

## LEYES, REGLAMENTOS, DECRETOS Y RESOLUCIONES DE ORDEN GENERAL

Núm. 43.635

Jueves 24 de Agosto de 2023

Página 1 de 30

### Normas Generales

CVE 2364078

#### MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

Superintendencia del Medio Ambiente

#### DICTA INSTRUCCIONES DE CARÁCTER GENERAL QUE ESTABLECEN LOS REQUISITOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN, FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS EN ESTACIONES DE MUESTREO Y MEDICIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA

(Resolución)

Núm. 1.449 exenta.- Santiago, 16 de agosto de 2023.

Vistos:

Lo dispuesto en el artículo segundo de la ley 20.417, que establece la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante, "LOSMA"); en la ley 19.300, sobre bases generales del medio ambiente; en la ley 19.880, que establece las bases de los procedimientos administrativos que rigen los actos de los órganos de la administración del Estado; en la ley 18.834 que aprueba el estatuto administrativo; en el decreto con fuerza de ley 3, de 2010, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que fija la planta de la Superintendencia del Medio Ambiente; en la resolución exenta 2.124, de 2021, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que fija la organización interna de la Superintendencia del Medio Ambiente; en el decreto supremo 70, de 28 de diciembre de 2022, del Ministerio del Medio Ambiente, que nombra a Marie Claude Plumer Bodin en el cargo de Superintendente del Medio Ambiente; y en la resolución 7, de 2019, de la Contraloría General de la República, que fija normas sobre exención del trámite de toma de razón.

Considerando:

1. Que, la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante e indistintamente, "Superintendencia" o "SMA"), fue creada para ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las resoluciones de calificación ambiental, de las medidas de los planes de prevención y/o de descontaminación ambiental, del contenido de las normas de calidad ambiental y normas de emisión, y de los planes de manejo, cuando corresponda, y de todos aquellos otros instrumentos de gestión ambiental que establezca la ley, así como imponer sanciones en caso que se constaten infracciones de su competencia.

2. Que, el artículo 33 de la Ley N° 19.300 establece que el Ministerio del Medio Ambiente administrará la información de los programas de medición y control de la calidad ambiental del aire, agua y suelo para los efectos de velar por el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación.

3. Que, la letra u) del artículo 70 de la Ley N° 19.300 establece que corresponde al Ministerio del Medio Ambiente administrar la información de los programas de monitoreo de calidad del aire, agua y suelo, proporcionada por los órganos competentes, cuando corresponda.

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

CVE 2364078

Director: Felipe Andrés Peroti Díaz  
Sitio Web: www.diarioficial.cl

Mesa Central: 600 712 0001 Email: consultas@diarioficial.cl  
Dirección: Dr. Torres Boonen N°511, Providencia, Santiago, Chile.

5. Que, la letra s) del artículo 3° de la LOSMA establece que corresponde a la Superintendencia del Medio Ambiente dictar normas e instrucciones de carácter general en el ejercicio de las atribuciones que le confiere esa ley.

6. Que, las normas de calidad ambiental definen el nivel de exposición aceptable respecto de determinados contaminantes en el entorno, y dan origen a obligaciones de monitoreo ambiental con fines de política pública.

7. Que, el monitoreo de calidad ambiental consiste en el registro sistemático de los valores que entregan determinados instrumentos de medición respecto de la presencia de determinados contaminantes en el entorno. Los valores así obtenidos sirven de fundamento técnico para diversas decisiones vinculadas a la gestión ambiental, como es el caso de la declaración de zona latente o saturada y el levantamiento de línea base y seguimiento ambiental.

8. Que, como consecuencia de ello, el monitoreo de calidad ambiental puede realizarse por varios motivos, entre los cuales se encuentran no solo el levantamiento de línea base para los propósitos de la evaluación ambiental y el seguimiento de las variables ambientales consideradas en la evaluación ambiental de un proyecto o la declaración de zona latente o saturada, sino que, además, puede tener fines de investigación o, en general, de política pública.

9. Que la SMA, en el ejercicio de la función de dar seguimiento y fiscalización que le atribuye la ley, tiene el rol de asegurar la fiabilidad de los datos obtenidos de los compromisos por RCA y de los programas de medición y control de calidad ambiental (PMCCA), que administra el Ministerio del Medio Ambiente, definiendo las condiciones bajo las cuales es posible obtener datos representativos de acuerdo con el estado del arte en la comunidad científico-técnica.

10. El documento "Informe Final. Instrucciones de carácter general que establecen los requisitos técnicos para la instalación, funcionamiento y operación de los instrumentos en estaciones de muestreo y medición de calidad del aire y meteorología", de marzo de 2023, elaborado por la División de Fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente.

11. Que, en ausencia de programas de medición y control de la calidad ambiental del aire, la SMA dictó la resolución exenta 1.690, de 2022, que establece el listado de estaciones de monitoreo con representación poblacional o representación de recursos naturales en materia de calidad del aire. En atención al número de estaciones allí reconocidas por la SMA, se ha estimado oportuno establecer un periodo de vacancia para que los órganos públicos responsables puedan adecuarse a lo establecido en la presente resolución.

12. Que, en atención a las consideraciones anteriores.

Resuelvo:

**Primero.** Dictar las siguientes instrucciones de carácter general que establecen los requisitos técnicos para la instalación, funcionamiento y operación de los instrumentos en estaciones de muestreo y medición de calidad del aire y meteorología.

## 1. Glosario

**Ajuste:** conjunto de operaciones realizadas en un sistema de medición para que proporcione indicaciones prescritas correspondientes a valores dados de una cantidad a medir. El ajuste de un sistema de medición no debe confundirse con la calibración, que es un requisito previo para el ajuste. (VIM CEM 2012, pp. 45).

**Calibración:** operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medición asociadas obtenidas a partir de los patrones de medición, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medición a partir de una indicación. La calibración no es un ajuste de un sistema de medición, ni una verificación (VIM CEM 2012, pp. 37-38).

**Certificado de calibración:** documento elaborado por un laboratorio de ensayo y calibración acreditado bajo ISO 17.025 vigente, en donde se da cuenta de los resultados y vigencia de la calibración.

**Datos crudos:** valores obtenidos directamente del instrumento de medición o desde el sistema de almacenamiento, expresados en sus dimensiones físicas y químicas correspondientes, sobre los cuales no se ha aplicado ningún tipo de intervención con posterioridad a la medición (MINSAL2008).

**Datos inválidos:** corresponden a los datos crudos que no aprueban los controles de calidad del proceso de validación de datos.

**Datos válidos:** corresponden a los datos crudos que han aprobado los controles de calidad realizados durante el proceso de validación de datos. Pueden incluir correcciones en función de los resultados de las calibraciones y verificaciones a los instrumentos de medición y muestreadores.

**Error de medición:** diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia (VIM CEM 2012, p. 32).

**Error máximo permitido:** valor extremo del error de medida, con respecto a un valor de referencia conocido, permitido por especificaciones o reglamentaciones, para una medición, instrumento o sistema de medida dado. No es conveniente utilizar el término «tolerancia» para designar al error máximo permitido. (VIM CEM 2012, pp. 51-52).

**Estación de calidad del aire:** infraestructura, caseta o sistema donde se instalan los instrumentos de medición y/o muestreadores. Cabe señalar que los instrumentos instalados en casetas portables pequeñas (llamados ene/asure) e instrumentos del tipo de muestreo que pueden permanecer a la intemperie, también son considerados como estaciones de calidad del aire.

**Estabilidad de un instrumento de medición:** propiedad de un instrumento de medición por la que este conserva constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo (VIM CEM 2012, pp. 50).

**Formato de fecha:** para efecto del formato oficial de contaminantes atmosféricos y meteorológicos, de la fecha y hora será el siguiente (MINSAL 2008):

- aaaammdd: ejemplo 20041125 es el 25 de noviembre de 2004
- hhmm: ejemplo 1525 son las 15:25 hrs.

**Hora:** periodo de 60 minutos que parte en el minuto uno de la hora y termina en el minuto 60 de la misma, lo cual corresponde a un promedio aritmético horario de las mediciones realizadas en dicho periodo. Luego, la hora 18 del día corresponde al periodo comprendido entre las 17:01 y las 18:00 inclusive.

**Instrumento de medición:** dispositivo utilizado para realizar mediciones, asociado a uno o varios dispositivos suplementarios que produce una señal de salida con información sobre el valor de la magnitud medida. Se considerará como instrumento de medición, por ejemplo, pirómetros, barómetros, pluviómetros, analizadores de gases, analizadores de material particulado, entre otros (VIM CEM 2012, pp. 43).

**Intervalo de aprobación:** conjunto de los valores de magnitudes de una misma naturaleza promulgados por la EPA para cada instrumento. Algunos instrumentos han sido designados para más de un intervalo de aprobación y es posible que se deba seleccionar un intervalo de medición (EPA 2017).

**Intervalo de medición:** conjunto de los valores de magnitudes de una misma naturaleza que un instrumento o sistema de medición dado puede medir con una incertidumbre instrumental especificada, en unas condiciones determinadas (VIM CEM 2012, pp. 47).

**Intervalo de trabajo:** corresponde al intervalo operativo seleccionado en el instrumento de medición.

**Límite de cuantificación o valor mínimo confiable:** el límite de cuantificación se puede definir como la cantidad más pequeña de un analito que se pueda cuantificar confiablemente por el instrumento. La capacidad de cuantificar se expresa generalmente en términos de la señal o valor del analito (verdadero) que producirá estimaciones que tienen un valor específico desviación estándar relativa (RSD), comúnmente 10%. Es decir,

$$LQ = K_Q \sigma_Q$$

Donde LQ es el límite de cuantificación,  $\sigma_Q$  es la desviación estándar en ese punto y  $K_Q$  es el multiplicador cuyo recíproco es igual al RSD cuantificador seleccionado. El valor predeterminado de la IUPAC valor para  $K_Q$  es 10. (IUPAC 1997, pp. 10).

**Límite de detección:** es la cantidad o concentración más pequeña de analito en la muestra de prueba que se puede distinguir de manera confiable de cero o de la línea base (IUPAC 2002, pp. 850).

**Mantenimiento correctivo o actividades de mantenimiento no programadas:** se definen como actividades derivadas de un funcionamiento anormal de los instrumentos de medición y muestreo.



**Mantenimiento preventivo:** se define como la programación y ejecución de actividades, en base a un programa documentado, de revisión de los instrumentos de medición y muestreo, tanto de funcionamiento como de limpieza y verificación, que deben llevarse a cabo en forma periódica. Su propósito es prevenir las fallas, manteniendo los instrumentos en óptima operación.

**Material de referencia (MR):** material suficientemente homogéneo y estable con respecto a propiedades especificadas, establecido como apto para su uso previsto en una medición o en un examen de propiedades cualitativas (VIM CEM 2012, pp. 57).

**Material de referencia certificado (MRC):** material de referencia acompañado por la documentación emitida por un organismo autorizado, que proporciona uno o varios valores de propiedades especificadas, con incertidumbres y trazabilidades asociadas, empleando procedimientos válidos (VIM CEM 2012, pp. 58).

**Medición:** determinación in situ, en línea o de manera remota de uno o más parámetros de un objeto de evaluación, de acuerdo con un procedimiento establecido.

**Método de medición:** descripción genérica de la secuencia lógica de operaciones utilizadas en una medición (VIM CEM 2012, pp. 28).

**Muestreo:** actividad que se realiza para la obtención de una muestra representativa del objeto de evaluación, de acuerdo con un procedimiento establecido.

**Norma primaria de calidad ambiental:** aquella que establece los valores de las concentraciones y periodos, máximos o mínimos permitidos de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población (Ley 19.300).

**Norma secundaria de calidad ambiental:** aquella que establece los valores de las concentraciones y periodos, máximos o mínimos permitidos de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza (Ley 19.300).

**Parámetros operacionales de los instrumentos de medición:** corresponden a los parámetros de diseño de un instrumento que permiten evaluar si éste cumple los valores de control establecidos en el manual del fabricante como, por ejemplo: intervalos, ruido, límite de detección, temperatura interna, presión, entre otros.

**Patrón de medición:** realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medición asociada, tomada como referencia (VIM CEM 2012, pp. 56).

**Patrón de referencia:** patrón designado para la calibración de otros patrones de magnitudes de la misma naturaleza en una organización o lugar dado (VIM CEM 2012, pp. 56).

**Patrón de trabajo:** patrón utilizado habitualmente para calibrar o verificar instrumentos o sistemas de medición. Cuando es utilizado en verificaciones se designa también como "patrón de verificación" o "patrón de control" (VIM CEM 2012, pp. 56).

**Periodo de estabilidad del instrumento en la calibración:** corresponde al periodo transcurrido desde el ingreso de un volumen de gas de referencia de concentración conocida hasta que las lecturas se estabilizan en el instrumento de medición de gases.

**Promedio anual:** corresponde al promedio aritmético calculado con promedios mensuales medidos con al menos 9 meses, equivalente al 75% de los datos medidos durante un año calendario. Ello sin perjuicio de lo dispuesto en las respectivas normas primarias y secundarias de calidad del aire.

