DIGESA

DIRECCION GENERAL DE SALUD AMBIENTAL

PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE Y GESTIÓN DE LOS DATOS

2005

CONTENIDO

1. Introducción

1.1 Antecedentes
1.2 Alcance del protocolo

2. Propósito

3. Base legal

3.1 Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire
3.2 Directiva para la aplicación del Reglamento de los Niveles de Estados de Alerta por contaminación del aire

4. Objetivos del monitoreo de la calidad del aire

4.1 Objetivo general
4.2 Objetivos específicos

5. Diseño del monitoreo

6. Escalas del monitoreo

7. Selección de parámetros a monitorear

8. Frecuencia del monitoreo y periodos de muestreo

9. Selección de métodos de medición

9.1 Criterios para la selección de métodos
9.1.1 Descripción de los diferentes métodos
9.1.2 Ventajas y desventajas de las metodologías
9.1.3 Factores para la operación

9.2 Métodos de Referencia Nacionales

9.3 Métodos equivalentes

9.4 Monitoreo meteorológico

10. Selección de sitios de muestreo

11. Implementación de las estaciones de monitoreo

11.1 Requisitos mínimos
11.1.1 Acceso
11.1.2 Seguridad
11.1.3 Materiales
11.1.4 Suministro eléctrico

11.2 Equipamiento necesario para la operación de estaciones automáticas
11.2.1 Distribución de equipos al interior de la estación
11.2.2 Equipos de medición de partículas y/o de gases según corresponda y su equipamiento asociado
11.2.3 Sistema de recolección de datos
11.2.4 Sistema de transmisión de datos
11.2.5 Sistemas de respaldo
11.2.6 Equipos de medición de variables meteorológicas

11.3 Determinación del número de sitios de medición

12. Operación y mantenimiento de la estación

12.1 Esquema de funcionamiento de la red

12.2 Mantenimiento de los equipos e inspección

13. Aseguramiento y control de la calidad del monitoreo

13.1 Calibraciones
13.2 Trazabilidad
13.3 Manejo y transporte de muestras
13.4 Intercalibración de redes de monitoreo

14. Procesamiento de la información

14.1 Recolección y distribución de la información

14.2 Análisis de la información
14.2.1 Unidades y periodos establecidos
14.2.2 Conversiones
14.2.3 Cálculo y presentación de las estadísticas (modelo simple en Excel)

14.3 Suficiencia de información

14.4 Validación de la información

14.5 Generación de la base de datos

14.6 Análisis de correlación

Referencias

Glosario de términos

Lista de abreviaturas

Anexos

PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE Y GESTIÓN DE LOS DATOS

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El presente documento es el primer protocolo de monitoreo de la calidad del aire que la DIGESA ha elaborado para la estandarización y el aseguramiento de la calidad del monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos que se realicen en el país.

Actualmente, el país cuenta con el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobado mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM que es un documento de gestión de la calidad del aire en el país, el cual contribuye a determinar los criterios para la protección de la calidad ambiental, así como los lineamientos estratégicos para alcanzar progresivamente la protección de la salud de las personas.

El Decreto Supremo N° 074-2001-PCM en su artículo 12 señala que el monitoreo de la calidad del aire y la evaluación de los resultados en el ámbito nacional es una actividad de carácter permanente, a cargo del Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), quien podrá encargar a instituciones públicas o privadas dichas labores.

Por otra parte, se cuenta con el Reglamento de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire, aprobado mediante Decreto Supremo N° 009-2003-SA, documento de gestión que permite la implementación de un conjunto de medidas predeterminadas para la prevención de riesgos a la salud y la exposición aguda de la población a los contaminantes del aire.

Es por ello, que los datos generados de los programas de monitoreo de la calidad del aire debe contar con un nivel establecido de confiabilidad y comparabilidad, pues serán una herramienta fundamental para la toma de decisiones; de ahí la necesidad de elaborar un protocolo de monitoreo de la calidad del aire que considere los criterios de aseguramiento y control de la calidad y estandarice los procedimientos para la operación y manejo de las redes de monitoreo.

1.2 Alcance del protocolo

Este protocolo está diseñado para proporcionar a los operadores del monitoreo de la calidad del aire los principios básicos para la operación de una red de monitoreo de la calidad del aire en exteriores, para centros poblados en sus diferentes etapas, así como la gestión de los datos.

A pesar de que el enfoque de este documento son los contaminantes de la calidad ambiental del aire, se han incluido algunos puntos de monitoreo meteorológico por ser parte integral del monitoreo de la calidad del aire.

Este protocolo no incluye los principios para el monitoreo de fuentes fijas. La información relacionada al monitoreo de emisiones puede encontrarse en el Sector correspondiente.

2. Propósito

Este protocolo incluye información para la instalación y operación de sistemas de monitoreo de calidad del aire, así como el manejo de los datos una vez colectados.

El propósito de este protocolo es ser una herramienta para el aseguramiento de la calidad para la operación y tratamiento de los datos generados, a disposición de los operadores de redes de monitoreo de la calidad del aire, de modo que asegure que el monitoreo se realice correctamente, sea consistente, eficiente y genere la información necesaria con el mínimo de recursos.

3. Base legal

El Artículo 2° inciso 22 de la Constitución Política del Perú establece que es deber primordial del Estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Así mismo, el Artículo 67° señala que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales.

La Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, establece la responsabilidad del Estado de promover el aprovechamiento sostenible de la atmósfera y su manejo racional, teniendo en cuenta su capacidad de renovación.

El Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, en su Título Preliminar, Artículo I establece que es obligación de todos la conservación del ambiente y consagra la obligación del Estado de prevenir y controlar cualquier proceso de deterioro o depredación de los recursos naturales que puedan interferir con el normal desarrollo de toda forma de vida y de la sociedad.

3.1 Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

El Decreto Supremo N° 074-2001-PCM en su Artículo 4 establece los estándares primarios de calidad del aire y los niveles de concentración máxima para los siguientes contaminantes criterio:

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis[1]
		Valor	Formato	
Dióxido de azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo IRND (método automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	
Dióxido de nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (método automático)

Plomo	Anual[2]	0.5	Promedio aritmético mensual	Método PM-10 (espectrofotometría de absorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces/año	
Sulfuro de hidrógeno	24 horas			Fluorescencia UV (método automático)

[1] O método equivalente aprobado
[2] Determinado en el D.S. N° 069-2003-PCM

Valores de tránsito

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis[1]
		Valor	Formato	
Dióxido de azufre	Anual	100	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
PM-10	Anual	80	Media aritmética anual	Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	200	NE más de 3 veces/año	
Dióxido de nitrógeno	1 hora	250	NE más de 24 veces/año	Quimiluminiscencia (método automático)
Ozono	8 horas	160	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (método automático)
Plomo	anual	1.0	Promedio aritmético mensual	Método PM-10 (espectrofotometría de absorción atómica)

[1] O método equivalente aprobado

Valores referenciales

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis[1]
		Valor	Formato	
PM-2.5	Anual	15		Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	65		

[1] O método equivalente aprobado

Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico, NE significa no exceder. El método de análisis puede también ser un método equivalente aprobado.

El Decreto Supremo N° 069-2002-PCM determina el valor anual de plomo el cual se ha incluido en el anexo 1 y anexo 2 del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (Decreto Supremo N° 074-2001-PCM).

3.3 Reglamento de los Niveles de Estados de Alerta por contaminación del aire

El Decreto Supremo N° 009-2003-SA en su Artículo 3 establece los niveles de alerta de los siguientes contaminantes críticos del aire:

Niveles de alerta para contaminantes críticos

Tipo de alerta	Material particulado (PM-10)		Dióxido de azufre (SO_2)	
Cuidado	> 250	promedio de 24 horas	> 500	por 3 horas prom. móvil
Peligro	> 350	promedio de 24 horas	> 1500	por 3 horas prom. móvil
Emergencia	> 420	promedio de 24 horas	> 2500	por 3 horas prom. móvil
Referencia	Valor estándar ECA		Valor estándar ECA	

	D. S. N° 074-2001-PCM Anual: 50 (media aritmética anual) 24 h: 150 (NE más de 3 veces al año)	D. S. N° 074-2001-PCM Anual: 80 (media aritmética anual) 24 h: 365 (NE más de 1 vez al año)

Tipo de alerta	**Monóxido de carbono (CO)**		**Sulfuro de hidrógeno (H_2S)**	
Cuidado	> 15000	Prom. móvil 8 horas	> 1500	prom. aritmético 24 horas
Peligro	> 20000	Prom. móvil 8 horas	> 3000	prom. aritmético 24 horas
Emergencia	> 35000	Prom. móvil 8 horas	> 5000	prom. aritmético 24 horas
Referencia	Valor estándar ECA D. S. N° 074-2001-PCM 8 h: 10000 (promedio móvil) 1 h: 30000 (NE más de 1 vez al año)		Valor referencial Organización Mundial de la Salud 24 h: 150	

Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico, NE significa no exceder.

4. Objetivos del monitoreo de la calidad del aire

4.1 Objetivo general

Vigilar la calidad del aire ambiental generando información confiable, comparable y representativa, para su aplicación en las estrategias nacionales para la protección de la salud de la población y del entorno.

4.2 Objetivos específicos

Determinar concentraciones representativas en áreas de alta densidad de población para evaluar el impacto en salud de la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos.

Evaluar el cumplimiento del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.

Aplicar el Reglamento de los Niveles de Estados de Alerta por contaminación del aire, donde corresponda.

Validar y calibrar los inventarios de emisiones y modelos de dispersión de contaminantes para el pronóstico de la calidad del aire.

Determinar la ubicación de las estaciones de monitoreo con fines de pronóstico.

5. Diseño del monitoreo

El diseño y planificación del monitoreo dependen de los objetivos que se desean alcanzar, la disponibilidad de recursos (económicos, humanos y tiempo), los contaminantes que se van a monitorear, la estrategia de monitoreo y el equipamiento necesario, tipo de información requerida (periodo de monitoreo), calidad de la información (exactitud,

precisión, representatividad y comparabilidad) y del usuario para el que se genera la información.

La definición y documentación de los objetivos del monitoreo, así como la definición de los objetivos de la calidad de los datos deben realizarse considerando el uso eficiente de los recursos, la implementación del sistema de aseguramiento de la calidad en el proceso y el diseño adecuado de la red de monitoreo.

6. Escalas del monitoreo

La escala del monitoreo de la calidad del aire debe ser compatible con el objetivo del monitoreo en un lugar, a una escala espacial apropiada y representativa, para así facilitar la localización física de las estaciones de monitoreo. La escala de representatividad espacial relativa a cada contaminante se define para establecer la relación entre los objetivos de monitoreo y localización física de la estación de monitoreo.

De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) se aplican seis escalas de representatividad espacial para ubicar los sistemas de monitoreo, donde cada escala espacial se diseña para cumplir con los objetivos específicos de monitoreo.

Definición de escalas para la realización de monitoreos ambientales

Categoría de Escala	Definición
Microescala	Define las concentraciones en volúmenes de aire asociados con dimensiones de área de algunos metros hasta 100 metros.
Escala Media	Define concentraciones típicas de áreas que pueden comprender dimensiones desde 100 metros hasta 0.5 kilómetros.
Escala Local	Define concentraciones en un área con uso de suelo relativamente uniforme, cuyas dimensiones abarcan de 0.5 a 4.0 kilómetros.
Escala Urbana	Define todas las condiciones de una ciudad con dimensiones en un rango de 4 a 50 kilómetros.
Escala Regional	Define generalmente un área rural de geografía razonablemente homogénea y se extiende desde decenas hasta cientos de kilómetros.
Escala Nacional o Global	Las mediciones que corresponden a esta escala representan concentraciones características de la nación o del mundo como un todo.

El cuadro siguiente muestra la relación entre los objetivos del monitoreo y las escalas de representatividad más adecuadas para el cumplimiento de dichos objetivos:

Relación entre objetivos de monitoreo y escalas espaciales de representatividad

Objetivos de monitoreo	Escalas espaciales apropiadas
Medición de altas concentraciones	Micro Media Local Urbana (en ocasiones)

Efectos en la población	Local Urbana
Impacto de fuentes	Micro Media Local
General / De fondo / De base	Local Regional

Cabe señalar, que el presente protocolo de monitoreo de la calidad del aire ha sido elaborado únicamente para las escalas local y urbana, con lo cual se busca que las estaciones de monitoreo determinen los efectos en la población de los contaminantes del aire.

7. Selección de parámetros a monitorear

Los contaminantes atmosféricos son producidos por fuentes fijas y móviles, los cuales pueden generar problemas a lo largo de su desplazamiento y generar contaminantes secundarios (lluvia ácida u ozono). El alto costo para el monitoreo de la calidad del aire con equipos automáticos en las redes no permite monitorear todos los contaminantes que se generan, por lo que las redes de monitoreo registran contaminantes que representan la calidad del aire de un área determinada. Los contaminantes a ser monitoreados son los indicados en el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM y que pueden causar efectos adversos a la salud y el ambiente (ver ítem 3.1).

