). NO_x (óxidos de nitrógeno) . 10 Julio 2017, de PRTR España Sitio web: <https://goo.gl/Vvw2jz>
- Mirai Watanabe, Takejiro Takamatsu, Masami K. Koshikawa, Kazunori Sakamoto and Kazuyuki Inubushic. (2006). Simultaneous determination of atmospheric sulfur and nitrogen oxides using a battery-operated portable filter pack sampler. Journal of Environmental Monitoring, 8, 167-173.
- Ogawa & Co. USA. Inc. (2006). NO, NO₂, NO_x and SO₂ Sampling Protocol Using the Ogawa Sampler, Protocolo, Ogawa & Co. USA Inc.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. 13 Septiembre 2017, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: <https://goo.gl/GytCo3>

- Pedro Mateo Floria. (2002). Gestión de la Higiene Industrial en la empresa. Fundación Condemetal.
- S.V Krupa, A.H. Legge. (2000). Passive sampling of ambient, gaseous air pollutants: an assessment from an ecological perspective. Environmental Pollution, 107, 31-45.
- Saquilmer Vásquez E. A. (2016). Determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) por difusión pasiva, como indicador de la calidad del aire en 8 cabeceras departamentales de la República de Guatemala. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Sebastien Berthumeyriea, Steeve Collina, Pierre-Olivier Bussiere, Sandrine Theresa. (2014). Photooxidation of cellulose nitrate: New insights into degradation mechanisms. Journal of Hazardous Materials, 272, 137-147
- Secretaría de trabajo y previsión social (2012) <http://asinom.stps.gob.mx:8145/Centro/CentroMarcoNormativo.aspx>
- Segunda seccion poder ejecutivo secretaria del trabajo y prevision social (2012). NORMA Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral Reconocimiento,
- Selwitz Charles (1988). Cellulose Nitrate in conservation. U.S.A. The Getty Conservation Institute.
- SHIMADZU. Introduction to HPLC. 20 Julio 2017, de Shimadzu corporation Sitio web: <https://goo.gl/2wbLfr>
- Torres H.J, Montoya P.M., Castaño J.G. (2009). Determinación de NO₂ atmosférico mediante captadores pasivos y cromatografía de intercambio iónico, Ingeniería de Desarrollo.
- United States Army (1976) Chemical Characterization of nitrocellulose degradation products. United States Army, Natick Research and Development Command, Natick Massachusetts.
- V Gomis Yagües. (2008). TEMA 4. CROMATOGRFÍA DE LÍQUIDOS DE ALTA RESOLUCIÓN. En Técnicas Instrumentales en el Análisis Industrial (4.1-4.31).

- Valcárcel Cases M.. (1990). Técnicas Analíticas de Separación. España: Reverté, S.A.
- Vera Koester. (2016). What is HPLC? 20 Julio 2017, de Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Sitio web: <https://goo.gl/UX8pJw>
- Veronika R. Meyer. (1988). Practical High-performance Liquid Chromatography. University of Berne: Wiley.
- WATERS. (2017). Beginners Guide to Liquid Chromatography. 14 Julio 2017, de Waters The Science of what´s possible Sitio web: <https://goo.gl/L9kQJ8>
- Willard, Merrit Jr., Dean, & Settle Jr.. Instrumental Methods of Analysis (Chemistry) 1991

8.Anexos

Anexo A

Cálculos para la preparación de la fase móvil.

1.7 mM NaHCO₃ , PM= 84 g/ mol, pureza= 99.7%

$$n \text{ NaHCO}_3 = \left(0.0017 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right) (2\text{L}) = 0.0034 \text{ mol}$$

$$m \text{ NaHCO}_3 = (0.0034 \text{ mol}) \left(84 \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) \left(\frac{100\text{g}}{99.7\text{g}}\right) = 0.2865 \text{ g NaHCO}_3$$

1.8 mM Na₂CO₃, PM= 84 g/mol, pureza = 99.5%

$$n \text{ Na}_2\text{CO}_3 = \left(0.0018 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right) (2\text{L}) = 0.0036 \text{ mol}$$

$$m \text{ Na}_2\text{CO}_3 = (0.0036 \text{ mol}) \left(\frac{84 \text{ g}}{1 \text{ mol}}\right) \left(\frac{100 \text{ g}}{99.5 \text{ g}}\right) = 0.3040 \text{ g Na}_2\text{CO}_3$$

0.1 mM NaSCN, PM= 81.072 g/mol, pureza= 98%

$$n \text{ NaSCN} = \left(0.001 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right) (2\text{L}) = 0.0002 \text{ mol}$$

$$m \text{ NaSCN} = (0.0002 \text{ mol}) \left(\frac{81.072 \text{ g}}{\text{mol}}\right) \left(\frac{100 \text{ g}}{98 \text{ g}}\right) = 0.0162 \text{ g NaSCN}$$

Anexo B

Cálculos para los estándares de NO₂.