**Promedio diario:** corresponde al promedio aritmético calculado con promedios horarios medidos entre la hora 1 y la hora 24, con al menos un 75% de los datos horarios medidos durante el día. En la medición de material particulado con instrumentos basados en el método gravimétrico de alto y bajo volumen, el promedio diario se calculará sobre 24 horas continuas de medición, con al menos un 75% de las horas medidas durante el día. Ello sin perjuicio de lo dispuesto en las respectivas normas primarias y secundarias de calidad del aire.

**Promedio horario:** corresponde al promedio aritmético que se calcula con los valores medidos entre el minuto uno y el minuto 60 de la hora. El promedio horario debe ser construido con al menos un 75% de los datos medidos durante la hora. Ello sin perjuicio de lo dispuesto en las respectivas normas primarias y secundarias de calidad del aire.

**Promedio mensual:** corresponde al promedio aritmético calculado con los promedios diarios de un mes calendario. El promedio mensual se calculará con al menos un 75% de los promedios diarios del mes calendario. Ello sin perjuicio de lo dispuesto en las respectivas normas primarias y secundarias de calidad del aire.

**Registro de mantenimiento:** documento que contiene el detalle de los mantenimientos y reparaciones a los instrumentos de medición y muestreadores, así como también a otros sistemas y subsistemas de la estación de calidad del aire.

**Registro de verificaciones:** documento que contiene los datos de las verificaciones de Cero, Span, Multipunto, GPT, flujos, presiones, señales y otras verificaciones de los instrumentos de medición y muestreadores.

**Resolución:** mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente (VIM CEM 2012, pp. 49).

**Sistema de medición:** conjunto de uno o más instrumentos de medición y frecuentemente, otros dispositivos, incluyendo reactivos e insumos varios, ensamblados y adaptados para proporcionar valores medidos dentro de los intervalos especificados, para magnitudes de naturalezas dadas (VIM CEM 2012, pp. 43).

**Tolerancia de mezcla:** es la diferencia entre la medición de la concentración de un gas en un cilindro de mezcla y la concentración requerida, expresada en porcentaje (MINSAL 2008).

**Trazabilidad metrológica:** propiedad de un resultado de medición por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medición. La trazabilidad metrológica requiere una jerarquía de calibración establecida (VIM CEM 2012, pp. 38).

**Validación de los datos:** proceso realizado por personal técnico en el cual se acepta, modifica o rechaza un dato crudo, considerando evidencias objetivas basadas en información obtenida de curvas de ajuste, verificaciones de cero y span, verificaciones multipunto, calibraciones, registro de parámetros operacionales de la estación y/o parámetros internos de los instrumentos y registros de mantenimiento (MINSAL 2008).

**Verificación:** aportación de evidencia objetiva de que un elemento dado satisface los requisitos especificados. No debe confundirse con la calibración (VIM CEM 2012, pp. 39).

**Verificación de cero:** respuesta de un instrumento a concentraciones por debajo de los límites de detección (British Columbia 2018).

**Verificación de span:** respuesta de un instrumento a una concentración conocida de un contaminante y correspondiente al 80% del intervalo de trabajo de dicho instrumento de medición (British Columbia 2018).

**Verificación multipunto:** respuesta del instrumento a 5 concentraciones conocidas de un contaminante, espaciadas uniformemente en el intervalo de trabajo del instrumento (EPA 2017).

**Verificación multipunto GPT:** respuesta del instrumento a 5 concentraciones conocidas de un contaminante, espaciadas uniformemente en el intervalo de trabajo del instrumento (EPA 2017). Se emplea una titulación de fase gaseosa (GPT) de *NO* con ozono para verificar la eficiencia del convertidor de *NO* a *NO*<sub>2</sub> (British Columbia 2018).

**Zona horaria:** se utilizará para la vigilancia de contaminantes el horario oficial de Chile continental de invierno (GMT -4) (MINSAL 2008).

## 2. Requisitos técnicos para la instalación de estaciones e instrumentos de medición de calidad de aire

En el contexto del presente documento se ha definido "estación de calidad del aire" como la infraestructura (caseta, cabina cerrada enclosure, plataforma o andamio) donde se instalan los instrumentos de medición y muestreadores. Cabe señalar que, los instrumentos instalados en cabina cerrada (enclosure) e instrumentos de muestreo que pueden permanecer en la intemperie también son considerados como parte de la estación de calidad del aire. Además, algunas estaciones de calidad de aire incorporan infraestructura para la instalación de instrumentos de medición de parámetros meteorológicos.

Las estaciones de calidad de aire deben ser funcionales y permitir el fácil acceso a la instrumentación para su operación, mantenimiento y reparación. Además, deben ser lo suficientemente resistentes para soportar las distintas condiciones climáticas imperantes en los lugares en donde estén emplazadas.

### 2.1 Requisitos técnicos para la instalación de estaciones de calidad de aire

Se han dividido los requisitos técnicos asociados a las condiciones de instalación de la estación en:

- Exterior de la estación.
- Interior de la estación.

### 2.1.1 Condiciones del exterior de la estación de calidad del aire

Este punto considera tanto el entorno inmediato de la estación (dentro del cierre perimetral) como la infraestructura externa de la estación, equipamiento para el aire acondicionado, soportes para los instrumentos de medición de parámetros meteorológicos, entre otros.

- La estación debe contar con un cierre perimetral a una distancia de 2 metros como mínimo, medidos desde la estación, con acceso controlado exclusivo para el personal autorizado. El personal autorizado debe tener las facilidades para ingresar a la estación en todo momento.
- El entorno de la estación se debe mantener limpio de malezas, basura y todo elemento que pueda obstaculizar su funcionamiento.
- Se debe contar con un sistema de iluminación exterior de la estación.
- En el caso de medición de gases la estación debe contar con un sector específico para almacenar cilindros de gases de acuerdo con el DS N° 43/2016 del Ministerio de Salud o el que lo reemplace. Este sector o bodega de gases puede estar en el interior o exterior de la estación en la medida que cumpla la normativa vigente de manejo y almacenamiento de gases.
- El cableado eléctrico en el exterior de la estación debe mantenerse en buen estado.
- La estación debe ser impermeable y no presentar corrosión, fisuras, agujeros o deformaciones del techo, uniones de paredes, puertas o del material que protege la estación.
- La toma de muestra y el cabezal del instrumento de medición deben quedar instalados de acuerdo con las especificaciones técnicas del manual del fabricante, limpio y sin obstrucciones.
- La entrada de la toma de muestra debe estar ubicada a una altura superior a 3 metros e inferior a 10 metros sobre el nivel del piso. En el caso de toma de muestra ubicados en el techo de una caseta, la entrada deberá estar ubicada a una altura mayor o igual a 1 m respecto a la superficie del techo.
- En el caso de equipos de aire acondicionado tipo ventana, se deben mantener en buen estado los accesorios y soportes que se instalan fuera de la estación.
- Cuando corresponda, la estación debe contar con barandas en el techo con una altura mínima de 1,1m y escalas de acero o aluminio que garanticen una operación segura al personal de la estación. En el caso de utilizar acero, este puede ser inoxidable o protegido con pintura epóxica adecuada a las condiciones ambientales donde se ubica la estación.
- En el caso de que la estación cuente con mástiles o torres meteorológicas, éstas deben ser de acero, aluminio u otro material resistente a las condiciones ambientales de la zona en particular, con una altura mínima de 10 m medidos desde el suelo. En el caso de utilizar acero, este puede ser inoxidable o protegido con pintura epóxica adecuada a las condiciones ambientales donde se ubica la estación.
- En el caso de mástiles o torres no autosoportantes se debe asegurar un buen anclaje al suelo de los respectivos tirantes. Además, los tirantes deben tener una tensión adecuada que asegure la verticalidad del mástil o torre.

### 2.1.2 Condiciones al interior de la estación

Los instrumentos de medición de calidad del aire deben operar en un ambiente limpio, con temperatura controlada, alimentación eléctrica estable y protegidos contra descargas. A continuación, se presentan los criterios para la infraestructura interna de la caseta, sistema eléctrico, sistema de aire acondicionado y mobiliario:

#### a) Infraestructura interna:

- El acceso, tanto a los instrumentos e insumos como al sistema de toma muestra, debe ser restringido sólo al personal autorizado. Se deberá mantener una bitácora que establezca un control de las actividades tanto del operador como de las visitas externas a la estación.
- Las dimensiones internas de la estación de calidad del aire y la disposición de instrumentos deben ser tal que facilite el acceso a la operación y mantenimiento rutinario de los instrumentos, así como la infraestructura para el operador de la estación.
- Se debe mantener la limpieza y el orden al interior de la caseta.
- El piso interno de la estación debe ser de material impermeable que permita una fácil limpieza.
- La caseta debe tener un sistema de evacuación de gases que permita conectar las mangueras de salida de los instrumentos de medición y las salidas de las bombas de muestreo de los instrumentos de material particulado.



- Se debe instalar un sistema de iluminación que permita visibilidad en todo el interior de la estación.

- Se debe contar con un sistema climatizado para mantener las condiciones de temperatura y humedad constante al interior de la caseta, de acuerdo con las condiciones de operación establecidas en los manuales de los instrumentos de medición.

b) Suministro eléctrico en la estación:

- Se debe asegurar suministro eléctrico continuo y estable sin fluctuaciones de voltaje para los instrumentos que se encuentren funcionando en la estación. Se deben considerar circuitos por separado para la protección de:

- Sistema de procesamiento de datos y comunicación
- Instrumentos de medición
- Sistema de aire acondicionado
- Iluminación

- La instalación eléctrica debe estar acorde a las especificaciones establecidas en las normas técnicas de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

- En el caso de casetas se debe mantener al interior de la estación un plano eléctrico que permita identificar cada uno de los circuitos eléctricos.

- Se debe mantener al interior de la estación una UPS (Uninterruptable Power Supply, también llamado Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI)), a la cual estén conectados todos los instrumentos de medición de gases y material particulado y del sistema de almacenamiento y transmisión de datos, para protección y suministro en caso de falla eléctrica.

- En el caso de estaciones ubicadas en zonas que presentan tormentas eléctricas, se debe instalar un pararrayos con la correspondiente conexión a tierra.

- En caso de estaciones ubicadas en lugares remotos que utilicen sistema electrógeno (generador eléctrico), éste se debe ubicar a una distancia mínima de 50 metros a sotavento de los instrumentos y muestreadores de calidad de aire.

c) Condiciones de temperatura interna de la estación:

- La temperatura interna de la estación se debe mantener entre 20 °C y 30 °C durante un período de 1 hora (EPA 2017, II p. 71).

- Se debe instalar un instrumento de medición de temperatura que sea calibrado una vez al año y que registre al menos las mediciones horarias.

d) Mobiliario al interior de la estación:

- En el caso de uso de muebles tipo Racks, deben estar contruidos de acero con bandejas o rieles deslizantes.

- En el caso de casetas se debe considerar al menos una mesa de trabajo con espacio suficiente para realizar las labores de operación.

- Al interior de la caseta se debe disponer de estantería para almacenar los manuales de los instrumentos, carpetas para los certificados de calibración, carpetas para registros de mantenimiento, útiles de aseo, insumos de instrumentos, repuestos menores, entre otros.

## 2.2 Requisitos técnicos para la instalación de instrumentos de medición de calidad de aire

En este punto se señala el equipamiento necesario para la medición de calidad del aire y transmisión de datos en el caso que aplique, lo que se considera desde los instrumentos de medición de material particulado, de gases contaminantes, muestreadores, instrumentos de medición de parámetros meteorológicos como también del sistema de toma de muestras y del sistema de adquisición de datos.

a) Sistema de toma de muestras de gases y material particulado

- Los sistemas de tomas de muestras de gases deben estar contruidos de vidrio de borosilicato, politetrafluoroetileno (PTFE), perfluoroalcoxi (PFA) o fluoroetileno propileno (FEP), materiales no reactivos con los gases muestreados (EPA 2017, Apéndice F). Solo en el

caso de realizar mediciones de COV no se deberá utilizar en los sistemas de toma de muestra el politetrafluoroetileno, debido a las reacciones de adsorción y desorción con los COV. El material utilizado para toma de muestras de COV debe ser de acero inoxidable, vidrio de borosilicato u otro material equivalente (EPA 2017, sección 7.3.1).

- El tiempo de residencia de la muestra al interior del sistema de toma de muestra debe ser menor o igual a 20 segundos (EPA 2017, sección 7.3.1).

- El sistema de toma de muestra debe tener un sistema de extracción de humedad del flujo muestreado.

- En el caso de uso de un colector (manifold) para conducir la muestra de aire a los instrumentos de medición de gases, se deben utilizar mangueras de acuerdo con los materiales descritos anteriormente para conectar el manifold con la entrada de los instrumentos.

- En el caso de líneas de muestreo individuales desde el instrumento de medición de gas hasta la entrada de la toma de muestra sobre el techo de la estación, se deben utilizar mangueras, de acuerdo con los materiales descritos anteriormente, conectadas directamente a la entrada "sample" de cada instrumento de medición.

- Se deben identificar todas las líneas de muestreo. La identificación debe incluir entradas y salidas del manifold, instrumentos de medición y sistema de evacuación de gases.

- Se debe asegurar que no ingrese agua a los instrumentos de medición por las líneas de entrada de gases.