Parámetros a monitorear

Grupo	Parámetro
Material particulado	4 Material particulado respirable de diámetro menor a 10 µm (PM-10) 4 Material particulado respirable de diámetro menor a 2.5 µm (PM-2.5)
Gases	4 Dióxido de azufre 4 Monóxido de carbono 4 Dióxido de nitrógeno 4 Ozono 4 Sulfuro de hidrógeno
Metales pesados	4 Plomo
Meteorológicos	4 Dirección del viento 4 Velocidad del viento 4 Temperatura 4 Humedad relativa 4 Precipitación 4 Radiación Solar 4 Altitud 4 Perfil vertical de temperatura 4 Nubosidad

Cabe señalar, que la naturaleza de las fuentes presentes en el área proporcionará una buena indicación de cuáles contaminantes monitorear. Por ejemplo, si los vehículos son la fuente primaria de contaminantes, el dióxido de nitrógeno, el monóxido de carbono y posiblemente

el benceno y las partículas deberían ser monitoreadas. Si el área es afectada por las emisiones domésticas, consumo de la leña, etc. se deben monitorear las partículas y posiblemente el monóxido de carbono. En lugares donde el carbón es utilizado con frecuencia, en uso doméstico o industrial, se debe monitorear el dióxido de azufre. Sin embargo, dependerá de los objetivos centrales del monitoreo la elección de los contaminantes a monitorear. A continuación, se presenta una tabla en la que se especifican los contaminantes que deben monitorearse en base a la fuente de contaminación:

Contaminantes a monitorear en función a las principales fuentes

Fuente	Contaminante
Vehículos (tráfico intenso)	Dióxido de nitrógeno Monóxido de carbono Dióxido de azufre PM-10 / PM-2.5
Domicilios / consumo de leña	PM-10 / PM-2.5 Monóxido de carbono
Industrias y domésticas / consumo de carbón	PM-10 / PM-2.5 Dióxido de azufre
Industrias / consumo de combustible residual	PM-10 / PM-2.5 Dióxido de azufre
Pesqueras	Sulfuro de hidrógeno; PM
Fundición	Dióxido de azufre
Cemento	PM-10 / PM-2.5
Generación eléctrica / consumo de carbón, residual y diesel	Dióxido de azufre PM-10 / PM-2.5
Generación eléctrica / consumo de gas	Dióxido de nitrógeno

8. Frecuencia del monitoreo y periodos de muestreo

El término frecuencia de monitoreo indica el número de muestras que se tomarán o llevarán a cabo en un intervalo de tiempo, en un punto o en un área de muestreo.

La frecuencia del monitoreo de cada uno de los contaminantes depende de los objetivos del monitoreo y de la normativa nacional que establece los periodos de evaluación (Decreto Supremo N° 074-2001-PCM y Decreto Supremo N° 009-2003-SA).

Para establecer valores medios anuales se recomienda muestreos individuales con una frecuencia de 1 a 2 veces por semana, dependiendo de las concentraciones y variando el día de la semana (ejemplo: tomar muestreos cada seis días), de manera que se tomen muestras de todos los días de la semana, de acuerdo a los objetivos del programa. Para el monitoreo de gases con la técnica de tubos pasivos son usuales las frecuencias semanales y mensuales. Estas mediciones no pueden ser comparadas con normas horarias.

El periodo de muestreo es el tiempo de toma de muestra de una lectura individual y corresponde al periodo en que se lleva a cabo la determinación de concentraciones de los contaminantes.

Se recomienda que para los periodos de muestreo se midan concentraciones promedio de 24 horas, se realice el monitoreo anual para determinar las variaciones estacionales y los

promedios anuales, se lleven a cabo muestreos diarios si se necesitan realizar comparaciones significativas a corto plazo o si las concentraciones a 24 horas serán cuantificadas confiablemente y que se realicen monitoreos con resolución horaria únicamente cuando existan condiciones de episodio de contaminación.

9. Selección de métodos de medición

9.1 Criterios para la selección de métodos

Es recomendable elegir la técnica idónea para desarrollar las tareas, si se emplea un método inadecuado, demasiado sofisticado o que conduce a errores, el desempeño de la red podría ser deficiente, generar datos de poca utilidad y –lo que es peor- pérdida de recursos. Si bien los objetivos del monitoreo son el principal factor que se debe considerar para el diseño, también es importante tener en cuenta las limitaciones de recursos y la disponibilidad de personal calificado. Es necesario lograr un equilibrio entre los costos del equipo, la complejidad, la confiabilidad y el desempeño. Los sistemas más avanzados pueden suministrar datos cada vez más refinados pero su operación es más sofisticada y difícil. Los aspectos a considerar en la selección del método de medición son los siguientes:

Parámetros técnicos:

- Selectividad: indica el grado por el cual un método puede determinar un contaminante sin ser interferido por otros componentes.
- Especificidad: indica el grado de interferencias en la determinación
- Límite de detección: es la concentración mínima detectable por un sistema de medición
- Sensibilidad: tasa o amplitud de cambio de la lectura del instrumento con respecto a los cambios de los valores característicos de la calidad del aire.
- Exactitud: grado de acuerdo o semejanza entre el valor verdadero y el valor medio o medido. Depende tanto de la especificidad del método como de la exactitud de la calibración, que a su vez depende de la disponibilidad de estándares primarios y de la forma como es calibrado el equipo. Indica la ausencia de errores por predisposición o sesgo por azar.
- Precisión: Grado de acuerdo o semejanza entre los resultados de una serie de mediciones aplicando un método bajo condiciones predeterminadas y el valor medio de las observaciones.
- Calibración del instrumento: disponibilidad de gases de calibración en el mercado (estándares primarios) y a su aplicación en el sistema de muestreo, así como a la necesidad de la frecuencia de su uso.
- Gases de calibración: gases primarios o secundarios
- Tiempo de respuesta del instrumento: corresponde al tiempo necesario para que el monitor responda a una señal dada, o sea el periodo transcurrido desde la entrada del contaminante al instrumento de medición hasta la emisión del valor de la medición. Se suele distinguir dos partes, el tiempo de retraso, aquel en que se alcanza el 10% del cambio final en el instrumento de lectura y el tiempo de crecimiento o caída, durante el cual se pasa del 10% al 90% del cambio final en el instrumento de lectura.

Otros parámetros:

- Disponibilidad de los sensores
- Resolución espacial
- Mantenimiento
- Porcentaje del intervalo de tiempo fuera de operación

- Equipamiento adicional necesario
- Mano de obra especializada requerida para operación y mantenimiento
- Simplicidad de aplicación y uso
- Confiabilidad y compatibilidad
- Costo de adquisición, operación y mantenimiento
- Soporte

9.1.1 Descripción de los diferentes métodos

De acuerdo a la Guías de la Calidad del Aire de la OMS, los métodos de monitoreo se pueden dividir en cuatro tipos genéricos principales con diferentes costos y niveles de desempeño e incluyen a los muestreadores pasivos, muestreadores activos, analizadores automáticos y sensores remotos.

Muestreadores pasivos

Ofrecen un método simple y eficaz en función de los costos para realizar el sondeo de la calidad del aire en un área determinada. A través de la difusión molecular a un material absorbente para contaminantes específicos, se recoge una muestra integrada durante un determinado periodo (que generalmente varía entre una semana y un mes). Los bajos costos por unidad permiten muestrear en varios puntos del área de interés, lo cual sirve para identificar los lugares críticos donde hay una alta concentración de contaminantes, como las vías principales o las fuentes de emisión, y donde se deben realizar estudios más detallados. Para aprovechar al máximo esta técnica, se debe contar con un diseño cuidadoso del estudio y vigilar los procedimientos de aseguramiento y control de la calidad seguidos en el laboratorio durante el análisis de la muestra.

Muestreadores activos

Las muestras de contaminantes se recolectan por medios físicos o químicos para su posterior análisis en el laboratorio. Por lo general, se bombea un volumen conocido de aire a través de un colector –como un filtro (muestreador activo manual) o una solución química (muestreador activo automático)- durante un determinado periodo y luego se retira para el análisis. Hay una larga historia de mediciones con muestreadores en muchas partes del mundo, lo que provee datos valiosos de línea de base para análisis de tendencias y comparaciones. Los sistemas de muestreo (para gases), el acondicionamiento de muestras, los sistemas de ponderación para el material particulado (MP) y los procedimientos de laboratorio son factores clave que influyen en la calidad de los datos finales.

Analizadores automáticos

Pueden proporcionar mediciones de alta resolución (generalmente en promedios horarios o mejores) en un único punto para varios contaminantes criterio (SO_2, NO_2, CO, MP), así como para otros contaminantes importantes como los COV. La muestra se analiza en línea y en tiempo real, generalmente a través de métodos electro ópticos: absorción de UV o IR; la fluorescencia y la quimiluminiscencia son principios comunes de detección. Para asegurar la calidad de los datos de los analizadores automáticos, es necesario contar con procedimientos adecuados para el mantenimiento, la operación y el aseguramiento y control de calidad.

Sensores remotos

Son instrumentos desarrollados recientemente que usan técnicas espectroscópicas de larga

trayectoria para medir las concentraciones de varios contaminantes en tiempo real. Los datos se obtienen mediante la integración entre el detector y una fuente de luz a lo largo de una ruta determinada. Los sistemas de monitoreo de larga trayectoria pueden cumplir un papel importante en diferentes situaciones de monitoreo, principalmente cerca de las fuentes. Para obtener datos significativos con estos sistemas, es necesario contar con procedimientos adecuados para la operación, calibración y manejo de datos. Estos métodos requieren de mucha atención en la calibración de los instrumentos y el aseguramiento de la calidad para obtener datos significativos.

9.1.2 Ventajas y desventajas de las metodologías

Una amplia variedad de métodos está disponible para la medición de contaminantes en el aire, con una amplia variación en costos y precisión. Los métodos de monitoreo específicos deben ser seleccionados tomando en consideración los objetivos del programa de monitoreo y el presupuesto disponible.

Ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de monitoreo de la calidad del aire

Método	Ventajas	Desventajas
Muestreadores pasivos	4 Muy económicos. 4 Muy simples. 4 No dependen de cables de electricidad. 4 Se pueden colocar en números muy grandes 4 Útiles para sondeos, mapeos y estudios de línea de base.	4 No ha sido probado para algunos contaminantes. 4 Sólo suministran promedios mensuales y semanales. 4 Requieren mano de obra intensiva para su funcionamiento y el consiguiente análisis. 4 No existe un método de referencia para monitorear el cumplimiento. 4 Lenta generación de datos.
Muestreadores activos	4 Económicos. 4 De fácil manejo. 4 Operación y rendimiento confiables. 4 Cuentan con base de datos históricos.	4 Suministran promedios diarios. 4 Requieren mano de obra intensiva para la recolección y análisis de muestras. 4 Requieren análisis de laboratorio.
Analizadores automáticos	4 Han sido debidamente probados. 4 Alto rendimiento. 4 Datos horarios. 4 Información en línea.	4 Sofisticados. 4 Costosos. 4 Demandan alta calificación. 4 Altos costos recurrentes.
Sensores remotos	4 Proporcionan datos en función de la ruta y del rango de concentración. 4 Útiles cerca de fuentes. 4 Mediciones de componentes múltiples.	4 Muy sofisticados y costosos. 4 Soporte, operación, calibración y validación difíciles. 4 No comparable con mediciones puntuales. 4 Visibilidad atmosférica e interferencia.

9.1.3 Factores para la operación

Precisión y confiabilidad

- Métodos instrumentales de alta precisión: Proveen registros continuos de niveles de contaminantes en periodos extensos (semanas o meses) con una mínima intervención del operador, y tiene un alto grado de precisión en la medición. Los niveles de detección de estos sistemas están en un orden de magnitud o más bajo que los niveles de fondo típicos. Como se espera, estos son los métodos de monitoreo más costosos y requieren de una apropiada calibración y operación para asegurar que se alcance una alta precisión.
- Métodos instrumentales de menor precisión: Son usualmente más económicos que los monitores de alta precisión. Sin embargo, requieren la verificación de su operación con mayor frecuencia, y la precisión de la medición está en el orden del nivel de fondo típico. El costo de estos instrumentos es menor a los monitores de alta precisión, aunque los costos se incrementan por la operación y el mantenimiento.
- Métodos manuales para particulados: Generan resultados para un periodo, típicamente de 24 horas. La mayoría de sistemas requieren cambios manuales del filtro de muestreo para cada muestra, aunque también hay disponibles algunos sistemas semi automáticos. La precisión de la mayoría de los métodos manuales para particulados es alrededor del 10% al 20% de los niveles de fondo típicos.
- Métodos de monitoreo activo: Usados para una gran variedad de contaminantes gaseosos. Estos requieren la intervención del operador de manera regular y sólo producen resultados para un periodo, típicamente de 24 horas. La precisión de la mayoría de los métodos activos es sólo ligeramente por debajo de los niveles de fondo típicos, y los métodos algunas veces están sujetos a interferencias por parte de otros contaminantes. Los costos de operación son muy similares a aquellos de los monitores instrumentales de más bajo nivel.
- Métodos de monitoreo pasivo: Son métodos económicos y efectivos para la clasificación de áreas con niveles de contaminación bajo, medio o alto, basado en muestreo a largo plazo (usualmente semanal o mensual). No reportan niveles de contaminación en el corto plazo. Es la opción de monitoreo más económica.

Todos los métodos descritos anteriormente serán parte de los programas de monitoreo. Si se desea demostrar el cumplimento de la normativa nacional, entonces los métodos instrumentales de alta precisión deberán ser usados, salvo para monitoreo de material particulado, donde los métodos manuales son adecuados. Los métodos instrumentales de alta precisión pueden ser usados también en investigaciones donde se requiera entender las vías en las cuales fluctúan los niveles de los contaminantes para un periodo corto (horas o días). Los monitores instrumentales económicos de bajo nivel y los métodos vía húmeda manuales pueden ser usados generalmente para inspecciones preliminares, cuando se quiere obtener los niveles de contaminación de un área en el corto plazo. Si los niveles de contaminación son bajos, entonces estos métodos podrían ser usados para inspecciones durante los años siguientes. Los monitores pasivos deben ser usados para inspecciones amplias. Esto se realiza para confirmar que no se requieren monitoreos en detalle de un área en particular debido a los niveles de contaminación bajos que se encuentren. También pueden aplicarse para priorizar el número de áreas que deben ser seleccionadas para programas de monitoreo detallados.

