

MANUAL 2

SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE



1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.	6
2.1 Observación del cumplimiento de las normatividad vigente en la materia.	6
2.2 Evaluación de la efectividad de estrategias de control.	7
2.3 Observación de tendencias a largo plazo.	8
2.4 Evaluación de Riesgos para la Salud Humana.	8
2.5 Impacto de Fuentes Específicas.	9
2.6 Estudio de impactos en ecosistemas y edificaciones.	9
2.7 Obtención de Información Básica para Planes de Uso del Suelo.	10
2.8 Validación de Modelos de Dispersión.	10
2.9 Investigación de quejas específicas.	10
2.10 Realización de Estudios Iniciales para Adquirir Información de Fondo.	11
3. COMPONENTES BÁSICOS.	12
3.1 Redes de medición.	13
3.1.1 Equipamiento en las redes de medición.	14
3.2 Sistema de Adquisición y Transmisión de Datos.	15
3.3 Centros de control.	17
3.4 Laboratorios de Análisis, y de Calibraciones y Transferencia de Estándares.	18
3.4.1 Laboratorio de Análisis.	19
3.4.2 Laboratorio de Calibraciones y Transferencia de Estándares.	19
3.5 Almacén General.	21
3.6 Taller de Mantenimiento.	22
3.7 Oficinas administrativas.	25

4. CRITERIOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS DE MEDICIÓN DE CALIDAD DEL AIRE.	26
4.1 Criterios para el establecimiento de un SMCA. Gestión de la Calidad del Aire de tipo correctiva.	26
4.2 Criterios para el establecimiento de un SMCA. Gestión de la Calidad del Aire de tipo preventiva.	28
5. OBJETIVOS DE CALIDAD DE LOS DATOS.	29
6. REFERENCIAS.	31

1. INTRODUCCIÓN

El establecimiento de Sistemas de Medición de la Calidad del Aire, SMCA, ha permitido que las autoridades ambientales de la mayoría de las grandes ciudades en el mundo enfrenten con éxito la problemática urbana de la contaminación atmosférica, que es consecuencia inevitable de las actividades industrial, vehicular, y comercial que se llevan a cabo para satisfacer las necesidades de sus habitantes y dotarlos de servicios.

Los SMCA se han convertido en una herramienta que permite conocer, con niveles aceptables de confiabilidad, la calidad del aire con respecto a contaminantes específicos y formular, con base a los datos obtenidos, las estrategias de control y las medidas oportunas y adecuadas para una efectiva Gestión Ambiental. (OMS-CEPIS, 2004).

Con la información generada a partir de la operación consistente de los sistemas de medición se obtienen el conocimiento y, mediante la interpretación adecuada, el entendimiento de las tendencias de los contaminantes y su relación con las condiciones meteorológicas y climáticas prevalecientes, que son factores importantes en cuanto a su distribución y densidad espacial y temporal, así como las transformaciones a que se ven sometidos en la atmósfera y los mecanismos que intervienen en su dispersión y transporte. Una ventaja adicional de contar con la información es que se tiene acceso a los elementos para elaborar pronósticos de

calidad del aire con suficiente antelación y certidumbre y para activar, en caso necesario, las medidas de contingencia contempladas en los planes respectivos y prevenir de esta manera los efectos negativos de un episodio ambiental por contaminación atmosférica (US-EPA, 2008).

El Capítulo 2 presenta la definición de un SMCA, los objetivos principales que se persiguen con el establecimiento de un SMCA, y los resultados esperados. El establecimiento y cumplimiento de objetivos claramente definidos al principio de la operación de un SMCA serán las principales actividades que garantizarán que los resultados obtenidos sean óptimos.

El Capítulo 3 muestra cuáles son los componentes básicos de un SMCA y describe en qué consisten las actividades que se realizan en cada uno de ellos.

En el Capítulo 4 se exponen algunos criterios para el establecimiento de un SMCA. Estos criterios se describen de manera de tipo correctiva y preventiva.

En el Capítulo 5 se presenta de manera independiente el tema de objetivos de calidad de los datos y los aspectos que deben observar éstos, por su importancia e impactos que tienen en los resultados de la operación de un SMCA.

2. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

Un sistema de medición de la calidad del aire (SMCA) es el conjunto organizado de recursos humanos, técnicos y administrativos empleados para observar el comportamiento de la calidad del aire a través del tiempo en una región dada. Un SMCA debe responder en forma eficiente y confiable a los objetivos del monitoreo y/o muestreo y a las necesidades de información establecidas por la normatividad federal y/o local vigente en materia de calidad del aire (Adaptado de Martínez, 1996).

Dentro de las actividades de un SMCA se encuentran la medición, registro y procesamiento de los datos de calidad del aire.

Los principales productos en cuanto a calidad del aire son: las bases de datos, los indicadores, los informes y los pronósticos de la contaminación atmosférica.

Adicionalmente, debido al tipo de información que generan los SMCA, éstos podrán intercambiar información con los sistemas de vigilancia epidemiológica que opere el Sector Salud a nivel local y/o nacional.

El primer paso en el establecimiento de un SMCA es la definición de los objetivos. Éstos deben escribirse en un lenguaje sencillo y estar claramente definidos. Los objetivos confusos o mal planteados resultarán en programas inefi-

caces, con mal uso de los recursos disponibles e innecesariamente costosos, lo que puede traducirse en datos de discutible calidad. Durante esta etapa se deben tomar en cuenta las necesidades de los usuarios regulares, así como las de los usuarios potenciales. La información y aprovechamiento que se derive de los datos de la medición justificará el costo del sistema.

Cada organización puede definir los objetivos específicos con base en sus necesidades locales o regionales. Sin embargo, se deben tener en consideración los lineamientos establecidos en la normatividad local, nacional e internacional.

El diseño de objetivos múltiples de un SMCA es posible que sea plasmado en papel, pero la práctica ha demostrado que sólo se pueden cumplir eficientemente aquellos objetivos que están enfocados a sólo un tipo de estudio. Es decir, generalmente no es posible utilizar un SMCA diseñado para estudios de tendencias de contaminantes a largo plazo para investigar una queja específica. Aunque es posible modificar el diseño original de un SMCA de tal manera que sirva para otro propósito, no es práctico ni recomendable, ya que se pierde la continuidad de la información y los costos se elevan considerablemente.

Los objetivos pueden clasificarse en dos grupos: El primero incluye aquellos para un programa de medición adecuado a una ciudad promedio, con problemas de contaminación atmosférica ya presentes o potenciales. El segundo grupo abarca objetivos más específicos, que generalmente son opcionales y técnicamente más complejos y pueden, de acuerdo a la situación local, formar parte o no de las actividades rutinarias del sistema.

