

**DICTA INSTRUCCIÓN GENERAL QUE ESTABLECE
MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA LA NORMA PRIMARIA
DE CALIDAD DEL AIRE PARA DIÓXIDO DE NITRÓGENO.**

RESOLUCIÓN N° 592

SANTIAGO, 07 DE ABRIL DE 2025

VISTOS:

Lo dispuesto en el artículo segundo de la Ley N°20.417, que fija el texto de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante, "LOSMA"); en la Ley N°19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente (en adelante, "Ley N°19.300"); en la Ley N°19.880, que establece las Bases de los Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado; en la Ley N°18.834 que Aprueba el Estatuto Administrativo; en el Decreto Supremo N°5, de 2023, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la norma primaria de calidad del aire para el compuesto orgánico volátil benceno (en adelante, "D.S. N°5/2023 MMA"); en el Decreto con Fuerza de Ley N°3, de 2010, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que fija la Planta de Personal de la Superintendencia del Medio Ambiente y su Régimen de Remuneraciones; en la Resolución Exenta N°2207, de 2024, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que fija su organización interna y deja sin efecto resoluciones exentas que indica; en el Decreto Supremo N°70, de 2022, del Ministerio del Medio Ambiente, que nombra a la Superintendente del Medio Ambiente; en la Resolución Exenta RA N°119123/98/2023, de 2023, de la Superintendencia del Medio Ambiente que nombra a la Jefa de la División de Fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente; en la Resolución Exenta RA 119123/73/2024, de 2024, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que nombra Fiscal de la Superintendencia del Medio Ambiente; y, en la Resolución N°36, de 2024, de la Contraloría General de la República, que fija norma sobre exención del trámite de toma de razón.

CONSIDERANDO:

1. Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 2° de la LOSMA, la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante e indistintamente "Superintendencia" o "SMA") es el servicio público creado para ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las Resoluciones de Calificación Ambiental, de las medidas de los Planes de Prevención y/o de Descontaminación Ambiental, del contenido de las Normas de Calidad Ambiental y Normas de Emisión, y de todos aquellos otros instrumentos de gestión ambiental que establezca la ley, así como imponer sanciones en caso que se constaten infracciones de su competencia.

2. Que, la letra ñ) del artículo 3 de la LOSMA, establece que esta Superintendencia tiene como atribución impartir directrices técnicas de carácter general y obligatorio, definiendo los protocolos, procedimientos y métodos de análisis que los organismos fiscalizadores, las entidades acreditadas conforme a dicha ley y, en su caso, los sujetos de fiscalización deberán aplicar para el examen, control y medición del cumplimiento de las normas de calidad y de emisión.

3. Que, la letra s) del artículo 3 de la LOSMA, faculta a la Superintendencia para dictar normas e instrucciones de carácter general en el ejercicio de las atribuciones que le confiere la Ley.

4. Que, por Decreto Supremo N°114, de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (en adelante, "D.S. N°114/2002 MINSEGPRES"), se estableció la Norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno (NO₂).

5. Que, a través de la Resolución Exenta N°1307, de fecha 23 de octubre de 2019, del Ministerio del Medio Ambiente y publicada en el Diario Oficial el día 30 de octubre de 2019, se puso término al proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire para monóxido de carbono (CO); ozono (O₃) y dióxido de nitrógeno (NO₂), y se dio nuevo inicio al proceso de revisión del Decreto Supremo N°114, de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece Norma Primaria de Calidad de Aire para Dióxido de Nitrógeno(NO₂).

6. Que, el Decreto Supremo N°40, de 2023, del Ministerio del Medio Ambiente, publicado en el Diario Oficial con fecha 23 de septiembre de 2024 (en adelante, "D.S. N°40/2023 MMA"), establece la Norma primaria de calidad del aire para dióxido de nitrógeno (NO₂), elaborada a partir de la revisión del D.S. N°114/2002 MINSEGPRES.

7. Que, el artículo 12 del D.S. N°40/2023 MMA, señala que, dentro del plazo de seis meses desde su entrada en vigencia, la SMA mediante resolución, establecerá las metodologías de medición para la norma primaria de calidad de aire para el dióxido de nitrógeno, previo informe del Ministerio de Medio Ambiente.

8. Que, la atribución de esta Superintendencia para dictar la presente instrucción que establece los métodos de medición, proviene tanto del mandato general contenido en el artículo 2° de la LOSMA que le entrega el seguimiento y fiscalización del contenido de las normas de calidad ambiental -lo que implica velar porque se cumplan las condiciones establecidas en la norma-, así como de la propia norma de calidad que mandata a la SMA a dictar la presente instrucción.