- Se debe instalar un sello hermético en la conexión de la toma de muestra con el techo de la estación, que no permita el ingreso de polvo y agua al interior de la caseta.

- La entrada de la toma de muestra no debe estar obstruida por ramas de árboles cercanos.

- La entrada de la toma de muestra no debe estar instalada en el mismo lado de la salida de los gases de la estación y de la salida del sistema de aire acondicionado.

- La entrada de la toma de muestra debe estar a una distancia de al menos un metro horizontalmente respecto a muros, estructuras de soporte o barandas en el techo de la estación.

- La distancia del cabezal del instrumento de medición o de la toma de muestra respecto a obstrucciones espaciales debe ser mayor o igual a dos metros para muros u obstáculos verticales.

- La entrada de la toma de muestra o el cabezal del instrumento deben estar ubicados a una distancia respecto a cualquier obstáculo de al menos 2 veces la altura de ese obstáculo. Y el flujo de aire no debe tener obstrucciones a lo menos en un arco de 270°.

- El cabezal del instrumento de medición o de la toma de muestra debe ubicarse a una distancia mayor o igual a diez metros de la línea de goteo de un grupo de árboles y mayor o igual a veinte metros cuando un grupo de árboles actúen como obstrucción de la libre circulación del flujo de aire.

- Para la entrada de la toma de muestra o el cabezal del instrumento debe existir un ángulo mínimo de 120° por encima de la entrada de muestreo.

- La toma de muestra debe instalarse a una distancia horizontal mayor o igual a un metro respecto a otra toma de muestra de gases y de cabezales de muestreadores de bajo volumen a alturas similares y una distancia horizontal mayor o igual a dos metros respecto a cabezales de instrumentos de alto volumen.

#### b) Sistema de adquisición y transmisión de datos de la estación

- No debe estar expuesto a las vibraciones que transmiten los instrumentos.

- Debe tener una capacidad para almacenar al menos un (1) mes de información.

- Debe tener la capacidad para almacenar los datos crudos de todos los instrumentos de medición de la estación, de acuerdo con el tiempo de respuesta de cada instrumento y en la resolución mínima de cada instrumento.

- La hora en los instrumentos de medición y en el sistema de adquisición de datos debe ser la hora oficial de Chile (GMT-4) con un desfase máximo de  $\pm 2$  minutos.

- Para transmisión de los datos de calidad de aire se debe contar con servicios de comunicación adecuados y confiables, ya sea telefonía fija o celular, radiofrecuencia, telefonía satelital, óptica, entre otros.

- Se deben identificar de manera visible todos los cables de señales de datos.

- Se debe realizar y dejar registro de la prueba inicial de señales de adquisición y transmisión de las mediciones de los instrumentos de medición.

- Verificación de transmisión de señales analógicas y digitales (ver descripción y frecuencia en el punto 3.2.7).



c) Para Instrumentos de medición y muestreadores:

- Se deben instalar instrumentos de medición y muestreadores incluidos en la lista de Métodos denominados de Referencia y Equivalentes publicada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica o que cuenten con aprobación de alguna de las agencias de los países miembros de la Comunidad Europea que implementan las directrices del Comité Europeo para Estandarizaciones o equivalente.
- La instalación del instrumento se debe realizar de acuerdo con lo especificado en el manual del fabricante.
- Se debe configurar los instrumentos de medición y muestreadores de acuerdo con la secuencia e instrucciones especificadas en el manual de operación del fabricante.
- Se debe proteger a los instrumentos de medición de las vibraciones de bombas u otros instrumentos que funcionan al interior de la estación.
- Los instrumentos de medición y muestreadores deben funcionar con sus parámetros operacionales de acuerdo con lo especificado en su certificado de aprobación o de acuerdo con lo establecido en el manual del fabricante.
- Los muestreadores de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> instalados en el techo de la estación o en estructuras anexas a la estación, deben estar conectados a un circuito eléctrico específico para ellos.
- No se deben dejar conexiones eléctricas o extensiones descubiertas en los techos o estructuras anexas, para ello se deben utilizar cajas de conexiones.
- Los muestreadores y cabezales deben estar debidamente sujetos a sus estructuras de soporte.
- Los muestreadores de polvo sedimentable (MPS), se deben instalar con la entrada del muestreador a una altura entre 1,5 metros y 4 metros medidos desde el suelo.
- El contenedor de los muestreadores de polvo sedimentable (MPS), debe estar hecho de acero inoxidable, plástico o vidrio resistente a las condiciones de intemperie y que no sean reactivos con la muestra. El tipo de contenedor de la muestra estará directamente relacionado con las condiciones del lugar de instalación (ver punto 3.7).

d) Instrumentos de medición de parámetros meteorológicos

En caso de instalación de los instrumentos de medición de parámetros meteorológicos se deben utilizar instrumentos que cumplan al menos las especificaciones de la Tabla I.

**Tabla I. Instrumentos de medición de variables meteorológicas**

Parámetro Medido	Método	Intervalo de Operación	Resolución
Temperatura Ambiente	Termistor	-30 a 50 °C	0.1 °C
Humedad Relativa	Psicrómetro o higrómetro	0 – 100 %	0.5 %
Velocidad de viento	Copela, propela o anemómetro sónico	0<0.5 – 50.0 m/s	0.1 m/s
Dirección de viento	Veleta o anemómetro sónico	0 – 360 (540) °	1.0 °
Radiación solar	Piranómetro	0 – 1100 W/m <sup>2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>
Precipitación	Cubeta de balancín o medidor de pesada	0 – 25 mm/hr	0.2 mm
Presión atmosférica	Barómetro aneróide o instrumento digital de capacitancia variable	450 – 825 mmhg	0.4 mmHg
Radiación Ultravioleta	Radiómetro UV A Y B	0-12 W/m <sup>2</sup>	0.01 W/m <sup>2</sup>

(Fuente: EPA, 2008)

- Los instrumentos meteorológicos deben tener sus certificados de fábrica y mantenimientos al día y disponibles en la estación.
- Se debe asegurar el suministro de energía eléctrica y conexión a sistema de almacenamiento de datos de todos los instrumentos meteorológicos.
- Los cables de señal deben respetar el largo establecido en los manuales de los instrumentos.
- Soportes y accesorios auxiliares para instalar los instrumentos meteorológicos deben ser fijados al mástil, torre o incluso a las barandas de la estación de acuerdo con las especificaciones de los manuales del fabricante de los instrumentos.
- En el caso de medidores de radiación solar su soporte (o brazo) debe estar horizontal y orientado hacia el norte evitando recibir sombra la superficie del instrumento, especialmente de tirantes, mástil, postes o árboles cercanos.

- En el caso de medición de temperatura y/o humedad relativa se deben instalar los instrumentos al interior de pantallas protectoras, ya sea con tiro natural o con tiro forzado (usan motor de aspiración).
- La instalación de los instrumentos meteorológicos debe cumplir las distancias mínimas a obstáculos y respecto al suelo indicadas en la Tabla 2.

**Tabla 2. Distancias respecto a obstáculos y al suelo de ubicación de los instrumentos meteorológicos**

Instrumento	Distancia horizontal mínima a un obstáculo	Altura respecto a suelo o superficie <sup>1</sup>
Anemómetro y/o veleta	10 veces la altura del obstáculo	10 m
Termistor y/o Higrómetro	1,5 veces el diámetro de torre o mástil.	1,25 a 2 m
Presión atmosférica	1 m	1 a 10 m
Piranómetro	2 m	2 a 10 m
Pluviómetro	2 a 4 veces la altura del obstáculo	Mayor a 0,3 m

<sup>1</sup> Superficie de techos de caseta, excepto en medición de velocidad y dirección de viento  
(Fuente: EPA, 2008)

- Se deben realizar y almacenar registros de las verificaciones de control inicial de instalación y las verificaciones de funcionamiento especificados en los manuales de los instrumentos.
- Se debe realizar y registrar la prueba inicial de señales de los instrumentos meteorológicos.

### 3. Requisitos técnicos para funcionamiento y operación de instrumentos de muestreo, medición y meteorología en estaciones de calidad del aire

#### 3.1 Verificaciones generales de la estación

Las verificaciones corresponden a actividades que se deben realizar en la estación de manera rutinaria sin intervenir los instrumentos de medición o muestreadores (así como sus accesorios) e instrumentos meteorológicos, con el fin de detectar posibles fallas y registrar cambios en el exterior o interior de la estación que difieran de las condiciones iniciales de su instalación. Los resultados de dichas verificaciones deberán quedar registrados de acuerdo con los documentos establecidos en el punto 6.

##### 3.1.1 Verificación y registro de parámetros operacionales de la estación

Las estaciones de calidad del aire deben ser visitadas al menos una vez a la semana. En cada visita se deben revisar los puntos 2.1.1 y 2.1.2 del presente documento. En caso de observarse desviaciones respecto de los requisitos establecidos por esta Superintendencia, se deberán tomar las acciones inmediatas correspondientes en cada caso para asegurar su cumplimiento.

a. Respecto de la temperatura interna de la estación, solo en el caso de uso de caseta, se deberá mantener una temperatura entre 20 °C y 30 °C. (EPA 2017, II p. 71).

b. La temperatura interna de la estación indicada en el punto anterior se deberá verificar hora a hora (EPA 2017, II p. 71). Para verificar las variaciones de temperatura se debe utilizar el promedio horario. En el caso que no se cumpla el intervalo de temperatura especificado se deberá evaluar si estas afectan las mediciones de los instrumentos (ver punto 5.2 proceso de validación).

Los requisitos antes mencionados, no aplicarán para la hora de ingreso a la estación, puesto que en dicho momento se podrían generar cambios abruptos en la temperatura.

La revisión de los parámetros antes mencionados junto con las fechas, horas y duración de las visitas a la estación deben estar asociadas a un registro de parámetros operacionales de la estación.

3.1.2 Verificación y registro de parámetros de operacionales de instrumentos de calidad de aire

Las magnitudes de los parámetros operacionales de los instrumentos de medición deberán obtenerse directamente de estos y de los subsistemas que correspondan, al menos una vez a la semana si estos parámetros se encuentran en línea y al menos cada 3 días cuando los parámetros operacionales no se encuentren en línea.

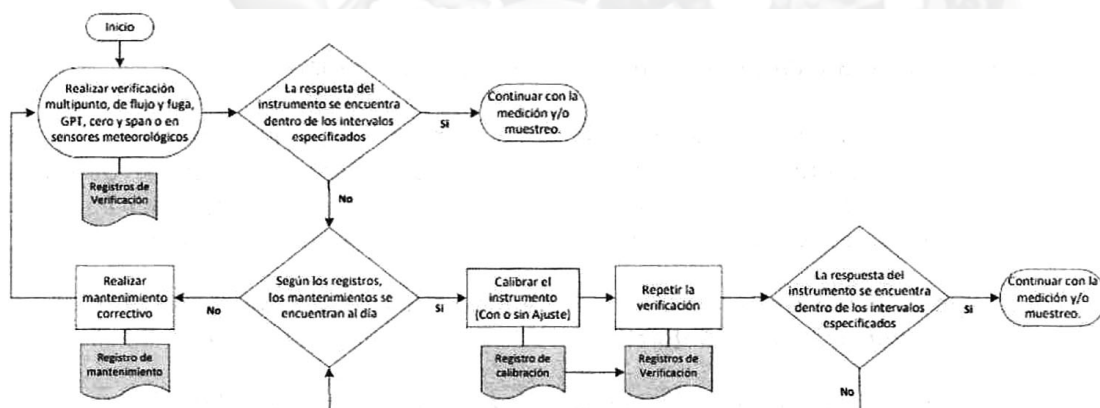
En cada visita que se realice a la estación de calidad del aire, se deberán verificar los parámetros operacionales establecidos por el fabricante en los manuales de uso y operación respectivo a cada uno de los instrumentos de medición, de manera que los valores de cada parámetro se encuentren dentro de los intervalos de funcionamiento óptimo indicados en dichos manuales. En el caso de que los valores no se encuentren dentro de los intervalos recomendados, se deberán tomar las acciones correspondientes de acuerdo con lo indicado en dicho manual. Además, se deberá realizar verificación entre el dato del instrumento de medición y el sistema de almacenamiento en cada visita.

La verificación de los parámetros antes mencionados, junto a los intervalos de funcionamiento recomendados por el fabricante, deberá estar asociada a un registro de parámetros operacionales para cada instrumento de medición de acuerdo con los documentos establecidos en el punto 6.

3.2 Verificaciones a los instrumentos

La verificación de instrumentos de medición se deberá realizar con patrones de trabajo, con sus calibraciones vigentes de acuerdo con lo indicado en el punto 3.3 y según el procedimiento indicado en el Diagrama 1. Se debe considerar que antes de realizar una verificación de flujo, cero/span o multipunto se deben verificar las fugas del instrumento de acuerdo con el manual del fabricante.

Diagrama 1. Diagrama general de verificaciones, mantenimientos y calibraciones



(Fuente: EPA 2017, II p. 13)

3.2.1 Verificación de cero y span

Con el objeto de asegurar el buen funcionamiento de los instrumentos utilizados en la estación de calidad del aire, se deberán realizar verificaciones de cero y span en los instrumentos de medición una vez a la semana, asignando preferentemente el mismo día de la semana para realizar la verificación. Respecto de los gases utilizados en la verificación deberán ser gases certificados que cumplan con el protocolo EPA/600/R-12/53.