Presupuesto

Los requerimientos de presupuestos para programas de monitoreo de aire se establecerán

por el tipo de información de monitoreo requerido. Otros factores que pueden tomarse en consideración son la duración del programa, el número de estaciones de monitoreo y cómo

el arrastre a la toma del muestreador de las emisiones de alguna fuente. Es decir, el movimiento del aire alrededor de la entrada de la toma demuestra deberá estar libre de restricciones que afecten el flujo del aire en las cercanías del muestreador, por lo que se recomienda ubicarlo algunos metros alejado de edificios, balcones, árboles, etc. Algunas de las recomendaciones que se fijan en los manuales de los diferentes organismos se presentan a continuación:

- Para asegurar el flujo lo más libre posible, se deben evitar árboles y edificios en un área de 10 metros alrededor del sitio de muestreo y no tomar muestras en las superficies laterales de los edificios.
- En lo posible, deben rechazarse las interferencias en las estaciones de muestreo, por la circulación local que depende de factores topográficos.
- Para minimizar los efectos de las fuentes locales, se recomienda instalar la estación de monitoreo a una distancia de por lo menos 20 metros de cualquier fuente industrial, doméstica o de carreteras con alto tráfico vehicular.
- La entrada del muestreador debe estar entre 1.5 y 4 metros sobre el nivel del piso. Una altura de 1.5 metros se utiliza para estimar exposiciones potenciales del ser humano a situaciones de gran carga de tráfico vehicular. Sin embargo, para evitar el vandalismo en algunos sitios de monitoreo, se prefiere instalar la toma de muestra a una altura de 2.5 metros. Existen algunas circunstancias, para los estudios de los antecedentes de contaminación en ciudades, en donde no es posible cumplir con el requisito de una altura de 4 metros, por lo cual se ha realizado instalaciones de toma de muestra hasta 8 metros de altura.
- La entrada del muestreador no debe localizarse cerca de fuentes de contaminación, para evitar arrastres de plumas de chimeneas domésticas o industriales.
- Para medir los parámetros meteorológicos se recomienda instalar los instrumentos a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo, y tomar mediciones a diferentes alturas con el objeto de obtener gradientes térmicos.

11. Implementación de las estaciones de monitoreo

11.1 Requisitos mínimos

11.1.1 Acceso

El lugar para la ubicación de la estación de monitoreo debe ser accesible en todo momento y debe contar con un área para que los vehículos con el personal responsable ingresen al lugar, así como los vehículos de entrega de los cilindros de gases de calibración para el caso de estaciones con equipos automáticos, de modo que el suministro de los mismos se realice sin dificultad.

La estructura de la estación de monitoreo debe ser diseñada de modo que ofrezca un fácil acceso a los procesos de operación y mantenimiento rutinario de los equipos. Así mismo, deben adecuarse a las condiciones climáticas del área en estudio. Las estaciones con equipos automáticos deben contar con acceso a una conexión telefónica.

11.1.2 Seguridad

La estación de monitoreo automático y las casetas para monitoreo activo deben tener los resguardos suficientes contra el vandalismo y el acceso limitado mediante cerraduras y mallas de seguridad.

11.1.3 Materiales

Las casetas que protegerán a los equipos de monitoreo activo y automáticos deben confeccionarse con materiales de aluminio y acero, además de ser diseñadas para controlar las vibraciones y la luminosidad excesiva sobre los instrumentos. Las casetas, en el caso del monitoreo automático, deben estar protegidas frente a la caída de rayos y el exceso de voltaje.

Los contenedores para el monitoreo pasivo deben ser de PVC y estar lo suficientemente reforzados para soportar los efectos de la lluvia y corrientes muy fuertes de viento.

11.1.4 Suministro eléctrico

El diseño de la estación de monitoreo automática, así como la caseta para el monitoreo activo, debe asegurar suministro eléctrico para los equipos que inicialmente se encuentren funcionando y también para futuras ampliaciones. Los circuitos eléctricos deben llevar la corriente eléctrica necesaria y se debe prever la colocación de un pararrayos, de ser requerido, con la correspondiente toma a tierra.

11.2 Equipamiento necesario para la operación de estaciones automáticas

12.1.1 Distribución de equipos al interior de la estación

Los equipos de monitoreo automático requieren temperaturas estables en el rango de 20 a 25°C, por lo que se requiere un sistema de aire acondicionado. Los equipos de medición deben ubicarse en un estante, de manera que sus partes delanteras y traseras queden al descubierto para facilitar las operaciones de calibración y mantenimiento.

Los muestreadores de material particulado, como el de alto volumen, son generalmente localizados al aire libre sobre la caseta, mientras que los monitores automáticos de partículas y gases son ubicados dentro de la estación (en estantes) recibiendo la muestra de aire del exterior a través de mangueras de material inerte (recomendable teflón).

Existen diferentes recomendaciones de distancias y elevaciones pertinentes para cada contaminante en particular. La entrada del muestreador debe protegerse de manera adecuada de condiciones de tiempo como altas temperaturas, luz solar intensiva, lluvia y viento fuerte, entre otras. El cuadro siguiente resume los criterios de la USEPA para la toma de muestra por contaminante y escala de medición.

Criterios de ubicación de la toma muestra por contaminante y escala de medición

Contaminante	Escala	Altura de la toma de muestra (m)	Distancia vertical y horizontal de las estructuras de soporte (m) [A]
SO_2 [B, C, D, E]	Media Local Urbana Regional	3 – 15	> 1
CO [C, D, F]	Microescala	3 ± 0.5	> 1

	Media Local	3 – 15	
O_3 [B, C,,D]	Media Local Urbana Regional	3 – 15	> 1
NO_2 [B, C,,D]	Media Local Urbana	3 – 15	> 1
PM-10 [B, C,,D, E, G]	Microescala	2 – 7	> 2, sólo horizontal
	Media Local Urbana Regional	2 – 15	
Pb	Microescala	2 – 7	> 2, sólo horizontal
	Media Local Urbana Regional	2 – 15	

[A] Cuando el sensor se localiza en un tejado, esta distancia de separación hace referencia a las paredes, a los parapetos o a los áticos situados en la azotea.

[B] Debe ser > 20 metros de la línea de goteo del árbol y debe estar a 10 metros de la línea de goteo cuando el árbol actúa como obstrucción.

[C] La distancia entre los obstáculos (árboles y edificios) y el muestreador debe ser mayor que dos veces la altura del obstáculo sobre el nivel de las entradas del muestreador.

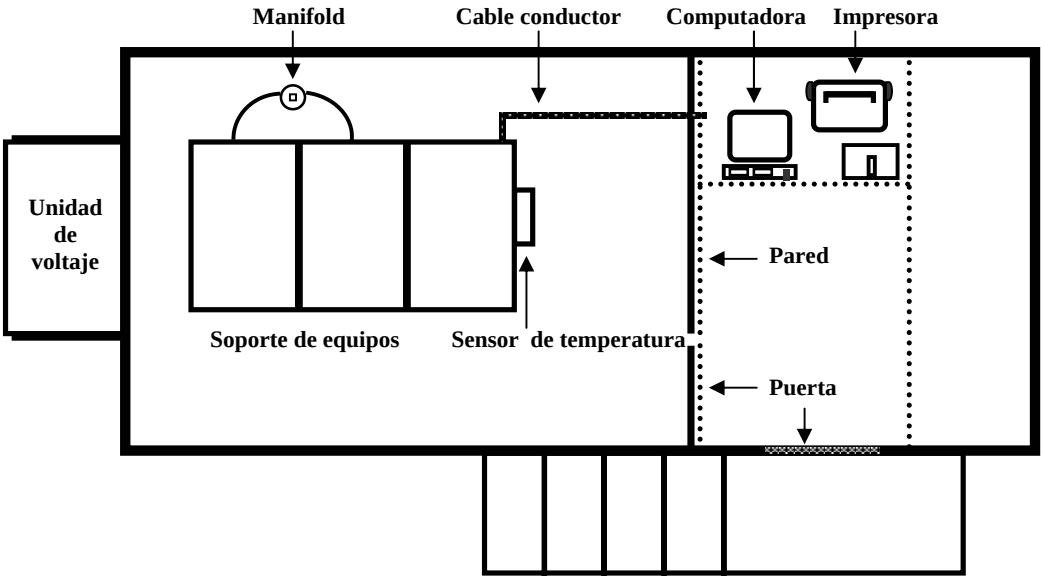
[D] Deben tener circulación de aire sin restricción de 270 grados alrededor del sensor o muestreador, 180 grados si el sensor está en el lado de un edificio.

[E] El sensor o muestreador debe estar ausente de fuentes menores tales como hornos o tubos de incineración. La distancia de separación es dependiente de la altura de emisión de la fuente de menor importancia (como un tubo de emisión), del tipo de combustible o de basura quemada, y de la calidad del combustible (sulfuro, ceniza, o contenido de plomo). Este criterio se diseña para evitar influencias indebidas de fuentes menores.

[F] Para microescalas de sitios de monitoreo de CO, el sensor debe estar > 10 metros de una intersección de calle y preferiblemente en una localización a mitad de calle

[G] Para monitores de PM-10 una distancia de separación de 2 a 4 metros entre los monitores colocados.

Con relación a la distribución de equipos automáticos en la estación de monitoreo, la USEPA plantea el modelo siguiente:



La construcción de la caseta debe tener un tamaño adecuado, (3.0 m x 2.0 m x 2.5 m alto) para acomodar la instrumentación especificada. Cada caseta debe ser acondicionada con lo siguiente:

Sistema eléctrico

Para asegurar el suministro eléctrico a los equipos dentro de la estación y para los que se prevé instalara futuro, se recomienda colocar cuatro circuitos diferentes y separados, cada uno de los cuales debe tener protección para el personal y circuito de emergencia, uno para: el procesamiento de datos y comunicación, un sistema de muestreo y medición, un acondicionador de aire y uno para la ventilación e iluminación. El circuito de emergencia de las casetas debe estar provisto de fuentes que no produzcan contaminación que pudiese ser detectada por los monitores, para ello se debe instalar en el interior de la caseta un sistema de baterías (UPS) sólo para los monitores y los sistemas de almacenaje y comunicaciones. La ventilación e iluminación deben permanecer en operación.

Aire acondicionado

Para mantener la humedad relativa interna normal entre 30 y 60%, pues la humedad por encima del 60 % dificulta la obtención de mediciones reales de SO_2 por su capacidad de reaccionar a condiciones muy húmedas. La temperatura interior debe estar en el rango de +15°C y +30°C, y no debe variar más de ±5°C. Las calibraciones del instrumento deben realizarse dentro de un rango de temperatura conocido, consistente y estable. Las puertas deben mantenerse cerradas, en lo posible, durante la operación en el interior de la caseta para evitar la entrada de aire contaminado y desfavorecer en intercambio de calor con el medio. El control de temperatura en la unidad del sistema de aire acondicionado requerirá de un ajuste al principio del verano e invierno. La unidad de aire acondicionado debe mantener la temperatura interior entre 20 y 25°C considerando la disipación del calor de los equipos de monitoreo (del orden de 3KW) y una temperatura ambiente (externa) que puede oscilar entre los 5 y 35°C. El flujo de aire acondicionado debe ser filtrado antes de su emisión dentro de la estación y debe ser descargado hacia afuera de la estación de modo que no influya en la toma de muestra de aire.

Almacenamiento de cilindros

Para los gases patrones comprimidos a ser utilizados para la calibración de los monitores en el sitio de instalación. El gas de calibración en exceso debe ser descargado a través de un bypass, a fin de evitar sobrepresión cuando el sistema es conmutado de medición a calibración, así mismo su emisión debe realizarse en forma segura desde la estación de medición. En los casos de defecto del sistema o falla de potencia, la descarga incontrolada de los gases de calibración y operación debe ser prevenida, por dispositivos de seguridad, tanto como sea posible.

Infraestructura de trabajo del operador

La infraestructura deberá contener el tablero general con interruptores termo magnéticos y un regulador de voltaje, la mesa de trabajo para el equipo de adquisición de datos (dataloggers) y los equipos de comunicaciones, así como la mesa de trabajo para el operador de la estación.

11.2.2 Equipos de medición de partículas y/o de gases según corresponda y su equipamiento asociado

Los equipos de monitoreo a instalar en la estación dependerán de los objetivos del programa, de los recursos disponibles y de los métodos de medición adecuados para el cumplimiento del objetivo y el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM. Así mismo, debe disponerse la protección de los equipos, el suministro de gases de calibración y la ubicación de los estantes para los mismos.

11.2.3 Sistema de recolección de datos

Los datos generados en los monitores de gases y partículas deben ser almacenados continuamente. Existen diversos sistemas y software comerciales que permiten centralizar, en una unidad electrónica en el interior de la estación (computador o datalogger), los datos generados en los diferentes equipos. Se recomienda elegir un sistema que permita almacenar además de los datos, parámetros de funcionamiento de los equipos y valores de calibraciones para las posteriores correcciones y validaciones de datos.

Los datos resultantes del análisis en laboratorio de los monitores pasivos y activos deben ser almacenados en copia impresa y electrónica.

11.2.4 Sistema de transmisión de datos

La caseta puede contar con un sistema de transmisión de datos obtenidos en la estación remota a la estación central por medio de telemetría, telefonía celular o de línea telefónica o bien la más adecuada dependiendo de los recursos disponibles.

11.2.5 Sistemas de respaldo

Para proteger los equipos ante variaciones de voltaje en el suministro eléctrico, el circuito eléctrico debe contar con adecuadas protecciones eléctricas como también una UPS para mantener en funcionamiento los equipos (al menos la electrónica) durante cortes eléctricos (una capacidad al menos de 15 minutos).