Para obtener eficientemente la información apropiada para los objetivos que se definan, es aconsejable y casi indispensable que antes de considerar el establecimiento o expansión de un programa de medición de la calidad del aire de cualquier tipo, duración y cobertura, se examine con detenimiento las capacidades reales del SMCA. (OMS-CEPIS, 2004; Martínez, 1996; Morrow, 1984)

Los objetivos que comúnmente se contemplan para el desarrollo de un programa de medición, se presentan y describen en los puntos subsecuentes.

2.1 Observación del cumplimiento de las normatividad vigente en la materia.

Tanto a nivel nacional como internacional, se han desarrollado estándares de calidad del aire, donde se establecen los límites de concentración de contaminantes, con el objetivo de proteger la salud de la población. Un SMCA genera datos de la

concentración de los contaminantes en el aire en tiempo real, lo que permite determinar si se están rebasando o no los estándares de la calidad del aire (Martínez, 1996; USEPA, 2008).

De igual manera, se han desarrollado los procedimientos estándares de medición de la concentración de contaminantes. El cumplimiento de estos procedimientos normados debe ser observado para asegurar que se están siguiendo metodologías comprobadas y que los datos generados con estas metodologías son válidos.

Adicionalmente a la normatividad ambiental y de los procesos de medición, existen normas de procedimientos de control y aseguramiento de calidad, las cuales se recomienda se apliquen para asegurar la calidad de los datos generados por el SMCA. Estos procedimientos van desde el mantenimiento y calibración de los equipos, hasta el manejo y análisis de los datos generados, así como el control de un sistema de gestión de calidad (ver Manual 4).

En paralelo al desarrollo de estos manuales se desarrolló una Norma Oficial Mexicana para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de calidad del aire (NOM-156-SEMARNAT-2008).

2.2 Evaluación de la efectividad de estrategias de control.

Con base en las mediciones que se realizan sobre la calidad del aire se pueden diseñar e implementar medidas para mejorarla. Sólo teniendo pleno conocimiento de qué es lo que se quiere mejorar, se pueden realizar acciones para lograrlo. Dependiendo de los objetivos del SMCA, estas estrategias pueden estar enfocadas a la regulación, vigilancia y restricción de actividad de las fuentes de contaminación (industrias y vehículos generalmente).

En términos de las normas de calidad del aire y su cumplimiento, la información en calidad y en cantidad adecuada obtenida observando estrictamente los procedimientos operativos, será de gran utilidad para desarrollar las capacidades que permitan comparar la información de la calidad del aire, correspondiente a periodos de tiempo definidos, que conjuntamente con los datos meteorológicos de una zona en particular permitirá evaluar con certeza la efectividad de las medidas y acciones aplicadas.

Para evaluar la efectividad de las estrategias de control, es necesario realizar mediciones antes, durante y después de su implementación. De esta manera es posible saber si la o las estrategias cumplieron con su propósito, y si deben conservarse, reforzarse o rediseñarse.

2.3 Observación de tendencias a largo plazo.

Se entiende como tendencia a la detección de los cambios/directrices en el tiempo de la calidad del aire como consecuencia de la actividad urbana y/o industrial. Para este propósito, una red de medición de la calidad del aire pudiera ser suficiente, midiendo o colectando muestras, por períodos relativamente prolongados y con sólo tres o cuatro estaciones dentro de un área urbana. La selección de los sitios de medición debe hacerse cuidadosamente para evitar que queden bajo la influencia de fuentes cercanas de emisión (ver Manual 3).

Debido a las notorias variaciones estacionales de las concentraciones de algunos contaminantes, siempre es importante que durante el estudio de tendencias se asegure que las mediciones sean realizadas ininterrumpidamente a lo largo del año. Los cambios en los patrones del clima que se dan de una estación a otra y de un año a otro pueden afectar las medias anuales, por lo que se requieren datos de cuando menos cinco años consecutivos para observar las tendencias fundamentales.

2.4 Evaluación de Riesgos para la Salud Humana.

La exposición a contaminantes del aire puede causar efectos agudos (corto plazo) y crónicos (largo plazo) en la salud. Usualmente, los efectos agudos son inmediatos y reversibles cuando cesa la exposición al contaminante. Los

efectos agudos más comunes son la irritación de los ojos, dolor de cabeza y náuseas.

A veces los efectos crónicos tardan en manifestarse, duran indefinidamente y tienden a ser irreversibles.

Los efectos crónicos en la salud incluyen la disminución de la capacidad pulmonar y cáncer a los pulmones debido a un prolongado período de exposición a contaminantes tóxicos del aire, tales como el asbesto y berilio (CEPIS, 2009).

En el caso de los efectos agudos, es sustancial contar al menos con mediciones horarias de los contaminantes, de tal manera que puedan reflejar concentraciones pico durante el ciclo diario. Por ello es necesario realizar mediciones precisas y exactas en intervalos más cortos de tiempo utilizando métodos automáticos.

En cuanto a los efectos crónicos, los promedios anuales de concentración de contaminantes pueden ser suficientes, pero debido a las variaciones estacionales es de mayor utilidad, tomar mediciones sobre períodos mensuales lo que permitiría establecer una base suficientemente descriptiva.

Para conocer el impacto de fuentes específicas, que por su tamaño o por alguna característica especial (p.e. la toxicidad de sus emisiones), se deben colocar las estaciones de manera que la concentración ambiental monitoreada resultante sea representativa de las emisiones de estas fuentes. La localización de las estaciones puede determinarse con el auxilio de un modelo de dispersión adecuado al tipo de contaminante de interés.

2.6 Estudio de impactos en ecosistemas y edificaciones.

Los impactos que sufren plantas y árboles, tanto en áreas naturales protegidas como en áreas urbanas, se pueden estimar con base en muestreos de períodos de 24 hrs. Para estudios más detallados es necesario el uso de equipos de medición continua.

El deterioro de los materiales de construcción, debido particularmente al bióxido de azufre, puede estimarse mediante la aplicación de muestreos pasivos. En este caso, las bujías de peróxido de plomo permiten establecer los índices de sulfatación cuando se exponen a la atmósfera por períodos de un mes. Adicionalmente, es de gran utilidad para estos propósitos realizar análisis de precipitación pluvial, especialmente sobre la acidez.

2.5 Impacto de Fuentes Específicas.

2.7 Obtención de Información Básica

para Planes de Uso del Suelo.

