

# **DOCUMENTO 1**

***El Monitoreo Atmosférico  
en la Gestión de la Calidad del Aire***

## PRESENTACIÓN

La contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales y de salud pública de México. Es un fenómeno inherente al estado económico, poblacional y tecnológico de nuestro país, que tiene sus expresiones más graves en las grandes ciudades y las zonas fronterizas e industriales del territorio nacional. A la vez, la contaminación atmosférica es uno de los problemas más difíciles de comprender, evaluar, normar y controlar, entre otras causas, por la gran cantidad y variedad de las fuentes emisoras, la dilución y/o transformación de los contaminantes en la atmósfera y los efectos que tienen los contaminantes sobre la salud humana y los ecosistemas. Para evaluar y minimizar el impacto de la contaminación del aire en la población y los recursos naturales, es indispensable que el país cuente con sistemas, redes y programas adecuados de monitoreo atmosférico bajo esquemas uniformes de operación y aseguramiento de calidad.

El **Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA)** tiene como objetivo, en su primer etapa, resolver esta deficiencia normativa, al instaurar un programa de monitoreo atmosférico que garantice el diagnóstico y la vigilancia del estado de la calidad del aire a nivel nacional, que genere información real, válida y comparable entre los diferentes sitios y redes del país, como instrumento fundamental en el establecimiento de políticas ambientales de protección a la salud de la población y de los ecosistemas.

Una de las funciones de la SEMARNAT es la generación de información científica y técnica sobre problemas ambientales, para informar a la sociedad, apoyar la toma de decisiones, impulsar la protección ambiental y promover el uso sustentable de los recursos naturales. El Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico incluye el fortalecimiento del **Sistema Nacional de Información sobre Calidad del Aire (SINAICA)**, que se ha desarrollado dentro del Instituto Nacional de Ecología para dar cumplimiento a lo establecido en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) con el objetivo de establecer una administración integral de los datos de calidad del aire que se generan en el país, tanto por las redes de monitoreo urbanas como por las estaciones de monitoreo individuales, ya sea que pertenezcan al gobierno o a la iniciativa privada.

Actualmente, el SINAICA es un espacio virtual de vinculación de sistemas de monitoreo atmosférico locales, en el cual se suministra información gratuita sobre calidad del aire al público en general, lo más cercano posible al tiempo real, a través de Internet. El servicio que brinda el SINAICA de administración, análisis y difusión de los datos de calidad del aire está dirigido a tomadores de decisión, investigadores, académicos y personas interesadas en el tema, por lo

que posee información técnica y normativa, bases de datos históricas y vínculos a otras páginas de Internet nacionales e internacionales dedicadas al tema de Calidad del Aire.

Dentro de este contexto la Agencia de Cooperación Internacional del Japón a través de la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, CENICA encomendaron al Colegio de Ingenieros Ambientales de México (CINAM) la elaboración del estudio denominado “Asesoría Para la Definición de Criterios y Desarrollo de Procedimientos de Monitoreo Atmosférico”, cuya orientación fue concebida para generar directrices tendientes a cubrir diversos requerimientos del PNMA.

Como parte de los alcances específicos del proyecto se han desarrollado seis documentos relativos de Monitoreo Atmosférico en México, cuyos contenidos temáticos se describen a continuación:

### **Documento 1. “El Monitoreo Atmosférico en la Gestión de la Calidad del Aire”.**

Este documento está orientado a dar respuesta a los requerimientos de la primera etapa del PNMA, por lo que incluye esencialmente un diagnóstico de los sistemas de monitoreo atmosférico en México en donde se describe, por una parte, la situación administrativa y operativa que prevalece en las redes de monitoreo de Calidad del Aire que operan en el País, y por otra parte, el marco Legal, Político e Institucional en que se sustenta dicha actividad. En otro capítulo se describe la importancia del monitoreo atmosférico en la Gestión Ambiental, principalmente como instrumentos para alertar a la población y para la gestión con fines de protección a la salud, para el análisis de las tendencias de la calidad del aire, entre otros.

Finalmente en un último capítulo, se presenta la importancia de establecer un sistema de evaluación y acreditamiento de los SMA’s para incidir en la calidad de los datos generados por dichas entidades.

### **Documento 2. “Objetivos y componentes de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico”**

En este documento se efectúan propuestas para el establecimiento de SAM’s a partir de criterios del número de habitantes e inventarios de fuentes y emisiones, aunados a las características particulares de las cuencas o parcelas atmosféricas. En una segunda sección, se pone a consideración del Instituto Nacional de Ecología un sistema de clasificación de las redes y estaciones en función de su representatividad e importancia territorial, así como una

clasificación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en términos del tipo de usos del suelo, tanto en el ámbito urbano como rural. En el capítulo 2, se establecen los objetivos generales de los SMA's que se recomiendan a nivel nacional y se enuncian los criterios utilizados a nivel internacional para la evaluación de la calidad de los datos en términos de representatividad, incertidumbre de medición (precisión, sesgo y exactitud), así como los correspondientes a los límites de confianza e integridad. En el Capítulo 3, se definen los componentes básicos que integran un SMA, y se describen y ejemplifican los principales subsistemas relacionados en cada caso.

### Documento 3. “**Diseño e Instalación de Redes de Monitoreo**”

En este documento se abordan los principales aspectos para el diseño e instalación de SMA's a partir de la definición precisa de objetivos y la caracterización de la cuenca o parcela atmosférica donde se sustente el proyecto. Posteriormente, se enuncian criterios para la selección de los contaminantes y parámetros meteorológicos a evaluar y sus respectivas tecnologías de medición y tiempos de muestreo. En la siguiente sección se enuncian los criterios básicos para la determinación del número de estaciones y requerimientos que deben cubrir los sitios de muestreo seleccionados.

En otra sección, se refieren las características específicas que deben cumplir las estaciones de monitoreo, así como las especificaciones técnicas y criterios de localización de las tomas de muestra.

Finalmente, se presentan las principales consideraciones para la ubicación del centro de computo en función de su importante papel en lo relacionado con la adquisición y almacenamiento de la información generada por las diferentes estaciones de monitoreo.

### Documento 4. “**Operación, Mantenimiento y Calibración de Sistemas de Monitoreo**”

En el capítulo 1, se describen, los principios de detección y las principales características de los equipos de muestreo y/o monitoreo utilizados en los SMA's para la evaluación de los contaminantes del aire criterio.

En el capítulo 2, se refieren a los requerimientos de capacitación y entrenamiento del personal que participa en las actividades de operación, mantenimiento y calibración de los SMA's, y se enuncian los criterios básicos para la selección de equipos. También se incluyen los criterios para la elaboración de Procedimientos Operativos (PO's) que representan una herramienta esencial en los esquemas de Aseguramiento de Calidad.

En el capítulo 3, se establecen directrices generales y los requisitos mínimos con que deben contar los programas de mantenimiento preventivo (PMP) de los SMA's. También se incluyen los aspectos básicos relacionados con la

disponibilidad de partes, refacciones y equipos; la disponibilidad de Instalaciones apropiadas y las características generales de las actividades de supervisión y registro (Bitácoras) que deben documentar en los PMP.

En el capítulo 4, se refieren los aspectos generales de los Programas de Calibración que en este tipo de sistemas tienen una convergencia muy importante con las actividades de mantenimiento en los métodos de prueba que se realizan, mientras que en la parte final se refieren los aspectos relativos de seguridad y atención a emergencias.

#### **Documento 5 “Gestión, Aseguramiento y Control de la Calidad en los Sistemas de Monitoreo Atmosférico”**

El objetivo de este documento es introducir a los responsables de los SMA´s los aspectos básicos para la implantación de un Sistema de Gestión de Calidad en el seno de sus organizaciones, así como también dar algunas instrucciones generales relacionadas con las prácticas de monitoreo atmosférico. El capítulo 3 de este documento proporciona las bases referentes al término de calidad y a un sistema de gestión de la calidad, partiendo de los ocho principios de la gestión de la calidad. Posteriormente, se explica como llegar al diseño y la implantación de un sistema de gestión de la calidad.

El capítulo 4, inicia destacando la importancia de la Política de Calidad como instrumento rector de todas las actividades relacionadas con la calidad. Subsecuentemente, se definen las responsabilidades y funciones con base en la estructura organizacional, asimismo se describen los conceptos básicos de planeación y objetivos de calidad.

En la sección 4.2, se refieren los principales requisitos que establecen las normas de calidad en materia de Aseguramiento de Calidad, relativos al sistema documental, control de documentos, compras, selección de infraestructura y calibración, mientras que en la sección 4.3 se enuncian criterios de Control de Calidad que son aplicables a los SMA´s poniendo especial énfasis en los aspectos relacionados con la revisión, verificación y validación de los datos.

#### **Documento 6 “Procedimiento de Auditoría a Sistemas de Monitoreo Atmosférico”**

Este documento propone un esquema de auditoría federal, bajo los preceptos y lineamientos establecidos por la Ley Federal de Metrología y Normalización relativos a la acreditación y adoptando las directrices y criterios generales del Programa de Auditoría que ha desarrollado la *USEPA*, a partir de la ejecución de Auditorías Técnicas del Sistema, Auditorías de Funcionamiento y Evaluaciones de la calidad de los datos.

Se pretende que la elaboración de estos documentos proporcione una serie de directrices para la elaboración, tanto del futuro reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en materia de monitoreo de la calidad del aire, como de la Norma Oficial Mexicana donde se establezcan los requisitos mínimos que deben de cumplir los responsables de operación de los SMA´s en México.

Finalmente, es importante señalar que los documentos antes descritos, no pretenden ser un manual técnico, sino una guía normativa para diseñar, operar y mantener sistemas de monitoreo atmosférico. Es responsabilidad de las autoridades locales el elaborar sus propios manuales técnicos de detalle y de aseguramiento y control de calidad, de acuerdo a la configuración física y tecnológica de sus sistemas.

# INDICE

	PAG.
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Definición de Sistemas de Monitoreo Atmosférico</b>	<b>4</b>
<b>3. DIAGNOSTICO DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO EN MÉXICO</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Situación actual de las Redes de Monitoreo Atmosférico a nivel nacional.</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Situación Legal, Política e Institucional a nivel nacional</b>	<b>10</b>
<b>3.2.1 Marco Legal</b>	<b>10</b>
3.2.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	10
3.2.1.2 Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera	19
3.2.1.3 Normas Oficiales Mexicanas	22
3.2.1.4 Otras Leyes y Reglamentos relacionados con el Monitoreo Atmosférico	24
<b>3.2.2 Políticas</b>	<b>27</b>
3.2.2.1 Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico	32
<b>3.2.3 Marco Institucional</b>	<b>34</b>
3.2.3.1 SEMARNAT-INE-CENICA	34
3.2.3.2 Procuraduría Federal de Protección al Ambiente	38
3.2.3.3 Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional	39
3.2.3.4 Secretaría de Salud	40
3.2.3.5 Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios	41
<b>4. IMPORTANCIA DEL MONITOREO ATMOSFÉRICO EN LA GESTIÓN AMBIENTAL Y SU UTILIDAD</b>	<b>43</b>
<b>4.1 Importancia para alertar a la población</b>	<b>43</b>
<b>4.1.1 Reportes Técnicos Internos</b>	<b>44</b>
<b>4.1.2 Reportes Externos o Públicos</b>	<b>44</b>
4.1.2.1 Índices de Calidad de Aire	45
4.1.2.2 Publicaciones Periódicas	53
4.1.2.3 Indicadores Estadísticos	54
4.1.2.4 Contingencias Atmosféricas	57
<b>4.2 Importancia como Instrumento de Gestión y Otros usos</b>	<b>64</b>
<b>4.2.1 Herramienta de evaluación para programas de gestión ambiental</b>	<b>64</b>
<b>4.2.2 Correlación con Inventario de Emisiones</b>	<b>67</b>
<b>4.2.3 Modelación</b>	<b>67</b>
4.2.3.1 Modelación Avanzada	68
<b>4.2.4 Usos epidemiológicos a mediano y largo plazo</b>	<b>69</b>
<b>4.2.5 Protección de la vegetación y la agricultura</b>	<b>70</b>
<b>4.2.6 Protección de ecosistemas, materiales y patrimonio histórico por depósitos ácidos.</b>	<b>71</b>

<b>5. IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN Y ACREDITAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO</b>	<b>72</b>
<b>6. GLOSARIO GENERAL DE TÉRMINOS</b>	<b>74</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>79</b>

<b>LISTA DE TABLAS</b>		<b>PAG.</b>
Tabla 3.1	Redes de Monitoreo Atmosférico en México	7
Tabla 4.1.	Categorías del Índice de calidad del Aire de Estados Unidos	47
Tabla 4.2.	Guía de Efectos a la Salud del AQI	49
Tabla 4.3.	Índice de Calidad de Aire para Canadá	50
Tabla 4.4	Interpretación del IMECA	51
Tabla 4.5	Indicadores de Calidad del Aire	55
Tabla 4.6	Pre-contingencia Ambiental	60
Tabla 4.7	Fase I Contingencia Ambiental	61
Tabla 4.8	Fase II Contingencia Ambiental	61

<b>LISTA DE FIGURAS</b>		
Fig. 3.1	Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico	33
Fig. 4.1	Representación de la Calidad del Aire en Zonas de E.U.	48
Fig. 4.2	Representación de la Calidad del Aire en la ZMVM	52
Fig. 4.3	Máximos Diario de Ozono 1	56
Fig. 4.4	Máximos Diario de Ozono 2	56
Fig. 4.5	Tendencia del monitoreo atmosférico de Pb	65
Fig. 4.6	Tendencia del monitoreo atmosférico de SO <sub>2</sub>	65
Fig. 4.7	Tendencia del monitoreo atmosférico de CO	66
Fig. 4.8	Concentración de PM <sub>2.5</sub> en E.U.	69



# 1 INTRODUCCION

Actualmente, México cuenta con una cantidad significativa pero insuficiente de sistemas, estaciones y equipos destinados a las tareas de monitoreo y vigilancia de la calidad del aire. Esta infraestructura opera bajo una gran diversidad y variabilidad de condiciones y bajo la responsabilidad de organismos de diferente naturaleza, entre los que destacan gobiernos estatales, gobiernos municipales, patronatos y compañías privadas y paraestatales.

En el capítulo 2 de este documento, se describen los objetivos del mismo, así como también se define, para fines de la serie de los documentos, qué son los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMA's).

En el capítulo 3 de este documento se elabora el diagnóstico correspondiente de la situación general que prevalece en las redes de monitoreo automático que operan actualmente en el país (2004)., mientras que en la segunda parte se efectúa el análisis del marco legal e institucional relacionado con dichas prácticas de evaluación de la calidad del aire.

El capítulo 4 se refiere a la importancia del monitoreo atmosférico en la Gestión de la Calidad del Aire. Enfatizando sobre sus dos funciones primordiales: 1) la de alertar y proteger a la población de eventos de contaminación del aire que pongan en riesgo su salud y 2) como instrumento clave en las etapas de planeación, ejecución y evaluación de los programas, medidas y acciones de prevención y control de la contaminación que llevan a cabo las autoridades y la sociedad en su conjunto en materia de transporte, fuente fijas y fuentes de área.

Finalmente, en el capítulo 5 se hace referencia a la importancia de establecer un sistema de Acreditamiento de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMA's) para incidir en la calidad de los datos generados por dichas entidades

## **2. OBJETIVOS**

1. Elaborar un diagnóstico de la situación actual del monitoreo atmosférico en México, con relación a la redes de monitoreo de calidad del aire que operan actualmente en el país, así como del marco legal, político e institucional vigente en materia de monitoreo de la calidad del aire.
2. Destacar la importancia del monitoreo atmosférico en la gestión ambiental como instrumentos para alertar a la población y para la gestión con fines de protección a la salud.
3. Enfatizar la relevancia de implantar un sistema de Acreditamiento y Auditorías para mejorar la calidad de la información generada por los Sistemas de Monitoreo Atmosférico que operen en el país.

### **2.1 Definición de Sistemas de Monitoreo Atmosférico**

Para fines de los presentes documentos, se define un Sistema de Monitoreo Atmosférico (SMA) como la organización responsable de generar y reportar datos de calidad del aire de una cuenca atmosférica, bajo los criterios y condiciones que se establezcan dentro del PNMA.

Un SMA incluye los recursos humanos, administrativos y la infraestructura (redes de monitoreo de la calidad del aire y redes de meteorología, laboratorios de apoyo y sistemas de cómputo para procesamiento de información) operados bajo un sistema de gestión de calidad acreditado y aprobado.

### **3. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO A NIVEL NACIONAL**

#### **3.1 Situación Actual de las Redes de Monitoreo en México**

El monitoreo de la calidad del aire en el país comenzó a tomar importancia desde los años 70, cuando se contaba en sus inicios con estaciones manuales, empezando de esta manera las actividades de monitoreo en algunas ciudades como el Distrito Federal, Monterrey, N.L., Cd. Juárez, Chihuahua y Guadalajara, Jal.

En 1974 se instaló una red automática para monitorear la Zona Metropolitana del Valle de México con 15 estaciones, y en la década de los 80, el gobierno promovió el desarrollo y operación de una red de monitoreo, misma que alcanzó el nivel de operación aceptable hasta 1986 (*Martínez, et al, 2001*).

Esta red de vigilancia de la calidad del aire estaba constituida por dos redes:

- ✓ Una red automática de 25 estaciones que medían: SO<sub>2</sub>, CO, PST, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, Hidrocarburos excepto metano (HCNM), H<sub>2</sub>S y diversos parámetros meteorológicos (velocidad y dirección del viento, humedad relativa y temperatura ambiente)
- ✓ Una red manual con 16 estaciones para la medición de PST y SO<sub>2</sub>,

Para finales de los 80, se incorporó la instalación de equipos manuales para el monitoreo de PST en Toluca, Cuernavaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Hermosillo y la Red Regional Villahermosa-Cárdenas en Tabasco, y para los años 90, se sumaron Aguascalientes, Morelia y Tepic.

Hasta el año de 1992 se llevó a cabo la expansión y reforzamiento de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la Ciudad de México, la cual amplió su cobertura espacial a 32 estaciones remotas, un radar meteorológico, un sodar, un nuevo centro de cómputo y la instalación de un sistema de adquisición de datos redundante en cada estación remota. Asimismo en ese año, inicia la operación del Sistema de Monitoreo Ambiental de Monterrey (SIMA).

En 1993 se transfiere la RAMA al entonces Departamento del Distrito Federal y que actualmente se encuentra operando dentro de la Dirección General de Gestión Ambiental del Aire de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. En este mismo año se incorpora un laboratorio de transferencia

de estándares para garantizar la calidad de las calibraciones de los equipos automáticos de campo.

En 1994 se inician las operaciones de la Red de Monitoreo Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de Toluca. Asimismo, en 1996 inician las operaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de Guadalajara, así como la Red de Ciudad Juárez. *INE-SEMARNAT (2003)*.

En 1998, la ciudad de Zacatecas se incorpora a la lista con una estación automática para SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, una meteorológica y dos muestreadores manuales de PM<sub>10</sub>. En 1997 y 2001, ciudades como Aguascalientes, Salamanca, Celaya, Irapuato, Puebla y Villahermosa, que estaban realizando el monitoreo atmosférico por métodos manuales, iniciaron la instalación de sistemas automáticos (*INE/SEMARNAP, 2000*).

Para el año 1999, empieza a operar la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Puebla (REMA) y el Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Corredor Industrial del Bajío, específicamente en la ciudad de Salamanca y para los años 2000 y 2001, se integran las ciudades de Salamanca y Celaya respectivamente. (*INE-SEMARNAT, 2003*)

Actualmente las redes de monitoreo que existen en el país evalúan la concentración de los siguientes contaminantes: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), partículas (PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), plomo (Pb), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), metales pesados, sulfatos, nitratos, y otros parámetros como: radiación solar y depósitos atmosféricos (seco y húmedo). También, se cuenta con dispositivos para la determinación de parámetros meteorológicos, principalmente: dirección de viento (DV) y velocidad del viento (VV), temperatura ambiente (TMP) y humedad relativa (HR). (*INE-SEMARNAT, 2003*)

La situación actual de los principales sistemas de monitoreo con que cuenta el país se describen en la Tabla 3.1.

En general, todas las redes poseen serios problemas de financiamiento y ocupan un nivel orgánico y presupuestal, muy inferior a la importancia del servicio que prestan. Esta situación se ha agravado progresivamente en los últimos diez años con la crisis económica que inició desde 1995 y la nueva etapa política de nuestro país, en la que los temas de mayor importancia para la población están relacionados con la seguridad, el empleo y el combate a la pobreza extrema.

**Tabla 3.1 Redes de Monitoreo Atmosférico en México**

Sistema de Monitoreo	Red	Número de estaciones	Parámetros que se miden
Ciudad de México (Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México-SIMAT)	Red de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (RAMA)	36	Equipada con 114 analizadores que miden: O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> .
	Red Manual de Partículas Suspendidas (REDMA)	14	Con 19 sitios de muestreo PST, 5 para muestreo de PM <sub>10</sub> , 7 estaciones remotas para muestreo PM <sub>2.5</sub>
	Red de Depósito Atmosférico (REDDDA)	16	La REDDA cuenta con 16 estaciones equipadas con colectores semiautomáticos (depósito húmedo y seco) los parámetros que miden son pH, aniones y cationes.
	Red Meteorológica (REDMET)	15	Constituida por 15 torres con sensores meteorológicos y determinan parámetros como: HR, TMP, DV y VV. Se cuentan con 8 sitios para monitoreo de radiación ultravioleta (UV-A y UV-B).
Ciudad de Toluca	Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de Toluca (REDZMT)	7	Parámetros que se miden: O <sub>3</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PST, PM <sub>10</sub> , HR, TMP, DV, VV.
Monterrey, N.L. (Sistema Integral de Monitoreo Ambiental de Monterrey-SIMA)	Red Automática de la Zona Metropolitana de Monterrey (REDZMM)	5	Cada estación está configurada para medir los siguientes parámetros: O <sub>3</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , HR, TMP, DV, VV, precipitación pluvial (PP), radiación solar y presión atmosférica (PA).
Guadalajara, Jal.	Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de Guadalajara (RAMAZMG)	8	Se miden los siguientes parámetros: O <sub>3</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO, PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , y parámetros meteorológicos como: HR, TMP, DV y VV.
Cd. Juárez, Chih.	Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez (REDCJ)	3	Se miden los siguientes parámetros SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , CO, NO <sub>2</sub> parámetros meteorológicos como: DV, VV, TMP, HR
	Red Manual de Partículas Suspendidas (REDMA)	2	PST y PM <sub>10</sub>
Puebla	Red Estatal de Monitoreo Automático de Puebla (REMA)	4	La configuración de las estaciones es homogénea y comprende los siguientes parámetros: O <sub>3</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCNM, PM <sub>10</sub> , Meteorológico: HR, TMP, DV, VV, UVA, UVB, PP.
Guanajuato (Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Corredor Industrial del Bajío)	RED Salamanca	3	Se miden los siguientes parámetros: CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> y parámetros Meteorológicos como: DV, VV, TMP, HR
	Red Irapuato	3	Se miden los siguientes parámetros: CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> y parámetros Meteorológicos: DV, VV, TMP, HR
	Red Celaya	3	Se miden los siguientes parámetros: CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> y parámetros Meteorológicos: DV, VV, TMP, HR
Tijuana-Mexicali, B.C.		6	Parámetros que se miden: O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, NO y NO <sub>x</sub> ; PM <sub>10</sub> y parámetros meteorológicos: TMP, DV, VV

Adaptada de: PNMA (2003), [www.sma.df.gob.mx/simat/](http://www.sma.df.gob.mx/simat/), <http://semades.jalisco.gob.mx/site/indexaire.>, [www.nl.gob.mx/sduop/sima/sima\\_des.htm](http://www.nl.gob.mx/sduop/sima/sima_des.htm), [www.edomex.gob.mx/portalgem/se/](http://www.edomex.gob.mx/portalgem/se/), [www.arb.ca.gov/aqdpag.htm](http://www.arb.ca.gov/aqdpag.htm), [www.sedurbecop.pue.gob.mx/Monitoreo/Remareporte.html](http://www.sedurbecop.pue.gob.mx/Monitoreo/Remareporte.html),

No obstante, el nivel de compromiso de los profesionistas involucrados en la operación de las redes es muy alto y se observa un orgullo profesional por la

labor que realizan. Esta mística de trabajo es especialmente relevante para las futuras normas sobre el tema, ya que los operadores se han fijado metas mucho más allá de las que las normas oficiales mexicanas les imponen y todos, sin excepción, hacen cotidianamente esfuerzos extraordinarios, no remunerados, para cumplirlas. Desde el inicio de su actividad, la totalidad de los operadores han estado expuestos a los medios de comunicación y la población abierta, situación equiparable a una evaluación continua de su desempeño como equipo de trabajo profesional y personal en lo individual. Ante esta circunstancia, su nivel de compromiso es mayor pues su labor está bajo escrutinio diario por parte de la población, incluyendo a sus amistades y familiares.

La administración más avanzada que posee nuestro país en materia de gestión y monitoreo de la calidad del aire la tiene sin duda la Ciudad de México. El Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de México (SIMAT) pudiera ser el *modelo nacional*, al cual podemos aspirar de manera realista, total o parcialmente, en las otras regiones metropolitanas, fronterizas o industriales del territorio nacional. Sin embargo, hay que considerar que la red automática de monitoreo atmosférico que se opera en el SIMAT es la más antigua del país y que la complejidad y gravedad de la contaminación del Valle de México es de prioridad estratégica a nivel nacional, recibiendo recursos locales y apoyo internacional que no son replicables en el resto de las áreas urbanas del país.

La infraestructura ambiental de monitoreo atmosférico en México se caracteriza por los siguientes rasgos:

- ✓ Las redes de monitoreo atmosférico están ubicadas en regiones metropolitanas, ciudades capitales, ciudades fronterizas y zonas industriales con severos o evidentes problemas de contaminación atmosférica.
- ✓ Las redes de monitoreo de la calidad del aire del país son esencialmente urbanas. Algunas de las redes de medición están sujetas a programas de aseguramiento y control de calidad y tienen planes de expansión, ya sea por que las áreas urbanas donde están ubicadas han crecido o porque el diseño original de las redes así lo determinaba. Con excepción de las redes fronterizas, todas las redes de monitoreo del país poseen manuales operativos y procedimientos técnicos y administrativos particulares y distintos entre sí.
- ✓ La gran mayoría de las estaciones de medición están ubicadas en “casetas”, lo que facilita su identificación, mantenimiento y en el caso de las casetas móviles, su reinstalación si fuera necesario por pérdida de representatividad. El nivel de equipamiento en cada estación es muy variado y existen muy pocas estaciones “completamente”

equipadas con instrumentos para medir todos los parámetros normalizados y los de interés meteorológico.

- ✓ La mayoría de las redes están equipadas con instrumentos y equipos de procedencia norteamericana. Los equipos de medición poseen características y funciones operativas que responden a las normas impuestas en los Estados Unidos de Norteamérica (EUA) por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), aunque algunos no poseen la totalidad de los aditamentos internos y periféricos solicitados por ese organismo, ya que no se usan en México.
- ✓ En general, los responsables ejecutivos y los técnicos de las redes de monitoreo han sido formalmente capacitados por los fabricantes de equipo, por personal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), por personal del gobierno de la Ciudad de México, por diversas instituciones académicas, así como por personal técnico de la EPA. El uso de materiales didácticos y técnicos expedidos por ese organismo norteamericano es común dada su accesibilidad y gratuidad a través de Internet. El entrenamiento práctico dentro del área de trabajo es el común denominador en la capacitación de los técnicos operarios.

## 3.2 Situación legal, política e institucional a nivel nacional

La Gestión de la Calidad del Aire en nuestro país tiene poco más de tres décadas de aplicación y ha estado fundamentalmente ligada al problema de contaminación atmosférica que presentan el Valle de México y la Frontera Norte. Desde la primera Ley Federal de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en 1971, los temas de calidad y contaminación del aire han estado presentes, ligados estrechamente a las políticas y ordenamientos jurídicos en materia de salud pública.

La creación de la LGEEPA a mediados de los ochenta ha permitido que hoy en día la Gestión de la Calidad del Aire posea un marco regulatorio ubicado en su mayoría dentro de la legislación ambiental, con un reflejo institucional ampliamente desarrollado en las áreas administrativas del gobierno federal y los gobiernos locales, vinculadas a la protección del medio ambiente y la promoción de un desarrollo sustentable.

### 3.2.1 Marco Legal

#### 3.2.1.1 *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*

En relación a las atribuciones del gobierno federal en materia de sistemas de monitoreo atmosférico, tema central de este documento, a la letra, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental establece lo siguiente (SEMARNAP, 1998b):

*TÍTULO CUARTO. Protección al Ambiente*

*CAPÍTULO II. Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera*

*ARTICULO 111.- Para controlar, reducir o evitar la contaminación de la atmósfera, la Secretaría tendrá las siguientes facultades:*

***VII.- Expedir las normas oficiales mexicanas para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire;***

Las atribuciones de la SEMARNAT en materia de Gestión de la Calidad del Aire son más amplias que lo dispuesto en esta sola fracción. De hecho, el monitoreo atmosférico es sólo la componente operativa de una política ambiental dirigida a proteger la calidad del aire. En nuestra legislación está implícito que el Aire es un recurso natural que presenta o puede presentar problemas de contaminación



por actividades antropogénicas, lo cual puede afectar la salud de la población y la integridad funcional de los ecosistemas que componen el territorio nacional.

A la fecha, la SEMARNAT no ha expedido ninguna norma oficial mexicana para establecer y operar sistemas de monitoreo de la calidad del aire. La serie de documentos que se presentan en este estudio están dirigidos a compilar los elementos técnicos necesarios para iniciar un proceso al respecto, según lo establece la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Los sistemas de monitoreo atmosférico (SMA's) que operan en la actualidad en México, presentan en mayor o menor grado vinculaciones funcionales y operativas con las actividades de Gestión Ambiental que se aplican en sus respectivas localidades. Estas vinculaciones van desde esquemas simples, tales como el reporte del IMECA al público, generación de folletos para fines de educación ambiental hasta esquemas de mayor complejidad con las áreas de inventario de emisiones e instituciones de salud dentro de programas para mejorar la calidad del aire. De esta manera, hay ciudades en México que sólo poseen monitores de operación manual dedicados a observar el comportamiento de un contaminante (comúnmente PST ó  $PM_{10}$ ) y a la vez, hay ciudades con redes de monitoreo atmosférico provistas de monitores e instrumentos y sistemas de adquisición y manejo de datos automáticos que permiten explotar la información en programas de mayores alcances y complejidad.

La ausencia de normas oficiales mexicanas que establezcan los requisitos mínimos de operación de los SMA's que operan en México, ha propiciado condiciones heterogéneas de operación de las redes existentes. Aún cuando las diferencias tecnológicas son comprensibles, la calidad de los datos puede ser afectada en mayor grado debido a la falta de homologación en los criterios de operación y aseguramiento de calidad.

Las previsiones que posee la LGEEPA al respecto de la Gestión de la Calidad del Aire y los sistemas de monitoreo atmosférico son adecuadamente suficientes para expedir el conjunto de normas oficiales mexicanas necesarias para diseñar, construir, operar y mantener redes de medición y vigilancia de la calidad del aire, a nivel urbano o rural.

### 3.2.1.1.1 Atribuciones de la Federación en materia de gestión y monitoreo de la Calidad del Aire

La Federación, a través de la SEMARNAT tiene facultades para llevar a cabo las siguientes labores genéricas:

- Promoción, participación y supervisión en materia de planeación de Gestión de la Calidad del Aire,
- Prevención y control de la contaminación atmosférica,
- Procesamiento y divulgación de información de la calidad del aire

Estas facultades son asignadas a través de diversos títulos, capítulos y artículos dentro de la LGEEPA, entre los cuales destacan los siguientes, por tener una vinculación más directa en el tema de monitoreo atmosférico y las componentes operativas e institucionales ligadas a él (*SEMARNAT, 2001b*).

**ARTICULO 5o.-** *Son facultades de la Federación:*

...

**VII.-** *La participación en la prevención y el control de emergencias y contingencias ambientales, conforme a las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan;*

...

**XII.-** *La regulación de la contaminación de la atmósfera, proveniente de todo tipo de fuentes emisoras, así como la prevención y el control en zonas o en caso de fuentes fijas y móviles de jurisdicción federal;*

...

**XVII.-** *La integración del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales y su puesta a disposición al público en los términos de la presente Ley;*

**XVIII.-** *La emisión de recomendaciones a autoridades Federales, Estatales y Municipales, con el propósito de promover el cumplimiento de la legislación ambiental;*

**XIX.-** *La vigilancia y promoción, en el ámbito de su competencia, del cumplimiento de esta Ley y los demás ordenamientos que de ella se deriven;*

Además de las atribuciones genéricas señaladas con antelación, el artículo quinto de la LGEEPA introduce el concepto de “contingencia ambiental”,

tradicionalmente utilizado para definir la intervención extraordinaria del gobierno ante altos índices de contaminación atmosférica en el valle de México.