9. Que, mediante Oficio Ordinario N°527, de fecha 07 de marzo de 2025, de la Superintendencia, se solicitó al Ministerio del Medio Ambiente, informe previo del artículo 48 bis de la Ley N°19.300, respecto de la Instrucción General "Métodos de medición para la norma primaria de calidad del aire para el dióxido de nitrógeno". Dicho requerimiento fue reiterado mediante el ORD. N°637, de fecha 24 de marzo de 2025, de la SMA.

10. Que, a través del Oficio Ordinario MMA N°01943/2025, de fecha 26 de marzo de 2025, el Ministerio del Medio Ambiente remite informe previo favorable y precisa alcances, según el artículo 48 bis de la Ley N°19.300.

RESUELVO:

PRIMERO. APRUÉBESE la siguiente instrucción de carácter general que establece, "**Métodos de medición para la norma primaria de calidad del aire para dióxido de nitrógeno (NO₂)**", cuyo texto es el siguiente:

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el artículo 12 del Decreto Supremo N°40, de 2023, del Ministerio del Medio Ambiente que estableció la “Norma primaria de calidad del aire para dióxido de nitrógeno (NO₂)” (en adelante, “D.S. N°40/2023 MMA” o “NPCA NO₂”), la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante, “Superintendencia” o “SMA”), debe establecer las metodologías de medición mediante resolución.

De esta manera, se establece la siguiente instrucción con los métodos de medición idóneos para la medición y la obtención de concentraciones de NO₂, con el objeto de que las mediciones sean de calidad asegurada.

El presente documento considerará válidos los métodos de medición para NO₂, descritos en el listado de “Métodos de Referencia y Equivalentes”, publicado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica o que cuenten con aprobación de alguna de las agencias de los países miembros de la Comunidad Europea que implementan las directrices del Comité Europeo para Estandarizaciones.

Además, los instrumentos de medición deben cumplir los criterios establecidos en la Resolución Exenta N°1449, de 2023, de la SMA, que dicta instrucciones de carácter general que establecen los requisitos técnicos para la instalación, funcionamiento y operación de los instrumentos en estaciones de muestreo y medición de calidad del aire y meteorología, o la resolución que posteriormente la reemplace.

2. OBJETIVOS

La presente instrucción tiene como objetivo establecer el, o los métodos de medición válidos, para la norma de calidad del aire de dióxido de nitrógeno (D.S. N°40/2023 MMA), o la que la norma de calidad que la reemplace.

3. DEFINICIONES

A continuación, se establecen las siguientes definiciones que aplican a este instructivo:

- Absorbancia: es una medida que indica la atenuación de la radiación al atravesar una sustancia. Es una propiedad que describe la capacidad de una sustancia para absorber la luz en función de su concentración y longitud de onda. Cuanto mayor es la absorbancia, mayor es la cantidad de luz absorbida por la sustancia.
- EMRPG: estación de monitoreo con representatividad poblacional para el gas dióxido de nitrógeno (NO₂).
- Espectrometría: técnica analítica utilizada para medir la concentración o cantidad de especies específicas en una muestra mediante el uso de un espectrómetro. Este instrumento permite identificar sustancias a través del espectro emitido o absorbido por ellas.
- ICA: instrumento de carácter ambiental, tales como resoluciones de calificación ambiental, planes de prevención y, o de descontaminación ambiental, normas de calidad ambiental, normas de emisión y todos aquellos otros instrumentos de carácter ambiental que establezca la ley.

- Quimioluminiscencia: se define como la emisión de radiación electromagnética producida por una reacción química (García-Campaña, Baeyens, et al. 2001).
- Tiempo de residencia dentro del instrumento de medición: período de tiempo para que el aire de muestra sea transportado desde la entrada del instrumento de medición a la cámara de reacción, para el canal de NO. Para evitar un cambio significativo en las concentraciones de NO y NO₂, el tiempo de residencia en el instrumento de medición debe ser ≤ 3 s.

4. ALCANCES DE LA INSTRUCCIÓN

Los destinatarios de la presente instrucción son todos aquellos titulares de estaciones de vigilancia de la calidad del aire que han sido instaladas en cumplimiento de una obligación dispuesta en un ICA, así como las estaciones de vigilancia pertenecientes a privados que forman parte del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) u otra plataforma que lo reemplace, y las estaciones de carácter públicas o privadas que hayan sido calificadas como estaciones de monitoreo con representatividad poblacional para gases (EMRPG) para dióxido de nitrógeno (NO₂) y que realicen mediciones de calidad del aire del parámetro dióxido de nitrógeno (NO₂).