La verificación de cero implica exponer el instrumento a un suministro de aire cero desde un generador de aire cero o desde un cilindro de aire cero. Por otra parte, la concentración span puede generarse utilizando un dispositivo de permeación, o mediante dilución con aire cero desde un cilindro de alta concentración.

Para realizar una verificación de cero y span se deben cumplir las siguientes condiciones:

- a) Para verificar el instrumento se deberá esperar entre 24 a 48 horas posterior a su instalación en la estación.



- b) El intervalo utilizado en la verificación debe coincidir con el intervalo de trabajo.
- c) Se debe realizar una verificación de los parámetros operacionales del instrumento, previo a la verificación de cero y span.
- d) Se debe verificar un solo instrumento a la vez y mantener una temperatura entre 20 y 30 °C.

El error máximo permitido para la verificación de cero y span corresponderá al indicado por el fabricante en los manuales de uso de los instrumentos o según lo indicado en la Tabla 3; debiendo utilizar el criterio más estricto para el error máximo permitido.

**Tabla 3. Criterios de aceptación para cero y span**

Contaminante	Error máximo permitido Cero	Error máximo permitido Span	Tiempo de Respuesta	Tiempo de Estabilización
O <sub>3</sub>	±5 ppb	±7%	De acuerdo con lo establecido en el manual del Fabricante	10- 15 min
NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub>	±5 ppb	±10%		10- 15 min
SO <sub>2</sub>	±5 ppb	±10%		10- 15 min
CO	±0.5 ppm	±10%		10- 15 min

(Fuente: EPA, Apéndice D 2017)

Si se observa que el instrumento se encuentra fuera de los intervalos del error máximo permitido definidos en el manual o en la Tabla 3, se deberá identificar la causa de esta desviación y aplicar el procedimiento descrito en el Diagrama 1.

Nota: Una verificación cero y span no implica ajustes en el instrumento.

La verificación de cero y span, debe tener asociado un registro de verificación de cero y span para cada instrumento de medición de la estación, de acuerdo con los documentos establecidos en el punto 6.

### 3.2.2 Verificación de flujo, fugas y presiones

Para asegurar un buen funcionamiento de los instrumentos de medición, muestreadores y sistemas de calibración, se debe realizar verificaciones de flujo y presiones, de acuerdo con lo especificado en los manuales del fabricante; de no estar señalado se deberá realizar en las siguientes situaciones:

- a) En la instalación del instrumento de medición o el muestreador.
- b) Cada vez que se realice un mantenimiento preventivo que implique reparaciones y reemplazo de piezas.
- c) En caso de reemplazo de instrumentos de medición o del muestreador.
- d) En el caso de no estar especificado en el manual, se deberá realizar una verificación semestralmente (considerando un año calendario).

Las verificaciones descritas anteriormente, se deberán realizar con un patrón que tenga su calibración vigente, dicha calibración debe ser realizada 1 vez al año.

El error máximo permitido entre el patrón de flujo y el flujo del instrumento corresponderá a lo indicado por el fabricante en los manuales de uso de los instrumentos o según los criterios indicados en la Tabla 4; debiendo utilizar el criterio más estricto para el error máximo permitido.

**Tabla 4. Criterios de aceptación de flujos y fugas**

Error máximo permitido	Criterio de Aceptación	Verificación de Fugas	Acción
≤±4%	Aceptable	De acuerdo con los valores establecidos en el manual del instrumento	-----
±4% > X ≤±5%	Regular		- Revisar fugas y/o recalibrar instrumento.
>±5%	Critico		- Revisar fugas y/o recalibrar instrumento. - Invalidar los datos generados en el periodo.

(Fuente: elaboración propia)

Si se observa que el instrumento se encuentra fuera del error máximo permitido definido en el manual o se encuentra en el criterio regular o crítico de la Tabla 4, se deberá identificar la causa de esta desviación y aplicar el procedimiento descrito en el Diagrama 1.

Nota: Una verificación de flujo no implica ajustes en el instrumento.

La verificación de flujo debe tener asociado un registro de verificación de flujo para cada instrumento de medición y muestreador de la estación, de acuerdo con los documentos establecidos en el punto 6.

### 3.2.3 Verificación multipunto

Para asegurar que los instrumentos de medición presenten linealidad en su funcionamiento, se deben realizar verificaciones multipunto trimestralmente, utilizando gases certificados que cumplan con el protocolo EPA/600/R-12/53. Asimismo, se deberán realizar verificaciones multipunto en las siguientes situaciones:

- a) Cada vez que se realice un mantenimiento preventivo que implique reparaciones y reemplazo de piezas.
- b) Posterior a la instalación o reemplazo de instrumentos de medición o muestreo y de acuerdo con lo indicado por el Diagrama 1. El instrumento de medición o muestreo de reemplazo deberá tener sus calibraciones vigentes al momento de la instalación en la estación.

La verificación deberá considerar al menos, los puntos cero, span, 60%, 40% y 20%, del intervalo de trabajo del instrumento, de manera que permitan verificar la respuesta lineal del instrumento de medición del gas.

Para realizar una verificación de multipunto se deben cumplir las siguientes condiciones:

- a) Para verificar el instrumento se deberá esperar entre 24 a 48 horas posterior a su instalación en la estación.
- b) El intervalo utilizado en la verificación debe coincidir con el intervalo de trabajo.
- c) Se debe realizar una verificación de los parámetros operacionales del instrumento, previo a la verificación multipunto.
- d) Se debe realizar la verificación multipunto a una temperatura entre 20 y 30 °C.

Se debe evaluar la linealidad del instrumento de medición de gases mediante una regresión lineal, como se indica en la ecuación:

$$y=mx+b$$

Donde  $y$  representa la respuesta del instrumento de medición,  $x$  representa la concentración del contaminante,  $m$  pendiente y  $b$  intercepción del eje  $y$ .

El error máximo para la verificación multipunto corresponderá a la indicada por el fabricante en los manuales de uso y operación de los instrumentos o según lo indicado en Tabla 5; debiendo utilizar el criterio más estricto. Además, si se observa que el instrumento se encuentra fuera de los intervalos de definidos en el manual o en la Tabla 5, se deberá identificar la causa de esta desviación aplicando la secuencia descrita en el Diagrama 1.

**Tabla 5. Criterios de regresión lineal para la verificación multipunto**

Resultado	m	b	r <sup>2</sup>
Aceptable	0.95 a 1.05	≤ 3% (del intervalo)	0.995 a 1.000

(Fuente: EPA 1998, II p. 291)

Donde  $m$  es la pendiente,  $b$  es el intercepto y  $r^2$  describe la linealidad de la curva.

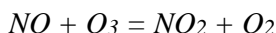
Nota: al realizar una verificación multipunto, no se debe ajustar el instrumento.

La verificación multipunto, debe tener asociado un registro de verificación multipunto para cada instrumento de medición y muestreo de la estación, de acuerdo con los documentos establecidos en el punto 6.

### 3.2.4 Verificación multipunto GPT

La verificación GPT (Titulación en Fase Gaseosa) en el canal de  $NO_2$  se debe realizar para verificar la eficiencia del convertidor de  $NO_2$  en  $NO$ . El principio del método de GPT es la generación de  $NO_2$  a partir del  $NO$  del cilindro y el  $O_3$  generado por el dilutor a diferentes

concentraciones del intervalo de trabajo del instrumento, de acuerdo con la siguiente relación estequiométrica:



Para el cálculo de GPT, se deberán utilizar las siguientes ecuaciones:

a) Cálculo del  $NO_2$ :

$$[NO_2]_A = [NO]_{entrada} - [NO]_{resultante}$$

Donde  $[NO_2]_A$  es la concentración de  $NO_2$  generada por GPT,  $[NO]_{entrada}$  es la concentración de  $NO$  de entrada y  $[NO]_{resultante}$  es la concentración de  $NO$  resultante después de GPT.

b) Cálculo de eficiencia del convertidor:

Se calcula el  $NO_2$  convertido de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$[NO_2]_{conv} = [NO_2]_A - [NO_x]_{entrada} - [NO_x]_{resultante}$$

El valor calculado se debe utilizar para determinar la eficiencia del convertidor del instrumento, mediante la siguiente ecuación:

$$\%ef_{conv} = \frac{[NO]_{conv}}{[NO_2]_A}$$

El porcentaje de eficiencia obtenido mediante los cálculos deberá ser comparado con los porcentajes establecidos en el manual de cada instrumento y verificar si cumple. En caso contrario, se deberán seguir las instrucciones del manual del instrumento y los pasos descritos en el Diagrama I.

La verificación multipunto GPT descrita anteriormente, se deberá realizar trimestralmente de acuerdo con las instrucciones especificadas en cada manual y deberá considerar al menos 5 puntos. La verificación multipunto GPT deberá coincidir con la verificación multipunto, es decir, en el mismo día se deben efectuar ambas verificaciones.

Dicha verificación deberá ser registrada de acuerdo con los documentos establecidos en el punto 6.

### 3.2.5 Verificación de los parámetros meteorológicos asociados a los instrumentos de medición

La verificación de los parámetros meteorológicos asociados a los instrumentos de medición, tales como presión, temperatura y humedad relativa, deberán ser verificados de acuerdo con la periodicidad establecida en el manual del fabricante y cumplir con error máximo permitido en dicho manual o el indicado en Tabla 6, si no se encuentra especificado.

**Tabla 6. Criterios de verificación de instrumentos meteorológicos asociados al instrumento de medición de partículas**

Parámetro	Error Máximo Permitido	Tipo de Verificación	Periodicidad
Temperatura	±2 °C	Verificación en un punto (promedio de 10 lecturas)	Mensual; en caso de instalación; y, en caso de reparación o cambio de partes en el instrumento
Presión	±10 mmHg	Verificación en un punto (promedio de 10 lecturas)	Mensual; en caso de instalación; y, en caso de reparación o cambio de partes en el instrumento
Humedad Relativa	±10 %	Verificación en un punto (promedio de 10 lecturas)	Mensual; en caso de instalación; y, en caso de reparación o cambio de partes en el instrumento

(Fuente: elaboración propia)



### 3.2.6 Verificación de instrumentos meteorológicos (no asociados a un instrumento de medición de partículas)

La verificación de los instrumentos de medición de parámetros meteorológicos se deberá realizar con una frecuencia semestral (año calendario), de acuerdo con las instrucciones y los criterios de aceptación definidos en dichos manuales o según lo establecido en la Tabla 7; debiendo utilizar el criterio más estricto para el error máximo permitido. La calibración de los patrones de trabajo se debe realizar una vez al año.

**Tabla 7. Criterios de Verificación de Parámetros Meteorológicos**

Parámetro Medido	Error máximo permitido	Frecuencia
Velocidad del Viento	$\pm 0,2$ m/s	Semestral
Dirección del viento	$\pm 5$ grados	Semestral
Humedad relativa	$\pm 7$ %	Semestral
Temperatura	$\pm 0,5$ °C	Semestral
Radiación solar	$\pm 5$ %	Semestral
Presión	$\pm 2,25$ mmHg	Semestral
Precipitación	10% entrada de volumen	Semestral

(Fuente: EPA 2008, IV)

Los resultados obtenidos en las verificaciones de los parámetros meteorológicos deberán quedar registrados de acuerdo con los documentos establecidos en el punto 6.

A continuación, se describen los criterios mínimos para realizar una verificación de instrumentos de medición de parámetros meteorológicos.

#### a) Temperatura

Para realizar una verificación de la temperatura, se deberá comparar la respuesta del instrumento contra la respuesta de un patrón de trabajo calibrado (con trazabilidad a patrones nacionales o internacionales). La verificación se debe realizar en tres o más niveles de temperatura, que se encuentren dentro del intervalo de medición del instrumento, para lo cual se recomienda realizarlo en valores cercanos a 0 °C, 20 °C y 40 °C.

El error máximo permitido para la verificación corresponderá al indicado por el fabricante en los manuales de uso o según lo indicado en Tabla 7; debiendo utilizar el criterio más estricto para el error máximo permitido.

#### b) Humedad relativa

Para realizar la verificación de la humedad relativa se deberá comparar la medición del instrumento contra un valor de referencia, ya sea mediante el uso de una cámara de generación de humedad y/o mediante el uso de soluciones salinas que deberán tener su certificación vigente y la fecha estampada en el certificado.

La verificación con soluciones salinas se debe realizar en tres o más niveles de humedad, que se encuentren dentro del intervalo de medición del instrumento. Esta verificación debe ser realizada con temperatura ambiente estable.

El error máximo permitido para la verificación corresponderá al indicado por el fabricante en los manuales de uso o según lo indicado en Tabla 7; debiendo utilizar el criterio más estricto para el error máximo permitido.

#### c) Presión

Para realizar la verificación de la presión, se deberá comparar la respuesta del instrumento contra el valor de un patrón de trabajo calibrado, con trazabilidad a patrones nacionales o internacionales.