Las atribuciones de la SEMARNAT en la materia se describen con mayor detalle en el Capítulo II de la misma LGEEPA relativo a la “Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera”. Dentro de este capítulo, destacan los siguientes artículos:

**ARTICULO 110.-** *Para la protección a la atmósfera se considerarán los siguientes criterios:*

**I.-** *La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país; y*

**II.-** *Las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.*

**ARTICULO 111.-** *Para controlar, reducir o evitar la contaminación de la atmósfera, la Secretaría tendrá las siguientes facultades:*

**I.-** *Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan la calidad ambiental de las distintas áreas, zonas o regiones del territorio nacional, con base en los valores de concentración máxima permisible para la salud pública de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud;*

**II.-** *Integrar y mantener actualizado el inventario de las fuentes emisoras de contaminantes a la atmósfera de jurisdicción federal, y coordinarse con los gobiernos locales para la integración del inventario nacional y los regionales correspondientes;*

...

**IV.-** *Formular y aplicar programas para la reducción de emisión de contaminantes a la atmósfera, con base en la calidad del aire que se determine para cada área, zona o región del territorio nacional. Dichos programas deberán prever los objetivos que se pretende alcanzar, los plazos correspondientes y los mecanismos para su instrumentación;*

**V.-** *Promover y apoyar técnicamente a los gobiernos locales en la formulación y aplicación de programas de gestión de calidad del aire, que tengan por objeto el cumplimiento de la normatividad aplicable;*

...

**VII.-** *Expedir las normas oficiales mexicanas para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire;*

...

*X.- Definir niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera por fuentes, áreas, zonas o regiones, de tal manera que no se rebasen las capacidades de asimilación de las cuencas atmosféricas y se cumplan las normas oficiales mexicanas de calidad del aire;*

*XI.- Promover en coordinación con las autoridades competentes, de conformidad con las disposiciones que resulten aplicables, sistemas de derechos transferibles de emisión de contaminantes a la atmósfera;*

*XII.- Aprobar los programas de gestión de calidad del aire elaborados por los gobiernos locales para el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas respectivas; (SEMARNAP, 2001b)*

Las fracciones de los artículos 110 y 111 de la LGEEPA le permiten a la SEMARNAT llevar a cabo procesos de Gestión de la Calidad del Aire acotados a “cuencas atmosféricas” de tal forma que se trascienda significativamente y de una forma verificable, en la salud pública, la integridad de los ecosistemas y las actividades económicas y sociales vinculadas a las denominadas “fuentes naturales, fijas y móviles”, todo ello dentro de un espacio geográfico determinado.

### ***El Sistema Nacional de Información de la calidad del Aire (SINAICA)***

La disposición sectorial más vinculada con la creación de sistemas de monitoreo atmosférico y el propio Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) es la establecida por la LGEEPA en el CAPÍTULO II del Título Quinto sobre Participación Social, Información Ambiental y específicamente “Derecho a la Información Ambiental”, que establece lo relativo a las funciones de la SEMARNAT.

***ARTICULO 159 BIS.-*** *La Secretaría desarrollará un Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales que tendrá por objeto registrar, organizar, actualizar y difundir la información ambiental nacional, que estará disponible para su consulta y que se coordinará y complementará con el Sistema de Cuencas Nacionales a cargo del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.*

*En dicho Sistema, la Secretaría deberá integrar, entre otros aspectos, información relativa a los inventarios de recursos naturales existentes en el territorio nacional, a los mecanismos y resultados obtenidos del monitoreo de la calidad del aire, del agua y del suelo, al ordenamiento ecológico del territorio, así como la información señalada en el artículo 109 BIS (La Secretaria, en los términos que señalen los reglamentos de*

*esta Ley, deberá integrar un inventario de emisiones atmosféricas....,) y la correspondiente a los registros, programas y acciones que se realicen para la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.*

*La Secretaría reunirá informes y documentos relevantes que resulten de las actividades científicas, académicas, trabajos técnicos o de cualquier otra índole en materia ambiental y de preservación de recursos naturales, realizados en el país por personas físicas o morales, nacionales o extranjeras, los que serán remitidos al Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales.*

**ARTICULO 159 BIS 1.-** *La Secretaría deberá elaborar y publicar bianualmente un informe detallado de la situación general existente en el país en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente. (SEMARNAP, 2001b)*

La obligatoriedad que la LGEEPA indica para la SEMARNAT en el sentido de publicar cada dos años un informe sobre el estado del Medio Ambiente en el país, establece a su vez una periodicidad para todos los sistemas integrados o vinculados al Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, entre ellos el SINAICA. En otras palabras, el SINAICA deberá proveer cada dos años la información de calidad del aire disponible de las principales cuencas atmosféricas del país para su integración al informe bianual anteriormente referido.

Esta misma periodicidad puede a su vez tomarse como referencia para las metas y objetivos del programa de Aseguramiento y Control de Calidad que se establezca en el PNMA y los sistemas de monitoreo atmosférico regionales y locales.

### ***La Gestión de la Calidad del Aire***

Ordenando técnica y cronológicamente las actividades derivadas de todos los artículos de la LGEEPA hasta aquí reseñados, podríamos definir el siguiente esquema hipotético de trabajo dentro de la Gestión de la Calidad del Aire en México:

- a. Se define una Cuenca Atmosférica
- b. Se establece un sistema de monitoreo de la calidad del aire
- c. Se define el nivel de Calidad Ambiental o del Aire satisfactorio para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico

- d. Se realiza un inventario de fuentes contaminantes
- e. Se definen los niveles máximos permisibles de emisión por tipo de fuente y por conjunto de fuentes contaminantes
- f. Se promueve, elabora y aplica un programa de Gestión de la Calidad del Aire
- g. Se vigila y sanciona a quienes emitan contaminación indebidamente o violen las normas establecidas en la materia
- h. Se informa periódicamente a la población sobre la Calidad del Aire y la gestión administrativa de la misma

Por su importancia, esta gestión debe apoyarse en la información fidedigna que le proporcionen los sistemas o redes de monitoreo atmosférico, ya que la vigilancia de la calidad del aire permitirá establecer qué fuentes contaminantes se encuentran fuera de control, qué sectores de la población están siendo afectados, qué ecosistemas se han dañado, qué tan efectivos son los programas de prevención y control de contaminantes, entre otros.

En los siguientes apartados de este capítulo se definirá el nivel de competencia y coordinación que entre los tres niveles de gobierno, la población y en su caso, la industria, debe de existir en la Gestión de la Calidad del Aire, de acuerdo con la legislación vigente.

#### **3.2.1.1.2 Atribuciones de los Estados y Municipios en materia de gestión y monitoreo de la Calidad del Aire**

En términos generales, las autoridades estatales y municipales son las responsables de aplicar y vigilar la normatividad ambiental a nivel local. En materia de monitoreo atmosférico, una actividad esencialmente de vigilancia, la LGEEPA es suficientemente explícita en la fracción VII del artículo 112, en la que define que tanto los gobiernos estatales como los municipales, indistintamente, pueden operar sistemas de medición de la calidad del aire. Asimismo, éstos quedan ligados implícitamente a las actividades de planeación, inventario de emisiones y atención a contingencias ambientales.

A la letra, la LGEEPA dice :

***ARTICULO 112.- En materia de prevención y control de la contaminación atmosférica, los gobiernos de los Estados, del Distrito Federal y de los Municipios, de conformidad con la distribución de atribuciones establecida***

en los artículos 7o., 8o. y 9o. de esta Ley, así como con la legislación local en la materia:

...

**IV.-** Integrarán y mantendrán actualizado el inventario de fuentes de contaminación;

...

**VI.- Establecerán y operarán**, con el apoyo técnico, en su caso, de la Secretaría, **sistemas de monitoreo de la calidad del aire**. Los gobiernos locales remitirán a la Secretaría los reportes locales de monitoreo atmosférico, a fin de que aquélla los integre al Sistema Nacional de Información Ambiental;

...

**VIII.-** Tomarán las medidas preventivas necesarias para evitar contingencias ambientales por contaminación atmosférica;

**IX.-** Elaborarán los informes, sobre el estado del medio ambiente en la entidad o municipio correspondiente, que convengan con la Secretaría a través de los acuerdos de coordinación que se celebren;

...

**XI.-** Formularán y aplicarán, con base en las normas oficiales mexicanas que expida la Federación para establecer la calidad ambiental en el territorio nacional, programas de gestión de calidad del aire, ... (SEMARNAP, 1998b).

Estas atribuciones son complementarias a las que la LGEEPA establece de manera general en sus artículos 7º y 8º, mismos que se citan a continuación. Cabe destacar que la fracción VI del artículo 112 marca una obligatoriedad en el envío de información al gobierno federal. No obstante, como se verá más adelante, el Reglamento condiciona ese envío a la firma de convenios voluntarios para construir el Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Aire (SINAICA).

**ARTICULO 7o.-** Corresponden a los **Estados**, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

...

**III.-** La prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, así como por fuentes móviles, que conforme a lo establecido en esta Ley no sean de competencia Federal;

...

*XII.- La participación en emergencias y contingencias ambientales, conforme a las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan;*

*XIII.- La vigilancia del cumplimiento de las normas oficiales mexicanas expedidas por la Federación, en las materias y supuestos a que se refieren las fracciones III, VI y VII de este artículo;*

*XIV.- La conducción de la política estatal de información y difusión en materia ambiental;*

**ARTICULO 8o.-** *Corresponden a los **Municipios**, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:*

...

*III.- La aplicación de las disposiciones jurídicas en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos mercantiles o de servicios, así como de emisiones de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes móviles que no sean consideradas de jurisdicción federal, con la participación que de acuerdo con la legislación estatal corresponda al gobierno del estado;*

...

*XI.- La participación en emergencias y contingencias ambientales conforme a las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan;*

*XII.- La vigilancia del cumplimiento de las normas oficiales mexicanas expedidas por la Federación, en las materias y supuestos a que se refieren las fracciones III, IV, VI y VII de este artículo;*

*XIII.- La formulación y conducción de la política municipal de información y difusión en materia ambiental; (SEMARNAT, 2001b).*

El establecimiento y operación de un sistema de monitoreo atmosférico a nivel local puede realizarse, de acuerdo con los artículos citados, con o sin el auxilio técnico de la SEMARNAT. No obstante, la división legal de funciones entre los gobiernos federal, estatal y municipal en materia de inspección y vigilancia de fuentes contaminantes, requiere de una coordinación, tanto para el intercambio de información sobre la calidad del aire y los inventarios de emisiones, como para la gestión administrativa.

Los mecanismos de coordinación previstos en la LGEEPA son generales y no existen previsiones o modelos específicos de vinculación entre los tres niveles de gobierno para la Gestión de la Calidad del Aire. Por el contrario, las modalidades a adoptar pueden ir desde grupos de trabajo hasta Consejos



Nacionales, pasando por coordinaciones metropolitanas o regionales como las del Valle de México y el Bajío.

En la administración del recurso Agua existe la figura de “Consejo de Cuenca”, adonde se reúnen todos los usuarios de la misma y las autoridades locales y federales. Una figura similar pudiera establecerse en las cuencas atmosféricas. El ejemplo de la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) en el Valle de México puede replicarse en Monterrey, Guadalajara y las ciudades que ya cuenten con programas para mejorar su calidad del aire.

Un ejemplo más integral de autoridad ambiental en una cuenca atmosférica es el “South Coast Air Quality Management District (SCAQMD)” del estado de California en EUA, que concentra las funciones de inspección y vigilancia en toda la conurbación afectada por la contaminación de Los Ángeles. A diferencia de la CAM, el SCAQMD tiene un mandato de Ley, presupuesto y patrimonio propio.

### **3.2.1.2 Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera**

En términos generales y específicamente en materia de monitoreo atmosférico, el Reglamento de Contaminación a la Atmósfera de la LGEEPA ratifica lo contenido en la Ley y adiciona muy pocas precisiones sobre la conformación o características de los sistemas de monitoreo atmosférico.

El Reglamento data de 1988. De esa fecha a la actualidad el marco institucional y los planes y programas del sector ambiental han cambiado sustancialmente. En especial, las investigaciones nacionales e internacionales en materia de contaminación atmosférica, a nivel troposférico y estratosférico, así como los acuerdos internacionales a los cuales se ha adherido México, plantean un escenario de Gestión de la Calidad del Aire, a nivel local y global, que no se ve adecuadamente reflejado en el Reglamento.

Esta circunstancia debe ser considerada como un rezago normativo que es necesario corregir en el marco del Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico. Del rezago del Reglamento destaca en forma particular el artículo 9º, donde se hace una división de funciones entre la Secretaría (hoy SEMARNAT) y el Distrito Federal, ya que indica que la Secretaría operará la red de monitoreo del valle de México. En la actualidad con excepción de SLP y Zacatecas, donde se operan redes manuales para la determinación de las concentraciones de partículas por parte de las delegaciones de SEMARNAT, ya ninguna red automática de monitoreo atmosférico es operada por la federación.

La fracción primera del Artículo 13 del Reglamento dice a la letra que *"La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país"*. Este artículo ratifica el derecho constitucional de todo mexicano a un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar (Artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y Artículo 1º de la LGEEPA). (SEMARNAP, 1998a)

Para garantizar ese derecho, es fundamental contar con redes de monitoreo que evidencien su cumplimiento o violación. A continuación se cita el Artículo 7º que especifica las funciones del gobierno federal al respecto:

**ARTICULO 7o.-** *Compete a la Secretaría:*

...

**VI.** *Emitir dictamen técnico sobre los sistemas de monitoreo de la calidad del aire a cargo de los Estados y municipios;*

**VII.** *Vigilar que en las zonas y en las fuentes de jurisdicción federal, se cumplan las disposiciones del reglamento y se observen las normas técnicas ecológicas aplicables;*

...

**XIV.** *Propiciar el fortalecimiento de la conciencia ecológica, a través de los medios de comunicación masiva y promover la participación social para la prevención y control de la contaminación a la atmósfera;*

...

**XVIII.** *Promover el desarrollo de investigaciones sobre las causas y efectos de los fenómenos ambientales, así como el desarrollo de técnicas y procedimientos tendientes a la prevención y control de la contaminación de la atmósfera;*

...

**XXI.** *Expedir los instructivos, formatos y manuales necesarios para el cumplimiento del reglamento;*

**XXII.** *Vigilar el cumplimiento de los procedimientos de verificación, así como de las normas técnicas ecológicas previstas en el reglamento;* (SEMARNAP, 1998a)

Como se observa el citado reglamento aduce el termino de normas técnicas ecológicas, hoy día inexistentes en el país. No obstante en este artículo se habla de un "dictamen técnico" sobre los sistemas de monitoreo atmosféricos locales, que en la terminología actual de los planes y programas del sector, podemos

traducir como un dictamen técnico, al producto de una Auditoria voluntaria o de un proceso formal de Inspección. Hasta la fecha, las autoridades federales no han efectuado dicha función. No obstante, algunos de los operarios de las redes de monitoreo han optado por mecanismos de certificación tipo ISO o de auditorias externas con instituciones como la EPA de Estados Unidos o el TÜV de Alemania. Asimismo, el gobierno federal a petición de parte y a través de la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, (DGCENICA), realiza revisiones técnicas y emite dictámenes para mejorar la operación de las redes.

El Reglamento no tiene y debe tener, un capítulo específico sobre sistemas de monitoreo atmosférico donde se establezcan los lineamientos generales al respecto. Entre otros, es necesario que en el Reglamento se establezca en forma concreta: los objetivos que deben tener los SMA's, dónde y por qué se deben de instalar, la infraestructura mínima (los componentes) con que deben contar, los criterios básicos para su operación y los mecanismos generales para su evaluación (auditoría) para garantizar la calidad de sus datos. Adicionalmente, los lineamientos específicos para la operación de los SMA's deberán expedirse en forma detallada en una o varias normas oficiales mexicanas.

El capítulo más relacionado con los sistemas de monitoreo es el Capítulo IV que habla sobre la integración de un sistema nacional de información sobre la calidad del aire del país. A continuación se citan las partes más relevantes del mismo.

#### ***CAPITULO IV DEL SISTEMA NACIONAL DE INFORMACION DE LA CALIDAD DEL AIRE***

***ARTICULO 41.- La Secretaría establecerá y mantendrá actualizado un sistema nacional de información de la calidad del aire. Este sistema se integrará con los datos que resulten de:***

*I. El monitoreo atmosférico que lleven a cabo las autoridades competentes en el Distrito Federal, así como en los Estados y municipios, y*

*II. Los inventarios de las fuentes de contaminación de jurisdicción, federal y local, así como de sus emisiones.*

***ARTICULO 42.- OBSOLETO***

***ARTICULO 43.- El establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire, deberán sujetarse a las normas técnicas***

*ecológicas que al efecto expida la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Salud en lo referente a la salud humana.*

**ARTICULO 44.-** *La Secretaría, mediante acuerdos de coordinación, promoverá ante los Estados y municipios, la incorporación de sus sistemas de monitoreo, así como de sus inventarios de zonas y fuentes de jurisdicción local, al sistema nacional de información de la calidad del aire. Asimismo, promoverá ante el Departamento del Distrito Federal, la incorporación de sus inventarios de zonas y fuentes, a dicho sistema nacional.*

**ARTICULO 45.-** *La Secretaría mantendrá actualizado el inventario de fuentes de jurisdicción federal, así como de sus emisiones, con el propósito de contar con un banco de datos que le permita formular las estrategias necesarias para el control de la contaminación atmosférica. Este inventario se integrará con la información que se presente en los términos del artículo 18 del reglamento. (SEMARNAP, 1998a).*

### **3.2.1.3 Normas Oficiales Mexicanas**

Las normas oficiales mexicanas (NOM's) vigentes con una relación directa al monitoreo de la calidad del aire son las que se han expedido por la Secretaría de Salud (clave SSA) y que establecen los niveles de concentración de contaminantes, denominados "criterio", para la protección de la población. Las normas expedidas hasta la fecha son las siguientes:

- **NOM-020-SSA1-1993.** Salud ambiental. Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) de la calidad del aire ambiente. Criterio para evaluar la calidad del aire.(SSA, 1993a)
- **NOM-021-SSA1-1993.** Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.(SSA, 1993b)
- **NOM-022-SSA1-1993.** Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire, bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valor permisible para la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.(SSA, 1993c)
- **NOM-023-SSA1-1993.** Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire, bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Valor permisible para la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. (SSA, 1993d)
- **NOM-024-SSA1-1993.** Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas totales (PST). Valor permisible para la concentración de partículas suspendidas totales (PST) en el aire

ambiente, como medida de protección a la salud de la población.(SSA, 1993e)

- **NOM-025-SSA1-1993.** Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas menores de 10 micras (PM<sub>10</sub>). Valor permisible para la concentración de partículas menores de 10 micras (PM<sub>10</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.(SSA, 1993f)
- **NOM-026-SSA1-1993.** Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire, plomo (Pb). Valor permisible para la concentración de plomo en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. .(SSA, 1993g)

Por otra parte, también se cuenta con los métodos de prueba correspondientes para las determinaciones de las concentraciones de CO, PST, O<sub>3</sub> NO<sub>2</sub> SO<sub>2</sub> en el aire ambiente y sus correspondientes procedimientos para la calibración de los equipos de medición, las cuales son publicadas como NOM's con clave SEMARNAT<sup>1</sup> :

- **NOM-034-SEMARNAT-1993**, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. (SEMARNAT, 1993a)
- **NOM-035-SEMARNAT-1993**, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. (SEMARNAT, 1993b)
- **NOM-036-SEMARNAT-1993**, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. (SEMARNAT, 1993c)
- **NOM-037-SEMARNAT-1993**, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. (SEMARNAT, 1993d)
- **NOM-038-SEMARNAT-1993**, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los

---

<sup>1</sup> Bajo la Ley Federal de Metrología y Normalización a los métodos de prueba les corresponde la denominación Norma Mexicana (NMX).

procedimientos para la calibración de los equipos de medición. (SEMARNAT, 1993e)

Al respecto es importante señalar que en el caso de Plomo (Pb) y Partículas menores a 10 micrómetros no se han expedido las normas SEMARNAT correspondientes. Asimismo, en el caso de los parámetros de O<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> se utilizan los métodos instrumentales equivalentes enunciados en dichas normas, por lo que no existen, propiamente, procedimientos publicados en forma detallada de los principios de UV visible y fluorescencia pulsada respectivamente.

#### **3.2.1.4 Otras Leyes y Reglamentos relacionados con el Monitoreo Atmosférico**

El Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) está implícitamente relacionado con las diversas atribuciones que el marco jurídico federal establece para las dependencias del gobierno federal vinculadas con manejo de información ambiental y salud.

#### ***La Ley de Información Estadística y Geográfica***

La Ley de Información Estadística y Geográfica, que regula las actividades del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en su artículo tercero define a los datos sobre las condiciones ambientales del territorio nacional como información geográfica:

**ARTÍCULO 3º.-** *Para los efectos de esta ley se entenderá por:*

...

**II. Información Geográfica:** *el conjunto de datos, símbolos y representaciones organizados para conocer y estudiar las **condiciones ambientales y físicas del territorio nacional**, la integración de éste en infraestructura, los recursos naturales y la zona económica exclusiva;*

...

**IV. Servicios Nacionales de Estadística y de Información Geográfica:** *el conjunto de actividades para la elaboración de estadísticas y de información geográfica que desarrollen las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal, y los Poderes Legislativo y Judicial de la Federación y Judicial del Distrito Federal;*

*V. Servicios Estatales de Estadística y de Información Geográfica: el conjunto de actividades que realicen las entidades federativas en las materias de estadística y de información geográfica;*

*VI. Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica: el conjunto de datos producidos por las instituciones públicas a que se refieren las fracciones IV y V anteriores, organizado bajo una estructura conceptual predeterminada, que permite mostrar la situación e interdependencia de los fenómenos económicos, demográficos y sociales, así como su relación con el medio físico y el espacio territorial.(INEGI, 1980).*

Estas definiciones y el desarrollo de la propia Ley de Información Estadística y Geográfica incorporan al SINAICA como un sistema para registrar, organizar, actualizar y difundir la información ambiental de la calidad del aire del país. El sistema debe tener una *estructura conceptual predeterminada* acorde a las leyes y políticas en la materia.

### ***La Ley de Salud***

La contaminación ambiental y por lo tanto la contaminación del aire (en la troposfera), es un asunto primordialmente de salud pública, así lo establece la Ley de Salud, que a la letra indica:

***Artículo 3.*** *En los términos de esta Ley, es materia de salubridad general:*

...

***XIII.*** *La prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en la salud del hombre; (SSA, 2003h)*

Con base en esta definición, la Secretaría de Salud interviene en la Gestión de la Calidad del Aire, a través de funciones normativas, de investigación en materia de Salud Pública y de coordinación, a nivel federal y estatal, ya que los servicios de salud están descentralizados. En su capítulo IV, la Ley de Salud establece lo relativo a sus funciones en materia de efectos del ambiente en la salud:

***Artículo 116.*** *Las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán las medidas y realizarán las actividades a que se refiere esta Ley tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente.*

**Artículo 117.** La formulación y conducción de la política de saneamiento ambiental corresponde a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (hoy SEMARNAT), en coordinación con la Secretaría de Salud, en lo referente a la salud humana.

**Artículo 118.** Corresponde a la Secretaría de Salud:

- I. Determinar los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente;

**Artículo 119.** Corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas, en sus respectivos ámbitos de competencia:

- I. Desarrollar investigación permanente y sistemática de los riesgos y daños que para la salud de la población origine la contaminación del ambiente;
- ...
- IV. Disponer y verificar que se cuente con información toxicológica actualizada, en la que se establezcan las medidas de respuesta al impacto en la salud originado por el uso de sustancias tóxicas o peligrosas.

**Artículo 120.** La Secretaría de Salud y los gobiernos de las entidades federativas, en sus respectivos ámbitos de competencia, se coordinarán con las dependencias y entidades competentes del sector público para la prestación de los servicios a que se refiere este Capítulo. (SSA, 2003h)

### **Ley Federal de Transparencia y Acceso de la Información Pública Gubernamental**

La Ley de Acceso a la Información dice que....

**Artículo 4.** Son objetivos de esta Ley:

- I. Proveer lo necesario para que toda persona pueda tener acceso a la información mediante procedimientos sencillos y expeditos;
- II. Transparentar la gestión pública mediante la difusión de la información que generan los sujetos obligados (servidores públicos);
- III. Garantizar la protección de los datos personales en posesión de los sujetos obligados;
- IV. Favorecer la rendición de cuentas a los ciudadanos, de manera que puedan valorar el desempeño de los sujetos obligados;
- V. Mejorar la organización, clasificación y manejo de los documentos, y
- VI. Contribuir a la democratización de la sociedad mexicana y la plena vigencia del Estado de derecho.



**Artículo 5.** *La presente Ley es de observancia obligatoria para los servidores públicos federales.*

**Artículo 6.** *En la interpretación de esta Ley se deberá favorecer el principio de publicidad de la información en posesión de los sujetos obligados.*

**Artículo 7.** *Con excepción de la información reservada o confidencial prevista en esta Ley, los sujetos obligados deberán poner a disposición del público y actualizar, en los términos del Reglamento y los lineamientos que expida el Instituto o la instancia equivalente a que se refiere el Artículo 61, entre otra, la información siguiente:*

...  
**XV.** *Los informes que, por disposición legal, generen los sujetos obligados;*

...  
**XVII.** *Cualquier otra información que sea de utilidad o se considere relevante, además de la que con base a la información estadística, responda a las preguntas hechas con más frecuencia por el público. La información a que se refiere este Artículo deberá publicarse de tal forma que facilite su uso y comprensión por las personas, y que permita asegurar su calidad, veracidad, oportunidad y confiabilidad...*

**Artículo 9.** *La información a que se refiere el Artículo 7 deberá estar a disposición del público, a través de medios remotos o locales de comunicación electrónica. Los sujetos obligados deberán tener a disposición de las personas interesadas equipo de cómputo, a fin de que éstas puedan obtener la información, de manera directa o mediante impresiones. Asimismo, éstos deberán proporcionar apoyo a los usuarios que lo requieran y proveer todo tipo de asistencia respecto de los trámites y servicios que presten (PEF, 2000).*

### **3.2.2 Políticas**

La Política Ambiental del país relacionada con la Calidad del Aire se define en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática (SNPD), específicamente a través del Plan Nacional de Desarrollo y el programa sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Desde que se inició el SNPD, la atención a las ciudades y regiones con problemas de contaminación atmosférica se ha mantenido como parte importante de los esfuerzos de gestión ambiental del sector, particularmente cuando se trata de la ciudad capital, ubicada en el Valle de México.

Es hasta la formulación del Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 cuando el tema de calidad del aire se postula como una de las prioridades en México, el cual debe atender para lograr un desarrollo sustentable. Así, a la letra, el referido plan propone como meta en materia de Crecimiento con Calidad, lo siguiente:

## ***6. Crecimiento con Calidad***

### ***6.3.5 Desarrollo Sustentable***

#### ***Objetivo Rector 5***

*g) Avanzar en la mitigación de emisiones de gases de invernadero...*

- *Fomentar la introducción de las variables ambientales en las políticas, normas y programas sustantivos en el sector económico, particularmente en lo que se refiere al uso de energéticos y combustibles fósiles (PND, 2000).*

En la jerarquía de planes y programas, los aspectos específicos de la contaminación del aire se han dejado al Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006. Este programa describe a lo largo de seis capítulos la situación en la que se encuentra el medio ambiente en el país, en el primero de ellos, el programa destaca la importancia que tiene la sociedad en la formulación de propuestas para la atención de distintos problemas ambientales, sobresaliendo lo siguiente:

- *Aplicar multas y sanciones severas a quienes contaminen el aire*
- *Modernizar la planta productiva y el parque vehicular*
- *Incentivar a las empresas para que disminuyan la emisión de contaminantes*
- *Apoyar a investigadores para la creación de tecnología adecuadas*
- *Impulsar y fortalecer la coordinación entre sectores productivos, sociedad y autoridades para establecer programas que reduzcan emisiones de gases de efecto de invernadero*
- *Impulsar campañas permanentes de reforestación y de control de contaminantes atmosféricos. (SEMANART, 2000a)*

En la segunda parte se hace una descripción de la situación ambiental actual y para el caso de la Gestión de la Calidad del Aire se menciona que desde hace casi tres décadas se han venido realizando esfuerzos para abatir y revertir la contaminación atmosférica en los mayores núcleos urbanos del país y, más recientemente, en las ciudades medias. Entre otras acciones,

*...se desarrollaron programas para eliminar las fuentes emisoras de los contaminantes conocidos por los efectos que provocan en la salud de las personas, mismos que disminuyen las expectativas de vida al provocar o aumentar afecciones del sistema respiratorio y cardiovascular y agravar padecimientos crónicos.*

*Se cuentan con programas de monitoreo de contaminantes prioritarios en las zonas metropolitanas de las ciudades de Guadalajara, Toluca, Monterrey, Tijuana, Mexicali, Ciudad Juárez y en 36 ciudades medias más (SEMARNAT, 2001a).*

El programa sectorial diagnostica de manera genérica que:

*En un país donde conviven cercanamente zonas urbanas y semiurbanas, rurales e industriales, no se cuenta con inventarios locales dirigidos a una gestión más decidida con respecto a la calidad del aire. La aplicación de la normatividad es extremadamente limitada y la ciudadanía, en general, desconoce la legislación en la materia.*

En su tercera parte, el programa define metas principales dentro del período administrativo del 2001 al 2006. Como un ejemplo, para el rubro de AIRE especifica la siguiente meta de calidad:

- *Mantener dentro de la norma los niveles ambientales de CO y SO<sub>2</sub> en las ciudades de México, Guadalajara, Monterrey, Tijuana, Mexicali, Juárez y Puebla. (SEMARNAT, 2001a)*

En la cuarta parte, donde se explica cómo se va a instrumentar la nueva política ambiental del país, y dentro del programa estratégico referido a detener y revertir la contaminación de los sistemas que sostienen la vida (agua, aire y suelos), sobresalen los siguientes objetivos:

- *Detener y revertir la contaminación de los recursos de agua, aire y suelo con el propósito de garantizar su conservación para las generaciones futuras.*
- *Asegurar el manejo integral del aire, agua y suelo*
- *Asegurar el cumplimiento de las leyes, normas y reglamentos (SEMARNAT, 2001a)*

En la quinta parte del programa sectorial se describe el comportamiento que deben tener diversos sectores de la economía en la búsqueda del desarrollo sustentable y se fijan los compromisos de éstos como sigue:

Para PEMEX:

<b>ACCIONES</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>DIC-2001</b>	<b>DIC-2006</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<i>Disminución de emisiones SO<sub>2</sub></i>	<i>Emisiones SO<sub>2</sub>/producción total</i>	<i>1.74 Ton/Mton</i>	<i>1.42 Ton/Mton</i>	<i>Evaluar la emisión de SO<sub>2</sub> por tonelada producida en los diferentes procesos de la empresa durante la obtención de petróleo crudo, gas natural, petrolíferos y petroquímicos con base en las acciones operativas para reducir la contaminación ambiental</i>

Adaptado de: (SEMARNAT 2001a).

Para la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, SCT, los objetivos Ambientales son:

- *Reducir las emisiones de contaminantes asociados al transporte en vías generales de comunicación a niveles aceptados internacionalmente.*
  - *Número de vehículos del autotransporte federal verificados/total del parque vehicular registrado.*
  - *Estimación de gases contaminantes en carreteras federales, en proporción a los aforos por tipo de vehículo (SEMARNAT, 2001a).*

Para la Secretaría de Salud los compromisos son:

- *Reducir en 30 % la incidencia de enfermedades respiratorias por exposición atmosférica y en 60 % las enfermedades respiratorias por exposiciones intramuros en la infancia.*
- *Reducir 15 % la exposición promedio de contaminantes atmosféricos en la población general (SEMARNAT, 2001a).*

Para la Secretaría de Energía los objetivos son más genéricos y acordes con lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo:

- *Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero:*
- *Homologación de metodologías para medición de emisiones y preparación de balance periódico sobre emisiones*
- *Concientizar a la sociedad y a los trabajadores de las entidades del sector sobre los efectos de las emisiones de gases de efecto invernadero.*
- *Metodologías para la emisión de Certificados de Reducción de Emisiones (SEMARNAT, 2001a).*

Como se observa, aún cuando la política ambiental anteriormente descrita, no se establecen metas específicas para el desarrollo de SMA's, no obstante para muchas de las metas propuestas el monitoreo de la calidad del aire juega un papel determinante para la evaluación y el seguimiento de los programas de gestión ambiental.

Con el propósito de fortalecer y acelerar el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA) que se describe en la siguiente sección, puede concluirse: primero, la inminente necesidad de actualizar la legislación ambiental y segundo la urgencia de promover la divulgación de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud y los ecosistemas a nivel local y global.

### 3.2.2.1 Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través de Instituto Nacional de Ecología, ha desarrollado y presentado el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA), el cual establece un marco de política específico sobre el tema y se ajusta a los lineamientos establecidos hasta el momento por el Sistema Nacional de Planeación Democrática.

El objetivo de este programa es:

*Instaurar un programa de monitoreo atmosférico que garantice un diagnóstico y vigilancia del estado de la calidad del aire a nivel nacional, que genere información real, válida y comparable entre los diferentes sitios y redes del país, como instrumento fundamental en el establecimiento de políticas ambientales de protección a la salud de la población y de los ecosistemas (INE-SEMARNAT, 2003).*

Este programa se divide en tres etapas secuenciales y progresivas. En su primera etapa el programa fija como objetivo: elaborar un diagnóstico del estado actual de los sistemas de monitoreo atmosférico que operan en el país, revisando las leyes e instituciones que los soportan y los mecanismos financieros que los sustentan económicamente. Esta primera etapa se concentra en el desarrollo de herramientas y procedimientos que rijan la operación de los sistemas de monitoreo atmosférico que permitan garantizar la calidad y la “comparabilidad” de los datos que generan estos sistemas.