Los patrones del uso de suelo y sus actividades asociadas determinan a largo plazo el tipo y cantidad de contaminantes generados en un área urbana. Con el creciente interés por preservar la calidad del ambiente, se convierte en una necesidad real conocer los niveles de contaminación existentes y estimar el impacto a la atmósfera, previo a la construcción de nuevos complejos residenciales o industriales. Lo anterior, con el propósito de desarrollar e implementar las medidas adecuadas de planeación urbana y de gestión de la calidad del aire en la región.

Para cumplir con este objetivo se deben considerar, en el diseño de un SMCA, sitios de medición representativos para cada uso del suelo, tal como áreas residenciales de alta y baja densidad poblacional, zonas industriales y zonas de servicio o comerciales (ver Manual 3).

2.8 Validación de Modelos de Dispersión.

Los modelos de dispersión pueden estar referidos a las emisiones de una fuente o al efecto integral de múltiples fuentes en una comunidad, por lo que las necesidades de medición variarán de acuerdo a éstos. En este sentido, para determinar el tipo, frecuencia y resolución de las mediciones, se deben considerar los requerimientos del modelo así como los propósitos para el cual es utilizado: variaciones de los niveles de contaminación a corto plazo requieren datos de mayor resolución (1 minuto), estima-

ciones de promedios a largo plazo, requieren una menor resolución (1 hora).

Para calibrar un modelo, generalmente es necesaria una red de medición de cobertura amplia y conformada por equipo automático, operando por un período ininterrumpido de al menos un año.

2.9 Investigación de quejas específicas.

El tipo de monitoreo para la atención de quejas puede estar, en contraste con los casos anteriores, deliberadamente dirigido a coleccionar muestras de los contaminantes de las fuentes locales involucradas. Debido a que los resultados estarán influenciados hasta por la más pequeña variación en los patrones del viento, además de incluir equipo de medición continua que detecte los valores pico de corta duración, puede ser necesario disponer de varios muestreadores. Si no se tiene conocimiento previo de los contaminantes, se requerirá hacer una identificación inicial en lugar de instalar estaciones especiales para diversos contaminantes ya que no es práctico. En estos casos, el uso de una unidad móvil de monitoreo atmosférico es lo más recomendable.

2.10 Realización de Estudios Iniciales para Adquirir Información de Fondo.

Se denomina concentración o nivel de fondo a la concentración ambiente resultante de la emisión de otras fuentes distintas a las analizadas. Puede ser consecuencia del aporte de fuentes naturales o de otras fuentes que contribuyan a la contaminación ambiental en la zona de estudio, identificadas o no.

En lugares donde nunca antes se han efectuado mediciones o donde surge un nuevo tipo de problema por contaminación, se puede iniciar un estudio o reconocimiento exploratorio por un período predeterminado utilizando equipos manuales y/o unidades móviles.

Para establecer qué contaminantes deben ser medidos, es importante conocer los tipos y la calidad de los combustibles que se consumen, así como la clase de actividad industrial en el área. Por otro lado, en la planeación de un estudio se deben considerar los periodos donde se espera que los niveles de contaminación sean altos. Por ejemplo, en lugares donde es necesaria la calefacción durante gran parte del año o donde haya cambios drásticos en la meteorología del lugar, es donde se espera que los niveles de contaminación sean altos, y los estudios deben incluir estos períodos.

Los sistemas de medición de la calidad del aire, SMCA, deberán res-

3. COMPONENTES BÁSICOS

ponder en forma eficiente y confiable a los objetivos de diseño establecidos. En este contexto, las componentes funcionales y operativas básicas que se recomienda que contengan los SMCA, en función de sus alcances específicos, se muestran en la figura 1 y se describen en los siguientes puntos.