11.2.6 Equipos de medición de variables meteorológicas

Para apoyar las mediciones de calidad de aire es recomendable incluir una estación meteorológica simple para ayudar en la interpretación y predicción de la dispersión de contaminantes. La estación meteorológica, debería constar con instrumentos de medición de:

- Velocidad y dirección del viento
- Humedad relativa
- Temperatura
- Precipitación

Si se cuentan con recursos suficientes se puede incluir instrumentos para medir:

- Radiación solar
- Presión barométrica
- Radiación ultravioleta

Los instrumentos pueden ser instados a un mástil o torre de 10 m de altura (para las mediciones de velocidad y dirección del viento) el que puede estar o no adosado a la caseta de instalación. Las señales de medición de los parámetros meteorológicos pueden estar centralizadas en el datalogger de la estación o bien almacenadas en forma autónoma en otro dispositivo.

11.3 Determinación del número de sitios de medición

El número y distribución de estaciones de monitoreo depende, además del objetivo central del monitoreo y de los factores antes mencionados, del área a ser cubierta, de la variabilidad espacial de los contaminantes y del uso final de los datos requeridos, de la disponibilidad de recursos y de la factibilidad del despliegue de instrumentos. Los criterios a ser considerados para la determinación del número de sitios de medición son los siguientes:

- La cantidad de población que habita en el área que se pretende monitorear.
- La problemática existente en el área que se define en base al tipo de zonas que conforma esa área y los resultados obtenidos de los factores y consideraciones para elegir localizaciones de zonas de muestreo. Por ejemplo, los equipos para medición de ozono se ubicarán en estaciones de monitoreo en zonas alejadas de la influencia de las mayores fuentes de NO_X, durante los periodos de actividad fotoquímica.
- Los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles.

En función de la población la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un criterio para establecer un número promedio de estaciones de muestreo de calidad de aire que dependen del parámetro que se pretenda medir. Estos criterios se resumen en el siguiente cuadro:

Recomendaciones de número mínimo de estaciones

Población urbana (millones)	**Parámetros de monitoreo**					
	PM-10	**SO_2**	**NO_X**	**Oxidantes**	**CO**	**Meteorológicos[1]**
Menos de 1	2	4	1	1	1	1
1 – 4	5	5	2	2	2	2

4 – 8	8	8	4	3	4	2
Más de 8	10	10	5	4	5	3

[1] Velocidad y dirección del viento, Temperatura, Humedad, Gradiente de temperatura

Los valores arriba indicados pueden variar si se consideran los siguientes aspectos:

- En ciudades con alta densidad industrial deben instalarse más estaciones de medición de partículas y dióxido de azufre.
- En zonas en donde se utilicen combustibles pesados se debe incrementar el número de estaciones de dióxido de azufre.
- En zonas con tráfico intenso se deben duplicar las estaciones de monóxido de carbono y óxido de nitrógeno.
- En ciudades con poblaciones mayores a 4 millones de habitantes, con tráfico ligero, se pueden reducir las estaciones de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.
- En regiones con terreno accidentado, puede ser necesario incrementar el número de estaciones.

También existen criterios que recomiendan un número de estaciones basándose no sólo en la cantidad de población de una zona, sino en la concentración del contaminante a medir. En este contexto, se recomienda un mayor número de estaciones en aquellas zonas que presentan mayor densidad de población con altas concentraciones de contaminantes, que excedan los valores límite.

Cabe señalar que las recomendaciones para el número mínimo de estaciones de la OMS son técnicamente importantes pero finalmente el número de estaciones a implementarse dependerá de las limitaciones presupuestarias con las que se operarán las redes de monitoreo. Por ello se recomienda utilizar estaciones temporales o unidades móviles para poder establecer el número de estaciones económicamente viable y que garantice la representatividad del área en estudio.

12. Operación y mantenimiento de las estaciones

12.1 Esquema de funcionamiento de las estaciones (red)

Otro aspecto importante es la organización del personal involucrado en el funcionamiento de las estaciones de monitoreo, de modo que los resultados que generen sean óptimos. El personal de la red de monitoreo debe operar de modo que la experiencia en el trabajo muestre la mejora continua del sistema de monitoreo considerando los criterios de aseguramiento y control de la calidad en las operaciones de monitoreo.

Las redes de monitoreo deben contar con un administrador, responsable de todas las operaciones que en ella se desarrollan, de la planificación de las operaciones de monitoreo y de la administración de los recursos para el cumplimiento del programa de monitoreo establecido. También se debe encargar de la transferencia de información a las autoridades competentes.

Las áreas identificadas dentro de la red de monitoreo que requieren de un responsable o responsables, dependiendo de las actividades a desarrollarse en el marco de los objetivos de monitoreo y de los recursos disponibles son las siguientes:

Aseguramiento de Calidad

- Presentar los reportes y análisis de medición.
- Revisar los procedimientos normalizados de operación.
- Preparar auditorias y coordinar las acciones correctivas.
- Planificar el mantenimiento preventivo.
- Gestionar la adquisición de material de referencia, repuestos y equipos de calibración requeridos para el cumplimiento de objetivos.
- Coordinar rondas de intercomparación para demostrar la trazabilidad de los equipos de medición.

Operación y control de Calidad

- Operar los equipos de medición que cumplan con los objetivos de la medición.
- Realizar la validación de los procedimientos de operación.
- Realizar las operaciones de mantenimiento preventivo.
- Identificar problemas y las correspondientes acciones correctivas.
- Realizar las calibraciones rutinarias.
- Colección de la información (manual o automática).

Reporte y uso de información

- Validar la información generada en la red y su reporte.
- Planificar el proceso de validación de información.

Se debe evaluar al personal encargado de las distintas etapas del monitoreo, verificando las capacidades que tengan para ejercer sus funciones, en base a estudios previos efectuados por el personal en el área específica de trabajo y la experiencia que tienen en las operaciones a su cargo. Se recomienda capacitar al personal en la medida que vayan surgiendo mejoras tecnológicas y éstas sean introducidas a los procedimientos del programa de monitoreo.

12.2 Mantenimiento de los equipos e inspección

Una vez instalados los equipos en el sitio de monitoreo, comienza la ejecución del programa de mantenimiento de los equipos y las visitas de inspección.

Las actividades de mantenimiento previas a la operación son las siguientes:

- El control de suministros y de materiales consumibles que serán utilizados.
- Procedimientos de aceptación de equipos, partes y piezas de acuerdo a las características de los equipos o suministros en general.
- Traslado de los equipos al sitio de monitoreo
- Instalación adecuada acorde con los requisitos para la toma de muestras y sensores.

El programa de operación y mantenimiento incluye:

Programa de visitas

Incluye las actividades a desarrollarse en el sitio del monitoreo: operaciones de cambio de filtros, chequeos de funcionamiento de los equipos de muestreo y monitoreo automático, el mantenimiento preventivo periódico, las verificaciones y calibraciones de los equipos y del

sistema de monitoreo. El cuadro siguiente muestra las actividades a incluir en un programa de visita al sitio de monitoreo.

Actividades de visita al sitio de monitoreo

Operación en la estación	Responsable	Frecuencia de ejecución
Visita regular al sitio (operación y mantenimiento)	Operador del sitio	Semanal
Verificación de cero y span	Técnico de calibración Operador del sitio (si corresponde)	Semanal
Calibración de equipos	Técnico de calibración	Al instalar el equipo Trimestral/Semestral Después de reparaciones
Auditoria interna del sistema	Empresa auditora Técnico distinto al operador responsable	Anual
Auditoria externa del sistema	DIGESA	Cada dos años

La visita del operador y las actividades efectuadas deben ser calendarizadas y documentadas. Las actividades efectuadas por el operador son las siguientes:

- Verificar las condiciones externas del sitio.
- Revisar todos los datos obtenidos en el registro desde la última visita y registrar cualquier cambio.
- Asegurar el funcionamiento adecuado del equipo de acuerdo a los procedimientos normalizados de operación.
- Verificar que la entrada de toma muestra no esté bloqueada o dañada.
- Realizar controles de calibración y diagnóstico (verificaciones de cero y span a los equipos que corresponda y verificar la cantidad restante de presión de gas en los cilindros, cambiar el cilindro cuando la presión de gas sea menor a 215 psig).
- Anticipar problemas futuros.
- Cambiar filtros y limpiar los tubos colectores.
- Instalar y reemplazar el equipo cuando sea necesario.
- Realizar auditorias internas en los sistemas de calibración automática.

Todos los manuales de los instrumentos deben encontrarse en la estación de monitoreo o trasladarse durante la visita, así como mantener registros de las calibraciones realizadas a los instr(8s1 Tc 0.9(l)7n-5.6.1(s 6(in)talar (in)--6.2(s)6.17(en l)7.6(o1 Tf (s si)7.6(ste)-c)5.8

La concentración de gases medida en los monitores continuos considera que el flujo de muestra de gas aspirado por el monitor y sensado en la cámara de reacción se mantiene constante en el valor de operación fijado. Luego, la calibración de flujos consiste en verificar que el flujo aire aspirado por el monitor (en general entre 0.5 y 1.0 L/min en monitores automáticos de gases) se encuentre en los rangos de operación recomendados por el fabricante. Para esta verificación existen diferentes instrumentos, algunos de ellos entregan valores aproximados y otros, entre ellos los considerados de referencia, entregan valores con mayor exactitud. Es recomendable que la calibración de flujos sea realizada con un equipo considerado de referencia para su trazabilidad con un estándar primario.

Calibración de señales analógicas

Las concentraciones obtenidas en los monitores son expresadas en las salidas analógicas de éstos en rangos de voltaje, por ejemplo el rango 0 y 1 V puede ser equivalente a un rango 0 a 1000 ppb (o mg/m^3) en concentraciones, variando linealmente en el tramo. Luego, mediante el uso de medidores de volumen o tester digital (lecturas con 4 decimales o más), se debe verificar y/o ajustar si es necesario las escalas de voltaje según las indicaciones de los manuales de operación respectivo de cada equipo. En algunos casos, también se requiere realizar un ajuste de controladores de flujos de los monitores, en los cuales un flujo determinado está asociado a un valor de voltaje. Dependiendo del monitor, podría ser necesario realizar test adicionales de verificación de señales analógicas, lo cual será definido en el respectivo manual de operación y mantenimiento suministrado por el fabricante o proveedor de equipos.

Calibración de concentraciones

Este proceso consiste en verificar la exactitud de un monitor utilizando para ello una muestra de aire con contaminante de concentración conocida por un período determinado de tiempo. La concentración conocida puede ser obtenida de diversas formas. En el caso de monitores de gases, se pueden utilizar cilindros de gases con concentración conocida (debidamente certificada), la cual puede ser introducida en la toma de muestra del monitor directamente (sin diluir) o previamente en otro equipo denominado dilutor, disminuir la concentración a un valor deseado mezclándola con aire limpio para luego ingresarla al monitor. Otra opción es la utilización de tubos de permeación, los cuales son instalados en el interior de los monitores, para una determinada temperatura permitir la liberación de una concentración conocida del gas. Este método es considerado solamente como estándar de transferencia, es decir requiere de verificación adicional para ser trazable a un estándar primario. En el caso de monitores de ozono, se utilizan lámparas para generar concentraciones conocidas de ozono. Este método también es considerado como estándar de transferencia. En el caso de los monitores continuos de material particulado, los métodos son diferentes. Para monitores TEOM, se utilizan filtros de masa conocida para estimar la concentración en forma indirecta verificando la frecuencia de oscilación en la unidad sensora de masa. En los monitores BETA, el método también es indirecto verificando la atenuación de rayos beta mediante el uso de cintas con opacidad conocida. Esta calibración se realiza al menos cada 3 meses o luego de una reparación de los equipos. Durante la operación de las estaciones de monitoreo, existen diferentes tipos de calibración de las concentraciones de los monitores de gases:

- Calibración CERO y SPAN: Consiste en verificar el cero del equipo, es decir, la respuesta ante una muestra de aire limpio (aire cero) y la respuesta ante una concentración conocida o “SPAN”, la cual normalmente es del orden del 80% del rango de medición del equipo. El tiempo de verificación es del orden de 10 a 15 min por cada

punto de medición. Una vez verificado el equipo se ajusta el equipo, es decir, se interviene el equipo de manera tal que éste responde con valores muy cercanos ante una fase Cero o SPAN. Los equipos modernos permiten ajustar cero y span fácilmente manipulando las pantallas o teclas, para lo cual basta con seguir las recomendaciones de los manuales de operación y mantenimiento de cada equipo. Estas calibraciones pueden ser realizadas mediante uso de cilindros sin diluir, es decir un cilindro de aire cero y un cilindro con la concentración span, o bien mediante el uso de cilindros de gases de alta concentración, dilutores y generadores de aire cero, en este caso, en el dilutor se mezcla el gas y el aire cero para obtener la concentración span y posteriormente se ingresa al monitor. En el caso de monitores de ozono se utilizan lámparas de ozono, proceso que viene incorporado en los monitores de ozono (con autocalibración) o en los dilutores para calibración múltiple (multicalibradores)

- Verificación CERO y SPAN: Esta operación es similar a la calibración CERO y SPAN, pero no se ajusta el equipo. Es decir, solo verifica que el equipo se mantiene en los rangos normales de operación. Sin embargo, si existen desviaciones considerables (ver criterios de aceptación de valores) en la respuesta del monitor respecto a los valores cero o span se debe realizar un ajuste. En la mayoría de las redes, esta operación es realizada en forma automática con frecuencias diarias o semanales (u otros intervalos) a las horas de menor concentración del contaminante para evitar perder información de los máximos niveles, ya que el proceso puede demorar desde 40 minutos hasta 1 hora. Por ejemplo, se recomienda verificar cero y span en la madrugada, e ir alternado las horas, lo cual es importante al construir ciclos diarios de concentración.