En la segunda etapa de este programa se pretende establecer un conjunto de estrategias para la definición de áreas o ciudades donde se requiere de manera prioritaria instalar sistemas de monitoreo atmosférico. Estas estrategias se diseñarán para inducir una Gestión de la Calidad del Aire integral y vinculada al monitoreo atmosférico, donde destacan acciones como la sensibilización de la población y el desarrollo de una política estatal en la materia.

En la tercer etapa se busca aplicar las herramientas y estrategias para cubrir la demanda de monitoreo atmosférico en los sitios prioritarios, homologar las prácticas de monitoreo atmosférico, establecer sistemas de control y aseguramiento de calidad y establecer un sistema de supervisión, evaluación y vigilancia por medio de auditorías a nivel nacional. En esta etapa se contempla elaborar una propuesta para integrar redes nacionales de medición de contaminantes tóxicos en las regiones en donde se sospeche o verifique la existencia de los mismos.

La siguiente figura presenta los principales objetivos del Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico que está siendo instrumentado por la SEMARNAT.

**Fig. 3.1 PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO ATMOSFERICO**  
**Esquema General**



\*MA: Monitoreo Atmosférico

Fuente: INE-SEMARNAT (2003).

### 3.2.3. MARCO INSTITUCIONAL

La Gestión de la Calidad del Aire es realizada en el gobierno federal a través de varias unidades administrativas ubicadas dentro de las secretarías de Salud, Gobernación y Medio Ambiente y Recursos Naturales.

#### 3.2.3.1. SEMARNAT-INE-CENICA

En la SEMARNAT el tema tiene un tratamiento transversal y toca las estructuras administrativas de prácticamente todas sus subsecretarías y organismos que lo componen. Destacan sin duda las direcciones generales cuyo objetivo central está relacionado con la emisión de contaminantes y la medición de la calidad del aire.

En la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, se integró recientemente una Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro y Transferencia de Contaminantes, cuyas atribuciones relacionadas con los sistemas de monitoreo atmosféricos y sus componentes se especifican en el artículo 29 del Reglamento Interior de la SEMARNAT. Estas facultades son:

**ARTÍCULO 29.-** *La Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes tendrá las siguientes atribuciones:*

- I. Instrumentar y participar en la formulación de la política general de gestión ambiental y manejo sustentable de cuencas atmosféricas, con un enfoque de planeación regional que podrá hacerse por regiones hidrogeográficas determinadas por la existencia de uno o varios ecosistemas o cuencas, en coordinación con las unidades administrativas y autoridades competentes de la Secretaría;*
- ...*
- III. Integrar y difundir el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos competencia de la Secretaría, y de aquellas sustancias que determinen las autoridades competentes, con la participación que corresponda a las demás unidades administrativas de la Secretaría, así como definir e instrumentar los mecanismos de recopilación y seguimiento de información, incluyendo la cédula de operación anual;*
- IV. Promover, ante los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios, la integración y operación de los registros estatales y locales de emisiones y transferencia de contaminantes, para su incorporación al Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes a nivel nacional;*
- V. Participar y apoyar a los gobiernos locales en la elaboración de los programas de calidad del aire y en la gestión del monitoreo ambiental;*
- ...*
- VII. Planear y organizar el seguimiento y evaluación de los avances en el abatimiento de emisiones de contaminantes a la atmósfera, con la colaboración de las autoridades federales, estatales y municipales competentes;*



- VIII.** *Participar en la definición y aplicación de instrumentos de prevención y control integrado de la contaminación del aire;*
- IX.** *Participar con los órganos desconcentrados y unidades administrativas competentes de la Secretaría y de otras dependencias y entidades, en la promoción de acciones y medidas para la protección ambiental de las cuencas atmosféricas;*
- X.** *Participar y representar a la Secretaría en las instancias de coordinación para la gestión de la calidad del aire a nivel nacional, regional y local;*
- XI.** *Promover ante los gobiernos de las entidades federativas y municipios, el fortalecimiento institucional local en materia de gestión de la calidad del aire, con la participación de las unidades administrativas y órganos desconcentrados competentes de la Secretaría;*
- XII.** *Participar en coordinación con las autoridades locales en el diseño, establecimiento y actualización de los programas de contingencias ambientales atmosféricas, y dictaminar la inclusión o exención de las fuentes fijas de jurisdicción federal en dichos programas;*
- XIII.** *Representar a la Secretaría y participar en la formulación de compromisos y proyectos internacionales relacionados con el manejo sustentable de cuencas atmosféricas, con la participación que corresponda a la Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales, así como ejecutar las acciones que le competen derivadas de los acuerdos establecidos;*
- XIV.** *Aplicar las políticas nacionales y la normatividad sobre protección de la capa de ozono;*
- XV.** *Participar en la definición y desarrollo de las estrategias de acción climática emprendidas por la Secretaría y otras dependencias y entidades de la Administración Pública Federal;*
- XVI.** *Elaborar el inventario nacional de fuentes de emisión de contaminantes al aire en coordinación con el Instituto Nacional de Ecología, y apoyar en las actividades estatales y municipales para el desarrollo de los inventarios de su competencia;*
- XVII.** *Participar en comités, comisiones y fideicomisos nacionales e internacionales para definir la gestión ambiental de las cuencas atmosféricas;*
- XVIII.** *Coordinar el diseño e instrumentación de estrategias integrales de gestión de la calidad del aire y su relación con la agenda nacional de energía y los programas de transporte y desarrollo urbano, entre otros, representando a la Secretaría en las diferentes actividades regionales y metropolitanas relacionadas con el manejo sustentable de las cuencas atmosféricas;*
- XIX.** *Participar con la Dirección General de Estadística e Información Ambiental, en el establecimiento de los requerimientos y elementos para generar, procesar y divulgar información sobre la emisión y transferencia de contaminantes, y sobre el seguimiento de los programas y acciones de gestión de la calidad del aire;*
- XX.** *Participar, como miembro permanente, en los comités consultivos nacionales de normalización que se constituyan en la Secretaría, en las materias a que se refiere el presente artículo;*
- XXI.** *Participar en el diseño de instrumentos económicos aplicables a la gestión de la calidad del aire, en coordinación con la Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental y el Instituto Nacional de Ecología;*
- XXII.** *Colaborar en la instrumentación de estrategias de participación ciudadana en programas y acciones de prevención y control de la contaminación atmosférica, en coordinación con la Unidad Coordinadora de Participación Social y Transparencia;*
- XXIII.** *Proponer a la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, la formulación y ejecución de programas de restauración ecológica y, en su caso, de proyectos de declaratoria de zonas de restauración en aquellas áreas que presenten procesos de degradación, desertificación o graves desequilibrios ecológicos, y*
- XXIV.** *Expedir, en el ámbito de su competencia, las autorizaciones a que se refiere el artículo 49 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. (SEMARNAT, 2003).*

En el Instituto Nacional de Ecología el tema de contaminación y monitoreo de la calidad del aire es tratado de una manera más explícita en las funciones establecidas por el Reglamento Interior de la Secretaría.

Dentro del INE, la Dirección General de Investigación sobre Contaminación Urbana, Regional y Global así como La Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental se encuentran vinculadas a funciones en materia de sistemas de monitoreo atmosférico. A la letra, el artículo 113 y el 115 especifican lo siguiente:

**ARTÍCULO 113.-** *La Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global tendrá las siguientes atribuciones:*

- I. Dirigir estudios para definir las tendencias espaciales y temporales sobre contaminación atmosférica a escala nacional;*
- II. Dirigir estudios tendientes a determinar los efectos de la contaminación ambiental en los ecosistemas, apoyar a la Secretaría de Salud en los correspondientes a la salud humana, así como difundir sus resultados;*
- III. Participar en el diseño, realización y evaluación de estudios acordados en las instancias de coordinación de las zonas conurbadas, en materia de calidad del aire;*
- IV. Promover, en coordinación con la Secretaría de Educación Pública, que las instituciones de educación básica superior y los organismos dedicados a la investigación científica y tecnológica, desarrollen planes, programas y difusión para la formación de especialistas y para la investigación sobre contaminación atmosférica, cambio climático, ecotoxicología y salud ambiental;*
- V. Establecer vínculos de colaboración con centros e instituciones de investigación similares establecidos en otros países, y fomentar la cooperación técnica en temas relacionados con el cambio climático, contaminación del aire, ecotoxicología y la salud ambiental;*
- VI. Participar en representación de la Secretaría en foros, proyectos de investigación y acuerdos internacionales relacionados con el cambio climático, la salud ambiental, la contaminación atmosférica y la seguridad química, con la participación de la Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales;*
- VII. Promover y participar conjuntamente con universidades, centros de investigación y otras entidades nacionales e internacionales, en la adaptación y utilización de modelos de simulación y pronóstico de la calidad del aire, así como toxicológicos para la evaluación de riesgos ambientales, en su caso, bajo los lineamientos de la Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales;*
- VIII. Coordinar la elaboración de las comunicaciones nacionales de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y en la formulación de estrategias de acción climática, con la participación de la Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales y de las unidades técnicas competentes de otras secretarías;*
- IX. Promover y coordinar estudios sobre los beneficios compartidos derivados de la aplicación de medidas y estrategias para reducir simultáneamente la emisión de contaminantes tóxicos y de gases de efecto invernadero;*
- X. Promover y coordinar estudios para la actualización, mejoramiento y sistematización permanente del inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero;*

...

- XII.** Promover y coordinar estudios sobre la evaluación de la mitigación de gases efecto invernadero, y sobre la vulnerabilidad y las opciones de adaptación al cambio climático en el país;
- ...
- XV.** Desarrollar y operar, en colaboración con la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, un sistema nacional de información de la calidad del aire, así como otros sistemas y bases de datos sobre contaminación y deterioro ambiental;
- XVI.** Participar con la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, en la elaboración y conducción de los programas de investigación en materia de contaminación atmosférica y manejo de materiales, sustancias y residuos peligrosos;
- XVII.** Promover y coordinar los estudios para la actualización de los factores de emisión y de los patrones de actividades, y
- XVIII.** Promover y coordinar el mantenimiento y mejoramiento de la base de datos y subsistemas de aseguramiento de calidad. (SEMARNAT, 2003).

Las funciones vinculantes de la DGCENICA con los sistemas de monitoreo atmosférico se expresan en el siguiente artículo:

**ARTÍCULO 115.-** La Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental tendrá las siguientes atribuciones:

- ...
- II.** Participar en los comités de evaluación para la acreditación y aprobación de los laboratorios de pruebas en materia de muestreo y análisis de contaminantes atmosféricos, sustancias y residuos, cuando se requiera para efectos de la evaluación de la conformidad, respecto de las normas oficiales mexicanas, en términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y atendiendo a los criterios y lineamientos que para tal efecto emita la Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental;
- III.** Proponer a las unidades administrativas competentes de la Secretaría, especificaciones técnicas, bases de diseño y protocolos de operación y manejo de datos de los sistemas de monitoreo atmosférico; supervisar y evaluar la operación y aseguramiento de la calidad de los sistemas de monitoreo atmosférico, así como promover, coordinar y supervisar el establecimiento de sistemas de monitoreo de la contaminación atmosférica en las entidades federativas;
- ...
- V.** Aplicar proyectos de monitoreo ambiental derivados de la Comisión Ambiental Metropolitana del Valle de México en coordinación con las Direcciones Generales de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, y de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes;
- VI.** Dirigir estudios tendientes a determinar la calidad del ambiente, en coordinación con las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal y los gobiernos de las entidades federativas y municipios, así como difundir sus resultados;
- ...
- VIII.** Participar, en colaboración con la Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global, en la adaptación y operación de modelos computacionales que apoyen la gestión de la calidad del aire;
- IX.** Representar a la Secretaría en foros internacionales relacionados con el manejo sustentable de cuencas atmosféricas e hidrológicas, así como con la conservación y manejo de materiales y residuos industriales, en colaboración con las Direcciones Generales de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, y de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, y las Unidades Ejecutiva de Asuntos Jurídicos y Enlace Institucional, y Coordinadora de Asuntos Internacionales;

- X. *Proponer a las unidades administrativas competentes de la Secretaría, el desarrollo de métodos analíticos y procedimientos de control y aseguramiento de calidad en los procesos de medición y caracterización de contaminantes ambientales;*
- XI. *Realizar investigaciones sobre contaminación atmosférica y de evaluación de la exposición personal;*
- ...
- XIII. *Desarrollar e implementar, en coordinación con la Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global, el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, así como otros sistemas y bases de datos sobre contaminación y deterioro ambiental, conforme a los lineamientos de la Dirección General de Estadística e Información Ambiental;*
- ...
- XV. *Organizar, en coordinación con las unidades administrativas competentes de la Secretaría, programas de capacitación técnica y científica en materia de contaminación atmosférica de manejo de materiales y residuos sólidos y peligrosos y de técnicas analíticas para profesionales mexicanos de los sectores público, privado y académico;*
- XVI. *Funcionar como laboratorios de referencia en materia de análisis y calibración de equipo de medición de contaminantes atmosféricos, y*
- XVII. *Emitir opiniones y formular informes técnicos a partir de estudios e investigaciones, participación en programas de evaluación tecnológicas, supervisiones y evaluaciones de sistemas de monitoreo atmosférico, cuando así lo requieran las unidades administrativas competentes de la Secretaría y sus órganos desconcentrados. (SEMARNAT, 2003).*

De esta manera, en la DGCENICA se está realizando la conformación tanto del Sistema Nacional de Monitoreo Atmosférico (SINMA) como el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Asimismo, en su estructura organizacional está contemplado un laboratorio de calibraciones y transferencia de estándares, el cual tendrá también un papel determinante para el apoyo a los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMA's) en lo referente a las cadenas de trazabilidad, toda vez que el tipo de auditorías que lleguen a practicar a dichos sistemas, tendrá como objetivo fundamental armonizar y estandarizar procedimientos y garantizar la calidad de los resultados a partir del empleo de estándares de referencia trazables.

Por con siguiente, se considera que la DGCENICA sería el responsable y tiene la facultad de llevar a cabo las evaluaciones sistemáticas a los SAM's del país a partir del diseño de un programa de auditoría federal, cuya propuesta se plantea en el documento 6.

### **3.2.3.2 Procuraduría Federal de Protección al Ambiente**

A continuación se presentan los artículos y fracciones del Reglamento Interior de la SEMARNAT que vinculan a la PROFEPA con las contingencias ambientales en las que se incluyen las atmosféricas:

**ARTÍCULO 124.-** *La Dirección General de Riesgo Ambiental en Auditorías tendrá las siguientes atribuciones:*

...

- VI.** *Establecer vínculos de comunicación con las autoridades federales, estatales o municipales o con los particulares a fin de que coadyuven en la solución de problemas causados por emergencias o contingencias ambientales;*

**ARTÍCULO 131.-** *Las Direcciones Generales de Inspección de Fuentes de Contaminación; de Impacto Ambiental y Zona Federal Marítimo Terrestre; de Inspección Forestal; de Inspección de Vida Silvestre, y de Inspección de los Recursos Marinos y Ecosistemas Costeros, en las materias de su respectiva competencia, tendrán además las siguientes atribuciones genéricas:*

...

- XIV.** *Investigar y atender los hechos relacionados con contingencias ambientales en la materia de su competencia; (SEMARNAT, 2003).*

Como se observa la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente PROFEPA tiene vinculación con las contingencias ambientales atmosféricas, sin embargo en su estructura organizacional no existe una unidad administrativa que esté directamente vinculada con la inspección o la vigilancia del desempeño de los sistemas de monitoreo atmosférico operados por las autoridades estatales y locales.

Por otra parte, aún cuando la PROFEPA tiene las atribuciones directas para verificar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente en México, ésta podría participar en coadyuvar en aplicación de sanciones a organismos estatales y/o municipales que incurrieran en desacatos o faltas administrativas graves, lo cual podría ser contemplado en las normas oficiales mexicanas relativas a los sistemas de monitoreo atmosférico, siendo muy importante que exista a mediano plazo una estructuración jurídica integral del tema en toda la legislación ambiental.

### **3.2.3.3 Comisión Nacional de Agua-Servicio Meteorológico Nacional.**

En la Comisión Nacional del Agua (CNA), al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se le vincula directamente con el monitoreo atmosférico, ya que el monitoreo esta orientado a la medición de los parámetros meteorológicos, de acuerdo con las siguientes atribuciones:

**ARTÍCULO 59.-** La Unidad del Servicio Meteorológico Nacional tendrá las siguientes atribuciones:

- I.** Desarrollar y promover las capacidades técnicas básicas que se requieran para que las obras, acciones y programas de la Comisión Nacional del Agua en materia de servicios meteorológicos y productos climatológicos, sean de calidad;
- II.** Proponer a las unidades administrativas competentes de la Comisión Nacional del Agua, los lineamientos internos de carácter técnico y administrativo, sistemas y procedimientos, que permitan dar unidad a las acciones del Gobierno Federal, en materia de meteorología y climatología, y coordinar su aplicación;

- III. Organizar, dirigir, coordinar y supervisar el desarrollo de las atribuciones señaladas para las Gerencias de Redes y Observación Telemática, de Informática y Telecomunicaciones, y de Meteorología;
- IV. Dirigir, realizar y difundir los estudios, trabajos, productos y servicios meteorológicos y climatológicos;
- V. Promover y difundir entre la población, los servicios y productos del Servicio Meteorológico Nacional, como fuente oficial de información meteorológica en el país, así como entre los usuarios específicos, instituciones y medios de comunicación;
- VI. Dar seguimiento a convenios de cooperación técnica con la Organización Meteorológica Mundial y otras instituciones afines del país y del extranjero;
- VII. **Fomentar la investigación científica y el desarrollo tecnológico en materia de meteorología y sistemas de monitoreo atmosférico, su aplicación y la formación y capacitación de los recursos humanos relacionados.** (SEMARNAT, 2003).

La vinculación especificada en la fracción VII del artículo 59 del Reglamento Interior de la SEMARNAT no se observa de manera contundente en los SMA´s del país. Esta circunstancia se puede deber a la accesibilidad tan amplia y generalizada de la información meteorológica a nivel mundial y particularmente en Norteamérica y el Caribe, lo que hace innecesaria una “presencia institucional” del Servicio Meteorológico Nacional en cada red, aunque se hace necesario considerar mediciones meteorológicas y climáticas, a nivel micro en las estaciones para monitoreo de tipo automático, pues existe una vinculación estrecha entre contaminación y meteorología..

#### **3.2.3.4           Secretaría de Salud**

En la Secretaría de Salud y el sector salud existen instituciones con amplias facultades para intervenir en asuntos de contaminación atmosférica por cuestiones de salubridad. Así, las labores epidemiológicas vinculadas con los sistemas de monitoreo atmosférico se especifican en los siguientes artículos del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud:

**Artículo 45.** Corresponde al Centro Nacional de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades:

XI. Coordinar el **Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica**, incluyendo el Comité Nacional de Vigilancia Epidemiológica, así como las acciones de vigilancia epidemiológica internacional;

...

XIV. Difundir en forma oportuna los resultados e información generada por las acciones de prevención y control de enfermedades, así como de atención de urgencias y desastres, vigilancia epidemiológica y demás que lleve a cabo; (SSA, 2003h).

### **3.2.3.5 Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS)**

La *COFREPRIS* es un organismo desconcentrado de la Secretaría de Salud (SS) que fue creado por decreto expedido el 30 de junio de 2003 en el DOF a través de la adición y derogación de diversos artículos de la Ley de Salud (LS). Dicha comisión comparte atribuciones con la SS para la regulación, control y fomento sanitarios en términos de LS, así como las que se establecen en el propio Reglamento de la COFEPRIS expedido en Abril del 2004.

En Art. 2 del Capítulo 1 referente a las Disposiciones Generales de este instrumento regulatorio se definen como:

Riesgo sanitario: *“La probabilidad de ocurrencia de un evento exógeno adverso, conocido o potencial, que ponga en peligro la salud o la vida humana”*

Vigilancia Sanitaria: *“El conjunto de acciones de evaluación, verificación y supervisión del cumplimiento de los requisitos establecidos en las disposiciones aplicables que deben observarse en los procesos, productos, métodos, instalaciones, servicios o actividades relacionados con las materias competencia de la Comisión federal”*

Mientras que en el artículo 3 se establecen las siguientes fracciones vinculadas con la vigilancia epidemiológica en el país:

**Artículo 3.** Para el cumplimiento de su objeto, la COFEPRIS tiene a su cargo las siguientes atribuciones:

I. Ejercer regulación, vigilancia y fomento sanitario, que en términos de las disposiciones aplicables corresponden a la SS en materia de:

...

n). efectos nocivos de los factores ambientales en la salud humana

...

II Elaborar y emitir, en coordinación con otras competencias correspondientes las NOM's, así como las demás disposiciones de carácter general a las que se refiere la fracción I;

...

V. Identificar, analizar, evaluar, regular, controlar, fomentar y difundir las condiciones y requisitos para la prevención y manejo de los riesgos sanitarios;

...

IX. Aplicar estrategia de investigación, evaluación y seguimiento de riesgos sanitarios, conjuntamente o en coadyuvancia con otras autoridades competentes;

...

XI. Ejercer las acciones de control, regulación y fomento sanitario correspondientes, para prevenir y reducir los riesgos sanitarios derivados de la exposición de la población a los factores químicos, físicos y biológicos;

XII. Participar, en coordinación con las unidades administrativas correspondientes a la SS en la instrumentación de las acciones de prevención y control de enfermedades, así como de vigilancia epidemiológica, cuando éstas se relacionen con los riesgos sanitarios derivados de los procesos, productos, métodos, instalaciones, servicios o actividades en las materias a que se refiere la fracción I del presente artículo. *(COFEPRIS,2004)*

Considerando la responsabilidad directa que tiene la Secretaría de Salud en la expedición de las Normas de Calidad del Aire y las funciones de la COFEPRIS antes citadas, puede determinarse que dicha Comisión puede y debe jugar un papel determinante en la instrumentación de las contingencias ambientales atmosféricas, específicamente en lo referente a la vigilancia epidemiológica, en coordinación con el Centro Nacional de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades.



## **4. IMPORTANCIA DEL MONITOREO ATMOSFÉRICO EN LA GESTIÓN AMBIENTAL Y SU UTILIDAD**

El monitoreo atmosférico es fundamental para identificar y proveer la información necesaria para la evaluación de la calidad del aire y sus tendencias en el país, asimismo, es un instrumento esencial para el desarrollo de políticas y de estrategias de prevención y control de la contaminación del aire.

El producto principal de un sistema de monitoreo atmosférico es la información que genera. De esta manera los datos de calidad del aire son insumo de muy diversos e interrelacionados procesos de planeación, regulación, educación e investigación.

Como se verá en el documento 5, cada Sistema Monitoreo de Atmosférico debe contar con un Sistema de Gestión de Calidad con procedimientos efectivos para el control de documentos. Bajo un enfoque de Administración de Calidad, el sistema documental debe estructurarse en forma consistente y permitir la rastreabilidad de las diferentes etapas del proceso, desde el muestreo y/o monitoreo hasta la entrega de datos validados para la generación de reportes técnicos internos y reportes externos.

En las siguientes secciones, se describe la importancia, así como las principales características y aplicaciones de los reportes antes mencionados.

### **4.1 IMPORTANCIA PARA ALERTAR A LA POBLACIÓN**

Uno de los objetivos primordiales en el control de la contaminación del aire, es el garantizar un ambiente sano que permita a la población de un área específica tener una calidad del aire satisfactoria. El monitoreo atmosférico mide los parámetros necesarios para evaluar si los contaminantes atmosféricos se encuentran en concentraciones adecuadas, los instrumentos legales para determinar esto, son las normas de calidad del aire.

Las practicas de monitoreo atmosférico involucran la recopilación, registro y procesamiento de millones de datos anuales, por lo que es necesario contar con procedimientos eficientes y confiables para clasificar y sintetizar dicha información a partir de la elaboración de los reportes técnicos internos y reportes externos (públicos) correspondientes.

#### **4.1.1 Reportes Técnicos Internos**

Este tipo de reportes pueden ser generados en forma diaria, semanal o mensual, o bien pueden ser especiales por situaciones de emergencia. Comúnmente, se trata de informes sintéticos de datos de calidad del aire específicos para determinados contaminantes por estación o zona, y referidos, tanto en unidades de concentración (ppm, ppb,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) como en sus respectivas equivalentes en IMECAS. La aplicación de dichos reportes internos puede estar orientada a:

- Informar en forma objetiva y sintética a las máximas autoridades de la organización, por ejemplo Secretarios, Gobernadores, etc. de las condiciones de calidad del aire prevalecientes.
- Demostrar a las Contralorías internas y externas, el apropiado uso y ejercicio presupuestal a partir de la compilación de los reportes periódicos, como evidencia del funcionamiento de la infraestructura y recursos asignados al programa de monitoreo de calidad del aire.
- Tomar decisiones para emprender los planes de pre o contingencia ambiental en función de los pronósticos meteorológicos, y de los niveles de confianza de los datos de calidad del aire durante períodos críticos.
- Para dar respuesta a solicitudes de información de calidad del aire, para fines de estudios especiales y/o investigación (por ejemplo, datos de las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$ , registradas en una o más estaciones de interés durante un período específico).

En general los reportes técnicos internos generados por un SMA, deben cumplir con los requisitos de revisión y autorización previstos dentro de sus procedimientos de control de documentos, así como contar con el soporte documental suficiente para demostrar su veracidad en casos de reclamaciones o dudas.

#### **4.1.2 Reportes Externos o Públicos**

Otro de los objetivos determinante del monitoreo atmosférico, es vigilar el comportamiento de los contaminantes del aire en relación a las normas de calidad del aire para fines de protección de la salud de la población. Dentro de este contexto, los SMA's deben de cumplir la importante función de informar a la población de los niveles de contaminación a los que están expuestos, a partir de reportes vía medios de comunicación. Asimismo, para la población interesada en el tema de calidad del aire, es necesario suministrar publicaciones periódicas con la información necesaria y suficiente de los datos históricos, comportamiento y tendencias de los contaminantes del aire en su localidad y su interpretación en

relación a las medidas implantadas dentro de los programas de gestión de calidad del aire.

A continuación, se describen las función de los reporte públicos de corto plazo, denominados índices de calidad del aire, mientras que en las secciones subsecuentes se enuncian las características de reportes públicos de mediano y largo plazo que incluyen el análisis de los datos, a partir del empleo de indicadores estadísticos.

#### **4.1.2.1      *Índices de Calidad de Aire***

Los índices de Calidad del Aire están orientados para que la población conozca los niveles de contaminación de manera, sencilla, precisa y oportuna, y permiten que las autoridades en materia de protección ambiental y salud, emprendan las medidas pertinentes para proteger la salud de la población en casos de condiciones de contingencia.

La información de los niveles de contaminación, tiene también como objetivo crear conciencia entre la población sobre la importancia de la calidad del aire para la salud.

Desde la década de los 70's, los índices de calidad del aire, se han usado en diversos países como el mecanismo directo de comunicación con la población, para informar el estado de la calidad del aire.

Los índices de Calidad del Aire ponderan y transforman las concentraciones de los contaminantes atmosféricos a un valor adimensional, el cual indica el nivel de contaminación presente en una zona o localidad determinada y puede ser fácilmente entendido por el público. El factor de ponderación que se utiliza en diversos países considera las normas de calidad del aire con los daños potenciales sobre la salud de la población.

A continuación se describen en forma general los índices de calidad del aire que se utilizan en Estados Unidos, Canadá y México.

## ***Estados Unidos***

En Estados Unidos el índice de Calidad del Aire que se utiliza actualmente se denomina *AQI* (Air Quality Index), su objetivo principal es comunicar a la población los niveles de contaminación del aire y sus respectivos efectos sobre la salud. El *AQI*, se basa en las normas primarias de calidad del aire para los siguientes cuatro contaminantes: CO, O<sub>3</sub>, PM10 y PM2.5, y utiliza 6 categorías, cada categoría corresponde a un diferente nivel de afectación a la salud, el cual también es identificado con un color para una mejor comprensión de los efectos a la salud como se muestra en la tabla 4.1.

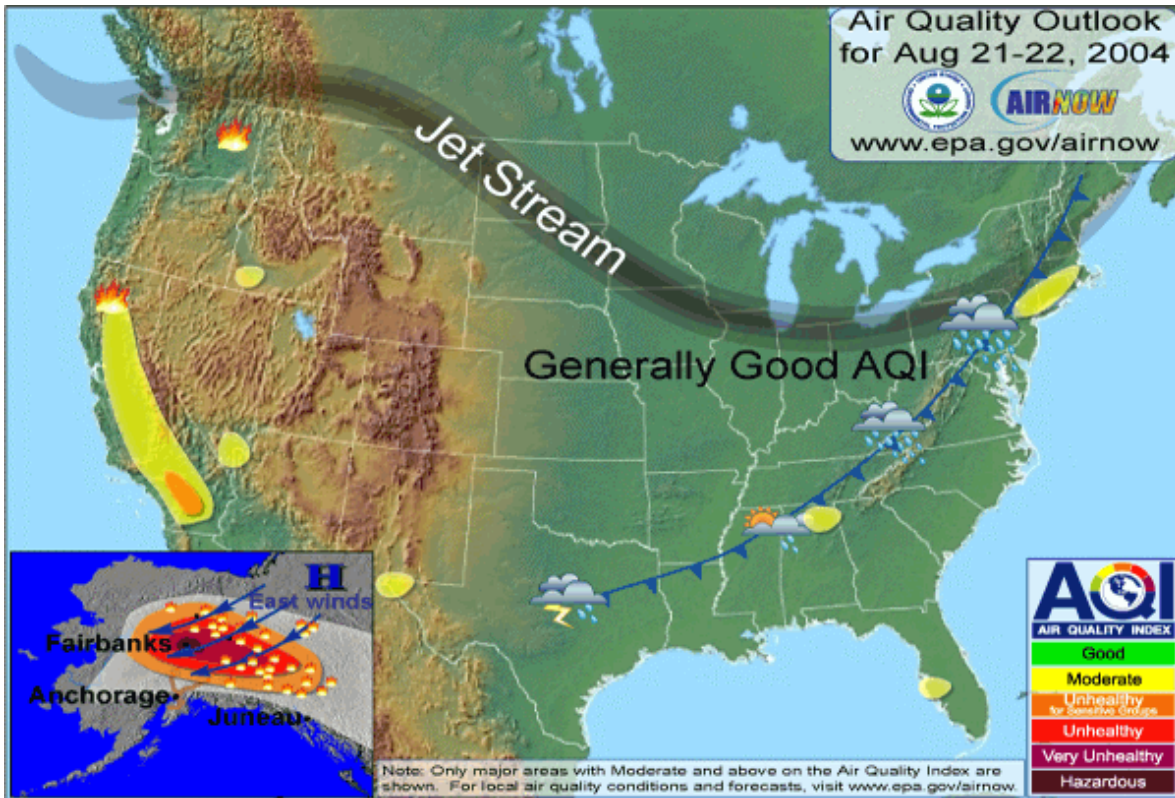
**Tabla 4.1. Categorías del Índice de calidad del Aire de Estados Unidos**

<b>INDICE DE CALIDAD DEL AIRE (categorías)</b>	<b>NIVELES DE AFECTACIÓN A LA SALUD</b>	<b>COLORES</b>
<b>..cuando la calidad del aire esta en este rango...</b>	<b>...las condiciones de la calidad del aire son:</b>	<b>.. y es simbolizado con este color</b>
<b>0 a 50</b>	<b>BUENO</b>	<b>VERDE</b>
<b>51 a 100</b>	<b>MODERADO</b>	<b>AMARILLO</b>
<b>101 a 150</b>	<b>DAÑINO PARA GRUPOS SENSIBLES</b>	<b>NARANJA</b>
<b>151 a 200</b>	<b>DAÑINO</b>	<b>ROJO</b>
<b>201 a 300</b>	<b>MUY DAÑINO</b>	<b>PÚRPURA</b>
<b>301 a 500</b>	<b>PELIGROSO</b>	<b>MARRÓN</b>

Traducida de: <http://www.epa.gov/airnow/aqi.html>

Asimismo, la representación del código de colores, ayuda a una identificación rápida del grado de afectación en una zona por presencia de contaminantes atmosféricos, información que la *EPA* presenta al público vía Internet a escala nacional (E.U.) como se ilustra en la Fig. 4.1, donde puede apreciarse que las condiciones de la calidad del aire en algunas zonas del país son moderadas y en otras dañinas.

Fig. 4.1. Representación de la Calidad del Aire en Diversas Zonas de E.U.