El error máximo permitido para la verificación corresponderá al indicado por el fabricante en los manuales de uso o según lo indicado en Tabla 7; debiendo utilizar el criterio más estricto para el error máximo permitido.

d) Dirección del viento

Para realizar la verificación de la dirección de viento, se deberá verificar la linealidad y el umbral de torque o la fuerza mínima detectable para moverlo, además de su orientación mediante una brújula o un sistema de posicionamiento global.

El error máximo permitido para la verificación corresponderá al indicado por el fabricante en los manuales de uso o según lo indicado en Tabla 7; debiendo utilizar el criterio más estricto para el error máximo permitido.

e) Velocidad del viento

Para realizar una verificación de la velocidad del viento, se deberá verificar la linealidad mediante un generador de revoluciones y el umbral de torque o la fuerza mínima detectable para moverlo, mediante discos de torque.

El error máximo permitido para la verificación corresponderá al indicado por el fabricante en los manuales de uso o según lo indicado en Tabla 7; debiendo utilizar el criterio más estricto para el error máximo permitido.

f) Precipitación

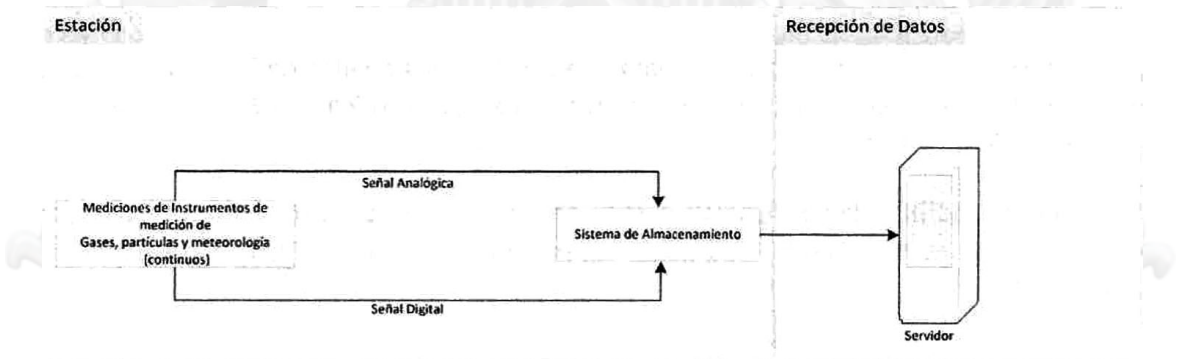
Para realizar una verificación en instrumentos de medición de precipitación, se debe realizar mediciones volumétricas del cilindro de medición considerando, la introducción de volúmenes conocidos de agua siguiendo las indicaciones del fabricante.

El error máximo permitido para la verificación corresponderá al indicado por el fabricante en los manuales de uso o según lo indicado en Tabla 7; debiendo utilizar el criterio más estricto para el error máximo permitido.

3.2.7 Verificación de transmisión de señales analógicas y digitales

La transmisión de los datos medidos por los instrumentos de medición en la estación de calidad del aire, se podrán transmitir de dos maneras al sistema de almacenamiento, una forma es a través de la salida analógica y la otra es desde la salida digital del instrumento de medición (Diagrama 2).

**Diagrama 2. Esquema de transmisión de datos analógicos y/o digitales**



(Fuente: elaboración propia)

Si la transmisión de datos se realiza a través de la salida analógica del instrumento, se deberá asegurar que los voltios generados correspondan al intervalo de trabajo del instrumento, para verificar esto se deberá realizar una curva de verificación que compruebe la linealidad entre las mediciones del instrumento y los valores correspondientes en voltios. Los sistemas de almacenamiento generalmente trabajan en los intervalos de; 0 a 1 Volt, 0 a 5 Volt o de 0 a 10 Volt; dichos intervalos deberán ajustarse al intervalo de trabajo de cada instrumento, para verificar la linealidad se deberán utilizar al menos 2 puntos (valor máximo y valor mínimo). El patrón de trabajo utilizado para verificar las señales de voltaje deberá contar con las calibraciones vigentes, con una frecuencia de 1 vez al año. Además, se deberá verificar la linealidad entre el instrumento y el sistema de almacenamiento, mediante una regresión lineal con las mediciones de al menos 3 días (considerando una verificación de cero y span dentro del período).

Si la transmisión de los datos se realiza a través de la salida digital del instrumento, se deberá asegurar que las mediciones del instrumento y los datos del sistema de almacenamiento presenten un comportamiento lineal. La linealidad entre el instrumento y el sistema de almacenamiento se deberá verificar mediante una regresión lineal con las mediciones de al menos 3 días (considerando una verificación de cero y span dentro del período).

El resultado de la regresión lineal deberá tener un coeficiente de correlación entre 0,995 y 1,000.

Las verificaciones de mediciones del instrumento y los valores correspondientes en voltios, las señales de transmisión analógica y/o digital se deben realizar de acuerdo con lo especificado en los manuales del fabricante, y en las siguientes situaciones:

- a) En la instalación del instrumento de medición.
- b) Cada vez que se realice un mantenimiento que implique reparaciones y reemplazo de piezas.
- c) En caso de reemplazo del instrumento de medición.
- d) En el caso de no estar especificado en el manual, se deberá realizar una verificación de señales de transmisión semestralmente (considerando un año calendario).

Los resultados obtenidos en las verificaciones de transmisión entre el instrumento de medición y el sistema de almacenamiento deberán quedar registrados de acuerdo con los documentos establecidos en el punto 6.

### 3.3 Requisitos de patrones y material de referencia

Los patrones de trabajo deberán mantener sus calibraciones vigentes, de acuerdo con un programa de calibraciones establecido por el operador responsable de la estación. Si la vigencia de calibración no se encuentra especificada en el certificado de calibración del patrón de trabajo, esta no deberá exceder un año desde la última calibración.

Respecto del material de referencia certificado, este deberá encontrarse vigente y contar con un certificado en el cual uno o más valores de sus propiedades están certificados por un procedimiento que establece su trazabilidad metrológica y la incertidumbre asociada.

### 3.4 Calibraciones

#### 3.4.1 Calibración de instrumentos de calidad del aire

Las calibraciones de los instrumentos de medición de gases deben ser realizadas por un laboratorio de ensayo y calibración acreditado, el que deberá contar con el reconocimiento formal de la competencia técnica para llevar a cabo ensayos y calibraciones, y emitir resultados fiables. La calibración podrá ser realizada en el laboratorio o in situ en la estación, y deberá cumplir con sus políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones tanto como sea necesario para asegurar la calidad de los resultados de las calibraciones.

El laboratorio que realice la calibración debe tener procedimientos para el transporte, recepción, manipulación, protección, almacenamiento, conservación o disposición final de los ítems de calibración, incluidas todas las disposiciones necesarias para proteger la integridad del ítem de calibración, así como los intereses del laboratorio y del cliente.

En un plazo de tres años desde la fecha en entrada en vigencia de la presente instrucción, las calibraciones deberán ser realizadas por un laboratorio acreditado según la norma ISO 17.025 vigente. El intervalo de calibración del instrumento de medición será aquel que permita asegurar que todo el espectro del contaminante pueda ser medido y pueda mantener una calidad asegurada de cada valor registrado. Para establecer el intervalo de trabajo del instrumento de medición se deberán considerar las concentraciones históricas registradas en la zona de interés. En el caso de zonas con concentraciones altas se deberá utilizar el intervalo de medición doble ("rango doble") y realizar la calibración en ambos intervalos, esto aplica también para las verificaciones de cero y span y multipunto.

Estas calibraciones deberán ser realizadas al menos en las siguientes ocasiones:

- a) En la instalación del instrumento de medición o muestreo.
- b) En caso de reemplazo o reubicación de instrumentos de medición o muestreo.
- c) Según el procedimiento indicado en el Diagrama 1.



En el caso de instrumentos de medición de partículas, se deben realizar las calibraciones de acuerdo con lo indicado en el manual del fabricante en cuanto a frecuencia y metodología.

En caso de traslado del instrumento de medición para su calibración en un laboratorio acreditado, se deberá reemplazar por un instrumento de medición con su calibración vigente, y posterior a la instalación de este se deberán aplicar las verificaciones correspondientes. Cada vez que se instale o reemplace un instrumento de medición con su calibración vigente se deben aplicar las verificaciones correspondientes.

El tiempo transcurrido sin mediciones en la estación de calidad del aire y meteorología no deberá superar las 48 horas.

### 3.4.2 Calibración de instrumentos de meteorología

Los instrumentos de medición de variables meteorológicas deberán ser calibrados con patrones de referencia trazables según corresponda y aplique, en el caso de no contar con un patrón de referencia, se deberá calibrar el instrumento como lo indica el fabricante. La calibración de los instrumentos meteorológicos se debe realizar con una frecuencia anual (año calendario) y se deben realizar de preferencia en el mismo mes cada año.

## 3.5 Mantenimientos

### 3.5.1 Mantenimientos preventivos

El mantenimiento preventivo se debe realizar a los instrumentos de medición y muestreo, de acuerdo con los requisitos, procedimientos y frecuencia recomendada por el fabricante en los manuales de uso y operación de cada uno de los instrumentos. Para determinar la frecuencia de los mantenimientos, se debe tener en consideración la condición de la zona en la que se encuentra ubicada la estación, esto significa que a mayor contaminación se deben realizar mantenimientos con una frecuencia mayor a la descrita en el manual del fabricante.

En caso de reparaciones o cambio de piezas en los instrumentos, se deberán realizar las verificaciones correspondientes descritas en el punto 3.2, de acuerdo con el procedimiento detallado en el Diagrama 1.

En el caso de falla del instrumento de medición o muestreo, sin la posibilidad de reparación del mismo in situ, se deberá reemplazar por un instrumento de medición o muestreador con su calibración vigente, y posterior a su instalación se deberán aplicar las verificaciones correspondientes.

El tiempo transcurrido sin mediciones en la estación de calidad del aire y meteorología no deberá superar las 48 horas.

La estación debe contar con un programa de mantenimiento preventivo anual (año calendario) para cada instrumento de medición y muestreo; así como con un registro de los mantenimientos de cada instrumento de acuerdo con los documentos establecidos en el punto 6.

### 3.5.2 Mantenimientos correctivos

En caso de que los instrumentos de medición presenten un funcionamiento anormal y/o alarmas asociadas al mal funcionamiento de alguno de sus componentes, se deberá realizar un mantenimiento correctivo, posterior a la identificación de la causa de la falla y acorde a las indicaciones en los manuales de uso de cada uno de los instrumentos.

En caso de reparaciones o cambio de piezas en los instrumentos, se deberán realizar las calibraciones correspondientes descritas en el punto 3.4 y seguir el procedimiento detallado en el Diagrama 1.

En el caso de falla del instrumento de medición o muestreo, sin la posibilidad de reparación del mismo in situ, se deberá reemplazar por un instrumento de medición o muestreador con su calibración vigente, y posterior a su instalación se deberán aplicar las verificaciones correspondientes.

El tiempo transcurrido sin mediciones en la estación de calidad del aire y meteorología no deberá superar las 48 horas.

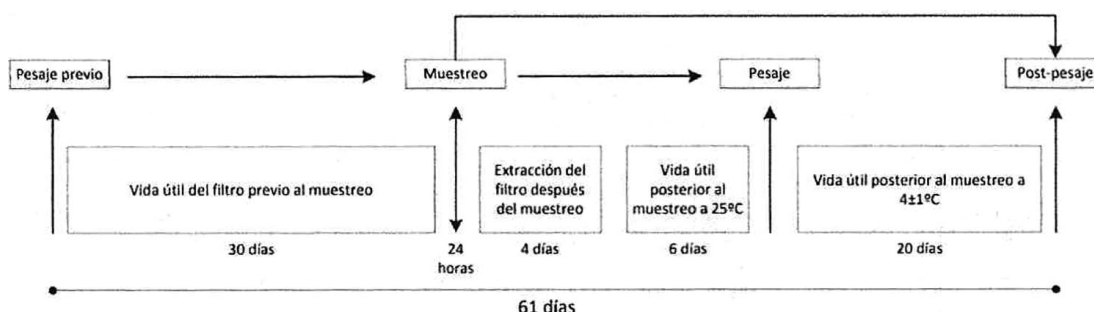
La estación deberá contar con un registro de los mantenimientos correctivos para cada instrumento de acuerdo con los documentos establecidos en el punto 6.

### 3.6 Muestreo con filtros en instrumentos de alto y bajo volumen

#### 3.6.1 Manejo de Filtros

El manejo de los filtros para el muestreo en terreno debe cumplir con los tiempos máximos especificados en el Diagrama 3; en el que se contempla un tiempo de vida útil de 30 días para el filtro pesado previo al muestreo. Posteriormente, un muestreo de 24 horas continuas de medición (mínimo 75% de las horas medidas), y un tiempo de trasladado del filtro al laboratorio de 96 horas (post muestreo). El pesaje del filtro se debe realizar dentro de 10 días posterior al muestreo manteniéndolo a una temperatura de 25 °C ± 1 °C. Además, se puede realizar una segunda medición de masa del filtro dentro de los 20 días posteriores al primer pesaje, manteniendo el filtro a una temperatura de 4 °C ± 1 °C, solo si se requiere verificar la masa del algún filtro.