Cabe destacar que el objeto de esta instrucción es concordante con lo dispuesto por el artículo 1 del D.S. N°40/2023 MMA que señala que, la norma primaria de calidad del aire tiene por objetivo proteger la salud de las personas de los efectos agudos y crónicos generados por la exposición a dióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire.

5. MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂)

Los instrumentos de medición para dióxido de nitrógeno deben utilizar métodos de medición que estén incluidos en la lista de Métodos denominados de Referencia y Equivalentes publicada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica o que cuenten con aprobación de alguna de las agencias de los países miembros de la Comunidad Europea que implementan las directrices del Comité Europeo para estandarizaciones o equivalente.

Cabe señalar que, los tipos de medición para dióxido de nitrógeno (NO₂) pueden ser discretas (muestreo pasivo, muestreo activo) o continua (automática y en tiempo real). Para el monitoreo de dióxido de nitrógeno (NO₂), esta Superintendencia considerará válido para efectos de evaluar la norma, solo el tipo de medición continuo y en tiempo real.

Dado que uno de los objetivos de la norma es proteger la salud de las personas de los efectos agudos causados por la exposición de NO₂, en este sentido el único tipo de medición que permite obtener datos en tiempo real es la medición de tipo continua. Hay que señalar que, los métodos continuos y en tiempo real serán utilizados para efecto de evaluación normativa, debido a que la medición continua permite evaluar la norma en su nivel horario e implementar los niveles que originarán situaciones de emergencia ambiental para dióxido de nitrógeno (NO₂), tabla N°1 del artículo 8° del D.S. N°40/2023 MMA.

5.1. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN CONTINUOS PARA MEDIR DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂)

Los métodos de medición que se describen en el presente punto, deben cumplir con los criterios establecidos en el punto 5 de este documento (continuo, automático, tiempo real y tener

certificación del método de medición). Además, el instrumento de medición debe proporcionar concentraciones continuas y en tiempo real que permitan evaluar la norma de NO_2 en su totalidad. A continuación, se describen los métodos de medición que cumplen con los requisitos mencionados:

- Quimioluminiscencia: se basa en la reacción de quimioluminiscencia en fase gaseosa de NO con O_3 , que produce NO_2 estimulado emitiendo luz.
- CAPS Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy (en español, Espectroscopia de desplazamiento de fase atenuado por cavidad): la espectroscopia CAPS depende del cambio de fase que se produce cuando la luz en una cavidad revestida de espejos sufre un cambio por el paso de una muestra de gas. El cambio de fase es directamente proporcional a la concentración de NO_2 en la muestra.
- Absorbancia: se basa en el principio de que las moléculas absorben radiación electromagnética en las regiones ultravioleta (UV) y visible del espectro, con una relación directamente proporcional entre la cantidad de luz absorbida y la concentración del analito.

Cabe destacar que, para que un método de medición para dióxido de nitrógeno sea de referencia o equivalencia debe estar en conformidad con el Título 40, Parte 53 del Código de Reglamentos Federales (40 CFR Parte 53). A continuación, se detallan los métodos de medición para dióxido de nitrógeno (NO_2):

5.1.1. Método de medición por Quimioluminiscencia

La medición continua de dióxido de nitrógeno (NO_2), mediante la técnica de la quimioluminiscencia, consiste en provocar la reacción del monóxido de nitrógeno con el ozono para formar dióxido de nitrógeno excitado. Parte de estas moléculas que se forman se encuentran en estado excitado como consecuencia del salto de electrones a niveles de energía más altos. Estas moléculas excitadas, al volver a su estado fundamental, emiten una radiación quimioluminiscente detectable.

a) Descripción del método de medición Quimioluminiscencia

Las concentraciones atmosféricas de dióxido de nitrógeno (NO_2) son medidas indirectamente por fotometría, método capaz de medir la intensidad de luz emitida producto de una reacción química como la quimioluminiscencia, en longitudes de onda mayor a 600 nanómetros.