Fuente <http://www.epa.gov/airnow/weekend.html>

Adicionalmente, para que la población comprenda los efectos asociados a la contaminación del aire, en el sitio [www.epa.gov/airnow/aqi.html](http://www.epa.gov/airnow/aqi.html) del AQI, se presenta información adicional de los síntomas específicos de la exposición a cada uno de los 4 contaminantes en los diferentes niveles de la escala como se ilustra en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2. Guía de Efectos a la Salud del AQI**

<b>Categorías de Salud</b>	<b>Ozono</b>	<b>Partículas, PM2.5</b>	<b>Partículas, PM10</b>	<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>
<b>MUY PELIGROSO (201 a 300)</b>	Niños y adultos activos y personas con males respiratorios como el asma deben evitar todo esfuerzo al aire libre (Participación en deportes difíciles o ejercicio); los demás, particularmente los niños, deben limitar el ejercicio al aire libre.	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben evitar toda actividad al aire libre; los demás deben evitar todo ejercicio prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre; los demás, en especial los ancianos y los niños, deben limitar el ejercicio al aire libre.	Las personas que sufren enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, deben evitar ejercicio, así como las fuentes emisoras de CO, como el tráfico pesado.
<b>PELIGROSO (151 a 200)</b>	Niños y adultos activos y personas con males respiratorios como el asma deben evitar el deporte prolongado al aire libre; los demás, como los niños, deben limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben evitar los deportes prolongados; los demás deben limitar el esfuerzo prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el ejercicio al aire libre; los demás, en especial los ancianos y los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre.	Las personas que sufren enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, deben limitar los deportes moderados y evitar el tráfico pesado.
<b>PELIGROSO PARA GRUPOS SENSIBLES (101 a 150)</b>	Niños y adultos activos y personas con males respiratorios como el asma deben limitar el ejercicio prolongado al aire libre.	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben limitar el ejercicio prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el ejercicio al aire libre.	Las personas que sufren enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, deben limitar los deportes intensos y evitar el tráfico pesado.
<b>MODERADO (51 a 100)</b>	Las personas inusualmente sensibles deben considerar limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.	Ninguno	Ninguno	Ninguno
<b>BUENO (0 a 50)</b>	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno

Traducida de: <http://www.epa.gov/airnow/aqi.html>

### **Canadá**

Análogamente en Canadá la Agencia de Medio Ambiente (Environment Canada) ha desarrollado un Índice de Calidad del Aire denominado *AQI (Air Quality Index)*, el cual está compuesto de 4 niveles con base a un código de colores dentro de un rango de 0 a 100 puntos. En la Tabla 4.3, se ilustran los valores y el código de colores usado para informar la situación de calidad del aire a la población.

**Tabla 4.3. Índice de Calidad de Aire para Canadá**

ÍNDICE (AQUI)	CALIDAD DEL AIRE
0-25	La calidad del aire es <b>BUENA</b>
26-50	Indica una calidad <b>REGULAR</b>
51-100	La calidad del aire <b>POBRE</b>
100	La calidad del aire es <b>MUY POBRE</b>

Traducida de: <http://www.qnb.ca/0009/0355/0003/0011-e.html>

Los Criterios de interpretación generales del AQUÍ son como sigue:

- Bueno (AQUI= 25 o menos). En este categoría los niveles de contaminación del aire están muy bajos.
- Regular, (AQUI = 26 a 50): En este nivel los contaminantes son relativamente bajos, pero pueden causar efectos adversos a individuos sensibles y puede impactar sobre los ecosistemas.
- Pobre, (AQUI = 51 a 100): En este nivel, la contaminación pueden causar efectos adversos sobre los humanos, animales, agua y vegetación.
- Muy Pobre, (AQUI mayor que 100): A partir de este nivel los contaminantes del aire presentan un riesgo significativo para la salud y el ambiente.

### **México**

En lo que respecta a México, a finales de 1977 la Dirección General de Saneamiento Atmosférico de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, desarrolló el Índice Mexicano de la Calidad del Aire "IMEXCA", con la finalidad de informar al público de manera precisa y oportuna sobre la calidad del aire. La estructura técnica del IMEXCA se basó en el *Pollutant Standard Index (PSI)* que se usaba en Estados Unidos en esa época.

Actualmente el índice se denomina Índice Metropolitano de la Calidad del Aire "IMECA" y se genera para los contaminantes criterio que pueden medirse en tiempo real: O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO y PM<sub>10</sub>.



Cuando el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire de cualquier contaminante alcanza los 100 puntos, significa que dicho contaminante ha alcanzado la concentración permisible por la norma. En la medida en que se rebasan los 100 puntos los niveles son perjudiciales para la salud y conforme se incrementa el valor del IMECA se agudizan los síntomas.

El IMECA considera también un rango de 0 a 500 puntos divididos en 4 categorías, y a nivel nacional no se ha establecido aún en forma oficial un código de colores para la representación específica de cada nivel, sin embargo para el caso del SIMAT de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México el uso de colores, ya está siendo utilizado como se muestra en la Tabla 4.4 donde se presentan los niveles y criterios de interpretación del IMECA.

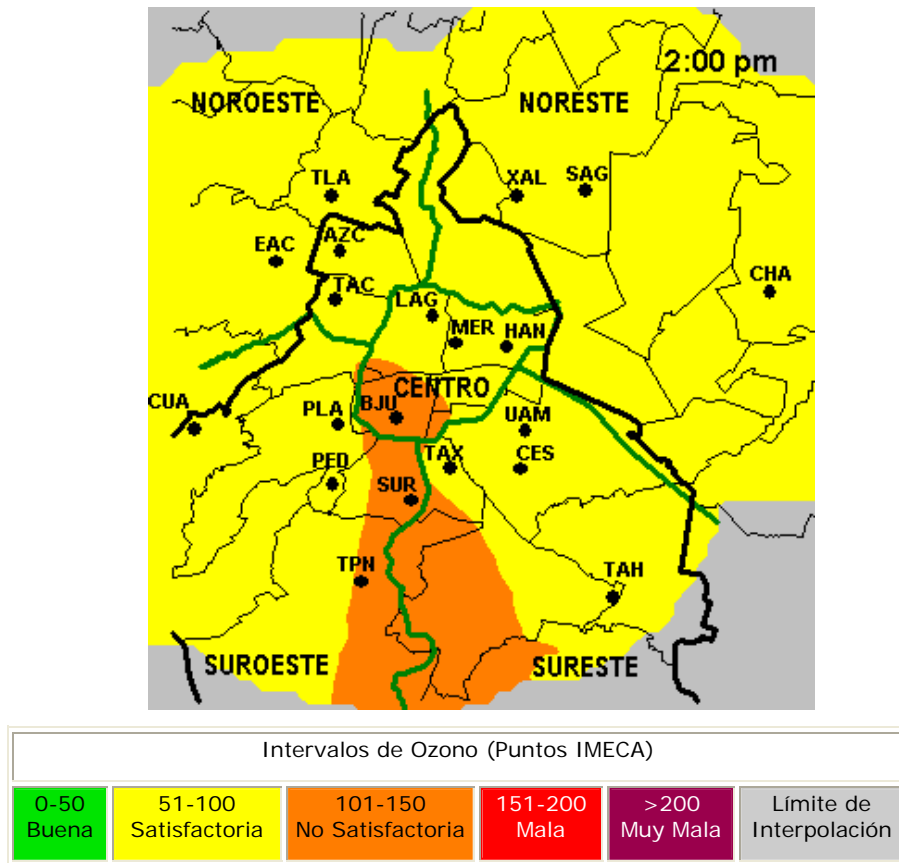
**Tabla 4.4 Interpretación del IMECA**

Interpretación del IMECA		
IMECA	Condición	Efectos a la Salud
0 - 100	Condición dentro de la norma	Ninguno
101 - 200	Condición no satisfactoria	Molestias en ojos, nariz y garganta en personas sensibles
201 - 300	Condición mala	Evitar actividades al aire libre. Posibles problemas respiratorios
301 - 500	Condición muy mala	Se agudizan los síntomas anteriores en personas sensibles y quienes fuman o padecen enfermedades crónicas

Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnimeca.htm#imeca>

En la Fig. 4.2 se muestra un mapa de la ZMVM, donde se representa los niveles del IMECA para Ozono a partir del código de colores el cual ayuda a una mejor identificación e interpretación de la calidad del aire que prevalecía a las 2:00 pm del 15 de agosto del 2004, donde se observa que en el sector sur de la ZMVM, la calidad del aire es no satisfactoria, mientras que en el resto de la mancha urbana es satisfactoria, esta información es presentada al público por el SIMAT vía Internet.

**Fig. 4.2. Representación de la Calidad del Aire en la ZMVM**



Al respecto, debe señalarse que en México el uso y cálculo del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire IMECA, se basa en los valores definidos de las normas de salud referidas con anterioridad, que no están especificados en una norma oficial mexicana, sino en un acuerdo intersecretarial. Si bien, el acuerdo obliga al gobierno federal a su aplicación, no está jurídicamente claro si es un instrumento aplicable a los gobiernos locales, lo cual a conllevado a la adopción de criterios heterogéneos para su divulgación. De esta manera, será muy conveniente que en la expedición de la norma oficial mexicana conducente, se indique un criterio de homologación al respecto como el que se propone a continuación:

- La divulgación diaria del Índice de la Calidad del Aire será obligatoria al menos cada dos horas en el período comprendido entre las 6 a.m a 10 p.m, en todas las áreas urbanas con una población igual o mayor a un millón de habitantes basada en el último censo de población publicado por INEGI.

- Homologar y modernizar su forma de presentación al público para su mejor comprensión, recomendándose ampliamente el escalamiento por colores, y las notas o figuras complementarias que se juzguen convenientes para su interpretación.
- La divulgación al público del estado de la calidad del aire a través del IMECA, debe efectuarse al menos por dos medios de comunicación masiva, tales como: t.v., radio y prensa, para garantizar una cobertura razonable de la población.

En la mayor parte de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire que actualmente operan en el país, la difusión del IMECA se realiza únicamente por Internet, cuyo nivel de acceso es muy limitado para la mayor parte de la población

#### **4.1.2.2      *Publicaciones periódicas***

Los sistemas de monitoreo atmosférico deberán contar con un área dedicada a elaborar reportes estadísticos, cartográficos e interpretativos sobre la calidad del aire de la cuenca o parcela atmosférica bajo vigilancia. Entre otras posibles funciones, ésta área será la encargada de validar los datos generados por las redes de medición, crear las bases de datos del sistema, y reportar los valores cada hora como índices de calidad y transferir la información al área de comunicación social para ser divulgados entre la ciudadanía.

Los datos de Calidad de Aire pueden correlacionarse con los del inventario de emisiones a través de múltiples y posibles métodos estadísticos, cartográficos, de modelación matemática y simulación experimental (ej. cámaras de ozono), para poder establecer líneas explicativas de los fenómenos de dispersión, concentración y transformación, en tiempo y espacio, de los contaminantes de la cuenca atmosférica bajo vigilancia.

Otro aspecto que debe considerarse es que para dar cumplimiento a la Ley Federal de Transparencia y Acceso de la Información Pública Gubernamental, y a la Ley General del Equilibrio Ecológico, los datos validados e interpretados de la Calidad del Aire que se generen en los diferentes sistemas de monitoreo operados en el país deberán ser publicados al menos cada dos años, siendo deseable que sea a través de reportes sencillos y explicativos con elementos gráficos y didácticos, para la mejor comprensión posible por parte de la población.

En la actualidad, el reporte de datos de calidad del aire de las redes de monitoreo que se está integrando al SINAICA, está implícitamente relacionado con las diversas atribuciones de dicho marco jurídico federal que se establece para las dependencias del gobierno federal vinculadas con manejo de información ambiental y salud. No obstante, se esperaría que a mediano plazo, a partir de la modificación en la legislación ambiental relacionada, y específicamente en la expedición de la norma oficial mexicana a la que se hace referencia en el documento 6, se establezcan directrices específicas de los términos en que los responsables de los SMA's deberán emitir publicaciones periódicas de los datos de calidad del aire de sus respectivas localidades, así como de los requisitos de reporte que deberán cubrir para fines de la consolidación del SINAICA.

#### **4.1.2.3. Indicadores Estadísticos**

Los Indicadores son herramientas estadísticas empleadas para depurar y facilitar la interpretación de la información histórica de los datos de calidad del aire para un período determinando de tiempo. Asimismo, del empleo de dichos indicadores pueden diagnosticarse o pronosticarse la situación actual y/o las tendencias de la calidad del aire.

La Secretaria del Medio Ambiente de Distrito Federal a través del SIMAT, cuenta con un Sistema de Indicadores de Calidad del Aire y Meteorología, su actualización mensual permite conocer oportunamente la evolución en el tiempo y en el espacio de los diferentes parámetros que mide, así como la incidencia de eventos extraordinarios. Por su confiabilidad, estos indicadores son una herramienta que apoya la toma de decisiones al momento de evaluar la eficiencia de los programas de prevención y control de la contaminación del aire. Su elaboración con elementos técnicos sencillos, facilita su acceso a los diferentes sectores de la población. (Muñoz, 1997)

Los indicadores que emplea el SIMAT, están basados en los lineamientos técnicos de *California Air Resources Board* (CARB), así como también en los denominados Indicadores de Evaluación Ambiental Presión-Estado-Respuesta (PER), que recomienda la Agencia Ambiental Canadiense (*Environment Canada*) y la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

Dichos Indicadores de Estado son parámetros estadísticos descriptivos que resumen una gran cantidad de información. Conceptualmente miden eficientemente el "progreso" en la reducción de emisiones desfogadas a la atmósfera en un área específica e ilustran la problemática de Calidad del Aire, para evaluar el efecto de las estrategias de control. De ahí que deban medir la

frecuencia e intensidad de las concentraciones con que se excede una norma. Los Indicadores de Estado que se emplean comúnmente son los siguientes:

- ✓ Primera y segunda concentración máxima del año
- ✓ Percentiles (98,95, 90, 75, 50)
- ✓ Promedio de las 30 concentraciones máximas diarias del año (*top 30*)
- ✓ Indicadores temporales
- ✓ Tiempo promedio de excedencias anuales
- ✓ Promedio anual de exposición

En la Tabla 4.5, se presenta la descripción de dichos indicadores.

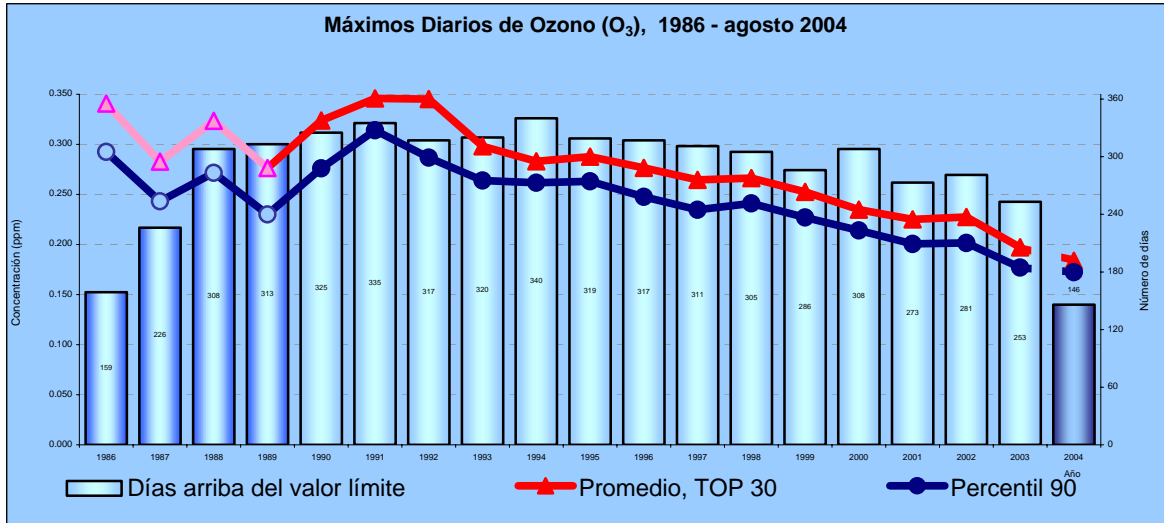
**Tabla 4.5** *Indicadores de Calidad del Aire*

INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Primera y segunda concentración máxima del año	Estos indicadores se obtienen con la primera y la segunda concentración máxima anual registrada en las estaciones de monitoreo con el mejor desempeño histórico. El CARB los recomienda para el ozono, el monóxido de carbono, el bióxido de nitrógeno y el bióxido de azufre.  Por su naturaleza extrema no se recomienda usar métodos para estimar datos faltantes.
Percentiles 98, 95, 90, 75 y 50	Un percentil es un valor por arriba del cual se encuentra un porcentaje específico del número total de valores; por ejemplo, por arriba del 20avo percentil se encuentra el 80% de las observaciones. Como Indicador de Estado de la calidad del aire, se obtiene a partir del arreglo en orden ascendente de las concentraciones máximas diarias, de manera que la concentración 347 es el punto donde se acumula el 95% de los datos y que equivaldría al 95avo percentil. Este proceso involucra solo a las estaciones de monitoreo con el mejor desempeño histórico, se pueden emplear métodos para estimar datos faltantes.
Promedio de las 30 concentraciones máximas diarias del año ( <i>top 30</i> )	Este Indicador es específico para ozono y se obtiene al promediar las 30 concentraciones máximas de un año en las estaciones de monitoreo con el mejor desempeño histórico. En el análisis de su tendencia se puede encontrar una asociación estrecha con cambios de las emisiones, su forma permite atenuar la influencia de las variaciones meteorológicas anuales.
Número de días de excedencia anual	Este indicador se obtiene como una frecuencia de horas o días en que una concentración establecida es rebasada, por lo general una norma de protección a la salud. Este indicador permite observar cuando un área está cercana a lograr los límites permisibles de contaminación. En su obtención se pueden usar métodos para estimar datos perdidos.
Tiempo promedio anual de excedencias	Este indicador señala el tiempo promedio de exposición anual en exteriores a concentraciones que exceden una norma de salud, proporcionando una medida del impacto de un contaminante en la salud de los habitantes.  Se usa para ozono, por ser este el contaminante que con mayor frecuencia rebasa su norma de salud. Supone que los individuos se exponen a concentraciones medidas por la red de monitoreo, de manera que no considera los patrones de actividad diaria en microambientes, lo que puede aumentar o disminuir la exposición.

Fuente: Muñoz (1997) y [www.sma.df.gob.mx/simat/](http://www.sma.df.gob.mx/simat/) (2004)

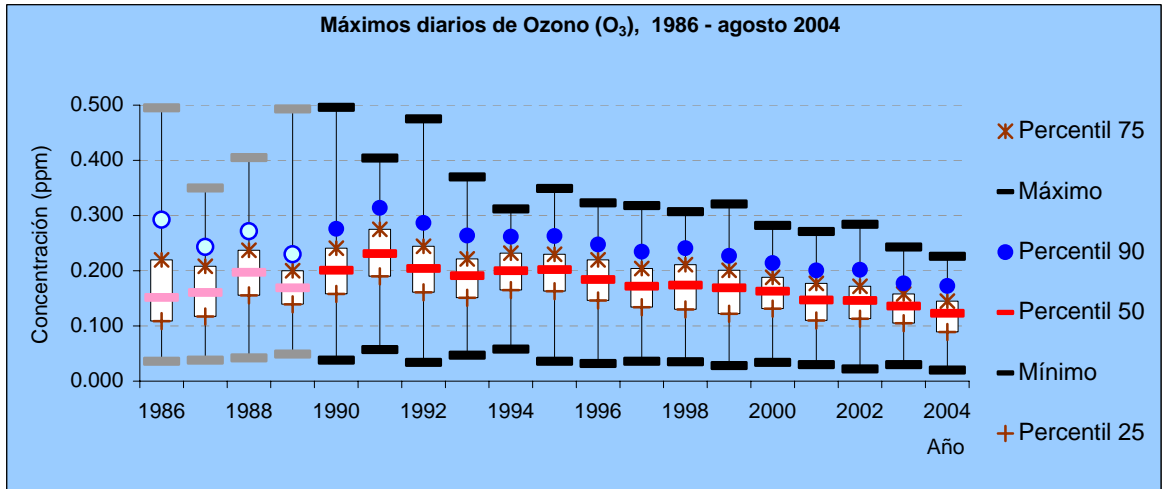
En las Fig. 4.3 y 4.4, se presentan ejemplos de la aplicación de estos indicadores para describir el comportamiento de ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México durante el período 1986-2004.

**Fig. 4.3 Máximos Diario de Ozono 1**



Fuente: [http://www.sma.df.gob.mx/simat/tablas\\_xls/indicadores/O3.xls](http://www.sma.df.gob.mx/simat/tablas_xls/indicadores/O3.xls)

**Fig. 4.4 Máximos Diario de Ozono 2**



Fuente: [http://www.sma.df.gob.mx/simat/tablas\\_xls/indicadores/O3.xls](http://www.sma.df.gob.mx/simat/tablas_xls/indicadores/O3.xls)

En los gráficos se puede observar las tendencias de comportamiento de ozono durante el periodo de 1986 a agosto del 2004. En la primera grafica, se ilustra la correlación existente entre los indicadores percentil 90 y *Top 30*, así como la tendencia, abatimiento, ocurrida entre los años 1995 al 2003. En la segunda grafica, se ilustra la confirmación de dicha tendencia. Se efectúa a partir del empleo de otros indicadores, tales como los percentiles 25, 50, 75, 90, 95, 98 y las concentraciones máximas registradas en dicho período. Las cajas con color rosa, sólo representan la mayor incertidumbre de los datos.

Tanto los indicadores como los índices, son herramientas para el apoyo a la gestión de la calidad del aire con ellos se pueden desarrollar estrategias y tomar acciones inmediatas cuando se presenten niveles altos de contaminación, por ejemplo los índices de calidad son la base para la ejecución de programas de contingencias ambientales.

Asimismo, cuando el valor de un índice de calidad de un contaminante rebase de manera sistemática los 100 puntos, independientemente de las condiciones meteorológicas prevalecientes y los cambios climáticos estacionales, es necesario desarrollar y aplicar un programa integral de mejoramiento de la calidad del aire, que establezca medidas inmediatas y de mediano plazo para proteger a la población, disminuir las emisiones contaminantes que conlleven a niveles de concentración seguros para la salud en un tiempo razonable.

#### **4.1.2.4. Contingencias Atmosféricas**

Cuando las condiciones meteorológicas son adversas a la dispersión de los contaminantes y éstos últimos se acumulan en la atmósfera en concentraciones superiores a las marcadas por las normas de calidad del aire, las autoridades ambientales y de salud deben de dar una alerta pública y coordinar acciones con el resto de las autoridades de la ciudad, para proteger a la población y disminuir la emisión del o los contaminantes que han excedido su concentración en la atmósfera.

Como se refirió antes, el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire con un valor cien (100), corresponde a la norma que es considerada como la concentración máxima segura, sin daño a la salud de las personas por un contaminante. Cuando el valor IMECA de un parámetro rebase en forma extraordinaria los 100 puntos en una cuenca o parcela atmosférica, la alerta pública que se señala en el párrafo anterior debe de darse en el marco de un Programa de Contingencia Atmosférica, que cumpla con todas las regulaciones que en materia de

contingencias ambientales se establecen en la LGEEPA y las leyes federal y estatales de Protección Civil.

Se entiende como un evento extraordinario de contaminación atmosférica al registro de altas concentraciones de contaminantes (superiores a 100 puntos IMECA) originado por fenómenos combinados de alta estabilidad de la atmósfera, detectable por la existencia de un sistema sinóptico de alta presión, velocidades de viento superficial inferiores a 1 metro por segundo en toda la cuenca o parcela atmosférica bajo vigilancia, nula precipitación pluvial y una capa superficial de mezcla inferior a 300 metros de altura, que conlleve a condiciones de inversión térmica prolongadas, que aunados a altos índices de radiación solar, pueden agravar el escenario y pronóstico meteorológico de la contingencia atmosférica.

Pero en términos de los eventos extraordinarios, deberá implantarse un programa de contingencias ambientales. Cuyas principales características se describen en la siguiente sección.

### ***Programas de Contingencia Atmosférica***

Los programas de contingencia atmosférica deben de contener los siguientes elementos de definición:

- Acciones a tomar por fases en toda la escala del IMECA, a partir de 100 y hasta llegar a 500 puntos. Las fases de actuación se definirán con puntos de quiebre establecidos por las autoridades de salud, de acuerdo con los niveles de incidencia de enfermedades asociadas a problemas de contaminación atmosférica.
- Medidas de control de fuentes emisoras en dos niveles de actuación: para disminuir él o los contaminantes problema (primarios o secundarios y sus precursores) y para evitar la presencia simultánea de contaminantes en una atmósfera altamente estable.
- Medidas de protección a los siguientes grupos lábiles: niños, mujeres embarazadas, adultos mayores, enfermos cardiovasculares, enfermos de las vías respiratorias y deportistas, cuando se trate de contingencias debidas a contaminantes fotoquímicos o secundarios.
- Mecanismos de comunicación entre el público y las autoridades para activar y desactivar el programa de contingencia.
- Mecanismos de comunicación interna entre las autoridades de salud, medio ambiente, protección civil, transporte, educación y energía, entre



otras posibles participantes de acuerdo a la legislación ambiental federal y local.

- Mecanismos de evaluación ambiental y epidemiológica del programa por cada evento ocurrido.

Los programas de contingencia atmosférica deberán desarrollarse, preferentemente, en el seno de los organismos de coordinación y participación ciudadana que se establezcan u operen en cada cuenca atmosférica. Asimismo, deberán ser dados a conocer a través de los medios masivos de comunicación, electrónicos y escritos, a efecto de que la población esté enterada o pueda acceder al contenido del programa cuando sea necesario.

### **Ejemplo sobre el caso de la ZMVM**

En el caso de la ZMVM, el programa para contingencias ambientales atmosféricas (PCA) consta de tres fases a saber:

a) Precontingencia

b) Fase I

- Fase I de contingencia por  $O_3$
- Fase I de contingencia por  $PM_{10}$  (regional o general)
- Fase I de contingencia combinada  $O_3$  y  $PM_{10}$

c) Fase II

- Fase II de contingencia por  $O_3$
- Fase II de contingencia por  $PM_{10}$

Su aplicación territorial, es para las 18 delegaciones del DF y 18 municipios conurbados del Edo. de México

El Programa de Contingencias sigue un mecanismo operativo, a través de una declaratoria que contempla los siguientes puntos (SMA-DF, 2000):

1. El nivel máximo alcanzado por el índice de calidad, la hora y la zona donde se registre.

2. La dimensión espacial del evento (si existen niveles elevados de contaminantes en una amplia superficie o si es un evento puntual)
3. Las condiciones meteorológicas prevalecientes y las esperadas
4. Las fase correspondiente del programa y las medidas aplicables
5. El plazo durante el cual permanecerán vigentes las medidas respectivas

Una vez efectuada la declaratoria de contingencias, la Secretaria del Medioambiente del DF, trasmite a través de los medios de comunicación electrónicos la circular correspondiente a las demarcaciones territoriales comprometidas y dependencias que participan en la vigilancia y cumplimiento de las medidas. En cuanto a la coordinación con el Edo. de México, el Secretario Técnico de la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM), informa a la Secretaria de Ecología del Edo. de México la activación del PCA para la coordinación de las acciones de carácter metropolitano correspondientes.

### **Precontingencia Ambiental**

La pre-contingencia ambiental, es declarada por las autoridades competentes cuando la concentración de contaminantes en la atmósfera alcance niveles potencialmente dañinos a la salud de la población más vulnerable, cuyos valores inicio y suspensión se indican en la Tabla 4.6. (SMA-DF, 2000)

**Tabla 4.6 Pre-contingencia Ambiental**

Precontingencias por:	INICIO (IMECA)	SUSPENSIÓN (IMECA)
OZONO	Niveles entre 200 y 240	Niveles menores a 180
PM10	Niveles entre 160 y 175	Niveles menores a 150

*Fuente: (SMA-DF, 2000)*

### **Contingencia Ambiental Fase I**

En lo referente a la Fase I, la activación y desactivación de la contingencia ambiental por ozono tiene lugar para toda la ZMVM cuando en cualquier de las zonas que la conforma, se registre alguno de los valores en la tabla 4.7. Mientras que en el caso de contingencia por PM<sub>10</sub> se aplica exclusivamente en las zona donde se registre alguno de los valores IMECA que se establecen en la tabla 4.7.

En caso de que los valores de contingencia por PM10, se registren en dos o más zonas en el transcurso de las 24 horas siguientes a la activación en la primera zona, se declara la fase I de contingencias para toda la ZMVM.

Si se registran simultáneamente los valores de contingencia por PM<sub>10</sub> en dos zonas, se declara fase I en toda la ZMVM.

La activación y desactivación de la contingencia ambiental por la combinación de O<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub>, tiene lugar en toda la ZMVM cuando en cualquiera de las zona que la conforman se registren los valores indicados en la tabla 4.7. (SMA-DF, 2000)

**Tabla 4.7 Fase I Contingencia Ambiental**

Contingencias por:	Activación (IMECA)	Desactivación (IMECA)
OZONO	Niveles mayores a 240	Niveles menores a 180
PM10	Niveles mayores a 175	Niveles menores a 150
OZONO Y PM10	Cuando se alcancen de manera simultánea niveles mayores a 225 de Ozono y niveles mayores a 125 puntos de PM10	Niveles de Ozono menores a 180

Fuente: (SMA-DF, 2000):

### Contingencia Ambiental Fase II

La declaración de inicio de la fase II de Contingencia Ambiental por O<sub>3</sub> y/o PM<sub>10</sub>, se aplica en toda la ZMVM cuando en cualquiera de las zonas que la conforman, se registran valores mayores a 300 y 250 IMECAS respectivamente, mientras que su desactivación se realiza cuando se registran niveles menores a los valores indicados en la Tabla 4.8 (SMA-DF, 2000)

**Tabla 4.8 Fase II Contingencia Ambiental**

Contingencias por:	Activación (IMECA)	Desactivación (IMECA)
OZONO	Niveles mayores a 300	Niveles menores a 180
PM10	Niveles mayores a 250	Niveles menores a 150

Fuente: (SMA-DF, 2000)

## ***Vigilancia Epidemiológica durante contingencias atmosféricas***

Como se mencionó anteriormente, el propósito fundamental del monitoreo atmosférico a nivel urbano es la protección de la salud humana, al informar a la población sobre la calidad del aire que respira y activar medidas de contingencia cuando los niveles de contaminación pongan en riesgo su salud.

En situaciones de contingencia atmosférica, las autoridades ambientales y de salud deben de activar un Programa Emergente de Vigilancia Epidemiológica. Este programa deberá tener previsiones para hacer un diagnóstico exhaustivo de la situación de la salud de la población y las posibles necesidades de comunicación, atención o intervención específicas. Debe contar con la planificación y formulación de medidas de respuesta, así como registrar y reportar afectaciones en morbilidad y mortalidad mediante índices e indicadores de salud pública (ej. número de casos reportados de asma o enfermedades infecciosas respiratorias agudas).

Específicamente, las autoridades locales de salud deben desarrollar protocolos estandarizados para los Centros de Salud que llevarán a cabo el reporte y seguimiento de las afecciones durante las contingencias ambientales y en los días subsiguientes a las mismas. El reporte de las afecciones identificadas durante la contingencia deberá ser sistemático y cotidiano, utilizando de preferencia métodos electrónicos para su captura, transmisión y análisis.

Un seguimiento oportuno, con resultados analíticos rápidos y seguros, servirá para conocer el riesgo para la población y cuando éste ha disminuido o se ha eliminado. Esta respuesta oportuna, de amplia cobertura, eficaz y técnicamente válida debe realizarse mediante una coordinación interna, intersectorial y comunitaria.

Los resultados de la evaluación de los efectos de la contaminación sobre la salud humana no necesariamente son evidentes de inmediato, requiriéndose de la extensión de la vigilancia en los días posteriores al evento, debido al rezago tanto de las manifestaciones de afecciones, como al reporte de las mismas. Es importante destacar la necesidad de incorporar como parte del proceso de evaluación el estudio y seguimiento de este rezago.

El Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, en el mediano y largo plazo, deberá contener los mismos requerimientos de reporte, en términos de incidencias de afecciones respiratorias y cardiovasculares diarias, aún cuando el reporte de las mismas se pueda hacer semanalmente.

Es necesario mantener la vigilancia epidemiológica aún con niveles de contaminación relativamente bajos para poder evaluar el nivel de protección que ofrecen las normas de calidad del aire y estimar los impactos, en la población, debidos a la contaminación atmosférica a nivel crónico. Estos reportes permitirán el establecimiento de la vigilancia epidemiológica a nivel nacional. El seguimiento y resultado de estas observaciones también requerirán de una coordinación intra, intersectorial y comunitaria.

## **4.2 IMPORTANCIA COMO INSTRUMENTO DE GESTIÓN Y OTROS USOS**

Además de lo importante que resulta el Monitoreo Atmosférico para fines de informar a la población acerca de la calidad del aire que prevalece en las ciudades, otro papel determinante de disponer de información de la calidad del aire tiene relación con el desarrollo de políticas y estrategias dentro de la gestión ambiental y la administración de la calidad del aire.