Se inició con la solución madre de 20 ppm aforando a 50 mL con agua desionizada, utilizando la siguiente ecuación. 18

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

[Ec.18]

$$C_1 = 1000 \text{ ppm} \quad V_1 = ?$$

$$C_2 = 20 \text{ ppm} \quad V_2 = 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{(20 \text{ ppm})(50 \text{ mL})}{(1000 \text{ ppm})}$$

$$V_1 = \frac{1000 \text{ ppm mL}}{1000 \text{ ppm}} = 1 \text{ mL NO}_2$$

Se utilizó 1 mL de NO₂ para la solución madre, posteriormente se prepararon los estándares 1, 2, 3, 4, 5 y 6 ppm utilizando la ecuación 15, aforando a 25 mL cada estándar.

$$C_1 = 20 \text{ ppm} \quad V_1 = ?$$

$$C_2 = 1 \text{ ppm} \quad V_2 = 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{(1 \text{ ppm})(25 \text{ mL})}{(20 \text{ ppm})} = 1.25 \text{ mL de la solución madre}$$

Los valores obtenidos para cada estándar son los que se presenta en la Tabla 9

Tabla 8. mL de la solución madre de NO₂ ocupado para cada estándar

Estándares ppm	Solución madre de NO₂ (mL)
1	1.25
2	2.5
3	3.75
4	5
5	6.25
6	7.5

Anexo C

Cálculos de límites de detección (LD) y límite de cuantificación (LC)

Teniendo la pendiente m y ordenada al origen de la curva de calibración de NO₂

$$m = 32418.47$$

$$a = 8779.6$$

Cálculo de la varianza de la regresión $S_{x/y}$ con la siguiente ecuación;

$$S_{x/y} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}}$$

[Ec.19]

$$S_{x/y} = 9468.75$$

Posteriormente el cálculo de la desviación estándar de la ordenada al origen

$$S_a = S_{x/y} \sqrt{\frac{\sum_i^n x_i^2}{n \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

[Ec.20]

$$S_a = 21592.08$$

Con los cálculos anteriores procedemos a calcular el límite de detección (LD) y de cuantificación (LC). Con las Ec. 8 y 9

$$LD = \frac{3.3 * 21592.08}{32418.47}$$

$$LD = 2.19$$

$$LC = \frac{6 * 21592.08}{32418.47}$$

$$LC = 3.99$$

Anexo D

Incertidumbre de la curva de calibración de NO₂

Medida total

$$\text{Medida} * \text{No. Veces utilizada} = \text{Medida Total}$$

[Ec.21]

De la solución madre de 20 ppm

$$500 \mu\text{L} * 2 = 1000 \mu\text{L}$$

Error total

$$\text{No. veces utilizada} * \text{Error} = \text{Error total}$$

[Ec.22]

± 0.0008 Incertidumbre de la micro pipeta

$$2 * 0.0008 = 0.0016$$

Incertidumbre

Ocupando la ecuación 18

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

[Ec.18]

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$

Donde;

C₁ es el estándar

V₁ Micropipeta

Aplicamos la incertidumbre con la siguiente ecuación

$$S_R = \sqrt{\frac{S_A^2}{A} + \frac{S_B^2}{B}}$$

[Ec.23]

$S_A = \pm 0.0016$ error total de micro pipeta

$S_B =$ Incertidumbre de estándares comprados $\pm 10 \mu\text{g} / \text{mL NO}_2$

$A = 1000 \mu\text{L}$

$B = 1000 \mu\text{L}$

$$S_R = \sqrt{\frac{0.0016^2}{1000} + \frac{10^2}{1000}}$$

$$S_R = 0.01$$

Ahora

$C_1V_1 = S_A$

$S_A = \pm 0.01$

$V_2 =$ matraz de 50 mL (Error total S_B)

$S_B = \pm 2.5$

Esta ecuación se aplica a la incertidumbre con la Ec.23

$$S_R = \sqrt{\frac{0.01^2}{1000} + \frac{2.5^2}{50}}$$

$S_R = 0.05$ Incertidumbre de la solución madre 20 ppm de NO₂

Se repite el mismo procedimiento para las disoluciones de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 ppm de NO₂, para obtener sus incertidumbres correspondientes, se presenta en la tabla 9, para sacar el promedio de las incertidumbres y obtener la incertidumbre de la curva de calibración de NO₂

Tabla 9. Incertidumbre de las soluciones y su promedio

Soluciones	Incertidumbre
Solución madre 20 ppm	0.05
Disolución 1	0.03
Disolución 2	0.03
Disolución 3	0.03
Disolución 4	0.03
Disolución 5	0.03
Disolución 6	0.03
Promedio	0.0328

Incertidumbre del modelo para calcular NO₂

Tabla 10. Incertidumbres de los equipos de temperatura y humedad relativa en las bóvedas correspondientes.