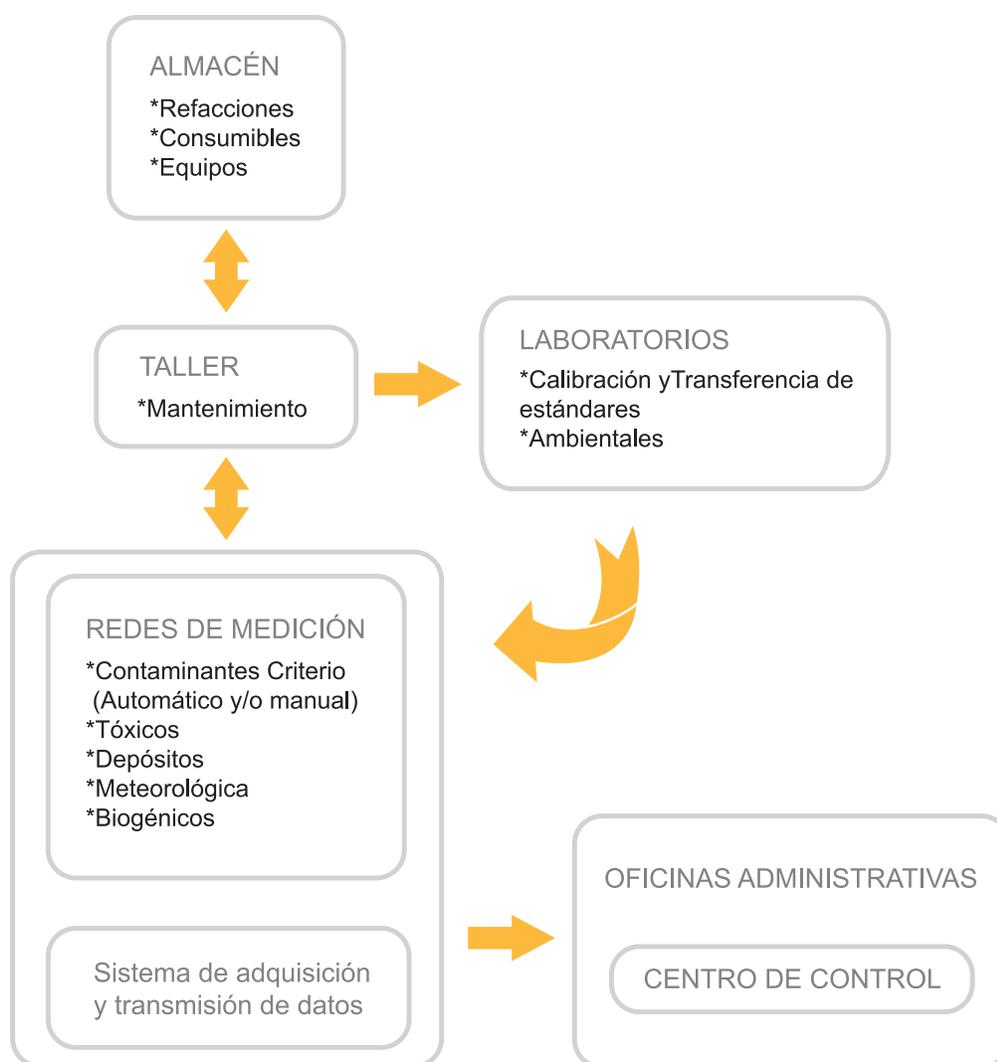


Figura 1. Componentes Funcionales

3.1 Redes de medición.

Una red de medición de la calidad del aire se conforma por el conjunto de dos o más estaciones de medición, las cuales pueden ser de monitoreo y/o muestreo. Para entender el comportamiento de los contaminantes y poder construir una base integral, correlacionada e histórica de datos, es recomendable que las estaciones estén complementadas con equipos de medición de parámetros meteorológicos. En caso de no contar con estaciones meteorológicas propias, el SMCA debe investigar la existencia de este tipo de estaciones operadas por algún otro organismo y solicitar el acceso a la información que éstas generan. En el caso de México, la Comisión Nacional del Agua es la encargada de operar el Servicio Meteorológico Nacional, sin embargo existen otras entidades que miden meteorología, como centros de investigación universitarios, industrias paraestatales y los servicios de administración aeroportuaria.

El diseño de las redes de medición de calidad del aire depende de los objetivos de diseño establecidos en cada SMCA (ver Manual 3).

Por el tipo de instalación, las estaciones de medición de la calidad del aire y meteorológicas pueden ser fijas, semi-fijas o móviles. En general, las estaciones se consideran fijas cuando los equipos de medición y/o muestreo son colocados en una edificación permanente. Son semi-fijas cuando la estación de monitoreo consiste en una caseta prefabricada y es transportada al sitio de monitoreo, donde se ancla y conecta a la red de servicios y puede ser reubicada en caso de ser necesario. Las estaciones móviles son por lo general motorizadas o remolcables, y se emplean sólo para campañas temporales, vinculadas a trabajos prospectivos o de investigación; a su vez, son auxiliares en caso de una falla en alguna estación fija o semi-fija; también pueden ser utilizadas cuando se presentan casos extraordinarios que afecten la calidad del aire, como pueden ser la erupción de un volcán, el accidente de una planta industrial, entre otros.

Algunas estaciones de muestreo, a diferencia de las de monitoreo, tienen la ventaja de que pueden ser reubicadas fácilmente, ya que los equipos que éstas utilizan son diseñados para operar a la intemperie con pocos requerimientos de infraestructura.

Al interior de cada estación de medición de calidad del aire se tienen varios equipos, los cuales se describen en el siguiente apartado.

3.1.1 Equipamiento en las redes de medición.

Las estaciones de medición se conforman de equipos manuales y/o automáticos, para medir los parámetros de calidad del aire que se estipulan en la normatividad vigente (ver Manual 1: “Principios de Medición de la Calidad del Aire”).

No obstante que existe una normatividad mexicana en materia de medición de contaminantes, ésta ha sido rebasada por los avances tecnológicos, por lo que actualmente es insuficiente para regular la totalidad de los contaminantes criterio.

En este contexto, las redes de medición de calidad del aire no deben ser equipadas para su operación regular y para fines de reporte oficial con equipos de carácter experimental o prototipos comerciales, que no hayan sido aprobados o autorizados mediante un procedimiento oficial documentado por las autoridades mexicanas u organismos de reconocimiento internacional (NZ, 2009).

Existen distintos equipos de medición, dependiendo de los parámetros que se requieran medir. Los tipos de equipos que pueden conformar una estación y sus características se presentan en el Manual 3. Los procedimientos de operación, mantenimiento y calibración de equipos de medición de la calidad del aire se presentan en el Manual 4.

El nivel de equipamiento de las redes y estaciones, como la automatización electrónica de los equipos de medición, deben ser tal que los datos que se generen puedan ser transmitidos hacia el centro de control.

3.2 Sistema de Adquisición y Transmisión de Datos.

Los datos obtenidos con los equipos de medición de tipo automático son recibidos por el sistema de adquisición de datos (conocido como datalogger) y enviados al centro de cómputo por medio de un sistema de comunicación remota: Internet, modem, microondas, radio, entre otros (Martínez, 1996).

Las redes de medición pueden generar millones de datos anuales, dependiendo del número de estaciones y el número de parámetros que se estén midiendo en cada una de ellas. Los datos generados de medición de calidad del aire vienen acompañados de registros o bitácoras, tanto manuales como electrónicas, del funcionamiento interno de cada instrumento y las condiciones generales de la estación de monitoreo. Esta información es indispensable para validar la operación del sistema en su conjunto.

La transmisión y almacenamiento de estos datos y registros de operación son una tarea tan importante como la generación misma de los datos, por lo que deben llevarse a cabo bajo un esquema de control y aseguramiento de calidad (ver Manual 4).

El mayor riesgo que puede tener un SMCA es la pérdida de datos y la alteración inadvertida de la información que genera. Por ese motivo, se debe poner especial cuidado en el diseño de las redes de transmisión y los equipos de procesamiento y almacenamiento de datos para no perder información por errores de diseño (saturación de líneas telefónicas, interferencia de ondas de radio, entre otros), mal funcionamiento del equipo (computadoras, dataloggers, modems, entre otros), sabotaje (hackers, virus electrónicos, corte de líneas telefónicas, entre otros) o interceptación de la información por personas ajenas al sistema.

La transmisión de los datos debe satisfacer como mínimo los criterios que se muestran en el Cuadro 1.

TRANSMISIÓN TOTAL

Todas las mediciones realizadas de acuerdo a las normas oficiales mexicanas y los protocolos definidos de muestreo, deben ser transmitidas al centro de cómputo de manera automática y sin interferencia del personal operativo o de mantenimiento, en un periodo no mayor a 15 minutos cada hora. De preferencia, la transmisión de los datos horarios debe ser instantánea, simultánea en todas las estaciones de la red, automática y total.

TRANSMISIÓN SEGURA

La transmisión debe ser segura y no permitir la intromisión de personas o señales externas que puedan sustraer o alterar los datos obtenidos por las redes de medición.

TRANSMISIÓN NÍTIDA Y CONFIABLE

Los datos transmitidos deben permanecer inalterados y no sufrir ningún cambio durante la transferencia o almacenamiento.