**Diagrama 3. Flujo de filtros previo al muestreo y post muestreo**



(Fuente: EPA, 1998.)

Además, los filtros deben cumplir con criterios básicos, independientemente del tipo y uso de filtro descrito en la Tabla 8, los criterios básicos a considerar corresponden a:

- a) Inspección visual: agujeros, roturas, arrugas u otros defectos que puedan afectar la recolección y eficiencia del filtro, que puede ser constante a través de un lote. Esta inspección visual también se debe hacer antes de la instalación del filtro y durante el pre y post-pesaje en el laboratorio para asegurar que la integridad del filtro se mantiene durante todo el proceso, para dicha verificación se deberá llevar un registro de laboratorio.
- b) Eficiencia de recolección: debe tener más del 99% según lo medido por la prueba DOP (ASTM 2986) con Partículas de 0,3 micrómetros a la velocidad de operación del muestreador.
- c) Integridad (contaminante específico) medido como la concentración equivalente correspondiente a la diferencia entre los pesos inicial y final del filtro cuando se pesa y manipula bajo condiciones de muestreo simuladas (equilibrio, pesaje inicial, colocación en un muestreador, extracción de un muestreador, reequilibrio y pesaje final).
- d) Alcalinidad: menos de 25 microequivalentes / gramo de filtro después de al menos dos meses de almacenamiento a temperatura ambiente y humedad relativa.

#### 3.6.2 Tipos de Filtros utilizados para gravimetría y análisis químico

A continuación, se describen los tipos filtros utilizados para muestreo de material particulado, sus características y técnicas de análisis compatibles.

**Tabla 8. Tipos de filtros para gravimetría y análisis químico**

Tipo de filtro	Tamaño del filtro	Características	Técnica de análisis compatible
Membrana de teflón anillada	- 25 mm - 37 mm - 47 mm	- Alta eficiencia en la colección de datos - Temperatura hasta 60°C - Alta resistencia al flujo - Inapropiado para análisis de carbono - Inerte a la adsorción de gases - Baja higroscopicidad	Gravimetría, OA, XRF, PIXE, INAA, AAS, ICP/OES, ICP/MS, IC, AC
Membrana de teflón con respaldo	- 47 mm	- Alta eficiencia de colección de partículas - Temperatura hasta 60°C - Alta resistencia al flujo - Inerte a la adsorción de gases - Baja higroscopicidad	Gravimetría FRX, PIXE, INAA, AAS, ICP/AES, ICP/MS, IC, AC

Fibra de vidrio cubierta de teflón	- 37 mm - 47 mm	- Alta eficiencia de colección de partículas - Baja resistencia al flujo - Inerte a la adsorción de HNO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> - Baja higroscopicidad - Temperatura hasta 60°C para el teflón y 500°C para el vidrio	Gravimetría, IC, AC
Membrana de nylon	- 25 mm - 37 mm - 47 mm	- Temperatura hasta 60° C - Alta resistencia al flujo - Baja higroscopía - Alta eficiencia colección HNO <sub>3</sub> - Adsorción pasiva de bajos niveles de NO, NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub>	IC, AC
Membrana de plata	- 25 mm - 37 mm	- Temperatura hasta 350° C - Alta resistencia al flujo - Adsorción pasiva de vapores orgánicos - Baja higroscopicidad	Gravimetría, DRX
Membrana de éster de celulosa	- 37 mm - 47 mm	- Temperatura hasta 70°C - Alta resistencia al flujo - Adsorción pasiva de los vapores orgánicos. - Baja higroscopicidad	Gravimetría, DRX, SEM, TEM, OM
Fibra de celulosa	- 25 mm - 37 mm - 47 mm	- Baja eficiencia en la colección de partículas (<70%) - Temperatura hasta 150°C - Resistencia al flujo variable - Adsorción de gases, principalmente vapor de agua - Adsorción de gases de HNO <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> y NO <sub>2</sub> , cuando se impregna con reactivos químicos	Gravimetría, RXF, ICP/AES, ICP/MS, PIXE, INAA, AAs, IC, AC
Membrana de cloruro de polivinilo	- 47 mm	- Alta resistencia al flujo - Temperatura hasta 50°C - Alta higroscopicidad	DRX
Membrana de policarbonato	- 47 mm	- Utilizada para clasificación de partículas según tamaño - Baja eficiencia en la colección de partículas (<70%) - Resistencia moderada al flujo - Baja higroscopicidad - Temperatura hasta 60°C	Gravimetría, RXF, PIXE, SEM, OA, OM
Fibra de cuarzo	- 25 mm - 37 mm - 47 mm - 20,3x25,4 cm	- Alta eficiencia en la colección de partícula - Resistencia moderada al flujo - Temperatura hasta 900°C - No higroscópico	ICP/AES, ICP/MS, IC, AC, T, TOR, TMO, TOT, OA
Fibra de cuarzo mezclada	- 20,3x25,4 cm	- Alta eficiencia en la colección de partículas - Baja resistencia al flujo - Temperatura hasta 500° C - No higroscópico	Gravimetría, FRX, PIXE, AA, ICP/MS.
Fibra de vidrio	- 20.3 x 25.4 cm	- Alta eficiencia en la colección de partículas - Temperatura hasta 500°C - Baja resistencia al flujo - Baja higroscopicidad - Adsorción de HNO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> y vapores orgánicos.	Gravimetría, FRX, PIXE, INAA, AAs, ICP/AES, IC, AC, OA

(Fuente: Chow, J. 1995)

AAS: Espectrometría de absorción atómica, CA: colorimetría automatizada, IC: cromatografía iónica, ICP-MS: Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente, ICP/OES: Espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente, INAA: análisis de activación neutrónica, OA: absorción óptica o transmisión de luz, OM: microscopía óptica, PIXE: emisiones de rayos X inducidas por protones, SEM: microscopía electrónica de barrido, T: análisis térmico de carbón, TEM: microscopio de transmisión por electrones, TMO: análisis térmico de carbono por oxidación del manganeso, TOR: análisis de carbono por reflectancia térmica /óptica, TOT: análisis de carbono por transmisión térmica /óptica, DRX: difracción de rayos X, FRX: fluorescencia de rayos X.

En la siguiente tabla se definen las propiedades físicas de los filtros comúnmente utilizados para muestreo de material particulado, se deberá optar por aquellos que presenten el más alto porcentaje de eficiencia según corresponda.

**Tabla 9. Resumen de propiedades físicas de los filtros más utilizados y su eficiencia.**

Tipo de filtro y composición	Densidad mg/cm <sup>2</sup>	pH	% Eficiencia
Teflon® (Membrane) (CF <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> (tamaño de poro de 2µm)	0,5	Neutral	99,95
Celulosa (Whatman 41) (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	8,7	Neutral (Reacciona con HNO <sub>3</sub> )	58% a 0,3 µm
Fibra de vidrio (Whatman GF/C)	5,16	pH: 9 (Básico)	99,0
"Quarzo" Gelman Micro Quarzo	6,51	pH: 7	98,5
Policarbonato (Nuclepore) C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> +CO <sub>3</sub> (tamaño de poro de 0.3µm)	0,8	Neutral	93,9
Acetato de Celulosa/Nitrate Millipore (C <sub>9</sub> H <sub>13</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>n</sub> (tamaño de poro de 1.21 µm)	5,0	Neutral (Reacciona con HNO <sub>3</sub> )	99,6

(Fuente: EPA 1999)



### 3.6.3 Métodos analíticos para el análisis de filtros de material particulado

En la Tabla 11 (ver anexo 1) se lista una serie de elementos y compuestos químicos presentes en material particulado recolectados en filtros, la tabla indica los métodos analíticos más apropiados para cuantificarlos, de acuerdo con el límite de detección. El laboratorio deberá optar por aquellos métodos analíticos reconocidos por la EPA, NIOSH o ASTM y, además, deberá considerar los métodos que reporten los límites de detección más bajos de acuerdo con cada elemento o compuesto.

### 3.6.4 Contenido del informe de resultados de laboratorio

El informe de resultados masa de filtros, análisis químico de filtros o de muestras de MPS deben ser informado por un laboratorio de ensayo acreditado según ISO 17.025 en su versión vigente. Los informes de laboratorio deben cumplir con lo establecido en la norma ISO mencionada, y deberán indicar a lo menos lo siguiente: código de identificación de la muestra, código del filtro, fecha de muestreo y recepción en laboratorio, fecha y hora de inicio del análisis, parámetro, método de análisis, límite de detección, límite de cuantificación, fecha de fin del análisis, resultado y unidad, según corresponda.

## 3.7 Muestreo de Material Particulado Sedimentable

### 3.7.1 Características del contenedor de material particulado sedimentable

El contenedor de material particulado sedimentable deberá estar conformado por las siguientes partes:

a) Soporte: corresponde a un trípode fabricado de acero galvanizado con una plataforma interior que sirve para sostener el frasco colector y que posee un ensanchamiento superior para el alojamiento del embudo colector. Para proteger el embudo se debe instalar un enrejado metálico o de plástico, de 25 mm de malla que impida el ingreso de hojas y materiales extraños a los que se quiere determinar.

b) Embudo colector: corresponde a un embudo construido de un material no reactivo, tales como el acero inoxidable, plástico sin acumulación electrostática, vidrio, entre otros.).

Cada embudo deberá tener un número de identificación y un factor "F", expresado en m<sup>2</sup>, el que multiplicado por el peso total del residuo, en mg, representa la concentración de partículas sedimentables en mg/m<sup>2</sup>.

c) Envase para recolección: corresponde a frascos de vidrio no reactivo o de un material plástico idóneo, de capacidad según pluviometría y dimensiones adaptadas al conjunto del soporte y capacidad del frasco.

Es conveniente realizar un seguimiento de la pluviometría de la zona, por si fuese necesario proceder al cambio antes de la fecha prevista, con el fin de evitar el posible desbordamiento del frasco colector, que invalidaría la muestra.

### 3.7.2 Ubicación del contenedor de material particulado sedimentable

Para la ubicación del contenedor y para la recolección de material particulado sedimentable, se deberán considerar los siguientes criterios:

a) En un radio de veinte (20) metros no deben existir estructuras de altura superior a un metro ni elevaciones a obstáculos más altos (por ejemplo: árboles, edificios, entre otros), estas no deberán superar un ángulo de 30° desde la horizontal.

b) La distancia a edificaciones cercanas, masas arbóreas, muros verticales y otros objetos que puedan incidir en la determinación. Esta distancia será del doble de la altura del objeto, siempre que sea posible, o en su defecto superior a 20 metros.

c) No deberán existir restricciones al flujo de aire alrededor del punto de entrada del muestreo.

d) El punto de entrada de muestreo deberá estar situado entre 1,5 m (zona de respiración) y 4 m sobre el nivel del suelo.

e) El punto de entrada del muestreo no deberá estar situado en las proximidades de fuentes de emisión, para evitar la entrada directa de las emisiones en el contenedor.

### 3.7.3 Procedimiento de muestreo con un contenedor de material particulado sedimentable

El procedimiento de muestreo con un contenedor de material particulado sedimentable será el siguiente:

a) Una vez ubicado el contenedor para dar inicio a la recolección del material particulado sedimentable, se deberá completar un registro con el número del contenedor, nombre del sitio, fecha y hora de inicio del muestreo.

b) Una vez finalizado el periodo de muestreo, se procederá a la recogida de la muestra. Para ello se arrastran las partículas adheridas al depósito colector hasta el frasco, ayudándose de una varilla u otro objeto apropiado, mediante lavado con agua tipo II o superior de acuerdo con la norma ASTM D1193 (aproximadamente 1000 ml). A continuación, se deberá retirar el frasco colector con el líquido, el cual será trasladado al laboratorio, en el sitio de muestreo se deberá sustituir por otro envase. A la muestra recolectada se le debe añadir una solución que impida la proliferación de algas y hongos, que afectarían a la determinación.

c) Al final del periodo de recolección de material particulado sedimentable, se deberán sellar los contenedores para posteriormente ser enviados al laboratorio acreditado para su análisis, la muestra deberá mantenerse refrigerada, protegida de la luz y cerrada herméticamente. El registro debe contener los siguientes criterios como mínimo: número del contenedor, nombre del sitio, fecha y hora de retiro de la muestra.

d) En caso de temporada de lluvias o de nieve estas se acumularán en los contenedores y en algunos casos se evaporarán durante el periodo de exposición. En el caso de acumulación de líquido o nieve se pueden realizar 2 tipos de acciones: al momento del retiro llevar otro contenedor y retirar el resto de la muestra o posterior a la lluvia, colocar otro contenedor.

e) El periodo de muestreo será de un mes calendario con una tolerancia de  $\pm 2$  días.

f) No se deben eliminar en terreno los objetos recolectados al interior del contenedor.

