



Resolución Ministerial

N° 093 -2019-MINAM

29 MAR 2019

Lima,

VISTOS; el Memorando N° 00188-2019-MINAM/VMGA, del Viceministerio de Gestión Ambiental; el Informe N° 00052-2019-MINAM/VMGA/DGCA/DCAE, de la Dirección de Calidad Ambiental y Ecoeficiencia de la Dirección General de Calidad Ambiental; el Informe N° 00142-2019-MINAM/SG/OGAJ, de la Oficina General de Asesoría Jurídica; y,

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la citada Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del mismo artículo, establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas y es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, mediante Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire, cuya Segunda Disposición Complementaria Final dispuso que mediante Decreto Supremo, a propuesta del Ministerio del Ambiente (MINAM), en coordinación con las autoridades sectoriales competentes, se apruebe el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad Ambiental de Aire;

Que, dicho mandato es coherente con lo dispuesto por el literal e) del numeral 5.3 del artículo 5 del Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del MINAM, aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2017-MINAM, el mismo que establece como función específica del MINAM aprobar los lineamientos, las metodologías, los procesos y los planes para la aplicación de los ECA y LMP, en los diversos niveles de gobierno, de acuerdo con la normatividad vigente y en coordinación con los sectores correspondientes;



Que, en virtud del literal d) del artículo 15 del ROF del MINAM, el Viceministerio de Gestión Ambiental propone los referidos lineamientos, metodologías, procesos y planes para la aplicación de los ECA y LMP. Asimismo, en mérito de lo dispuesto en el artículo 68 del citado ROF, la Dirección General de Calidad Ambiental, dependiente del Viceministerio de Gestión Ambiental, es el órgano de línea responsable de formular, proponer, fomentar e implementar de manera coordinada, multisectorial y descentralizada los instrumentos técnicos-normativos para mejorar la calidad del ambiente;

Que, en ese sentido, la Dirección de Calidad Ambiental y Ecoeficiencia de la Dirección General de Calidad Ambiental ha elaborado el proyecto de "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire", instrumento que permite estandarizar los criterios técnicos para el monitoreo ambiental del aire en el país, a fin de generar información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa, el cual requiere ser puesto en conocimiento del público para recibir las opiniones y sugerencias de los interesados, conforme a lo dispuesto en el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS;

Con el visado del Viceministerio de Gestión Ambiental, de la Dirección General de Calidad Ambiental y de la Oficina General de Asesoría Jurídica;

De conformidad con el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente; el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire; el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2017-MINAM;

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Disponer la prepublicación del Proyecto de Decreto Supremo que aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire.

Dicha publicación se realizará en el Portal Institucional del Ministerio del Ambiente (<http://www.minam.gob.pe/consultaspublicas>), a fin de conocer las opiniones y/o sugerencias de los interesados, por un plazo de diez (10) días hábiles, contados a partir del día siguiente de la publicación de la presente Resolución Ministerial en el Diario Oficial El Peruano.

Artículo 2.- Las opiniones y/o sugerencias sobre el Proyecto de Decreto Supremo señalado en el artículo 1 de la presente resolución deberán ser remitidas, por escrito, al Ministerio del Ambiente, sito en la Avenida Antonio Miroquesada N° 425, 4to piso, Magdalena del Mar, Lima y/o a la dirección electrónica ecaylmp@minam.gob.pe.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

Lucía Delfina Ruíz Ostoic
Ministra del Ambiente





Decreto Supremo

Nº -2019-MINAM

DECRETO SUPREMO QUE APRUEBA EL PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la citada Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley, establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas y es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, mediante Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, cuya Segunda Disposición Complementaria Final dispuso que mediante Decreto Supremo, a propuesta del Ministerio del Ambiente (MINAM), en coordinación con las autoridades sectoriales competentes, se apruebe el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad Ambiental de Aire;

Que, en ese sentido, el Ministerio del Ambiente ha elaborado el "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire", instrumento que permite estandarizar los criterios técnicos para el monitoreo ambiental del aire en el país, a fin de generar información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa;

Que, dicha propuesta fue publicada con el objeto de recibir aportes y comentarios de los actores interesados y la ciudadanía en general, dando cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS;



De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Aprobación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire

Apruébese el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, que como Anexo forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2.- Publicación

El Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, aprobado en el artículo precedente, es publicado en el Portal del Estado Peruano (www.peru.gob.pe) y en el Portal Institucional del Ministerio del Ambiente (www.gob.pe/minam), el mismo día de la publicación del presente Decreto Supremo en el Diario Oficial "El Peruano".

Artículo 3.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, la Ministra de Salud, el Ministro de Transportes y Comunicaciones, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumentos de gestión ambiental aprobados o en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares de los instrumentos de gestión ambiental que se encuentren aprobados o hayan iniciado un procedimiento administrativo para su aprobación, deberán adecuar sus programas de monitoreo al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, en un plazo máximo de tres (3) años contados a partir de la vigencia de la presente norma.

Segunda.- Acreditación de las instituciones públicas

Las instituciones públicas que realicen acciones de monitoreo de la calidad ambiental del aire deben encontrarse acreditadas de conformidad con lo establecido en el punto M.2 del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. Las instituciones públicas, en caso no se encuentren acreditadas, tienen un plazo máximo de tres (3) años para contar con la primera acreditación.

Para las instituciones públicas que no cuenten actualmente con acreditación vigente de acuerdo a lo establecido en el punto M.2 del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, deben adecuarse al "Programa de implementación gradual de criterios de acreditación relacionados al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire".

Tercera.- Programa Nacional de implementación gradual del protocolo y normas de calidad

El Ministerio del Ambiente, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad debe elaborar el "Programa de implementación gradual de criterios de acreditación relacionados al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire" para la adecuación de las instituciones públicas correspondientes. Dicho programa debe aprobarse en un plazo de ciento ochenta (180) días hábiles.

Dentro del plazo señalado en el párrafo anterior, el Instituto Nacional de Calidad incorporará el Protocolo en sus directrices de acreditación asociadas al monitoreo de la calidad ambiental del aire.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los días del mes de del año dos mil diecinueve.



PROYECTO DE DECRETO SUPREMO QUE APRUEBA PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE

EXPOSICIÓN DE MOTIVOS

I. Análisis de la legalidad y constitucionalidad del decreto supremo

El numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú reconoce el derecho fundamental de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Sobre la base de esta norma constitucional, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, señala que *“toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, (...) asegurando particularmente la salud de las personas”*.

Ahora bien, en mérito al principio de prevención contemplado en el artículo VI de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, se plantean como objetivos prioritarios de la gestión ambiental en el Perú, el prevenir, vigilar y evitar la degradación ambiental, mediante instrumentos de gestión ambiental, considerados como medios operativos diseñados, normados y aplicados con carácter funcional o complementario, para efectivizar el cumplimiento de la Política Nacional del Ambiente y las normas ambientales que rigen en el país.

Entre los instrumentos de gestión ambiental aplicados por el Estado con fines de prevención, se encuentra el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), el cual —de acuerdo con el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley N° 28611— se define como *“(...) la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.”*

El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas; además, constituye un referente obligatorio en el diseño y aplicación de los diferentes instrumentos de gestión ambiental, tales como los establecidos dentro del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), creado mediante Ley N° 27446.

En el marco de lo antes mencionado, se emitió el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, por el cual se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental para Aire y se establecieron disposiciones complementarias para su implementación. La Segunda Disposición Complementaria Final de dicha norma, establece que mediante Decreto Supremo, a propuesta del Ministerio del Ambiente y en coordinación con las autoridades competentes, se aprobará un Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, en un plazo máximo de ciento ochenta (180) días calendario, contados desde la entrada en vigencia del referido dispositivo.

Dicho mandato es coherente con lo dispuesto por el literal e) del numeral 5.3 del artículo 5 del Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del MINAM, aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2017-MINAM, el mismo que establece como función específica del MINAM aprobar los lineamientos, las metodologías, los procesos y los planes para la aplicación de los ECA y LMP, en



los diversos niveles de gobierno, de acuerdo con la normatividad vigente y en coordinación con los sectores correspondientes.

Asimismo, es de considerar que en virtud del literal d) del artículo 15 del ROF del MINAM, el Viceministerio de Gestión Ambiental propone los referidos lineamientos, metodologías, procesos y planes para la aplicación de los ECA y LMP. Asimismo, en mérito de lo dispuesto en el artículo 68 del citado ROF, la Dirección General de Calidad Ambiental, dependiente del Viceministerio de Gestión Ambiental, es el órgano de línea responsable de formular, proponer, fomentar e implementar de manera coordinada, multisectorial y descentralizada los instrumentos técnicos-normativos para mejorar la calidad del ambiente.

En virtud de lo antes mencionado, el Ministerio del Ambiente, a través de la Dirección General de Calidad Ambiental, en coordinación con las autoridades competentes, elaboró la propuesta de protocolo nacional de monitoreo de calidad del aire, la cual incorpora las opiniones de diferentes entidades públicas e instituciones privadas, en concordancia con el principio de gobernanza ambiental en la toma de decisiones ambientales, recogido en el artículo XI del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

En efecto, para la elaboración de la propuesta de norma se realizaron reuniones de trabajo que contaron con la participación de instituciones públicas, así como con los representantes de las entidades sectoriales competentes, considerando que se trata de una norma de aplicación con efectos generales y de aplicación transectorial. Además, se desarrollaron reuniones de socialización con los representantes de los laboratorios, a fin de recoger sus comentarios y permitiendo así el ejercicio oportuno del derecho de participación ciudadana en la gestión ambiental.

Sin perjuicio, la propuesta de norma fue publicada con el objeto de recibir aportes y comentarios de los actores interesados y la ciudadanía en general, dando cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS.



Finalmente, cabe resaltar que el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad Ambiental del Aire debe ser aprobado mediante Decreto Supremo, dado que se trata de una norma de carácter general que regula una actividad multisectorial funcional a nivel nacional, de conformidad con el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo.

II. Del sustento para la aprobación del Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad Ambiental del Aire

II.1. Mecanismos previos orientados a generar la estandarización de criterios técnicos:

En el año 2001, mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, se aprobaron por primera vez en el país los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire. Precisamente, mediante la Primera Disposición Transitoria del referido decreto supremo se determinó que a efectos de medir la calidad ambiental del aire en el

país, era necesario contar con directivas y normas que regulen los aspectos técnicos requeridos para las mediciones.

En ese sentido, mediante Resolución Directoral N° 1404/2005/DIGESA/SA, la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (DIGESA) aprobó, en el año 2005, el "Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de los Datos".

De igual manera, algunas autoridades sectoriales establecieron también criterios técnicos por medio de otros protocolos, los cuales se listan a continuación:

- Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones para actividades Minero Metalúrgicas (Ministerio de Energía y Minas, 1993).
- Protocolo de Monitoreo de calidad de Aire y Emisiones Sub Sector Hidrocarburos (Ministerio de Energía y Minas, 1994).
- Protocolo para el Monitoreo de Emisiones Atmosféricas y Calidad del Aire de la industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos, aprobado por el Ministerio de la Producción mediante Resolución Ministerial N° 194-2010-PRODUCE.

A su vez, el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), el cual asumió funciones del Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y Propiedad Intelectual (INDECOPI), a través del Subcomité técnico de normalización "Métodos de monitoreo y medición de estándares de calidad ambiental" (SCTN 19.3), conformado el 21 de enero del 2002, ha venido elaborando y aprobando, en el marco de sus competencias, normas técnicas para el monitoreo de la calidad ambiental del aire y emisiones.

II.2. Necesidad de reforma de la estandarización

Cualquier camino hacia la solución de un problema, implica en primera instancia la identificación clara y concreta del problema que permita orientar la toma de decisiones. En el caso de la gestión de la calidad ambiental del aire, el primer paso corresponde a la identificación de los niveles en los que se encuentran presentes los contaminantes del aire.

La certeza del conocimiento de los niveles en los que se encuentren presentes los contaminantes del aire, a lo largo del país, permitirá a los tomadores de decisión de los distintos niveles de gobierno establecer y aplicar medidas de prevención y mitigación con mayor eficiencia y eficacia.

Como se puede observar de lo señalado en el punto anterior, se han dado pasos importantes hacia la estandarización de los criterios técnicos para el monitoreo ambiental de la calidad del aire en el país. Sin embargo, es importante identificar aquellas brechas aún existentes a fin de generar información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa. Algunas de las principales brechas se detallan a continuación:

a) Estado de los criterios técnicos aprobados en los protocolos vigentes:

Uno de los protocolos más completos de los que se encuentran vigentes en la normativa nacional corresponde al aprobado mediante Resolución Directoral N° 1404/2005/DIGESA/SA en el año 2005. Sin embargo, el protocolo aprobado por DIGESA fue elaborado únicamente para las escalas local y urbana¹.

¹ Véase el Punto 6: "Escalas del monitoreo" del Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de los Datos.



Por otro lado, cabe precisar que actualmente, en los diversos protocolos vigentes, la manera en que son abordados y aplicados los aspectos técnicos para el aseguramiento y control la información del monitoreo de la calidad del aire no poseen una estructura funcionalmente apropiada. En ese sentido, en la actualidad no es posible tener la certeza total de que todos los procesos vinculados al monitoreo de la calidad del aire cumplan los criterios de aseguramiento y control de la calidad necesarios.

Asimismo, en materia de calidad del aire, los protocolos sectoriales publicados por el Ministerio de Energía y Minas y el Ministerio de la Producción no cuentan, entre otros aspectos, con criterios técnicos que soliciten la verificación de una trazabilidad a lo largo de todos los procesos vinculados al monitoreo de la calidad.

b) Parámetros que no cuentan con criterios de estandarización ni normas técnicas:

Debido a que la gran mayoría de protocolos vigentes para el monitoreo de calidad ambiental del aire han sido elaborados y aprobados con anterioridad a la aprobación de nuevos ECA para aire, existen parámetros que en muchos de los casos no cuentan con criterios técnicos vigentes, tales como:

- Material particulado con menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$).
- Benceno (C_6H_6).
- Mercurio Gaseoso Total (Hg).
- Sulfuro de Hidrógeno (H_2S).

De igual manera, parámetros como el C_6H_6 o el H_2S no cuentan con normas técnicas peruanas ni criterios técnicos que permitan conocer los procedimientos de medición aplicables. En razón a ello, a la fecha, es posible que en algunos casos los monitoreos se estén llevando acabo con la aplicación de normas internacionales orientadas a ambientes ocupacionales y no a calidad ambiental del aire, como en el caso del C_6H_6 , cuyo monitoreo suele realizarse aplicando las 2 normas técnicas siguientes:

- ASTM D3686 – 13: Standard Practice for Sampling Atmospheres to Collect Organic Compound Vapors (Activated Charcoal Tube Adsorption Method).
- ASTM D3687 – 07 (Reapproved 2012): Standard Practice for Analysis of Organic Compound Vapors Collected by the Activated Charcoal Tube Adsorption Method.

c) Reporte de la información deficiente hacia los tomadores de decisiones:

En relación al reporte de la información, es importante recordar, como se ha indicado al inicio de la sección II.2 de la presente exposición de motivos, que contar con información respecto a los niveles en los que se encuentran presentes los contaminantes del aire constituye un primer e importante paso para la toma de decisiones en el proceso de la gestión de la calidad del aire.

En ese sentido, no solamente es necesario que la información de la calidad del aire sea resultado de un proceso técnicamente adecuado y estandarizado, sino que la información llegue a los tomadores de decisión en el momento oportuno.

Los protocolos nacionales actuales no contemplan dentro sus criterios técnicos aspectos vinculados al reporte y centralización de la información proveniente



de los monitoreos de calidad del aire para su acceso por de los tomadores de decisiones de los tres niveles de gobierno. Razón por la cual, a la fecha no se cuenta con información oportuna que sirva de insumo para la gestión ambiental.

d) Recomendaciones de instituciones internacionales:

Con relación a los ECA para Aire, la Evaluación de Desempeño Ambiental del Perú (2016), publicada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), recomienda al país fortalecer la infraestructura de redes de monitoreo de la calidad del aire de forma que permita verificar adecuadamente el cumplimiento de los ECA.

Además del mencionado déficit en infraestructura, tampoco se cuentan con procedimientos adecuados y confiables para el aseguramiento y control de la calidad de la información generada, lo cual conlleva a la gestión de datos poco organizada o sistematizada.

Por todos los motivos descritos, resulta indispensable contar con un protocolo nacional para el monitoreo de la calidad del aire, que establezca y uniformice los criterios y lineamientos técnicos de medición, pues ello permitirá generar información oportuna y precisa para su difusión y verificación del cumplimiento de los ECA, así como para el desarrollo de instrumentos de mitigación, prevención y estudios de correlación causa-efecto en la salud pública.

En virtud de todos los aspectos considerados en la presente exposición de motivos, de conformidad con el artículo 133 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, resulta pertinente se apruebe el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad Ambiental del Aire.

II.3. Estructura y diseño del Protocolo:

El protocolo nacional define los criterios para el diseño de redes o estaciones de monitoreo (parámetros, puntos de monitoreo, periodos y frecuencias) basadas en una planificación previa y sustentada en aspectos técnicos. Asimismo, se determinan los métodos que resultan aplicables para el monitoreo de la calidad del aire, así como aquellos aspectos que deben ser considerados al momento de su aplicación.

Igualmente, en la medida que es fundamental la difusión de información de calidad del aire para la toma de decisiones, el protocolo también desarrolla los requerimientos técnicos necesarios para un adecuado procesamiento y reporte de la información generada.

Esta estructura se encuentra alineada a la necesidad de que el documento responda a las siguientes preguntas: ¿por qué medir?, ¿qué medir?, ¿dónde medir?, ¿cuándo medir?, ¿cómo medir y reportar? En ese sentido, cada uno de los capítulos que forman parte del protocolo están diseñados y estructurados para dar respuesta a estas preguntas. A continuación, se presenta una tabla con el sustento técnico de cada capítulo.



Tabla N° 01.- Estructura y diseño del Protocolo

Capítulo(s)	Importancia	Principales documentos que lo sustentan
Diseño de Redes para el monitoreo (Capítulo C)	Se establecen los criterios de localización y número de estaciones de monitoreo de calidad de aire según el enfoque y objetivo de monitoreo. Asimismo, se detallan los elementos principales para determinar los parámetros a priorizar.	<ul style="list-style-type: none"> • Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. • EPA-454/B-17-001 (2017), Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: "Volume II: Ambient Air Quality Monitoring Program". • Guías técnicas como las de la Agencia Ambiental Europea (EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016), Agencia Ambiental de los Estados Unidos (AP-42 Compilation of Air Emissions Factors).
Métodos de monitoreo de la calidad del aire según su tecnología, y por su grado de exactitud; análisis y criterios de selección y aplicación de métodos (Capítulos D, E, F, G, H e I)	Se desarrollan en estos seis capítulos, cada uno de los métodos de monitoreo, según el parámetro a medir, detallándose cada uno de los aspectos técnicos que deben considerarse en la aplicación de estos métodos, todo ello recogiendo tanto la experiencia nacional como la internacional.	<ul style="list-style-type: none"> • Normas Técnicas Peruanas como la NTP 900.030 (PM₁₀), 900.069 (PM_{2,5}), entre otras. • Métodos establecidos por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos a través de los Códigos Federales Regulatorios (CFR) o los métodos IO (Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air). • Métodos establecidos por la Unión Europea o países de la misma, como la Norma Europea EN 13528, métodos MCerts (Inglaterra) o TUV (Alemania).
Calibración, operación y mantenimiento, reporte de la información, aseguramiento y control de la calidad (Capítulos J, K, L y M)	Se desarrollan las acciones requeridas para asegurar que los valores medidos sean confiables, a través de la comparación con patrones de laboratorio y campo, y la realización de los ajustes necesarios antes y durante la medición. Asimismo, se establecen lineamientos y criterios necesarios para que la información sea sistematizada, reportada y verificada de manera oportuna y efectiva.	<ul style="list-style-type: none"> • EPA-454/B-17-001 (2017). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: "Volume II: Ambient Air Quality Monitoring Program". • Alberta Environment and Parks (2016). Air Monitoring Directive [Directiva sobre el monitoreo de aire]. Alberta, Government of Alberta. • Normas Técnicas Peruanas y directrices de INACAL.

Elaboración propia (2019).

Cabe señalar que durante el proceso de formulación del protocolo se ha socializado y afinado la estructura del mismo, acorde a la experiencia internacional y los aportes de los principales actores, públicos y privados, involucrados en acciones de monitoreo de la calidad ambiental del aire. A lo largo del trabajo de formulación, se han sostenido reuniones y talleres de trabajo, así como una presentación de la versión preliminar de la propuesta de protocolo. Los mencionados eventos se detallan a continuación:

- Mediante Oficio Múltiple N° 028-2017-MINAM, del 19 de junio de 2017, el MINAM convocó a las instituciones públicas involucradas en materia de monitoreo de la calidad ambiental del aire a la primera reunión de trabajo. La mencionada reunión fue realizada el 26 de junio de 2017.



- Mediante Oficio Múltiple N° 142-2017-MINAM/VMGA/DGCA y Carta Múltiple N° 00049-2017-MINAM/VMGA/DGCA, del 30 de noviembre de 2017, el MINAM convocó a las instituciones, públicas y privadas, al primer taller de trabajo para la actualización de Protocolo Nacional de Monitoreo Calidad Ambiental del Aire, llevado a cabo el 11 de diciembre de 2017.
- Mediante Oficio Múltiple N° 040-2018-MINAM/VMGA/DGCA y Carta Múltiple N° 00010-2018-MINAM/VMGA/DGCA, del 28 de marzo de 2018, el MINAM convocó a las instituciones, públicas y privadas, al segundo taller de trabajo para la actualización de Protocolo Nacional de Monitoreo Calidad Ambiental del Aire, llevado a cabo el 06 de abril de 2018.
- Finalmente, mediante Oficio Múltiple N° 135-2018-MINAM/VMGA/DGCA y Carta Múltiple N° 00048-2018-MINAM/VMGA/DGCA, del 07 de diciembre de 2018, el MINAM convocó a las instituciones, públicas y privadas, a la presentación de la versión preliminar del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, realizada el 13 de diciembre de 2018. A través de las comunicaciones indicadas también se difundió la versión preliminar del protocolo.

Los referidos eventos permitieron recoger aportes de diversos actores, como autoridades en materia de certificación y fiscalización ambiental, instituciones que realizan acciones de monitoreo y reporte, el Instituto Nacional de la Calidad Ambiental, así como laboratorios ambientales, proveedores de tecnologías de monitoreo, representantes de gremios industriales y las principales industrias mineras, cementeras, entre otras.

De esta manera, se ha buscado asegurar que la propuesta de protocolo sea consensuada y se formule con un sustento técnico sólido, que también incorpore los aspectos vinculados a la realidad nacional respecto al monitoreo de la calidad ambiental del aire.

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA NORMA

La aprobación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire se realiza sobre la base de una evaluación de los sujetos y factores implicados, así como las ventajas y desventajas de la aplicación del mismo. Para ello se realiza un análisis cualitativo de los resultados que se percibirían de parte del Estado, los titulares de actividades productivas, extractivas o de servicios, y la sociedad civil en general.

El análisis se ha dividido en cuatro partes, las cuales son la identificación de los sujetos, costos, beneficios y balance:

Sujetos

El Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire está relacionado principalmente con la actuación de los siguientes sujetos:

- a) El Estado a través de las autoridades competentes encargados de las acciones relativas al monitoreo, vigilancia, control, supervisión o fiscalización de la calidad ambiental del aire.
- b) Titular de los proyectos y actividades productivas, extractivas o de servicios sometidas a las obligaciones de la evaluación de la calidad ambiental del aire.
- c) La sociedad civil en general.



Costos del Protocolo Nacional

a) Costos para el Estado

La implementación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire no demanda recursos adicionales al Tesoro Público, pues la estandarización de los criterios técnicos para realizar las acciones de monitoreo de la calidad ambiental del aire en el país, mediante la aprobación del Protocolo no implica la apertura de ningún pliego presupuestal adicional, sin mencionar que constituye una obligación preexistente a la emisión del presente Protocolo.

b) Costos para los titulares de actividades productivas, extractivas o de servicios

En el caso de los titulares de actividades extractivas, productivas y/o de servicios, se debe precisar que respecto a la actualización y/o modificación de los programas de monitoreo de los Instrumentos de Gestión Ambiental, ello permitirá que se ajuste la cantidad de parámetros a monitorear únicamente a aquellos que se encuentren vinculados a la actividad, por lo que se prevé que la cantidad de parámetros a establecerse en los futuros programas de monitoreo serán menores o, como máximo, iguales a los que han sido establecidos en los programas de monitoreo vigentes. Dependiendo del parámetro, de las características de la fuente, y con la finalidad de obtener una data más representativa, pudiera ser requerido que los periodos y/o frecuencias de medición sean mayores.

Lo explicado muestra un balance entre la cantidad de parámetros y tiempos de medición que finalmente genera que no se prevea ni un impacto positivo, ni negativo, en términos generales, en los titulares de los proyectos. En adición a ello, no se debe perder de vista que, en la actualidad, el costo de no contar con data representativa sí genera impacto negativo de gasto ineficiente y de insuficiente información para la formulación de políticas públicas, cuya solución busca ser abordada por la presente propuesta normativa.



c) Costos respecto de la sociedad civil

La implementación del presente Protocolo Nacional, no implicará costos para la sociedad civil en general.

Beneficios del Protocolo Nacional

a) Para el Estado

La aprobación del Protocolo Nacional, con criterios uniformizados, permitirá que la información relativa al estado de la calidad del aire llegue de manera oportuna a los tomadores de decisión, y que además ésta sea información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa. Por consiguiente la presente propuesta normativa contribuye con una gestión ambiental de la calidad del aire mejor sustentada en información, así como más eficiente y oportuna, para el desarrollo de instrumentos de mitigación, prevención y estudios de correlación causa-efecto en la salud pública.

Asimismo, se fortalecerá la información suministrada por la infraestructura de redes de monitoreo de la calidad del aire del país, a través de procedimientos adecuados y confiables para el aseguramiento y control de la calidad de la información generada, lo cual conlleva a una gestión de datos organizada y sistematizada, de

forma que permita verificar adecuadamente el cumplimiento de los ECA para Aire, y cumplir con las recomendaciones de la Evaluación de Desempeño Ambiental del Perú (2016)², publicada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

b) Para los titulares de actividades productivas, extractivas o de servicios

No estarán inmersos en cumplir con distintos protocolos de monitoreo del aire sectoriales o nacional, en los cuales existen diversidad de criterios al momento de realizar las acciones de monitoreo.

De igual forma, se garantiza que por medio de la implementación de este Protocolo Nacional, la información recabada tanto por los administrados como por las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental sea de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa.

c) Para la sociedad civil

La aprobación del Protocolo Nacional permitirá generar información oportuna y precisa para la difusión del estado de la calidad del aire a toda la sociedad civil, así como del nivel de cumplimiento de los ECA para Aire, decretar los estados de alerta, y el desarrollo de instrumentos de prevención y mitigación de la contaminación ambiental del aire, en el ámbito nacional, regional o local, a fin de garantizar la protección a la salud de toda la población y del ambiente.

Balance

A partir del análisis de los costos y beneficios relacionados a la aprobación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire y teniendo en cuenta que la norma es de interés público, es decir que predominan los intereses generales sobre los particulares y, que además contribuye al debido cumplimiento de las disposiciones establecidas en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias, se concluye que los beneficios obtenidos con el presente Protocolo Nacional superan considerablemente sus costos.