- Calibración multipunto: Este proceso además de la verificación del cero, considera la verificación de al menos tres puntos adicionales, los cuales generalmente corresponden a los valores equivalentes al 20%, 40% y 60% de la escala. Esta operación también incluye ajustar el equipo. En general, se recomienda realizar como mínimo, calibraciones multipunto:
  - A intervalos de 6 meses para todos los analizadores de la estación
  - Antes de comenzar a reportar datos (o luego de instalarlo en el sitio de medición)
  - Previo al retiro o traslado de un equipo
  - Luego de una reparación
  - Mensualmente o cada 3 meses en analizadores nuevos para establecer la estabilidad de las mediciones.

- Calibración GPT (Gas Phase Titration) o titulación en fase gaseosa es utilizada para calibrar generadores de ozono y analizadores que están siendo utilizados para calibrar monitores de NO_x. También puede ser utilizada para verificar la concentración de un tubo de permeación y determinar la eficiencia de un convertidor de NO_2. La calibración GPT usa una reacción estequiométrica entre NO y ozono, produciendo NO_2: $NO\,2\,O_3 \mid NO_2\,2\,O_2$

La frecuencia y el tipo de calibraciones de terreno requeridas por un analizador se deben definir en el plan de aseguramiento de calidad para la red. Un esquema habitual incluirá la calibración automática cada 24 horas a través del uso en el lugar de hornos de tubos permeables o cilindros de gas y la calibración manual mediante fuentes independientes usadas durante cada visita. Además de estos procedimientos específicos del sitio, debe disponerse todo lo necesario para las intercalibraciones de la red realizadas en forma regular (generalmente, de 6 a 12 meses) por un equipo de auditores.

En general, se acepta hasta un 15% de desviación de los valores medidos (flujos y/o concentraciones) respecto al esperado durante una etapa de verificación o calibración contra patrones primarios o secundarios (referidos a un estándar primario), en caso contrario se debe realizar un ajuste del equipo y una nueva calibración. Para las verificaciones automática de cero y span realizadas a los monitores de gases con frecuencias diarias o intervalos diferentes (cada 2 días, semanales, etc.), se recomienda controlar cada uno de los valores obtenidos y compararlos contra los valores esperados a fin de realizar las acciones correctivas prontamente evitando generación de información que pueda ser invalidada o no apta para los propósitos de las mediciones.

La USEPA propone como valores límites de desviación ∂15ppb para el cero (1.5 ppm para monitores de CO) y ∂15% para span (con un span cercano al 80% de la escala de medición), en caso de superar estos valores se debe ajustar el equipo, realizar una calibración multipunto e invalidar las mediciones desde la última verificación válida; también propone un control dinámico para las verificaciones automáticas de span en función de las desviaciones estándares (ů) de los últimos valores de span (por ejemplo desde el último ajuste o últimas 30 verificaciones, etc.). En base a esto, el equipo funciona en forma aceptable si la desviación del span es inferior a 1ů. Si la desviación está entre 1ů y 3ů, entonces se recomienda ajustar el equipo, en cambio si la desviación es superior a ů es necesario ajustar el equipo, realizar una calibración multipunto e invalidar las mediciones desde la última verificación válida.

Algunas agencias ambientales, tienen recomendaciones más estrictas para la verificación de cero y span, por ejemplo Environment Canada propone ajustar el equipo si en cualquiera de las fases se tiene:

- 1 valor (span o cero) con desviación sobre ∂3ů
- 2 valores sucesivos con desviación sobre ∂2ů
- 4 valores sucesivos con desviación sobre ∂1ů
- 7 valores consecutivos menores (o mayores) que el valor fijado
- 7 valores consecutivos con tendencia en aumento (o en descenso)
- 8 ciclos recurrentes

Para las calibraciones multipunto también existen indicadores de calidad. En primer lugar se debe graficar los valores obtenidos (con los valores obtenidos en el eje Y), calculando la pendiente **a**, el intercepto **b** y el coeficiente de correlación $\mathbf{R^2}$ de la ecuación de la recta para los puntos (Y = aX + b). Luego, en función de los valores a, b y R^2 se evalúa la calibración:

Calificación de las calibraciones

Evaluación	**a**	**b**	$\mathbf{R^2}$
Excelente	0.95 a 1.05	Ò 3% (del rango)	0.995 a 1.000
Satisfactorio	0.85 a 0.94 ó 1.06 a 1.15	Ò 3% (del rango)	0.995 a 1.000
Insatisfactorio	>1.15 o < 0.85	> 3%	< 0.995

Cuando se obtiene uno de los indicadores en la categoría insatisfactoria debe revisarse la información para determinar si es necesario aplicar factores de corrección o bien invalidar datos.

El manejo de datos involucra el procesamiento y manipulación de los datos crudos que han sido recibidos o bajados desde las unidades de monitoreo. Esto incluye: aplicar factores de

corrección en función de las calibraciones o verificaciones, calcular valores promedios a partir de los datos y manejar los valores ausentes o perdidos ya sea por fallas en los equipos u otras causas.

Se debe verificar que la información recibida en la central de recepción de datos corresponde a los datos generados en los monitores. Para esto debe redactarse un instructivo que permita verificar la coherencia en los valores de salida de las señales análogas (o digitales) de los monitores, expresadas en unidades de voltaje (V o mV) con los valores almacenados en los monitores (o mostrados en sus respectivas pantallas) y con los valores guardados en las unidades centrales de almacenamiento de información. Además, es necesario establecer criterios para:

- Definir las unidades a utilizar: [ppb], [ppm] o [µg/m^3]
- Definir la zona horaria y formato de fecha
- Definir los períodos de promedio o intervalos de tiempo
- Registrar períodos de pérdida de información: Estos períodos pueden corresponder a las calibraciones, verificaciones automáticas de cero y span, mantenimiento de equipos, fallas de equipos, cortes de luz o cualquier actividad que podría significar invalidar datos o aplicar factores de corrección. Para tales efectos se deben establecer planillas que permitan registrar cada uno de los eventos, información que será necesaria en la etapa de validación de datos.

Las concentraciones de gases y material particulado deben estar normalizadas, es decir referidas a condiciones estándares de presión y temperatura (1 atmósfera y 25°C). Para estos efectos se debe verificar si las concentraciones entregadas por los monitores están referidas a las condiciones normales de presión y temperatura, en caso contrario se debe corregir el mediante la siguiente ecuación:

$$Qs \mid Qa * \left(\frac{Ta}{Pa}\right) * \left(\frac{Ps}{Ts}\right)$$

Donde :

T : Temperatura, en K

P : Presión Atmosférica, en Atm

Ps | Presion Estándar, 1 Atm *Pa | presión Atmosférica*

Ts | Temperatura Estándar, 25C *Ta | Temperatura Ambiente*

Qs | Concentración Estandarizada *Qa | Concentración medida*

Por otro lado, producto de la verificación o calibración de cero y span, como también de las calibraciones multipunto de los monitores continuos de gases puede ser necesario aplicar factores de corrección a los valores registrados en estos. En el caso de las verificaciones automáticas de cero y span (con frecuencias diarias o distintas) se recomienda no realizar intervención alguna sobre los datos crudos en las unidades de almacenamiento de información, sino que posteriormente en la etapa de validación de datos aplicar los factores de corrección necesarios. Para corregir los valores se considera la ecuación de la recta:

$$Qsc \mid a * Qc\ 2\ b$$

Donde :

Qsc | Concentracion no corregida

Qc | Concentracion corregida

En función de la ecuación, los datos corregidos son:

$$Qc \quad \frac{Qsc \quad b}{a}$$

Donde:

Qsc Concentración no corregida

Qc Concentración corregida

b z(ceromedido)

a $\frac{(s \quad z)}{SPAN}$, con s spanmedidoy SPAN spanseteado

En el caso de las calibraciones multipunto a y b se calculan a partir de la ecuación de correlación entre los valores (aproximación por mínimos cuadrados).

13.2 Trazabilidad

La trazabilidad es la propiedad de un instrumento de medida que permite referirlo a patrones de medida que generalmente son patrones internacionales o nacionales, a través de una cadena de comparaciones. Todos los patrones que se utilicen en la calibración de instrumentos han de tener trazabilidad con patrones de orden superior (patrones primarios) pertenecientes a un laboratorio acreditado, es decir, que a su vez hayan sido calibrados con un patrón de mayor precisión por un organismo oficial. Estos patrones primarios deben ir acompañados de su certificado de calibración, en donde se indique la fuente de procedencia, la fecha de calibración, la incertidumbre y las condiciones bajo las cuáles se obtuvieron los resultados.

En diversas normas internacionales relacionadas con implementaciones de sistemas de calidad y estándares de mediciones, se hace referencia a la necesidad de mantenimiento de trazabilidad. Así, en la norma ISO-9001:2000 de sistemas de calidad, se especifica que cuando sea necesario, los equipos de medición deben calibrarse o verificarse a intervalos especificados, garantizando siempre que sea posible, la cadena de trazabilidad de las medidas obtenidas hasta patrones nacionales o internacionales. De este modo, los ensayos y las mediciones que se realicen con equipos o sistemas de medida debidamente calibrados, garantizarán la adecuada intercomparación de resultados con otros laboratorios de ensayos.

En la norma ISO 10012/1:1994 (Requisitos de aseguramiento de calidad para equipos de medición - Parte 1: Sistema de confirmación metrológica del equipo de medición), en la cual se toma como referencia el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), se define como aparato o instrumento de medida, todo dispositivo destinado a realizar una medida asociada a unos equipos anexos y se define como patrón toda aquella medida materializada, equipo de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a defini-6.2(ad)-5.6-5.s m.2(da, -1a, t)8.8(do)8(a)5.20.4197 0 TD 0.000(l)5.n1seim5(f)7.....uttimiT

retroalimenta a los operadores del sitio con información. Sólo un intercambio eficiente de información en ambos sentidos puede asegurar que los conocimientos obtenidos se compartan entre los participantes de la red, de modo que se reduzca la probabilidad de que los errores se repitan y se incremente la habilidad general para reconocer las fuentes de error. Las auhditorías y los ejercicios de intercalibración no se deben considerar como simples pruebas destinadas a buscar el error sino como un medio positivo para que todos los interesados puedan obtener la calidad de información necesaria para hacer que el trabajo resulte confiable. No sólo se deben identificar las fuentes técnicas del error sino que también se debe discutir abiertamente todo tipo de problemas que surjan del error humano. Además, estas experiencias deben transmitirse. Una descripción clara y transparente de las fallas producidas ayudará a que otros operadores no cometan errores similares.

Un sistema completo para asegurar la comparabilidad de los datos tanto en el interior de las redes individuales como entre las diferentes redes nacionales utilizará una combinación de las técnicas discutidas en las dos secciones anteriores. El primer método intercalibra los laboratorios que producen gases patrón primarios y aseguran la armonización internacional y el segundo método relaciona los gases patrón primarios con los datos de la red de monitoreo y permite evaluar el nivel de uniformidad dentro de una red de monitoreo individual.

14. Procesamiento de la información

14.1 Recolección y distribución de la información

La transferencia de información desde las estaciones al sistema central de adquisición y procesamiento de datos, se puede realizar mediante comunicación telefónica (red fija o móvil), comunicación radial (UHF, VHF, etc.), satelital, cable u otro sistema de transmisión de datos. Para asegurar la calidad de la información recibida, se recomienda verificar cada paso de transferencia de información, y el sistema en forma integral.

La etapa inicial es la traducción de la variable ambiental a una señal eléctrica, realizada por el monitor respectivo. Ese proceso debe ser asegurado por la correcta calibración del equipo de monitoreo. Se debe verificar que la señal indicada en la pantalla del monitor, coincida con las salidas eléctricas entregadas por el monitor, que pueden ser de tipo análogo (voltajes) o digitales.

La señal que recibe el datalogger puede estar perturbada por caídas de tensión, cuando se conecta a las salidas análogas. Se debe verificar que se mantiene el valor correcto de señal. La conversión de señal análoga a señal digital realizada en el datalogger también debe ser verificada. Se recomienda medir las salidas del monitor, entrada a datalogger y datos guardados por el datalogger, durante las calibraciones y en las verificaciones de funcionamiento. Todas las señales deberían ser consistentes entre sí. Para asegurar que el sistema de comunicación no introduce perturbaciones, se debe verificar la consistencia de datos entre el datalogger y el sistema central de adquisición.

Se recomienda verificar la consistencia global de toda la cadena de transferencia de datos, registrando en el sistema central los datos generados durante las calibraciones multipunto. Por otro lado se debe verificar que la distribución de información desde el sistema central de datos a los usuarios finales se realice manteniendo la consistencia de la información generada, para ello se recomienda comparar periódicamente grupos de datos, escogidos arbitrariamente, y obtenidos de cada una de las bases de datos para periodos iguales,

verificando que su contenido permanezca sin alteración atribuida a los sistemas de envío y recepción de información.

Cuando más del 25% de los datos se han perdido, no debe calcularse el valor promedio para el periodo. Donde se presenten datos no válidos, esos datos no deben ser ingresados en hoja de cálculo para el tratamiento de la información.

14.2 Análisis de la información

El manejo de la información involucra el procesamiento y manipulación de los datos recibidos o recogidos de los equipos de monitoreo. Esto incluye técnicas como la corrección de los datos luego de las recalibraciones, cálculo de los datos promediados y acciones a tomar cuando se pierden datos por falla o inactividad.