## 4. Calificación de personal técnico

### 4.1 Supervisión, operación y funcionamiento de las estaciones de calidad del aire y meteorología

El personal técnico involucrado tanto en la supervisión como en la operación y funcionamiento de las estaciones de calidad del aire y meteorología deberá cumplir con los siguientes requisitos técnicos:

a) Conocimiento y manejo de instrumentos de medición de calidad del aire y meteorología.

b) Conocimiento de las metodologías de medición de gases y partículas.

c) Tener conocimiento cabal de los requisitos técnicos para la instalación de instrumentos de medición de calidad de aire.

d) Experiencia en identificar, ejecutar y cumplir las actividades de instalación, mantenimiento correctivo y preventivo de los instrumentos de medición.

e) Conocimiento y experiencia en las verificaciones a realizar en las estaciones (Cero, Span, multipunto, GPT, flujo, fugas, presiones, parámetros meteorológicos, entre otros).

f) Conocimiento sobre las respuestas esperables de los instrumentos e interpretación correcta de los datos que pueden generarse a partir de las actividades de calibración o verificaciones, que se realizan en terreno a los instrumentos de medición.

g) Conocimiento de la cadena de custodia de las muestras, ya sea filtros o muestras de agua (Por ejemplo: muestras de MPS).

h) Manejo de sistemas de información y software de calidad del aire y meteorología.

i) Manejo y aplicación de las instrucciones de operación descritas en los manuales de cada instrumento de medición de calidad del aire y meteorología.

j) Conocimiento de las normas primarias y secundarias de calidad del aire, así como de las instrucciones dictadas por esta Superintendencia.

4.2 Análisis y gestión de los datos obtenidos de las estaciones de calidad del aire y meteorología

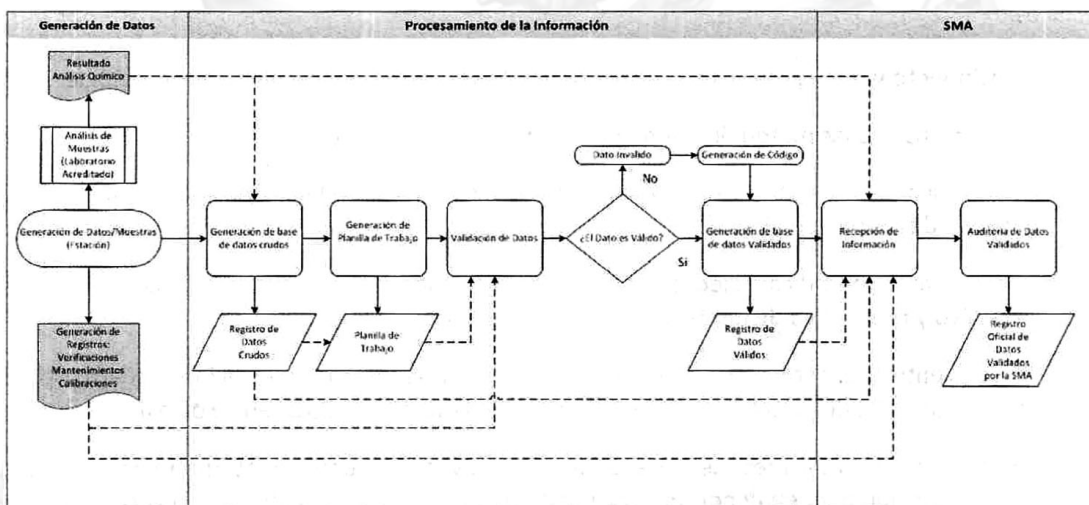
El personal involucrado en el análisis y gestión de los datos obtenidos de las estaciones de calidad del aire y meteorología deberá cumplir con los siguientes requisitos técnicos:

- a) Conocimiento y manejo de instrumentos de medición de calidad del aire y meteorología.
- b) Experiencia en la interpretación de la información, para ser capaz de detectar los posibles efectos sobre los datos que pueden generarse a partir de las actividades de calibración, verificación y corrección que se realiza en terreno a los instrumentos. El análisis de la información debe ser realizado en conjunto con el personal a cargo de la supervisión, operación y funcionamiento de las estaciones de calidad del aire y meteorología.
- c) Conocimiento e interpretación de los registros generados en las estaciones de calidad del aire y meteorología.
- d) Manejo de sistemas de información y software de calidad del aire y meteorología.
- e) Conocimientos en el comportamiento de los contaminantes y sus interacciones.
- f) Conocimiento de las normas primarias y secundarias de calidad del aire, así como de las instrucciones dictadas por esta Superintendencia.
- g) Conocimiento en conceptos generales de estadística.

5. Generación, procesamiento y reporte de datos

En el Diagrama 4, se describen las etapas que debe cumplir el proceso de generación, procesamiento y reporte de datos válidos y auditables por la Superintendencia del Medio Ambiente.

Diagrama 4. Generación, procesamiento y reporte de datos



(Fuente: elaboración propia)

5.1 Generación de datos

Es la etapa en la que se generan los datos producto de las mediciones realizadas por los instrumentos en la estación, ya sea obtenido en línea desde el sistema de almacenamiento o directamente desde el instrumento instalado en la estación. En el caso de muestreados son los registros de las mediciones en terreno, la muestra y los resultados de los análisis químicos de la muestra determinados en el laboratorio acreditado. Cabe señalar que en esta etapa se deberán utilizar los registros de las verificaciones y de mantenimientos (preventivos y correctivos).

5.2 Procesamiento de datos

Corresponde a una serie de pasos en orden secuencial para generar la planilla de datos crudos y la planilla de datos válidos. A continuación, se describen cada uno de los pasos en el procesamiento de los datos:



a) Generación de base de datos crudos: En base a los datos crudos almacenados en un servidor del propietario de las estaciones de calidad del aire y meteorología, se deberá elaborar un registro de datos crudos en la que se compilan y ordenan los datos generados en la estación producto de las mediciones de los instrumentos de medición y muestreadores, según lo descrito en el punto 5.1. La planilla de datos crudos deberá mantener los formatos establecidos por la Superintendencia del Medio Ambiente, tanto la base de datos crudos almacenada en el servidor como la planilla de datos crudos en formato SMA, deberán almacenarse en servidores sin que exista intervención o manipulación de los datos en ningún caso. El responsable de la estación ante la Superintendencia deberá resguardar y almacenar la información generada en la estación de calidad del aire y meteorología, a través de un sistema de seguridad de la información.

b) El registro de trabajo: Corresponde al proceso de generar una planilla de trabajo que es una copia fiel de la planilla de datos crudos. En esta planilla de trabajo se podrán realizar actividades de: verificación de la hora y fecha, cálculo de concentraciones horarias, diarias o mensuales, correcciones por cero y span, identificación de verificaciones, entre otros. La planilla de trabajo deberá estar disponible en el caso de consultas u observaciones.

c) Proceso de validación e invalidación de datos: Corresponde al proceso de generación de un registro de datos válidos, elaborada a partir de la planilla de trabajo. En esta etapa, se deberán identificar los datos que deben ser invalidados en base a evidencias objetivas, tales como: registros de verificaciones, calibraciones, y mantenimientos correctivos o preventivos. Además, el personal con las competencias técnicas para validar deberá ser capaz de identificar los datos fuera de los intervalos, saltos o mal funcionamiento del instrumento. En esta etapa se deberán aplicar los códigos de invalidación de acuerdo con la Tabla 10.

**Tabla 10. Códigos de Invalidación**

Código	Tipo	Descripción	Justificación
2.a	Dato Inválido	Variaciones de energía	Variaciones de voltaje (alzas o bajas), lo que genere información de calidad del aire o meteorología errónea.
2.b	Dato Invalido	Falla del instrumento	La falla en un instrumento se puede manifestar de varias maneras, como por ejemplo: valores medidos altos, valores medidos negativos, valores repetitivos por un periodo prolongado, problemas con el filtro, el filtro no avanzó, el instrumento gravimétrico no inicia a la hora que fue configurado, entre otros.
2.c	Dato Inválido	Fuera de intervalo por alarmas	Datos en los que existe evidencia objetiva, a través de la documentación de la estación. Este tipo de evidencia pueden ser: alarmas en instrumentos, es decir, cuyos parámetros de operación (temperaturas, flujos, presiones, voltajes, entre otros) se encuentran fuera de los valores normales de operación.
2.d	Dato Inválido	Por cambio de instrumento	Tiempo perdido en el reemplazo de un instrumento y puesta en marcha del nuevo instrumento de reemplazo.
2.e	Dato Inválido	Mantenimiento en terreno	Calibraciones de cero y span, multipunto, multipunto GPT, chequeo de flujo y fugas, limpieza, cambio de cinta, mantenimientos, entre otros.
2.f	Dato Inválido	Por tiempo mínimo de muestreo	El número de minutos es insuficiente para completar la hora, el número de horas es insuficiente para completar un día, entre otros.
2.g	Dato Inválido	Por exceso de tiempo de muestreo	En el caso de mediciones con un instrumento gravimétrico de alto o bajo volumen en las que se excedan el número de horas de medición.

2.h	Dato Inválido	Valor fuera del intervalo	En esta categoría se incluyen valores fuera de los límites superior e inferior fijados en el instrumento de medición. Para el caso de los contaminantes, el límite superior se fija de acuerdo con las condiciones de la localidad y podrá diferir en aquellas localidades que se encuentren en zonas críticas de calidad del aire, con alta densidad industrial, en donde los niveles medidos pudieran ser mayores que los límites configurados. Se incluyen valores que estén fuera de tendencia o aquellos valores que no sean representativos de la localidad o del ciclo horario o estacionalidad.
3.a	Sin Dato	Falla general del instrumento	Fallas internas del instrumento (de manera generalizada) que no hacen posible la medición.
3.b	Sin Dato	Corte de energía	Cortes de energía involuntarios

Fuente: MINSAL 2008

En el caso de pérdida de la conexión entre el instrumento de medición y el sistema de almacenamiento por alguna circunstancia imprevista, se podrán reemplazar los datos faltantes con la información almacenada en la memoria interna del instrumento de medición.

La planilla de datos validados deberá mantener los formatos establecidos por la Superintendencia del Medio Ambiente y deberá almacenarse en servidores. El responsable de la estación ante la Superintendencia deberá resguardar y almacenar la información generada en la estación de calidad del aire y meteorología.

### 5.3 Niveles de validación de los datos

La revisión y validación de los datos de calidad del aire y meteorología deberá tener al menos 3 niveles de revisión; dichos niveles de revisión deberán ser ejecutados por personas diferentes de acuerdo con los siguientes niveles de validación:

- a) Nivel 1: identificar lecturas erróneas, pérdida de datos y condiciones fuera de tolerancia.
- b) Nivel 2: revisión de la actividad realizada en el nivel 1 y verificación de los datos.
- c) Nivel 3: revisión de las actividades realizadas en los niveles anteriores (1 y 2). En la revisión en este nivel se deberá hacer énfasis en los valores altos o valores que excedan de la media histórica.

A continuación, se describen las principales actividades de validación y el personal involucrado directamente en cada uno de los niveles de validación.

#### 5.3.1 Nivel 1 de validación

Consiste en identificar lecturas erróneas y condiciones fuera de tolerancia.

- a) Este paso inicial (Nivel 1) es el más importante dentro de los 3 niveles.
- b) Debe ser realizado por el personal involucrado directamente en la operación de la estación, con experiencia en análisis de datos en el área de contaminación atmosférica y meteorología.
- c) Se deben identificar los valores perdidos o erróneos.
- d) Identificar valores fuera del comportamiento normal registrados en la estación y del período de tiempo, cambios bruscos de las concentraciones en un periodo corto.
- e) Identificar valores obtenidos en proceso de calibración (mantenimiento en terreno).
- f) Aplicar los códigos de invalidación o validación de la Tabla 10.
- g) Todas las actividades de invalidación o validación de datos deberán estar respaldadas con la documentación correspondiente.

### 5.3.2 Nivel 2 de validación

Consiste en la revisión de la actividad realizada en el nivel 1 y verificación de los datos.

- a) Verificar todas las acciones realizadas en el Nivel 1 con una "segunda mirada".
- b) Calcular estadísticamente los datos de acuerdo con los criterios de las normas de calidad primarias y secundarias.
- c) Comparar los datos entre estaciones cercanas, en busca de valores inusuales; siendo objetivo y cuidadoso en la revisión.

### 5.3.3 Nivel 3 de validación

Consiste en la revisión de las actividades realizadas en los niveles anteriores (1 y 2).

- a) Se debe realizar por el responsable de la estación o la red de estaciones.
- b) Se debe revisar la integridad de los datos.
- c) Se deben revisar los valores altos y/o excedan los valores históricos.
- d) Finalmente, se conforma la planilla final con los datos validados.

### 5.4 Reporte de datos a la SMA

El responsable de la estación deberá reportar la información generada en la estación a la Superintendencia del Medio Ambiente, de acuerdo con la periodicidad establecida por este servicio y/o lo indicado en el instrumento de carácter ambiental que genera la obligación de medición. La información para reportar corresponderá a los datos crudos y validados de calidad del aire y meteorología, registros de calibraciones, registros de verificaciones, registros de mantenimientos (correctivos/preventivos) y resultados de análisis químico emitido por el laboratorio acreditado.

Las unidades de medición en las que se deberán reportar las mediciones de contaminantes gaseosos corresponderán a las unidades de medición configurada en el instrumento y sin aplicar ningún tipo de factor.

En el caso de reporte de material particulado, material particulado sedimentable o elementos y compuestos químicos, estos se deben reportar de acuerdo con las directrices que dicte la Superintendencia del Medio Ambiente.