La aprobación de esta norma permitirá establecer criterios uniformes y lineamientos generales, relativos a la información de estado de la calidad del aire, de forma tal que llegue de manera oportuna a los tomadores de decisión y sociedad civil en general, y que además ésta sea información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa, a fin de garantizar la protección a la salud y el ambiente.



ANÁLISIS DE IMPACTO DE LA VIGENCIA DE LA NORMATIVA EN LA LEGISLACIÓN NACIONAL

Con la entrada en vigencia de la propuesta de norma se da cumplimiento a la Segunda Disposición Complementaria Final del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Aire y establece disposiciones complementarias para su implementación.

² OCDE y CEPAL. Evaluaciones de desempeño ambiental - Perú 2016. Aspectos destacados y recomendaciones. Santiago de Chile, 2016. Disponible en: <https://www.oecd.org/environment/country-reviews/16-00313%20Evaluacion%20desempeno-Peru-WEB.pdf>



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

MINISTERIO DEL AMBIENTE

**PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO
DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE**



FEBRERO 2019



CONTENIDO

A. GENERALIDADES	5
A.1 INTRODUCCIÓN.....	5
A.2 ANTECEDENTES.....	6
B. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROTOCOLO.....	8
B.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
B.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
B.3 ALCANCE DEL PROTOCOLO	8
C. DISEÑO DE REDES PARA EL MONITOREO.....	8
C.1 CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE	9
C.1.1 <i>Por su finalidad</i>	9
C.1.2 <i>Por su escala</i>	10
C.2 NÚMERO Y LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES PARA UNA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE	10
C.2.1 <i>Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire</i>	11
C.2.2 <i>Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y de servicios</i>	11
C.2.3 <i>Monitoreo orientado al análisis de efectos en salud ambiental</i>	¡Error! Marcador no definido.
C.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AIRE A MONITOREAR	12
C.4 DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA Y PERIODOS DE MONITOREO.....	14
C.5 ACCESIBILIDAD, SEGURIDAD Y DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA	16
D. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE SEGÚN SU TECNOLOGÍA.....	16
D.1 SISTEMAS MANUALES PASIVOS.....	17
D.2 SISTEMAS MANUALES ACTIVOS.....	19
D.2.1 <i>Método activo para material particulado</i>	19
D.2.2 <i>Método activo para gases ambientales</i>	20
D.3 SISTEMAS AUTOMÁTICOS.....	20
D.3.1 <i>Métodos automáticos para material particulado</i>	20
D.3.2 <i>Métodos automáticos para gases ambientales</i>	21
D.4 SISTEMAS HÍBRIDOS.....	22
E. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE POR SU GRADO DE EXACTITUD.....	22
E.1 MÉTODOS DE REFERENCIA Y MÉTODOS EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (PM ₁₀ , PM _{2,5} Y PM ₁) 23	
E.1.1 <i>Método de referencia</i>	23
E.1.2 <i>Métodos equivalentes</i>	26
E.2 MÉTODOS DE REFERENCIA Y MÉTODOS EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE	29
E.2.1 <i>Método de referencia (Fluorescencia ultravioleta)</i>	29
E.2.2 <i>Métodos equivalentes</i>	30
E.3 MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO.....	31
E.3.1 <i>Método de referencia (Infrarrojo No Dispersivo - NDIR)</i>	31
E.3.2 <i>Método equivalente</i>	32
E.4 MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DEL DIÓXIDO DE NITRÓGENO	33
E.4.1 <i>Método de referencia (Quimioluminiscencia)</i>	33
E.4.2 <i>Métodos equivalentes</i>	34
E.5 MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DEL OZONO TROPOSFÉRICO.....	36
E.5.1 <i>Método de Referencia (Fotometría de absorción ultravioleta)</i>	36
E.5.2 <i>Métodos equivalentes</i>	37
E.6 MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DEL SULFURO DE HIDRÓGENO.....	38





E.6.1	Método de Referencia (Fluorescencia ultravioleta)	38
E.6.2	Método equivalente	39
E.7	MÉTODOS DE REFERENCIA Y MÉTODOS EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y/U OTROS METALES PESADOS EN PM ₁₀	39
E.7.1	Método de referencia (Espectrofotometría de Absorción Atómica)	39
E.7.2	Métodos equivalentes	39
E.8	MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO GASEOSO TOTAL	40
E.8.1	Métodos de referencia (CVAAS y CVAFS - Automáticos)	40
E.8.2	Métodos equivalentes	41
E.9	MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE BENCENO (C ₆ H ₆)	43
E.9.1	Método de referencia	43
E.9.2	Métodos equivalentes	43
E.10	CONSOLIDADO DE MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES	44
F.	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN	48
G.	ANÁLISIS PARA LA APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN ALTERNATIVOS	50
H.	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN PARA OTROS CONTAMINANTES QUE NO CUENTAN CON ECA ESTABLECIDO	51
I.	CRITERIOS TÉCNICOS Y REQUISITOS AUXILIARES PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE	52
I.1	CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MONITOREO	52
I.2	REQUISITOS AUXILIARES PARA LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MONITOREO	53
I.2.1	Para los sistemas pasivos	53
I.2.2	Para los sistemas activos	53
I.2.3	Para los sistemas automáticos	54
I.3	MONITOREO METEOROLÓGICO	56
J.	CALIBRACIÓN	57
J.1	PARA LOS SISTEMAS PASIVOS	58
J.2	PARA LOS SISTEMAS ACTIVOS	58
J.3	PARA LOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS	59
J.4	PARA LOS SENSORES DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS	61
K.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	61
K.1	PARA LOS SISTEMAS PASIVOS	62
K.2	PARA LOS SISTEMAS ACTIVOS	63
K.3	PARA LOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS	64
K.4	PARA LOS SENSORES DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS	66
L.	PROCESAMIENTO Y REPORTE DE LA INFORMACIÓN DEL MONITOREO	66
L.1	PROCESAMIENTO	66
L.1.1	Data original (Cruda)	66
L.1.2	Validación de los datos de monitoreo	67
L.1.3	Cálculo de concentraciones	68
L.2	REPORTE O INFORME DE MONITOREO	70
L.2.1	Data original (Cruda)	70
L.2.2	Concentraciones validadas	70
M.	ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL MONITOREO	71
M.1	VERIFICACIÓN DOCUMENTARIA DEL CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO	72
M.2	VERIFICACIÓN DEL REQUISITO DE ACREDITACIÓN	72





N. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73

O. ABREVIATURAS..... 77

P. ANEXOS..... 78

FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA DE MUESTREADOR DE DIFUSIÓN PASIVA 18

FIGURA 2. EJEMPLO DEL PROCESO DEL MÉTODO GRAVIMÉTRICO PARA MATERIAL PARTICULADO 19

FIGURA 3. ESQUEMA REFERENCIAL DE LOS COMPONENTES DE UN TREN DE MUESTREO AMBIENTAL 20

FIGURA 4. ESQUEMA DE UN CABEZAL SELECTIVO DE ALTO VOLUMEN PARA PM₁₀ 24

FIGURA 5. ESQUEMA DE UN CABEZAL SELECTIVO 25

FIGURA 6. ESQUEMA DE UN CABEZAL SELECTIVO DE BAJO VOLUMEN PARA PM₁₀ 53

FIGURA 7. EJEMPLO DE MANIFOLD 55

FIGURA 8. EJEMPLO DE TOMA DE 55

TABLAS

TABLA 1. NÚMERO MÍNIMO DE PUNTOS DE MONITOREO DE 11

TABLA 2. PARÁMETROS A PRIORIZAR EN FUNCIÓN A LAS FUENTES VINCULADAS 12

TABLA 3. REQUISITOS DE FRECUENCIA Y PERIODOS DE MONITOREO PARA REDES VINCULADAS A PLANES DE ACCIÓN 14

TABLA 4. REQUISITOS DE FRECUENCIA Y PERIODOS PARA EL MONITOREO 15

TABLA 5. MÉTODOS AUTOMÁTICOS DE LA CALIDAD DEL AIRE 21

TABLA 6. CONSOLIDADO DE MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES 45

TABLA 7. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN 48

TABLA 8. CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MONITOREO 52

TABLA 9. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA ESTACIONES METEOROLÓGICAS 56

TABLA 10. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS 56

TABLA 11. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MUESTREO ACTIVO 59

TABLA 12. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS AUTOMÁTICOS 60

TABLA 13. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA VERIFICACIÓN DE SISTEMAS DE MUESTREO PASIVO 62

TABLA 14. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA VERIFICACIÓN PREVIA DE EQUIPOS DE MUESTREO ACTIVO 63

TABLA 15. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA VERIFICACIÓN OPERACIONAL, DURANTE EL MUESTREO 64

TABLA 16. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA VERIFICACIÓN PREVIA DE EQUIPOS AUTOMÁTICOS 65

TABLA 17. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA VERIFICACIÓN EN CAMPO DE EQUIPOS AUTOMÁTICOS 65

TABLA 18. ACCIONES DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS MONITOREOS 71





A. GENERALIDADES

A.1 Introducción

La vigilancia y el monitoreo ambiental tienen por finalidad generar información que permita orientar la adopción de medidas que aseguren el cumplimiento de los objetivos de la política y normativa ambiental. Para tal efecto, el artículo 133 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, señala que la Autoridad Ambiental Nacional debe establecer los criterios para el desarrollo de las acciones de vigilancia y monitoreo en el país.

En línea con lo estipulado por la Ley General del Ambiente, mediante la Segunda Disposición Complementaria Final del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Aire, se encargó al Ministerio del Ambiente la elaboración del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, en coordinación con las autoridades competentes.

Bajo ese contexto normativo, el Ministerio del Ambiente ha elaborado el presente protocolo, cuyo contenido establece los criterios técnicos que estandarizan el monitoreo de este componente ambiental a nivel nacional, buscando generar información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa para su aplicación como insumo en la formulación de las diversas estrategias, planes y otros instrumentos de gestión ambiental destinados a la mejora de la calidad del aire.

En resumen, este protocolo nacional define los criterios para el diseño de las redes o estaciones de monitoreo, con la finalidad de asegurar el desarrollo de operaciones eficaces y eficientes, basadas en una planificación previa sustentada en aspectos técnicos. Asimismo, se determinan los métodos que resultan aplicables para el monitoreo de la calidad del aire, así como aquellos aspectos que deben ser considerados al momento de su aplicación.

También se explican los métodos de referencia y métodos equivalentes para la determinación de los parámetros de calidad del aire, incluyendo los procedimientos de medición, sobre la base de normas técnicas nacionales e internacionales. Además, tomando en cuenta la pluralidad de escenarios de contaminación del aire, se establecen los criterios para la selección adecuada de los métodos de medición, así como los aspectos que se deben cumplir para el uso de métodos alternativos o para el monitoreo de parámetros que no cuentan con un ECA en la normativa vigente.

Por otro lado, resulta importante destacar que el protocolo detalla, de forma adicional, las acciones de operación, mantenimiento y calibración de cada uno de los sistemas de medición que se encuentran en las estaciones de monitoreo de calidad del aire. Asimismo, en la medida que es fundamental la difusión de información de calidad del aire para la toma de decisiones y la definición de políticas públicas locales, regionales y nacionales, el protocolo también desarrolla los requerimientos técnicos necesarios para un adecuado procesamiento y reporte de la información generada a partir de las acciones de monitoreo de la calidad del aire.

Finalmente, se debe precisar que este documento técnico se encarga de establecer, de manera clara y concisa, las acciones de aseguramiento y control de calidad que deben efectuarse a lo largo





de las distintas etapas del monitoreo, incluyendo los aspectos relativos a las auditorías de redes y/o estaciones de monitoreo que deberán realizarse, con la finalidad de orientar las acciones que permitan la mejora continua de los sistemas de monitoreo con que cuenta el país.

De modo que, como se puede observar, este instrumento constituye una herramienta que, en su conjunto, orienta, ordena y uniformiza el monitoreo de la calidad del aire, al brindar el soporte requerido tanto por las entidades públicas como por las instituciones privadas y particulares, respecto de los procedimientos y metodología necesaria para la ejecución de las acciones de monitoreo y vigilancia enmarcadas dentro de la gestión de la calidad ambiental del aire.

A.2 Antecedentes

En el año 2001, mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, se aprobaron por primera vez en el país los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire. En este instrumento normativo se establecieron valores ECA para seis parámetros, los cuales se señalan a continuación:

- Material particulado menor a 10 micras (PM₁₀).
- Monóxido de carbono (CO).
- Dióxido de nitrógeno (NO₂).
- Dióxido de azufre (SO₂).
- Ozono (O₃).
- Plomo (Pb) en PM₁₀.

Posteriormente, en el periodo comprendido entre los años 2003 y 2013, se aprobaron tres normas complementarias, esto es: (i) el Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, que estableció un valor anual para el parámetro plomo (Pb) en PM₁₀; (ii) el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, que fijó nuevos valores para el dióxido de azufre (SO₂), así como otros parámetros adicionales¹; y, (iii) el Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM, con el que se establecieron disposiciones complementarias para la aplicación de los ECA para Aire.



Sin perjuicio de estos dispositivos legales, con la finalidad de medir la calidad del aire, la Primera Disposición Transitoria del Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, determinó que era necesario contar con directivas y normas que regulen los aspectos técnicos requeridos para las mediciones. En ese contexto, mediante Resolución Directoral N° 1404/2005/DIGESA, la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria aprobó, en el año 2005, el "Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de los Datos".

Al respecto, cabe indicar que, mientras el mencionado protocolo fue elaborado únicamente para las escalas local y urbana², algunas autoridades sectoriales establecieron también criterios técnicos por medio de otros protocolos, los cuales se citan a continuación:

- Protocolo para el Monitoreo de Emisiones Atmosféricas y Calidad del Aire de la industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos, aprobado por el Ministerio de la Producción mediante Resolución Ministerial N° 194-2010-PRODUCE.

¹ Benceno, material particulado menor a 2,5 micras (PM_{2.5}), hidrógeno sulfurado (H₂S) e hidrocarburos totales expresados como hexano.
² Véase el Punto 6: "Escalas del monitoreo" del Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de los Datos.



- Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones para actividades Minero Metalúrgicas.
- Protocolo de Monitoreo de calidad de Aire y Emisiones Sub Sector Hidrocarburos.

En el año 2017, con el objetivo de actualizar y unificar la normativa en materia de ECA para Aire, se aprobó el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, a través del cual se actualizan los ECA para Aire, quedando establecidos diez parámetros:

- Material particulado con menor a 10 micras (PM_{10}).
- Material particulado con menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$).
- Monóxido de carbono (CO).
- Dióxido de nitrógeno (NO_2).
- Dióxido de azufre (SO_2).
- Ozono (O_3).
- Plomo (Pb) en PM_{10} .
- Benceno (C_6H_6).
- Mercurio Gaseoso Total (Hg o MGT).
- Sulfuro de Hidrógeno (H_2S).

Con relación a los ECA para Aire, la Evaluación de Desempeño Ambiental del Perú (2016)³, publicada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), recomiendan al país fortalecer la infraestructura de redes de monitoreo de la calidad del aire de forma que permita verificar adecuadamente el cumplimiento de los ECA. Lo señalado en esta recomendación no solo comprende la implementación de estaciones o redes de monitoreo a nivel nacional, sino también la aprobación de procedimientos adecuados y confiables para el control y aseguramiento de la calidad de la información generada.

Por ese motivo, es indispensable contar con un protocolo nacional para el monitoreo de la calidad del aire, que establezca y uniformice los criterios y lineamientos técnicos de medición, pues ello permitirá generar información oportuna y precisa para su difusión, declaración de alertas, verificación del cumplimiento de los ECA, así como para el desarrollo de instrumentos de mitigación, prevención y estudios de correlación causa-efecto en la salud pública.



³ OCDE, CEPAL. (2016). Evaluaciones de Desempeño Ambiental Perú 2016. Santiago. Retrieved from: <https://www.oecd.org/environment/country-reviews/16-00313%20Evaluacion%20desempeno-Peru-WEB.pdf>



B. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROTOCOLO

B.1 Objetivo general

El objetivo general del presente protocolo consiste en estandarizar los criterios técnicos para el monitoreo ambiental del aire en el país, a fin de generar información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa.

B.2 Objetivos Específicos

- Determinar los criterios técnicos para asegurar el diseño y operación eficiente de las redes de monitoreo de calidad del aire en el país.
- Establecer los métodos de referencia y equivalentes para la determinación de las concentraciones de los contaminantes regulados en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire.
- Incorporar criterios que permitan orientar la medición de aquellos contaminantes del aire no regulados en la normativa nacional vigente.
- Proporcionar criterios y herramientas para el aseguramiento y control de la calidad de la información generada en los monitoreos de calidad del aire.

B.3 Alcance del protocolo

Los criterios técnicos contenidos en el presente protocolo son aplicables a toda persona natural o jurídica, pública o privada, los que deberán ser observados durante cada una de las etapas relativas al monitoreo de la calidad ambiental del aire.



El presente protocolo debe ser aplicado a todo monitoreo realizado en ambientes exteriores⁴, que tenga por objetivo determinar la calidad ambiental del aire en las escalas de microescala, media, local y urbana. Este documento establece los criterios técnicos que deben aplicarse en las acciones de monitoreo de parámetros que cuenten o no con ECA para aire en la normativa nacional vigente.

C. DISEÑO DE REDES PARA EL MONITOREO

El diseño de cualquier sistema de monitoreo se fundamenta principalmente en la necesidad de determinar, de manera eficaz y eficiente, las concentraciones de contaminantes del aire en un área determinada, con la finalidad de contar con información oportuna y objetiva para la toma de decisiones, que permitan orientar la formulación de medidas preventivas, correctivas o de mejora continua, según sea el caso.

A efectos de determinar el diseño, escalas y clasificación de las áreas del monitoreo, se debe considerar tres enfoques de trabajo:

⁴ El término "ambientes exteriores" hace referencia a todo ambiente fuera de oficina, fuera de planta industrial, y fuera de domicilio, el cual, en adición a ello, deberá cumplir con los criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo establecidos en la sección I.1 del presente documento.



- **Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire**, el cual puede enmarcarse tanto en las Zonas de Atención Prioritaria (ZAP) como en cualquier centro poblado a nivel nacional.
- **Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y/o de servicios**, el mismo que puede comprender tanto las acciones de monitoreo de la calidad ambiental del aire a cargo de los titulares de la actividad como de la autoridad ambiental competente en materia de fiscalización ambiental.
- **Monitoreo orientado al análisis de efectos en salud ambiental**. Al respecto, se debe considerar que, por la naturaleza de este enfoque, también puede ser aplicado a toda investigación académica en materia de calidad del aire.

La determinación del enfoque de trabajo constituye el primer paso para la determinación de todos los demás criterios técnicos establecidos en el presente protocolo.

C.1 Clasificación de estaciones de monitoreo de calidad del aire

Las estaciones de monitoreo de calidad del aire se clasifican de la siguiente manera:

C.1.1 Por su finalidad⁵

- **Estación urbana:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire en un área urbana representativa.
- **Estación sub-urbana:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire en una área sub-urbana representativa, la cual es considerada como aquella zona urbanizada que se mezcla con áreas no urbanizadas (por ejemplo, agrícola, lagos, bosques).
- **Estación rural:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire en un área rural representativa, la misma que cuenta con poblaciones pequeñas y dispersas, con actividad agrícola o pecuaria no industrializada.
- **Estación de tráfico:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire vinculadas a las emisiones del tráfico terrestre cercano.
- **Estación industrial:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire vinculadas a las áreas asociadas a actividades industriales (extractivas, productivas y/o de servicios). Este tipo de estación puede verse influenciada por fuentes industriales individuales o áreas industriales con múltiples fuentes de emisión.
- **Estación de fondo:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire con la finalidad de elaborar la línea base de la actividad, previo al inicio de la misma. Además, comprende aquellos casos en que se requiera determinar



⁵ Seinfeld J. y Pandis S. (2006). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 2nd edition.



las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire en un área geográfica localizada a barlovento de las actividades que se pretenden evaluar.

C.1.2 Por su escala⁶

Los procesos dinámicos en la atmósfera varían desde algunos centímetros hasta movimientos de grandes masas de aire de dimensiones continentales. Por lo que, la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se puede desarrollar a distintas escalas, en función de las cuales es posible categorizar los siguientes tipos de estaciones:

- **Estación de Microescala:** Está asociada a fenómenos que ocurren a escalas de 0 m a 100 m, por ejemplo la circulación del viento entre los edificios en un área urbana en la cual se busca determinar la dispersión de contaminantes provenientes de fuentes de emisión cercanas.
- **Estación de Escala Media:** Se encuentra asociada a fenómenos de dispersión que ocurren a escalas de 100 m a 0,5 km.
- **Estación de Escala Local:** Permite determinar concentraciones dentro de un área cuyo uso del suelo sea relativamente uniforme y que presente dimensiones en el rango de 0,5 km a 4 km.
- **Estación de Escala Urbana:** Permite determinar concentraciones dentro de un área de dimensiones tipo ciudad, del orden de 4 km a 50 km.
- **Estación de Mesoescala:** Está asociada a fenómenos que ocurren a escalas de 50 a cientos de kilómetros, como la brisa marina, los vientos del valle montañoso y los frentes migratorios de alta y baja presión.
- **Estación Sinóptica:** Se encuentra asociada a los movimientos de los sistemas meteorológicos completos, a escalas de cientos a miles de kilómetros.
- **Escala Global:** Está asociada a fenómenos que ocurren a escalas mayores a 5 000 km.



C.2 Número y localización de estaciones para una red de monitoreo de calidad del aire

Para determinar la cantidad de estaciones a implementar en el diseño de una red de monitoreo de la calidad del aire, es necesario tener como base referencias técnico-científicas que permitan establecer un número mínimo de estaciones.

Al respecto, tomando en consideración la experiencia internacional⁷, se ha establecido que la cantidad de estaciones debe ser definida en virtud al enfoque y objetivo del monitoreo, de acuerdo al siguiente detalle:

⁶ CFR 40, part 58, appendix D (2016). Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring.

⁷ Véase la Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Consultar además: Province of Alberta (2016). Air Monitoring Directive.



C.2.1 Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire

Por su naturaleza, este tipo de monitoreo se enfoca, principalmente, en un área denominada Zona de Atención Prioritaria (ZAP)⁸ donde se localizan centros poblados, en los cuales las fuentes de área y fuentes móviles adquieren una relevancia significativa por su nivel de aporte de contaminantes vinculados a potenciales efectos a la salud de la población. Debido a lo señalado, para el caso de las ZAP, se toma en consideración el “criterio poblacional”, de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 1. Número mínimo de puntos de monitoreo de calidad del aire, según el criterio poblacional

Población (miles de habitantes)	Número mínimo de puntos de monitoreo
0 - 249	1
250 - 749	2
750 - 999	3
1000 - 1499	4
1500 - 1999	5
2000 - 2749	6
2750 - 3749	7
3750 - 4749	8
4750 - 5999	9
≥ 6000	10

Fuente: Directiva 2008/50/CE de la Unión Europea.

La Tabla 1 resulta aplicable para determinar el número mínimo de estaciones cuando el aporte de las fuentes de área y fuentes móviles predomina en las ZAP. Sin embargo, cuando las fuentes puntuales dentro de las ZAP adquieren una mayor relevancia, se deberá considerar tanto el criterio poblacional (detallado en la Tabla 1), así como el criterio indicado en el siguiente apartado (C.2.2), a fin de determinar el número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad del aire.

En adición a lo anterior, en caso las ZAP evaluadas cuenten con estudios más detallados de inventarios de emisiones y dispersión atmosférica de los contaminantes, los resultados de dichos estudios deben ser utilizados como referencia técnico-científica que permita una determinación más precisa del número mínimo y localización de las estaciones de la red de monitoreo que se busca implementar.

C.2.2 Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y de servicios

Este tipo de monitoreo tiene por objeto realizar acciones que permitan obtener información para evaluar o dar seguimiento a la evolución y comportamiento de la calidad del aire, relacionado a una o más fuentes industriales (extractivas y productivas) y/o de servicios (entre ellas, por ejemplo, pollerías, grifos o estaciones de servicio).



⁸ De conformidad con la Cuarta Disposición Complementaria Final del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, las Zonas de Atención Prioritaria son aquellos centros poblados que cuenten con actividades económicas que planteen real o potencial afectación en la calidad del aire, que posean actividad vehicular ambientalmente relevante, o que cuenten con una dinámica urbana que implique un potencial incremento de emisiones atmosféricas.



Además de lo anterior, es posible diseñar redes de monitoreo orientadas al análisis de efectos en salud ambiental. En ese caso, el número de estaciones de monitoreo se debe determinar sobre la base del diseño experimental del estudio o investigación. Para cuyo efecto, se recomienda que la localización de las estaciones de este tipo sea priorizada en función de la ubicación de la población más sensible (adultos mayores, menores de edad, personas asmáticas).

C.3 Determinación de los parámetros de calidad del aire a monitorear

Como ya se ha indicado previamente, es necesario que el monitoreo de la calidad del aire (ejecutado a través de una acción o un conjunto de acciones) se realice de manera eficaz y eficiente, por lo que en ningún caso debe entenderse que medir la calidad del aire implica *a priori* la necesidad de medir todos los parámetros establecidos en el ECA para Aire vigente.

En ese sentido, para la determinación de los parámetros a monitorear se recomienda tomar como referencia los inventarios de emisiones u otras fuentes de información bibliográfica técnico-científica que permita establecer una priorización de aquellos parámetros con mayor incidencia en la calidad del aire correspondiente al área de estudio o monitoreo.

Así por ejemplo, en las áreas asociadas a actividades mineras extractivas, los parámetros como el ozono (O₃) o el sulfuro de hidrógeno (H₂S) no deberían priorizarse al no estar vinculados a estas actividades, sobre todo considerando la necesidad de que las acciones de monitoreo deban ser cada vez más eficientes. Otro ejemplo bastante claro, es el caso de los grifos o estaciones de servicio, donde los parámetros como el material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) o menor a 2,5 micras (PM_{2,5}) no serían parámetros a priorizar, mientras que el benceno (C₆H₆) sí constituiría un parámetro cuyo monitoreo es importante para la actividad en mención.

De conformidad con lo explicado, a continuación se presenta una tabla que orienta la determinación de los parámetros a priorizar, según las fuentes de emisión vinculadas al área donde funcionará la red o estación de monitoreo.