Se recomienda verificar las siguientes pautas como buenas prácticas básicas para el monitoreo de la calidad del aire:

- Verificar las fechas y tiempos para asegurar que no existen vacíos en las series de tiempo.
- Las columnas para el formato fecha/tiempo es dd/mm/aa y hh:mm.
- Las columnas deben incluir las unidades usadas.
- Identificar el tiempo que estuvo inoperativo el equipo y retirar los datos no válidos.
- Graficar los datos sin tratar para identificar cualquier anomalía, incluyendo superposiciones y registrarla.
- Ajustar los datos para las calibraciones, cero y escala como referencia en el archivo. Los ajustes realizados deben ser anotados en los registros o cuadernos de trabajo.
- Convertir los datos de ppm o ppb a mg/m^3 o $\mu g/m^3$ (asumiendo 0°C y 101.3KPa).

Los datos de monitoreo deben ser grabados mensualmente en un archivo electrónico y archivados en CD cada seis meses. Los datos crudos y procesados deben ser archivados. Se recomienda guardar copias impresas de toda la información. Idealmente se deben hacer tres copias en CD.

Se debe tener cuidado cuando se interpolan los datos. La interpolación no debe ser realizada donde hay vacíos de datos mayores al 1% del periodo de medición, excepto cuando el nivel diario del contaminante puede ser pronosticados con una exactitud razonable. Cuando se interpolan datos se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

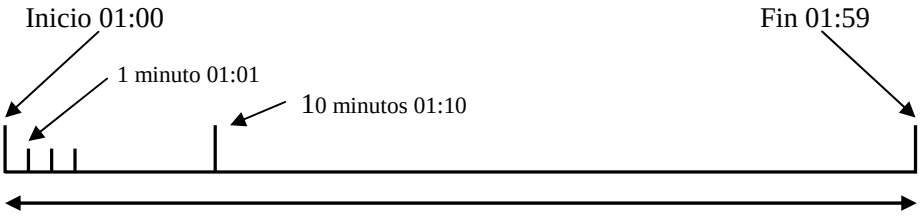
- Naturaleza del contaminante.
- Entendimiento de las condiciones atmosféricas que afectan la dispersión.
- Experiencia con tendencias y ciclos diarios de emisiones y meteorología.
- Tiempos promedio relevantes.

14.2.1 Unidades y periodos establecidos

Existen diferentes métodos para calcular los tiempos promedio de modo que los datos puedan ser comparados con los estándares de calidad del aire.

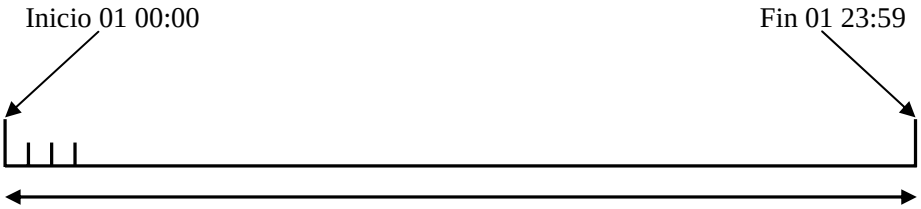
Para definir la hora se recomienda usar el criterio de la “hora posterior”, es decir asignar por ejemplo a la hora 1, el período comprendido entre las 01:00 a 01:59. Otros criterios son la

hora precedente (período 00:01 a 01:00), hora centrada (00:30 a 01:29) o cualquier convención que se adopte.



Promedio de este periodo = valor para la Hora 1

Para definir el día se recomienda definir la hora 00:00 (medianoche) como inicio de día, luego el día estará comprendido entre las 00:00 y las 23:59.



Promedio de este periodo = valor para el Día 1

Cálculo de datos promedio:

- Promedio de 1 hora: promedio de todos los datos colectados en la hora
- Promedio de 8 horas: promedio de ocho valores horarios (u otro periodo de modo que todos los datos dentro del periodo estén incluidos)
- Promedio de 24 horas: mantener una base fija para promediar todos los valores medidos entre medianoche (12 a.m.) y medianoche (12 a.m.). El tiempo inicial y final para el periodo usado debe ser anotado con los datos.
- Promedio mensual, anual u otro periodo: calculado de la misma forma que para los datos de 24 horas. Todos los datos medidos durante el periodo deben ser incluidos, aun datos crudos, u horarios o diarios. Estos deben producir el mismo promedio (el promedio lineal es aditivo). De lo contrario, algo está incorrecto.

Siempre es necesario convertir las mediciones a varias unidades y las conversiones dependen de la temperatura usada. En algunas aplicaciones, la especificación correcta de una temperatura apropiada es vital. De acuerdo a la USEPA, la temperatura de conversión de 25°C debe ser utilizada para reportar los resultados del monitoreo ambiental.

14.2.2 Conversiones

Las concentraciones de aire deben ser medidas por volumen o masa. La mayoría de analizadores mide por volumen. Las mediciones por volumen, por ejemplo partes por billón (ppb) o partes por millón (ppm) dependen de la temperatura y presión, y no son directamente intercambiables a concentraciones basadas en masa. Las concentraciones por masa, por ejemplo $\mu g/m^3$ o mg/m^3 se refieren al peso del gas o contaminante particulado en un metro cúbico de aire seco. Para contaminantes gaseosos, la conversión entre las dos unidades depende del peso molecular del gas (PM) y la temperatura del gas (T).

1 ppb de contaminantes
= 1 litro de contaminante / 10^9 litros de aire
= (1 litro * PM * 10^9 µg/gm * 10^{-3}) / (22.41 * 10^9 litros * (T/273) * 10^{-3} m^3/litro)
= PM * 273 / 22.41 * T

1 ppb de contaminante = 0.0409 * PM µg/m^3 (a 25°C)
1 ppb de contaminante = 0.0416 * PM µg/m^3 (a 20°C)
1 ppb de contaminante = 0.0423 * PM µg/m^3 (a 15°C)
1 ppb de contaminante = 0.0431 * PM µg/m^3 (a 10°C)
1 ppb de contaminante = 0.0446 * PM µg/m^3 (a 0°C)

Por ejemplo:

20 ppb de SO_2
PM = 1*S + 2*O = 32 + 2*16 = 64
A 20°C multiplicar por 0.0416 * 64 = 2.66
Entonces 20 ppb de SO_2 equivalen a 53.2 µg/m^3

A continuación se incluyen dos tablas como referencia para la conversión rápida de ppb a µg/m^3 y viceversa.

Para convertir ppb a µg/m³, multiplicar por:

Contaminante	Símbolo	PM	0°C	10°C	15°C	20°C	25°C
Dióxido de azufre	SO_2	64	2.85	2.76	2.71	2.66	2.62
Dióxido de nitrógeno	NO_2	46	2.05	1.98	1.95	1.91	1.88
Ozono	O_3	48	2.14	2.07	2.03	2.00	1.96
Monóxido de carbono	CO	28	1.25	1.21	1.18	1.16	1.15
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	34	1.52	1.47	1.44	1.41	1.39

Para convertir µg/m³ a ppb, multiplicar por:

Contaminante	Símbolo	PM	0°C	10°C	15°C	20°C	25°C
Dióxido de azufre	SO_2	64	0.350	0.363	0.369	0.376	0.382
Dióxido de nitrógeno	NO_2	46	0.487	0.504	0.514	0.523	0.532
Ozono	O_3	48	0.467	0.484	0.493	0.501	0.510
Monóxido de carbono	CO	28	0.801	0.829	0.844	0.859	0.870
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	34	0.659	0.682	0.700	0.707	0.719

14.2.3 Cálculo y presentación de las estadísticas (modelo simple en Excel)

Se deben diseñar formatos para la transferencia de información apropiada tanto para las capacidades de la red como para los usuarios finales de la información. La comunicación de los datos o de la información se puede realizar mediante varios métodos de transmisión:

- Reporte escrito (en papel). Esto puede proporcionar el acceso a la información de calidad de aire a los usuarios finales, los cuales no tienen acceso a salidas de información más sofisticadas.
- Reportes almacenados en medios magnéticos (discos compactos u otros). Este método de transferencia de los reportes de información es, generalmente, el método más

aplicable para los usuarios finales, ya que dispone de la información para su manejo posterior permitiendo su reproducción fácilmente. La información contenida se encuentra agregada no pudiendo acceder a la información base.
- Reportes por medios de comunicación electrónicos, por ejemplo Internet vía página Web, correo electrónico. Este método de transmisión de reportes se está usando corrientemente, bajo las mismas condiciones que el medio anterior.

Los resultados de los datos de monitoreo pueden ser reportados a los usuarios de la información de varias maneras:

Reporte sobre superaciones de los estándares de calidad de aire

El reporte debe incluir información de aquellas zonas en las cuales fueron superadas las normas de calidad de aire, su ubicación geográfica, concentraciones asociadas y los períodos en los cuales fueron excedidas dichas normas. En algunos casos, el reporte puede requerir detalles de las medidas que serán tomadas para mejorar la situación.

Reportes mensuales de medición

Se debe reportar las condiciones de las mediciones para el mes calendario correspondiente, utilizando formatos estandarizados que permitan visualizar la información recolectada, a través de tablas de datos, resúmenes estadísticos y gráficos.

Reporte anual de calidad de aire

Con la información validada de periodos anuales, se debe generar un reporte que presente un resumen estadístico de los resultados anuales, los cuales pueden ser empleados para propósitos de investigación, especialmente para estudios de efectos en la salud o para fines de modelación de contaminantes atmosféricos, así como también para fines de planificación y control. Este resumen estadístico puede contener:

- Estadísticas anuales tales como recolección de datos, media aritmética y geométrica de los valores horarios, de ocho horas y de 24 horas, según sea el contaminante que se esté analizando y el estándar de calidad de aire al cual se hace referencia.
- Comparación de resultados anuales con estándares internacionales y estándares nacionales.
- Estadísticas de tendencias diurnas, mensuales y de largo plazo (varios años).
- La información del sitio de monitoreo debe ser incluida en los resúmenes de reportes debido a su importancia en la interpretación de los datos resultantes.

Las mediciones continuas (mediciones de material particulado y gases) deben reportar los siguientes aspectos:

- Series de tiempo, para evaluar superaciones de los valores de referencia de la norma vigentes.
- Ciclo diario promedio, para evaluar el comportamiento promedio de los contaminantes.
- Valores extremos (máximo, mínimo) y promedios diarios y mensuales para evaluar estadísticamente los comportamientos de largo plazo de los contaminantes medidos.
- Porcentaje de datos recolectados, para evaluar la eficiencia las mediciones.

Las mediciones discretas (material particulado gravimétrico) deben reportar los siguientes aspectos:

- Valor diario de concentraciones
- Relación PM-2.5/PM-10, para el caso de los monitores dicotómicos
- Superación de los ECA's, número de días de superación y valores alcanzados.

La información del sitio de monitoreo debe ser incluida en los resúmenes de reportes debido a su importancia en la interpretación de los datos resultantes.

La estructura de un reporte diario de información de concentraciones del contaminante analizado, debe incluir información de identificación de la estación y la fecha del monitoreo realizado. Además, debe contener una tabla resumen en que se indiquen los valores de concentraciones máximas del contaminante, en concentraciones de 1, 8 o 24 horas, según sean los requisitos indicados en el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM para el contaminante que se esté midiendo para mediciones continuas con equipos automáticos de medición, o bien en concentraciones de 24 horas para monitoreos discretos de PM-10 con equipos gravimétricos de medición. El reporte debe contener, además, el horario en que se registraron las concentraciones máximas y el número de horas del día de análisis en que la norma fue superada.

El reporte semanal debe incluir el período de medición, el nombre de la estación y una tabla resumen con los valores de concentraciones del contaminante. En este reporte se debe señalar el ciclo semanal indicando cada uno de los días de la semana y su fecha correspondiente, las concentraciones máximas registradas en cada uno de los días y para cada uno de los períodos que indique el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM (1, 8 ó 24 horas o anual si así correspondiera), y las horas asociadas a las ocurrencias de las concentraciones máximas antes señaladas y los números de horas de cada día de la semana en que fue excedida la norma. Además se debe incluir un resumen de información estadística asociada, promedios móviles de 24 horas o del horario que establezca la norma, el porcentaje de horas con información válida, el promedio de valores de concentraciones para cada período de medición y los números de días en que fue excedido el ECA.

Un reporte de concentraciones de material particulado con muestreadores gravimétricos debe contener, en general, la misma información de encabezado que los reportes anteriores, el número de días que se registraron por sobre el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM y, en caso de muestreadores gravimétricos dicotómicos señalar las relaciones de concentración de PM-2.5 sobre PM-10. Esta relación debe también manifestarse en un gráfico de barras en el ciclo de tiempo de evaluación, indicando el valor de la norma para material particulado en las fracciones que se estén analizando.

Los reportes mensuales de mediciones continuas deben incluir el resumen de concentraciones diarias para cada uno de los días del período mensual de medición desagregado en las 24 horas del día. Se deben incorporar los valores diarios promedios, máximos y mínimos registrados a lo largo del mes y los valores horarios promedios, máximos y mínimos registrados a fin de generar los ciclos diarios promedios máximos y mínimos del período mensual de evaluación. El reporte debe incluir también, gráficos de series de tiempo y promedios cada 8 horas del ciclo mensual.

14.3 Suficiencia de información

Para el caso del monitoreo continuo con equipos automáticos, las resoluciones de tiempo incluso pueden llegar a valores cada minuto, los que se promedian para generar valores

horarios, diarios, semanales, mensuales y anuales. Al menos, se requieren un mínimo de 75% de observaciones totales para el procesamiento de información en cada uno de los periodos de evaluación. Por ejemplo, para un intervalo de tiempo anual se requieren 9 promedios mensuales, para un intervalo de tiempo de 24 horas promedio (1 día) se requieren 18 observaciones horarias y para un intervalo de tiempo de 3 horas promedio se requieren tres observaciones horarias consecutivas.