Las planillas de datos crudos y planilla de datos validados deberán estar disponibles en los formatos definidos por la Superintendencia del Medio Ambiente.

## 6. Registros y documentos

En la estación se deben mantener todos los registros generados de las actividades de verificación, calibración, mantenimiento (correctivo o preventivo), programas de mantenimiento preventivo, programa de muestreo y, además, se deberán mantener los manuales de todos los instrumentos de medición y muestreadores instalados en la estación para consulta y revisión.

A continuación, se describen los principales registros y documentos que se deben mantener en la estación:

- a) Registro parámetros operacionales de la estación de muestreo y medición de calidad del aire
- b) Registro de parámetros operacionales de los instrumentos de medición de calidad del aire
- c) Registro de verificación cero y span
- d) Registro de verificación multipunto
- e) Registro de verificación GPT
- f) Registro de verificación de flujo y fugas
- g) Registro de calibración
- h) Registro de mantenimiento
- i) Programa de mantenimiento
- j) Registro de verificación de transmisión de señales de voltaje (sistema analógico)
- k) Registro de manejo de muestras de filtros
- l) Registro de manejo de muestras de MPS
- m) Registro operacional de estación meteorológica



- n) Registro de verificación de linealidad del instrumento de medición y el sistema de almacenamiento (digital y analógico)
- o) Certificados de calibración de los patrones utilizados para verificar los instrumentos de medición y sensores.

## 7. Referencias

CENMA, 2003. Elaboración de reglamentos y protocolos de procedimientos para el aseguramiento de la calidad del monitoreo de contaminantes atmosféricos. Informe Final 2003. Elaborado por CENMA para CONAMA.

Chow, J. 1995. Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 45:5, 320-382, DOI: 10.1080/10473289.1995.10467369

DIGESA, 2005. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos, Dirección General de Salud Ambiental de Perú. Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf)

e-CFR, 2019. Appendix E to Part 58—Probe and Monitoring Path Siting Criteria for Ambient Air Quality Monitoring. Electronic Code of Federal Regulations. Disponible en [https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=b5e1836a4254900faa27201107bdc703&mc=true&node=ap40.6.58\\_161.e&rgn=div9](https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=b5e1836a4254900faa27201107bdc703&mc=true&node=ap40.6.58_161.e&rgn=div9).

EPA, 1998. PM2.5 mass weighing laboratory standard operating procedures for the performance evaluation program.

EPA, 1999. Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air. Compendium Method IO-3.1. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-11/documents/mthd-3-1.pdf>

EPA, 2008. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume IV: Meteorological Measurements. Version 2.0 (Final), March 2008. Disponible en: [https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/met/Volume\\_IV\\_Meteorological\\_Measurements.pdf](https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/met/Volume_IV_Meteorological_Measurements.pdf)

EPA, 2017. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II: Ambient Air Quality Monitoring Program.

EPA, 2017. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II: Ambient Air Quality Monitoring Program. Appendix D: Measurement Quality Objectives and Validation Templates.

IUPAC, 1997. Compendium on Analytical Nomenclature, Definitive Rules 1997, tercera edición. Disponible en: [https://media.iupac.org/publications/analytical\\_compendium/Cha18sec437.pdf](https://media.iupac.org/publications/analytical_compendium/Cha18sec437.pdf)

MAVDT, 2010. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Octubre 2010. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion\\_atmosferica/Protocolo\\_Calidad\\_del\\_Aire\\_-\\_Manual\\_Dise%C3%B1o.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Dise%C3%B1o.pdf)

Ministry of Environment British Columbia. 2009. Standard auditing procedure for continuous emission monitors and ambient air monitoring instruments.

Ministry of environment British Columbia, 2013. British Columbia Field Sampling Manual (complete). Ed 2013. Disponible en <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/research-monitoring-reporting/monitoring/laboratory-standards-quality-assurance/bc-field-sampling-manual>

Ministry of Environment British Columbia, 2017. Standard Operating Procedure for the Sample Collection of Dustfall. Disponible en: [https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/research-monitoring-and-reporting/monitoring/emre/sop-05c\\_pm\\_dustfall.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/research-monitoring-and-reporting/monitoring/emre/sop-05c_pm_dustfall.pdf)

Ministry of Environment British Columbia, 2018. British Columbia Field Sampling Manual. Part B1 - Ambient Air Monitoring. Ed. 2018. Disponible en [https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/research-monitoring-and-reporting/monitoring/emre/part\\_b\\_air\\_and\\_emissions\\_testing.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/research-monitoring-and-reporting/monitoring/emre/part_b_air_and_emissions_testing.pdf)

MINSAL, 2008. D.S. N°61 de 2008 del Ministerio de Salud. Reglamento de estaciones de medición de contaminantes atmosféricos.

MINSEGPRES, 1994. Ley 19300. Aprueba Ley sobre bases generales del medio ambiente, Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994.

NZ, 2009. Good practice guide for air quality monitoring and data management 2009. Ministry for the Environment of New Zealand. Disponible en: <http://www.mfe.govt.nz/publications/air/good-practice-guide-air-quality-monitoring-and-data-management-2009>

Ontario, 2018. Operations manual for air quality monitoring in Ontario, Ontario Ministry of the Environment and Climate Change, 2018 revised version. Disponible en: <https://www.ontario.ca/document/operations-manual-air-quality-monitoring-ontario-0>

Ricardo-AEA, 2017. Air Quality Monitoring in Scotland: Site Operators' Manual, Ricardo Energy & Environment, ED61598-Issue Number 2, Ed. 2017. Disponible en: [http://www.scottishairquality.co.uk/assets/documents/Scottish\\_Site\\_Operators\\_Manual\\_Final.pdf](http://www.scottishairquality.co.uk/assets/documents/Scottish_Site_Operators_Manual_Final.pdf)

SEMARNAT, 2019. Manual de Operación de Estaciones de Medición de la Calidad del Aire, Mantenimiento y Calibración de sus Componentes " elaborado por Instituto Nacional de Ecología de México para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México. Disponible en <https://sinaica.inecc.gob.mx/pags/guias.php>

VIM CEM, 2012. Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM). 3ª Edición en español 2012: Centro Español de Metrología.

WMO, 2014. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, World Meteorological Organization, 2014 edition, Updated in 2017. Disponible para descarga en [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4147](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4147). Versión online en <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/CIMO-Guide.html>

## 8. Anexo

**Tabla 11. Límites de detección en muestras de filtros para diferentes métodos analíticos**

Límites de detección ng/m <sup>3</sup>									
Especie	INDA <sup>b,c</sup>	XRF <sup>b</sup>	PIXE <sup>b,d</sup>	Espectrometría de absorción atómica (AAS) de llama <sup>e,f</sup>	Espectrometría de absorción atómica (AAS) Horno de Grafito <sup>e,f</sup>	ICP <sup>g,g</sup>	AC <sup>e</sup>	IC <sup>e</sup>	TOR <sup>b,h</sup>
Plata (Ag)	0,12	6	ND <sup>i</sup>	4	0,005	1	ND	ND	ND
Aluminio (Al)	24	5	12	30	0,01	20	ND	ND	ND
Arsénico (As)	0,2	0,8	1	100	0,2	50	ND	ND	ND
Oro (Au)	ND	2	ND	21	0,1	2,1	ND	ND	ND
Bario Ba	6	25	ND	8 <sup>f</sup>	0,04	0,05	ND	ND	ND
Berilio (Be)	ND	ND	ND	2 <sup>f</sup>	0,05	0,06	ND	ND	ND
Bromo (Br)	0,4	0,5	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Calcio (Ca)	94	2	4	1 <sup>f</sup>	0,05	0,04	ND	ND	ND



Cadmio (Cd)	4	6	N/A	1	0,003	0,4	ND	ND	ND
Cerio (Ce)	0,06	ND	ND	ND	ND	52	ND	ND	ND
Cloro (Cl)	5	5	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto (Co)	0,02	0,4	ND	6'	0,02	1	ND	ND	ND
Cromo (Cr)	0,2	1	2	2	0,01	2	ND	ND	ND
Cesio (Cs)	0,03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre (Cu)	30	0,5	1	4	0,02	0,3	ND	ND	ND
Europio (Eu)	0,006	ND	ND	21	ND	0,08	ND	ND	ND
Hierro (Fe)	4	0,7	2	4	0,02	0,5	ND	ND	ND
Galio (Ga)	0,5	0,9	1	52	ND	42	ND	ND	ND
Hafnio (Hf)	0,01	ND	ND	2000	ND	16	ND	ND	ND
Mercurio (Hg)	ND	1	ND	500	21	26	ND	ND	ND
Yodo (I)	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Indio (In)	0,006	6	ND	31	ND	63	ND	ND	ND
Potasio (K)	24	3	5	2'	0,02	ND	ND	ND	ND
Lantano (La)	0,05	30	ND	2000	ND	10	ND	ND	ND
Magnesio (Mg)	300	ND	20	0,3	0,004	0,02	ND	ND	ND
Manganeso (Mn)	0,12	0,8	2	1	0,01	0,1	ND	ND	ND
Molibdeno (Mo)	ND	1	5	31	0,02	5	ND	ND	ND
Sodio (Na)	2	ND	60	0,2'	<0,05	ND	ND	ND	ND
Níquel (Ni)	ND	0,4	1	5	0,1	2	ND	ND	ND
Fosforo (P)	ND	3	8	100000	40	50	ND	ND	ND
Plomo (Pb)	ND	1	3	10	0,005	10	ND	ND	ND
Paladio (Pd)	ND	5	ND	10	ND	42	ND	ND	ND
Rubidio (Rb)	6	0,5	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Azufre (S)	6000	2	8	ND	ND	10	ND	ND	ND
Antimonio (Sb)	0,06	9	ND	31	0,2	31	ND	ND	ND
Escandio (Sc)	0,001	ND	ND	50	ND	0,06	ND	ND	ND
Selenio (Se)	0,06	0,6	1	100	0,5	25	ND	ND	ND
Silicio (Si)	ND	3	9	85	0,1	3	ND	ND	ND
Samario (Sm)	0,01	ND	ND	2000	ND	52	ND	ND	ND
Estaño (Sn)	ND	8	ND	31	0,2	21	ND	ND	ND
Estroncio (Sr)	18	0,5	2	4	0,2	0,03	ND	ND	ND
Tántalo (Ta)	0,02	ND	ND	2000	ND	26	ND	ND	ND
Torio (Th)	0,01	ND	ND	ND	ND	63	ND	ND	ND
Titanio (Ti)	65	2	3	95	ND	0,3	ND	ND	ND
Talio (Tl)	ND	1	ND	21	0,1	42	ND	ND	ND
Uranio (U)	ND	1	ND	25000	ND	21	ND	ND	ND
Vanadio (V)	0,6	1	3	52	0,2	0,7	ND	ND	ND
Wolframio (w)	0,2	ND	ND	1000	ND	31	ND	ND	ND
Ytrio (Y)	ND	0,6	ND	300	ND	0,1	ND	ND	ND
Zinc (Zn)	3	0,5	1	1	0,001	1	ND	ND	ND
Circonio (Zr)	ND	0,8	3	1000	ND	0,6	ND	ND	ND
Cl <sup>-</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	50	ND
Ion amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	ND	ND	ND	ND	ND	ND	50	ND	ND
Ion Nitrato (NO <sub>3</sub> )	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	50	ND
Ion Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	50	ND
Carbono Elemental	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	100
Carbono Orgánico	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	100

(Fuente: <sup>1</sup> Chow, J. 1995)

a El límite mínimo de detección es tres veces la desviación estándar del blanco para un filtro de densidad de área de 1 mg/cm<sup>2</sup>. ICP = espectroscopia de emisión de plasma acoplada inductivamente. AAS = Espectrofotometría de Absorción Atómica. PIXE = Emisiones de rayos X inducidas por protones. XRF = fluorescencia de rayos X. INAA = Análisis Instrumental de Activación de Neutrones. IC= cromatografía iónica. AC= Colorimetría Automatizada. TOR = Análisis de reflectancia térmica/óptica.

b Concentración se basa en 13,8 cm<sup>2</sup> de área de depósito para un sustrato filtrante de 47 mm, con un caudal nominal de 20 L/min para muestras de 24 horas.



c I. Olmez620

d T.A. Cahill621

e Concentración se basa en la extracción 1/2 filtro de 47 mm en 15 ml de agua destilada desionizada, con un caudal nominal de 20 l/min para muestras de 24 horas.

f F.J. Fernández.622

g J. N. Harman.623

h J. C. Chow, et al.624

i No disponible.

**Artículo transitorio.** En forma transitoria, y mientras no se implementen los laboratorios de ensayo y calibración acreditados según la norma ISO 17.025 vigente (ver punto 3.4.1.), la calibración de instrumentos de medición de gases se mantendrá según lo establecido en el artículo 11 del decreto supremo N° 61, de 2008, del Ministerio de Salud.

**Segundo.** La presente resolución entrará en vigencia a partir del 1° de enero de 2025.

Anótese, publíquese en el Diario Oficial, dese cumplimiento y archívese.- Marie Claude Plumer Bodin, Superintendente del Medio Ambiente.