En primer lugar, la muestra de aire se hace pasar a través del filtro de muestra (para prevenir la contaminación del sistema que transporta el gas, especialmente los componentes ópticos del instrumento de medición), posteriormente el monóxido de nitrógeno (NO) llega a un caudal constante a la cámara de reacción del instrumento de medición, donde se mezcla con un exceso de ozono (O_3) para la determinación sólo de monóxido de nitrógeno. La radiación emitida (quimioluminiscencia) es proporcional al número de moléculas de monóxido de nitrógeno en el volumen de detección y por tanto proporcional a la concentración de monóxido de nitrógeno. La radiación emitida se filtra mediante un filtro óptico selectivo y se convierte en señal eléctrica mediante un tubo fotomultiplicador o un fotodiodo.

Por otra parte, el dióxido de nitrógeno (NO_2) pasa a través de un convertidor donde es reducido cuantitativamente a monóxido de nitrógeno (NO) y se analiza del mismo modo que se indicó anteriormente. La señal eléctrica obtenida del tubo fotomultiplicador o fotodiodo es proporcional a la suma de las concentraciones de dióxido y monóxido de nitrógeno. La cantidad de dióxido de

nitrógeno se calcula de la diferencia entre esta concentración y la obtenida sólo de monóxido de nitrógeno (cuando el aire muestreado no ha pasado a través del convertidor).

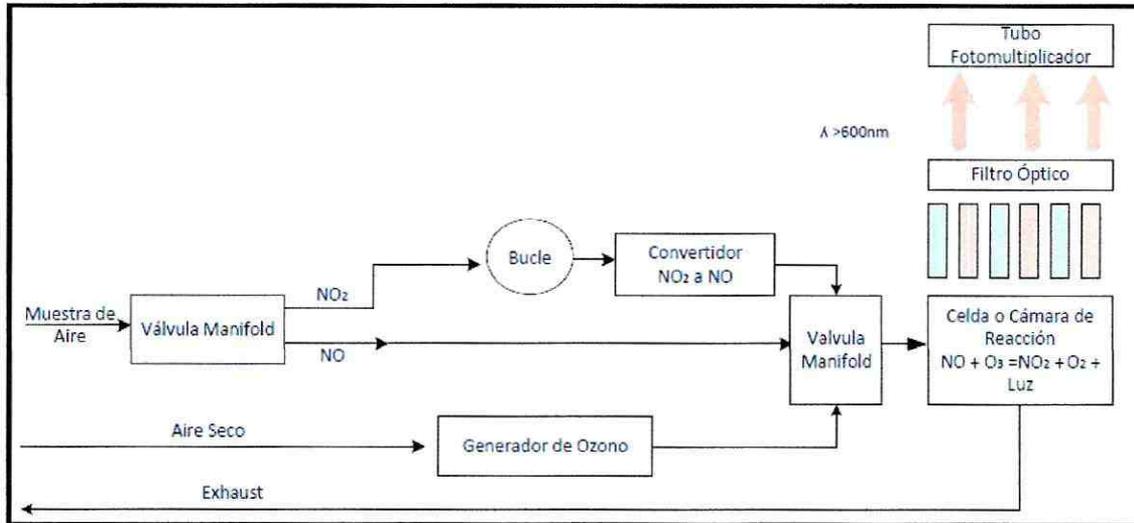


Figura 1. Referencia de principio de funcionamiento de instrumento de medición con método Quimioluminiscencia (Fuente: Elaboración propia)

b) Principales componentes del instrumento de medición de NO_2 por metodología Quimioluminiscencia:

- Celda o cámara de reacción: la cámara de reacción debe estar construida de un material inerte. Debe calentarse la cámara de reacción a una temperatura constante superior a la temperatura del aire alrededor. En la práctica, la temperatura habitual es de 40°C a 50°C . La reacción quimioluminiscente se lleva a cabo a presión reducida para minimizar los efectos de apagado y para incrementar la sensibilidad.
- Convertidor: corresponde a un horno que se mantiene a temperatura constante y su principal función en el instrumento de medición es reducir el dióxido de nitrógeno (NO_2) en la muestra de aire a monóxido de nitrógeno (NO). Los convertidores de acuerdo con su material pueden ser de: acero inoxidable, cobre, molibdeno, tungsteno o carbono espectroscópicamente puro. El convertidor debe ser capaz de convertir al menos el 95 % dióxido de nitrógeno a monóxido de nitrógeno a una temperatura no superior 400°C .
- Filtro Óptico: el filtro óptico debe eliminar la radiación a longitudes de onda inferiores a 600nm , para minimizar cualquier interferencia producida por la reacción quimioluminiscente con los hidrocarburos insaturados, los cuales irradian a estas longitudes de onda.
- Generador de ozono: el ozono se genera a partir de oxígeno, mediante radiación ultravioleta o mediante una descarga eléctrica de alto voltaje. Si se usa oxígeno del aire ambiente para la generación de ozono mediante una descarga eléctrica de alto voltaje, es esencial que el aire sea secado fuertemente y filtrado antes de entrar en el generador. Si el ozono se genera a partir de aire sintético de una pureza analítica de reconocida procedencia de un cilindro de gas comprimido, este aire sintético puede pasar directamente al generador. La concentración de ozono producida debe ser suficientemente alta para mantener la falta de ajuste requerida del analizador. Una concentración baja de ozono originará una respuesta no-lineal a la concentración de dióxido y monóxido de nitrógeno.
- Tubo Fotomultiplicador o fotodiodo: es un dispositivo de detección de fotones que utiliza el efecto fotoeléctrico combinado con una emisión secundaria para convertir la luz en una