Para el caso de utilizarse muestreos esporádicos o no continuos se requerirá de una captura de datos de por lo menos 90% descartando los valores de muestreo en donde se tengan problemas o dudas en cuanto a su veracidad.

14.4 Validación de la información

Antes que los datos sean aceptados en la base de datos final, los datos erróneos deben ser filtrados o extraídos. Este proceso de validación es vital para maximizar la integridad de los datos. Depende del método de monitoreo o del equipo de medición utilizado, la validación puede ser hecha manualmente o por sistemas de análisis de datos preprogramados. Cual sea el proceso usado se requiere un alto grado de juicio para aceptar o rechazar los datos sospechosos. Tendencias de cero y span, resultados de calibraciones y ajustes efectuados en los parámetros de operación, desarrollo e historia de los servicios realizados a los equipos, cambio en las condiciones estacionales, cambio climático inusual, y los niveles de otros contaminantes durante el mismo período son algunos de los factores considerados en el proceso de validación. Es recomendable que una inspección manual diaria de todos los datos se lleve a cabo por un analista con experiencia en análisis de datos entendido en el área de contaminación de aire, método de medición del analizador y condiciones meteorológicas.

Se recomienda reforzar la relación entre las actividades de operación de la red y de procesamiento de la información. Se deben desarrollar procedimientos estandarizados de validación de la información, que incluyan todos los aspectos relevantes de la operación de la red. Esos procedimientos deben ser desarrollados en conjunto con los encargados de la operación de la red. Se recomienda que el sistema de información incorpore el seguimiento de las variables de estado de operación de cada monitor (voltajes, temperaturas y otras), y genere reportes de advertencia cuando se detecten desviaciones significativas.

Para casos generales, se recomienda realizar las operaciones de validación de información con un desfase no superior a los tres meses, para potenciar su uso. Periodos mayores de desfase podrían inducir a errores.

Sin embargo, para casos especiales tales como “Estados de Alerta”, se recomienda realizar operaciones de validación de información con un desfase no mayor de una hora.

El sistema de información debe, además, generar reportes de estadísticas de captura de datos, tipos de fallas más frecuentes, y otros que apoyen la operación de la red. El personal dedicado a la validación de la información debe tener la preparación y experiencia necesaria para realizar en forma eficiente esas labores. La infraestructura del sistema de información de adquisición y el software para captura de datos y procesamiento, deben ser adecuados para las funciones realizadas. Se recomienda generar procedimientos automatizados de validación de información, que permitan reducir el tiempo de operación de estas actividades. El personal podrá entonces dedicar mayor tiempo a desarrollar procedimientos

de análisis de información y podrá incorporar mayor valor agregado a la información básica que genera la red.

Procedimiento de validación

Los sistemas de medición deben contar con procedimientos propios de validación los cuales deben contemplar criterios cuantitativos y cualitativos. Los criterios cuantitativos hacen referencia a información histórica del sitio de medición, estado operacional de los equipos, calibraciones, rango de medición, etc. Los criterios cualitativos, además deberán incorporar información relevante respecto de las condiciones de la medición, observaciones adicionales, tales como meteorología u otros contaminantes, mediciones independientes de otras estaciones u otros sistemas de medición, etc., que ayuden a la toma de decisión respecto de los datos sospechosos.

Descripción del proceso de validación

El proceso de validación comienza con identificar los requerimientos del proyecto y conocer las salidas provenientes del proceso de verificación de datos. Los datos verificados y los registros de verificación de datos, inclusive la declaración de certificación, deben pasar a través del encargado de la validación, quien también solicitará:

- Registros de calibración de instrumentos
- Libro de campo con el registro de las actividades diarias
- Documentación de las muestras recolectadas
- Documentación de cadena de custodia

Respecto a las entradas provenientes de las actividades analíticas de laboratorio, el encargado de validación debe conocer la documentación necesaria que se debe entregar producto de las actividades de laboratorio. Debido a la particularidad de cada programa de monitoreo, el encargado de validación debe revisar la documentación adecuada que permita determinar la calidad de los datos que se deberían obtener. Entre las etapas de recepción, preparación, análisis y reportes de información se puede generar numerosa documentación. El encargado de validación debe determinar que todos los archivos apropiados sean generados antes del proceso de validación.

Implementación del proceso de validación

- Identificar las necesidades del proyecto y los registros que se debieron haber generado (revisión de los documentos de planificación, en los cuales no sólo se debe identificar los objetivos del análisis sino también los requerimientos específicos que deben ser reunidos, y determinar cuáles son los documentos y archivos específicos a evaluar durante el proceso de validación).
- Obtener los registros que se producen durante la verificación de datos (datos verificados y los registros de verificación de datos, incluyendo los registros de campo y análisis, basados en un completo soporte mediante documentación validada).
- Validar los registros apropiados para determinar la calidad de datos y evaluar si las necesidades o requerimientos del proyecto fueron resueltas realizando la validación.

Producto de la validación

- Datos validados (y aprobados por el encargado del sistema de medición o bien por el usuario de los datos).

- Registros de validación (resumen de validación de los datos al usuario con énfasis en cualquier deficiencia encontrada para poder determinar y describir su impacto en la calidad de los datos global).
- Reportes de validación (aplicable sólo si se estableció en el programa de monitoreo).

14.5 Generación de la base de datos

La información generada en las estaciones de monitoreo se transmite a una central de información en la cual debe existir personal calificado para proceder a la validación, análisis e interpretación de ésta, dejándola disponible y en los formatos adecuados para su posterior uso y aplicación en bases de datos. La administración de la información recolectada requiere la utilización de bases de datos estandarizadas.

Los requerimientos mínimos de información que permitan identificar la estación de monitoreo en el interior de la base de datos, de acuerdo al Protocolo de intercambio de información de la Comunidad Europea establece los siguientes rubros:

Requerimientos mínimos de información para identificar la estación de monitoreo

Tema	Descripción
INFORMACIÓN SOBRE LAS REDES	- Nombre - Abreviatura - Tipo de red (industria local, ciudad, zona urbana, aglomeración urbana, provincia, región, país, internacional) - Organismo responsable de la gestión de la red (nombre, datos de la persona responsable, dirección, teléfono y fax, correo electrónico, dirección en Internet) - Referencia horaria (GMT, local)
INFORMACIÓN SOBRE LAS ESTACIONES	- Nombre de la estación - Nombre de la ciudad o localidad, si procede - Número de referencia o código nacional y/o local - Código de la estación - Nombre del organismo responsable de la operación - Organismos o programas a los que se remiten los datos - Objetivo(s) del monitoreo - Coordenadas geográficas (longitud y latitud geográficas y altitud geodésica) - Contaminantes medidos - Parámetros meteorológicos medidos - Otra información: dirección predominante del viento, relación entre distancia y altura de los obstáculos más cercanos, etc.
	Tipo de zona: - Urbana: zona edificada continua - Suburbana: zona muy edificada, zona continua de edificios separados combinada con zonas no urbanizadas (pequeños lagos, bosques, tierras agrícolas) - Rural: todas las zonas que no satisfacen los criterios establecidos para las zonas urbanas/suburbanas
	Tipo de estación en base a la fuente de emisión predominante

Tema	Descripción
	- Tráfico: - Industria - Niveles de fondo - Estaciones no influenciadas ni por tráfico ni por industria
	Información complementaria sobre la estación - Zona de representatividad (radio población de la ciudad) - Estaciones "tráfico": volumen de tráfico estimado (tráfico medio diario anual), distancia con respecto al bordeo de la acera, porcentaje de vehículos pesados, velocidad del tráfico, distancia entre las fachadas de los edificios y altura de los edificios (calle de tipo cañón), anchura de la calle/carretera (calles distintas de las de tipo cañón) - Estaciones "industria": Tipo de industria(s), Distancia de la fuente/zona fuente - Estaciones rurales, subcategorías; próxima a una ciudad, regional, aislada
INFORMACIÓN SOBRE LA CONFIGURACIÓN DE LAS MEDICIONES POR COMPUESTO	Equipos (para cada equipo) - Nombre - Principio analítico o método de medición
	Características del muestreo - Localización del punto de toma de muestras (fachada de edificio, calzada, bordillo, patio) - Altura del punto de toma de muestras - Tiempo de integración del resultado - Tiempo de toma de muestras.

Los datos serán almacenados en las bases de datos como series de tiempo, identificados por lugar, fecha, frecuencia de almacenamiento, indicadores de calidad de datos, etc.

Los análisis estadísticos de los datos de aire pueden llevarse a cabo usando programas como el Excel. Este programa permite realizar análisis multivariados regresiones y correlaciones para analizar las relaciones entre los niveles de los contaminantes y la influencia de las variables, como la altura de la capa de inversión, velocidad del viento, temperatura, etc. Sin embargo, una estadística relativamente simple es suficiente para mostrar los datos clave del monitoreo de la calidad del aire. La estadística puede ser presentada en varias formas, como puede ser mediante distribuciones circulares o mediante histogramas.

14.6 Análisis de correlación

Los análisis de correlación se añaden a la cantidad de información que puede ser obtenida de los datos del monitoreo, particularmente cuando se determinan fuentes de contaminación. Los niveles de contaminación altos pueden deberse a dos principales factores: la existencia de emisiones fuertes o por una dispersión mínima de contaminantes. Esto puede generar una dificultad para determinar la fuente de contaminación. Por ejemplo, si observan más altas concentraciones de monóxido de carbono durante la noche que durante la mañana, esto puede deberse a que una fuente generadora de CO opera de noche (como calefacciones domésticas) o puede ser que las emisiones de CO durante la mañana y la noche son las mismas (por ejemplo, sólo emisiones vehiculares), pero se forma una capa de inversión de temperatura en la noche y mantiene a los contaminantes cerca del suelo y por ende incrementa las concentraciones de CO ambiental.

En estos casos, la fuente de CO puede ser mejor determinada mediante la observación de la correlación con otro gas, por ejemplo, los óxidos de nitrógeno. Estos óxidos son emitidos principalmente por motores de tráfico vehicular, y en menor cantidad de calefacción doméstica. Si la calefacción doméstica contribuye significativamente a las emisiones de CO, entonces la relación NO_X/CO debe disminuir durante la noche. Viceversa, si la relación NO_X/CO se mantiene constante durante el día y la noche entonces esto puede indicar que la mayoría de emisiones de CO provienen sólo del tráfico vehicular, y que la calefacción doméstica contribuye de manera mínima.

Este es un ejemplo donde la correlación (o relación promedio) entre dos contaminantes de aire contiene más información que dos contaminantes examinados separadamente. Sin embargo, no hay que olvidar que las reacciones químicas pueden cambiar las concentraciones de los contaminantes en el aire, conduciendo a la reducción de una de las especies, pero no de la otra. Además, la altura a la que los contaminantes son monitoreados debe ser considerada como la altura a la cual son emitidos, si un contaminante es emitido al nivel del suelo mientras que otro es emitido de una chimenea alta, entonces la relación dependerá de la altura a la cual son monitoreados. Finalmente, se debe recordar que no importa cuan concluyente aparece un estudio de correlación con relación a las fuentes contaminantes, esto debe ser siempre establecido claramente cuando los reportes establecidos con las atribuciones de la fuente son publicados.

Referencias

1. BSI. EN 13528-1:2002. Diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours – Requirements and test methods. Part1. General Requirements ISBN 0 580 40576 1. United Kingdom, 2002.

2. BSI. EN 13528-2:2002. Diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours – Requirements and test methods. Part2. Specific requirements and test methods. ISBN 0 580 40577 X. United Kingdom, 2002.

3. BSI. EN 13528-3:2003. Diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours – Requirements and test methods. Part3. Guide to selection, use and maintenance. ISBN 0 580 43131 2. United Kingdom, 2003.

4. CONAM. Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire. Decreto Supremo N° 074-2001-PCM. Lima, 2001.

5. CONAM. Reglamento de los niveles de estados de alerta nacional para contaminantes atmosféricos. Decreto Supremo N° 009-2003-SA. Lima, 2003.

6. CONAMA. Elaboración de reglamentos y protocolos de procedimientos para el aseguramiento de la calidad del monitoreo de contaminantes atmosféricos. CENMA. Chile, 2003.

7. INDECOPI. Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM_{10} en la atmósfera. NTP 900.030. Lima, 2003.

8. INDECOPI. Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de monóxido de carbono en la atmósfera (fotometría infrarroja no dispersiva). NTP. 031. Lima, 2003.

9. INDECOPI. Método de referencia para la determinación de plomo en materia particulado suspendido colectado en el aire ambiental. NTP 900.032. Lima, 2003.

10. INDECOPI. ISO 9001:2000 Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos. NTP ISO: 9001. Lima, 2001.

11. INDECOPI. ISO 10012:2003. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. NTP: 10012. Lima, 2003.

12. INDECOPI ISO 17025:2000. Requisitos generales para la competencia de laboratorios e ensayo y calibración. NTP ISO: 17025. Lima, 2001.

13. Korc M., Farías, F., Cerda R. El proceso de fijación y revisión de normas de calidad del aire. OPS/CEPIS/PUB/00.50. Lima, 2000.

14. Martínez A. P., Romieu I.: Introducción al Monitoreo Atmosférico. ECO. México, 1997.

15. Ministry for the Environment. Good-practice guide for air quality monitoring and data management. New Zealand, 2000.

16. OMS. Guías para la calidad del aire. OPS/CEPIS/PUB/04.110. Lima, 2004.

17. PNUMA/OMS. Manuales de metodología de GEMS/Aire. Volumen 1. Aseguramiento de la calidad en el monitoreo de la calidad del aire urbano. Serie de manuales de metodología, volumen 1. OPS/CEPIS/PUB/02.82. Lima, 2002.