Tabla 2. Parámetros a priorizar en función a las fuentes vinculadas

Fuentes vinculadas	Parámetros a priorizar	Referencia bibliográfica
Parque automotor, vías pavimentadas y zonas urbanas	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO ₂ , CO, C ₆ H ₆ y O ₃ (ozono debido a la emisión de precursores)	<ul style="list-style-type: none"> • EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 (1.A.3.b.i-iv Road transport 2018). • AP 42, CH 13.2.1: Paved Roads.
Fundición y/o refinación metálica	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , metales pesados ¹ (Pb, As y MGT)	<ul style="list-style-type: none"> • AP-42, CH 12.3, 12.6, 12.7 Primary Copper, Lead and Zinc Smelting. • AP-42, CH 12.9, 12.11, 12.14 Secondary Copper, Lead and Zinc Smelting. • Convenio de Minamata. Anexo D. Lista de fuentes puntuales de emisiones de mercurio y compuestos de mercurio a la atmósfera.
Extracción de minerales	PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales pesados ¹	



Fuentes vinculadas	Parámetros a priorizar	Referencia bibliográfica
	(Pb, As y MGT)	<ul style="list-style-type: none"> • AP-42, CH 11.24 Metallic Minerals Processing. • Convenio de Minamata. Anexo C. Extracción de oro artesanal y en pequeña escala.
Estaciones de venta de Combustibles	C ₆ H ₆	<ul style="list-style-type: none"> • AP 42, CH 5.2: Transportation and Marketing of Petroleum Liquids. • Silva, L. et al. Section 5. Air Quality: Contribution to atmospheric benzene concentrations of the petrol stations in a mid-sized city. Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazards II (2009).
Industria de Procesamiento Combustibles	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO ₂ , CO y C ₆ H ₆	<ul style="list-style-type: none"> • AP 42, CH 5.1: Petroleum Refining.
Producción de Cemento	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO _x , CO, y MGT	<ul style="list-style-type: none"> • AP 42, CH 11.6: Portland Cement Manufacturing. • Portland Cement Association. Mercury Emission and Speciation from Portland Cement Kilns (2003). • Convenio de Minamata. Anexo D. Lista de fuentes puntuales de emisiones de mercurio y compuestos de mercurio a la atmósfera.
Industria de Harina de Pescado	PM ₁₀ , PM _{2,5} y H ₂ S	<ul style="list-style-type: none"> • AP 42, CH 9.13.1: Fish Processing.
Producción / Fundición del Hierro y el Acero	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ y CO	<ul style="list-style-type: none"> • AP-42, CH 12.5: Iron and Steel Production. • AP-42, CH 12.13: Steel Foundries.
Procesamiento de la caña de azúcar	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO ₂ , CO y C ₆ H ₆	<ul style="list-style-type: none"> • AP 42, CH 9.10.1.1: Sugarcane Processing. • CTBE/CNPEM. Sugarcane Life Cycle Inventory (2012).
Producción de ladrillos	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ , SO ₂ y CO	<ul style="list-style-type: none"> • AP-42, CH 11.3 Brick and Structural Clay Product Manufacturing.

Nota:

(1) En función de las características del mineral y/o los insumos involucrados en el proceso. Elaboración propia (2018).



Sobre el particular, se debe indicar que la Tabla N° 2 no incluye todas las fuentes antrópicas y/o naturales que pueden encontrarse vinculadas a una red o estación de monitoreo de calidad del aire, por lo que su finalidad es orientadora. En ese sentido, los parámetros a priorizar para las acciones de monitoreo de calidad del aire deben basarse en inventarios de emisiones u otra fuente de información bibliográfica de carácter técnico-científico que permita identificar los parámetros a priorizar. La mencionada información debe formar parte del diagnóstico de línea base.



C.4 Determinación de la frecuencia y periodos de monitoreo

El monitoreo de la calidad del aire debe realizarse con una frecuencia y por un periodo que, mínimamente, permita obtener data confiable y representativa.

En el caso de estaciones o redes de monitoreo vinculadas a planes de acción para la mejora de la calidad del aire o al análisis de efectos en salud ambiental, el monitoreo debe ser realizado, preferentemente, mediante métodos que permitan obtener información de manera continua y en tiempo real.

No obstante lo señalado, si se presentan limitaciones presupuestales y de sostenibilidad para la operación de sistemas continuos, se pueden incorporar sistemas manuales (ver Sección D). Al respecto, es preciso indicar que con la finalidad de realizar comparaciones con los ECA para aire solo se puede utilizar aquella información que haya sido generada mediante monitoreos con métodos de referencia y/o equivalentes (ver Sección E).

Tabla 3. Requisitos de frecuencia y periodos de monitoreo para redes vinculadas a planes de acción para la mejora de la calidad del aire o al análisis de efectos en salud ambiental, (por punto de medición al año)

Tipo de tecnología	Tipo de monitoreo	Periodo a promediar (en base al ECA)	Mínima suficiencia de información válida requerida	Frecuencia mínima por muestra o registro
Automática	Continuo	1 hora	>75% (1 hora)	Continua
		8 horas	>75% (6 horas)	Continua
		24 horas	>75% (18 horas)	Continua
		Mensual	>75% (23 días)	Continua
		Anual	>75% (9 meses)	Continua
Manual	Discontinuo	1 hora	>90% (1 hora)	Una muestra horaria cada 6 días
		8 horas	>90% (7 horas)	Una muestra octohoraria cada 6 días
		24 horas	>90% (22 horas)	Una muestra diaria cada 6 días
	Mensual	>14% (5 días)	Sobre la base de muestreos diarios: Una muestra diaria cada 6 días	
			Sobre la base de muestreos mensuales: Una muestra integrada de un mes	
	Anual	>14% (2 meses)	Sobre la base de muestreos diarios: <ul style="list-style-type: none"> Una muestra diaria cada 6 días, 5 muestras diarias contiguas cada mes, o 30 muestras diarias contiguas en para verano y 30 muestras diarias invierno. 	
			Sobre la base de muestreos mensuales: Una muestra integrada de un mes para verano y una muestra integrada de un mes para invierno	



Fuente: Basado en EPA-454/B-17-001 (2017) y la Directiva 2008/50/CE. Elaboración propia (2018).



En el caso de los monitoreos discontinuos (ver Tabla N° 3), deben priorizarse como periodos de medición aquellos en los que exista mayor presencia de un determinado contaminante. Por ejemplo, el ozono (O₃) debe medirse, prioritariamente, en los momentos de mayor luz solar; mientras que el material particulado menor a 2,5 micras (PM_{2,5}), debe medirse preferentemente en los momentos de mayor tránsito automotor o actividad industrial.

Por otro lado, en lo que respecta al monitoreo orientado al análisis de efectos en salud ambiental u otro tipo de investigaciones, cabe la posibilidad de variar las frecuencias y periodos de monitoreo establecidos en la Tabla N° 3, en función del diseño experimental de la investigación.

Tabla 4. Requisitos de frecuencia y periodos para el monitoreo de áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y de servicios (por punto de medición en cada campaña)

Tipo de tecnología	Tipo de monitoreo	Periodo de medición (en base al ECA)	Mínima suficiencia de información válida requerida	Frecuencia mínima por muestra o registro
Automática	Continuo	1 hora	>75% (1 hora)	Continua por 5 días
		8 horas	>75% (6 horas)	Continua por 5 días
		24 horas	>75% (18 horas)	Continua por 5 días
		Mensual	>14% (5 días)	Continua por 5 días
		Anual	1 mes	Continua por un mes
Manual	Discontinuo	1 hora	>90% (1 hora)	<ul style="list-style-type: none"> Una muestra horaria al día por 5 días consecutivos, o Una muestra horaria cada 6 días dentro del periodo de un mes
		8 horas	>90% (7 horas)	<ul style="list-style-type: none"> Una muestra octohoraria al día por 5 días consecutivos, o Una muestra octohoraria cada 6 días dentro del periodo de un mes
		24 horas	>90% (22 horas)	<ul style="list-style-type: none"> Una muestra diaria por 5 días consecutivos, o Una muestra diaria cada 6 días dentro del periodo de un mes
		Mensual	>14% (5 días)	<p><u>Sobre la base de muestreos diarios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Una muestra diaria por 5 días consecutivos, o Una muestra diaria cada 6 días dentro del periodo de un mes <p><u>Sobre la base de muestreos mensuales:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Una muestra integrada de un mes
		Anual	1 mes	Una muestra integrada de un mes

Fuente: Basado en EPA-454/B-17-001 (2017) y la Directiva 2008/50/CE. Elaboración propia (2018).





En el caso de estaciones o redes de monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y/o de servicios, se debe tomar en consideración la magnitud de la actividad y el nivel de emisiones que ésta genera.

Asimismo, debido a que estas estaciones o redes de monitoreo se encuentran vinculadas a los instrumentos de gestión ambiental de la actividad, tales como los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), entre otros, es fundamental que los monitoreos sean realizados con métodos de referencia y/o equivalentes (ver sección E) y por organismos acreditados (ver sección M.2).

Por otro lado, con relación a las frecuencias y periodos de monitoreo para las áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y/o de servicios, se recomienda tomar como base lo indicado en la Tabla N° 4.

Sobre la base de los criterios de evaluación establecidos en los ECA para Aire, aprobados mediante Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, se recomienda que la cantidad de campañas de monitoreo debe ser mínimamente 2 al año, siendo finalmente definidas por la autoridad competente en materia de certificación ambiental, la cual debe tomar en consideración los periodos de mayor actividad de la industria, así como las variaciones meteorológicas basadas en la estacionalidad (verano, otoño, invierno y primavera).

Para las acciones de evaluación de la calidad ambiental, las Entidades de Fiscalización Ambiental (EFA) y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) pueden considerar distintas frecuencias de monitoreo a fin de generar información para los procesos de supervisión y fiscalización ambiental, sin perjuicio de que se cumpla con el periodo de medición y la mínima suficiencia de información válida requerida, conforme a lo establecido en la Tabla N° 4.

C.5 Accesibilidad, seguridad y disponibilidad de energía



Si bien en gabinete se puede desarrollar el modelo teórico óptimo para el monitoreo de la calidad del aire, las condiciones del campo como accesibilidad, seguridad y disponibilidad de energía, entre otros factores, pueden dificultar la ejecución del monitoreo en los sitios seleccionados.

Por esa razón, el diseño real de la red o estación de monitoreo debe basarse, necesariamente, en el diseño teórico-óptimo, así como en la información levantada en campo, a efectos de asegurar que los sitios finalmente determinados permitan alcanzar el objetivo del monitoreo.

D. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE SEGÚN SU TECNOLOGÍA

De acuerdo con las Guías de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los costos y niveles de desempeño que implican, se pueden clasificar en cuatro tipos genéricos: (i) sistemas manuales pasivos, (ii) sistemas manuales activos, (iii) sistemas automáticos, y (iv) sensores remotos.

En el presente protocolo se aborda únicamente los sistemas manuales pasivos, sistemas manuales activos y sistemas automáticos, debido a que estos son los más usados en las diversas redes de monitoreo implementadas en el país.



Antes de detallar el funcionamiento de estos tres sistemas de monitoreo, es importante brindar una explicación previa sobre los aspectos básicos para la captura de muestras que permitan determinar la calidad del aire:

- En el caso de los componentes ambientales, como el agua o el suelo, es posible transportar las muestras en una cantidad "x" (es decir "x" litros de muestra de agua o "x" kilogramos de muestra de suelo). Sin embargo, en el caso del aire es complicado trasladar una cantidad "x" de metros cúbicos, por lo que el mecanismo de toma de muestras se orienta a la captura del analito o sustancia de interés. Por esta razón, la cantidad de aire es medida a través de un medidor de flujo de aire, durante la toma de muestra.
- En específico, para tomar una muestra de aire, el dispositivo o equipo a ser utilizado debe permitir lo siguiente:
 - (i) **Ingresar la muestra de aire:** Los equipos utilizados deben contar con una entrada u orificio que, por efecto de la succión de una bomba (en equipos activos o automáticos), la difusión pasiva o la difusión molecular (en muestreadores pasivos para gases), permita el ingreso del aire con el analito para la toma de la muestra respectiva.
 - (ii) **Contar con un medio de colección para la sustancia de interés:** El medio de colección puede ser físico (Ej.: filtro) o químico (Ej.: el carbón activado o el tetracloromercurato de potasio). Ambos tipos de medios son aplicados en sistemas manuales pasivos y/o activos.
 - (iii) **En el caso de los equipos automáticos:** Como el análisis se realiza *in situ*, se debe contar necesariamente con una cámara analítica u otro dispositivo en el cual se analice la sustancia, a través de mecanismos ópticos como la fluorescencia UV, la quimioluminiscencia, entre otros.
 - (iv) **Controlar y medir el paso del aire:** Esto se logra mediante un controlador y medidor de flujo (en el caso de equipos activos o automáticos), o asumiendo un flujo teórico basado en la difusión molecular (en el caso de muestreadores pasivos para gases).

D.1 Sistemas manuales pasivos

Los muestreadores pasivos, al ser métodos simples, solo permiten brindar una aproximación acerca del estado de la calidad del aire, principalmente en zonas donde no se realizan monitoreos permanentes.

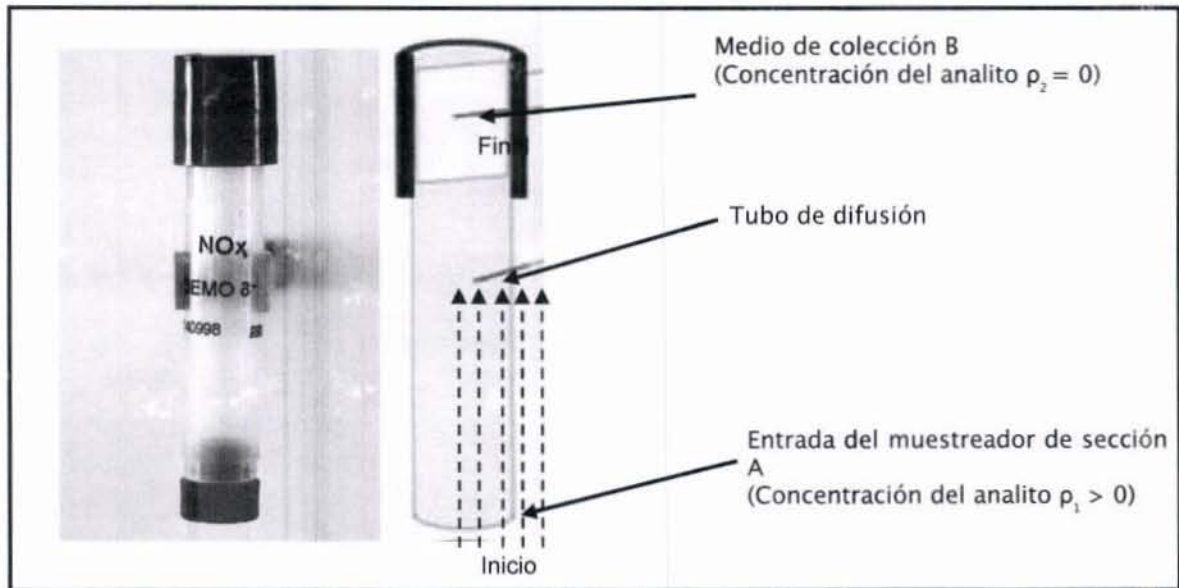
La medición de muestreadores pasivos cuenta con una metodología establecida en la Norma Técnica Peruana: NTP 900.036:2017 "Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Parte 1", la cual se basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. "Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Parte 1: Requisitos Generales".





Los muestreadores pasivos son tubos cuyo tamaño y el flujo teórico (difusión molecular) varía de acuerdo al gas que se pretende medir, tal como se observa en la siguiente figura:

Figura 1. Diagrama de muestreador de difusión pasiva



Fuente: Passam Ag (2018) y Zapata, C. et al (2008).

Como se puede observar en la Figura 1, el aire ingresa por la entrada del muestreador de sección A (en la posición de inicio con una concentración del analito $\rho_1 > 0$). Una vez dentro del tubo muestreador, el analito que forma parte del aire ingresado es absorbido en la posición final por el medio de colección B⁹, el cual, en tanto no se encuentre saturado, permitirá que la concentración del analito ρ_2 se mantenga en 0, a fin de asegurar una adecuada difusión molecular durante el periodo de muestreo (el mismo que, generalmente, es de un mes).

Posteriormente, el muestreador es trasladado a laboratorio a efectos de que el analito absorbido por el medio de colección B sea analizado.

El cálculo de concentración se basa en dividir la masa del analito (hallada en laboratorio) entre el volumen de muestra (basado en el flujo teórico indicado por el fabricante y el periodo de muestreo).



⁹

Por ejemplo, para el caso del tubo pasivo de NO_2 , la sustancia más utilizada como medio de colección es la Trietanolamina, mientras que para el SO_2 puede usarse el Carbonato de Sodio.



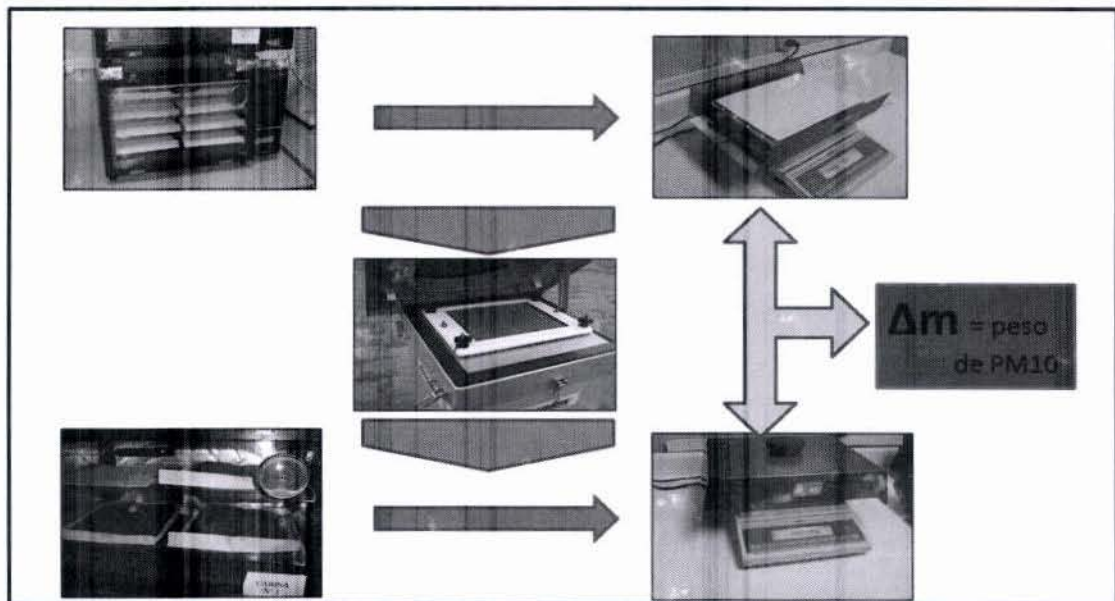
D.2 Sistemas manuales activos

D.2.1 Método activo para material particulado

El método activo para material particulado, denominado también como método gravimétrico, cuyo funcionamiento se describe a continuación:

- Una muestra de aire ingresa a flujo constante a través de un cabezal selectivo que se encarga de separar, mediante una fuerza inercial, las partículas mayores que no son de interés del monitoreo. Luego, las sustancias de interés (tales como PTS, PM₁₀, PM_{2,5} o PM₁) son colectadas en un filtro durante un periodo de muestreo específico (de 23 a 25 horas).
- Con relación al filtro utilizado para la toma de la muestra, cabe precisar que este debe ser desecado y pesado antes y después del muestreo, a fin de registrar el peso inicial y final del filtro, puesto que la diferencia de ambos permitirá obtener el peso neto de la sustancia de interés (masa del material particulado).
- El cálculo de concentración de la sustancia de interés se basa en dividir la masa del material particulado entre el volumen de muestra, el cual se determina multiplicando el flujo del equipo por el periodo de muestreo específico.

Figura 2. Ejemplo del proceso del Método Gravimétrico para Material Particulado



Fuente: Ibañez, L. (2008).





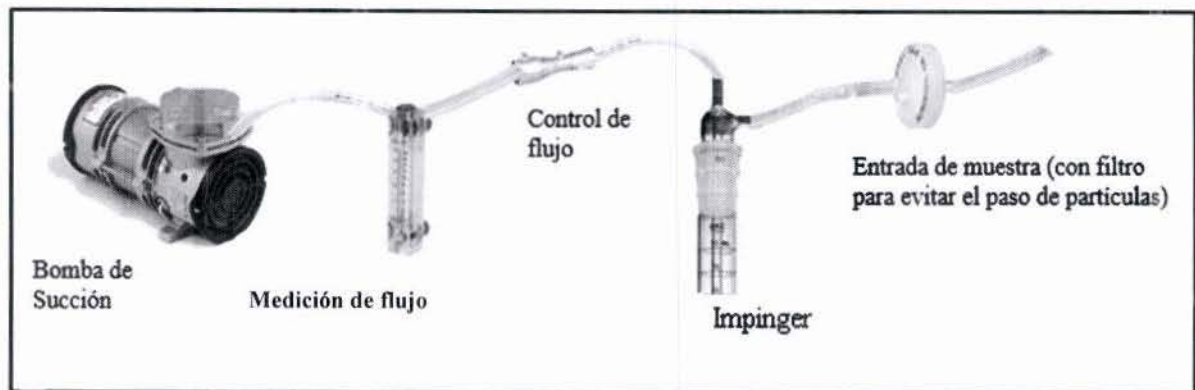
D.2.2 Método activo para gases ambientales

El método activo para gases ambientales se basa en el tren de muestreo ambiental, el cual está conformado por un conjunto de impingers o frascos colectores para cada gas que se quiera muestrear.

Los impingers tienen dos conexiones: una para el ingreso del aire, y otra para la salida del aire y su transporte hacia el dispositivo de control, dispositivo de medición de flujo y bomba de succión. A cada impinger se le vierte una cantidad de sustancia líquida absorbente como medio de colección. La sustancia a usar depende del analito que se desea medir.

Para el cálculo de la concentración de la sustancia de interés, se debe dividir la masa del gas ambiental entre el volumen de muestra, el cual se determina multiplicando el flujo del equipo por el periodo de muestreo específico.

Figura 3. Esquema referencial de los componentes de un tren de muestreo ambiental



Elaboración propia (2018).

D.3 Sistemas automáticos

Los sistemas automáticos usan una bomba de succión, al igual que los otros sistemas anteriormente explicados. Sin embargo, a diferencia de ellos, el objetivo de estos equipos no es coleccionar muestras del analito para ser analizadas en el laboratorio, sino determinar su concentración en una cámara de análisis, que usualmente utiliza métodos ópticos (entre ellos, la fluorescencia UV, la quimioluminiscencia, la dispersión de la luz y la atenuación de rayos beta).

D.3.1 Métodos automáticos para material particulado

Para la determinación del material particulado mediante métodos automáticos o continuos existen tres técnicas básicas, las mismas que se describen a continuación:

- **Atenuación de rayos beta:** Esta técnica se basa en la respuesta óptica de una muestra del analito (Ej.: material particulado) a la radiación emitida por una fuente radiactiva (isotopo de C-14). De modo que, conforme vaya aumentando la masa de partículas en el filtro que contiene la muestra, irá atenuándose cada vez más el paso de la radiación beta. Esta relación es la que, finalmente, permite determinar la masa del analito, cuyo cálculo es usado



posteriormente por el equipo automático para establecer su concentración en microgramos por metro cúbico.

- Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM, por sus siglas en inglés):** Esta técnica utiliza un filamento cónico que sostiene un filtro de 13 milímetros de diámetro, donde es colectada la muestra. Dicho filamento es sometido a una oscilación constante, cuya frecuencia se irá reduciendo conforme vaya aumentando la masa de partículas en el filtro. Esta relación inversa es la que, finalmente, permite calcular la masa del analito, la cual será usada posteriormente por el equipo automático para establecer su concentración en microgramos por metro cúbico.
- Dispersión de la luz:** Esta técnica se basa en la respuesta de cada partícula del analito (por ejemplo, material particulado) a un haz de luz emitido a la corriente de aire que ingresa al equipo automático. En específico, la respuesta de reflexión al haz de luz, permite determinar el tamaño de cada partícula en función de su ángulo de reflexión, así como la cantidad de partículas presentes en la muestra. Por esa razón, estos sistemas son considerados también como contadores ópticos de partículas.

Una vez determinado el tamaño y número de las partículas, el equipo automático procede a calcular primero la masa del analito y, luego, su concentración en microgramos por metro cúbico.

D.3.2 Métodos automáticos para gases ambientales

Son técnicas que, de manera similar a los métodos automáticos para material particulado, succionan la muestra de aire, la cual en lugar de ser colectada en alguna sustancia absorbente (medio de colección), ingresa a una cámara de medición donde se aplican metodologías ópticas para la determinación del analito.

Con relación a estos métodos, cabe precisar que la concentración del analito en microgramos por metro cúbico se calcula dividiendo la masa (hallada en la cámara de medición) entre el volumen de la muestra.

A continuación, se presentan los métodos automáticos para gases ambientales que pueden ser aplicados para determinar la concentración de los parámetros del ECA para Aire:

Tabla 5. Métodos automáticos de la calidad del aire

Parámetro	Periodo	Método de referencia
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	Fluorescencia Ultravioleta
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	Quimioluminiscencia
Mercurio Gaseoso Total (MGT)	24 horas	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora / 8 horas	Infrarrojo No Dispersivo (NDIR)
Ozono (O ₃)	8 horas	Fotometría de Absorción Ultravioleta
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	Fluorescencia Ultravioleta
Benceno (C ₆ H ₆)	anual	Cromatografía de gases

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM.





D.4 Sistemas híbridos

Los sistemas híbridos combinan diversas metodologías (pasivas, activas o automáticas) para determinar las concentraciones de los parámetros de calidad del aire. La utilización de estos sistemas depende, en gran medida, de los objetivos planteados en el programa o plan de monitoreo, así como de los recursos disponibles y la priorización de los parámetros de monitoreo a ser analizados.

Así, por ejemplo, en una red de monitoreo para la zona urbana de una ciudad, en la cual tanto los datos históricos como los inventarios de emisiones e indicios de modelación fotoquímica indican que los parámetros a priorizar son el material particulado (PM_{10} y $PM_{2,5}$) y ozono troposférico (O_3), se puede priorizar la utilización de sistemas automáticos para el PM_{10} , $PM_{2,5}$ y O_3 , considerando la limitada disponibilidad de recursos; mientras que para otros parámetros relacionados, se podrían aplicar sistemas activos o pasivos, al no ser parámetros priorizados.

E. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE POR SU GRADO DE EXACTITUD

Los métodos de monitoreo, además de activos, pasivos o automáticos, pueden ser clasificados por su grado de exactitud en: métodos de referencia o métodos equivalentes¹⁰.

Los métodos de referencia (FRM, por sus siglas en inglés Federal Reference Method), de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés)¹¹, son el “estándar técnico de oro” de los sistemas de monitoreo de la contaminación del aire, pues aseguran que los datos recolectados en diferentes sitios sean exactos y puedan ser comparables con los resultados obtenidos por diversas redes de monitoreo.

Por otro lado, a efectos de promover la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías, a nivel internacional se revisan, examinan y aprueban métodos equivalentes (FEM, por sus siglas en inglés de Federal Equivalent Method), los cuales presentan una exactitud similar a los FRM y se basan en tecnologías de muestreo y/o análisis diferentes¹².

Debido a estas diferencias, es usual que cuando se comparan los resultados obtenidos por los métodos de referencia y los métodos equivalentes, se observe que los primeros demuestran una mayor exactitud. Sin embargo, cabe precisar que, a pesar de ello, tanto los métodos de referencia como los equivalentes son los únicos que permiten una validez adecuada para la comparación con los ECA para Aire.

Asimismo, se debe resaltar que para la aplicación de cualquier método de referencia o método equivalente es necesario tomar en cuenta las consideraciones técnicas, así como el nivel de incertidumbre, interferencia y fuentes potenciales de error, establecidos para cada uno de estos.



¹⁰ U.S. Environmental Protection Agency (consultado el 7 marzo de 2018). “EPA scientists develop Federal Reference & Equivalent Methods for measuring key air pollutants”. Disponible en: <https://www.epa.gov/air-research/epa-scientists-develop-federal-reference-equivalent-methods-measuring-key-air>. Revisar también: Hall, E. et al (2014). Integrating Sensor Monitoring Technology into the Current Air Pollution Regulatory Support Paradigm: Practical Considerations. American Journal of Environmental Engineering (DOI: 10.5923/j.ajee.20140406.02).

¹¹ U.S. Environmental Protection Agency (consultado el 7 marzo de 2018). “EPA scientists develop Federal Reference & Equivalent Methods for measuring key air pollutants”. Disponible en: <https://www.epa.gov/air-research/epa-scientists-develop-federal-reference-equivalent-methods-measuring-key-air>.