TRANSMISIÓN DIRECTA

La transmisión debe ser lo más directa posible, entre la estación y el centro de cómputo, evitando el paso por sistemas ajenos a la administración de los operadores de sistemas de monitoreo, como lo son centrales telefónicas, repetidoras o empresas de servicio de Internet.

TRANSMISIÓN AUDITABLE.

Es necesario que por lo menos cada seis meses exista una revisión de la integridad de los datos transmitidos y recibidos, para lo cual deben existir registros y bitácoras operativas de la red de transmisión así como reportes de calidad.

Adaptado: USEPA, 2008.

Cuadro 1. Criterios indispensables para la transmisión de datos.

El almacenamiento y respaldo de los datos generados y la información operativa de cada estación es una actividad igualmente delicada. Las etapas de almacenamiento temporal y definitivo de datos son las siguientes:

- En el equipo de medición.
- En el sistema de adquisición de datos de la estación.
- En los equipos de transmisión y recepción de datos.
- En el Centro de Control.
- En un archivo electrónico de respaldo.

Las estaciones de medición deberán contar con dispositivos para captura de datos, para que en caso de falla en los sistemas de transmisión, se puedan rescatar los datos de manera manual.

Así, las estaciones deberán estar equipadas con computadoras o equipos electrónicos (datalogger) que permitan el almacenamiento *in situ* de todos los datos generados por el equipo de medición en un periodo mínimo de un mes. Igualmente y de manera redundante, se recomienda que los equipos de medición automáticos de gases y partículas tengan la capacidad intrínseca de almacenar como mínimo hasta una semana de datos.

Es recomendable que en cada estación de medición exista un registro gráfico, adicional o como parte de la bitácora operativa, de diversos parámetros de control, como pueden ser: la temperatura interior de la caseta, las fluctuaciones de la energía eléctrica, el flujo de

las bombas de aire, así como otros parámetros que el fabricante del equipo o los operadores consideren importantes.

Cuando los datos no puedan ser transmitidos automáticamente por causa de fuerza mayor, el operador del sistema tendrá la obligación de recolectarlos *in situ* para cumplir con las necesidades públicas de reporte y los requerimientos de información a nivel local y federal.

En el caso de equipos de medición de tipo manual, la revisión de la generación, adquisición y procesamiento de los datos hasta obtener un resultado final, se llevan a cabo antes, durante y después del muestreo. Por ejemplo, para la medición de partículas suspendidas, antes del muestreo se obtienen los datos relativos al peso inicial del filtro, durante el muestreo se registra la información referente al tiempo y al flujo del muestreo y, después del muestreo se obtiene el peso final del filtro; con esta información es posible determinar la concentración de partículas suspendidas.

3.3 Centros de control.

El centro de control de un SMCA es el espacio donde se concentra, administra y difunde la información de la calidad del aire. Debe tener la capacidad de almacenar en forma segura hasta quince años de datos y realizar un respaldo físico externo de la base histórica de datos. Este último respaldo debe realizarse en un Archivo Histórico oficial del municipio o del estado.

Por su importancia, los centros de control deben contar con sistemas de seguridad que permitan su operación ininterrumpida y protejan la integridad física de los equipos y las personas que ahí laboran. Los requisitos mínimos de seguridad con que deben contar los centros de control son los siguientes:

- Control y registro de acceso de personal.
- Control de condiciones ambientales internas (ej. Aire Acondicionado), en especial cuando se trate de equipos de cómputo cuyas especificaciones del fabricante así lo indiquen y cuando el centro de control se ubique en ciudades o lugares con temperaturas o condiciones de humedad extremas.
- Planta emergente de energía eléctrica.
- Sistema contra incendios.
- Unidades de respaldo automáticas.
- Vigilancia permanente con personal de seguridad.

Los equipos de cómputo y periféricos como pantallas, impresoras, lectoras ópticas (scanners), unidades de disco, teléfonos, entre otros, que sean utilizados para recibir, almacenar, validar y procesar los datos para efecto de reporte y constitución de bases de datos, deben estar adecuadamente señalizados según su función. Los equipos de cómputo deben ser de marca con calidad reconocida y contar con el respaldo técnico del fabricante original. Asimismo, deben tener instalados programas originales con licencias y garantías expedidas de acuerdo a la legislación vigente.

3.4 Laboratorios de Análisis, y de Calibraciones y Transferencia de Estándares.

Los laboratorios, así como los talleres y almacenes pueden estar ubicados en una misma área física. Pero debido a la diferencia de actividades que tienen los laboratorios, y con el fin de aclarar sus funciones individuales es que se ha desarrollado este punto de manera independiente.

Los SMCA generan datos de calidad del aire y de las condiciones meteorológicas a partir de métodos normalizados, en la mayoría de los casos. Por ello, su operación, en general, es similar a la de un laboratorio de ensayos (visto desde el enfoque de la Ley Federal de Metrología y Normalización, LFMN). En este sentido, las normas de calidad para laboratorios ISO17025 y NMX17025 son aplicables al laboratorio de un SMCA.

3.4.1 Laboratorio de Análisis.

Un laboratorio de análisis es el espacio físico que alberga una infraestructura técnica para la caracterización de contaminantes atmosféricos, a partir de las muestras obtenidas en campo. La variedad de parámetros que puedan determinarse está en función, por un lado, del tipo de emisiones atmosféricas características de la región y, por otro lado, de la capacidad del SMCA para implementar y mantener métodos de prueba (físicos y/o químicos), así como de adquirir y mantener en óptima operación los equipos que estos métodos requieren.

En un laboratorio de análisis de calidad del aire, algunos de los parámetros que se determinan comúnmente son: pesaje de filtros, metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, carbón elemental, carbón orgánico, carbón total, iones, entre otros.

3.4.2 Laboratorio de Calibraciones y Transferencia de Estándares.

Un laboratorio de calibraciones y transferencia de estándares, LCTE, es el espacio físico que alberga la infraestructura orientada al establecimiento y mantenimiento de estándares para la calibración de los equipos de medición del SMCA. Su función radica principalmente en garantizar la trazabilidad de las mediciones que se realizan en las estaciones de medición de la calidad del aire.

En este sentido, el LCTE debe contar con materiales y equipos de referencia certificados, que son administrados y mantenidos con base en el sistema de trazabilidad del país. Por lo tanto, el LCTE tiene la función de ser un intermediario que mantiene la cadena que garantiza la medición desde un estándar nacional a cada uno de los equipos de medición del SMCA.

En el Cuadro 2 se presenta la infraestructura básica de un laboratorio de calibraciones y transferencia de estándares, así como los suministros que requiere.