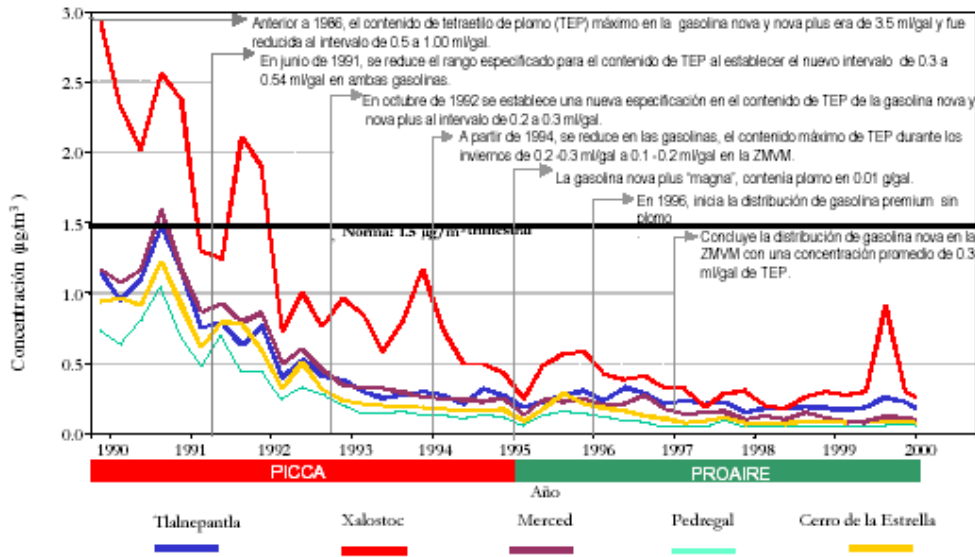
La información generada por las actividades de monitoreo, sumada a los inventarios de emisiones y a modelos de dispersión de contaminantes, se convierten en herramientas de gran utilidad que facilita los procesos de toma de decisiones de las autoridades a los organismos responsables de la Gestión de Calidad del Aire.

### **4.2.1 Herramienta de Evaluación para Programas de Gestión Ambiental**

Para ilustrar la utilidad del monitoreo atmosférico como herramienta de evaluación de acciones tendientes a la reducción de contaminantes críticos en una zona urbana, que mejor ejemplo que la experiencia de la ciudad de México, donde el monitoreo atmosférico a permitido disponer de un acervo histórico de datos de calidad del aire de más de 30 años.

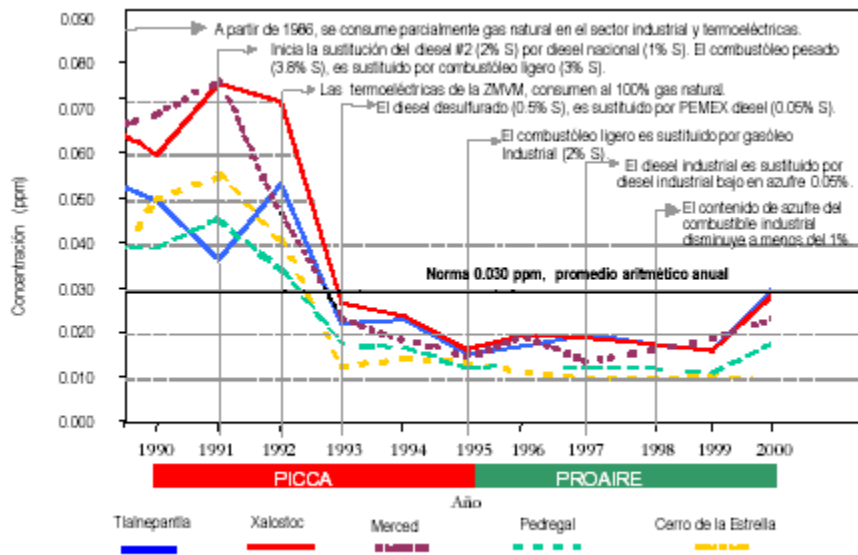
De esta manera las acciones específicas emprendidas para abatir las concentraciones de plomo (Pb), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) que fueron efectuadas en 1990, a través del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA), a las acciones, se les pudo dar seguimiento y evaluar su eficiencia. Como ejemplo de las acciones tomadas para abatir la contaminación se muestran las siguientes figuras.

**Fig. 4.5 Tendencia del monitoreo atmosférico del plomo y principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMVM, 1990-2000.**



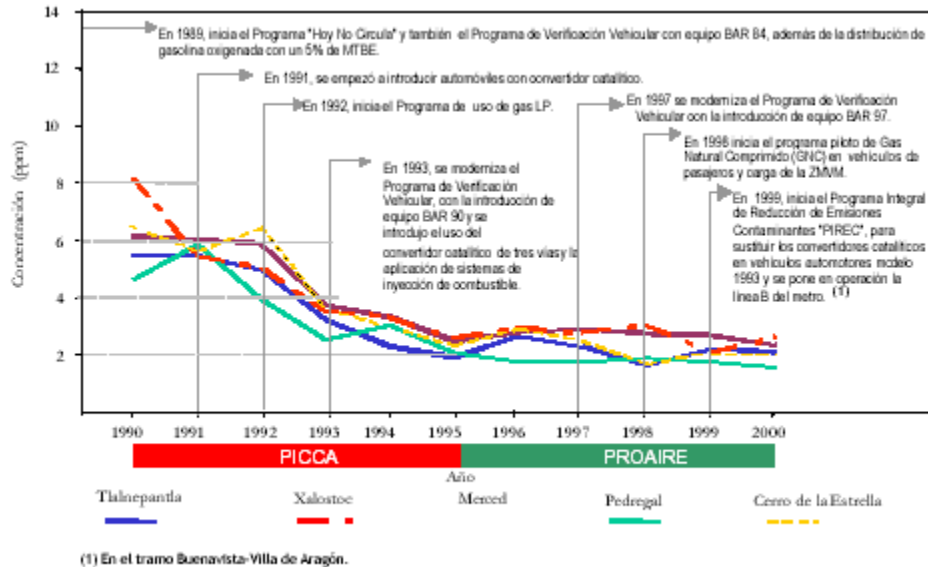
Fuente: SEMARNAT (2002)

**Fig. 4.6 Tendencia del monitoreo atmosférico de bióxido de azufre y principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMVM, 1990-2000.**



Fuente: SEMARNAT (2002)

**Fig. 4.7** *Tendencia del monitoreo atmosférico de monóxido de carbono y principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMVM, 1990-2000.*



Fuente: SEMARNAT (2002)

Otras aplicaciones del monitoreo atmosférico para emprender acciones y estrategias integrales de gestión de la calidad del aire pueden estar relacionadas con:

- Formular normas de calidad del aire
- Establecer con certeza la magnitud y extensión territorial y temporal de la contaminación
- Llevar a cabo estudios epidemiológicos que relacionen los efectos de las concentraciones de los contaminantes con los daños en la salud, así como estimar los efectos de los contaminantes en el ambiente a corto y largo plazo.
- Estudiar reacciones de los contaminantes en la atmósfera
- Detectar el cambio por uso de combustibles en lagunas fuentes emisoras
- Desarrollar estrategias de control y evaluar la efectividad de las medidas restrictivas emergentes
- Establecer las bases científicas para desarrollar políticas
- Desarrollar políticas de planeación urbano y uso del suelo acorde con los sistemas locales



- Calibrar y evaluar modelos de dispersión de contaminantes en la atmósfera

#### **4.2.2 Correlación con Inventarios de Emisiones**

Otra importante aplicación de los datos de calidad del aire generados a través del Monitoreo Atmosférico consiste en el análisis comparativo con los estándares de emisión generados por los inventarios de emisiones, al respecto es importante señalar dos aspectos:

- a) Es muy conveniente que los SMA's integren como parte intrínseca a sus funciones al área de inventario de emisiones, o bien que por lo menos se efectúe un esquema de funcionamiento donde se de estrecha relación.
- b) Los inventarios de emisiones son dinámicos y en la medida que se avanza en la identificación y grado de precisión de las estimaciones, las cantidades totales estimadas de cada uno de los contaminantes criterio y precursores pueden variar sustancialmente de un inventario a otro.

#### **4.2.3 Modelación**

En un segundo nivel la disponibilidad de Redes de Monitoreo Atmosférico, permiten corroborar y calibrar la aplicación de los modelos de diversos tipos, los cuales representan herramientas valiosas para fines de la Gestión de Calidad del Aire.

Una aplicación simple a través de un modelo fuente-receptor podría ser por ejemplo la Ciudad de Salamanca, donde históricamente se han tenido altas concentraciones de SO<sub>2</sub> originadas por el uso intensivo de combustóleo de una refinería y una termoeléctrica. Asimismo, en dicha ciudad se cuenta con una Red de Monitoreo Atmosférico cuya instalación tuvo lugar a partir del año 1999. Bajo este contexto, la disponibilidad de información de datos de calidad del aire y parámetros meteorológicos registrados por dicha red, permitiría desarrollar los siguientes:

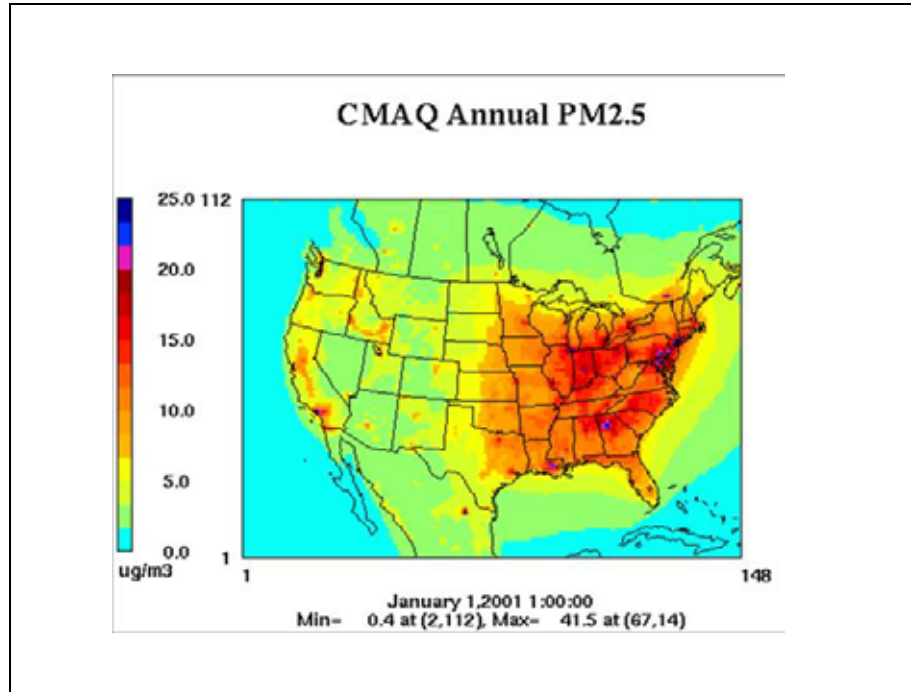
- Efectuar corridas de modelos de dispersión en su modalidad multifuente, es decir considerando los datos de emisión de SO<sub>2</sub> de las chimeneas distribuidas especialmente en ambas instalaciones.
- Comparar el orden de magnitud de las concentraciones desplegadas por el modelo a nivel de piso contra las registradas por una o más estaciones, según el escenario seleccionado. Dichas comparaciones pueden ser para períodos de 5 min, 1.0 h. y 24 h. En todo momento debe considerarse la influencia de las concentraciones de fondo.

- Si no existe una correlación entre el orden de magnitud de las concentraciones artificiales (modelo) y las reales registradas por los monitores de la estación deberá procederse a la calibración del modelo, lo cual consiste básicamente en revisar y ajustar los datos de entrada y los atributos del modelo hasta lograr una correspondencia razonable, la cual dependerá sustancialmente de la calidad y cantidad de la información disponible y de las características propias del modelo usado.
- Una vez calibrado el modelo con un nivel de precisión aceptable, las posibilidades de diagnóstico para fines de gestión son extremadamente útiles por ejemplo:
  1. Conocer el impacto espacial de las emisiones durante las diferentes épocas del año
  2. Qué sectores de la ciudad serían los más afectados bajo condiciones atmosféricas críticas.
  3. Correr diversos escenarios como apoyo para el establecimiento de niveles de precontingencia y contingencia.
  4. El abatimiento de las concentraciones de SO<sub>2</sub> conforme a los porcentajes de sustitución del combustible por gas natural, entre otros.

#### **4.2.3.1 Modelación Avanzada**

La importancia de extender las prácticas de monitoreo en todo el territorio nacional, además de los beneficios de alerta y protección a la salud señalados en la sección 4.1, permitiría consolidar el uso de modelos denominados de la 3ra generación, cuya escala espacial es a nivel regional y que representan poderosas herramientas de diagnóstico de la calidad del aire en términos de transporte y/o transformación de los contaminantes del aire en la atmósfera. Por ejemplo el *Models-3* denominado *Community Multiscale Air Quality (CMAQ)* es un sistema con capacidades a escala urbana y regional para la simulación de la calidad del aire del O<sub>3</sub> troposférico, la lluvia ácida, la visibilidad y las partículas finas. En la Fig.4.8 se ilustra un ejemplo del tipo de imágenes desplegadas por este tipo de sistemas donde se ilustran las concentraciones anuales promedio de PM<sub>2.5</sub> de Estados Unidos.

**Fig. 4.8 Concentración Anual de PM<sub>2.5</sub> en E.U.**



*Fuente: <http://www.epa.gov/asmdnerl/models3/index.html>*

#### **4.2.4 Usos epidemiológicos a mediano y largo plazo**

Como se menciona anteriormente, uno de los usos de los SMA's es el de alertar a la población en casos de contingencia ambiental. La prevención de episodios de altos niveles de contaminación atmosférica tiene como principal objetivo prevenir efectos adversos en la salud de la población en escalas de tiempos cortos.

Los efectos en la salud por contaminantes atmosféricos se han detectado principalmente a través estudios toxicológicos, donde un sujeto es expuesto a un agente contaminante con un nivel predeterminado y sus efectos son registrados en condiciones controladas. Alternativamente, se han utilizado métodos epidemiológicos donde poblaciones definidas están co-localizadas con sistemas de medición de contaminantes atmosféricos, infiriéndose una exposición a los contaminantes medidos, se han asociado a estos agentes con efectos en la salud. Estos estudios pueden hacer un seguimiento de eventos específicos a corto plazo, como en el caso de contingencias o accidentes ambientales para casos agudos. Adicionalmente, se puede seguir a una población por tiempos medianos o largos (de manera retrospectiva o prospectiva) o comparar poblaciones con diversos niveles de contaminantes.

En México diversos estudios epidemiológicos han asociado a la contaminación atmosférica con los efectos en salud. Uno de los casos más relevantes es el de la asociación de partículas suspendidas con morbilidad y mortalidad en población susceptible. Por ejemplo, se ha asociado las partículas con síntomas respiratorios en infantes (*Catillejos, et. al., 1992, Gold, et. al., 1999*) e infantes asmáticos (*Romieu, et. al., 1995 y 1996*). Adicionalmente, las partículas suspendidas en el aire también han sido vinculadas con mortalidad en la población general e infantil (*Loomis, et. al., 1996 y 1999, Borja-Aburto et. al., 1997 y 1998*).

Gracias a que se han tenido registros de contaminantes atmosféricos conjuntamente con indicadores de salud se ha podido asociar a los niveles de contaminación con estos efectos en la salud.

#### **4.2.5 Protección de la vegetación y la agricultura**

La vegetación también se ve afectada por la contaminación atmosférica. De hecho, en el Valle Central de California, una de las regiones agrícolas más productivas del mundo, este puede ser uno de los factores con mayor impacto en la economía. Otro efecto observado por contaminación atmosférica es su contribución al estrés en los bosques que esta a su vez asociado a la propensión de enfermedades silvícola.

En México se han realizado estudios de los efectos de los contaminantes en los bosques, la agricultura, e inclusive se ha postulado que los efectos adversos visibles y medibles en la vegetación pueden ser usados como indicadores cualitativos de la calidad del aire en regiones donde no se cuentan con SMA's convencionales.

Desde 1976 *Krupa y Bauer*, observaron en el Parque Nacional del Ajusco, en la ZMVM, que las especies de pino *Pinus hartwegii* y *Pinus leiophylla*, mostraban en las pínulas de un año de edad, un bandeo típico provocado por ozono (*Bauer, et. al., 1990*). En los bosques de la ZMVM, la presencia de lesiones en los árboles como producto del impacto de la contaminación, se reporta como la caída prematura de hojas, así como la presencia de daños visuales en las mismas (*DDF, 1996*)

La identificación de la respuesta de las plantas hacia los diferentes contaminantes a través de la medición de los porcentajes de daño puede utilizarse de manera indirecta para conocer la calidad del aire de una zona (*Posthumus, 1976, Guidi, et. al., 1988*).

#### **4.2.6 Protección de ecosistemas, materiales y patrimonio histórico por depósitos ácidos.**

Los depósitos, precipitaciones o lluvias ácidas son términos genéricos para describir varias maneras en que los ácidos se desprenden de la atmósfera. Un término más preciso es la deposición ácida, la cual tiene dos partes: húmeda y seca. La deposición ácida tiene una gran cantidad de efectos, incluyendo el daño a los bosques y suelos, peces, y otras cosas vivientes, materiales, la visibilidad y la salud humana. Los precursores de estas depositaciones son principalmente el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno que son transformados en varias especies ácidas en presencia de humedad culminando en una solución leve de ácido sulfúrico y de ácido nítrico, que a su vez forman sulfatos y nitratos en fase sólida.

Desde 1987 se han registrado precipitaciones ácidas en la ZMVM (Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, 1994). De hecho el Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002 – 2010 incluye acciones que reducirán la deposición ácida en esta región (*CAM 2002*). Cabe destacar que las depositaciones ácidas pueden tener un impacto a mediano y largo alcance mas allá de las fronteras políticas, como se dio en el caso entre Estados Unidos y Canadá y los países europeos.

Adicionalmente se ha documentado el efecto corrosivo de los aerosoles ácidos en la infraestructura urbana. Destaca señalar que ya se han hecho estudios de deterioro tanto en el centro histórico de la Ciudad de México, así como en las ruinas mayas del sureste Mexicano. Por ejemplo, los aerosoles y depósitos ácidos ya están atacando el material calcáreo de los monumentos históricos de Tulum y el Tajin, deteriorándolos (*Bravo, et. al., 2004*).

El poder estimar a los precursores de las depositaciones ácidas como los óxidos de azufre y de nitrógeno soportan las medidas de control de estos impactos indeseables en los ecosistemas y los materiales.

## 5. IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN Y ACREDITAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO.

Los sistemas de monitoreo atmosférico son unidades de servicio que forman parte de la infraestructura de información ambiental del país. Su operación es de vital importancia en la Gestión de la Calidad del Aire, por lo que su desempeño tiene que evaluarse periódicamente para asegurar la calidad del servicio que prestan a la comunidad. Uno de los objetivos principales de los sistemas de monitoreo es vigilar el cumplimiento de normas oficiales mexicanas, por lo que su operación debe acreditarse de acuerdo con la Ley Federal de Metrología y Normalización.

Esta Ley, en su artículo segundo, fracción II, establece que su objeto es *“fomentar la transparencia y eficiencia en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas”*, definiendo en el artículo tercero cada uno de éstos conceptos, de la siguiente forma:

**Acreditación:** el acto por el cual una entidad de acreditación reconoce la competencia técnica y confiabilidad de los organismos de certificación, de los laboratorios de prueba, de los laboratorios de calibración y de las unidades de verificación para la evaluación de la conformidad;

**Calibración:** el conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar los errores de un instrumento para medir y, de ser necesario, otras características metrológicas;

**Certificación:** procedimiento por el cual se asegura que un producto, proceso, sistema o servicio se ajusta a las normas o lineamientos o recomendaciones de organismos dedicados a la normalización ya sea nacionales o internacionales;

Como puede observarse, los sistemas de monitoreo atmosférico, tienen un esquema de operación muy similar a los laboratorios de ensayos y calibración, toda vez que la generación de la información de calidad del aire es obtenida a partir de métodos de prueba normalizados y con el empleo de equipos de muestreo manual, analizadores instrumentales y en algunos casos con áreas de laboratorio específicas para la ejecución de análisis de muestras ambientales (o vía laboratorios externos) para finalmente procesar la información y efectuar los reportes conducentes.

Bajo este enfoque, los responsables de Sistemas de Monitoreo Atmosférico deberían de sujetarse a los procesos de acreditación – aprobación para demostrar que cuentan con un Sistema de Calidad conforme a la norma NMX-

EC-17025-INMC-2000, que establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, ante una entidad de acreditación autorizada por la Secretaría de Economía.

Siendo importante referir que en Alemania los Sistemas de Aseguramiento de Calidad de las redes de monitoreo de calidad del aire, utilizan como referencia la norma NMX-EC-17025-INMC-2000, equivalente a ISO/IEC 17025:1999 toda vez que su estructura y alcances tienen gran aplicabilidad con el esquema operativo de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico SMA's, esencialmente por los requerimientos en lo relativo a programas de calibración y mantenimiento, control de documentos y archivos electrónicos, y verificación y validación de datos y aspectos relacionados con la trazabilidad e incertidumbre.

En la actualidad, sólo los SMA de la Cd. de México y Puebla, están en el proceso de certificar sus Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo a la norma internacional de la serie ISO-9000. En el caso del SMA de Toluca la dirección general a la que pertenecen cuenta con certificado ISO 9000-2000, pero este no es específico para la dirección de monitoreo atmosférico, sino para toda la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación.

De esta manera, actualmente no existe la experiencia de un Sistema de Monitoreo Atmosférico que haya efectuado una solicitud formal para su acreditamiento ante la Entidad Mexicana de Acreditación, que es la única entidad de acreditación hasta ahora autorizada por la Secretaria de Economía.

Por otro lado, la SEMARNAT y la Secretaría de Salud pueden, a través de sus organismos de inspección y auditoria, intervenir en la operación de los sistemas de monitoreo atmosférico para verificar su debido funcionamiento. Sin embargo, las previsiones de Ley que ambas instituciones tienen para estos casos, son ambiguas tratándose de autoridades locales operadoras, ya que la totalidad de las previsiones jurídicas en la materia están explícitamente orientadas a empresas o industrias que generan contaminación y riesgos a la salud o los ecosistemas. Por estas razones y en términos estrictos, los sistemas de monitoreo atmosférico forman parte de los servicios ambientales en los que los procedimientos formales de inspección y auditoria no han sido aplicados.

No obstante, la operación de los sistemas de monitoreo atmosférico debe ser diagnosticada, evaluada y en su caso corregida, bajo un esquema de programa de auditorias, a través del cual se asegure la consistencia de los datos de calidad del aire que se generan en los diferentes SMA's .En el documento 6 se plante una propuesta general para la conformación de un Programa de Auditoría Federal.

## 6. GLOSARIO GENERAL DE TÉRMINOS

**Acreditación.** Acto por el cual una entidad de acreditación reconoce la competencia técnica y confiabilidad de los organismos de certificación, de los laboratorios de prueba, de los laboratorios de calibración y de las unidades de verificación para la evaluación de la conformidad;

**AGEB.** Área Geoestadística Básica. Superficie censal mínima definida por el INEGI que a nivel agregado proporciona información poblacional y económica de municipios, estados y nación.

**Área Geoestadística Básica.** Superficie censal mínima definida por el INEGI que a nivel agregado proporciona información de municipios, estados y nación

**Auditoría.** Revisión y evaluación sistemática e independiente de los sistemas y actividades que conforman un procedimiento, realizada para determinar si sus productos finales alcanzan los objetivos especificados.

**Auditoría de Calidad de Datos.** Se realizan sobre datos verificados para documentar la capacidad de un sistema de administración de datos para coleccionar, interpretar, analizar y reportar datos de acuerdo a las especificaciones del proyecto de aseguramiento de calidad.

**Auditorías de Funcionamiento.** Las auditorías de funcionamiento consisten en verificar la respuesta u otros parámetros críticos de operación de los muestreadores, analizadores e instrumentos contra materiales o estándares de referencia.

**Auditoría Técnica del Sistema.** Es una revisión in-situ completa a la organización del SMA, donde se revisan la totalidad del sistema de medición (colección de la muestra, análisis de muestras, procesamiento de datos, elaboración de reportes etc).

**Calibración.** Conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar los errores de un instrumento para medir y, de ser necesario, otras características metrológicas.

**CAM.** Comisión Ambiental Metropolitana

**CARB.** California Air Resources Board

**DGCENICA.** Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental



**Certificación.** Procedimiento por el cual se asegura que un producto, proceso, sistema o servicio se ajusta a las normas, lineamientos o recomendaciones de organismos dedicados a la normalización nacionales o internacionales

**CO.** Monóxido de carbono.

**Comparabilidad.** Medida de confianza con la cual un conjunto de datos se puede comparar con otro conjunto.

**COVs.** Compuestos orgánicos volátiles.

**Cuenca Atmosférica.** Espacio geográfico donde una masa estratificada de aire puede circular libre, superficialmente y con un patrón particular de vientos. La cuenca se delimita topográficamente y tomando como referencia obstáculos de origen natural (líneas costeras, formaciones montañosas, etc.).

**DOAS.** Differential Optical Absorption Spectroscopy.

**Documentos.** Volumen que contiene información que describe, define, especifica, reporta, certifica o provee datos o resultados relacionados a programas ambientales. El documento puede existir en forma de papel o electrónicamente.

**EPA.** Environmental Protection Agency.

**Estaciones de monitoreo urbanas.** Estaciones que se ubican dentro de los límites de un área urbana y sus alrededores.

**Estaciones de monitoreo rurales.** Estaciones que se ubican en espacios no urbanizados, cuyo uso de suelo puede variar desde productivo hasta de conservación.

**Evaluación.** Proceso de análisis usado para medir el desempeño o la efectividad de un sistema y sus elementos. Incluye auditorías, evaluación del desempeño, revisiones de sistema de gestión, revisión por expertos, inspección o supervisión, entre otras posibles actividades.

**Evaluación del desempeño.** Auditoría en la cuál se obtienen de forma independiente datos cuantitativos del sistema de medición y se comparan con los datos obtenidos de forma rutinaria para evaluar el profesionalismo del analista, del laboratorio y del sistema de medición.

**Exactitud.** Grado o porcentaje de conformidad de un valor medido o calculado en relación a un valor considerado como real.

**FTIR.** Fourier Transform Infrared Radiometer.

**IMECA.** Índice Metropolitano de Calidad de Aire.

**INE.** Instituto Nacional de Ecología.

**Informe anual de calidad del aire estatales.** Reportes elaborados por los sistemas individuales y sometidos a la SEMARNAT a aprobación. Consisten de un resumen anual de los datos para todos los contaminantes y un reporte detallado describiendo todos los cambios propuestos a su red de monitoreo de calidad atmosférica.

**Integridad ó suficiencia.** Porcentaje de datos válidos obtenidos de un sistema de muestreo comparado con la cantidad esperada o programada a obtener bajo condiciones correctas y normales de operación.

**Inspección.** Acto legal protocolizado mediante el cual una autoridad gubernamental competente verifica el cumplimiento de la legislación por parte de una persona física o moral.

**ISO.** International Standard Organization.

**LGEEPA.** Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

**LIDAR.** Light Detection and Ranging.

**Límites de detección.** Valor mínimo que un método es capaz de detectar y expresarlo en órdenes de magnitud.

**Mediciones meteorológicas.** Determinación de velocidad y dirección del viento, presión barométrica, temperatura, humedad relativa y radiación solar.

**Monitor.** Instrumento, muestreador, analizador u otro equipo de medición o que asiste en la medición de contaminantes atmosféricos y aceptados para ser usados en el monitoreo de calidad atmosférica de acuerdo a la norma respectiva.

**Monitoreo atmosférico.** Conjunto de metodologías diseñadas para hacer un muestreo, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado.

**NARSTO.** North American Research Initiative for Tropospheric Ozone.

**NO<sub>2</sub>.** Bióxido de nitrógeno.

**NO<sub>x</sub>**. Óxidos de nitrógeno, definidos como la suma de las concentraciones de NO y NO<sub>2</sub>.

**OECD**. Organización de la Cooperación Económica y el Desarrollo.

**Operadores de sistemas de monitoreo atmosférico**. Autoridades estatales, municipales e instituciones responsables de la operación de un sistema de monitoreo atmosférico.

**O<sub>3</sub>**. Ozono.

**Pb**. Plomo.

**PER**. Presión , Estado, Respuesta

**PNMA**. Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico.

**PM<sub>2.5</sub>**. Partículas de diámetro aerodinámico igual o menor a 2.5 micrómetros.

**PM<sub>10</sub>**. Partículas de diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micrómetros.

**Precisión**. Error aleatorio de un instrumento al medir, medido entre mediciones individuales de la misma propiedad bajo condiciones similares, frecuentemente expresado con la desviación estándar. Refiriéndose a un conjunto de instrumentos independientes pero del mismo diseño, es la habilidad de estos instrumentos de producir el mismo valor o resultado, bajo las mismas condiciones de entrada y operando en un mismo ambiente. Refiriéndose a un instrumento individual, operando repetidamente sin ajustes, la habilidad de producir el mismo valor o resultado bajo las mismas condiciones de entrada y en un mismo ambiente. Sinónimo: reproducibilidad.

**PST**. Partículas suspendidas totales.

**Registros**. Libros, papeles, mapas, fotos, materiales leíbles por máquinas u otro material documental, independientemente de su forma física o sus características, producido o recibido por los organismos responsables del sistema de monitoreo atmosférico y que se resguarda como evidencia de los resultados obtenidos o de las actividades desempeñadas.

**SCAQMD**. South Coast Air Quality Management District.

**SEMARNAT**. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

**Sesgo**. Error sistemático de un instrumento de medición. Se puede determinar como desviación negativa o positiva del verdadero valor, expresable en porcentaje del valor verdadero.

**SIMAT.** Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de México.

**SINAICA.** Sistema Nacional de Información sobre Calidad del Aire, operado por el Instituto Nacional de Ecología.

**Sistemas de monitoreo de calidad atmosférica del interés nacional.** Son sistemas o estaciones de monitoreo atmosférico que deben de operar de manera ininterrumpida\*, midiendo la totalidad de los contaminantes criterio y los parámetros meteorológicos . Estas estaciones cumplen con los objetivos de monitorear áreas donde se esperan las concentraciones máximas o donde se combina una calidad de aire mala con una alta concentración poblacional. En el segundo caso la distribución espacial de las estaciones puede ser mayor que en el primer caso.

**SNPD.** Sistema Nacional de Planeación Democrática.

**SO<sub>2</sub>.** Bióxido de azufre.

**Tomador de decisión.** Individuo definido como último usuario de los datos de calidad de aire, que puede ser responsable de las normas nacionales de calidad del aire, del desarrollo del sistema de gestión de calidad del sistema de monitoreo atmosférico, de la evaluación de los datos o la declaración de un estado de contingencia.

**Trazabilidad de estándares.** La trazabilidad de estándares es el proceso de transferir la exactitud de un estándar primario a un estándar usado en campo. Trazable significa que un estándar local se haya comparado y certificado, de forma directa o a través de un estándar intermedio, a un estándar primario certificado por el Centro Nacional de Metrología o institución equivalente.

**Validación.** Confirmación y estipulación de pruebas objetivas para que los requerimientos particulares de un procedimiento específico se cumplan. Involucra la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición, incluyendo el método de medición, el método de operación, la calibración y el procesamiento de datos.

**Validación de datos de monitoreo de la calidad de datos.** Proceso por el cual los datos obtenidos de un analizador de gases o partículas contaminantes es evaluado de acuerdo a los diversos errores que puede tener el instrumento de medición, las condiciones de su operación y los eventos extraordinarios que puedan causar una medición no aceptable como cierta o representativa.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Bauer L.I., S.V. Krupa (1990). *The Valley of Mexico: summary of observational studies on its air quality and effects on vegetation*. Environmental Pollution 65:109 - 118.
2. Borja-Aburto, V.H.; Castillejos, M.; Gold, D.R.; Bierzwinski, S.; Loomis, D. (1998). *Mortality and Ambient Fine Particles in Southwest Mexico City, 1993-1995*. Environ. Health Perspect. 1998, 106(12), 849-855.
3. Borja-Aburto, V.H.; Loomis, D.P.; Bangdiwala, S.I.; Shy, C.M.; Rascon-Pacheco, R.A.(1997). *Ozone, Suspended Particulates, and Daily Mortality in Mexico City*. Am. J. Epidemiol. 1997, 145(3), 258-268.
4. Castillejos, M.; Gold, D.R.; Dockery, D.; Tosteson, R.; Baum, T.; and Speizer, F.E. (1992). *Effects of Ambient Ozone on Respiratory Function and Symptoms in Mexico City Schoolchildren*. Am. Rev. Respir. Dis. 1992, 145, 276-282.
5. COFEPRIS (2004). *Reglamento de la Comisión Federal contra la Prevención de Riesgos Sanitarios*. México.
6. Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, (1994). *La Contaminación Atmosférica en el Valle de México, Acciones para su Control 19889-1994*
7. DDF, (1996). *Compendio Estadístico 1986 – 1995*. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación. Red Automática de Monitoreo Atmosférico.
8. EPA (1998). *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems*, Vol. II; Part 1, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, USA.
9. EPA (2002). *National Ambient Air Monitoring Strategy*. Office of Air Quality Planning and Standards, Environmental Protection Agency, USA.
10. Gidi, I. B., P. Cicero, L. Flores, T. Hernández, M. Alegre y B. Delgadillo (1988). *Biomonitoreo prospectivo de ozono en la ZMCM*. Memorias del VI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Querétaro, Querétaro
11. Gold, D.R.; Damokosh, A.I.; Pope, C.A.; Dockery, D.W.; McDonnell, W.F.; Serrano, P.; Retama, A.; Castillejos, M. (1999). *Particulate and Ozone Pollutant Effects on the Respiratory Function of Children in Southwest Mexico City*. Epidemiology. 1999, 10(8), 8-16.
12. Humberto Bravo; A. Rogelio Soto; E. Rodolfo Sosa; A. Pablo Sánchez; J. Ana Luisa Alarcón; J. Kahl; J. Ruíz (1994). *Acid Deposition Effects on Archeological Monuments in Mexico*. 13th World Clean Air and Environmental Protection Congress and Exhibition, London, UK, August 22 - 27, 2004.