¹² *Ídem*.



Puesto que, sin el adecuado manejo de dichos aspectos técnicos, no podría considerarse que el procedimiento de monitoreo ha sido llevado a cabo correctamente, perdiéndose así la garantía de la calidad de los resultados obtenidos con el método en cuestión.

Por otro lado, en adición a lo señalado, es importante que todo método de referencia o método equivalente cumpla con lo indicado en las NTP (Normas Técnicas Peruanas) correspondientes. En caso de no contarse con una NTP para el método en cuestión, se pueden realizar mediciones basadas en normas técnicas internacionales, siempre y cuando el método a aplicar cumpla con lo establecido en el presente documento.

E.1 Métodos de referencia y métodos equivalentes para la determinación de material particulado (PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁)

E.1.1 Método de referencia

En el caso del material particulado, a nivel mundial, el método de referencia aprobado es el de separación inercial/filtración (gravimetría). Este método ha sido adoptado por la normativa peruana mediante el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, a través del cual se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental para Aire.

Al respecto, durante la aplicación del referido método, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones técnicas relacionadas con el diámetro de la partícula a medir:

E.1.1.1 Material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micras (PM₁₀)

Durante el periodo de monitoreo, se debe contar con un mecanismo de registro de flujos de muestreo (mecánico o digital) que permita verificar su estabilidad. Los flujos de muestreo deben configurarse en un rango de alto volumen (1,13 m³/min) o bajo volumen (16,67 l/min ≈ 1 m³/hora).

En el caso de los flujos de muestreo de alto volumen, el cabezal selectivo de entrada para el muestreador (ver Figura 4) debe permitir que el aire succionado sea capaz de ingresar de manera simétrica, sin verse afectado por la dirección del viento.

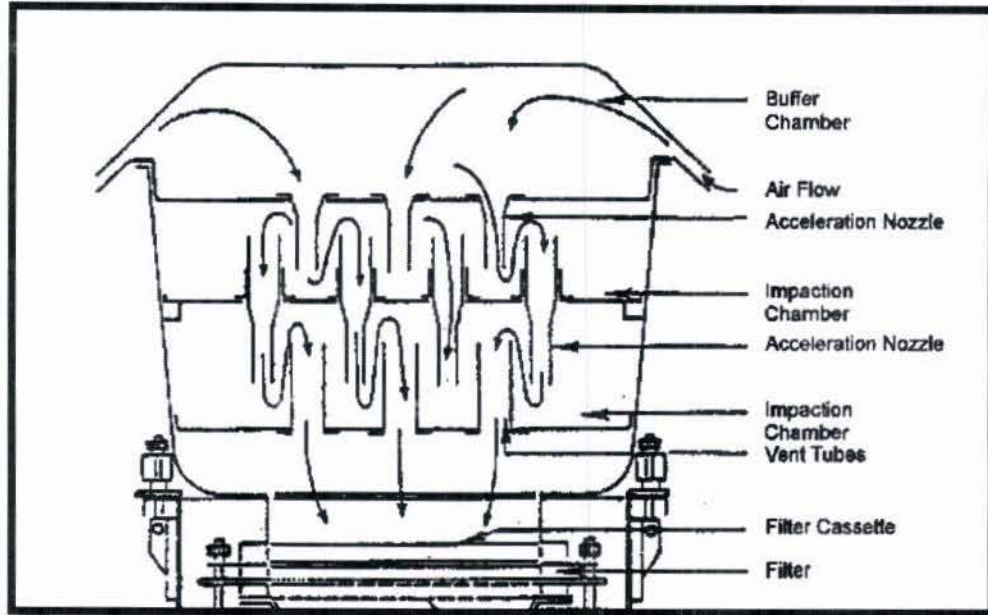
Una vez que el aire ingresa al sistema de impactación (compuesto por dos grupos de toberas), la velocidad del mismo aumenta conforme es transportado por el primer grupo de toberas, hasta desviarse al segundo grupo de toberas.

La desviación de una tobera hacia otra ocasiona la separación de las partículas mayores a 10 micras, las cuales impactan en la parte baja de la cámara del cabezal, mientras que las menores a 10 micras continúan su paso hacia el filtro colocado en el equipo para la colección de la muestra.





Figura 4. Esquema de un cabezal selectivo de alto volumen para PM_{10}



Fuente: EPA (1999).

Para evitar el fraccionamiento y/o resuspensión de las partículas más gruesas, se debe aplicar una grasa siliconada en spray tipo Down Corning 316 o similar, en la plancha base (desmontable) de la cámara de impactación, siguiendo para tal efecto los procedimientos operativos estándar y manuales de fabricantes.

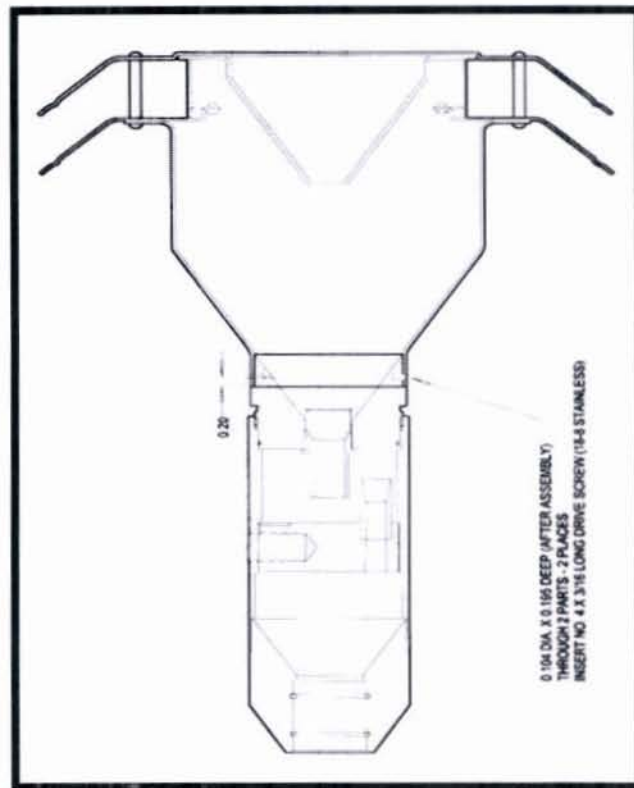
En el caso de los flujos de muestreo de bajo volumen, el cabezal selectivo de entrada para el muestreador (ver Figura 5) se diferencia del cabezal para un flujo de alto volumen, en el tamaño y la cantidad de las toberas, lo cual se debe al menor flujo de aire que ingresa para la toma de la muestra (16,67 l/min).

Debido a esta característica en particular no se requiere aplicar grasa siliconada o sustancia adherente alguna en la plancha base de la cámara de impactación, sino que únicamente debe realizarse una limpieza periódica.





Figura 5. Esquema de un cabezal selectivo
de bajo volumen para PM₁₀



Fuente: EPA (2006).

E.1.1.2 Material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 2,5 micras (PM_{2,5})

Durante el periodo de monitoreo, se debe contar con un mecanismo de registro de flujos de muestreo (mecánico o digital) que permita verificar su estabilidad. En este caso, los flujos de muestreo solo pueden configurarse en un rango de bajo volumen (16,67 l/min \approx 1 m³/hora).

El sistema de separación de partículas en un muestreador de bajo volumen para PM_{2,5}, presenta dos etapas:

- **En la primera etapa**, se busca seleccionar las partículas con un tamaño menor a 10 micras (PM₁₀), conforme al procedimiento señalado en el apartado E.1.1.1 para flujos de bajo volumen.
- **En la segunda etapa**, las partículas menores a 10 micras son transportadas hacia un separador selectivo de PM_{2,5} tipo WINS (Well Impactor Ninety-Six) o tipo VSCC (Very Sharp Cut Cyclone), mediante los cuales se separan las partículas menores a 2,5 micras, para luego ser capturadas en el filtro de muestreo.



Los dos tipos de separador selectivo indicados, deben cumplir con lo establecido en el punto 7.3.4 de la NTP 900.069. "Monitoreo de Calidad Ambiental. Calidad del aire. Método de referencia para la determinación de material particulado fino como PM 2.5 en la atmósfera".

E.1.1.3 Fracción gruesa del material particulado (PM_{10-2,5})

El método de referencia para la determinación de la fracción gruesa de material particulado, también llamada "coarse", se basa en una operación de diferencia aritmética entre el resultado del material particulado menor a 10 micras y el resultado del material particulado menor a 2,5 micras, los mismos que son obtenidos con dos equipos independientes, que deben cumplir con el respectivo método de referencia indicado en los apartados E.1.1.1 y E.1.1.2.

E.1.1.4 Material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 1 micras (PM₁)

De forma similar al caso de los métodos de referencia para el material particulado menor a 10 ó 2,5 micras, se debe contar con un mecanismo de registro de flujos de muestreo que permita verificar la estabilidad de los mismos, durante el periodo de monitoreo.

Con relación a este método de referencia, cabe especificar que los flujos de muestreo solo pueden configurarse en un rango de bajo volumen (16,67 l/min \approx 1 m³/hora). Asimismo, al igual que sucede con el procedimiento para el material particulado menor a 2,5 micras, el sistema de separación de partículas del muestreador de bajo volumen para PM₁ presenta dos etapas:

- **En la primera etapa**, se busca seleccionar las partículas con un tamaño menor a 10 micras (PM₁₀), conforme al procedimiento señalado en el apartado E.1.1.1 para flujos de bajo volumen.
- **En la segunda etapa**, las partículas menores a 10 micras son transportadas hacia un separador selectivo de PM₁ tipo SCC 2.229, mediante el cual se separan las partículas menores a 1 micra, para luego ser capturadas en el filtro de muestreo. El separador selectivo SCC 2.229 debe cumplir con el diseño y dimensiones establecidas en el artículo científico de R.A. Gussman et al (2001)¹³.



E.1.2 Métodos equivalentes

Los métodos equivalentes para material particulado se fundamentan en las tres técnicas básicas indicadas en el apartado D.3.1. Es decir, en la atenuación de rayos beta, la Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico y la dispersión de la luz, cuya aplicación se detalla a continuación, incluyendo el método a ser utilizado para el caso de la fracción gruesa del material particulado (PM_{10-2,5}):

E.1.2.1 Atenuación de rayos beta

Los flujos de aire deben basarse en la configuración de bajo volumen (16,67 l/min \approx 1 m³/hora). Además, es necesario contar con un mecanismo de registro digital de flujo que permita verificar la estabilidad del mismo, durante el periodo de monitoreo.

¹³ R.A. Gussman et al (2001). Design Calibration and Field Test of a Cyclone for PM-1 Ambient Air Sampling, Aerosol Science and Technology.



Para la entrada del aire, dependiendo del tamaño del material particulado de interés (PM_{10} , $PM_{2,5}$ o PM_1), debe utilizarse cabezales que cumplan con los criterios técnicos explicados en los apartados E.1.1.1 (PM_{10} - bajo volumen), E.1.1.2 ($PM_{2,5}$) y E.1.1.4 (PM_1). Asimismo, tomando en consideración la bibliografía técnico-científica de nivel internacional, los sistemas de medición que utilizan la atenuación de rayos beta deben contar con mecanismos que compensen o mitiguen el efecto de la interferencia ocasionada por la presencia de radón en el aire¹⁴.

Por otro lado, cabe precisar que si bien la aplicación de los métodos equivalentes y de referencia permite obtener resultados comparables con los ECA para Aire, es recomendable realizar pruebas de comparación entre el método equivalente de atenuación de rayos beta versus el método de referencia explicado en el apartado E.1.1, debido a que por la pérdida del material particulado volátil y semivolátil, a consecuencia de la calefacción de la línea de muestreo¹⁵, las concentraciones halladas pueden diferir de las concentraciones reales. De modo que, sea posible utilizar un factor de corrección para las concentraciones halladas con este método.

Finalmente, es importante indicar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considera como método equivalente bajo la técnica de atenuación de rayos beta, aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas:

- EPA (USA), denominada "*List of designated reference and equivalent methods*",
- MCerts (Inglaterra), denominada "*Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)*", o
- TUV (Alemania), denominada "*Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring*"¹⁶.

Las referidas listas deben ser consideradas en su versión más actualizada a la fecha de planificación del monitoreo. La ejecución del monitoreo deberá siempre cumplir con las consideraciones técnicas establecidas para cada equipo que forma parte de las mencionadas listas.

E.1.2.2 Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM)

Los flujos de aire deben basarse en la configuración de bajo volumen ($16,67 \text{ l/min} \approx 1 \text{ m}^3/\text{hora}$). Para la entrada del aire, dependiendo del tamaño del material particulado de interés (PM_{10} , $PM_{2,5}$ o PM_1), debe utilizarse cabezales que cumplan con los criterios técnicos explicados en los apartados E.1.1.1 (PM_{10} - bajo volumen), E.1.1.2 ($PM_{2,5}$) y E.1.1.4 (PM_1).

Luego de que el flujo de aire ingresa por el cabezal, éste se divide en dos líneas de flujo: una principal de 3 l/min y otra auxiliar de $13,67 \text{ l/min}$. Asimismo, a efectos de verificar la estabilidad de



¹⁴ Washington State Department of Ecology (2017). $PM_{2,5}$ and PM_{10} Beta Attenuation Monitor Operating Procedure. Air Quality Program US-Environmental Protection Agency (1999) Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air, Chapter IO-1. Continuous measurement of PM_{10} suspended particulate matter (SPM) in ambient air - overview. Cincinnati, OH 45268. Véase también: Department of Environment and Conservation of Western Australia (2009). Ambient monitoring of Particulate Matter in Kalgoorlie 2006-2007 (Technical report).

¹⁵ Takahashi K, Minoura H. and Sakamoto K. (2008). Examination of discrepancies between beta-attenuation and gravimetric methods for the monitoring of particulate matter. Atmospheric Environment Journal. Véase también: Shin S, Jung Ch. and Kim Y (2011). Analysis of the Measurement Difference for the PM_{10} Concentrations between Beta-ray Absorption and Gravimetric Methods at Gosan. Aerosol and Air Quality Research Journal.

¹⁶ En el ámbito del alcance del presente protocolo, debe ser aplicada únicamente para los equipos de monitoreo de calidad ambiental del aire (ambient air monitoring)



ambas líneas de flujo, es necesario contar con un mecanismo de registro digital durante el periodo de monitoreo.

En adición a lo anterior, cabe precisar que si bien la aplicación de los métodos equivalentes y de referencia permite obtener resultados comparables con los ECA para Aire, es recomendable realizar pruebas de comparación entre el método equivalente de Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM) versus el método de referencia explicado en el apartado E.1.1, debido a que por la pérdida del material particulado volátil y semivolátil, a consecuencia de la calefacción de la línea de muestreo, las concentraciones halladas pueden diferir de las concentraciones reales¹⁷. De modo que, sea posible utilizar un factor de corrección para las concentraciones halladas con este método.

Al respecto, se debe tomar en consideración que la temperatura de calefacción de la línea de muestreo en un TEOM suele ser mayor a la de un sistema de atenuación de rayos beta, por lo que la pérdida del material particulado volátil y semivolátil es también mayor. Asimismo, debido a que la fracción volátil y semivolátil tiene una mayor presencia en la medición de PM_{2,5}, es necesario el uso del sistema adicional denominado FDMS (por sus siglas inglés, Filter Dynamic Measurement System), el cual es de utilidad para reducir la pérdida de material particulado volátil y semivolátil.

Con relación al PM₁, cabe señalar que las interferencias ocasionadas por la pérdida de material particulado volátil y semivolátil, no permiten considerar al TEOM como un método equivalente para el monitoreo de este tamaño de material particulado, aun cuando se utilice el sistema adicional FDMS.

Finalmente, es importante indicar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considera como método equivalente bajo la técnica de Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico, aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas:

- EPA (USA), denominada "*List of designated reference and equivalent methods*",
- MCerts (Inglaterra), denominada "*Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)*", o
- TUV (Alemania), denominada "*Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring*"¹⁸.

Las referidas listas deben ser consideradas en su versión más actualizada a la fecha de planificación del monitoreo. La ejecución del monitoreo deberá siempre cumplir con las consideraciones técnicas establecidas para cada equipo que forma parte de las mencionadas listas.

E.1.2.3 Dispersión de la luz

Se recomienda que los flujos de aire se basen en una configuración de bajo volumen (16,67 l/min \approx 1 m³/hora). Sin embargo, es posible la aceptación de otras configuraciones de flujo para equipos que utilicen la dispersión de la luz, debido a que esta metodología no requiere de la separación selectiva de partículas. La única condición para su aplicación es que la entrada de muestreo en el cabezal sea omnidireccional.

¹⁷ William E. Wilson et al (2006). The Measurement of Fine Particulate Semivolatile Material in. Journal of the Air & Waste Management Association, 56:4, 384-397.

¹⁸ En el ámbito del alcance del presente protocolo, debe ser aplicada únicamente para los equipos de monitoreo de calidad ambiental del aire (ambient air monitoring)



Además de lo indicado, al igual que sucede con la técnica de atenuación de rayos beta, es necesario contar con un mecanismo de registro digital de flujo que permita verificar la estabilidad del mismo, durante el periodo de monitoreo.

En adición a lo anterior, cabe precisar que si bien la aplicación de los métodos equivalentes y de referencia permite obtener resultados comparables con los ECA para Aire, es recomendable realizar pruebas de comparación entre el método equivalente de dispersión de la luz versus el método de referencia explicado en el apartado E.1.1, debido a que por la pérdida del material particulado volátil y semivolátil, a consecuencia de la calefacción de la línea de muestreo, las concentraciones halladas pueden diferir de las concentraciones reales¹⁹. De modo que, sea posible utilizar un factor de corrección para las concentraciones halladas con este método.

Finalmente, es importante indicar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considera como método equivalente bajo la técnica de dispersión de la luz, aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas:

- EPA (USA), denominada “*List of designated reference and equivalent methods*”,
- MCerts (Inglaterra), denominada “*Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)*”, o
- TUV (Alemania), denominada “*Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring*”²⁰.

Las referidas listas deben ser consideradas en su versión más actualizada a la fecha de planificación del monitoreo. La ejecución del monitoreo deberá siempre cumplir con las consideraciones técnicas establecidas para cada equipo que forma parte de las mencionadas listas.

E.1.2.4 Fracción gruesa del material particulado (PM_{10-2,5})

El método equivalente para la determinación de la fracción gruesa del material particulado, también llamada “*coarse*”, se basa en una operación de resta entre el resultado del material particulado menor a 10 micras y el resultado del material particulado menor a 2,5 micras, los mismos que son obtenidos con dos equipos independientes, que deben cumplir con cualesquiera de los métodos equivalentes indicados en los apartados E.1.2.1, E.1.2.2 y/o E.1.2.3.

E.2 Métodos de referencia y métodos equivalentes para la determinación de dióxido de azufre

E.2.1 Método de referencia (Fluorescencia ultravioleta)

El método de referencia automático se basa en medir la respuesta de fluorescencia cuando se irradia con luz ultravioleta, en el orden de 190 nm - 230 nm, a la muestra de aire que ingresa al equipo conteniendo dióxido de azufre (SO₂), el cual absorbe la referida radiación para luego descargar energía fluorescente.

¹⁹ Molenaar J. (revisado el 7 de marzo de 2018). Theoretical Analysis of PM_{2.5} Mass Measurements by Nephelometry - #110. Recuperado de http://vista.cira.colostate.edu/improve/publications/graylit/014_AerosolByNeph/AerosolbyNeph.pdf.

²⁰ En el ámbito del alcance del presente protocolo, debe ser aplicada únicamente para los equipos de monitoreo de calidad ambiental del aire (ambient air monitoring)



Posteriormente, la energía fluorescente emitida es detectada por un tubo fotomultiplicador que produce un voltaje proporcional a la intensidad de dicha energía, la cual es convertida a concentraciones de SO_2 por medio de factores de calibración²¹, determinándose así la cantidad de esta sustancia en la muestra.

Una de las ventajas de este método de detección, es que el monitoreo a longitudes de onda comprendidas entre 190 nm y 230 nm presenta poca interferencia a otras sustancias que pueden estar presentes en el aire y que no corresponden a lo que se desea medir. Sin embargo, es importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación o la presencia de hidrocarburos:

- **En el caso de la temperatura de operación**, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo²².
- **En lo que respecta a la interferencia por la potencial presencia de hidrocarburos**, en especial los llamados aromáticos polinucleares, es necesario que todo analizador de SO_2 que aplique el método de referencia por fluorescencia ultravioleta cuente con un eliminador de hidrocarburos (Hydrocarbon "kicker")²³. Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

Con relación al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

Finalmente, resulta pertinente anotar que en el mercado existen analizadores que, mediante mecanismos duales, permiten la medición alternada de SO_2 y H_2S . Sin embargo, para que estos se consideren como sistemas que aplican el método referencia explicado, deben cumplir lo señalado en los párrafos anteriores y tener bloqueada la configuración dual, de modo que únicamente estén dedicados a la determinación de las concentraciones de SO_2 .



E.2.2 Métodos equivalentes

E.2.2.1 Pararrosanilina

Este método equivalente permite determinar la concentración del SO_2 , mediante su absorción en una solución de tetracloromercurato de potasio (TCM). En específico, la muestra de SO_2 presente en el aire (que ingresa al equipo) reacciona con la solución de TCM, para luego formar un

²¹ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2008) Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Recuperado de:

<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>

²² Esto resulta aplicable salvo que la lista de la US EPA "List of designated reference and equivalent methods", en su versión más actualizada, indique lo contrario.

²³ US Environmental Protection Agency (2014). Fact sheet for trace level SO_2 monitoring method. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/spec/so2sum2.pdf>.



compuesto estable de monoclorsulfonatomercuroso, el cual es posteriormente analizado en el laboratorio a fin de determinar la concentración del analito.

Los flujos de aire deben basarse en configuraciones de bajo volumen (entre 0,18 l/min y 0,22 l/min) y contar además con un mecanismo de registro de flujo (mecánico o digital) que permita verificar su estabilidad durante el periodo de monitoreo. Asimismo, la entrada de la muestra debe incluir un filtro para evitar el paso de partículas hacia el mecanismo de control de flujo.

La temperatura interna del muestreador (donde se encuentra la sustancia absorbente) debe mantenerse entre 5 °C y 25 °C, para lo cual es necesario contar con un sensor que haga posible la medición y registro de su temperatura interna durante todo el periodo de monitoreo. Además de lo indicado, en caso la muestra no fuese analizada antes de las 12 horas posterior a finalizada la toma de muestra, se debe proceder a almacenarla a una temperatura entre 0 °C a 10 °C, hasta su análisis en laboratorio.

Por último, cabe señalar que en tanto el país no cuente con una NTP para este método equivalente, se debe considerar como norma técnica la establecida por la EPA en el documento "40 CFR Part 50, Appendix A: Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method)".

E.2.2.2 Difusión pasiva

Como se ha indicado previamente, el país cuenta con la NTP 900.036:2017. "Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Parte 1", la cual se basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. "Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Parte 1: Requisitos Generales".

Al respecto, se ha advertido que la Norma Europea EN 13528-1:2002 prevé en su Parte 2 y Parte 3, los requisitos específicos y métodos de ensayo, así como una guía para la selección, uso y mantenimiento de los muestreadores. En ese sentido, en tanto la NTP 900.036:2017 no incorpore los aspectos antes indicados, el método equivalente por difusión pasiva para la medición del SO₂, será aquel que cumpla con lo señalado en la Norma Europea EN 13528, partes 1, 2 y 3.

Finalmente, otro aspecto a considerar es que, por cada punto y periodo de medición, debe tomarse como mínimo muestras por triplicado, con la finalidad de asegurar la calidad de los resultados.

E.3 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación de monóxido de carbono

E.3.1 Método de referencia (Infrarrojo No Dispersivo - NDIR)

El método de referencia automático por Infrarrojo No Dispersivo incorpora un Filtro de Correlación de Gas (por sus siglas en inglés, GFC), el cual cuenta con un elemento rotatorio filtrante de gas, dividido en dos secciones: una que contiene monóxido de carbono (CO), y otra que presenta nitrógeno (N₂).

En un primer momento, se incide con radiación infrarroja sobre el elemento rotatorio filtrante de gas, la misma que, al pasar por la sección que contiene CO, es absorbida parcialmente por esta



sustancia. La radiación infrarroja que logra sobrepasar el filtro conforma un haz de "referencia", que permite seleccionar las longitudes de onda que no se encuentran relacionadas con el CO.

Luego, en un segundo momento, la radiación infrarroja incide sobre la sección que contiene N₂, el cual, al ser una sustancia diferente, no absorbe las longitudes de onda específicas del CO que pasan por el filtro, hasta conformar un haz de "medición", que se verá atenuado por la cantidad de CO contenida en la muestra de aire.

Este mecanismo de determinación de un haz "referencia" y un haz de "medición", de manera alternada, permite una reducción significativa de la sensibilidad del equipo ante la presencia de otras sustancias que pueden estar presentes en el aire y que no corresponden a lo que se desea medir²⁴.

Además de las otras sustancias, es importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación o la presencia de partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo²⁵.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

Con relación al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

E.3.2 Método equivalente

En relación a los métodos equivalentes, es importante indicar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considera como métodos equivalentes para la determinación de monóxido de carbono, aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas:

- EPA (USA), denominada "*List of designated reference and equivalent methods*",
- MCerts (Inglaterra), denominada "*Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)*", o
- TUV (Alemania), denominada "*Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring*"²⁶.

Las referidas listas deben ser consideradas en su versión más actualizada a la fecha de planificación del monitoreo. La ejecución del monitoreo deberá siempre cumplir con las consideraciones técnicas establecidas por para cada equipo que forma parte de las mencionadas listas.

²⁴ Trieu-Vuong D. et al (2016). A review on non-dispersive infrared gas sensors: Improvement of sensor detection limit and interference correction.

²⁵ Esto resulta aplicable salvo que la lista de la US EPA "*List of designated reference and equivalent methods*", en su versión más actualizada, indique lo contrario.

²⁶ En el ámbito del alcance del presente protocolo, debe ser aplicada únicamente para los equipos de monitoreo de calidad ambiental del aire (ambient air monitoring)



E.4 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación del dióxido de nitrógeno

E.4.1 Método de referencia (Quimioluminiscencia)

El método de referencia automático consiste en hacer reaccionar el NO de la muestra con el O₃ generado por el equipo. De esta manera, se forman moléculas de NO₂ inestables, las cuales, al buscar nuevamente su estado fundamental, emiten una cantidad de radiación quimioluminiscente que es proporcional a la concentración de NO presente en la muestra de aire.

El procedimiento descrito permite la cuantificación del NO y no del NO₂. Por esa razón, es necesario realizar luego el siguiente procedimiento complementario:

- La muestra de aire que contiene NO_x (NO₂ + NO), ingresa al equipo y pasa por un convertidor de molibdeno, el cual reduce el NO₂ a NO.
- Luego, el NO_x (NO reducido con el convertidor de molibdeno + NO) reacciona con el ozono generado por el equipo, originando moléculas de NO₂ inestables, las cuales, al buscar nuevamente su estado fundamental, emiten una cantidad de radiación quimioluminiscente que es proporcional a la concentración de NO_x presente en la muestra de aire.
- Posteriormente, para la determinación del NO₂, el analizador procede a calcular la diferencia aritmética del NO (identificado con el procedimiento inicial) y el NO_x (identificado con el presente procedimiento complementario).

En adición a lo indicado, es importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación, la generación de ozono o la presencia de partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo²⁷.
- Asimismo, en lo que respecta al generador de ozono, se debe incluir un scrubber o separador de gases interferentes a la entrada del mismo, así como un mecanismo que asegure el ingreso de gas seco al generador.