Los SMCA pueden incluir laboratorios de análisis y de calibraciones y transferencia de estándares, como parte de su estructura o bien como servicios externos subcontratados. En este último caso, los laboratorios subcontratados deben estar acreditados para demostrar su capacidad técnica en la aplicación de las metodologías y procedimientos específicos.

Mobiliario e instalaciones	
Muebles.	Mesas de trabajo, escritorios, sillas, estantes.
Instalaciones y servicios.	Teléfono, aire acondicionado, centro de carga eléctrica, contactos eléctricos, drenaje, interruptor de seguridad, regulador de voltaje.
Materiales y equipos de referencia	
Gas patrón.	Dependiendo de los parámetros que se midan el gas patrón es CO, NO o SO ₂ . Está contenido en un cilindro y puede ser un solo gas o una mezcla de ellos. Es recomendable que los gases adquiridos sean aquellos que fueron sometidos a un protocolo de trazabilidad establecido por la USEPA. El gas patrón también es considerado como un suministro del laboratorio.
Fuente de aire cero.	Generador de aire cero de flujo de mayor escala (20 l/min).
Calibrador dinámico.	Equipo con dispositivos controladores de flujo para la generación de concentraciones mediante la dilución del gas patrón.
Medidores de flujo.	De burbuja o de tipo pistón para bajos volúmenes, y de desplazamiento positivo para altos volúmenes.
Equipos para la verificación de sensores meteorológicos.	Cámara de humedad relativa. Generador de revoluciones (velocidad de viento). Discos graduados (dirección de viento). Medidor de torque, brújula.
Equipos de medición de condiciones ambientales.	Termohigrómetro y barómetro calibrados.
Estándar de transferencia de flujo de alto volumen.	Kit de placas o de resistencia variable para la calibración de muestreadores de alto volumen.
Otros.	Manómetros de agua y de mercurio. Multímetro. Generador de señal de voltaje estable. Medidor de resistencia aisladora.
Suministros	
Consumibles.	Medios catalizadores, adsorbentes, absorbentes, y desecantes. Agua destilada. Solventes (alcohol etílico, acetona). Detergente neutro. Paño. Grasa de silicón. Cinta de aislar. Cinta de teflón. Aire comprimido. Cartas gráficas.
Materiales de conexión.	Tuberías de teflón, de silicón y de acero inoxidable. Conexiones de teflón y de acero inoxidable.

Cuadro 2. Infraestructura básica de un LCTE.

Es recomendable que los laboratorios del SMCA también consideren obtener su acreditación propia ante la entidad correspondiente, empleando como base la Norma Mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006 (equivalente a la ISO-IEC 17025:2005), referente a los “Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración”.

En el caso de que el SMCA se apoye en laboratorios externos, la NMX-EC-17025-2006 contempla los requisitos que deben cumplirse para subcontratación de servicios.

3.5 Almacén General.

Debido a la estrecha interacción que se tienen entre los talleres y los almacenes, así como la dependencia de uno con el otro, es que se ha desarrollado de manera conjunta este punto en cual se describen las dos áreas.

El almacén general es un espacio destinado a recibir, albergar y proveer los equipos, materiales, accesorios y suministros del SMCA, cuando se requieran.

En las instalaciones centrales de los SMCA se debe contar con áreas específicas destinadas al almacenamiento de partes (consumibles y refacciones) y otro almacén específico de equipos (muestreadores, analizadores y calibradores, etc.), los cuales, de preferencia deben estar separados físicamente y tener acceso restringido sólo para personal autorizado. Es conveniente asignar el puesto de almacenista a una de las personas que laboran en el área para que se responsabilice, entre otras cosas, del registro de entradas y salidas de equipos y partes. Esta persona es también responsable directo de mantener actualizados los inventarios de equipos y partes, así como de iniciar al proceso de requisición generando formatos de aviso.

En ambos almacenes deben observarse “Buenas Prácticas de Trabajo” en lo relativo a orden y limpieza. En cada almacén, las refacciones o los equipos, según corresponda, deberán colocarse en gabinetes o en gavetas bien identificados de modo que se facilite su localización y conteo.

Es importante señalar que para evitar el paro indefinido de estaciones o de equipos, por falta de herramientas, refacciones o consumibles, el SMCA debe contar con programas anuales de adquisiciones, ya que la compra de equipos y suministros, por ser en su mayoría de procedencia extranjera, debe realizarse con tres meses de anticipación.

El taller debe contar con el inventario suficiente para asegurar no sólo la operación de las estaciones, sino también del taller. En el siguiente apartado se describe la infraestructura que debe tener un taller así como el inventario con el que debe contar.

3.6 Taller de Mantenimiento.

Un taller de mantenimiento es el espacio físico con la infraestructura adecuada para realizar mantenimiento preventivo, correctivo y pruebas de funcionamiento a los equipos del SMCA. Su principal función es mantener los equipos en un óptimo estado de operación, así como reparar aquellos que lo requieran, en el menor tiempo posible.

Es recomendable que un SMCA cuente con un taller de mantenimiento propio si el SMCA opera más de tres estaciones, o que contrate a una empresa que preste este tipo de servicios. En el Cuadro 3 se indica el equipamiento para dicha área.

En caso de no contar con un taller porque el SMCA dispone de pocas estaciones, dentro de las mismas estaciones se pueden acomodar espacios de reparación y mantenimiento. Esta área de reparación y ajuste de equipos es una bodega para las refacciones de reemplazo para la estación. El Cuadro 4 muestra las actividades que se pueden desarrollar en estas áreas.

Tipos de acondicionamiento	Ejemplos de equipamiento y partes
Muebles e instalaciones	
Muebles	Mesa de trabajo, silla, estante (resguardo), escritorio.
Equipamiento	Aire acondicionado, luz, contacto, regulador de voltaje (AVR), Interruptor de seguridad (cortacorriente), teléfono, servicio de agua entubada.
Consumibles	
Consumibles que se reemplazan en corto tiempo por la suciedad.	Tubo de teflón, filtro de la toma de muestra, filtro de cartucho. Filtro de fibra de vidrio para PM10 (filtro o carrete).
Refacciones que se desgastan en varios meses por las suciedades contenidas en la muestra.	Adsorbentes (carbón activado, silica gel y otros) para la adsorción de sustancias de interferencia.
Consumibles necesarios en la verificación periódica como en la limpieza.	Agua purificada, solventes (Alcohol etílico, acetona entre otros), detergente neutro. Paño, grasa de Silicón, liga, cinta de vinilo (Cinta aisladora), cinta plateada, tubos de vinilo, tubos de silicón, cinta selladora, cepillo para lavar, aerosol antioxidante.
Refacciones	
Consumibles que tienen una fricción prolongada por tratarse de la parte giratorio del mecanismo del aparato.	Diafragma, válvula (resina, acero inoxidable), bandas dentadas (bandas de transmisión), bomba de succión de aire. Ventilador pequeño.
Partes que se deterioran por la suciedad contenida dentro de la muestra debido a su uso prolongado.	Filtro contra el polvo para el ventilador, tubo catalizador, Cortador de hidrocarburos y de humedad. Filtro óptico, ventanas de cuarzo, fotómetro y espejos.
Partes que se deterioran en su eficiencia debido a la reducción en su intensidad	Lámpara de fuente de luz (lámpara de rayos ultravioleta, lámpara de rayos infrarrojo). Válvula solenoide, batería de respaldo.
Consumibles secundarios que se reemplazan desde varios meses hasta un año de uso.	Empaque, férula, cintas para impresoras.
Partes que tienden a dañarse por accidentes eléctricos.	Relay, placa base de fuente de energía, entre otros.