18. PNUMA/OMS. Manuales de metodología de GEMS/Aire. Volumen 2. Métodos de calibración con patrones primarios e intercalibración de redes para el monitoreo de la calidad del aire. Serie de manuales de metodología, volumen 2. OPS/CEPIS/PUB/02.88. Lima, 2002.

19. USEPA List of designated reference and equivalent methods. Office of Research and Development. Washington, 2004.

20. USEPA. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume I: A Field Guide to Environment Quality Assurance. Office of Research and Development. IBSN EPA/600/R-94/038a. Washington, 1994.

21. USEPA. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume 1I: Part 1 Ambient Air Quality monitoring Program Quality System Development. Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park. IBSN EPA-454/R-98-004.USA, 1998.

Glosario de terminos [1]

AEROSOL. Suspensión de partículas sólidas, líquidas o de ambos tipos en un medio gaseoso, con una velocidad de descenso mínima.

AMBIENTE: Conjunto de todas las condiciones externas que influyen sobre la vida, el desarrollo y la supervivencia de un organismo.

AUDITORÍA. Examen y chequeo completo de un instrumento, proceso, etc.

BLANCO. Muestra que carece del contaminantes de interés y que se utiliza como referencia en análisis ambientales.

CALIBRACIÓN. Valoración de la precisión de las mediciones que reporta un instrumento al compararlo con un estándar independiente.

COMBUSTIÓN. Reacción química en la cual un material se combina con el oxígeno durante la evolución del calor o quema.

COMPUESTOS VOLÁTILES. Sustancias que se evaporan con facilidad a temperaturas inferiores a su punto de ebullición.

CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE. Concentración de una sustancia química que no debe excederse bajo ninguna circunstancia en la exposición.

CONTAMINANTE. Forma de materia o energía presente en un medio al que no pertenece, o bien, por arriba de su concentración natural en un medio no contaminado.

CONTAMINANTE PRIMARIO. Contaminante emitido a la atmósfera a partir de una fuente identificable, por ejemplo CO, NO_X, HC, SO_2 y partículas.

CONTAMINANTE SECUNDARIO. Contaminante que se forma por reacción química en la atmósfera, por ejemplo el ozono.

CONTINGENCIA. Estado de alerta ambiental. Estado ene l cual se detectan concentraciones de contaminantes atmosféricos que se acercan a niveles en que pueden causar un daño a la salud o son un riesgo para al misma. Puede haber diferentes niveles de alerta, desde un aviso preliminar hasta el que requiere de acciones de emergencia.

DIÁMETRO AERODINÁMICO DE LAS PARTÍCULAS. Diámetro de una esfera de un g/cm^3 de densidad, con la misma velocidad terminal debido a la fuerza de la gravedad sin viento que la partícula.

DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES. Proceso por el cual un contaminante se traslada sitios remotos de su fuente.

EMISIÓN. Salida de contaminantes hacia el ambiente a partir de una fuente fija o móvil.

[1] Extraído de las referencias 14 y 16

EPISODIO. Hecho o suceso imprevisto en el cual se lleva a cabo una contingencia ambiental.

EROSIÓN. Desgaste o destrucción de las rocas y el suelo por la acción del viento, el agua o el hielo, para dar partículas pequeñas que pueden ser movilizadas por los mismos elementos.

ESTÁNDAR DE CALIDAD DEL AIRE. La máxima concentración de una sustancia potencialmente tóxica que puede permitirse en un componente ambiental durante un periodo definido.

EXPOSICIÓN. Interacción entre un agente tóxico y un sistema biológico. Cantidad de agente químico o físico particular que llega al receptor.

FOTOMETRÍA. Técnica instrumental para medir la intensidad de la luz.

FUENTES FIJAS. Aquellas establecidas en un lugar determinado y su emisión se produce siempre en el mismo lugar.

FUENTES MÓVILES. Aquellas que cambian su ubicación con respecto al tiempo y el área de influencia de sus emisiones por lo que se considera lineal o de superficie.

VALOR GUÍA. Forma particular de guía. Tiene un valor numérico expresado bien como una concentración en el aire ambiental, bien como una ingesta tolerable o un nivel de deposición que está relacionada con el tiempo de exposición.

INVENTARIO DE EMISIONES. Conjunto de datos a partir de los cuales se puede establecer la distribución de as emisiones de un área determinada, con la ubicación de las fuentes más importantes y las cantidades que emiten..

INVERSIÓN TÉRMICA. Fenómeno atmosférico natural en el cual la temperatura del aire no disminuye con la altura y que dificulta la dispersión de los contaminantes atmosféricos y agrava los incidentes de contaminación atmosférica.

MANTENIMIENTO. Conservación y cuidado de los instrumentos, equipos, líneas de muestreo, etc.

MÉTODO DE REFERENCIA. Métodos que se basan en la experiencia fundamentada por varios años y que pueden ser usados por varios usuarios. Contemplan también el procedimiento de calibración utilizando en estándar primario.

MÉTODO EQUIVALENTE. Métodos que han sido sujetos a pruebas adecuadas y cumplen con los requisitos mínimos de instrumentos de medición de calidad del aire.

MUESTRA. Parte seleccionada que se separa de un conjunto y que se considera representativa del mismo conjunto al que pertenece.

MUESTREO. Recolección de una porción representativa para someterla a análisis y ensayos.

NIVEL DE ALERTA. Concentración de contaminantes atmosféricos que la autoridad competente ha decidido que se acerca a la que puede causar un daño a la salud o es un riesgo para ella.

PARTÍCULA. Masa pequeña discreta de materia sólida o líquida.

POLVO. Partículas sólidas pequeñas con diámetro menor de 75 µm que se sedimentan por su propio peso pero que pueden permanecer suspendidas por algún tiempo.

PROTOCOLO. Conjunto ordenado de reglas o procedimientos que se siguen para llevar a cabo una función determinada.

QUIMILUMINISCENCIA. Luz fría o luz resultante de una reacción sin producción de calor.

RADIACIÓN BETA. Corriente de partículas negativas o electrones de lata velocidad y son emitidas pro el núcleo de un átomo.

RAYOS X. Radiaciones electromagnéticas que se producen por la desaceleración de partículas cargadas o por las transiciones electrónicas en un átomo, son similares en naturaleza a la luz UV, pero de mayor energía.

RED DE MONITOREO. Conjunto de estaciones de monitoreo interconectadas en una misma zona.

SENSORES ELECTROQUÍMICOS. Dispositivos compuestos por celdas sensibles que captan o detectan la corriente eléctrica generada por una reacción química.

SMOG FOTOQUÍMICO. Neblina irritante que resulta de la acción solar sobre algunos contaminantes primarios del aire, en particular, los procedentes de los motores de combustión interna.

UMBRAL. Duración mínima de una exposición o concentración mínima de un agente físico o químico que puede causar una respuesta en un organismo.

Lista de abreviaturas

AC	Aseguramiento de la Calidad
CC	Control de Calidad
CO	Monóxido de carbono
CONAM	Consejo Nacional del Ambiente
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
ECA	Estándar de Calidad del Aire
FID	Flame Ionization Detector. Detector de Ionización de Flama
FRX	Fluorescencia de Rayos X
GEMS	Global Environment Monitoring System. Sistema de Monitoreo Global del Ambiente.
GTP	Gas Titration Phase. Fase de titulación gaseosa
H_2S	Sulfuro de hidrógeno
HC	Hidrocarburos
IR	Infrarrojo
IRND	Infrarrojo no dispersivo
ISO	International Organization for Standardization. Organización Internacional para la Normalización
KPa	Kilopascal
KW	Kilovatio
MP	Material Particulado
NBKI	Neutral Buffer Potassium Iodide. Solución Amortiguadora neutral de Ioduro de Potasio
NE	No exceder
NO	Monóxido de nitrógeno
NO_2	Dióxido de nitrógeno

NO_X	Óxidos de nitrógeno
NTP	Norma Técnica Peruana
O_3	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
PCM	Presidencia del Consejo de Ministros
Pb	Plomo
PM	Peso Molecular
PM-10	Fracción de la masa de las partículas cuyo diámetro aerodinámico de corte al 50% es menor a 10 µm.
PM-2.5	Fracción de la masa de las partículas cuyo diámetro aerodinámico de corte al 50% es menor a 2.5 µm.
ppb	partes por billón
ppm	Parte por millón
PVC	Policloruro de vinilo
SA	Salud
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SO_2	Dióxido de azufre
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance. Microbalanza Oscilante de Elementos Cónicos.
UHF	Ultra High Frequency. Ultra Altas Frecuencias.
UPS	Uninterruptible Power Supply. Fuente de Poder Ininterrumpida.
USEPA	United States Environmental Protection Agency. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
UV	Ultravioleta
V	Voltios
VIM	Vocabulario Internacional de Metrología
VHF	Very High Frequency. Muy Altas Frecuencias

ANEXOS

ANEXO 1: CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – RESUMEN DEL INSTRUMENTAL

ANEXO 2: CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MUESTREO

ANEXO 3: CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS – PRESIÓN ATMOSFÉRICA

ANEXO 4: CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS – TEMPERATURA

ANEXO 5: CALIDAD DEL AIRE – 15 DÍAS – DIRECCIÓN DEL VIENTO

ANEXO 6: CALIDAD DEL AIRE – 15 DÍAS – VELOCIDAD DEL VIENTO

ANEXO 7: CALIDAD DEL AIRE – 15 DÍAS – RADIACIÓN SOLAR NETA

ANEXO 8: CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS SEMANAL – MONITOR ACTIVO – PTS/PM_{10}

ANEXO 9: MONITOR AUTOMÁTICO – CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS PTS/PM_{10}

ANEXO 10: CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS – SO2

ANEXO 11: CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS – CO

ANEXO 12: CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS – NO2

ANEXO 13: CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS – 03

ANEXO 14: CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS – H2S

CALIDAD DEL AIRE - HOJA DE DATOS - 15 DÍAS – DIRECCIÓN DEL VIENTO

N° de Semanas: ☐ ☐ Mes: Operador :

Nombre / Número de la Estación:

Método de Muestreo y Análisis:

Ubicación:

Ultima Calibración del Equipo: Equipo de Muestreo:

Días del Mes

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Predominancia (%)
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
Predominancia																

OBSERVACIONES :

CALIDAD DEL AIRE - HOJA DE DATOS - 15 DÍAS – VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)

N° de Semanas: ☐ ☐ Mes: Operador :

Nombre / Número de la Estación:

Método de Muestreo y Análisis:

Ubicación:

Ultima Calibración del Equipo: Equipo de Muestreo:

Días del Mes

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom.	V.Max.	V.Min.
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
Prom.																		
V.MAX																		
V.MIN.																		

OBSERVACIONES :

CALIDAD DEL AIRE - HOJA DE DATOS - 15 DÍAS – RADIACIÓN SOLAR NETA (W/m2)

N° de Semanas: ☐ ☐ Mes: Operador :

Nombre / Número de la Estación:

Método de Muestreo y Análisis:

Ubicación:

Ultima Calibración del Equipo: Equipo de Muestreo:

Días del Mes

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom.	V.Max.	V.Min.
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
Prom.																		
V.MAX																		
V.MIN.																		

OBSERVACIONES :

CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS SEMANAL – MONITOR ACTIVO – PTS / PM_{10}

N° de semana :_____ Verificado por : _____ Muestreo : PTS ☐ PM_{10} ☐

Operador : _____ Analista de Datos : _____

Nombre / Número de la Estación : _____

Tipo de Filtro : _____ Método y Equipo de Muestreo : _____

Fórmula de Conversión a LPM : _____

MUESTREO DE CAMPO							ANÁLISIS DE LABORATORIO			RESULTADO FINAL
Fecha	N° de prueba	H.I.	H.F.	(min) T.M.	(m3/min) C.R (Q) LPM	Vol. (m3)	P.I. (mg)	P.F. (mg)	P.M. (mg)	c. (ug/m3) 25 °C y 1 atm. de presión

Hora Inicial (H.I.) Tiempo Medido (T. M.) Caudal Real (Q) Peso Inicial (P. I.) Peso Medido (P. M.) Concentración (c) Litros por Minuto (LPM)
Hora Final (H.F.) Peso Final (P. F.)

Observaciones : _____
_____
_____

MONITOR AUTOMÁTICO

CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS PTS / PM10

N° de Semanas:☐☐ Mes: Operador :

Nombre / Número de la Estación:

Método de Muestreo y Análisis:

Ubicación:

Ultima Calibración del Equipo: Equipo de Muestreo:

Días

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom.	V.Max.	V.Min.
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
Prom.																		
V.MAX.																		
V.MIN.																		

OBSERVACIONES :

CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS- O3

N° de Semanas:☐☐ Mes: Operador :

Nombre / Número de la Estación:

Método de Muestreo y Análisis:

Ubicación:

Ultima Calibración del Equipo: Equipo de Muestreo:

Días

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom.	V.Max.	V.Min.
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
Prom.																		
V.MAX.																		
V.MIN.																		

OBSERVACIONES :

CALIDAD DEL AIRE – HOJA DE DATOS – 15 DÍAS- H2S

N° de Semanas:☐☐ Mes: Operador :

Nombre / Número de la Estación:

Método de Muestreo y Análisis:

Ubicación:

Ultima Calibración del Equipo: Equipo de Muestreo:

Días

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom.	V.Max.	V.Min.
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
Prom.																		
V.MAX.																		
V.MIN.																		

OBSERVACIONES :