Por otro lado, debido a que la generación de ozono no es controlada, es posible que excesos de ozono salgan del proceso de medición, por lo que es fundamental contar con un scrubber o separador de ozono a la salida del analizador o bomba de succión.

- Para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).



²⁷ Esto resulta aplicable salvo que la lista de la US EPA "List of designated reference and equivalent methods", en su versión más actualizada, indique lo contrario.



Por último, con relación al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

E.4.2 Métodos equivalentes

E.4.2.1 Cavidad por Atenuación de Desplazamiento de Fase (CAPS)

El método equivalente automático, denominado Cavidad por Atenuación de Desplazamiento de Fase (CAPS, por sus siglas en inglés), cuenta con una fuente de luz de banda ancha modulada a aproximadamente 430 nm, la cual se encuentra acoplada a una cavidad resonante óptica formada por dos espejos de alta reflectividad.

La muestra de aire con presencia de NO_2 ingresa a la cámara de análisis, en cuyo interior está la cavidad resonante óptica en la incide la luz de banda ancha, ocasionando el desplazamiento de las longitudes de onda que, al ser recibidas por un fotodetector, permiten determinar la concentración de NO_2 , a partir de la relación proporcional que existe entre ésta y el referido desplazamiento²⁸.

Con relación al método explicado, resulta importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación o la presencia de partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo²⁹.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).



En tanto el país no cuente con una NTP referida al método equivalente CAPS, se considerarán como sistemas de medición equivalentes aquellos que se encuentren en la lista de la EPA denominada "List of designated reference and equivalent methods", en su versión más actualizada, siempre que cumplan con las consideraciones técnicas establecidas por la EPA para cada equipo que forma parte de la mencionada lista.

E.4.2.2 Griess-Saltzman (Manual Activo)

El método equivalente por la reacción de Griess-Saltzman para medir NO_2 , involucra la absorción del mencionado gas en una solución de trietanolamina (TEA), para su análisis posterior en laboratorio, usando un reactivo que forme un compuesto azo-colorante.

Los flujos de aire deben basarse en configuraciones de bajo volumen (0,4 l/min) y contar además con un mecanismo de registro de flujo (mecánico o digital) que permita verificar su estabilidad

²⁸ Kebabian P., Herndon S. and Freedman A. (2005). Detection of Nitrogen Dioxide by Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy. Analytical Chemistry Journal.

²⁹ Esto resulta aplicable salvo que la lista de la US EPA "List of designated reference and equivalent methods", en su versión más actualizada, indique lo contrario.



durante el periodo de monitoreo (60 minutos). Asimismo, la entrada de la muestra debe incluir un filtro para evitar el paso de partículas hacia el mecanismo de control de flujo.

La muestra debe ser analizada antes de los 45 minutos posteriores a la toma de muestra (o antes de las 5 horas en caso se haya adicionado acetona para retardar la pérdida de color)³⁰.

Los envases tanto para el traslado de la solución absorbente, el muestreo y el traslado de la muestra, deben ser de coloración ámbar para evitar la exposición de las soluciones y muestras a la luz solar, a efectos de garantizar su integridad.

Finalmente, cabe precisar que en tanto el país no cuente con una NTP para este método equivalente, se tomará como norma técnica la establecida por la ASTM en el documento "ASTM D1607 - 91(Rev. 2011): Standard Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction)".

E.4.2.3 Arsenito de sodio (Manual Activo)

Este método equivalente involucra la absorción del NO₂ en una solución de hidróxido y arsenito de sodio, para su posterior análisis en laboratorio, usando un reactivo que forme un compuesto azo-colorante.

Los flujos de aire deben basarse en configuraciones de bajo volumen (0,2 l/min) y contar además con un mecanismo de registro de flujo (mecánico o digital) que permita verificar su estabilidad durante el periodo de monitoreo. Asimismo, la entrada de la muestra debe incluir un filtro para evitar el paso de partículas hacia el mecanismo de control de flujo.

Los envases tanto para el traslado de la solución absorbente, el muestreo y el traslado de la muestra, deben ser de coloración ámbar para evitar la exposición de las soluciones y muestras a la luz solar, a efectos de garantizar su integridad.

Con relación al presente método, es preciso indicar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considerarán como sistemas de medición equivalentes bajo el principio arsenito de sodio, aquellos que se encuentren en la lista de la EPA denominada "*List of designated reference and equivalent methods*", en su versión más actualizada, siempre que cumplan con las consideraciones técnicas establecidas por la EPA para cada equipo que forma parte de la mencionada lista.



Al respecto, cabe señalar que los sistemas de medición equivalentes contemplados por la EPA, incorporan la necesidad de que el periodo de muestreo sea únicamente para 24 horas. Inclusive el Registro Federal de los Estados Unidos³¹, indica que ninguno de los referidos métodos podrá ser aplicado para mediciones de corto plazo (1 hora).

E.4.2.4 Difusión pasiva

Como se ha indicado previamente, el país cuenta con la NTP 900.036:2017. "Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Parte 1", la cual se

³⁰ ASTM D1607 - 91(Rev. 2011): Standard Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction). Véase también: Lodge, James (1988). Methods of Air Sampling and Analysis - 3rd Edition.

³¹ Registro Federal de los Estados Unidos: Vol. 42, página 62972. Publicado el 14 de diciembre de 1977.



basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. "Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Parte 1: Requisitos Generales".

Al respecto, se ha advertido que la Norma Europea EN 13528-1:2002 prevé en su Parte 2 y Parte 3, los requisitos específicos y métodos de ensayo, así como una guía para la selección, uso y mantenimiento de los muestreadores. En ese sentido, en tanto la NTP 900.036:2017 no incorpore los aspectos antes indicados, el método equivalente por difusión pasiva para la medición del NO₂, será aquel que cumpla con lo señalado en la Norma Europea EN 13528, partes 1, 2 y 3.

Finalmente, otro aspecto a considerar es que, por cada punto y periodo de medición, debe tomarse como mínimo muestras por triplicado, con la finalidad de asegurar la calidad de los resultados.

E.5 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación del ozono troposférico

E.5.1 Método de Referencia (Fotometría de absorción ultravioleta)

El método de referencia automático por fotometría de absorción ultravioleta se basa en el ingreso de la muestra de aire a una cámara óptica, en donde es sometida a una radiación incidente de rayos UV. El nivel de absorción de UV por parte de la muestra es proporcional a la concentración de ozono.

Para determinar el nivel de absorción de rayos UV, se cuenta con dos líneas de flujo por donde ingresa el aire de forma alternada, en dos momentos diferentes de seis segundos cada uno, conforme se explica a continuación:

- En un primer momento, el aire pasa por la primera línea de flujo, a través de un *scrubber* que separa el ozono de la muestra, para luego ser irradiada con rayos UV. La radiación incidente no absorbida es determinada mediante un fotodetector.
- En un segundo momento, la muestra pasa por la segunda línea de flujo, sin *scrubber* o separador de ozono, de manera que la radiación incidente se ve parcialmente absorbida por el ozono presente en la muestra.
- La diferencia logarítmica de los niveles de radiación incidente calculados en el primer y segundo momento, le permite al analizador automático determinar el nivel de absorción de UV y, por consiguiente, la concentración de ozono presente en la muestra.

Con relación al método explicado, resulta importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación o la presencia de partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo³².
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).



³²

Esto resulta aplicable salvo que la lista de la US EPA "List of designated reference and equivalent methods", en su versión más actualizada, indique lo contrario.



Con relación al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

Finalmente, es pertinente advertir que en tanto el país no cuente con una NTP para este método de referencia, se tomará como norma técnica la establecida por la ISO en el documento "ISO 13964:1998 (Rev. 2017) Air quality - Determination of ozone in ambient air - Ultraviolet photometric method".

E.5.2 Métodos equivalentes

E.5.2.1 Quimioluminiscencia

Este método equivalente por quimioluminiscencia consiste en hacer reaccionar el ozono de la muestra con el etileno generado por el equipo. La reacción entre ambas sustancias genera una radiación quimioluminiscente. La concentración de O_3 en la muestra es proporcional a la quimioluminiscencia generada.

La principal desventaja de este método, en comparación con el método de referencia por fotometría de absorción UV, es que requiere la alimentación constante de etileno durante todo el periodo de monitoreo.

Con relación al método explicado, resulta importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación o la presencia de partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo³³.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

En lo que respecta al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

Por último, resulta pertinente destacar en tanto el país no cuente con una NTP para este método equivalente, se tomará como norma técnica la establecida por la ISO en el documento "ISO 10313:1993 (Rev. 2017) Ambient air - Determination of the mass concentration of ozone - Chemiluminescence method".

³³ Esto resulta aplicable salvo que la lista de la US EPA "List of designated reference and equivalent methods", en su versión más actualizada, indique lo contrario.



E.5.2.2 Difusión pasiva

Conforme a lo señalado en los apartados anteriores, el país cuenta con la NTP 900.036:2017. "Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Parte 1", la cual se basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. "Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Parte 1: Requisitos Generales".

Al respecto, se ha advertido que la Norma Europea EN 13528-1:2002 prevé en la Parte 2 y Parte 3, los requisitos específicos y métodos de ensayo, así como una guía para la selección, uso y mantenimiento de los muestreadores. En ese sentido, en tanto la NTP 900.036:2017 no incorpore los aspectos antes indicados, el método equivalente por difusión pasiva para la medición del NO₂, será aquel que cumpla con lo señalado en la Norma Europea EN 13528, partes 1, 2 y 3.

Finalmente, otro aspecto a considerar es que, por cada punto y periodo de medición, debe tomarse como mínimo muestras por triplicado, con la finalidad de asegurar la calidad de los resultados.

E.6 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación del sulfuro de hidrógeno

E.6.1 Método de Referencia (Fluorescencia ultravioleta)

Este método de referencia se basa en la conversión del sulfuro de hidrógeno (H₂S) a dióxido de azufre (SO₂)³⁴, el cual es analizado luego mediante el método de fluorescencia UV, siguiendo el procedimiento explicado en el apartado E.2.1.

La diferencia básica con el método para SO₂ radica en que antes del ingreso de la muestra a la cámara de medición, es necesario que el equipo realice las siguientes acciones:

- La muestra de aire debe pasar primero por un *scrubber* o separador de SO₂.
- Luego, la muestra de aire debe ser expuesta a un convertidor de H₂S a SO₂, que se mantenga a una temperatura entre 300 °C y 350 °C, para lograr una conversión eficiente.

De forma similar al caso del analizador para SO₂, es importante tener especial cuidado en las potenciales interferencias ocasionadas por la temperatura o la presencia de hidrocarburos y partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo³⁵.
- En lo que respecta a la interferencia por la potencial presencia de hidrocarburos, en especial los llamados Aromáticos Polinucleares, es necesario que el analizador de SO₂ por fluorescencia UV cuente con un eliminador de hidrocarburos (Hydrocarbon "kicker")³⁶.



³⁴ Alberta Environment and Parks (2016). Air Monitoring Directive. Alberta, Government of Alberta. Véase también: Alberta Environment and Parks (2011). Standard Operating Procedure for Hydrogen Sulphide (H₂S) and Total Reduced Sulphur (TRS) detectors. Alberta, Government of Alberta.

³⁵ Esto resulta aplicable salvo que la lista de la US EPA "List of designated reference and equivalent methods", en su versión más actualizada, indique lo contrario.



- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

En lo que concierne al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

Por otro lado, resulta pertinente anotar que en el mercado existen analizadores que, mediante mecanismos duales, permiten la medición alternada de SO_2 y H_2S . Sin embargo, para que estos se consideren como sistemas que aplican el método referencia explicado, deben cumplir lo señalado en los párrafos anteriores y tener bloqueada la configuración dual, de modo que únicamente estén dedicados a la determinación de las concentraciones de H_2S .

Finalmente, en tanto el país no cuente con una NTP para este método de referencia, se tomará como procedimiento técnico adecuado el descrito en el presente apartado E.6.1.

E.6.2 Método equivalente

En el país no se cuenta con un método equivalente aprobado para la determinación del H_2S . Por esa razón, en tanto el país no cuente con una NTP para dicho método equivalente, podrán aplicarse métodos normalizados a nivel internacional, siempre que estos sean aplicables específicamente para la determinación del H_2S presente en el aire ambiente.

E.7 Métodos de referencia y métodos equivalentes para la determinación de plomo y/u otros metales pesados en PM_{10}

E.7.1 Método de referencia (Espectrofotometría de Absorción Atómica)

Este método de referencia para la medición de la concentración de plomo (Pb) u otros metales pesados en PM_{10} , se basa en: (i) el procedimiento de toma de muestras establecido en el apartado E.1.1.1, y (ii) en el análisis de laboratorio por espectrofotometría de absorción atómica.

Con relación al medio de colección, se recomienda la utilización de filtros de fibra de vidrio en razón a su bajo nivel de interferentes para el método de análisis. Sin embargo, en caso se utilicen otros medios filtrantes, se debe tener especial cuidado y contar con un mecanismo que reduzca las interferencias que pueden ser ocasionadas por la presencia de otros compuestos o elementos distintos a los que se pretende muestrear.

E.7.2 Métodos equivalentes

E.7.2.1 Inducción conductiva de plasma (ICP- OES / ICP-MS)

Este método de referencia para la medición de la concentración de plomo (Pb) u otros metales pesados en PM_{10} , se basa en: (i) el procedimiento de toma de muestras establecido en el apartado E.1.1.1, y (ii) en el análisis de laboratorio por inducción conductiva de plasma.





Sobre el particular, respecto al medio de colección, se pueden utilizar filtros de fibra de vidrio, cuarzo o politetrafluoroetileno (PTFE).

Finalmente, es preciso indicar que en tanto no se cuente con una NTP para este método equivalente, el procedimiento analítico debe ser realizado conforme a los métodos "IO-3.4 Determination of metals in ambient particulate matter using ICP spectroscopy" (para ICP-OES) y "IO-3.5 Determination of metals in ambient particulate matter using ICP mass spectrometry" (para ICP-MS).

E.7.2.2 Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF)

Este método equivalente para la medición de la concentración de Pb y/u otros metales pesados en PM₁₀, se basa en: (i) el procedimiento de toma de muestras establecido en el apartado E.1.1.1, y (ii) en el análisis de laboratorio por EDXRF. Con respecto al medio de colección, se deben utilizar filtros de politetrafluoroetileno (PTFE).

Al respecto, en tanto no se cuente con una NTP para este método equivalente, el procedimiento analítico debe ser realizado conforme a lo indicado en el método "CFR Title 40, part 50, Appendix Q".

E.8 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación de mercurio gaseoso total

E.8.1 Métodos de referencia (CVAAS y CVAFS - Automáticos)

Los métodos de referencia para la medición de la concentración de mercurio gaseoso total (MGT) se basan en la toma de una muestra de aire, del cual se adsorbe el MGT a través de una trampa de oro. Luego, se realiza la desorción térmica del MGT adsorbido para que éste pueda ser analizado por Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS).

La desorción térmica (pirólisis) es fundamental pues permite que el Mercurio Gaseoso Reactivo (MGR) sea convertido a Mercurio Gaseoso Elemental (MGE)³⁷. De esta manera, tanto el MGE adsorbido inicialmente, así como el MGR convertido a MGE, pasan a ser analizados por el método CVAAS o CVAFS, determinándose así la concentración de MGT presente en la muestra.

Al respecto, es importante considerar que algunos otros gases pueden generar interferencia, por lo que es necesario aplicar trampas selectivas³⁸. Así por ejemplo, un mecanismo para la eliminación de interferencias es la utilización del gas argón como gas de arrastre en el equipo de CVAFS, puesto que éste aumenta la sensibilidad del método³⁹.



³⁷ Gustin M. et al (2015) Measuring and modeling mercury in the atmosphere: a critical review. Atmospheric, Chemistry and Physics Journal.

³⁸ NTP 900.068:2016 Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total.

³⁹ European Communities (2002). Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) Position Paper. ISBN 92-894-4260-3.



Por otro lado, existe la posibilidad de que el MGR se adhiera a las paredes de las líneas de muestreo, de ahí que sea necesario que éstas presenten una temperatura mayor a la ambiental y que sean, además, lo más cortas posible⁴⁰.

Con la finalidad de lograr límites de detección lo suficientemente bajos, sin que se disminuya la eficiencia de adsorción de la trampa de oro, se recomienda que el tiempo de colección o muestreo antes de cada desorción sea mínimo de 5 minutos. Este tiempo puede estar sujeto a cambios en función de las concentraciones de MGT que se tiene proyectado obtener, dadas las características de la zona de monitoreo.

Además de lo anterior, es importante tener especial cuidado en los siguientes aspectos:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo⁴¹.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

En lo que respecta al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

E.8.2 Métodos equivalentes

E.8.2.1 CVAAS con corrección Zeeman (Automático)

Este método equivalente permite únicamente la medición continua del MGE, sin la necesidad de contar con una trampa de oro⁴². Por esa razón, luego de determinada la concentración de MGE, se debe realizar cálculos matemáticos adicionales para hallar la concentración del MGT, tal como se explica a continuación.

En principio, cabe indicar que los estudios o documentos técnico-científicos advierten que, en términos generales, los niveles de MGE predominan en un 90% del MGT presente en el aire ambiente ($MGE \geq 90\% MGT$)⁴³. Sin embargo, la presencia del MGE puede variar en función de la zona de estudio o monitoreo. Por ello, para la aplicación de este método equivalente se

⁴⁰ Gustin M et al (2015). Measuring and modeling mercury in the atmosphere: a critical review. Atmospheric, Chemistry and Physics Journal.

⁴¹ Esto resulta aplicable salvo que la lista de la US EPA "List of designated reference and equivalent methods", en su versión más actualizada, indique lo contrario.

⁴² NTP 900.068:2016 Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total.

⁴³ Fu X. et al (2009). Atmospheric total gaseous mercury (TGM) concentrations and wet and dry deposition of mercury at a high-altitude mountain peak in south China. Atmospheric, Chemistry and Physics Journal. Gustin M et al (2015) Measuring and modeling mercury in the atmosphere: a critical review. Atmospheric, Chemistry and Physics Journal. Global Mercury Observation System (revisado el 7 de marzo de 2018) GMOS Standard Operational Procedure. Véase también: Methods for the determination of TGM and GEM, en http://www.gmos.eu/public/GMOS%20SOP%20TGM_GEM.pdf; así como: Liu Gl., Cai and O'Driscoll N. (2011). Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury. ISBN: 978-1-118-14663-7.



recomienda determinar previamente el porcentaje de MGE presente en el MGT de la zona de estudio o monitoreo, lo cual puede ser calculado mediante estudios de medición simultánea de MGT y MGE⁴⁴, que permitan, a su vez, conocer la relación geométrica existente entre ambos tipos de gases [MGT/MGE].

Con base en la citada relación, se podrán determinar los valores de MGT, luego de aplicar el factor de corrección (FC), hallado mediante la ecuación 1, a cada uno de los valores de MGE, conforme se muestra en la ecuación 2:

Ecuación 1:
$$\text{Factor de corrección (FC)} = \frac{[\overline{\text{MGT}}]}{[\overline{\text{MGE}}]}$$

Ecuación 2:
$$[\text{MGT}] = \text{FC} \times [\text{MGE}]$$

En caso de no conocerse los niveles de MGE con respecto al MGT de la zona de estudio o monitoreo, los resultados obtenidos mediante el método CVAAS con corrección Zeeman se deben multiplicar por un factor de corrección de 1,2. De esta manera, se podrán reportar concentraciones de MGT sobre la base de las mediciones halladas a través de dicho método.

Por otro lado, es importante precisar que no podrá utilizarse el presente método equivalente cuando en el área asociada a la red o estación de monitoreo se presuma el aporte de emisiones de fuentes de mercurio gaseoso reactivo (MGR) o compuestos orgánicos de mercurio (por ejemplo: plantas de cloroálcali, centrales térmicas de carbón, incineradores de residuos, vertederos municipales, etc.). Tampoco podrá usarse este método en el caso de áreas influenciadas por corrientes de aire provenientes de zonas con mezcla marina⁴⁵.

Además de lo indicado anteriormente, se recomienda tener especial cuidado en los siguientes aspectos:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo⁴⁶.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).



En lo que concierne al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

⁴⁴ Con un mínimo de 15 monitoreos diarios simultáneos.

⁴⁵ NTP 900.068:2016 Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total.

⁴⁶ Esto resulta aplicable salvo que la lista de la US EPA "List of designated reference and equivalent methods", en su versión más actualizada, indique lo contrario.



E.8.2.2 CVAFS con muestreo activo

Este método equivalente se basa en la adsorción de una muestra de MGT del aire ambiente en dos trampas de oro, para luego realizar su desorción térmica y análisis por CVAFS en laboratorio.

Los flujos de muestreo en el presente método deben basarse en configuraciones de bajo volumen (0,3 l/min). Además, se debe contar: (i) con un mecanismo de registro de flujo (mecánico o digital) que permita verificar la constancia del mismo durante todo el periodo de muestreo; y, (ii) con un filtro para evitar el paso de partículas hacia el mecanismo de control de flujo.

Finalmente, es preciso señalar que en tanto el país no cuente con una NTP para este método equivalente, el procedimiento de muestreo y análisis debe ser realizado conforme a lo indicado únicamente para la fase de vapor de mercurio en el método IO-5: "Sampling and analysis for vapor and particle phase mercury in the air ambiente utilizando CVAFS".

E.9 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación de Benceno (C₆H₆)

E.9.1 Método de referencia

E.9.1.1 Cromatografía de gases (automático)

Este método de referencia se basa en la colección de muestras de benceno en una o más trampas adsorbentes, que recolectan la sustancia de interés por ciclos que van de 15 a 60 minutos. Luego, el benceno capturado es sometido a una desorción térmica y transferido mediante un gas portador inerte a un cromatógrafo de gases interno, donde se determinan las concentraciones de esta sustancia.

Las trampas adsorbentes pueden estar constituidas de materiales como Tenax, Carbotrap, Carbosiebes, entre otros. Asimismo, en algunos casos, las trampas también pueden estar constituidas por mezclas de materiales como los referenciados.



Por otro lado, respecto del gas portador, cabe puntualizar que este puede ser hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂) o helio (He); mientras que los detectores que utiliza el cromatógrafo de gases para determinar las concentraciones de benceno, pueden aplicar tanto la técnica de ionización de llama (FID) como la de fotoionización (PID), indistintamente.

Con relación a este método, se debe precisar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considerará como norma técnica la establecida por el Comité Europeo de Normalización (CEN) en el documento "EN 14662-3:2015. Ambient Air - Standard Method For The Measurement Of Benzene Concentrations - Part 3: Automated Pumped Sampling With In Situ Gas Chromatography".

E.9.2 Métodos equivalentes

E.9.2.1 Cromatografía de gases (Manual activo)

Los métodos manuales activos equivalentes se basan en la colección, durante 24 horas, de una muestra de benceno en un medio adsorbente. Luego de que el benceno ha sido capturado, la muestra es trasladada a un laboratorio y sometida a una desorción térmica o química (con sulfuro



de carbono), para después ser transferida, mediante un gas portador inerte, a un cromatógrafo de gases interno donde se determinan las concentraciones de benceno.

Las trampas adsorbentes pueden estar constituidas de materiales como Tenax, Carbotrap, Carbosieves, entre otros. Asimismo, en algunos casos, las trampas también pueden estar constituidas por mezclas de materiales como los referenciados.

Respecto del gas portador a ser utilizado, cabe puntualizar que éste puede ser hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2) o helio (He); mientras que los detectores que utiliza el cromatógrafo de gases para determinar las concentraciones de benceno, pueden aplicar tanto la técnica de ionización de llama (FID) como la de fotoionización (PID), indistintamente.

En tanto el país no cuente con una NTP para este método equivalente, se considerarán como normas técnicas las establecidas por el CEN en los documentos:

- “EN 14662-1:2005. Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations. Pumped sampling followed by thermal desorption and gas chromatography”.
- “EN 14662-2:2005. Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations. Pumped sampling followed by solvent desorption and gas chromatography”.

E.9.2.2 Difusión pasiva

Conforme a lo señalado en los apartados anteriores, el país cuenta con la NTP 900.036:2017. “Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Parte 1”, la cual se basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. “Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Parte 1: Requisitos Generales”.

Al respecto, se ha advertido que la Norma Europea EN 13528-1:2002 prevé en su Parte 2 y Parte 3, que incorporan requisitos específicos y métodos de ensayo, así como una guía para la selección, uso y mantenimiento de los muestreadores. En ese sentido, en tanto la NTP 900.036:2017 no incorpore los aspectos antes indicados, el método equivalente por difusión pasiva para la medición del benceno, será aquel que cumpla con lo señalado en la Norma Europea EN 13528, partes 1, 2 y 3.

Finalmente, otro aspecto a considerar es que, por cada punto y periodo de medición, debe tomarse como mínimo muestras por triplicado, con la finalidad de asegurar la calidad de los resultados.

E.10 Consolidado de métodos de referencia y equivalentes

Se presenta a continuación la Tabla 6, la cual consolida todos los métodos de referencia y equivalentes aplicables. Si bien la referida tabla presenta a modo de resumen cada uno de los métodos, su cumplimiento debe considerar cada uno de los criterios técnicos desarrollados en la sección “E” y en otras secciones del presente protocolo.