13. IMNC (2000). *Requisitos Generales para la Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración*. NMX-EC-17025-IMNC-2000, México.
14. INE/SEMARNAP, 2000. *Gestión de la Calidad del Aire en México. Logros y Retos para el Desarrollo Sustentable 1995-2000*. INE-DGGIAM, Primera Edición.
15. INEGI (1980). *Ley de Información Estadística y Geográfica*. Diario Oficial del 30.12.80
16. INE-SEMARNAT (2003). *Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico*. Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), México.
17. Loomis, D.; Castillejos, M.; Gold, D.R.; McDonnell, W.; Borja-Aburto, V.H. (1999). *Air Pollution and Infant Mortality in Mexico City*. *Epidemiology*. 1999, 10(2), 118-123.
18. Loomis, D.P.; Borja-Aburto, V.H.; Bangdiwala, S.I.; and Shy, C.M. (1996). *Ozone Exposure and Daily Mortality in Mexico City: A Time-Series Analysis*. Health Effects Institute Research Report Number 75.
19. Martínez, A; Romieu, I.(1997). *Introducción al Monitoreo Atmosférico*. coedición OPS-GTZ-DDF, Hemes Impresores, 1er edición,. México
20. Martínez, et al (2001). *Experiencia en Gestión de la Calidad del Aire en la ZMVM*. OPS-CEPIS.
21. Muñoz (1997). *Sistema de Indicadores del estado de la Calidad del Aire*, Secretaria del Medio Ambiente Distrito Federal, México.
22. PEF (2000). *Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental*. Poder Ejecutivo Federal (PEF), México.
23. PND (2001). *Plan Nacional de desarrollo 2001-2006*. Presidencia de la República, Poder Ejecutivo Federal, México.
24. Posthumus A.C. (1976) *The use of higher plants as indicators for air pollution in the Netherlands*. In: Proceedings of the Kuopio meeting on plant damages caused by air pollution. Lauri Kärenlampi (ed.) pp. 115-120.
25. Romieu, I.; Meneses, F.; Ruiz-Velazco, S.; Sierra-Monge, J.J.; Huerta, J.; White, M.C.; and Etzel R. (1996). *Effects of Air Pollution on the Respiratory Health Asthmatic Children Living in Mexico City*. *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.* 1996, 154, 300-307.
26. Romieu, I.; Meneses, F.; Sierra-Monge, J.J.; Huerta, J.; Ruiz-Velazco, S.; White, M.C.; Etzel, R. and Hernandez-Avila, M. (1995). *Effects of Urban Air Pollutants on Emergency Visits for Childhood Asthma in Mexico City*. *J. Epidemiol.* 1995, 141, 546-53.
27. SEMARNAP (1988a). *Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera*. Diario Oficial del 25.11.88.

28. SEMARNAP (1998b). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, Editorial Porrúa, México.
29. SEMARNAT (1993a). *Norma Oficial Mexicana NOM-034-SEMARNAT-1993*, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial del 18.10.93
30. SEMARNAT (1993b). *Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993*, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial del 18.10.93
31. SEMARNAT (1993c). *Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993*, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial del 14.10.93
32. SEMARNAT (1993d). *Norma Oficial Mexicana NOM-037-SEMARNAT-1993*, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial del 14.10.93
33. SEMARNAT (1993e). *Norma Oficial Mexicana NOM-038-SEMARNAT-1993*, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario oficial del 14.10.93
34. SEMARNAT (2001a). *Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006*. México.
35. SEMARNAT (2001b). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Diario Oficial del 31.12.2001
36. SEMARNAT (2002). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010*. México.
37. SEMARNAT (2003). *Reglamento Interior de la SEMARNAT*. Diario Oficial del 21.1.2003.
38. SMA-DF (1988). *Manual para la Aplicación del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en el Distrito Federal*. Diario Oficial del 30.10.1988
39. SSA (1993a). *Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993*, Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) de la calidad del aire ambiente. Criterio para evaluar la calidad del aire. Diario Oficial del 30.10.02

40. SSA (1993b). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993*, Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial del 23.12.04
41. SSA (1993c). *Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-1993, Salud ambiental*. Criterio para evaluar la calidad del aire, bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valor permisible para la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial del 23.12.94
42. SSA (1993d). *Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993, Salud ambiental*. Criterio para evaluar la calidad del aire, bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Valor permisible para la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial del 23.12.94
43. SSA (1993e). *Norma Oficial Mexicana NOM-024-SSA1-1993, Salud Ambiental*. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas totales (PST). Valor permisible para la concentración de partículas suspendidas totales (PST) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial del 23.12.94.
44. SSA (1993f). *Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud Ambiental*, Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas menores de 10 micras (PM<sub>10</sub>). Valor permisible para la concentración de partículas menores de 10 micras (PM<sub>10</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial del 23.12.94
45. SSA (1993g). *Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993, Salud Ambiental*, Criterio para evaluar la calidad del aire, plomo (pb). Valor permisible para la concentración de plomo en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial del 23.12.94
46. SSA (2003h). *Ley de Salud*. Diario Oficial del 30.06.2003

## REFERENCIAS DE INTERNET

1. [http://nett21.gec.jp/CTT\\_DATA/index\\_amon.html](http://nett21.gec.jp/CTT_DATA/index_amon.html)
2. <http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdpag.htm>
3. <http://www.edomexico.gob.mx/portalgem/se/>
4. <http://www.ine.gob.mx/cenica/pnma-etapa-tres.html>



5. <http://www.sedurbecop.pue.gob.mx/Monitoreo/Remareporte.html>
6. <http://www.semarnat.gob.mx>
7. <http://www.sma.df.gob.mx/simat>
8. [http://www.sma.df.gob.mx/simat/tablas\\_xls/indicadores/O3.xls](http://www.sma.df.gob.mx/simat/tablas_xls/indicadores/O3.xls)
9. <http://semades.jalisco.gob.mx/site/indexaire>.
10. [www.nl.gob.mx/sduop/sima/sima\\_des.htm](http://www.nl.gob.mx/sduop/sima/sima_des.htm)
11. <http://www.epa.gov/oar/oaqps/modeling.html#aqmg>
12. <http://www.epa.gov/asmdnerl/models3/index.html>

# **DOCUMENTO 2**

## ***SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO Criterios para su establecimiento y componentes básicas***

# INDICE

	<b>PAG.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. CRITERIOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO</b>	<b>3</b>
2.1 Criterios de Gestión Correctiva	3
2.2 Criterios de gestión Preventiva	5
<b>3. CLASIFICACION DE SISTEMAS, REDES Y ESTACIONES DE MONITOREO ATMOSFERICO</b>	<b>6</b>
3.1 Codificación SINAICA de Estaciones de Monitoreo Atmosférico.	6
3.2 Representatividad espacial y gestión de la calidad del aire	13
<b>4. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO</b>	<b>16</b>
4.1 Procedimiento General para la definición de objetivos de monitoreo, calidad en los datos y en las mediciones	17
4.1.1 Definición de Objetivos de calidad de datos y calidad de las mediciones	20
<b>5. COMPONENTES BASICOS DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO</b>	<b>27</b>
<b>5.1 Características generales de los componentes funcionales</b>	<b>29</b>
5.1.1 Redes e Instrumentos de Medición	30
5.1.2 Transmisión y Almacenamiento de datos	32
5.1.3 Centros de Computo	34
5.1.4 Laboratorios Ambientales Analíticos y de Transferencia de Estándares	35
5.1.5 Oficinas Administrativas y personal operativo, técnico y directivo	36
5.1.6 Equipamiento y herramientas de operación mantenimiento	37
<b>5.2 productos de la áreas de especialidad</b>	<b>38</b>
5.2.1 Reportes y Comunicación Social	39
5.2.2 Inventarios de emisiones	40
5.2.3 Sistemas de Gestión de Calidad (SGC)	41
5.2.4 Atención de contingencias atmosféricas	42
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>46</b>

<b>LISTA DE TABLAS</b>		<b>PAG.</b>
<b>Tab. 3.1</b>	Denominación de Áreas Geográficas	<b>7</b>
<b>Tab. 3.2</b>	Clasificación de Estaciones por Representatividad	<b>10</b>
<b>Tab. 3.3.</b>	Clasificación por Entorno	<b>11</b>
<b>Tab. 3.4</b> monitorear	Relación de posibles escalas de representatividad y parámetros a	<b>14</b>
<b>Tab. 4.1</b>	Ejemplo de Códigos de abanderamiento de datos	<b>25</b>
<b>Tab. 5.1</b>	Parámetros de Medición en Estaciones de Monitoreo Atmosférico	<b>31</b>

<b>LISTA DE FIGURAS</b>		
<b>Fig. 3.1</b> 2003-2006	Áreas Geográficas de Monitoreo Atmosférico a integrarse al SINAICA	<b>8</b>
<b>Fig. 5.1</b>	Componentes Funcionales	<b>28</b>
<b>Fig. 5.2</b>	Imagen oficial dela Red de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de Puebla	<b>37</b>

# 1. INTRODUCCION

En la actualidad, la legislación ambiental mexicana no especifica bajo qué criterios se debe de instalar una estación, una red o un sistema de monitoreo atmosférico (SMA). Igualmente, tampoco especifica cuáles deben ser sus componentes para asegurar su confiabilidad y su integración a los sistemas nacionales de información, planeación o administración de los recursos naturales del país.

La definición de los criterios de ubicación de sistemas de monitoreo atmosférico, redes y estaciones, y debe de considerar en primera instancia la distribución y la dinámica poblacional del país, pues el objetivo principal de éstos es proteger la salud pública. En los últimos treinta años, la población del país se ha estado concentrando de manera acelerada en áreas urbanas, donde la calidad del aire se ve deteriorada rápidamente por el transporte de personas y mercancías, la actividad industrial y de servicios o la erosión eólica producto de la deforestación.

El presente documento tiene como objetivo contestar las siguientes preguntas ¿dónde se deben de crear sistemas de monitoreo atmosférico?, ¿cuáles son sus componentes, funciones y principales productos? y finalmente ¿cómo es que se integrarán al SINAICA?. Al contestar estas preguntas fue necesario realizar recomendaciones cualitativas y cuantitativas precisas, las cuales fueron definidas con base en la información nacional e internacional cuando ésta estaba disponible o existía, de lo contrario, fueron definidas con base en la experiencia y el trabajo de investigación directa que realizaron los integrantes del Colegio de Ingenieros Ambientales de México.

El documento, se ha dividido en los siguientes capítulos; el capítulo 1 del documento introduce al lector a saber la importancia de definir criterios para la ubicación de los SMA's, asimismo se establece el objetivo principal del presente documento.

El capítulo 2, se refiere al establecimiento de criterios en los SMA's, tales como criterios de gestión correctiva y preventiva.

El capítulo 3 se hace una clasificación de los sistemas, redes y estaciones de monitoreo atmosférico. Asimismo, se define la codificación SINAICA de estaciones y la representatividad especial y las gestión de la calidad del aire.

El capítulo 4 se definen los procedimientos para establecer los objetivos básicos de los SMA's.

En el capítulo 5, se describen los componentes básicos de los SMA's, las características generales de los componentes funcionales, así como los productos de las áreas de especialidad.

La intención de las recomendaciones que se dan a través de los capítulos del documento con base en los Términos de Referencia de este proyecto, es que sean convertidas en instrucciones normativas. De hecho, están formuladas con la intención de fijar un valor de referencia que en el futuro se evalúe y refine en función de la experiencia de su aplicación, para así ir construyendo una base normativa o regulatoria propia y no adoptada de las experiencias de otros países.

## **2. CRITERIOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFERICO**

Los sistemas de monitoreo atmosférico (SMA's) 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 cuidado de los ecosistemas.

### **2.1 Criterios de Gestión Correctiva**

En una primera aproximación de gestión correctiva, los SMA's 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:

- ✓ Existe evidencia científica y técnica de contaminación atmosférica en niveles superiores a los indicados por las normas oficiales de calidad del aire expedidas por la Secretaría de Salud
- ✓ 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

Es recomendable que se instalen SMA's en todas las ciudades mayores a un millón de habitantes, así como en todas las áreas donde se presenten dos o más de las siguientes circunstancias:

- Registro igual o mayor de 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 Megajoules per cápita

- Existencia de daño por contaminación atmosférica en edificaciones consideradas como patrimonio arquitectónico histórico registrado por el INBA
- 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

En una ciudad de 1 millón de habitantes, el número crítico de vehículos automotores puede ser igual al que proporcionalmente existe en la Zona Metropolitana del valle de México, donde hay un promedio bajo de posesión de automóviles particulares dada la extensión y variedad de alternativas de transporte colectivo, pero existe una flota alta de carga y pasaje. Así, se esperaría un vehículo automotor por cada 5 habitantes, o sea 200 mil vehículos.

Igualmente y de manera proporcional, un inventario crítico de emisión de fuentes fijas no naturales puede ser igual al que se registra en la ZMVM, donde se emiten un poco más de 20 mil toneladas anuales por cada millón de habitantes y el consumo energético per cápita de hidrocarburos refinados es superior a 33 mil Megajoules.

Estos promedios, comparados con Guadalajara y Monterrey, son muy parecidos, con excepción del inventario industrial, ya que Monterrey duplica excepcionalmente la emisión *per cápita*.

CIUDAD	Población	Número de habitantes por vehículo	Emisión de Fuentes Fijas (tons por millón de habitantes)
Valle de México	17'919,618	5.5	20,433
Guadalajara	3'100,000	4.8	23,933
Monterrey	2'600,000	4.0	53,266

La recomendación de instalar SMA's en las ciudades del país que tengan o alcancen un millón de habitantes, marca un mínimo necesario de atención al problema de la contaminación atmosférica en nuestro país para los próximos diez años.

Un escenario ideal de mediano plazo podría ser aquel en el cual el país contará con SMA's en todas las ciudades intermedias o en las conurbaciones con más



de medio millón de habitantes, así como en las capitales estatales y las áreas o ciudades turísticas y fronterizas 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. No obstante, esto implicaría un esfuerzo que por el momento parece financieramente inviable, dada la crisis económica actual y las limitaciones presupuestales de algunos gobiernos locales.

## **2.2 Criterios de Gestión 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 que en la medida de lo posible, económica y técnicamente, se instalen sistemas urbanos de monitoreo atmosférico cuando ocurran alguno de los siguientes supuestos combinados:

- 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 importante sobre el problema de la contaminación atmosférica

En materia de administración de ecosistemas naturales, también es recomendable contar con SMA's en áreas naturales protegidas (ANP), bajo 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

### 3. CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES, REDES Y SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

Las estaciones de monitoreo por sí mismas, las redes que conforman y los sistemas de monitoreo atmosférico que en esta serie de documentos se propone constituir, pueden clasificarse de muy diversas maneras y tomando como referencia las experiencias internacionales y las prácticas aplicadas por los operadores de las redes que se encuentran actualmente en funcionamiento en nuestro país.

Tomando en consideración los objetivos y metas planteados por el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico para conformar el Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Aire, en este documento se propone avanzar en la creación de un código único y permanente de identificación y clasificación de estaciones de monitoreo.

Adicionalmente, se propone que el Instituto Nacional de Ecología, a través del DCENICA, seleccione un conjunto de estaciones que por sus características sean consideradas de interés y representatividad nacional. Estas estaciones deberán tener una operación continua garantizada en el largo plazo y ser la base para la evaluación de las políticas nacionales en materia de Gestión de la Calidad del Aire.

#### 3.1. Codificación SINAICA de Estaciones de Monitoreo Atmosférico

Para efectos de clasificación nacional dentro del Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Aire (SINAICA), todas las estaciones de monitoreo atmosférico del país deberán de estar denominadas con un código identificador permanente y único, que vaya de acuerdo con su ubicación, nivel de representatividad territorial y las características del entorno natural o urbano donde se encuentren. El código estará compuesto de cuatro claves con un número de dígitos fijo:

<b>ZMCM</b>	<b>PED</b>	<b>N</b>	<b>UH</b>
Area geográfica a la que pertenece	Denominación del sitio	Nivel de Representatividad	Entorno natural o urbano
(4 dígitos)	(3 dígitos)	(1 dígito)	(2 dígitos)

A continuación se muestran las claves de las áreas geográficas que hasta ahora están programadas para ser incluidas en el SINAICA en el período 2003-2006 según el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico:

**Tabla 3.1**  
**Denominación de Áreas Geográficas**

<b>Área Geográfica</b>	<b>Clave</b>
Zona Metropolitana del Valle de México	<b>ZMVM</b>
Zona Metropolitana de la Ciudad de Guadalajara	<b>ZMGD</b>
Zona Metropolitana de Monterrey	<b>ZMTY</b>
Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca	<b>ZMCT</b>
Zona Metropolitana de la Ciudad de Puebla	<b>ZMCP</b>
Conurbación del Bajío Guanajuatense León-Salamanca-Irapuato-Celaya	<b>ZCBG</b>
Ciudad Juárez	<b>ZFCJ</b>
Ciudades de la Fronte Baja Californiana Tijuana-Rosarito-Tecate-Mexicali	<b>ZFTM</b>
Conurbación de la Comarca Lagunera Torreón-Gómez Palacio	<b>ZCCL</b>
Ciudad de Zacatecas	<b>CZAC</b>
Ciudad de Aguascalientes	<b>CAGS</b>
Conurbación del Valle de Cuernavaca	<b>CDVC</b>
Conurbación de la Ciudad de Villahermosa	<b>CCVH</b>

Además de estas áreas geográficas, en el país hay ciudades y lugares donde se cuenta con redes y estaciones de monitoreo manuales y automáticas, de operación continua o temporal, que deben en un futuro integrarse al SINAICA. Para ello, será necesario que los operadores de esas redes y estaciones apliquen los programas de aseguramiento de calidad y los principios de diseño de los sistemas de monitoreo atmosférico que esta serie de documentos presentan, para que su información sea validada, clasificada y difundida a nivel nacional.

**Figura 3.1**  
**Áreas geográficas de Monitoreo Atmosférico**  
**a integrarse al SINAICA 2003-2006**



Fuente: [www.sinaica.ine.gob.mx/](http://www.sinaica.ine.gob.mx/) (INE, CENICA, 2004)

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través del Instituto Nacional de Ecología, definirá cuales son los sistemas y estaciones de interés nacional de acuerdo a los siguientes criterios:

- ✓ Que sean sistemas o estaciones representativas de una cuenca o parcela atmosférica donde habiten más de un millón de habitantes
- ✓ Que sean sistemas o estaciones representativas de una cuenca o parcela atmosférica donde existan especies de flora o fauna silvestre amenazadas o en peligro de extinción
- ✓ Que sean sistemas o estaciones ubicadas en una zona fronteriza, terrestre o marítima, donde se registren fenómenos de intercambio atmosférico de contaminantes

- ✓ Que sean sistemas o estaciones ubicadas en áreas estratégicas para el desarrollo nacional, de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo, ya sea por su relevancia productiva, su valor cultural o su valor paisajístico
- ✓ Que su representatividad esté científica y técnicamente documentada

Las estaciones de monitoreo atmosférico clasificadas como de interés nacional deberán medir la totalidad de los contaminantes criterio en materia de salud o ambiente bajo norma oficial mexicana y de acuerdo con los objetivos de diseño de las mismas, así como deberán operar ininterrumpidamente y no ser reubicadas sin previo aviso y dictamen de la autoridad ambiental federal.

Se entiende como operación ininterrumpida a la medición continua de un parámetro mediante un equipo o instrumento que sólo detiene sus funciones de medición por razones de calibración, auto-calibración, mantenimiento *in situ* o reposición inmediata, sin exceder una pérdida total acumulada por estas causas del 5% del número total de datos programados a obtener en un año, de acuerdo a su protocolo de muestreo.

Cuando una estación clasificada como de interés nacional deba ser reubicada por causas de fuerza mayor, la reubicación deberá realizarse sin afectar su representatividad en la cuenca o parcela atmosférica donde se ubique y mediante un estudio de caracterización comparativa del nuevo sitio de muestreo, el cual tendrá que evaluar y dictaminar la autoridad ambiental federal correspondiente.

El Instituto Nacional de Ecología, a través del DGCENICA, establecerá convenios específicos de apoyo técnico para mantener la operación ininterrumpida de los sistemas o estaciones de interés nacional y en su caso diseñar los sistemas. Asimismo, coadyuvará con las autoridades locales a conseguir los recursos económicos, ubicar esquemas de financiamiento, a formar recursos humanos y tecnológicos para su operación y adecuado mantenimiento.

Es necesario mencionar que algunas estaciones de monitoreo de interés nacional pueden empezar a operar de manera interina con parámetros únicos, si existen restricciones económicas o financieras importantes para establecer una red de medición consistente con los criterios hasta aquí enlistados. Tal es el caso de estaciones dedicadas a la medición de PM10, manuales o automáticas, dadas las importantes implicaciones de salud de este contaminante.

Los operadores de los sistemas de monitoreo atmosférico serán los responsables de definir cuáles de sus estaciones son representativas de la Cuenca y cuáles son locales o representan una parcela atmosférica específica. Para ello, deberán basarse en el diseño original del sistema de monitoreo atmosférico y tomar en consideración los criterios y especificaciones técnicas incluidas a lo largo de esta serie de documentos. Igualmente, los operadores podrán sugerir a las autoridades federales la clasificación de una estación o la totalidad de una red como de interés nacional.

Se plantea que sólo existan tres tipos de representatividad dentro del SINAICA: el Nacional para fines de estadística y seguimiento de largo plazo; el de Cuenca Atmosférica que indica la LGEEPA; y el local, de acuerdo a la problemática puntual que se esté monitoreando. Técnicamente, cada estación puede tener distintos niveles de representatividad como se explica posteriormente en el apartado 3.2. Las claves y características de estas estaciones se definen en la siguiente tabla:

**Tabla 3.2**  
**Clasificación de Estaciones por Representatividad**

<b>Nivel de Representatividad o Importancia Territorial</b>	<b>Clave</b>	<b>Características</b>
Nacional	<b>N</b>	Estaciones de monitoreo atmosférico seleccionadas para representar al país a nivel estadístico, deben de operar de manera ininterrumpida, midiendo la totalidad de los contaminantes criterio y los parámetros meteorológicos.
Cuenca Atmosférica	<b>C</b>	Estaciones de monitoreo atmosférico cuya representatividad territorial esta determinada por los límites geo-espaciales de una cuenca atmosférica. Incluye a uno o más municipios del mismo estado o de estados diferentes y pueden monitorear a uno o más de los contaminantes criterio.
Local	<b>L</b>	Son sistemas o estaciones que representan sólo condiciones locales o micro-espaciales de calidad del aire, en una parcela atmosférica determinada, y pueden monitorear uno o más de los contaminantes criterio primarios.

Las estaciones deben también de estar clasificadas de acuerdo a su entorno inmediato, ya que éste es un primer indicador de su representatividad o importancia territorial, en especial cuando se aplican planes de contingencia atmosférica.

Para evitar la ambigüedad en la descripción del entorno inmediato de cada estación cuando ésta esté ubicada en un área urbana, se sugiere aplicar la nomenclatura básica empleada en los Planes de Desarrollo Urbano municipales, que en su mayoría aplican los manuales de diseño de la ahora Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).

Cuando la estación se ubique en un área rural, es recomendable indicar si está dentro de alguna Área Natural Protegida, federal o local, si su entorno esta sujeto a actividades productivas temporales (agrícolas, silvícolas, ganaderas, etc.) o si se encuentra en un ecosistema natural relativamente íntegro, como puede ser una playa, un bosque o una pradera que sólo sea utilizada para fines turísticos, recreativos o de reserva territorial.

**Tabla 3.3**  
**Clasificación por Entorno**

<b>Tipo de estación</b>	<b>Clave</b>	<b>Características</b>
<b>Urbana</b>		Se ubica dentro de los límites de un área urbana y sus alrededores presentan un uso predominante de suelo
Industrial	UI	
Habitacional <sup>(1)</sup>	UH	
Servicios	US	
Mixto Habitacional	UMH	
<b>Rural</b>		Se ubica en espacios no urbanizados cuyo uso de suelo puede variar desde productivo hasta de conservación
ANP	RA	
Ecosistema natural	RN <sup>(2)</sup>	
Ecosistema productivo inducido (agrícola, ganadero, forestal, turístico, etc.)	RP	

(1) Los usos habitacionales mixtos deberán de tener un porcentaje menor al 25% de usos industriales, de servicio y de infraestructura.

(2) La clave RN deberá asignarse a ecosistemas naturales NO productivos y en buen estado de conservación, como podrían ser los ecosistemas marinos, costeros, desérticos, de alta montaña, entre otros.

Las claves especificadas en las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3 deberán agregarse en la Base de Datos a la clave denominativa de cada estación. Por ejemplo, la estación Pedregal de la Zona Metropolitana del Valle de México, que tiene la clave PED, deberá codificarse como ZMVM-PED-N-UH, ya que es una estación de interés nacional y su entorno urbano se caracteriza por ser un área de uso habitacional.

El objetivo de esta codificación dentro del SINAICA es el de lograr la homogenización de las claves de cada estación, identificando el entorno inmediato y la función de la estación de acuerdo a su representatividad espacial e importancia territorial en la Gestión de la Calidad del Aire del país.



### 3.2 Representatividad Espacial y Gestión de la Calidad del Aire

Independientemente de la clasificación que las estaciones reciban en el SINAICA, las estaciones de monitoreo atmosférico tienen una representatividad espacial característica dentro de red monitoreo, dependiendo de la topografía del territorio donde se ubiquen, de su entorno natural o urbano inmediato, de la meteorología, de la altura a la cual se encuentre la toma de muestra de aire y del tipo de contaminante o parámetro meteorológico que midan. A continuación se transcribe la clasificación por representatividad más útil y más empleada a nivel internacional de estaciones de muestreo:

**Puntual o Confinada.** En muchas ocasiones denominadas como de “túnel” o “cañón de la calle”, por estar ubicadas en calles o avenidas con edificaciones a los lados con alturas superiores a seis metros.

**Micro escala.** Son estaciones cuyas mediciones son representativas de un área de hasta 100 metros alrededor.

**Escala Media de Barrio o Colonia.** Estaciones que representan la calidad del aire en un área de 100 a 500 metros de radio.

**Escala Media Municipal.** Representativas de un área de medio a 4 kilómetros de radio, que pueden coincidir típicamente con los límites de un municipio o delegación.

**Escala Urbana a nivel Ciudad.** Llegan a representar una ciudad entera con una representatividad de 4 a 50 kilómetros. Ciertos contaminantes requieren ser medidos en más de una estación para obtener datos representativos de una parcela atmosférica tan amplia.

**Escala Regional.** Esta escala es propia para espacios rurales con características geográficas homogéneas, los cuales pueden llegar a medir cientos de kilómetros, como son las planicies o los grandes valles.

**Escala Nacional.** Son estaciones capaces de describir las concentraciones contaminantes o características de un territorio común muy amplio. Las características topográficas accidentadas de nuestro país no permiten tener estaciones de esta naturaleza. (Nota: es importante no confundir este tipo de estaciones con las de *interés nacional*)

**Global.** Son estaciones donde se miden parámetros de interés global como pueden ser gases de efecto invernadero o los contaminantes tóxicos y persistentes.

La representatividad espacial está íntimamente ligada a los objetivos de monitoreo, los parámetros a medir y las distintas asignaciones de interés o funcionalidad en materia de política y gestión de la calidad del aire.

La siguiente tabla se hace una asignación optativa de contaminantes criterio versus la representatividad espacial de las estaciones y la clave de representatividad del SINAICA. Las especificaciones de esta tabla no incluyen las posibilidades de cobertura espacial que tienen los métodos de percepción remota de monitoreo atmosférico ni los instrumentos ópticos de medición de trayectoria, como puede ser el LIDAR o el sistema óptico comercial denominado DOAS.

**Tabla 3.4**  
**Relación de posibles escalas de representatividad y**  
**parámetros a monitorear<sup>1</sup>**

Escala	Estaciones de Cuenca o Locales								Estaciones de interés Nacional							
	SO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Pb	PST	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Pb	PST	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
Micro escala																
Media de Barrio																
Media Municipal																
Ciudad																
Regional																

*Adaptada: EPA (1998).*

Entre más pequeña sea la escala de representatividad, más limitados y específicos son los objetivos de muestreo. Así, para medir el impacto de una fuente puntual es necesario utilizar escalas pequeñas, mientras que para estimar los impactos a la salud pública es necesario tener estaciones de representatividad a nivel municipal o de ciudad. Igualmente ocurre con los contaminantes atmosféricos, el monóxido de carbono, que es poco reactivo y se dispersa fácilmente puede medirse con niveles muy aceptables de representatividad en estaciones micro y a nivel urbano. Por el contrario, los contaminantes fotoquímicos o altamente reactivos e inestables, como pueden ser los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y el ozono, requieren de escalas de medianas a globales para que sus mediciones sean representativas.

Cuando se requiera detectar altos índices de contaminación, que puedan poner en riesgo a uno o varios grupos lábiles o sensibles de la población, es necesario utilizar estaciones que tengan una representatividad de escalas medianas y pequeñas, de tal suerte que la aplicación de los programas de contingencia atmosférica se hagan con un alto nivel de confianza en la medición.

Cuando sea necesario definir, en un estudio o campaña de monitoreo, el nivel basal o la contaminación de fondo de un contaminante, así como la influencia de fenómenos urbanos extendidos, como el transporte público o la quema de gas LP, las escalas de representación deben de ser de medianas a regionales.

#### **4. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFERICO**

Los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMA´s) deben tener objetivos claros y precisos a cumplir a nivel nacional, regional y local. Los objetivos deben ser enunciados cualitativos, con definiciones cuantitativas basadas en conocimientos científicos y técnicos sólidos.

Los objetivos deben ser de carácter general y particulares para las distintas fases y componentes de los sistemas de monitoreo atmosférico, de tal suerte que se fijen objetivos de medición, de calidad en los datos obtenidos, de desempeño en el cuidado del medio ambiente y la salud pública, así como objetivos de eficiencia en el ejercicio presupuestal y administrativo, particularmente cuando se trate de sistemas operados por instituciones gubernamentales.

Los objetivos generales que a nivel nacional deben de observarse en todos los SMA´s son los siguientes:

1. Vigilar el cumplimiento de las normas de calidad del aire que protegen la salud de la población y la integridad de los ecosistemas y recursos naturales que componen el territorio nacional.
2. Activar medidas o programas de contingencia ambiental o atmosférica cuando los niveles de contaminación pongan en riesgo grave la salud pública.
3. Determinar el avance de las medidas de prevención y control de los Planes o Programas, federales y locales, orientados a conservar o mejorar la calidad del aire de una región o ciudad.
4. Determinar el impacto de fuentes emisoras de contaminantes al aire, reguladas bajo normas y procedimientos jurídicos.
5. Definir las tendencias de la calidad del aire en las cuencas atmosféricas urbanas o rurales de interés nacional.
6. Establecer bases de datos confiables que permitan realizar investigaciones públicas o privadas sobre el impacto ambiental y social de la contaminación atmosférica a nivel global, nacional, regional y local. En especial, los sistemas de monitoreo atmosférico deben vincularse con el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, coordinado por la Secretaría de Salud del Gobierno Federal, y deben permitir la investigación en los campos de la ecología, meteorología, química atmosférica, transporte y dispersión de contaminantes, entre otros.

#### **4.1 Procedimiento General para la definición de Objetivos de Monitoreo, Calidad en los Datos y en las Mediciones**

De acuerdo con el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, son las autoridades locales, con el auxilio concertado del gobierno federal, quienes deben de establecer y operar los SMA's. Por tal motivo, las autoridades locales deberán fijar los objetivos del sistema mediante un proceso que contemple por lo menos los siguientes pasos:

**PASO 1.** Definición precisa del problema de contaminación, salud pública o deterioro ambiental a resolver

Si no existe una red de monitoreo operando y se desconoce el nivel de contaminación de la ciudad o región a atender, será necesario llevar a cabo estudios o campañas de medición y un inventario preciso de fuentes contaminantes. Es recomendable que la campaña de medición abarque un periodo mínimo de un año con el fin de observar las variaciones temporales de las emisiones y la influencia de la meteorología y el clima en la dispersión y concentración de los contaminantes. De preferencia, estos estudios deben realizarse aplicando los instrumentos y métodos normados, pero pueden emplearse técnicas e instrumentos alternativos para reducir costos o ampliar la cobertura temática y geográfica de la prospección.

**PASO 2.** Definición de índices e indicadores de vigilancia y control de acuerdo con las normas vigentes y las necesidades de información para entender y conocer la futura evolución del problema a resolver

Con base en el conocimiento del problema, se deberán seleccionar los contaminantes y parámetros meteorológicos a medir, incluyendo, en una primera instancia, contaminantes criterio o bajo norma oficial mexicana del sector salud así como el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). Independientemente de los índices e indicadores estadísticos que pudieran aplicarse para el análisis coyuntural o histórico de los datos obtenidos en las estaciones de monitoreo atmosférico, el IMECA debe de ser considerado como el único índice de reporte al público y el único índice de referencia para la aplicación de planes de contingencia atmosférica. Esta medida permitirá que cualquier habitante del territorio nacional puede entender y conocer la problemática de la Calidad del Aire de la ciudad que habite, visite o transite.