Herramientas y otros	
Juego de herramientas	Destornillador largo, corto, llave inglesa, tenaza, navaja, alicates, martillo, mazo, cepillo metálico, lima, serrucho, llaves allen, desarmadores, pinza, brocha, cronómetro, secadora, prensa. Medidor de voltaje digital, caudín para soldar. Reactivador de puntos de conexiones.
	Alambre, pernos de diversos tipos, stock de tornillos.
Aparatos estándar, entre otros.	Flujómetro estándar, termómetro e higrómetro electrónico. Manuales.
Equipamiento deseable	
Refacciones para atender averías.	Aparato obsoleto destinado para uso de sus partes.
Otros	Calibradores (Dilutor, generador de aire cero). Cilindro de gas patrón, regulador entre otros. Osciloscopio, generador de señales de voltaje, graficador.

Cuadro 3. Ejemplo de equipamiento del área de reparación y mantenimiento.

Actividad	Usos
Control de existencia de consumibles.	Adquisición de los consumibles a corto tiempo y su control de entradas y salidas de toda la red de monitoreo.
Control de existencia de refacciones.	Almacenamiento, adquisición y control de entradas y salidas de las refacciones que requieren ser reemplazados debido a la fricción prolongada o por su deterioro.
Reparación y ajuste de equipos averiados.	Reparación y ajuste de equipos de medición averiados. Almacenamiento y control de refacciones y herramientas para reparaciones. Registro del historial de reparaciones.

Cuadro 4. Usos del área de reparación y mantenimiento.

3.7 Oficinas administrativas.

Los SMCA deben ser operados por un equipo humano altamente calificado, que tenga a su disposición los recursos necesarios para cumplir con los programas operativos. En este sentido, debe haber un espacio designado a las oficinas administrativas para el personal técnico y administrativo.

La administración y operación de los SMCA debe estar domiciliada dentro de la cuenca o parcela atmosférica de que se trate, evitando una operación remota de las redes de medición que impida o dificulte su atención.

Para cumplir con los programas operativos, las oficinas administrativas deben contar con vehículos automotores para su desplazamiento y con sistemas de comunicación remota como pueden ser teléfonos celulares, radio localizadores, entre otros, para que tanto el personal técnico y como el administrativo puedan realizar sus funciones.

4. CRITERIOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.

Los SMCA deben diseñarse e integrarse tomando en cuenta todos los aspectos legales, administrativos y técnicos vinculados con la Gestión de la Calidad del Aire, dando especial atención a las necesidades en materia de salud pública y protección de los ecosistemas.

Los criterios para el establecimiento de SMCA pueden estar basados en acciones correctivas o preventivas. Para ambos casos existen distintos criterios, que a continuación se describen.

4.1 Criterios para el establecimiento de un SMCA. Gestión de la Calidad del Aire de tipo correctiva.

En una primera aproximación de gestión correctiva, los SMCA deben instalarse en las ciudades o regiones del territorio nacional con problemas evidentes de contaminación del aire, cuando ocurran los siguientes supuestos, solos o combinados (US-EPA, 2008):

- Existe evidencia técnica y científica de contaminación atmosférica en niveles superiores a los indicados por las normas oficiales de calidad del aire.
- Existe evidencia médica y/o epidemiológica reportada de daños a la salud causados por contaminación atmosférica.
- La población ha manifestado de manera reiterada y masiva, pública, administrativa o legalmente, su preocupación o queja con respecto a la calidad del aire
- Existe evidencia científica de disminución de poblaciones de especies de flora o fauna silvestres consideradas en peligro de extinción, amenazadas o endémicas, causada por fenómenos de contaminación del aire

Asimismo, se recomienda que se instalen SMCA en todas las ciudades mayores a medio millón de habitantes, así como en todas las áreas donde se presenten dos o más de las siguientes circunstancias:

- Registro igual o mayor a 200 mil vehículos automotores en circulación
- Emisión constante y superior a 20 mil toneladas anuales de contaminantes criterio a la atmósfera, provenientes de fuentes de emisión puntuales y de área, incluyendo emisiones domésticas, de industrias y servicios
- Consumo energético total de hidrocarburos refinados superior a 30 mil MJoules per cápita
- Existencia de daño por contaminación atmosférica en edificaciones consideradas como patrimonio arquitectónico histórico
- Áreas Naturales Protegidas receptoras de contaminación atmosférica de origen antropogénico con problemas de acidificación de suelos, pérdida de visibilidad, daño a la flora o fauna silvestres y/o alteraciones ecológicas
- Ecosistemas naturales y áreas urbanas de uso turístico estratégico bajo presión por una calidad del aire deficiente

La recomendación de establecer un SMCA en las ciudades del país que tengan o alcancen el medio millón de habitantes, marca un mínimo necesario de atención al problema de la contaminación atmosférica en nuestro país para los próximos años.

Un escenario ideal a mediano y a largo plazo es aquel en el cual el país cuente con SMCA en todas las ciudades intermedias, en las conurbaciones con más de medio millón de habitantes, así como en las capitales estatales y las áreas o ciudades turísticas y fronterizas más importantes, ya que en todas éstas se registra una mayor intensidad de actividades urbanas, industriales y de servicios ligadas a la emisión de contaminantes atmosféricos.