Tabla 6. Consolidado de métodos de referencia y equivalentes

N°	Sección	Parámetro	Tipo de método	Denominación genérica del método	Norma técnica correspondiente*
01	E.1.1.1	PM ₁₀	Método de Referencia	Separación inercial/filtración (gravimetría).	Norma Técnica Peruana: NTP 900.030, o NTP que la reemplace.
02	E.1.2.1		Método Equivalente	Atenuación de rayos beta	Aquello que se encuentren en una de las siguientes listas: • EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods", • MCerts (Inglaterra), denominada "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o • TUV (Alemania), denominada "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring".
03	E.1.2.2			Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM)	
04	E.1.2.3			Dispersión de la luz	
05	E.1.1.2	PM _{2,5}	Método de Referencia	Separación inercial/filtración (gravimetría).	Norma Técnica Peruana: NTP 900.069, o NTP que la reemplace.
06	E.1.2.1		Método Equivalente	Atenuación de rayos beta	Aquello que se encuentren en una de las siguientes listas: • EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods", • MCerts (Inglaterra), denominada "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o • TUV (Alemania), denominada "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring".
07	E.1.2.2			Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM)	
08	E.1.2.3			Dispersión de la luz	
09	E.1.1.4	PM ₁	Método de Referencia	Separación inercial/filtración (gravimetría).	E.1.1.1 (bajo volumen) + la aplicación de un separador selectivo de PM ₁ tipo SCC 2.229
10	E.1.2.1		Método Equivalente	Atenuación de rayos beta	E.1.2.1 + la aplicación de un separador selectivo de PM ₁ tipo SCC 2.229
11	E.1.2.3			Dispersión de la luz	E.1.2.3 (no es necesaria la aplicación de ningún separador selectivo en particular).
12	E.1.1.3	Fracción gruesa o coarse (PM _{10-2,5})	Método de Referencia	Separación inercial/filtración (gravimetría).	Diferencia aritmética entre el resultado de E.1.1.1 y el resultado de E.1.1.2
13	E.1.2.4		Método Equivalente	Atenuación de rayos beta	Diferencia aritmética entre el resultado de E.1.2.1 (PM ₁₀) y el resultado de E.1.2.1 (PM _{2,5})
14	E.1.2.4			Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM)	Diferencia aritmética entre el resultado de E.1.2.2 (PM ₁₀) y el resultado de E.1.2.2 (PM _{2,5})
15	E.1.2.4			Dispersión de la luz	Diferencia aritmética entre el resultado de E.1.2.3 (PM ₁₀) y el resultado de E.1.2.3 (PM _{2,5})





N°	Sección	Parámetro	Tipo de método	Denominación genérica del método	Norma técnica correspondiente*
16	E.2.1	SO ₂	Método de Referencia	Fluorescencia ultravioleta	Norma Técnica Peruana: NTP-ISO 10498, o NTP que la reemplace.
17	E.2.2.1		Método Equivalente	Pararosanilina	CFR Title 40, Part 50, Appendix A (Pararosaniline Method)
18	E.2.2.2			Difusión pasiva	Norma Europea EN 13528.- partes 1, 2 y 3
19	E.3.1	CO	Método de Referencia	Infrarrojo No Dispersivo con Filtro de Correlación de Gas	Norma Técnica Peruana: NTP 900.031, o NTP que la reemplace.
20	E.3.2		Método Equivalente	-	Aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas: <ul style="list-style-type: none"> • EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods", • MCerts (Inglaterra), denominada "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o • TUV (Alemania), denominada "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring".
21	E.4.1	NO ₂	Método de Referencia	Quimioluminiscencia	Norma Técnica Peruana: NTP 900.033, o NTP que la reemplace.
22	E.4.2.1		Método Equivalente	Cavidad por Atenuación de Desplazamiento de Fase (CAPS)	EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods".
23	E.4.2.2			Griess-Saltzman (Manual activo)	ASTM D1607 - 91(Rev. 2011): Standard Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction)
24	E.4.2.3			Arsenito de sodio (Manual Activo - únicamente aplicable a muestras de 24 horas)	EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods"
25	E.4.2.4			Difusión pasiva	Norma Europea EN 13528.- partes 1, 2 y 3
26	E.5.1	O ₃	Método de Referencia	Fotometría de absorción ultravioleta	ISO 13964:1998 (Rev. 2017) Air quality - Determination of ozone in ambient air - Ultraviolet photometric method
27	E.5.2.1		Método Equivalente	Quimioluminiscencia	ISO 10313:1993 (Rev. 2017) Ambient air - Determination of the mass concentration of ozone - Chemiluminescence method
28	E.5.2.2			Difusión pasiva	Norma Europea EN 13528.- partes 1, 2 y 3
29	E.6.1	H ₂ S	Método de Referencia	Fluorescencia ultravioleta	Procedimiento técnico descrito en el apartado E.6.1 del documento





N°	Sección	Parámetro	Tipo de método	Denominación genérica del método	Norma técnica correspondiente*
30	E.6.2		Método Equivalente	-	Métodos normalizados a nivel internacional, siempre que estos sean aplicables específicamente para la determinación del H ₂ S presente en el aire ambiente.
31	E.7.1	Pb y otros metales en PM10	Método de Referencia	Espectrofotometría de Absorción Atómica	Norma Técnica Peruana: NTP 900.032, o NTP que la reemplace
32	E.7.2.1		Método Equivalente	Inducción conductiva de plasma (ICP- OES / ICP-MS)	<ul style="list-style-type: none"> IO-3.4 "Determination of metals in ambient particulate matter using ICP spectroscopy" (para ICP-OES) IO-3.5 "Determination of metals in ambient particulate matter using ICP mass spectrometry" (para ICP-MS)
33	E.7.2.2			Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF)	CFR Title 40, part 50, Appendix Q.
34	E.8.1	MGT	Método de Referencia	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS)	Norma Técnica Peruana: NTP 900.068, o NTP que la reemplace
35	E.8.2.1		Método Equivalente	CVAAS con corrección Zeeman (Automático)	Norma Técnica Peruana: NTP 900.068, o NTP que la reemplace
36	E.8.2.2			CVAFS con muestreo activo	Método IO-5: "Sampling and analysis for vapor and particle phase mercury en el aire ambiente utilizando CVAFS"
37	E.9.1.1	C ₆ H ₆	Método de Referencia	Cromatografía de gases (automático)	EN 14662-3:2015. Ambient Air - Standard Method For The Measurement Of Benzene Concentrations - Part 3: Automated Pumped Sampling With In Situ Gas Chromatography.
38	E.9.2.1		Método Equivalente	Cromatografía de gases (Manual activo)	<ul style="list-style-type: none"> EN 14662-1:2005. Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations. Pumped sampling followed by thermal desorption and gas chromatography. EN 14662-2:2005. Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations. Pumped sampling followed by solvent desorption and gas chromatography.
39	E.9.2.2			Difusión pasiva	Norma Europea EN 13528.- partes 1, 2 y 3

Fuente: Indicada en la columna Norma técnica correspondiente / Elaboración propia (2018).

*Para el caso de las normas técnicas que no son NTP, éstas permanecerán como método de referencia o equivalente hasta que se cuente con una NTP que la reemplace en su totalidad.





F. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN

En primer lugar, para la selección de los métodos de medición, se debe identificar la variabilidad de las concentraciones de los parámetros a medir en la zona de estudio. Por ejemplo, para el caso de zonas de estudio con una influencia predominante de emisiones vehiculares, las concentraciones de material particulado podrían tener una alta variabilidad en aquellas horas en las que se presenta un mayor tráfico vehicular. Por lo que, en este caso, se deberá usar métodos automáticos, puesto que solo así se podrá determinar la evolución horaria de las concentraciones.

Al respecto, cabe señalar que la variabilidad de las concentraciones de los parámetros depende de las características que presenten las fuentes vinculadas al área de una red o estación de monitoreo (por ejemplo: emisiones vehiculares, procesos industriales continuos o discontinuos, entre otros).

Además de la referida variabilidad, se debe tomar en consideración el tipo de información que se pretende obtener, en función de los siguientes casos:

- Que se requiera analizar cambios en la calidad del aire a nivel horario y de manera continua, indistintamente de si se busca o no reportar la información en tiempo real.
- Que se requiera analizar las concentraciones con base en un promedio integrado del día, fracción del día (hora u 8 horas) o periodos más extensos (mensual o anual), siempre que no se busque reportar la información en tiempo real.

A partir de la aplicación de estos dos casos, a continuación se muestran los métodos que deben seleccionarse:

Tabla 7. Criterios para la selección de métodos de medición

Requerimiento temporal de la información	Enfoque del monitoreo	Consideraciones generales	Método a seleccionar	Aspectos a considerar
Continuo, a nivel horario y en tiempo real	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire. 	Presupuesto suficiente/ disponibilidad de energía eléctrica, seguridad y accesibilidad.	Método de referencia o equivalente automático	Los resultados obtenidos podrán ser comparados con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo orientado al análisis de efectos en salud ambiental. 	Presupuesto limitado/ dificultades respecto de la disponibilidad de energía eléctrica, seguridad y accesibilidad.	Procedimiento alternativo automático	Salvo se cumpla lo indicado en el capítulo G del presente protocolo, los resultados obtenidos no se podrán comparar con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, 	La información generada será utilizada para los reportes de monitoreo vinculados	Método de Referencia o equivalente automático	Los resultados obtenidos podrán ser comparados con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los





Requerimiento temporal de la información	Enfoque del monitoreo	Consideraciones generales	Método a seleccionar	Aspectos a considerar
	productivas y de servicios.	a instrumentos de gestión ambiental.		ECA correspondientes.
		La información generada será utilizada para controles internos.	Procedimiento alternativo automático	Salvo se cumpla lo indicado en el capítulo G del presente protocolo, los resultados obtenidos no se podrán comparar con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
Referida al día, fracción de día o periodos más extensos	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire. Monitoreo orientado al análisis de efectos en salud ambiental. 	Presupuesto suficiente/ disponibilidad de energía eléctrica, seguridad y accesibilidad.	Método de referencia o equivalente manual (activo o Pasivo)	Los resultados obtenidos podrán ser comparados con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
		Presupuesto limitado/ dificultades respecto a la disponibilidad de energía eléctrica, seguridad y accesibilidad.	Método alternativo manual (activo o pasivo)	Salvo se cumpla lo indicado en el capítulo G del presente protocolo, los resultados obtenidos no se podrán comparar con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y de servicios. 	La información generada será utilizada para los reportes de monitoreo vinculado a instrumentos de gestión ambiental.	Método de referencia o equivalente manual (activo o Pasivo)	Los resultados obtenidos podrán ser comparados con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes (siempre que el periodo de toma de muestra sea el mismo que el establecido para el ECA vigente).
		La información generada será utilizada para controles internos.	Método alternativo manual (activo o pasivo)	Salvo se cumpla lo indicado en el capítulo G del presente protocolo, los resultados obtenidos no se podrán comparar con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.

Fuente: Elaboración propia (2018).

En caso los resultados se vayan a comparar con su correspondiente valor ECA, se debe verificar que los límites de detección y cuantificación del método a seleccionar sean iguales o menores al 20% del valor ECA. Este aspecto es fundamental para evaluar el cumplimiento del ECA, así como la evolución de las concentraciones de los distintos parámetros.





G. ANÁLISIS PARA LA APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN ALTERNATIVOS

La utilización de procedimientos de medición alternativos⁴⁷ es posible en los siguientes casos:

- Monitoreos vinculados a planes de acción para la mejora de la calidad del aire.
- Monitoreos orientado al análisis de efectos en salud ambiental.
- Monitoreos en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y de servicios, únicamente cuando se busque generar información para controles internos.

Al respecto, es preciso indicar que cuando se pretenda utilizar la información de calidad del aire para reportes de monitoreo ambiental vinculados a instrumentos de gestión ambiental (Estudio de Impacto Ambiental, Programa de Adecuación y Manejo Ambiental, Declaración de Impacto Ambiental, entre otros), se deben aplicar necesariamente los métodos de referencia o equivalentes indicados en el capítulo E del presente protocolo, no siendo posible el uso de procedimientos de medición alternativos.

Por otro lado, en cuanto a los resultados obtenidos con procedimientos alternativos, cabe indicar que estos solo podrán ser comparados con los ECA correspondientes siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- Las pruebas de intercomparación entre los métodos de referencia o equivalentes y los procedimientos alternativos, hayan resultado satisfactorias.
- El diseño experimental y los criterios de aceptabilidad de las pruebas de intercomparación deben basarse en las recomendaciones del documento técnico de la EPA (2011) "*Reference and equivalent method applications. Guidelines for applicants*" y el documento técnico 40 CFR Part 53 "*Ambient air monitoring reference and equivalent methods*".
- Que sea posible aplicar los criterios de aseguramiento y control de calidad establecidos en el presente protocolo.



Cuando se ejecute una o más pruebas de intercomparación para probar un procedimiento alternativo (llamado "método candidato" por la guía de EPA), se deben seguir los siguientes pasos:

- (i) El proponente debe presentar a la Dirección General de Calidad Ambiental (DGCA) del MINAM su propuesta de diseño experimental para la prueba de intercomparación.
- (ii) La DGCA, en coordinación con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), evaluará el diseño experimental y los criterios de aceptabilidad presentados por el proponente. En el marco de esta evaluación, se

⁴⁷

Se consideran procedimientos de medición alternativos a los siguientes:

- Medición con sensores de bajo costo (Low cost sensors).
- La aplicación de técnicas de sensoramiento remoto.
- La aplicación de modelos de dispersión atmosférica.
- Procedimientos de medición que no se adecúen al método de referencia o equivalente.
- Métodos validados con o sin referencia de normas internacionales.
- Otros que no cuenten con normas técnicas nacionales o internacionales.



- podrán formular observaciones al diseño, las cuales deben ser subsanadas por el proponente.
- (iii) Si como resultado de la evaluación se aprueba el diseño experimental, el proponente podrá iniciar las pruebas de intercomparación aplicando el diseño aprobado.
 - (iv) La DGCA puede participar, en calidad de observador, de todas las fases de la prueba de intercomparación. Para tal efecto, el proponente brindará las facilidades de accesibilidad y seguridad que resulten necesarias.
 - (v) Una vez finalizada la prueba de intercomparación, el proponente remitirá un informe final de resultados a la DGCA, incluyendo toda la información, documentación y cálculos que permitan definir si se logró o no el cumplimiento de los criterios de aceptabilidad.
 - (vi) En caso las pruebas de intercomparación no logren cumplir con los criterios de aceptabilidad, la DGCA archivaré la solicitud del proponente, previo informe técnico⁴⁸.
 - (vii) En caso se cumpla con los criterios de aceptabilidad, la DGCA aprobaré el uso del procedimiento alternativo, previo informe técnico, que además del sustento de su aprobación, debe precisar aquellos aspectos que limiten su aplicación (como por ejemplo, las limitaciones por la estacionalidad, la condición climática o ámbito geográfico, las fuentes potenciales de error, entre otros).

Los resultados de diversas pruebas de intercomparación podrán constituir insumos para futuras propuestas de formulación y aprobación de NTP de métodos de medición de calidad del aire. De esta manera, el protocolo toma en consideración el potencial desarrollo y la mejora de técnicas de monitoreo que pudieran ser incorporadas en el conjunto de métodos de referencia y equivalentes nacionales.

H. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN PARA OTROS CONTAMINANTES QUE NO CUENTAN CON ECA ESTABLECIDO

De requerirse la medición de contaminantes que no cuenten con un ECA establecido ni métodos de referencia o métodos equivalentes nacionales, se deben considerar los siguientes criterios para seleccionar el método de medición más idóneo:



- (i) Si se cuenta con un método estandarizado aplicable al aire ambiente, a través de una norma técnica internacional, se debe priorizar la aplicación de dicho método frente a cualquier otra opción.
- (ii) Si por limitaciones presupuestales y/o logísticas o por razones de no disponibilidad tecnológica a nivel nacional, no fuera posible aplicar el método estandarizado al que se refiere el punto (i), se podrán usar métodos desarrollados por manuales técnicos, siempre

⁴⁸ Ello no impide que el proponente pueda presentar, en el futuro, otra solicitud para pruebas de intercomparación con el mismo procedimiento alternativo.



que cuenten con al menos tres artículos científicos que hagan referencia a su aplicación para el aire ambiente.

- (iii) El método seleccionado conforme a los puntos (i) y (ii) debe permitir la aplicación de los criterios de aseguramiento y control de calidad establecidos en el presente protocolo.
- (iv) Debido a que, en este caso, se trata de contaminantes que no cuentan con un ECA establecido, los resultados de las mediciones realizadas pueden ser comparados con valores guías internacionales o similares. Para tal efecto, se deberá considerar necesariamente las recomendaciones metodológicas que hayan sido establecidas en el documento técnico que aprueba el valor guía utilizado.

I. CRITERIOS TÉCNICOS Y REQUISITOS AUXILIARES PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

I.1 Criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo

Para realizar la instalación de los equipos de monitoreo de calidad del aire, se deben considerar determinadas alturas y distancias, conforme se explica en la siguiente tabla:

Tabla 8. Criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo

Características	Criterios técnicos	Otros aspectos a considerar
Altura de la entrada de la muestra (sobre el suelo).	Mínimo 1,5 m y máximo 15 m.	De 1,5 a 4 m se considera lo más adecuado, considerando que la medición está orientada a la calidad del aire que respiramos.
Distancia horizontal con respecto a obstáculos más altos que el equipo de monitoreo.	Mayor o igual a 2,5 veces la diferencia de las alturas (altura del obstáculo - altura de la entrada de la muestra).	Se consideran obstáculos a cualquier barrera física como paredes, edificaciones, árboles, entre otros.
Distancia horizontal respecto de fuentes de emisión cercanas.	Mayor o igual a 20 m.	Si la estación de monitoreo utiliza la energía eléctrica de un motor a combustión (grupo electrógeno), este debe encontrarse alejado como mínimo a 50 m al sotavento de la estación.
Distancia horizontal entre dos equipos de monitoreo en la misma estación.	Mayor o igual a 2 m, cuando uno de los equipos de monitoreo utilice flujos mayores a 200 litros por minuto.	
	Mayor o igual a 1 m, cuando ambos equipos de monitoreo utilicen flujos menores o iguales a 200 litros por minuto.	
Restricciones de flujo de aire hacia la estación de monitoreo.	La estación de monitoreo debe estar ubicada de tal manera que los obstáculos no eviten el ingreso de flujos de aire en al menos 3 de los 4 cuadrantes (Norte, Oeste, Este y Sur).	Una mayor restricción de flujos de aire libre pudiera afectar la representatividad espacial de la estación de monitoreo.

Fuente: Alberta Environment and Parks (2016).





En general, los criterios técnicos indicados en la Tabla 8, deben ser cumplidos para asegurar la confiabilidad de los resultados. Sin embargo, excepcionalmente, de presentarse dificultades por razones de accesibilidad, seguridad, disponibilidad de energía eléctrica u otros factores, los equipos de monitoreo podrán ser instalados aunque no se cumpla con exactitud alguno de los criterios indicados, siempre que se asegure que la ubicación de la estación no afectará el cumplimiento del objetivo de monitoreo, lo cual debe ser sustentado con documentación técnica.

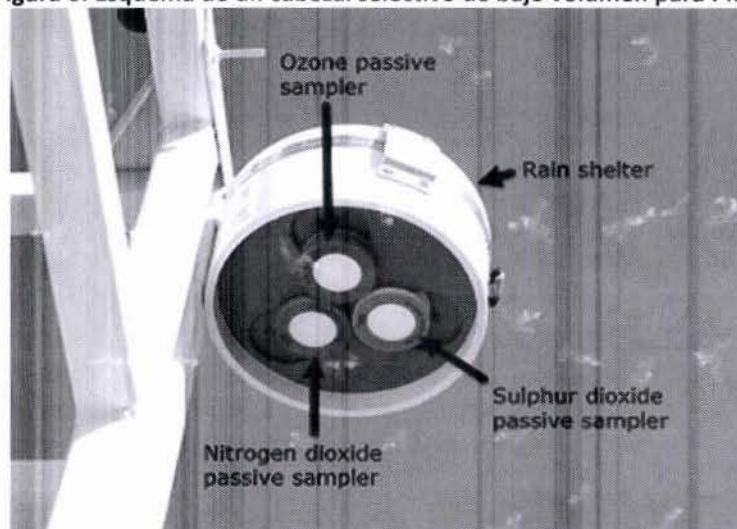
I.2 Requisitos auxiliares para la instalación de los equipos de monitoreo

I.2.1 Para los sistemas pasivos

Los muestreadores pasivos no requieren energía para la colección de la muestra y pueden prescindir de los elementos comunes de seguridad, puesto que al elevar la altura de instalación es posible evitar cualquier problema de seguridad.

Por otro lado, para que la difusión molecular pasiva no se vea afectada por la velocidad del viento, se debe utilizar protectores como los que se muestra en la Figura 6, los cuales también permiten la protección de los muestreadores ante la presencia de lluvias.

Figura 6. Esquema de un cabezal selectivo de bajo volumen para PM₁₀



Fuente: Alberta Environment and Parks (2018).



I.2.2 Para los sistemas activos

En el caso de los muestreadores manuales activos, estos sí requieren de energía eléctrica para su funcionamiento por lo que la estación debe ser provista de la misma de manera continua y sin interrupciones durante el periodo de toma de muestra.

La llegada de energía eléctrica debe permitir y asegurar la estabilidad del voltaje, por lo que se recomienda la utilización de estabilizadores de voltaje o equipos UPS (Unit Power Supply). De igual manera, todo cableado tanto de la infraestructura como de los equipos debe ser del tipo de cable vulcanizado y del número adecuado en relación al amperaje que requieren los equipos de medición.



Debido al mayor costo de los equipos de muestreo activos, puede ser necesario contemplar mecanismos de seguridad y requerirse el uso de cercos para evitar el ingreso de personas ajenas a las labores de monitoreo. En este caso, debe tenerse especial cuidado que el cerco a instalar no constituya un obstáculo ni afecte el cumplimiento de los criterios técnicos establecidos en el acápite I.1 del presente protocolo.

I.2.3 Para los sistemas automáticos

- **Disponibilidad de energía eléctrica y seguridad**

Los equipos de monitoreo automático deben ser provistos de energía eléctrica de manera continua y sin interrupciones durante el periodo de toma de muestra. La llegada de energía eléctrica debe permitir y asegurar la estabilidad del voltaje, por lo que se recomienda la utilización de estabilizadores de voltaje o equipos UPS (Unit Power Supply). De igual manera, todo cableado tanto de la infraestructura como de los equipos debe ser del tipo de cable vulcanizado y del número adecuado en relación al amperaje que requieren los equipos de medición.



Debido al alto costo de los equipos automáticos, puede ser necesario contemplar mecanismos de seguridad y requerirse el uso de cercos para evitar el ingreso de personas ajenas a las labores de monitoreo. En este caso, debe tenerse especial cuidado que el cerco a instalar no constituya un obstáculo ni afecte el cumplimiento de los criterios técnicos establecidos en el acápite I.1 del presente protocolo.

- **Climatización**

Será necesario instalar los equipos dentro de una caseta cerrada que cumpla con contar con un ambiente tipo oficina y libre de polvo, con un sistema de climatización que permita mantener una temperatura al interior de la caseta preferiblemente entre 20 °C y 30 °C. Cabe indicar que, únicamente puede prescindirse de un sistema de climatización en caso el equipo a utilizarse aplique una metodología de referencia o equivalente cuya norma técnica así lo permita.

- **Toma de muestras**

Las tomas de muestras deben estar construidas con materiales inertes (vidrio de borosilicato, politetrafluoroetileno (PTFE), aluminio o acero inoxidable calidad 316), de tal manera que se eviten procesos físicos o reacciones químicas, puesto que de lo contrario puede ocurrir subestimaciones o sobre estimaciones de ciertos contaminantes. Por ejemplo, para evitar la pérdida de partículas a lo largo de la línea de muestreo, en el caso de los cabezales y tubos de muestreo para los monitores de material particulado, debe utilizarse aluminio o acero inoxidable 316.

En el caso de gases ambientales, algunos de ellos pueden presentarse como más reactivos que otros. Por lo que, si la toma de muestras (manifold) va a ser utilizada para el ingreso de muestras hacia analizadores para O₃, SO₂ y NO₂, entonces el material del manifold debe ser de vidrio de borosilicato o PTFE, además de utilizar los puertos más cercanos a la entrada del manifold.

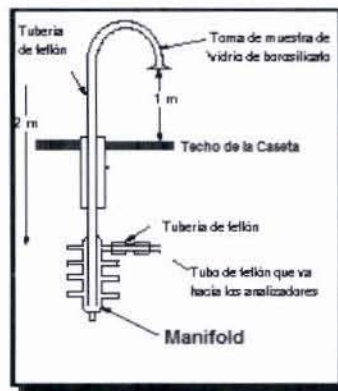


Por otro lado, cuando la toma de muestras (manifold) vaya a ser utilizada para el ingreso de muestras hacia analizadores para benceno u otros COV, entonces el material del manifold debe ser de vidrio de borosilicato o acero inoxidable.

El tiempo de residencia⁴⁹ desde la entrada del manifold hasta la entrada de cada analizador, no debe ser mayor a 20 segundos, por lo que puede ser necesario utilizar un “blower” o bomba de vacío para reducir el tiempo de residencia. Sin embargo, el flujo de aire que pase a través del manifold, no debe ser tan alto como para ocasionar que la presión adentro del manifold sea una pulgada de agua menor que la presión ambiental.

La altura de la entrada de muestras sobre el techo del cual se proyecta, debe ser mínimo de 1 metro para el manifold de gases y de 1,8 metros para los cabezales de material particulado. Ambos tipos de tomas de muestras deben tener trampas de humedad y sistemas de calefacción que permitan mantener el aire muestreado a una temperatura de 3 °C por encima de la temperatura ambiental, debido a que una potencial condensación puede dañar los componentes de los equipos.

Figura 7. Ejemplo de Manifold para toma de muestras de gases



Fuente: CENICA (2006).

Figura 8. Ejemplo de toma de muestras de partículas



Fuente: CENICA (2006)



⁴⁹ El método para calcular el tiempo de residencia es el presentado en el documento de la USEPA “Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems (Volume II) Ambient Air Quality Monitoring Program - Appendix F: Sample Manifold Design for Precursor Gas Monitoring”.



I.3 Monitoreo meteorológico

El monitoreo meteorológico es fundamental y necesario en todo monitoreo de la calidad ambiental del aire. De hecho, en función de la escala y finalidad proyectada, puede requerirse una o más estaciones meteorológicas para la red de monitoreo de calidad del aire que se busca implementar. Como mínimo, toda red o estación de monitoreo debe contar, por lo menos, con una estación meteorológica.

Los resultados meteorológicos permiten orientar la interpretación y dispersión de los contaminantes del aire. La estación meteorológica debe incorporar instrumentos que permitan la medición de las siguientes variables:

- Velocidad y dirección del viento.
- Humedad relativa.
- Presión atmosférica.
- Temperatura.
- Precipitación.

Si se cuentan con recursos suficientes, se sugiere incluir también otros instrumentos para medir la radiación solar. La instalación y ejecución del monitoreo meteorológico debe realizarse cumpliendo los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el SENAMHI, en adición a los requerimientos indicados en las Tablas 9 y 10 del presente protocolo.

Tabla 9. Requerimientos técnicos para estaciones meteorológicas orientadas al monitoreo de calidad del aire

Parámetro	Método	Unidad	Símbolo	Rango	Resolución
Temperatura Ambiental	Temistor o Termocupla	grado Celsius	°C	-40 a 60	0,1
Humedad Relativa	Psicrómetro / Higrómetro	porcentaje	%	0 a 100	1 %
Velocidad de Viento	Cazoletas, Propeller (hélice) o sónico	metro por segundo	m/s	0,5 a 50,0	0,5
Dirección de Viento	Veleta o sónico	grado	°	0 a 360	1,0
Radiación Solar	Piranómetro	watt por metro cuadrado	W/m ²	0 a 1100	10
Precipitación	Tipping bucket (balancín)	milímetro por hora	mm	0 a 500	0,2
Presión Atmosférica	Barómetro anerode	hectopascal	hPa	500 - 1050	0,1

Fuente: EPA (2008) // SENAMHI (2013).

Tabla 10. Requerimientos Técnicos para la instalación de estaciones meteorológicas

Parámetro	Distancia de un obstáculo	Altura sobre el suelo	Comentarios
Dirección/Velocidad de Viento	10 veces la altura de un obstáculo	10 m	
Temperatura Ambiental/ Humedad Relativa	1.5 veces el diámetro de la torre	1,25 m - 2 m	La superficie no debe ser de preferencia, ni concreto, asfalto o similares. La reflexión de este tipo de superficies pudiera afectar la medición.



Radiación Solar	2 m	2 m - 10 m	Debe ser instalado evitando la ocurrencia de sombra sobre el sensor.
Presión Atmosférica	1 m	1 m - 10 m	Debe contar con temperatura uniforme y constante. Debe evitarse la radiación directa del sol, alejado de corrientes de aire o calentadores.
Precipitación	3 a 4 veces la altura de un obstáculo	Mínimo 30 cm	Asfalto o concreto deben evitarse para evitar salpicaduras. El medidor debe estar lo suficientemente alto para evitar que sea cubierto por la nieve.

Fuente: EPA (2008).

Respecto de los sensores de viento para estaciones no permanentes, debido a las dificultades que pueden presentarse para instalar una torre de 10 metros, estos sensores pueden instalarse a una altura de 3 metros sobre el suelo y tener una resolución en dirección de viento de 22,5°. Sin embargo, en ese caso, solo se podrán utilizar los datos de vientos para tener una idea aproximada de los patrones de distribución de contaminantes, pero en ningún caso podrán usarse estos datos de viento para un reporte oficial sobre su estado o para estudios de dispersión o modelamiento atmosférico.