Lugar de muestreo	incertidumbre Temperatura °C	incertidumbre RH%
bóveda 1	0.35	2.5
bóveda 2	0.35	2.5
bóveda 3	1	5
bóveda 4	0.5	2
bóveda 5	1	5
bóveda 6	1	5
bóveda 7	1	5
Área de trabajo	0.21	2.5
Exterior	0.35	2

De la ecuación Ec.11, en donde RH y T tienen incertidumbre, por lo que se utiliza la siguiente Ec.24 de incertidumbre.

$$S_{\alpha NO_2} = \sqrt{S_{RH}^2 + S_T^2}$$

[Ec.24]

Utilizando los datos de la bóveda 1 en la Ec.24

$$S_{\alpha NO_2} = \sqrt{2.5^2 + 0.35^2}$$

$$S_{\alpha NO_2} = 2.52$$

Incertidumbre WNO_2 de acuerdo la ecuación Ec.14

C es la concentración de los estándares, utilizando la incertidumbre de la curva de calibración de NO_2 (± 0.03)

Volumen: son 8 mL y se utiliza la incertidumbre de la pipeta (± 0.06)

Usando la ecuación Ec.23

$$S_R = \sqrt{\frac{0.03^2}{0.74} + \frac{0.06^2}{8}}$$

S_A = incertidumbre de curva de calibración ± 0.03

A = resultado en ppm de acuerdo a la bóveda

S_B = incertidumbre de pipeta ± 0.06 mL

B = medida utilizada de agua desionizada 8 mL

Incertidumbre de WNO_2

$$S_R = 0.04$$

Incertidumbre de concentración en ppb de NO_2 con la Ec.16 nuevamente se ocupa la ecuación Ec.23

$$S_R = \sqrt{\frac{2.52^2}{63.49} + \frac{0.04^2}{5920.20}}$$

$S_A = \alpha NO_2$ incertidumbre de acuerdo a la bóveda

A = Medida de αNO_2 de acuerdo a la bóveda

$S_B = WNO_2$ incertidumbre de acuerdo a la bóveda

B = W NO de acuerdo a la bóveda

Incertidumbre de la concentración en ppb de NO_2

$$S_R = 0.04$$

Pasar de ppb a ppm

$$37.8 * \frac{0.04}{1000} = 0.0015$$

Incertidumbre de NO₂ en ppm de la bóveda 1:

0.0015 ppm

Para las incertidumbres para el contaminante NO_x se utilizó la Ec.15

C. incertidumbre promedio de la concentración del cromatograma para NO₂ (±0.03)

Volumen: la incertidumbre de la pipeta para medición de 8 mL (±0.6mL)

Con la Ec.23 utilizando datos de la bóveda 1

$$S_R = \sqrt{\frac{0.03^2}{1.572} + \frac{0.06^2}{8}}$$

S_A = incertidumbre de la curva de calibración

A = resultado de WNO_x en ppm de acuerdo a cada bóveda

S_B = incertidumbre de pipeta ± 0.06 mL

B = medida utilizada de agua desionizada 8 mL

Incertidumbre de WNO_x

$$S_R = 0.0222$$

De acuerdo con la Ec.15 se obtiene ahora la incertidumbre de WNO teniendo WNO_2 y WNO_x con la ecuación 24.

$$S_{wNO} = \sqrt{0.0222^2 + 0.0450^2}$$

S_A = incertidumbre de WNO_x de acuerdo a cada bóveda

S_B = incertidumbre de WNO_2 de acuerdo a cada bóveda

Incertidumbre WNO de la bóveda 1

$$S_{wNO} = 0.0450$$

Incertidumbre para αNO es la misma incertidumbre del equipo de la humedad relativa, se observa en la Ec.12 que solo interviene la humedad relativa, de la Ec.17 sacamos la incertidumbre de NO en ppb con la ecuación de incertidumbre Ec.23

$$S_{ppb NO} = \sqrt{\frac{2.5^2}{55} + \frac{0.0450^2}{6655.28}}$$

S_A = incertidumbre de αNO respecto a cada bóveda

A = medida de αNO respecto a cada bóveda

S_B = Incertidumbre de WNO respecto a cada bóveda

B = medida de WNO respecto a cada bóveda

Incertidumbre de ppb NO

$$S_{ppb\ NO} = 0.05$$

Por último realizar la conversión a ppm

$$32.09 * \frac{0.05}{1000} = 0.0015$$

Anexo E

Tratamiento de los resultados de los cromatogramas siguiendo el protocolo Ogawa® (Ogawa &Co. USA, Inc.2006).