señal eléctrica. Un fotomultiplicador o fotodiodo absorbe la luz emitida por el centelleador y la reemite en forma de electrones a través del efecto fotoeléctrico. En el caso particular de la medición de NO_2 , este es utilizado para detectar la quimioluminiscencia creada por la reacción del monóxido de nitrógeno (NO) con ozono (O_3) en la celda de reacción.

5.1.2. Método de medición por Espectroscopia CAPS (Desplazamiento de fase atenuado por cavidad)

El método espectrometría CAPS es aquel que mide la absorción de luz para detectar moléculas de dióxido de nitrógeno (NO_2) en el aire. En el sistema CAPS, la luz se introduce en una cavidad con espejos altamente reflectantes. Cuando la luz rebota dentro de la cavidad, interactúa con las moléculas de dióxido de nitrógeno (NO_2), provocando un cambio de fase. Posteriormente, el sistema mide este desplazamiento de fase para determinar la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) en la muestra.

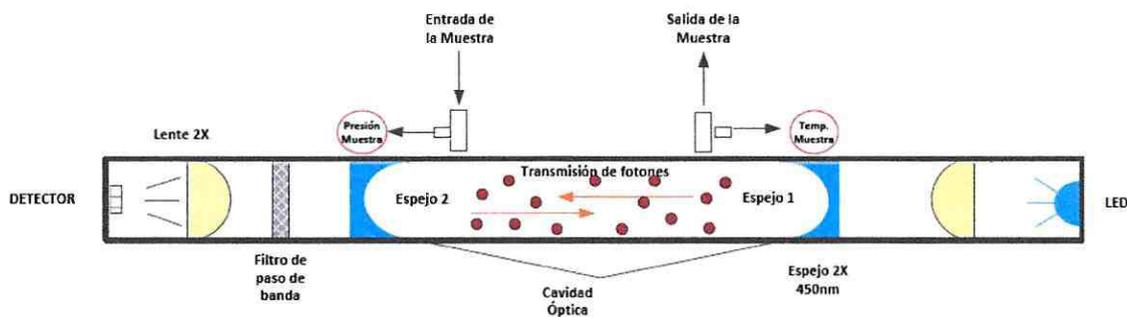


Figura 2. Referencia celda de absorción óptica (Fuente: Elaboración propia)

a) Descripción del método de medición CAPS

El sistema CAPS emplea como fuente lumínica un diodo emisor de luz azul (LED) centrado a 450nm, además, utiliza una celda de muestreo que incorpora dos espejos de alta reflectividad y un fototubo detector en vacío. Esta eficiencia se basa en el hecho de que el dióxido de nitrógeno (NO_2) es un amplio absorbedor de luz en la región visible del espectro.

Los espejos de alta reflectividad están directamente unidos a los extremos de la celda, formando la cavidad óptica que provee la medida de la concentración. El LED, el filtro y la parte óptica enfocada están unidos directamente a la celda de muestreo. La luz que emana de la celda es introducida en un fototubo de vacío donde la señal resultante se integra, se digitaliza y se envía a la computadora interna donde tiene lugar el subsecuente procesamiento de datos. La celda de muestra contiene sensores tanto de presión como de temperatura lo cual permite contar con una corrección precisa del coeficiente de absorción del óxido de nitrógeno y la sustracción del nivel de fondo.

Cabe destacar que, el método de medición CAPS realiza la determinación directa de dióxido de nitrógeno (NO_2), por otra parte, no requiere de un convertidor de molibdeno y tampoco utiliza un generador de ozono.

b) Componentes del instrumento de medición de NO_2 por metodología CAPS:

- Cavidad óptica: corresponde a una cámara cilíndrica hueca de acero inoxidable, cerrada en cada extremo por espejos de alta reflectividad.