### **PASO 3.** Delimitación de la Cuenca o Parcela Atmosférica a vigilar

El concepto de Cuenca atmosférica es esencialmente geográfico, no obstante la delimitación del área se puede circunscribir a límites geopolíticos, naturales o topográficos. Igualmente, la cuenca puede estratificarse, visualizándose siempre como un espacio tridimensional, con base en la altura promedio de la capa de mezcla, la incidencia de inversiones térmicas, entre otros fenómenos meteorológicos relacionados con la contaminación atmosférica.

### **PASO 4.** Definición de Objetivos en la Calidad de los Datos y Calidad de las Mediciones, de acuerdo al diseño y nivel de confiabilidad del SMA

Una vez identificados los índices e indicadores a utilizar para tomar decisiones con respecto al problema definido en el Paso 1, es necesario definir las características de calidad de los datos y el rango máximo de “Error Total” aceptable por las autoridades locales y de salud que deberán tomar las decisiones de gestión al respecto. También se pueden adoptar reglas operativas para la actuación de las autoridades y los distintos actores de un programa de control de la contaminación del aire, aplicando en primer término el “Principio Precautorio”.

### **PASO 5.** Redefinición de los Objetivos en función de la experiencia aplicativa de los mismos.

La aplicación de los Objetivos de Calidad en un plazo mínimo de un año, de preferencia tres, debe de conducir a una evaluación de los mismos.

Este procedimiento debe de realizarse en el seno de la instancia de coordinación establecido para la Gestión de la Calidad del Aire en la región o área urbana que se trate. Es muy importante que en el proceso participen representantes gubernamentales del sector salud, industrial y transporte, así como representantes de la sociedad organizada, los medios de comunicación y los principales sectores emisores de contaminantes.

Como puede observarse, el **Paso 4** de definición de objetivos de calidad en la obtención de los datos es crucial para la integración del sistema de monitoreo atmosférico y finalmente para la integración del SINAICA.

El producto principal de un SMA es la información o los datos generados por las redes y estaciones de monitoreo que lo componen. Los datos de calidad del aire

son insumo de muy diversos e interrelacionados procesos de planeación, regulación, educación e investigación, que tienen repercusiones económicas, políticas y sociales importantes. Si no existe confianza en los datos obtenidos o éstos no poseen la calidad suficiente para ser considerados como válidos o representativos, la actuación de las autoridades ambientales y de salud, a nivel local o federal, puede inhibirse, dilatarse o ser cuestionada por la población y la comunidad científica.

Un ejemplo ideal e ilustrativo de los objetivos de Calidad de Datos y Calidad de las Mediciones que se pretenden lograr en los SMA's que operan y operarán en el país, para un conjunto definido de indicadores, en este caso "Compuestos Orgánicos Volátiles", puede ser el siguiente:

*Desarrollar una base de datos representativa de compuestos orgánicos volátiles (COV) con un impacto ambiental conocido y trazable. Los datos permitirán analizar y refinar el inventario de emisiones y corroborarán el progreso obtenido en el control de las fuentes emisoras. Los datos de monitoreo permitirán demostrar, en su caso, un +/- 3% de tendencia anual en un período de 5 años con un 80% de nivel de confianza. Asimismo, podrán demostrar, en su caso, un +/- 20% de cambio en el promedio estacional de dos años consecutivos, igualmente, con un nivel de confianza de 80%.*

*(Ejemplo resumido de la sección "EPA-Enhanced Ozone Monitoring" del sitio <http://www.epa.gov/oar/enhozmon.html>)*

Es muy importante que se definan los cambios que en el tiempo se pretenden lograr en materia de concentración de contaminantes, a efecto de elegir la instrumentación y los procedimientos de calidad que permitan detectar de manera confiable dicho cambio. Entre más pequeños sean los cambios y los períodos de tiempo para demostrar avances, mayor será el nivel de instrumentación y trabajo en cada componente del SMA.

Como un ejemplo real del procedimiento descrito, a continuación se citan y discuten brevemente los objetivos y metas del "Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2002-2010" para ozono (pag. 6-4), un contaminante exhaustivamente estudiado:

*"La Norma Oficial Mexicana establece que las concentraciones de ozono no deben de exceder 0.11 ppm (100 puntos IMECA), en períodos de una hora, una vez al año. Todos los trabajos de modelación realizados hasta la fecha indican que para que en el año 2010 se cumpla con dicho límite, se requeriría reducir en más de un 70% las emisiones de los precursores*

*de ozono ...en un escenario más realista, las metas del programa ..son las siguientes:*

- *Eliminar las concentraciones de ozono superiores a 200 IMECA*
- *Reducir el número de días en que las concentraciones de ozono se encuentren en el intervalo de 101 a 200 IMECA*
- *Aumentar el número de días con concentraciones de ozono dentro del límite establecido por la norma (100 puntos IMECA o menos)”*

A estos objetivos de Gestión, que cumpliría con los pasos 1, 2 y 3 del procedimiento propuesto, le deben de corresponder un conjunto de objetivos de Calidad de los Datos y Calidad de las Mediciones obtenidas en el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT), según el Paso 4, que satisfaga y compruebe públicamente lo que está comprometido.

En otras palabras, el problema del ozono está definido y ampliamente estudiado desde el punto de vista de salud, fotoquímica atmosférica e ingeniería ambiental; el área geográfica de gestión y la parcela atmosférica de interés han sido definidas y modeladas; y el indicador y la norma de calidad están dados por la legislación ambiental. ¿Cómo definir técnicamente los objetivos de calidad de datos y los de las mediciones de los mismos?. El siguiente apartado está enfocado a resolver esta pregunta.

#### **4.1.1 Definición de Objetivos de Calidad de Datos y Calidad de las Mediciones**

En el marco operativo y funcional de un SMA sólo es posible conocer la validez de los datos obtenidos si éstos cumplen con los objetivos de calidad que debieron ser previamente definidos en el diseño del sistema. En la construcción del SINAICA, éste aspecto es fundamental, pues el objetivo central del sistema es contar con datos confiables que puedan ser difundidos a la población y permitan crear un registro histórico de la calidad del aire en el país, correlacionado con la estadística en materia de salud pública y la integridad de los ecosistemas y recursos naturales que componen el territorio nacional.

Si bien los operadores de un SMA pueden adoptar sus propios métodos estadísticos para medir el desempeño de sus instrumentos y de su personal, es recomendable que a través del SINAICA, el Instituto Nacional de Ecología



establezca los procedimientos generales, métodos y cálculos necesarios para definir objetivos y asegurar la calidad de los datos y las mediciones.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos estableció en 1994 una guía denominada “*Guidance for the Data Quality Objectives Process: EPA QA/G-4*” (EPA/600/R-96/055). Esta guía está estrictamente orientada al marco regulatorio y administrativo de los Estados Unidos de Norteamérica y no es transferible a nuestro país. No obstante, sus conceptos básicos y definiciones son universales en el campo de la instrumentación de redes de monitoreo y son los que se han rescatado en esta propuesta.

Así, en este apartado se definen los elementos generales a tomar en consideración para definir los objetivos de Calidad de los Datos y de las Mediciones. En el documento relativo al aseguramiento y control de la Calidad en los sistemas de monitoreo atmosférico se detallarán los procedimientos administrativos y métodos precisos para cuantificar los conceptos y parámetros aquí presentados.

Para construir los objetivos de Calidad de Datos y de Calidad de las Mediciones, hay que tomar en cuenta los siguientes conceptos y parámetros cuantificables al nivel de un equipo de medición, una estación, una red o todo un sistema de monitoreo atmosférico:

- **Representatividad estadística**
- **Incertidumbre de la medición**
- **Fallas operativas**
- **Confiabilidad**

Estos cuatro conceptos pueden integrarse estadísticamente de muy diversas formas en la redacción de un Objetivo de Calidad, como ya se ejemplificó anteriormente. La forma de integración puede ser tan sencilla como

*“tener un dato válido semanal de partículas menores a 2.5 micrómetros en la estación Xochitepec que represente la calidad promedio del aire que respira el 90% de la población que habita en el área urbana”*

o tan compleja como

*“detectar en cada estación de medición las tendencias de las concentraciones de las distintas especies químicas que componen las partículas menores de 2.5 micrómetros, en un rango de variación de 3 a 5 por ciento anual, en una serie histórica de datos de 3 a 5 años, haciendo un ajuste estacional y con un nivel de confianza de 80%, calculado mediante una prueba estadística”*

A este objetivo de la Calidad de los datos le puede corresponder un objetivo de Calidad de las Mediciones o de “Error Total” aceptable que puede estar redactado de la siguiente forma:

*“el error total máximo aceptable de medición, expresado como porcentaje del coeficiente de variación del proceso de toma de muestras y análisis de las mismas, no debe ser superior a 10% para la suma de aniones y cationes, 15% para carbono total y 20% para los elementos detectados mediante la técnica de fluorescencia de rayos X”.*

*(Ejemplos tomados del documento “Quality Assurance Project Plan: PM2.5 Speciation Trends Network Field Sampling. EPA-454/R-01-001. December, 2000”)*

Al final de este apartado se sugiere adoptar como indicador operativo básico el nivel de eficiencia de muestreo de un equipo, una estación, una red, un sistema de monitoreo atmosférico o el SINAICA, utilizando el porcentaje de integridad de una base de datos, de acuerdo con el número de datos “validados” sobre el número de datos “esperados” teóricamente, para cada contaminante, según el protocolo de muestreo.

### ***Representatividad estadística de las estaciones de monitoreo***

Si se toman como base los objetivos señalados en el apartado anterior y las instrucciones establecidas por la LGEEPA y su Reglamento en materia de Gestión de la Calidad del Aire, los SMA’s deben proporcionar datos que sean representativos de la cuenca o parcela atmosférica en la cual se instalarán o instalaron las estaciones de medición. Los datos deben ser también representativos de la calidad del aire que respira la población y de la calidad del aire que afecta a los ecosistemas que se pretende proteger.

La representatividad de los datos es entonces el primer atributo que es necesario definir como objetivo de calidad en el diseño de un SMA. Si bien la representatividad puede acotarse en el tiempo y espacio de una muestra estadística cuando se trata de la calidad del aire, la representatividad de una estación, un parámetro o un dato puede cambiar con el tiempo al existir eventos meteorológicos y sociales extraordinarios y al cambiar los usos o intensidades de uso del suelo o los recursos naturales que se pretenden proteger.

La representatividad de un sistema puede estar influenciada por los siguientes aspectos componentes del mismo:

- Tamaño, complejidad topográfica y meteorología de la cuenca o parcela atmosférica
- Intensidad de la dinámica poblacional, urbana, industrial y de servicios dentro de la cuenca o parcela atmosférica
- Número y niveles de equipamiento y automatización de las estaciones y redes de monitoreo que compongan el sistema
- Plan operativo de muestreo donde se especifica el número y espaciamiento temporal y geográfico de las muestras tomadas

En un SMA la muestra estadística puede pretender la descripción del comportamiento temporal y espacial de un compuesto tóxico, la calidad del aire que respira un sector de la población humana, un evento meteorológico asociado a la contaminación atmosférica o la dispersión de una pluma contaminante proveniente de una industria o carretera.

La representatividad de una muestra estadística, como las que se obtienen de una red de monitoreo, se puede medir como el grado de precisión y exactitud de los datos que describen a una “población” determinada, entendiendo el término “población” en sentido estadístico.

### ***Incertidumbres de los equipos de medición***

Todo instrumento o procedimiento de medición posee incertidumbres producto de las fallas, errores y desviaciones no intencionales que alteran la confiabilidad y eventualmente la representatividad de los datos que obtiene. Por este motivo, los sistemas de monitoreo atmosférico deben definir y operar bajo un nivel de confiabilidad y representatividad previamente establecido.

Las incertidumbres de un instrumento o proceso de medición se pueden calcular mediante métodos matemáticos y/o estadísticos, con base en los siguientes cuatro conceptos que serán aplicables posteriormente a los procedimientos de aseguramiento y control de calidad de los datos:

**Precisión.** Es un error aleatorio, medido normalmente a través de distintas expresiones o variedades estadísticas de la desviación estándar.

**Sesgo.** Es un error sistemático. El sesgo puede ser positivo o negativo y se mide como la desviación o error persistente sobre un valor considerado como verdadero.

**Exactitud.** Es un concepto de cercanía a un valor definido como el verdadero, normalmente es una combinación entre la precisión y el sesgo.

**Nivel de Detección.** Es el valor crítico más bajo que puede medir un instrumento o proceso de medición (ej. 0.05 ppm de CO)

Estos conceptos descritos se asocian únicamente a datos obtenidos bajo un proceso estandarizado de medición, o sea, cuando el instrumento está funcionando bajo especificaciones de fabricante y bajo los criterios de diseño y configuración de las casetas donde está colocado. Por lo general, el nivel de detección es un valor dado por el fabricante que puede ser confirmado en los laboratorios de calibración del sistema de monitoreo atmosférico. Los valores de precisión, sesgo y exactitud se calculan por los operadores del equipo, los auditores del sistema y las autoridades ambientales, en etapas sucesivas dentro del sistema de aseguramiento de calidad en el que operen los sistemas de monitoreo atmosférico.

### ***Fallas operativas de los equipos y estaciones de monitoreo***

Si durante la operación de un instrumento o proceso de medición llegase a ocurrir una falla eléctrica, mecánica, física o química, o se presentase una eventualidad externa al instrumento o a la toma de muestra de aire, los datos medidos deben ser etiquetados en la base numérica de almacenamiento, con señales, códigos o banderas (numéricas y/o alfabéticas) que indiquen la eventualidad ocurrida.

Las eventualidades y sus códigos indicativos en las bases de datos pueden variar de sistema a sistema, de acuerdo con el diseño de cada red o la costumbre ya establecida. A continuación se ilustran algunas fallas y los códigos típicos:

**Tabla 4.1**  
**Ejemplo de códigos de abanderamiento de datos**

Eventualidad ocurrida	Código
Interrupción de la electricidad	FE
Elevación de la temperatura interna de la Estación	AT
Incendio a menos de 25 metros de la estación de monitoreo	I25
Valor negativo	VN

Adicionalmente a las incertidumbres propias de un instrumento y las fallas externas que pudieran ocurrir en la operación normal del mismo, pueden presentarse situaciones de paros prolongados por la falta de refacciones, gases de calibración, energía o inclusive, desastres naturales, que tendrán como consecuencia la pérdida de información.

La ausencia de datos, bajo un protocolo de toma continua de muestras, es un factor de evaluación o desempeño importante, a considerar en la operación de una red de monitoreo atmosférico.

### ***Confiabilidad y Eficiencia***

La combinación del nivel de representatividad de las estaciones, la incertidumbre inevitable de los instrumentos de medición y las fallas que pueden ocurrir durante la operación de los sistemas de monitoreo, nos da la eficiencia o confiabilidad total del sistema. La eficiencia es mayor en la medida en que el sistema posee una cobertura suficiente, el instrumental está adecuada y oportunamente mantenido, calibrado y refaccionado y se poseen mecanismos para enfrentar con éxito las fallas, internas o externas, que se puedan presentar.

El indicador básico que puede medir de manera indirecta el nivel de eficiencia que se debe esperar del sistema de monitoreo, cuando éste tiene estaciones representativas, es la **integridad o suficiencia** de la base de datos, valor porcentual que se obtiene para cada contaminante criterio, por tipo de estación, la red, el sistema y de manera agregada el SINAICA, de la siguiente forma:

$$\frac{\text{INTEGRIDAD O SUFICIENCIA de la base de datos (\%)}}{=} = \frac{\text{Número de datos validados en un año}}{\text{Número de datos programados a obtener según el protocolo de muestreo}}$$

En un SMA eficiencias superiores al 85 % son aceptables, superiores al 90% ideales y mayores a 95% imposibles, dada la necesidad de hacer paros de mantenimiento y las fallas intrínsecas e inevitables de los instrumentos de medición.

Los errores totales, acumulados a lo largo del proceso de toma de muestra, preparación de la muestra si es necesario y análisis en un instrumento de medición o laboratorio, no deben ser superiores al 20%, lo aceptable es que se mantengan por debajo del 10% y lo ideal es que sean inferiores al 5%. Los parámetros que son medidos de manera manual tienen un porcentaje mayor de error total, incluso superior al indicado en este párrafo, mientras que las mediciones con monitores automáticos y remotos logran mediciones con errores muy bajos.

El nivel de equipamiento, automatización, entrenamiento y capacidad operativa del personal involucrado en un sistema de monitoreo atmosférico tiene también repercusiones financieras y administrativas a considerar, que influyen directamente la confiabilidad de un sistema de monitoreo atmosférico.

Es muy común que las redes de monitoreo se instalen bajo contratos “llave en mano” y sean puestas a operar sin haberse integrado con anterioridad un sistema completo de monitoreo atmosférico, de tal suerte que las estaciones “se van cayendo” poco a poco o se presentan deficiencias de mantenimiento, validación de datos o difusión de reportes. Si el nivel de eficiencia total y anual se fija en 90 o 95%, toda la administración del sistema de monitoreo atmosférico debe enfocarse a lograr ese objetivo. Así, la confiabilidad de un sistema de monitoreo atmosférico debe ser un atributo acordado y comprometido entre las instituciones y organismos que hacen uso de los datos que éste genera.

## **5. COMPONENTES BÁSICOS DE LOS SMA'S**

Los componentes de los sistemas de monitoreo atmosférico (SMA's) deberán responder en forma eficiente y confiable a los objetivos de diseño así como a las necesidades de información establecidas por las normas oficiales vigentes en materia de calidad del aire.

Todos los SMA's que operen en el país deben de generar, compilar e interpretar, por sí mismos o a través de la interconexión con otros sistemas complementarios y externos, información suficiente y confiable sobre la concentración atmosférica de contaminantes criterio, su origen, transporte y transformación en la cuenca atmosférica.

Los operadores de los SMA's deben a su vez ser capaces de elaborar y difundir a través de medios escritos y electrónicos, reportes horarios, diarios, semanales, anuales e históricos, dirigidos al público en lo general. Durante las inspecciones y auditorías que realicen las autoridades y organismos correspondientes, así como durante contingencias ambientales, los SMA's deberán tener la capacidad de generar reportes instantáneos y "minuto a minuto", de los instrumentos de medición automáticos.

Los operadores de SMA's serán responsables de diseñar y poner en operación un programa de atención a contingencias atmosféricas que proteja a la población ante la presencia de altas concentraciones de contaminantes. El programa de contingencias atmosféricas debe de tener una vinculación clara y acordada con el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, Comisión Federal para la Protección de Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y el Sistema Nacional de Protección Civil. El programa de atención a contingencias atmosféricas es obligatorio y su incumplimiento, por parte de las autoridades y la población deberá ser sancionado de acuerdo con la legislación vigente.

Los SMA's deberán intercambiar información, de manera regular e ininterrumpidamente, con los sistemas de vigilancia epidemiológica que opere el sector salud a nivel local y nacional.

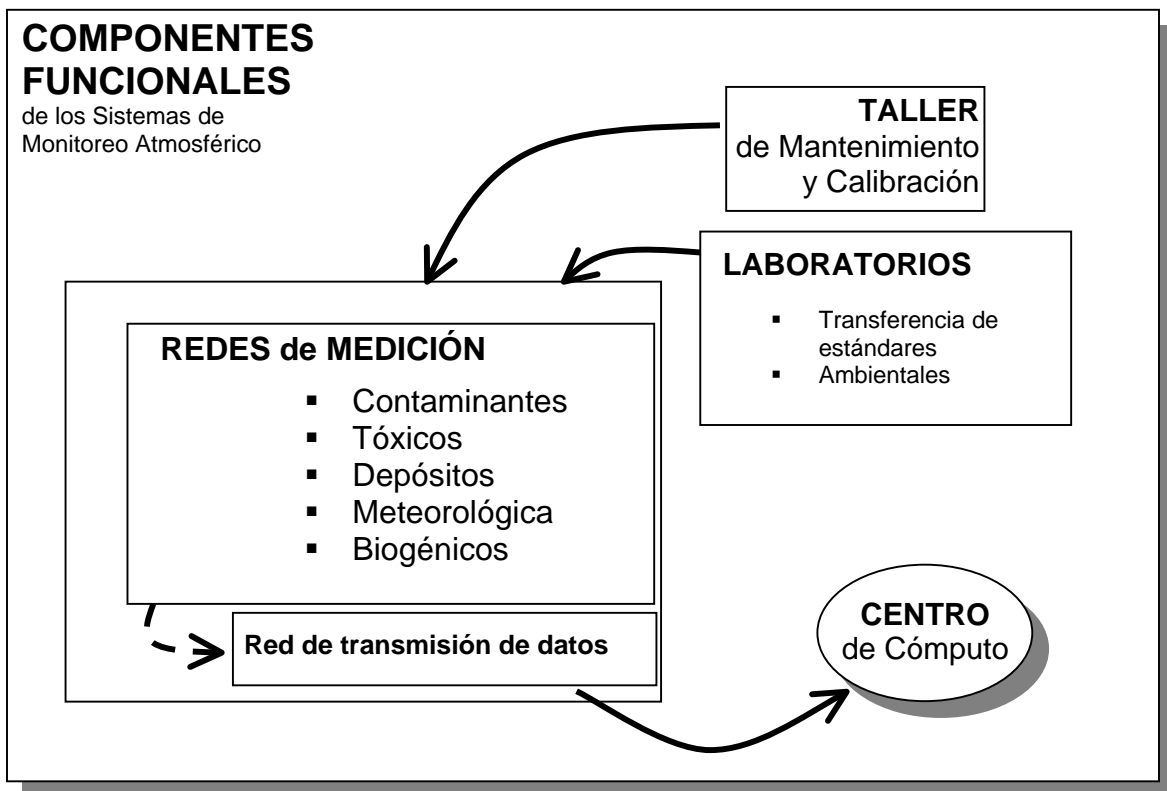
Las componentes funcionales y operativas básicas que podrán contener los SMA's en función de sus alcances específicos serán las siguientes:

- 1) Red de estaciones de medición de la calidad del aire, fijas o móviles
- 2) Red de estaciones meteorológicas, fijas o móviles

- 3) Red de transmisión automática de datos entre las estaciones de medición y el centro de cómputo
- 4) Centro de Cómputo o sistema de acopio, procesamiento y almacenamiento electrónico de datos
- 5) Laboratorios ambientales analíticos y de transferencia de estándares
- 6) Oficinas administrativas para el personal operativo, técnico y directivo
- 7) Taller de mantenimiento y reparación
- 8) Almacén de refacciones, repuestos, herramientas y equipos
- 9) Unidades adecuadas de transporte y sistemas de comunicación remota o móvil para el personal operativo de instalación, mantenimiento y de control de calidad

Un esquema simplificado de la interacción de estos componentes se muestra en la figura siguiente.

**Figura 5.1**  
**COMPONENTES FUNCIONALES**





Asimismo, es recomendable que los operadores de sistemas de monitoreo atmosférico tengan o pertenezcan a una organización administrativa, cuyo Programa Estatal de Monitoreo de la Calidad del Aire incluya las siguientes ocho áreas de especialidad:

- 1) Área de Meteorología de la contaminación y pronóstico
- 2) Área de de Soporte Técnico, Mantenimiento y Calibración de equipos
- 3) Área de Análisis Estadístico e Interpretación de datos de la calidad del aire
- 4) Área de Comunicación Social
- 5) Área de Capacitación y Educación Ambiental
- 6) Área de Control y Aseguramiento de Calidad
- 7) Área Directiva y Administrativa
- 8) Área de Inventario de Emisiones

## **5.1 Características generales de las componentes funcionales**

Las redes de medición se conforman por estaciones o sitios de muestreo. De preferencia los sitios de muestreo de la calidad del aire deben de coincidir con las estaciones meteorológicas a efecto de constituir una base histórica de datos correlacionados. No obstante, las redes de monitoreo atmosférico pueden apoyarse con datos meteorológicos obtenidos en el Sistema Nacional Meteorológico, dependiente de la Comisión Nacional de Agua.

Las redes de medición pueden estar ubicadas en áreas urbanas, suburbanas, rurales y en áreas naturales protegidas, dependiendo de los objetivos de diseño establecidos en cada SMA. Por lo general, las redes y estaciones urbanas y suburbanas incluyen la medición de parámetros de calidad del aire relacionados con salud pública y tienen como objetivo principal la protección de la salud de los habitantes de una ciudad o región. Los parámetros de medición de la calidad del aire en redes o estaciones ubicadas en áreas rurales o naturales protegidas por lo general están orientados a la detección de procesos de deterioro ecológico y paisajístico como pueden ser la acidificación de los suelos o la pérdida de visibilidad.

Las estaciones pueden ser fijas, semi-fijas y móviles. En general, las estaciones se consideran fijas cuando los instrumentos de medición son colocados al interior de un edificio o edificación de construcción permanente. Son semi-fijas cuando la estación de monitoreo consiste en una caseta prefabricada y transportada al sitio de monitoreo, donde se ancla y conecta a la red de servicios y puede ser removida si es necesario. Las estaciones móviles son por lo general motorizadas o acarreables, se emplean sólo para campañas de muestreo temporales y están vinculadas a trabajos prospectivos o de investigación, a su vez, son auxiliares en caso de una falla en alguna estación fija o semi-fija, o se utilizan cuando se presentan casos de emergencia atmosférica, como puede ser la erupción de un volcán o el accidente de una planta industrial.

### **5.1.1 Redes e Instrumentos de medición**

Las estaciones pueden estar equipadas con instrumentos de operación manual, automáticos o remotos, para medir los parámetros de calidad del aire que estipulan las normas oficiales mexicanas del sector Salud o los programas institucionales de gobierno previstos en el Sistema Nacional de Planeación Democrática. Estos instrumentos deben de cumplir con las normas oficiales mexicanas expedidas por el sector ambiental. Las normas expedidas hasta la fecha se enlistan en la tabla 5.1.

Como puede observarse, para algunos parámetros de la calidad del aire y la totalidad de los parámetros meteorológicos se carece de las normas mexicanas correspondientes. Inclusive, es conocido por los operadores actuales de las redes de monitoreo atmosférico que algunas normas son obsoletas o ya están rebasadas tecnológicamente.

Para subsanar esta deficiencia es muy importante que la SEMARNAT a través de INE-CENICA emprendan el proceso normativo conducente para la generación de los métodos de prueba faltantes, así como las actualizaciones de los ya existentes.

A corto plazo, se propone que cuando una norma de salud o un programa institucional especifiquen un parámetro de medición y no haya sido expedida una norma correspondiente del sector ambiental que indique el tipo de método o instrumento y los procedimientos de medición y calibración del mismo, los criterios de selección se basen tanto en procedimientos recomendados por la Organización Mundial de la Salud y la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD), a los cuales nuestro país pertenece mediante convenios de carácter vinculante; como por los métodos de referencia y equivalentes certificados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica, procurando que éstos coincidan con los

marcos establecidos por las organizaciones internacionales referidas y mientras no existan regulaciones y procedimientos locales.

**Tabla 5.1**  
**Parámetros de Medición**  
**en estaciones de monitoreo atmosférico**

<b>PARAMETRO</b>	<b>Norma de Salud</b>	<b>Norma Ambiental</b>
<b>Calidad del Aire</b>		
Monóxido de Carbono (CO)	<b>NOM-021-SSA1-1993</b>	<b>NOM-034-ECOL-1993</b>
Partículas Suspendidas Totales (PST)	<b>NOM-024-SSA1-1993</b>	<b>NOM-035-ECOL-1993</b>
Ozono (O <sub>3</sub> )	<b>NOM-020-SSA1-1993</b>	<b>NOM-036-ECOL-1993</b>
Bióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	<b>NOM-023-SSA1-1993</b>	<b>NOM-037-ECOL-1993</b>
Bióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	<b>NOM-022-SSA1-1993</b>	<b>NOM-038-ECOL-1993</b>
Partículas menores a 10 micrones (PM <sub>10</sub> )	<b>NOM-025-SSA1-1993</b>	N/E
Partículas menores a 2.5 micrones (PM <sub>2.5</sub> )	N/E	N/E
Plomo (Pb)	<b>NOM-026-SSA1-1993</b>	N/E
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)*	N/E	N/E
Depósito húmedo (lluvia ácida)	N/E	N/E
Depósito seco	N/E	N/E
<b>Meteorológicos</b>		
Velocidad del viento	N/E	N/E
Dirección del viento	N/E	N/E
Temperatura	N/E	N/E
Precipitación pluvial	N/E	N/E
Humedad Relativa	N/E	N/E
Radiación Ultravioleta A; B y Radiación solar total	N/E	N/E

N/E No Existe o no ha sido publicada en el Diario Oficial de la Federación

Las redes y estaciones de monitoreo atmosférico no podrán ser instrumentadas, 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 o las correspondientes a los organismos referidos en el párrafo anterior. El Centro Nacional de Metrología es la entidad gubernamental indicada para validar la utilización de instrumentos de medición que caigan en este supuesto.

Los instrumentos y las redes meteorológicas deberán estar preferentemente dictaminadas desde el punto de vista técnico por el Servicio Meteorológico Nacional, perteneciente a la Comisión Nacional del Agua. En principio, los datos meteorológicos obtenidos en los sistemas de monitoreo atmosférico deben de compartirse o intercambiarse con este organismo, de acuerdo a las atribuciones que le confiere el Reglamento Interno de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en su artículo 59.

### **5.1.2 Transmisión y almacenamiento de datos**

Las redes de medición pueden generar millones de datos anuales dependiendo del número de sitios de muestreo y el número de parámetros meteorológicos y de calidad del aire que se estén determinando en cada sitio. Los datos generados de monitoreo atmosférico vienen acompañados de registros o bitácoras manuales y electrónicas del funcionamiento interno de cada instrumento y las condiciones generales de la estación de monitoreo, información indispensable para validar la operación del sistema en su conjunto.

La transmisión y almacenamiento de estos datos y registros de operación debe hacerse con las más altas normas de calidad y seguridad. La transmisión y almacenamiento de datos es una tarea tan importante como la generación misma de los datos.

El mayor riesgo que puede tener un SMA es la pérdida de datos y la alteración inadvertida e intencional 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, etc.), mal funcionamiento del equipo (computadoras, *dataloggers*, *modems*, etc.), sabotaje (*hackers*, virus electrónicos, corte de líneas telefónicas, etc.) o interceptación de la información por personas ajenas al sistema.

El nivel de equipamiento y automatización electrónica de los instrumentos, estaciones y redes debe ser tal que los datos puedan ser transmitidos hacia un centro de cómputo o sistema de captura, procesamiento y almacenamiento de datos.

La transmisión puede realizarse de múltiples maneras, a través de líneas telefónicas directas, líneas conmutadas, líneas ópticas, ondas de radio, señal

satelital o cualquier otra tecnología que satisfaga los siguientes criterios mínimos:

- **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.

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

- ❖ En el instrumento de medición
- ❖ En la estación o caseta de medición
- ❖ En el equipo o unidad receptora de datos transmitidos
- ❖ En el Centro de Cómputo
- ❖ En un archivo histórico externo

Las estaciones 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 una 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 instrumental de medición en un periodo mínimo de un mes. Igualmente y de manera redundante, los instrumentos de medición automáticos de parámetros meteorológicos, gases y partículas deberán tener la capacidad intrínseca de almacenar como mínimo hasta una semana de datos por ellos generados.

Por su parte, los centros de cómputo deberán tener la capacidad de almacenar en forma segura hasta quince años de datos y deberán realizar un respaldo físico externo de la base histórica de datos, a ubicar en una edificación distinta a las oficinas administrativas donde operen. Este último respaldo debe realizarse en un Archivo Histórico oficial del municipio o del estado.

Es recomendable que en cada estación 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, entre 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.

### **5.1.3 Centros de Cómputo**

Los Centros de Cómputo de los SMA's son el espacio donde se concentra, administra y difunde la información de la calidad del aire y el estado de operación de las redes y estaciones de medición. Por su importancia, los Centros de Cómputo 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 sistemas mínimos de seguridad con que deben contar los Centros de Cómputo son los siguientes:

- Control y Registro de Acceso
- Control Ambiental Interno (ej. Aire Acondicionado), en especial cuando se trate de equipos de cómputo cuyas especificaciones de fabricante así lo indiquen y cuando el Centro 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 profesionalizado y capacitado

Las computadoras y equipos periféricos como pantallas, impresoras, lectoras ópticas (scanners), teléfonos, bocinas, entre otros posibles, que sean utilizados para recibir datos, almacenarlos, validarlos y procesarlos para efecto de reporte y constitución de bases de datos, deben estar adecuadamente señalizados según su función. Igualmente, su espacio de ubicación debe ser señalado y lo suficientemente amplio y ergonómicamente dispuesto como para que los operarios puedan emplearlos sin dificultad o daño a su salud y seguridad.

Los equipos de cómputo deben ser de marca y contar con el respaldo técnico del fabricante original. Asimismo, deben de tener programas originales con licencias y garantías expedidas de acuerdo a la legislación vigente.

Los edificios que alberguen el Centro de Cómputo deben de ser de fácil acceso vial y tener un dictamen estructural reconocido por las autoridades urbanas locales o los Colegios de Ingenieros Civiles o de Arquitectos, que garantice su integridad física ante un sismo de hasta 8.5 grados Richter.