Obtener la Presión de la bóveda 1 con la Ec.13

$$P = \left(\frac{2 * 17.54 \text{ mmHg}}{14.53 \text{ mmHg} + 17.54 \text{ mmHg}} \right)^{2/3}$$

P_N: 17.54 mmHg

P_T: 14.53 mmHg (Tablas del protocolo Ogawa® Anexo F)

$$P = 1.06 \text{ mmHg}$$

Coefficiente αNO_2 de la ecuación 11.

$$\alpha NO_2 = \frac{10000}{(0.677 * (1.06 \text{ mmHg} * 46.13)) + (2.009 * 17.20) + 89.8}$$

$$\alpha NO_2 = 63.49$$

Para Obtener WNO₂, se calculó un blanco con el cual se obtuvo el valor del cromatograma con la siguiente ecuación.

$$\text{resultado del cromatogrma} = \text{muestra del contaminate} - \text{muestra del blanco}$$

[Ec.25]

$$\text{resultado del cromatogrma} = 0.7965 - 0.056475$$

$$\text{resultado del cromatogrma} = 0.740025$$

$$WNO_2 = \frac{\text{Concentración cromatograma} * \text{Volumen}}{1000 \text{ mL}}$$

[Ec.14]

$$WNO_2 = \frac{0.740025 \text{ mg} * 8 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}$$

$$WNO_2 = 0.0059202 \text{ mg}$$

Conversión de mg – ng

$$0.0059202 \text{ mg} \left(\frac{1000000 \text{ ng}}{1 \text{ mg}} \right) = 5920.2 \text{ ng}$$

$$WNO_2 = 5920.2 \text{ ng}$$

Ahora calcular las ppb de NO₂ con la ecuación 11

$$[ppb \text{ NO}_2] = 63.49 \left(\frac{5920.2 \text{ ng}}{11660 \text{ min}} \right)$$

$$[ppb \text{ NO}_2] = 32.24$$

Calcular ppb de NO empezando con el coeficiente de NO con la ecuación 12.

$$\alpha \text{ NO} = \frac{10000}{(-0.78 * 1.06 \text{ mmHg} * 46.13) + 220}$$

$$\alpha \text{ NO} = 55.00$$

En el cálculo de WNO_x, se calculó de la forma de WNO₂

$$\text{resultado del cromatograma} = 1.756 - 0.184065$$

$$\text{resultado del cromatograma} = 1.571935 \text{ mg/mL}$$

$$WNO_x = \frac{1.571935 \text{ mg} * 8 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}$$

$$WNO_x = 0.01257548 \text{ mg}$$

Conversión de mg – ng

$$0.01257548 \text{ mg} \left(\frac{1000000 \text{ ng}}{1 \text{ mg}} \right) = 12575.48 \text{ ng}$$

$$WNO_x = 12575.48 \text{ ng}$$

Ahora para el cálculo de WNO con la siguiente ecuación 15

$$WNO = 12575.48 \text{ ng} - 5920.2 \text{ ng}$$

$$WNO = 6655.28 \text{ ng}$$

Calculando ppb de NO con la ecuación 12

$$[ppb \text{ NO}] = 55.00 \left(\frac{6655.28 \text{ ng}}{11660 \text{ min}} \right)$$

$$[ppb \text{ NO}] = 31.40$$

Conversión de ppb a ppm de NO₂ y NO

$$32.24 \text{ ppb} * \left(\frac{0.001 \text{ ppm}}{1 \text{ ppb}} \right) = 0.032 \text{ ppm NO}_2$$

$$31.40 \text{ ppb} * \left(\frac{0.001 \text{ ppm}}{1 \text{ ppb}} \right) = 0.031 \text{ ppm NO}$$

Anexo F

Tabla 11 Presión de vapor de agua en función de la temperatura. [Ogawa & Co., USA, Inc.2006]

Temperature [T] degC	Water Vapor Pressure [P _T] mmHg	Vapor Pressure Coefficient [P] dimensionless
-10	2.149	1.4697
-9	2.326	1.4609
-8	2.514	1.4518
-7	2.715	1.4421
-6	2.931	1.4320
-5	3.163	1.4213
-4	3.410	1.4101
-3	3.673	1.3984
-2	3.956	1.3861
-1	4.258	1.3732
0	4.579	1.3599
1	4.926	1.3459
2	5.294	1.3314
3	5.685	1.3164
4	6.101	1.3009
5	6.543	1.2849
6	7.013	1.2685
7	7.513	1.2515
8	8.045	1.2341
9	8.609	1.2163
10	9.209	1.1980
11	9.844	1.1794
12	10.518	1.1605
13	11.231	1.1412
14	11.987	1.1217
15	12.788	1.1018