- Detector: el detector se ubica detrás del otro espejo, en el extremo opuesto de la celda donde está ubicado el LED. El tiempo de vida del fotón, proporciona un tiempo suficiente para medir la absorbancia cuando hay NO_2 presente.
- Filtro de paso de banda (Bandpass Filter): un filtro de interferencia al paso de banda estrecho (10 nm de ancho) se ubica en frente del detector.
- Luz LED: se utiliza un diodo emisor de luz (LED) para emitir luz ultravioleta (UV) en la celda, con una longitud de onda de banda de 450 nm, como fuente de fotones para el proceso de absorción en la cavidad. El LED está ubicado detrás de un espejo en un extremo de la celda.

5.1.3. Método de medición por absorbancia directa a 405nm

Este método, se basa en el principio de que las moléculas absorben radiación electromagnética en las regiones ultravioleta (UV) y visible del espectro, con una relación directamente proporcional entre la cantidad de luz absorbida y la concentración del analito.

a) Descripción del método de medición por absorbancia

A diferencia de los instrumentos que utilizan como principio de medición la quimioluminiscencia, en el que el dióxido de nitrógeno (NO_2) debe convertirse en monóxido de nitrógeno (NO) utilizando un convertidor de molibdeno o fotolítico con una eficiencia altamente variable, para este método de medición, se emplea la absorbancia directa de luz visible a 405nm. En este tipo de método, la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) se determina directamente por absorbancia, de forma similar a un instrumento de medición de ozono.

Debido a que el dióxido de nitrógeno (NO_2) tiene una sección transversal de absorción mucho más baja que el ozono, se utiliza una celda plegada con espejos de esquina para producir una ruta de absorbancia larga de $\sim 2\text{m}$, para lograr aproximadamente la misma sensibilidad para el dióxido de nitrógeno (NO_2) que para el ozono (O_3), respecto de los instrumentos de medición de ozono basados en absorbancia UV.

El uso de una longitud de onda a 405 nm se debe a que ninguna otra especie que se encuentre en el aire ambiente tiene una absorbancia significativa a esa longitud de onda, lo que hace que este método de medición sea extremadamente selectivo para dióxido de nitrógeno (NO_2).

b) Principales componentes del instrumento de medición de NO_2 por metodología absorbancia directa a 405nm:

Las principales componentes de este tipo de metodología de medición son: el fotómetro tubular plegado, la celda óptica, el fotodiodo, tubo de Nafion y los espejos.

6. REPORTE

De acuerdo con el artículo 15 de la NPCA NO_2 , los propietarios de una o más estaciones que fueran calificadas como EMRPG para el gas dióxido de nitrógeno (NO_2), deberán reportar a la SMA el resultado de la medición continua de dióxido de nitrógeno (NO_2) de conformidad a las directrices, protocolos, requerimientos o instrucciones que para tales efectos señale esta Superintendencia.

7. REFERENCIAS

1. Norma Europea EN 14211:2013 ha sido elaborada por el Comité Técnico CTN 77/SC 2 - Aire-Ambiente, cuya Secretaría desempeña DIN.
2. EPA, 2024. List of designated reference and equivalent methods.
https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-12/amtic-list-december-2024_final.pdf

SEGUNDO. PUBLICIDAD. El texto de la presente resolución, será archivado en la Oficina de Partes de la SMA, y además, estará accesible al público en la página del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA), sin perjuicio de su publicación en el Diario Oficial.

TERCERO. VIGENCIA. La presente resolución entrará en vigencia el día hábil siguiente al de su publicación en el Diario Oficial.

ANÓTESE, COMUNÍQUESE, PUBLÍQUESE EN EL DIARIO OFICIAL, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE.



MARIE CLAUDE PLUMER BODIN
SUPERINTENDENTA DEL MEDIO AMBIENTE



SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE
SUPERINTENDENTA
GOBIERNO DE CHILE

BRS/JAA/CLV/CBC/CPH/JRF/KSN/ILC

Distribución:

- Ministerio del Medio Ambiente. Correo electrónico: oficinadepartessmma@mma.gob.cl
- División calidad del aire, Ministerio del Medio Ambiente. Correo electrónico: CTolvett@mma.gob.cl

C.c:

- Gabinete, SMA.
- Fiscalía, SMA.
- División de Fiscalización, SMA.
- Oficina de Partes, SMA

Expediente cero papel N°6906/2025