J. CALIBRACIÓN

La calibración se aplica única y exclusivamente a instrumentos de medida (de cualquier tipo de magnitud cuantificable), lo que significa que todos los sistemas de medición deben estar sujetos a calibración. Por ejemplo, un equipo de monitoreo automático suele tener 4 sistemas que realizan mediciones:

- Sistema de medición de flujo de aire muestreado.
- Sistema de medición del contaminante (cámara óptica).
- Sensores de temperatura.
- Sensores de presión.

En este ejemplo, estos 4 sistemas deben ser calibrados sobre la base de comparaciones contra un patrón de mejor exactitud trazable a un patrón primario para cada uno de esos sistemas. En todos los casos, los patrones de transferencia pueden ser utilizados siempre que se cuente con evidencia de trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI). Cuando la trazabilidad metrológica a unidades del SI no sea técnicamente posible, se debe demostrar trazabilidad metrológica a una referencia apropiada.

Los patrones de transferencia deben ser de una calidad metrológica igual o superior al equipo a calibrar, y necesitan ser recalibrados tomando como referencia un patrón primario. Dicha recalibración debe realizarse con una frecuencia de al menos una vez cada dos años. Toda acción vinculada a la calibración debe ser documentada y debe consignar el nombre completo del personal que ha ejecutado la acción.

El reporte, informe y/o certificado de calibración, en el caso de equipos (dispositivo calibrado y patrones utilizados) que cuenten con memoria y/o sistema de adquisición de datos, debe adjuntar





en formato digital la data original⁵⁰ (cruda) con fecha y hora, descargada desde el equipamiento. En caso de que algún equipo utilizado no cuente con memoria y/o sistema de adquisición de datos, el reporte debe adjuntar una copia física y digital del formato que se utilice para anotar y archivar los resultados durante el proceso de calibración, consignándose el nombre completo y DNI del operador y/o analista de turno.

Los reportes, informes o certificados de calibración deben incluir los detalles del equipamiento utilizado, tales como el número de serie, marca y modelo, condiciones ambientales, lugar, fecha, hora de cada acción vinculada a la calibración, entre otros aspectos. Asimismo, deben anexarse también los certificados de calibración más recientes de los patrones de transferencia utilizados, consignándose el nombre completo del operador o analista de turno.

J.1 Para los sistemas pasivos

En el caso de los sistemas pasivos los dispositivos de campo no realizan medición alguna, únicamente colectan muestras a una tasa de flujo teórica basada en la difusión molecular pasiva, por lo que el volumen de la muestra será calculado sobre la base de la tasa de colección pasiva y el periodo de medición, no siendo necesario calibrar ningún sistema de medición de flujo del aire muestreado.

Luego, la muestra obtenida será llevada para su análisis al laboratorio, por lo que será necesario que los instrumentos de análisis en laboratorio (por ejemplo, espectrofotómetro, cromatógrafo de gases, cromatógrafo iónico, entre otros) sean calibrados de conformidad con los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el INACAL y los manuales de fabricante de cada equipo. El certificado de calibración de cada instrumento utilizado para el análisis en laboratorio, debe ser adjuntado siempre a cada informe o reporte de monitoreo.

Las mediciones en laboratorio deben contar con evidencia de trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI). Cuando la trazabilidad metrológica a unidades del SI no sea técnicamente posible, el laboratorio debe demostrar trazabilidad metrológica a una referencia apropiada.

J.2 Para los sistemas activos

En el caso de los sistemas activos, los dispositivos de campo realizan la medición de flujo del aire muestreado, pudiendo incluir en algunos casos sensores de temperatura y presión.

Respecto de los sistemas para la medición de flujo, temperatura y presión, es necesario que estos sean calibrados aplicando los criterios indicados en la Tabla 11, en la cual se incluyen, además, criterios adicionales para la calibración de microbalanzas y balanzas analíticas utilizadas para la determinación de PM₁₀ y PM_{2,5}.

Posteriormente, la muestra es llevada para su análisis a laboratorio, por lo que es necesario que los instrumentos de análisis en laboratorio (por ejemplo, microbalanza analítica, espectrofotómetro, cromatógrafo de gases, cromatógrafo iónico, Equipo de Inducción conductiva por plasma, entre

⁵⁰

La data original (cruda) deberá ser guardada y anexada en el mismo formato en que es generada por el equipo (*.dat, *.txt, *.csv u otro de acuerdo al manual del fabricante). Esta no deberá ser editada ni alterada de ninguna forma. El fechado y hora de la data original deberá corresponder al de la fecha y hora del análisis reportado.



otros) sean calibrados de conformidad con los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el INACAL y los manuales de fabricante de cada equipo. El certificado de calibración de cada instrumento utilizado para el análisis en laboratorio debe ser adjuntado siempre a cada informe o reporte de monitoreo.

Tabla 11. Criterios técnicos base para la calibración de equipos de muestreo activo

Variable	Frecuencia *	Error máximo permitido (Diferencia entre el valor medido por el equipo y el patrón de transferencia)	Procedimiento de calibración
Flujos (Alto Volumen)	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 7,1\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Flujos (Bajo Volumen)	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 2,1\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Temperaturas	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Presión	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 10,1\text{ mmHg}$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Masa (Balanza para Alto Volumen)	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 0,51\text{ mg}$	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL.
Masa (Balanza para Bajo Volumen)	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 3,1\text{ }\mu\text{g}$	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL.
Otro equipo/dispositivo de análisis/medición	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL		

Nota:

(*) En caso la frecuencia o criterio de calibración indicado por el manual del fabricante o norma técnica del método difiera de la indicada en esta tabla, debe primar el de mayor exigencia.

Fuente: EPA (2017).

J.3 Para los sistemas automáticos

En el caso de los equipos automáticos, los dispositivos de campo realizan la medición de flujo del aire muestreado y cuantifican el contaminante (masa) en una cámara medición que aplica métodos ópticos (excepto en el caso de microbalanza oscilatoria). Estos equipos también incluyen sensores de temperatura y presión.





Respecto de los sistemas para la medición de flujo, masa, temperatura y presión, es necesario que estos sean calibrados aplicando los criterios indicados en la siguiente tabla:

Tabla 12. Criterios técnicos base para la calibración de equipos automáticos

Variable	Frecuencia ¹	Error máximo permitido (Diferencia entre el valor medido por el equipo y el patrón de transferencia)	Procedimiento de calibración
Flujos	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 2.1\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Temperaturas	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Presión	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 10,1\text{ mmHg}$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Aire Cero (para analizadores de gases)	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 0,3\%$ del rango	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Concentración conocida - Span (para analizadores de gases)	Anual o después de mantenimiento correctivo	$< \pm 2,1\%$ para cada punto de los 4 puntos span ² .	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
		Curva de calibración multipunto ² con: <ul style="list-style-type: none"> • Pendiente= [0,9 - 1,1] • Coeficiente de correlación $\geq 0,995$ 	
Calibración másica (Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico)	Anual o después de mantenimiento correctivo	$\leq 2,5\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Calibración másica (Dispersión de la luz)	Anual o después de mantenimiento correctivo	$\leq 5\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Calibración másica (Atenuación de Rayos Beta)	Anual o después de mantenimiento correctivo	$\leq 5,1\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Otro equipo/ dispositivo de análisis/ medición	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL		

Notas:

⁽¹⁾ En caso la frecuencia o criterio de calibración indicado por el manual del fabricante o norma técnica del método difiera de la indicada en esta tabla, deberá primar el de mayor exigencia.

⁽²⁾ La curva de calibración multipunto incluye un punto de aire cero y 4 puntos span (20%, 40%, 60% y 80% del rango).

Fuente: EPA (2017) y Alberta Environment and Parks (2016).





En el caso de los analizadores de gases, debe considerarse lo siguiente:

- Los procedimientos de calibración, como se ha mencionado previamente, se encuentran incorporados en las normas técnicas de monitoreo para cada parámetro (tabla 6) y/o manual del fabricante. Los métodos de calibración aplicables son:
 - a) Dilución basada en gas patrón certificado de Grado 'EPA Protocol' (cilindro).
 - b) Dilución basada en tubos de permeación certificados.
 - c) Calibración GPT (Gas Phase Tritation) para NO_2 u O_3 .
 - d) Generación de ozono y medición con Fotómetro UV para O_3 .
 - e) En el caso de MGT, el método de calibración debe realizarse acorde a los procedimientos establecidos en la NTP 900.068.
- Previo a la calibración, el analizador debe ser encendido y operar (estabilizarse) durante al menos 12 horas.
- Para cada uno de los puntos de calibración, se recomienda un mínimo de 5 minutos de estabilización mientras se alimenta cada concentración cero o span.
- En el caso de la calibración por dilución:
 - a) Los sistemas de medición/control de flujo del dilutor, en su calidad de patrón de transferencia, debe recalibrarse a una frecuencia de al menos una vez cada dos años.
 - b) El aire cero puede ser suministrado por cilindros que contienen aire cero o por un generador de aire cero. En cualquiera de estos casos, el aire cero resultante debe contener menos de 1 ppb de concentración para la mayoría de los gases ambientales, menos de 10 ppb para el CO , y una concentración menor al límite de detección del método respecto al C_6H_6 y el MGT.



J.4 Para los sensores de las estaciones meteorológicas

La calibración de los sensores de las estaciones meteorológicas debe realizarse cumpliendo los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el SENAMHI, en coordinación con el INACAL.

K. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La operación y mantenimiento de cada sistema de medición debe realizarse conforme al manual de cada fabricante. Toda red, estación o equipo de monitoreo debe contar con un programa de mantenimiento preventivo, de acuerdo al manual del fabricante y lineamientos técnicos establecidos en el presente protocolo.

En lo que respecta a la operación y mantenimiento en campo, indistintamente de la tecnología de medición que se utilice, toda acción (incluidas las calibraciones) debe ser consignada con fecha, hora y lugar, en una bitácora de campo, incluyendo el nombre completo y DNI del operador y/o analista de turno. Todo reporte o informe de monitoreo debe adjuntar copia física y digital de la bitácora de campo.



K.1 Para los sistemas pasivos

En el caso de los sistemas pasivos, como ya ha sido mencionado, los dispositivos de campo no realizan medición alguna sino que únicamente colectan muestras mediante la difusión molecular pasiva. En razón de lo explicado, su operación se basa en:

- El manejo de los dispositivos de muestreo antes y después de la toma de muestra.
- El periodo de colección de muestra.
- La gestión y análisis de la muestra en laboratorio.

Tabla 13. Criterios técnicos base para la verificación de sistemas de muestreo pasivo

Variable	Criterio de aceptación
Tiempo máximo de almacenamiento de dispositivo antes del muestreo.	En función al manual, hoja técnica del fabricante del dispositivo de muestreo y norma técnica de monitoreo (tabla 6).
Periodo de colección de muestra.	En función al manual, hoja técnica del fabricante del dispositivo de muestreo y norma técnica de monitoreo (tabla 6).
Tiempo máximo de almacenamiento de dispositivo post muestreo.	En función al manual, hoja técnica del fabricante del dispositivo de muestreo y norma técnica de monitoreo (tabla 6).
Temperaturas (ambiental y de almacenamiento), presión ambiental, humedad relativa, velocidad de viento.	En función al manual, hoja técnica del fabricante del dispositivo de muestreo y norma técnica de monitoreo (tabla 6).
Verificaciones operacionales en el equipamiento de análisis de laboratorio*	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL.

Nota:

(*) Debe realizarse previo al análisis de las muestras.

Fuente: Elaboración propia (2018).



El reporte o informe de los resultados del muestreo y análisis de laboratorio, en el caso de equipos que cuenten con memoria y/o sistema de adquisición de datos, debe adjuntar en formato digital la data original⁵¹ (cruda) con fecha y hora, descargada desde el equipamiento de laboratorio. En caso el equipo de análisis en laboratorio no cuente con memoria y/o sistema de adquisición de datos, el reporte debe adjuntar una copia física y digital del formato que se utilice en laboratorio para anotar y archivar los resultados, consignándose el nombre completo y DNI del operador y/o analista de turno.

⁵¹

La data original (cruda) deberá ser guardada y anexada en el mismo formato en que es generada por el equipo (*.dat, *.txt, *.csv u otro de acuerdo al manual del fabricante). Esta no deberá ser editada ni alterada de ninguna forma. El fechado y hora de la data original deberá corresponder al de la fecha y hora del análisis reportado.



Los reportes o informes deben incluir los detalles del equipamiento utilizado como números de series, marca y modelo, códigos de las muestras analizadas, fecha y hora del muestreo y/o análisis; asimismo debe anexar los certificados de calibración más recientes de todo equipo o dispositivo de medición utilizado antes, durante y después del muestreo, y consignar el nombre completo y DNI del operador o analista de turno.

K.2 Para los sistemas activos

Para los sistemas activos, los dispositivos de campo realizan la medición de flujo del aire muestreado. En algunos casos, los equipos de monitoreo activo incluyen sensores de temperatura y presión.

Respecto de los sistemas para la medición de flujo, temperatura y presión, es necesario que estos sean verificados aplicando los criterios indicados en la Tabla 14.

Asimismo, debido a que la muestra es llevada para su análisis a laboratorio, es necesario que los instrumentos de análisis (por ejemplo, microbalanza analítica, espectrofotómetro, cromatógrafo de gases, cromatógrafo iónico, Equipo de Inducción conductiva por plasma, entre otros) sean verificados de conformidad con los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el INACAL y los manuales de fabricante de cada equipo.

Tabla 14. Criterios técnicos base para la verificación previa de equipos de muestreo activo

Variable	Frecuencia	Error máximo permitido (Diferencia entre el valor medido por el equipo y el patrón de transferencia)	Método de verificación
Estado de limpieza	En almacén antes del traslado del equipo, o una vez al mes en campo.		Visual
Prueba de fugas	En campo, antes del inicio de la operación de la estación, antes del inicio de cada campaña de monitoreo, o una vez por mes.	Según norma técnica del método y manual del fabricante	
Flujo (Alto Volumen)		< ± 7,1%	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Flujo (Bajo Volumen)		< ± 2,1%	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Temperaturas		< ± 2,1 °C	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Presión		< ± 10,1 mmHg	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Masa (Balanza para Alto Volumen)	En laboratorio, antes y después del inicio del análisis (pesaje) de cada lote de muestras.	< ± 0,51 mg	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL.
Masa (Balanza para Bajo Volumen)		< ± 3,1 µg	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL.
Otro equipo/dispositivo de análisis/medición	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL		

Fuente: EPA (2017) y Elaboración propia (2018).





Tabla 15. Criterios técnicos base para la verificación operacional, durante el muestreo o manejo de la muestra de equipos activos

Variable ¹	Estadístico	Error máximo permitido (Diferencia entre el valor medido por el equipo y el patrón de transferencia)	Método de verificación
Flujo (Alto Volumen)	Coficiente de Variación (CV)	$< \pm 10,1\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Flujo (Bajo Volumen)	Coficiente de Variación (CV)	$< \pm 5,1\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Temperaturas ²	Máximas, mínimas o diferencias (pe: diferencia de temperatura interna y externa)	Según norma técnica del método y manual del fabricante, o según lo indicado en el acápite E del presente protocolo.	
Otro equipo/ dispositivo de análisis/medición	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL		

Notas:

⁽¹⁾ Las variables de flujo, temperaturas y presión deben ser medidas y registradas, al menos, cada 15 minutos. Una mayor frecuencia podría ser requerida siempre que ello sea indicado en la norma técnica del método y manual del fabricante.

⁽²⁾ No se debe olvidar que la referencia a los niveles de temperatura durante toda acción de calibración y/o verificación, debe incluir a los distintos sensores de temperatura que se aplican antes, durante y después del muestreo.

Fuente: EPA (2017).

K.3 Para los sistemas automáticos

En el caso de los equipos automáticos, los dispositivos de campo realizan la medición de flujo del aire muestreado y cuantifican el contaminante en una cámara medición que aplica métodos ópticos (excepto en el caso de microbalanza oscilatoria). Estos equipos también incluyen sensores de temperatura y presión.

Cabe mencionar que se acepta que los rangos de concentraciones a medir por los equipos automáticos puedan estar sujetos a variaciones sobre la base del conocimiento de las concentraciones esperadas, lo cual ayuda a disminuir la incertidumbre de los resultados. En caso se realicen cambios en el rango de medición de las concentraciones, el equipo debe ser recalibrado conforme a los criterios establecidos en la sección J del presente protocolo.



Tabla 16. Criterios técnicos base para la verificación previa de equipos automáticos

Variable	Frecuencia	Error máximo permitido (Criterio de aceptación)	Método de verificación
Estado de limpieza	En almacén antes del traslado del equipo, o una vez al mes en campo.		Visual
Prueba de fugas	En campo, antes del inicio de la operación de la estación, antes del inicio de cada campaña de monitoreo, o una vez por mes.	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante	
Flujo		$< \pm 4,1\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Temperaturas		$< \pm 2,1\text{ }^\circ\text{C}$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Presión		$< \pm 10,1\text{ mmHg}$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Aire Cero (para analizadores de gases)		$< \pm 3\%$ del rango	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Concentración conocida/Span (para analizadores de gases)		$< \pm 2,1\%$ para un solo punto Span correspondiente al 60% del rango.	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Verificación másica (Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico)		$\leq 2,5\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Verificación másica (Dispersión de la luz)		$\leq 5\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Verificación másica (Atenuación de Rayos Beta)		$\leq 5,1\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Otro equipo/ dispositivo de análisis/ medición		Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL	

Fuente: EPA (2017).

Tabla 17. Criterios técnicos base para la verificación en campo de equipos automáticos

Variable ¹	Estadístico	Error máximo permitido (Criterio de aceptación)	Método de verificación
Flujo	Coficiente de Variación (CV)	$< \pm 5,1\%$	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Temperaturas, Presiones internas y Voltajes de Intensidad	Máximas, mínimas o diferencias (pe: diferencia de temperatura interna y externa)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante, o según lo indicado en el acápite E del presente protocolo.	
Otro equipo/ dispositivo de análisis/ medición	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL		

Nota:

⁽¹⁾ Las variables de flujo, temperaturas y presión debe ser medidas y registradas, al menos, cada 15 minutos. Una mayor frecuencia podría ser requerida en el caso que ello sea indicado en la norma técnica del método y manual del fabricante.

Fuente: EPA (2017).





El reporte o informe de los resultados de los equipos automáticos, incluyendo los reportes de las verificaciones, deben adjuntar en formato digital la data original⁵² (cruda) con fecha y hora, descargada desde el equipamiento utilizado.

Los reportes o informes deben incluir los detalles del equipamiento utilizado como números de serie, marca y modelo, lugar, fecha y hora. Además, se deben anexar los certificados de calibración más recientes de todo equipo o dispositivo de medición utilizado, y consignar el nombre completo y DNI del operador o analista de turno.

K.4 Para los sensores de las estaciones meteorológicas

La operación y mantenimiento de los sensores de las estaciones meteorológicas debe realizarse cumpliendo los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el SENAMHI, en coordinación con el MINAM.

L. PROCESAMIENTO Y REPORTE DE LA INFORMACIÓN DEL MONITOREO

El procesamiento de la información de monitoreo de la calidad del aire está constituido por un conjunto de actividades orientadas a recolectar la información de campo y realizar los cálculos que sean necesarios, hasta obtener el dato o conjunto de datos que serán utilizados para determinar el estado de la calidad del aire. El procesamiento puede realizarse mediante cálculos en gabinete o con mecanismos y algoritmos automatizados.

El reporte es la actividad que consiste en ordenar el dato o conjunto de datos que determinan el estado de la calidad del aire y publicarlos en medios físicos y/o digitales, pudiendo incluso alojarse en servidores y visualizarse en tiempo real desde cualquier sitio web previamente establecido.

L.1 Procesamiento

L.1.1 Data original (Cruda)

Un primer paso en el procesamiento de la información es la recolección de toda la data original, también llamada data cruda. Como se indica en el capítulo precedente, esta debe preceder, ésta deberá ser guardada y anexada a todo reporte o informe de monitoreo en el mismo formato en el que es generado por cada equipo de monitoreo.

En el caso de equipos o dispositivos de muestreo que no generen información descargable, la información de campo será recogida en un formato de campo y otros mecanismos como el registrador de flujo (por ejemplo, el flow chart recorder generado por un highvol mecánico).

En el caso de los sistemas automáticos, si la data original es recolectada desde un datalogger que centraliza la información de todos los equipos de la estación de monitoreo, deberá verificarse lo siguiente:

⁵² La data original (cruda) deberá ser guardada y anexada en el mismo formato en que es generada por el equipo (*.dat, *.txt, *.csv u otro de acuerdo al manual del fabricante). Esta no deberá ser editada ni alterada de ninguna forma. El fechado y hora de la data original deberá corresponder al de la fecha y hora del análisis reportado.



- Que la transmisión de la información desde la memoria de los equipos de monitoreo hacia el datalogger sea preferentemente digital.
- Si la transmisión de la información desde la memoria de los equipos de monitoreo hacia el datalogger es a través de salidas analógicas, la información de la memoria interna deberá contrastarse una vez al mes con la información recolectada en el datalogger, con la finalidad de identificar posibles desviaciones, entre una base de datos y otra, que ameriten de la calibración de las señales analógicas.
- En cualquier caso, la configuración del datalogger no deberá tener ningún algoritmo de cálculo en su programación que ocasione algún cambio en el reporte de las concentraciones medidas de los parámetros de calidad del aire. El archivo de configuración/programación de cada datalogger con que cuente la estación, también deberá ser anexado a todo reporte o informe de monitoreo.

L.1.2 Validación de los datos de monitoreo

Para efectos de la validación de los datos de monitoreo, toda acción de procesamiento deberá tomar en consideración la siguiente información⁵³:

- Data original (cruda).
- Cadenas de custodia, en caso de muestreos con sistemas pasivos y/o activos.
- Formatos y bitácora de campo.

De la información indicada, se deberá verificar que ésta cumpla, mínimamente, con los siguientes criterios de validación:

- a) Que hayan sido cumplidos todos los aspectos técnicos referidos a la instalación, calibración, operación, mantenimiento y otros establecidos en el presente documento.
- b) En el caso de equipos automáticos, no deben existir valores constantes de concentraciones horarias por más de tres horas consecutivas.
- c) En el caso de analizadores de NO₂ por quimioluminiscencia, la suma de NO y NO₂ dividida entre NO_x deberá encontrarse en el rango de [0,9 - 1,1].
- d) En general, para una misma estación y periodo de monitoreo, la razón (relación geométrica) del PM_{2,5} entre PM₁₀ debe siempre ser menor o igual a 1.
- e) En el caso de equipos que brinden avisos de alerta o error, se deberá verificar, de acuerdo al manual de cada equipo, que el status del mismo se encuentre siempre en "normal" o su equivalente.

Si alguno de los criterios de validación mencionados no se cumplieran, se deberán realizar los siguientes pasos:

- Determinar el rango de periodo en el cual no se ha cumplido con alguno de los criterios de validación, debiendo indicarse el (los) parámetro(s), equipo(s) y estación(es), así como cuáles han sido los criterios no cumplidos.



⁵³

Esta información deberá ser anexada a todo reporte o informe de monitoreo.



- Colocar la información de monitoreo que no haya cumplido con los criterios de validación en observación, mediante señales definidas por la institución que gestione la red o estación de monitoreo. Ello podrá realizarse mediante un sistema de banderas u otros mecanismos similares.
- A efectos del reporte de la data validada, se deberá descartar toda información de monitoreo que no haya cumplido con los criterios de validación.
- Analizar las razones por las cuales la información pudiera haber no cumplido con los criterios de validación, y ejecutar las acciones correctivas y preventivas del caso.
- La información resultante de la aplicación de los pasos indicados líneas arriba debe documentarse y anexarse a todo informe o reporte de monitoreo.

L.1.3 Cálculo de concentraciones

Con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con los ECA para aire vigentes, las concentraciones de los contaminantes de calidad del aire se deben reportar en las unidades de microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Asimismo, se debe tomar en consideración que todo resultado obtenido deberá ser reportado indicando también el valor de incertidumbre de medición, de conformidad con lo establecido en la NTP ISO/IEC 17025.

En el caso de los contaminantes gaseosos, el volumen se debe estandarizar a una temperatura de 298 Kelvin y una presión atmosférica de 101,3 kPa (760 mmHg o 1 atm). En el caso del material particulado y las sustancias que deben analizarse en la fase de partículas (por ejemplo, el plomo), el volumen de muestreo se debe expresar en las condiciones ambientales (volumen actual) en términos de temperatura ambiental y presión atmosférica promedio, medidas durante el periodo de muestreo:

- En el caso de los contaminantes gaseosos



$$\text{Concentración} = [\text{Gas}] = \frac{M}{V_{\text{std}}}$$

Dónde:

M: masa del contaminante, en μg (microgramos).

Vstd: volumen estandarizado de la muestra, en m^3 std.

$$V_{\text{std}} = (V_a) \times \left(\frac{P_a}{P_{\text{std}}}\right) \left(\frac{T_{\text{std}}}{T_a}\right)$$



Dónde:

Va: volumen actual de la muestra en m³ (en términos de temperatura ambiental y presión atmosférica promedio, medidas durante el periodo de muestreo).

Ta: temperatura ambiental promedio en Kelvin, medida durante el periodo de muestreo.

Pa: presión atmosférica promedio en kPa, mmHg o atm, medida durante el periodo de muestreo.

Tstd: temperatura estándar = 298 Kelvin.

Pstd: presión estándar = 101,3 kPa = 760 mmHg = 1 atm.

$$Va = (Qa) \times (t)$$

Dónde:

Qa: flujo de muestreo promedio, en m³/min.

t: tiempo o periodo de muestreo, en minutos.

En el caso de algunos equipos de monitoreo automático de gases ambientales, los resultados se obtienen en las unidades de partes por billón (ppb), por lo que para reportar en las unidades de microgramos por metro cúbico, se deberá realizar la siguiente conversión:

$$\text{Concentración} = [\text{Gas}] = \frac{M}{V_{\text{std}}} = [\text{ppb}] \times \left(\frac{\bar{M}}{V_{\text{mol}}} \right)$$

Dónde:

M: masa del contaminante en µg (microgramos).

Vstd: volumen estandarizado de la muestra en m³ std.

[ppb]: concentración del contaminante en partes por billón.

\bar{M} : peso molecular del contaminante en gramos/mol.

Vmol: volumen de un mol de gas a condiciones estándar = 24,4 litros/mol.

- En el caso del material particulado y las sustancias que deben analizarse en la fase de partículas



$$\text{Concentración} = [\text{Partículas}] = \frac{M}{Va}$$

Dónde:

M: masa del contaminante, en µg (microgramos).

Va: volumen actual de la muestra, en m³ (en términos de temperatura ambiental y presión atmosférica promedio, medidas durante el periodo de muestreo).



$$Va = (Qa) \times (t)$$

Dónde:

Qa: flujo de muestreo promedio, en m³/min.

t: tiempo o periodo de muestreo, en minutos.

L.2 Reporte o informe de monitoreo

Todo reporte o informe de monitoreo deberá ser remitido, tanto en versión física como digital, a la autoridad ambiental competente.

En el caso de los administrados, esta autoridad corresponde al OEFA u otra Entidad de Fiscalización Ambiental (EFA), según el caso. Cuando se trate de monitoreos realizados por entidades públicas, la autoridad ambiental competente es el MINAM.

Tanto el MINAM como las EFA y OEFA, deben realizar las coordinaciones necesarias para incorporar los reportes/informes de monitoreo al Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), sin perjuicio de la potestad que tiene cada entidad para publicar dicha información en sus respectivos portales web.