4.2 Criterios para el establecimiento de un SMCA. Gestión de la Calidad del Aire de tipo preventiva.

Desde el punto de vista precautorio o como una acción de gestión preventiva para mejorar la calidad del aire o prevenir su deterioro, se sugiere se instalen SMCA cuando ocurran alguno de los siguientes supuestos:

- Las tendencias de crecimiento poblacional en una localidad pronostican una concentración urbana superior a 500 mil habitantes en los próximos cinco años, con tasas de crecimiento promedio anual superior a 2%
- La cuenca atmosférica es cerrada con baja circulación de vientos
- Existe una preocupación pública y una conciencia social evidente sobre el problema de la contaminación atmosférica

En materia de administración de ecosistemas naturales, también es recomendable contar con un SMCA en áreas naturales protegidas (ANP), bajo responsabilidad de la administración federal o local, cuando en éstas existan las siguientes condiciones:

- La población total interna del ANP, rural y urbana, sea superior a 100 mil habitantes
- Existan importantes fuentes de emisión de contaminantes que estén afectando la calidad del aire del ANP por fenómenos de transporte y depositaciones. Estas fuentes pueden ser plantas termoeléctricas, refinerías, petroquímicas, industrias químicas, mineras o siderúrgicas, entre otras.
- La visibilidad esté afectada por procesos locales o externos de erosión eólica o transporte de partículas finas

Una vez que ha sido determinada la necesidad de establecer un SMCA, y se han definido los objetivos del mismo, es necesario establecer los objetivos de calidad de los datos. Este proceso servirá para evaluar si la información que se genera con el SMCA es correcta, si satisface los objetivos del mismo sistema y si refleja la calidad del aire de la zona de estudio. El siguiente capítulo describe qué son los objetivos de calidad de los datos y cómo pueden definirse.

5. OBJETIVOS DE LA CALIDAD DE LOS DATOS.

Los objetivos de calidad de los datos (OCD) son criterios que clarifican los objetivos del estudio, definen los tipos apropiados de adquisición de datos y especifican los niveles tolerables de errores de decisión potencial (USEPA, 1996; USEPA, 2006).

El definir los OCD, bajo un esquema de control y aseguramiento de calidad, es una etapa fundamental de cualquier SMCA. Este esquema precisa el conjunto de actividades que aseguran que la información obtenida de las mediciones cumpla con los OCD diseñados; los cuales deben observar los siguientes aspectos (OMS-CEPIS, 2004; e-CFR, 2009; NAPS, 2004):

1. Precisión se refiere al acercamiento del conjunto de valores obtenidos de mediciones idénticas a una magnitud.

2. Exactitud se refiere a que tan cerca del valor real se encuentra el valor medido.

3. Compleción es la relación entre el número de muestras realmente obtenidas y el número que se pudo haber obtenido si se hubiera capturado el 100% de ellas. Se puede medir como el porcentaje de muestras o datos válidos obtenidos. Para fines del manejo de datos, se recomienda que la completación sea al menos de 75% (ver Manual 5. "Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire").

4. Comparabilidad es una de las características que se emplean para describir la calidad de los datos. La comparabilidad de diferentes conjuntos de datos determina como se pueden usar colectivamente para apoyar en el proceso de toma de decisiones. La comparabilidad también se usa para medir la utilidad de los datos al usar técnicas de calidad analítica menos rigurosas. Hay numerosos factores que influyen en la comparabilidad de los datos. Los principales se deben a la recolección y manejo de las muestras, otros, a los métodos analíticos empleados.

5. Representatividad se refiere al grado en el que los datos representan de la manera más fiel las características de una población, la variación de un parámetro en el punto de muestreo, la condición de un proceso, o una condición ambiental.

6. Trazabilidad es la propiedad del resultado de una medida o del valor de un estándar donde éste pueda estar relacionado con referencias especificadas, usualmente estándares nacionales o internacionales, a través de una cadena continua de comparaciones, todas con incertidumbres especificadas. Todas las mediciones realizadas en el SMCA deben ser trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI). Si el SMCA cuenta con un laboratorio de calibraciones, debe asegurar que las calibraciones

y mediciones hechas por el laboratorio sean trazables al SI. Los materiales y equipos utilizados para la calibración de los analizadores, muestreadores y monitores del SMCA deben ser de precisión y exactitud certificada contra los patrones de referencia que son trazables a los estándares primarios nacionales. La trazabilidad de los patrones e instrumentos de medición al SI se establece por medio de una cadena continua de calibraciones o comparaciones vinculándolas a los patrones primarios de las magnitudes correspondientes del SI. Cuando el SMCA utilice servicios de calibración externos, debe asegurar la trazabilidad de la medición mediante el uso de servicios de calibración de laboratorios que puedan demostrar competencia, capacidad de medición y trazabilidad. Para mayor detalle, consultar la Norma Mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006. En el Manual 3 se describen los equipos utilizados para la calibración de los demás equipos de medición, y en el Manual 4 se presentan los procedimientos generales de calibración.

El diseño de los OCD, su evaluación y su ciclo de vida se encuentran desarrollados en el Manual 5.

6. REFERENCIAS.

- Martínez, Bolívar Ana P. y Romieu Isabel. 1996. Introducción al monitoreo atmosférico. ECO / GTZ / Departamento del Distrito Federal, México. 238 pp.
- Morrow, PW. 1984. Toxicological data on NOx: an overview. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 13: 205-227.
- NZ, 2009. Good-practice guide for air quality monitoring and data management, December 2000. Published by the Ministry for the Environment of New Zealand, ISBN 0-478-24005-2.
- NAPS, National Air Pollution Surveillance Network. 2004. Quality Assurance and Quality Control Guidelines, Environmental Technology Centre Analysis and Air Quality Division, *Toxicology and Environmental Health* 1984 13:205-227. Report No. AAQD 2004-1, Environment Canada, Canada, 44 pp.
- OMS-CEPIS, 2004. Guías para la Calidad del Aire. Ginebra, Suiza, 236 pp.
- US-EPA. 1996. Guidance for the Data Quality Objectives Process: EPA QA/G-4. Report No.: EPA/600/R-96/055.
- US-EPA. 2008. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II Part 1. Ambient Air Quality Monitoring Program. U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division. Research Triangle Park, NC, USA. Report No.: EPA-454/B-08-003.
- US-EPA. 2006. Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process. EPA/240/B-06/001. USA, 121 pp.
- Web 1: e-CFR. 2009. Code Federal of Regulations Title 40, Part 58. <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&sid=83bb5eaf3b1720a709ee03206b2fe8b6&rgn=div5&view=text&node=40:5.0.1.1.6&idno=40> . Consultada en septiembre 2009.
- Web 2: CEPIS, 2009. Efectos de la contaminación del aire.pdf. <http://www.cepis.org.pe/bvsci/E/fulltext/orienta/cap2c.pdf>. Consultada en septiembre 2009.