L.2.1 Data original (Cruda)

La data original (cruda) debe ser guardada y anexada a todo reporte o informe de monitoreo, en el mismo formato en que es generada por el equipo (*.dat, *.txt, *.csv u otro de acuerdo al manual del fabricante). En ningún caso, la data original debe ser editada o alterada.

La data en mención también puede reportarse en tiempo real desde cualquier sitio web previamente establecido. Su reporte debe contemplar todo lo indicado en la sección L.1.1. del presente protocolo. Adicionalmente, cuando el reporte de la data original se realice en línea, se debe precisar, en el reporte, que la data se encuentra en proceso de validación, para evitar potenciales confusiones en el usuario de la información.

L.2.2 Concentraciones validadas

Las concentraciones validadas y calculadas luego de haber seguido todo el procedimiento establecido en la sección L.1, deben ser reportadas en medios físicos y digitales, pudiendo incluso alojarse en servidores y visualizarse en tiempo real desde cualquier sitio web previamente establecido.

Todo reporte deberá incluir gráficas y tablas de las concentraciones promediadas de acuerdo a los ECA para aire vigentes. Las concentraciones a ser promediadas deberán cumplir mínimamente con la información requerida en las Tablas 3 y 4.





M. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL MONITOREO

En consideración a lo indicado en la norma ISO 8402, el aseguramiento o garantía de la calidad corresponde al conjunto de acciones planificadas y sistemáticas necesarias para proporcionar la confianza adecuada de que el monitoreo cumplirá con los requerimientos de calidad exigidos. Asimismo, el control de calidad corresponde al conjunto de actividades de carácter operativo, utilizadas para verificar los requerimientos relativos a la calidad del monitoreo.

En ese sentido, para efectos del cumplimiento del presente protocolo, el aseguramiento corresponde a las acciones identificadas como necesarias para alcanzar la calidad del monitoreo, mientras que el control corresponde a toda acción o mecanismo que permita verificar que se ha cumplido con la ejecución de las acciones de aseguramiento.

A continuación, en la Tabla 18, se identifican las acciones de aseguramiento y control de calidad que deben tenerse en cuenta al momento de realizar las labores de monitoreo:

Tabla 18. Acciones de aseguramiento y control de la calidad de los monitoreos

N°	Acción de aseguramiento	Sustento o base	Evidencia o medio probatorio	Acción de control
1	Definir el enfoque del monitoreo	Objetivo(s) del monitoreo	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01)
2	Determinar número, localización y clasificación de las estaciones de monitoreo	Cumplimiento de C.1, C.2 y C.5	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01)
3	Determinar parámetros de calidad del aire	Cumplimiento de C.3	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
4	Determinar la frecuencia y periodos de monitoreo	Cumplimiento de C.4	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
5	Seleccionar métodos de medición	Cumplimiento de F y H	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
6	Instalar los equipos de monitoreo	Cumplimiento de I	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
7	Calibrar los equipos de monitoreo	Cumplimiento de J	Ficha del equipo de monitoreo (FA-02).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
8	Operar los equipos de monitoreo	Cumplimiento de K	Ficha del equipo de monitoreo (FA-02).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
9	Mantener los equipos de monitoreo	Cumplimiento de K	Ficha del equipo de monitoreo (FA-02).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
10	Procesar y reportar la información de monitoreo	Cumplimiento de L	Data cruda, sistema de procesamiento, data procesada.	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).

Fuente: Elaboración propia (2018).

Todo reporte o informe de monitoreo deberá incluir, en anexos, las evidencias o medios probatorios de las acciones de aseguramiento y control indicadas en la Tabla 17.





M.1 Verificación documentaria del cumplimiento del protocolo

Consiste en una revisión exhaustiva de todos los documentos o medios anexados a los reportes o informes de monitoreo, que permitan evidenciar el cumplimiento de los criterios establecidos en el presente protocolo.

En el caso de los informes o reportes de los administrados, esta verificación corresponde al OEFA u otra Entidad de Fiscalización Ambiental (EFA), según el caso. Cuando se trate de informes o reportes de monitoreos realizados por entidades públicas, la verificación corresponde al MINAM.

Para efectos de verificar, de manera documentaria, el cumplimiento del protocolo, la entidad correspondiente aplicará como base el Formato FC-01.

En caso de evidenciarse un incumplimiento al protocolo, este deberá ser absuelto por el administrado u entidad pública responsable del monitoreo, caso contrario todo resultado de monitoreo asociado a un incumplimiento será considerado como no válido.

M.2 Verificación del requisito de acreditación

Todo monitoreo de calidad ambiental del aire, cuyos resultados sean comparados con los ECA para aire, deberá ser realizado por organismos acreditados, por INACAL u otras entidades internacionales reconocidas expresamente por INACAL, en las normas técnicas del método de monitoreo (tabla 6), según el parámetro correspondiente.

En el caso de la aplicación los procedimientos de medición alternativos, cuyos resultados sean comparados con los ECA para aire, no será requerida la acreditación. Sin embargo deberán considerarse, mínimamente, todos los criterios establecidos en el presente protocolo, con mayor énfasis en lo establecido en las secciones F, G y M.1.





N. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D1607 - 91(Rev. 2011): Standard Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction).
- Alberta Environment and Parks (2011). Standard Operating Procedure for Hydrogen Sulphide (H₂S) and Total Reduced Sulphur (TRS) detectors [Procedimiento de operación estándar para detectores de sulfuro de hidrógeno (H₂S) y azufre reducido total (TRS)].
- Alberta Environment and Parks (2016). Air Monitoring Directive [Directiva sobre el monitoreo de aire]. Alberta, Government of Alberta.
- Central Pollution Control Board (2003). Guidelines for Ambient Air Quality Monitoring [Guía para el monitoreo de calidad de aire]. Ministry Of Environment & Forests.
- CFR 40 part 58 appendix D (2016). Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring [Criterios de diseño de red para monitoreo de calidad del aire].
- Chan, Y. & Kwok, S. (2000). Vertical dispersion of suspended particulates in urban area of Hong Kong [Dispersión vertical de partículas suspendidas en el área urbana de Hong Kong]. *Atmospheric Environment* 34:4403-4412.
- Clean Air Scientific Advisory Committee (2005). Development of the PM Monitoring Program, Including a Federal Reference Method (FRM) for PM_{10-2.5} [Desarrollo del programa de monitoreo de PM, incluyendo un Método de Referencia Federal para PM_{10-2.5}]. Presentation by the Ambient Air Monitoring and Methods Subcommittee.
- Cooper, W. (1975). Statistical errors in beta absorption measurements of particulate mass concentration [Errores estadísticos en las mediciones de beta absorción de la concentración de masa de las partículas]. *Journal of the Air Pollution and Control Association* 25:1154-1155.
- Courtney, J. *et al.* (1982). Precision and accuracy of a beta-gauge for aerosol mass determination [Precisión y exactitud de un calibrador beta para la determinación de masa de aerosol]. *Environmental Science and Technology* 16:236-238.
- Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, Lima, Perú, 7 de junio del 2017.
- Department of Environment and Conservation of Western Australia (2009). Ambient monitoring of Particulate Matter in Kalgoorlie 2006-2007 [Monitoreo ambiental de material particulado en Kalgoorlie 2006-2007]. Technical report.
- Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire y a una atmósfera más limpia en Europa.
- European Communities (2002). Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) Position Paper [Ensayo sobre la contaminación del aire por mercurio]. ISBN 92-894-4260-3.
- European Environment Agency (2013). Status of black carbon monitoring in ambient air in Europe [Estatus del monitoreo de carbono negro en el aire de Europa]. Technical report.
- Fu, X. *et al.* (2009). Atmospheric total gaseous mercury (TGM) concentrations and wet and dry deposition of mercury at a high-altitude mountain peak in south China [Concentraciones atmosféricas de mercurio gaseoso total (TGM) y deposición húmeda y seca de mercurio en un pico de montaña a gran altitud en el sur de China]. *Atmospheric, Chemistry and Physics Journal*.
- Global Mercury Observation System (2018). GMOS Standard Operational Procedure Methods for the determination of TGM and GEM [Métodos de Procedimiento Operacional Estándar GMOS para la determinación de TGM y GEM]- Recuperado de http://www.gmos.eu/public/GMOS%20SOP%20TGM_GEM.pdf





- Gussman, A. *et al.* (2001). Design Calibration and Field Test of a Cyclone for PM-1 Ambient Air Sampling [Calibración de diseño y prueba de campo de un Ciclón para muestreo de aire PM-1]. *Aerosol Science and Technology*.
- Gustin, M. *et al.* (2015). Measuring and modeling mercury in the atmosphere: a critical review [Medición y modelamiento del mercurio en la atmósfera: una crítica revisión]. *Atmospheric, Chemistry and Physics Journal*.
- Hall, E. *et al.* (2014). Integrating Sensor Monitoring Technology into the Current Air Pollution Regulatory Support Paradigm: Practical Considerations [Integración de la tecnología de monitoreo de sensores en el paradigma actual de soporte regulatorio de la contaminación del aire: consideraciones prácticas]. *American Journal of Environmental Engineering* (DOI: 10.5923/j.ajee.20140406.02).
- Ibañez, L (2008). Comparación entre las metodologías de muestreo equivalentes y de referencia del material particulado atmosférico, en la ciudad de Lima. (Tesis de Pre grado en Ing. Ambiental). Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- INACAL (2016). NTP 900.068:2016 Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total.
- Instituto Nacional de Ecología (2010). Manual 1 Principios de Medición de la Calidad del Aire, México.
- Instituto Nacional de Ecología (2010). Manual 4 Operación de Estaciones de Medición de la Calidad del Aire, Mantenimiento y Calibración de sus Componentes. México.
- International Organization for Standardization (2005). ISO 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, México.
- International Organization for Standardization (2011). ISO 19011:2011 Directrices para la auditoria de los sistemas de gestión, Suiza.
- International Organization for Standardization (2015). ISO 9001:2015 Sistema de Gestión de la Calidad, International Organization for Standardization, España, AENOR.
- Jaklevic, M. *et al.* (1981). A beta-gauge method applied to aerosol samples [Un método de calibre beta aplicado a muestras de aerosol]. *Environmental Science and Technology* 15:680–686.
- Kebabian, P. *et al.* (2005). Detection of Nitrogen Dioxide by Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy [Detección del dióxido de nitrógeno por la fase de cavidad atenuada espectroscopio]. *Analytical Chemistry Journal*.
- Lilienfeld, P. (1975). Design and operation of dust measuring instrumentation based on the beta-radiation method [Diseño y prueba de instrumentos de medición de polvo basados en el método de la beta-radiación]. *Staub-Reinhalte. Luft* 35:458.
- Liu G, C. & O'Driscoll, N. (2011). *Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury* [Química Ambiental y Toxicología del Mercurio]. ISBN: 978-1-118-14663-7.
- Lodge, James (1988). *Methods of Air Sampling and Analysis - 3rd Edition*.
- Macias, S. & Husar, B. (1976). Atmospheric particulate mass measurement with beta attenuation mass monitor [Medición de la masa de la partícula atmosférica con el monitor beta de atenuación de masas]. *Environmental Science and Technology* 10:904–907.
- Martínez, A. & Romieu, I. (2001). *Introducción al Monitoreo Atmosférico*. ECO / GTZ / Departamento del Distrito Federal.
- Ministerio de Ambiente (2010). *Manual De Operación De Sistemas De Vigilancia De La Calidad Del Aire*, Bogotá, Colombia, Ministerio de Ambiente.





- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008) Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Lima, Perú.
- Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Republica de Colombia (2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.
- Molenaar, J. (2018) Theoretical Analysis of $PM_{2.5}$ Mass Measurements by Nephelometry [Análisis teórico de las mediciones de masa de $PM_{2.5}$ por Nefelometría]. Recuperado de http://vista.cira.colostate.edu/improve/publications/graylit/014_AerosolByNeph/AerosolbyNeph.pdf
- Munn, E. (1981). The Design of Air Quality Monitoring Networks [Diseño de redes de monitoreo de calidad de aire]. MacMillan, London.
- Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire, con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México.
- Ontario Ministry of the Environment (2004). Air Quality in Ontario 2003 Report [Reporte 2003 de la calidad del aire en Ontario].
- Puxbaum, H. & Baumann, H. (1984). Vertical concentration profiles of traffic derived components in a street canyon [Perfiles de concentración vertical de componentes derivados del tráfico en un cañon urbano]. The Science of the Total Environment 36:47-52.
- Reference Method for the Determination of Fine Particulate Matter as $PM_{2.5}$ in the Atmosphere [Método de referencia para la determinación de material particulado fino como $PM_{2.5}$ en la atmósfera]. Code of Federal Regulations 40, Appendix L to Part 50, U.S.A., 15 de febrero del 2017.
- Reference Method for the Determination of Lead in Particulate Matter as PM_{10} Collected from Ambient Air [Método de referencia para la determinación de plomo en material particulado como PM_{10} recolectado del aire]. Code of Federal Regulations 40, Appendix L to Part 50, U.S.A., 15 de febrero del 2017.
- Resolución Ministerial N° 20-2018-MINAM, Lima, Perú, 19 de enero del 2018.
- Sajani, Z. *et al.* (2004). Urban air pollution monitoring and correlation properties between fixed-site stations [Monitoreo de la contaminación urbana del aire y propiedades correlativas entre estaciones "fixed-site"]. Journal of the Air and Waste Management Association 54:1236-1241.
- Sarnia Lambton Environmental Association (2006). 2004 Annual Report Sarnia Air Monitoring Program [Reporte anual del 2004 sobre el programa de monitoreo del aire de Sarnia]. ORTECH Environmental Report No. 50200. January 27, 2006.
- Schwab, J. *et al.* (2004). Laboratory characterization of modified tapered element microbalance samplers [Caracterización de laboratorio de muestreadores de microbalanzas de





- elementos cónicos modificados]. *Journal of the Air and Waste Management Association* 54:1254- 1263.
- Schwab, J. *et al.* (2006). New York State urban and rural measurements of continuous PM_{2.5} mass by FDMS, TEOM, and BAM [Mediciones urbanas y rurales del estado de Nueva York de la masa continua de PM_{2.5} por FDMS, TEOM y BAM]. *Journal of the Air and Waste Management Association* 56:372-383.
 - Seinfeld, J. & Pandis, S. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* [Química y física atmosférica: De contaminación del aire a cambio climático]. 2nd edition.
 - Sem, J. & Borgos, W. (1975). Experimental investigation of the exponential attenuation of beta radiation for dust measurements [Investigación experimental de la atenuación exponencial de la radiación beta para mediciones de polvo]. *Staub-Reinhalte. Luft* 35:5-9.
 - Shin, S. *et al.* (2011). Analysis of the Measurement Difference for the PM₁₀ Concentrations between Beta-ray Absorption and Gravimetric Methods at Gosan [Análisis de las diferencias entre la absorción de rayos beta y los métodos gravimétricos para la medición de PM₁₀ en Gosan]. *Aerosol and Air Quality Research Journal*.
 - Takahashi, K. *et al.* (2008). Examination of discrepancies between beta-attenuation and gravimetric methods for the monitoring of particulate matter [Examen de las discrepancias entre la atenuación beta y los métodos gravimétricos para el monitoreo de partículas.]. *Atmospheric Environment Journal*.
 - Trieu-Vuong, D. *et al.* (2016). A review on non-dispersive infrared gas sensors: Improvement of sensor detection limit and interference correction [Revisión de sensores de gas infrarrojo no-dispersivo: Mejoramiento del límite de detección del sensor y corrección de interferencia].
 - US Environmental Protection Agency (1999). *Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air, Chapter IO-1.- Continuous measurement of PM₁₀ suspended particulate matter (SPM) in ambient air – overview* [Compendio de métodos para la determinación de componentes inorgánicos en el aire, Capítulo IO.1.- Mediciones continuas de material particulado suspendido PM₁₀ en el aire - síntesis]. Cincinnati, OH 45268.
 - US Environmental Protection Agency (2014). *Fact sheet for trace level SO₂ monitoring method* [Hoja de datos para el método de monitoreo de SO₂ a nivel de seguimiento].
 - US Environmental Protection Agency (2018). *EPA scientists develop Federal Reference & Equivalent Methods for measuring key air pollutants* [Científicos de la EPA desarrollan una referencia Federal y métodos equivalentes de medición para contaminantes clave del aire]. Recuperado de <https://www.epa.gov/air-research/epa-scientists-develop-federal-reference-equivalent-methods-measuring-key-air>.
 - US Environmental Protection Agency (2011). *Reference and equivalent method applications, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711, USA* [Aplicaciones de referencia y métodos equivalentes, Agencia de Protección Ambiental, Research Triangle Park, NC 27711, EE. UU.].
 - US Environmental Protection Agency (2017). *List of designated reference and equivalent methods, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711, USA* [Aplicaciones de referencia y métodos equivalentes, Agencia de Protección Ambiental, Research Triangle Park, NC 27711, EE. UU.].
 - US Environmental Protection Agency (2017). *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems*. [Manual de aseguramiento de la calidad para los sistemas de medición





de contaminación del aire]. Volume II Ambient Air Quality Monitoring Program, Estados Unidos de América.

- Washington State Department of Ecology (2017). PM_{2.5} and PM₁₀ Beta Attenuation Monitor Operating Procedure [Procedimiento operacional del monitor beta para la atenuación de PM_{2.5} and PM₁₀] Air Quality Program.
- Wedding, B. & Weigand, A. (1993). An automatic particle sampler with beta gauging [Un muestreador automático de partículas con medidor beta]. Journal of the Air and Waste Management Association 43:475–479.
- William E. *et al.* (2006). The Measurement of Fine Particulate Semivolatile Material. [Las mediciones de material particulado fino semivolátil]. Journal of the Air & Waste Management Association, 56:4, 384-397.

O. ABREVIATURAS

AP-42:	Compilación de factores de emisiones al aire.
As:	Arsénico.
ASTM:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
BAM:	Métodos de atenuación de radiación beta.
BTX:	Benceno, Tolueno y Xileno.
C ₆ H ₆ :	Benceno.
CAPS:	Cavidad por Atenuación de Desplazamiento de Fase.
CARB:	Agencia de Calidad del Aire de California.
CC/AC:	Aseguramiento y control de calidad.
CG:	Cromatografía de gases.
CO:	Monóxido de carbono.
COPS:	Contaminantes orgánicos persistentes.
COVs:	Compuestos orgánicos volátiles.
CSV:	Documento con valores separados por comas.
CVAAS:	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío.
CVAFS:	Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío.
DIGESA:	Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria.
DV:	Dirección de Viento.
ECA:	Estándar de Calidad Ambiental.
EDXRF:	Espectrometría de Fluorescencia de rayos X de Energía Dispersiva.
EFA:	Entidades de Fiscalización Ambiental.
EMEP/EEA:	Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación y la Agencia Europea de Medio Ambiente.
EPA:	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.
FDMS:	Sistema de medición por filtro dinámico.
FEM:	Métodos Equivalentes.
FRM:	Métodos de Referencia.
GFC:	Correlación por filtro de gas.
H ₂ S:	Sulfuro de hidrógeno.





IGA:	Instrumento de Gestión Ambiental.
INACAL:	Instituto Nacional de la Calidad
ISO:	Organización Internacional de Normalización.
IR:	Infrarroja.
LPM:	Litros por minuto.
MINAM:	Ministerio del Ambiente.
MGT:	Mercurio Gaseoso Total
N ₂ :	Nitrógeno Molecular.
NDIR:	Infrarrojo No Dispersivo.
NO:	Monóxido de Nitrógeno.
NO ₂ :	Dióxido de Nitrógeno.
NOx:	Óxidos de Nitrógeno = NO + NO ₂ .
NTP:	Norma Técnica Peruana.
O ₃ :	Ozono troposférico.
OEFA:	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
OMS:	Organización Mundial de la Salud.
PAMA:	Programas de Adecuación y Manejo Ambiental.
Pb:	Plomo.
PM ₁ :	Material particulado con diámetro aerodinámico menor a 1 micra.
PM ₁₀ :	Material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 micras.
PM _{2,5} :	Material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2,5 micras.
PLANEFA:	Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
PTFE:	Filtro de politetrafluoroetileno (teflón).
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
SO ₂ :	Dióxido de Azufre.
SPAN:	Concentración conocida.
TCM:	Tetracloromercurato de potasio.
TEA:	Trietanolamina.
TEOM:	Microbalanza oscilatoria de elemento cónico.
UPS:	Unidad de provisión de energía.
UV:	Ultravioleta.
VV:	Velocidad de viento.
ZAP:	Zona de Atención Prioritaria.



P. ANEXOS

- Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA 01)
- Ficha del equipo de monitoreo (FA-02)
- Lista de chequeo (FC-01)

Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA 01)

Estaciones que conforman la red:	Sustento del número de estaciones
1) Código 1 // 2) Código 2 // ... // n) Código n	

Objetivo de la red de monitoreo:		Enfoque:	
---	--	-----------------	--

Información de la Estación Código 1						
Descripción	Localización - Coordenadas UTM			Clasificación		Sustento de localización <small>(indicar si tuvo que relocalizarse por accesibilidad, seguridad u otro, sustentar que el objetivo de monitoreo no se ve afectado)</small>
	Norte (m)	Este (m)	Altura (msnm)	Por su finalidad	Por su escala	

Parámetros de medición	Sustento de parámetros	Explicación del sustento

Fotografía de la Estación de Monitoreo	Parámetro	Frecuencia	Periodo	N° de campañas o estación permanente	Sustento de frecuencia y periodo
[Espacio para fotografías]					

Selección de parámetros que cuentan con ECA					
Parámetro	Método de medición		Límite de Detección (indicar unidades) Nombre	Límite de Cuantificación (indicar unidades)	Sustento de selección del método
	Tipo	Nombre			

Selección de parámetros que no cuentan con ECA					
Parámetro	Método de medición		Límite de Detección (indicar unidades)	Límite de Cuantificación (indicar unidades)	Sustento de selección del método
	Tipo	Nombre			



Nota 1: Todo sustento que se base en documentación técnica, informes, u otro tipo, deberá ser adjuntado al presente formato.

Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA 01)

Layout (vista de planta + vista de corte que permita evidenciar el cumplimiento de los criterios I.1)



En caso de no haberse podido cumplir con todos los criterios del I.1, sustente los motivos y explique que si afecta o no al cumplimiento del objetivo de monitoreo:

Descripción de los requisitos auxiliares conforme a I.2

(en caso se utilicen analizadores automáticos de gases, se deberá calcular el tiempo de residencia de la entrada de muestra)

Equipo o sistema auxiliar	Descripción	Indicar si cumple con los criterios del I.2

Descripción de la estación meteorológica utilizada

Parámetro	Método	Unidades	Rango	Resolución	Altura sobre el suelo	Distancia horizontal con respecto a obstáculo más cercano	Comentarios

Nombre completo del encargado de la red o estación de monitoreo	Profesión	DNI	Empresa / Institución	Firma
---	-----------	-----	-----------------------	-------

Nota 1: Todo sustento que se base en documentación técnica, informes, u otro tipo, deberá ser adjuntado al presente formato.

Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA 01)

Lista total de equipos de medición y auxiliares de la Estación Código 1				
Nombre del equipo	Parámetro	Marca	Modelo	Número de ser



Nota 1: Todo sustento que se base en documentación técnica, informes, u otro tipo, deberá ser adjuntado al presente formato.

Ficha del equipo de monitoreo (FA-02)

Ficha del equipo de monitoreo	
Nombre	
Parámetro de medición	
Marca	
Modelo	
Número de serie	

A continuación, en caso corresponda, detalle y sustente el cumplimiento del método de referencia o equivalente:

Sustento de utilización del método de referencia o equivalente:					
N°	Consideración técnica	Tipo de documento fuente que lo estipula (capítulo E del protocolo, norma técnica, manual del fabricante)	Nombre del documento fuente	Sección / capítulo / página del documento fuente	Evidencia del cumplimiento de la consideración técnica

En caso el equipo no aplique un método de referencia o equivalente, indique cuál es el sustento de su utilización y las consideraciones técnicas a cumplir

Sustento de utilización del método o procedimiento:					
N°	Consideración técnica	Tipo de documento fuente que lo estipula (capítulo del protocolo, norma técnica, manual del fabricante u otro)	Nombre del documento fuente	Sección / capítulo / página del documento fuente	Evidencia del cumplimiento de la consideración técnica

CALIBRACIÓN

El equipo es calibrado de conformidad con lo establecido en el capítulo J del protocolo, detalle y sustente:

N°	Criterio de calibración estipulado	Tipo de documento fuente que lo estipula (capítulo del protocolo, norma técnica, manual del fabricante u otro)	Nombre del documento fuente	Sección / capítulo / página del documento fuente	Evidencia del cumplimiento del criterio de calibración

Nombre completo del encargado de la calibración	Equipo o dispositivo calibrado	Profesión	DNI	Empresa / Institución



Nota 1: Todo sustento que se base en documentación técnica, informes, certificados, data original u otro tipo, deberá ser adjuntado al presente formato.

Ficha del equipo de monitoreo (FA-02)

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO					
El equipo es operado y mantenido de conformidad con lo establecido en el capítulo K del protocolo, detalle y sustente:					
N°	Criterio de operación estipulado	Tipo de documento fuente que lo estipula (capítulo del protocolo, norma técnica, manual del fabricante u otro)	Nombre del documento fuente	Sección / capítulo / página del documento fuente	Evidencia del cumplimiento del criterio de operación
Nombre completo del encargado de la operación		Equipo operado	Profesión	DNI	Empresa / Institución / Firma

N°	Criterio de mantenimiento estipulado	Tipo de documento fuente que lo estipula (capítulo del protocolo, norma técnica, manual del fabricante u otro)	Nombre del documento fuente	Sección / capítulo / página del documento fuente	Evidencia del cumplimiento del criterio de mantenimiento
Nombre completo del encargado de la mantenimiento		Equipo o dispositivo sujeto a mantenimiento	Profesión	DNI	Empresa / Institución



Nota 1: Todo sustento que se base en documentación técnica, informes, certificados, data original u otro tipo, deberá ser adjuntado al presente formato.

Lista de chequeo (FC-01)

Estaciones que conforman la red:
1) Código 1 // 2) Código 2 // // n) Código n

Objetivo de la red de monitoreo:	
Enfoque de la red de monitoreo:	

Información de la Estación Código 1					
Descripción	Localización - Coordenadas UTM			Clasificación	
	Norte (m)	Este (m)	Altura (msnm)	Por su finalidad	Por su escala

Parámetros de medición

N°	Criterios de control /chequeo	SI	NO	Explique
1	¿Se ha sustentado adecuadamente la localización de la estación?			
2	¿Se han sustentado adecuadamente los parámetros de medición de la estación?			
3	¿Se han sustentado adecuadamente la frecuencia y período para cada uno de los parámetros de medición de la estación?			
4	¿Se ha seleccionado el método de medición adecuado para cada parámetro?			
5	¿Se cumple con todos los criterios técnicos y requisitos auxiliares establecido en la sección I del protocolo de monitoreo?			
6	¿Los métodos seleccionados para cada parámetro cumplen con las consideraciones técnicas requeridas?			
7	¿Los equipos de medición de la estación son calibrados de conformidad con lo establecido en el capítulo J del protocolo?			
8	¿Los equipos de medición de la estación son operados y mantenidos de conformidad con lo establecido en el capítulo K del protocolo?			
9	¿El procesamiento y reporte de la información de la estación de monitoreo se realiza de conformidad a lo establecido en el capítulo L del protocolo?			



Lista de chequeo (FC-01)

Si se incumple alguno de los criterios de control / chequeo, favor indicar a continuación:

N°	Criterio no cumplido	Detalle	Sustente

Comentarios o sugerencias:

Nombre completo del encargado del chequeo / verificación	DNI	Empresa / Institución	Firma