#### **5.1.4 Laboratorios ambientales analíticos y de transferencia de estándares**

Los SMA's generan datos de calidad del aire y de las condiciones meteorológicas a partir de métodos de prueba Normalizados (Nacionales o Internacionales) en la mayoría de los casos, por lo que su operación general es muy similar a de un laboratorio de ensayo, visto este desde un enfoque de la Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN).

De esta manera los SMA's que podrán incluir laboratorios ambientales analíticos y de transferencia de estándares como parte integrante de su estructura, o bien como servicios externos subcontratados, deberán acreditarse para demostrar su aptitud técnica en las técnicas y procedimientos específicos para la determinación del contaminantes criterios y parámetros meteorológicos, ante una entidad de acreditación que cumpla con la Ley Federal de Metrología y Normalización, empleando como base para dicha acreditación la NMX-EC-17025-IMNC-2000 (equivalente a la ISO-17025:1999), referente a los "Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración".

En el documento 6 se presenta la propuesta de un Programa de Auditoría que conllevaría a la obligatoriedad de Acreditamiento ante la Entidad Mexicana de Acreditación (ema) y subsecuentemente a la implantación de un Sistema de Gestión de Calidad, de tal suerte que sea posible auditar los las prácticas de Aseguramiento y control de calidad en el proceso de obtención de datos de Calidad del Aire de los SMA´s.

En el caso de que dichos organismos se apoyen en laboratorios analíticos externos, la NMX-EC-17025-1999 contempla los requisitos que deben cumplirse para el caso de subcontratación.

### **5.1.5 Oficinas Administrativas y Personal operativo, técnico y directivo**

Las redes, estaciones e instrumentos de medición deben de estar operadas por un equipo humano altamente calificado, que tenga a su disposición el herramental y los medios necesarios para cumplir con la normatividad aplicable y los objetivos de diseño del sistema de monitoreo atmosférico.

El personal directivo y operativo debe de poseer las calificaciones profesionales adecuadas en el campo de las ciencias y la ingeniería ambientales. Asimismo, deberán estar sujetos a un programa de actualización y capacitación permanente, como parte integral del sistema de Aseguramiento de Calidad.

La administración y operación de los SMA´s 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 el mantenimiento preventivo y correctivo de las estaciones e instrumentos. La ubicación de las oficinas de los SMA´s deben de permitir la experiencia directa del personal, directivo y operativo, de los fenómenos meteorológicos y de contaminación que se estén monitoreando y sobre los cuales estén tomando decisiones de política.

El personal directivo y operativo debe contar con un espacio laboral identificable, digno y amplio para el desarrollo eficaz de su tarea. Es indispensable que el SMA tenga un **Manual de Identidad e Imagen**, que incluya entre otros aspectos institucionales un “logotipo” oficial a emplearse en la papelería, las casetas, las unidades móviles, los uniformes de los operarios o la página de Internet del sistema. La imagen oficial del sistema debe ser propia y fácilmente reconocible por la población, los medios de comunicación y los distintos organismos del gobierno (ejemplo en la figura 5.1).



**Figura 5.2**  
**Imagen oficial de la Red de Monitoreo Atmosférico**  
**de la Ciudad de Puebla**



*Fuente: [http://www.rema.gob.mx/rema\\_sima/](http://www.rema.gob.mx/rema_sima/)*

En caso de que las autoridades locales responsables de los SMA´s den bajo contrato la operación de los mismos a una empresa privada o a una institución u organismo de gobierno, ya sea éste autónomo, desconcentrado o descentralizado, se deberá evitar que la identidad del sistema se confunda con la del operario.

#### **5.1.6 Equipamiento y herramientas de operación y mantenimiento**

Los operadores de los SMA´s deben de poseer una capacidad interna comprobada para operar y mantener en óptimo estado los equipos e instrumentos de las estaciones de monitoreo. Para ello, es indispensable que cuenten con los espacios físicos, las herramientas necesarias y los medios de transporte y comunicación para realizar adecuadamente su trabajo.

Los sistemas deberán contar con un Taller de Mantenimiento propio o bajo convenio o contrato directo o de garantía, para realizar, fuera de las estaciones de monitoreo, reparaciones, pruebas de funcionamiento, limpieza y calibración de equipos. En estos talleres debe de haber un almacén de consumibles, partes, refacciones y equipos de reposición que permitan la operación ininterrumpida de las estaciones e instrumentos que midan contaminantes criterio.

Se debe de evitar a toda costa el paro indefinido de estaciones o instrumentos de medición, por falta de herramientas, refacciones o consumibles, mediante programas anuales de adquisiciones. La compra de éstos, por ser en su mayoría de procedencia extranjera, se deberá de realizar con anticipación mínima de seis meses.

Con el objeto de estar adecuadamente comunicados durante períodos de contingencia atmosférica, las brigadas operativas y de mantenimiento deben contar con vehículos automotores para su desplazamiento y con sistemas de comunicación remota como pueden ser teléfonos celulares, radio localizadores, radios, etc. Todos estos equipos deben de permanecer en buenas condiciones de mantenimiento y operación.

## **5.2 Productos de las áreas de especialidad**

Las ocho áreas de especialidad que se propone existan en los Sistemas de Monitoreo Atmosférico, pueden existir como unidades administrativas independientes, insituciones o empresas consultoras que brinden el servicio en forma externa y bajo contrato, o equipos de trabajo multi-institucionales que colaboren en el desarrollo de los insumos requeridos.

Para ejemplificar este planteamiento basta resumir la situación actual de muchas de las redes que operan en el país donde las áreas de especialidad pueden estar todas reunidas en una sola Dirección General de gobierno o estar asignadas a entidades externas. Así, los inventarios de emisiones pueden ser realizados y actualizados por institutos de investigación o empresas privadas; el pronóstico meteorológico puede ser suministrado por los meteorólogos del aeropuerto local, el Servicio Meteorológico Nacional o los sistemas gratuitos de la Internet; el soporte técnico, de mantenimiento y calibración de equipos puede ser otorgado por la empresa fabricante, un laboratorio nacional certificado o una entidad extranjera bajo convenio bilateral como ocurre con las redes fronterizas; el control y aseguramiento de calidad puede ser realizado por la Contraloría Interna del gobierno local; y, la Comunicación Social puede llevarse a cabo mediante acuerdo con alguna organización no gubernamental o las propias áreas de Comunicación Social del gobierno estatal o municipal.

Las modalidades organizativas para cubrir las ocho áreas de especialidad propuestas son muy amplias y diversas, por lo que a continuación se describen únicamente los productos más generales y relevantes de las mismas, que en su momento, deberán ser requeridos en el apartado de sistemas de monitoreo atmosférico del nuevo Reglamento de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica.

### 5.2.1 Reportes y Comunicación Social

Los SMA's deberán contar con área dedicada a elaborar reportes estadísticos, cartográficos e interpretativos sobre la calidad del aire de la cuenca o parcela atmosférica bajo vigilancia. Entre otras posibles funciones, ésta área o conjunto de áreas será la encargada de validar los datos generados por las redes de medición, crear las bases de datos del sistema, calcular cada hora los valores del Índice de la Calidad del Aire, integrar los pronósticos meteorológicos, incorporar las decisiones de política cuando sea necesario y transferir la información al área de comunicación social para ser divulgados entre la ciudadanía.

Se propone que los siguientes reportes y acciones sean obligatorios:

- La divulgación de los datos del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire IMECA cada hora de 6 a.m a 10 p.m, en especial cuando se trate de sistemas o estaciones de interés nacional.
- La declaración de Contingencia Atmosférica cuando las concentraciones de los contaminantes criterio, medidos de acuerdo al IMECA, rebasen los valores de activación fijados por el Programa de Contingencia Atmosféricas respectivo o en su caso por el Reglamento de la LGEEPA sobre Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica.
- La divulgación de un pronóstico meteorológico diario, vinculado a los fenómenos de transporte y concentración de contaminantes, en especial durante los periodos de contingencia atmosférica.
- Un reporte público después de cada Contingencia Atmosférica, que incluye una descripción de la evolución del fenómeno, las acciones y decisiones tomadas y los resultados obtenidos
- Un informe público anual de la calidad del aire de la cuenca o parcela atmosférica que vigile el sistema de monitoreo
- Un informe bianual, publicable como parte integrante del informe sobre el estado del Medio Ambiente que la SEMARNAT expide por mandato de la LGEEPA.

En cumplimiento con la Ley Federal de Transparencia y Acceso de la Información Pública Gubernamental y la Ley General del Equilibrio Ecológico, todos estos reportes deberán ser presentados en forma sencilla y explicativa, con elementos gráficos y didácticos, para hacerlos más comprensibles a la población en general. Igualmente, deberán integrarse al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) y publicarse en su momento en los medios de comunicación masiva y en las páginas electrónicas de las ciudades u organismos operadores del sistema de monitoreo atmosférico

### **5.2.2 Inventario de emisiones**

La herramienta más útil para descifrar la mezcla de gases y partículas contaminantes de una cuenca o parcela atmosférica y llevar a cabo la Gestión de la Calidad del Aire es el Inventario de Emisiones Contaminantes al Aire. Por lo anterior, es deseable que los operadores de los SMA's tengan dentro de su estructura organizacional (o al menos una relación muy estrecha) un área de Inventario de Emisiones, con personal capacitado, para trabajar de manera continua en el inventario, dividiendo su labor de acuerdo a los siguientes campos de trabajo:

- **Fuentes Fijas**
  - Puntuales: Industrias y Servicios con procesos y equipos de combustión de mediano a gran tamaño. Muchas de éstas están obligadas a presentar una Cédula de Operación Anual que se integra al Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes RETC.
  - De Área: Servios y casas habitaciones con procesos y equipos de pequeña capacidad o emisión difusa
- **Fuentes Móviles**, vehículos automotores a gasolina, diesel, gas LP, gas natural o híbridos con quema de combustibles fósiles
  - Autos particulares
  - Transporte colectivo
  - Transporte de carga
- **Fuentes Naturales**
  - Áreas descubiertas de vegetación
  - Bosques y áreas verdes urbanas

El inventario de emisiones deberá elaborarse, actualizarse y publicarse como mínimo cada seis años. Los datos de Calidad de Aire deberán correlacionarse con los del inventario de emisiones a través de múltiples y posibles métodos

estadísticos, cartográficos, de modelación matemática y simulación experimental (ej. Cámaras de ozono), para poder establecer líneas explicativas de los fenómenos de dispersión, concentración y transformación, en tiempo y espacio, de los contaminantes de la cuenca atmosférica bajo vigilancia.

Es necesario considerar que los datos validados e interpretados del inventario de emisiones, al igual que los de la Calidad del Aire, deberán de publicarse cada dos años como mínimo en cumplimiento con la Ley Federal de Transparencia y Acceso de la Información Pública Gubernamental y la Ley General del Equilibrio Ecológico, en reportes sencillos y explicativos, con elementos gráficos y didácticos, para hacerlos más comprensibles a la población en general.

### **5.2.3 Sistema de Gestión de Calidad (SGC)**

Los operadores de los sistemas de monitoreo atmosférico deberán instaurar en su organización un SGC que incluya como mínimo los siguientes aspectos:

- Estructura orgánica que vigile y administre el sistema en forma continua
- Definición de Objetivos de Calidad, en especial del principal producto del sistema que es: información o datos de la calidad del aire ( en representatividad y cantidad)
- Programa de capacitación y entrenamiento del personal y actualización constante
- Sistema de organización documental que incluya un manual general, procedimientos, bitácoras, reportes y memorias, entre otros
- Procedimientos de:
  - Instalación, operación, mantenimiento, calibración, prueba y reposición de estaciones e instrumentos de medición
  - Muestreo, cadena de custodia y análisis de muestra para parámetros de medición manual
  - Colección, captura, transmisión, validación, almacenamiento y procesamiento de datos meteorológicos y de calidad del aire
  - Análisis estadístico y reporte de datos
  - Atención a contingencias atmosféricas
  - Comunicación interna y externa
- Programa de autoevaluación, acreditaciones y/o certificaciones

Se sugiere que todos los sistemas o redes de monitoreo atmosférico que operen en el país tengan instaurado y registrado ante la SEMARNAT su sistema de aseguramiento y control de calidad antes del año 2010.

Las prácticas de aseguramiento y control de calidad del SGC deberán actualizarse cuando existan modificaciones a la legislación ambiental y las normas oficiales mexicanas o bien, cuando tengan lugar ampliaciones o modificaciones relevantes a las redes de monitoreo o la estructura administrativa y operativa del sistema de monitoreo atmosférico.

#### **5.2.4 Atención de Contingencias Atmosféricas**

Cuando las condiciones meteorológicas son adversas a la dispersión de los contaminantes y éstos últimos se acumulan en la atmósfera en concentraciones superiores a las marcadas por las normas de calidad del aire, las autoridades ambientales y de salud deben de dar una alerta pública y coordinar acciones con el resto de las autoridades de la ciudad, para proteger a la población y disminuir la emisión del o los contaminantes que han excedido su concentración en la atmósfera.

En la construcción del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, el valor cien (100) corresponde a la concentración máxima segura, sin daño a la salud de las personas, de un contaminante. Cuando el valor IMECA de un contaminante rebase en forma extraordinaria los 100 puntos en una cuenca atmosférica, la alerta pública que se señala en el punto anterior debe de darse en el marco de un Programa de Contingencia Atmosférica, que cumpla con todas las regulaciones que en materia de contingencias ambientales se establecen en la LGEEPA y las leyes federal y estatales de Protección Civil.

Se debe entender como un evento extraordinario de contaminación atmosférica al fenómeno combinado de altas concentraciones de contaminantes (superiores a 100 puntos IMECA) y alta estabilidad de la atmósfera, detectable por la existencia de un sistema sinóptico de alta presión, velocidades de viento superficial inferiores a 1 metro por segundo en toda la cuenca o parcela atmosférica bajo vigilancia, nula precipitación pluvial y una capa superficial de mezcla inferior a 300 metros de altura. Fenómenos asociados como la existencia de una inversión térmica prolongada por más de 24 horas y altos índices de radiación solar, pueden agravar el escenario y pronóstico meteorológico de la contingencia atmosférica.

Cuando el valor IMECA de un contaminante rebasa de manera sistemática los 100 puntos, independientemente de las condiciones meteorológicas prevalecientes y los cambios climáticos estacionales, es necesario desarrollar y aplicar un programa integral de mejoramiento de la calidad del aire, que establezca medidas inmediatas y de mediano plazo para proteger a la población, disminuir las emisiones contaminantes y regresar a niveles de concentración seguros para la salud en un tiempo razonable y aceptado por la población.

Los programas de contingencia atmosférica deben de contener los siguientes elementos:

- Acciones a tomar por fases en toda la escala del IMECA, a partir de 100 y hasta llegar a 500 puntos. Las fases de actuación se definirán con puntos de quiebre establecidos por las autoridades de salud, de acuerdo con los niveles de incidencia de enfermedades asociadas a problemas de contaminación atmosférica.
- Medidas de control de fuentes emisoras en dos niveles de actuación: para disminuir él o los contaminantes problema (primarios o secundarios y sus precursores) y para evitar la presencia simultánea de contaminantes en una atmósfera altamente estable.
- Medidas de protección a los siguientes grupos lábiles: niños, mujeres embarazadas, adultos mayores, enfermos cardiovasculares, enfermos de las vías respiratorias y deportistas, cuando se trate de contingencias debidas a contaminantes fotoquímicos o secundarios.
- Mecanismos de comunicación entre el público y las autoridades para activar y desactivar el programa de contingencia.
- Mecanismos de comunicación interna entre las autoridades de salud, medio ambiente, protección civil, transporte, educación y energía, entre otras posibles participantes de acuerdo a la legislación ambiental federal y local.
- Mecanismos de evaluación ambiental y epidemiológica del programa por cada evento ocurrido.

Los programas de contingencia atmosférica deberán desarrollarse, preferentemente, en el seno de los organismos de coordinación y participación ciudadana que se establezcan u operen en cada cuenca atmosférica. Asimismo, deberán ser dados a conocer a través de los medios masivos de comunicación, electrónicos y escritos, a efecto de que la población esté enterada o pueda acceder al contenido del programa cuando sea necesario.

#### **5.2.4.1 Vigilancia Epidemiológica durante Contingencias Atmosféricas**

Como se mencionó anteriormente, el propósito fundamental del monitoreo atmosférico a nivel urbano es la protección de la salud humana, al informar a la población sobre la calidad del aire que respira y activar medidas de contingencia cuando los niveles de contaminación pongan en riesgo su salud.

En situaciones de contingencia atmosférica, las autoridades ambientales y de salud deben de activar un Programa Emergente de Vigilancia Epidemiológica. Este programa deberá tener previsiones para hacer un diagnóstico exhaustivo de la situación de la salud de la población y las posibles necesidades de comunicación, atención o intervención específicas. Debe contar con la planificación y formulación de medidas de respuesta así como registrar y reportar afectaciones en morbilidad y mortalidad mediante índices e indicadores de salud pública (ej. número de casos reportados de asma o enfermedades infecciosas respiratorias agudas).

Específicamente, las autoridades locales de salud deben desarrollar protocolos estandarizados para los Centros de Salud que llevarán a cabo el reporte y seguimiento de las contingencias ambientales durante éstas y en los días subsiguientes a las mismas. El reporte de las afecciones designadas durante la contingencia deberá ser diario, utilizando de preferencia métodos electrónicos para su captura, transmisión y análisis.

Un seguimiento oportuno, con resultados analíticos rápido y seguros, servirá para conocer el riesgo para la población y cuando éste ha disminuido o se ha eliminado. Esta respuesta oportuna, de amplia cobertura, eficaz y técnicamente válida debe realizarse mediante una coordinación intra, intersectorial y comunitaria.

La evaluación de los efectos de la contaminación sobre la salud humana no necesariamente son evidentes de inmediato, requiriéndose de la extensión de la vigilancia en los días posteriores al evento, debido al rezago tanto de las afecciones como al reporte de las mismas. Es importante destacar la necesidad de incorporar como parte del proceso de evaluación el estudio y seguimiento de este rezago.

El Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, en el mediano y largo plazo, deberá contener los mismos requerimientos de reporte, en términos de incidencias de afecciones respiratorias y cardiovasculares diarias, aún cuando el reporte de las mismas se pueda hacer semanalmente. Es necesario mantener la vigilancia epidemiológica aún con niveles de contaminación relativamente



bajos para poder evaluar el nivel de protección que ofrecen las normas de calidad del aire y estimar los impactos en la población de la contaminación atmosférica a nivel crónico. Estos reportes permitirán el establecimiento de la vigilancia epidemiológica a nivel nacional. El seguimiento y resultado de estas observaciones también requerirán de una coordinación intra, intersectorial y comunitaria.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. EPA (2000). *Quality Assurance Project Plan: PM2.5 Speciation Trends Network Field Sampling*. EPA-454/R-01-001. December.
2. EPA (1998). *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems*. Vol. II; Part 1, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, USA.
3. EPA (1996). *Guidance for the Data Quality Objectives Process: EPA QA/G-4*.(EPA/600/R-96/055.
4. SEMARNAT (2002). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010*. México.

## INTERNET

1. <http://www.sinaica.ine.gob.mx/> (INE, CENICA, 2004)
2. <http://www.epa.gov/oar/enhozmon.html>. Sección "EPA-Enhanced Ozone Monitoring"
3. [http://www.rema.gob.mx/rema\\_sima/](http://www.rema.gob.mx/rema_sima/)

# **DOCUMENTO 3**

*Diseño e Instalación de  
Sistemas de Monitoreo Atmosférico*

# INDICE

	<b>PAG.</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>2. DISEÑO DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Caracterización de la Cuenca Atmosférica</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Selección de Parámetros y Frecuencia de Medición y Reporte</b>	<b>11</b>
2.2.1 <i>Contaminación del Aire</i>	12
2.2.2 <i>Tecnología de Medición de Calidad del Aire</i>	20
2.2.3 <i>Fenómenos Atmosféricos, Climáticos y Meteorológicos vinculados a la contaminación atmosférica</i>	26
2.2.4 <i>Parametros Normalizados y Tiempos de Medición</i>	33
<b>2.3 Criterios administrativos y funcionales en la selección de instrumentos de medición</b>	<b>35</b>
<b>2.4 Selección de Sitios de Medición</b>	<b>37</b>
2.4.1 <i>Características de Redes de Monitoreo Atmosférico en Áreas Urbanas</i>	39
2.4.2 <i>Características de Redes de Monitoreo Atmosférico en Áreas Rurales</i>	42
2.4.3 <i>Características del Predio para Colocar la estación</i>	44
<b>3. CASETAS DE MONITOREO, INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CENTRO DE CÓMPUTO</b>	<b>49</b>
<b>3.1 Características Constructivas y Funcionales</b>	<b>49</b>
<b>3.2 Toma de Muestra</b>	<b>53</b>
3.2.1 <i>Determinación del tiempo de residencia</i>	56
3.2.2 <i>Altura de toma de muestra</i>	57
<b>4. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>59</b>

<b>LISTA DE TABLAS</b>		<b>PAG.</b>
<b>Tabla 1</b>	Valores de Exactitud y Resoluciones	<b>32</b>
<b>Tabla 2</b>	Resumen de tiempos normalizados de toma de muestra, frecuencia de medición y forma de reporte	<b>34</b>
<b>Tabla 3</b>	Número propuesto por la OPS de estaciones de medición de la calidad del aire en zonas urbanas	<b>41</b>
<b>Tabla 4</b>	Distancia recomendada por la USA-EPA de separación mínima entre la toma de muestra y las calles o avenidas con tránsito vehicular	<b>48</b>
<b>Tabla 5</b>	Altura de ubicación de las tomas de muestra	<b>58</b>

<b>LISTA DE FIGURAS</b>		
<b>Fig. 1</b>	Esquema General de Diseño y Operación Funcional de un SMA	<b>5</b>
<b>Fig. 2</b>	Retícula de Aproximación a selección de sitios de monitoreo atmosférico en sistemas rurales.	<b>42</b>
<b>Fig. 3</b>	Arreglo típico de una estación de monitoreo atmosférico	<b>51</b>
<b>Fig. 4</b>	Arreglo interno ideal de una caseta de monitoreo atmosférico	<b>53</b>
<b>Fig. 5</b>	Ejemplo de un Arreglo de toma de muestras	<b>53</b>
<b>Fig. 6</b>	Mainfold vertical con asilamiento térmico	<b>54</b>
<b>Fig. 7</b>	Mainfold horizontal con asilamiento térmico	<b>54</b>
<b>Fig. 8</b>	Toma de muestra de un analizador automático de partículas	<b>54</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de monitoreo atmosférico (SMA's) son herramientas básicas en la planeación y gestión ambiental de ciudades o regiones donde existen problemas de contaminación del aire. El aire, que antes se consideraba como un recurso gratuito e ilimitado, ahora es un bien escaso en calidad para muchos sectores de la población. De hecho, mantener la atmósfera libre de contaminantes de origen antropogénico involucra grandes recursos humanos, tecnológicos y económicos, por lo que la medición de la calidad del aire no es sólo el primer paso a tomar para enfrentar un problema de contaminación atmosférica sino que es la herramienta indispensable de seguimiento y evaluación de un programa de control de la contaminación.

El deterioro de la calidad del aire en nuestro país ha quedado documentado desde hace más de medio siglo a través de diversos estudios de investigación, campañas de medición y de la operación temporal y permanente de estaciones y redes de monitoreo. Fue hasta mediados de los años ochenta cuando se logró operar de manera continua y automática la primera red de monitoreo de la calidad del aire en nuestro país, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Después de ésta, algunas ciudades lograron instalar redes o estaciones que miden la contaminación atmosférica en forma constante, creando un registro histórico consistente para una buena parte de las áreas urbanas e industriales del territorio nacional.

Ante la ausencia de un marco normativo nacional, las redes que actualmente operan en México fueron diseñadas e instaladas con muy diversos criterios de ingeniería y aplicando en su mayoría, regulaciones y tecnologías de países desarrollados con los cuales nuestro país sostiene convenios bilaterales de intercambio científico y tecnológico. Algunos de los estudios soporte y parte del los instrumentos de medición de estas redes fueron donados por países como Estados Unidos, Japón, Alemania o España. Por ejemplo, en las ciudades fronterizas de Tijuana, Mexicali y Cd. Juárez la Agencia de Protección Ambiental donó las estaciones y las opera en coordinación con la SEMARNAT y las autoridades locales; la red de Monitoreo de Toluca fue apoyada por el gobierno español con equipo de procedencia francesa; las agencias de colaboración del gobierno alemán han apoyado la creación de las redes de monitoreo en el Bajío; así como los gobiernos de Estados Unidos, Japón y Alemania, apoyan regularmente y desde sus inicios al SMA de la Ciudad de México. En otras ocasiones, las redes de monitoreo atmosférico fueron desarrolladas bajo contrato con empresas privadas, aumentando la diversidad de los criterios empleados para su diseño e instalación.

En general, las condiciones actuales de operación de las redes de monitoreo atmosférico en México presentan fuertes limitaciones, principalmente de disponibilidad de recursos financieros, humanos y materiales. Por ejemplo, en el caso de la Red de Monitoreo de la Zona Metropolitana de Monterrey, el diseño original contemplaba la instalación de 10 estaciones pero por la falta de recursos económicos limitó la instalación a 5 estaciones.

Las redes de monitoreo atmosférico en México tienen una fuerte influencia de los esquemas normativos y tecnológicos de los Estados Unidos de Norteamérica. La mayor parte de las estaciones están equipadas con instrumentos de medición fabricados u homologados en aquél país y bajo las normas de la Agencia de Protección Ambiental de EUA (USA-EPA). Muchos técnicos que actualmente operan las redes mencionadas fueron entrenados directamente por personal de la EPA y después replicaron su entrenamiento con los técnicos nacionales. Igualmente, cuando los operarios de las redes tienen dudas o quieren ampliar y actualizar sus conocimientos consultan la página de la EPA en la Internet, pues ésta es sin duda la que tiene más recursos informáticos en línea a nivel mundial sobre el tema de calidad y monitoreo del aire.

Por otro lado, los instrumentos de nueva generación para muestreo y/o de medición, ya sea de gases o de partículas, que han sido fabricados en los Estados Unidos e instalados en México, poseen menús y rutinas internas de trabajo, que cumplen con las especificaciones requeridas por la EPA, a través del título 40 del Code of Federal Regulations (CFR40) pero que están subutilizadas en nuestro país y que podrían utilizarse para fortalecer el SINAICA. Por ejemplo, los analizadores de las redes de Monterrey y Puebla poseen innovaciones en su software que pueden generar automáticamente reportes para ser enviados directamente al *AIRS/AFS* de la EPA (*Aerometric Information Retrieval System*, ahora *Air Facility Subsystem*), además de sistemas con funciones de autoverificación, ajuste de cero y span, opciones de corrección automática de datos, preparación de curvas de calibración y almacenamiento interno del conjunto de indicadores del desempeño del instrumento.

El diseño de nuevas redes de medición de la calidad del aire en nuestro país, así como el diseño de las redes actuales y sus futuras expansiones, tanto instrumentales como territoriales, pueden mejorar sustancialmente si se homogenizan criterios a nivel nacional para facilitar el intercambio de experiencias administrativas y de gestión, la capacitación horizontal, el apoyo mutuo en mantenimiento, reparación y calibración, además de permitir el fortalecimiento y futuro crecimiento del SINAICA.

Este documento fue elaborado para fijar criterios y procedimientos generales que faciliten el diseño y la instalación de SMA's, haciendo especial énfasis en

las redes de medición de calidad del aire. Está dirigido a responsables de la Gestión de la Calidad del Aire a nivel federal, estatal y municipal, así como a operadores de redes de monitoreo y consultores en el campo de la medición de la calidad del aire.

Los objetivos del documento son los siguientes:

- Establecer los criterios básicos de diseño de las redes de monitoreo atmosférico
- Definir las especificaciones técnicas que deben cumplir los sitios y estaciones de medición



## 2. DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

La red de estaciones de medición de la calidad del aire es la componente esencial de un sistema de monitoreo atmosférico (SMA). Normalmente, esta red incluye también las estaciones o los instrumentos de medición de parámetros meteorológicos. Para efectos de este documento y una futura reglamentación al respecto, se define como red de monitoreo atmosférico al conjunto de estaciones que miden parámetros de calidad del aire y parámetros meteorológicos asociadas a ella.

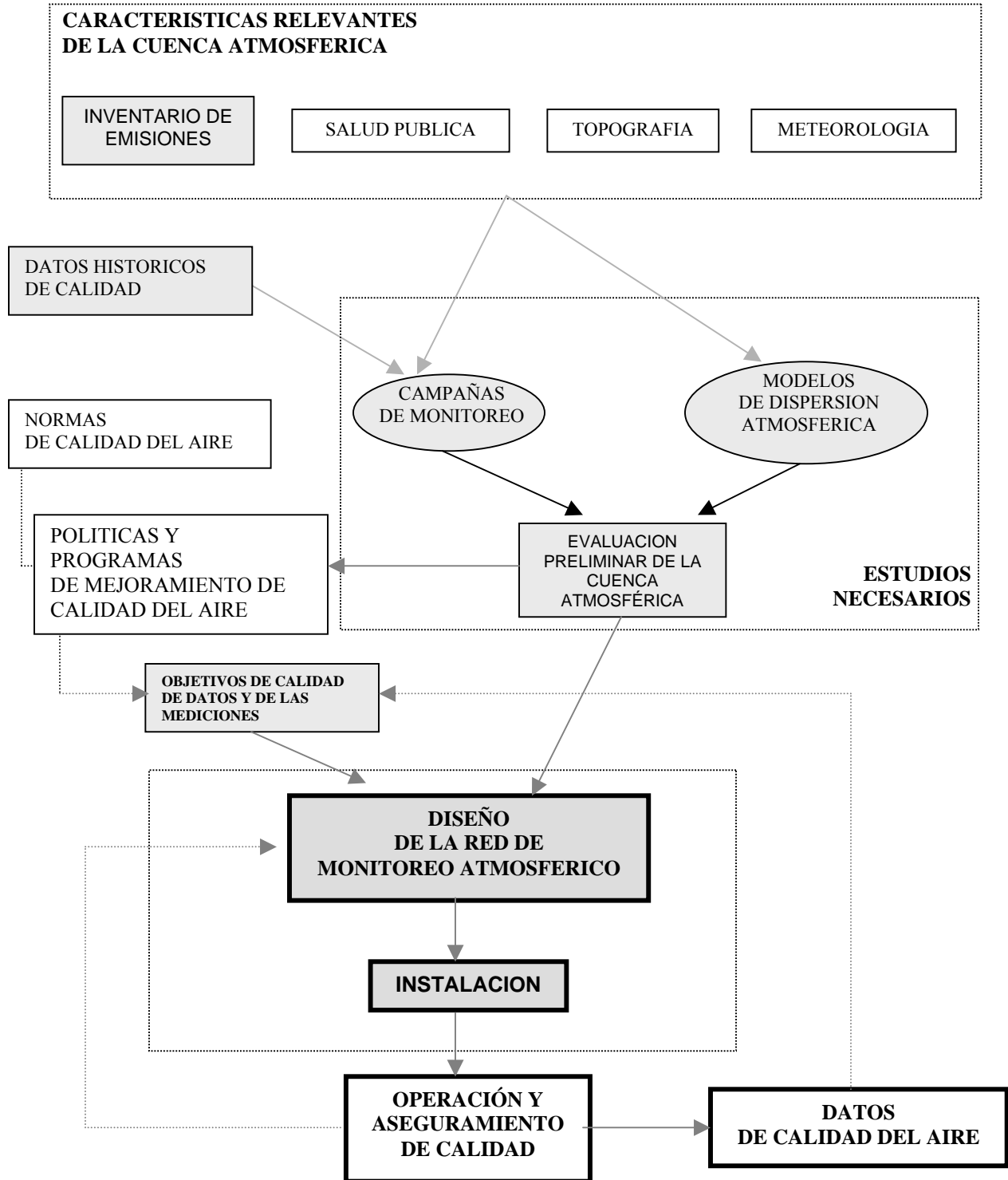
Como se muestra en la Figura 1, el diseño de una red de monitoreo atmosférico requiere de un conjunto de definiciones y estudios previos para poder realizarse. El diseño es una labor excepcionalmente difícil aún con el auxilio de sistemas geográficos de información y modelos estadísticos computarizados, sin embargo es muy común y errónea su simplificación si sólo se utilizan métodos empíricos. En especial, es muy riesgoso ubicar estaciones de monitoreo utilizando criterios administrativos o presupuestales, gobernados por la necesidad de ubicar equipos muy delicados y costosos en sitios que cumpla con las características de gratuidad, accesibilidad, seguridad y permanencia de largo plazo (Calder, 1975; Munn, 1981, Couling, 1993, Wiersma, 2004).

En términos muy generales, no es posible diseñar una red de medición de la calidad del aire sin conocer, con cierto nivel de detalle y de manera preliminar, las características de la cuenca o parcela atmosférica donde va a operar.

Las características físicas más relevantes de una cuenca atmosférica para el diseño de la red son de carácter topográficas y meteorológicas. En México, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el Sistema Meteorológico Nacional de la SEMARNAT permiten cubrir estos dos requisitos de conocimiento a escalas apropiadas y con una suficiencia confiable de datos estadísticos históricos. No obstante, el diseño de una red a nivel urbano requiere de información meteorológica detallada y orientada a los fenómenos meteorológicos vinculados con la contaminación, que se tiene que obtener o estimar con modelos de dispersión atmosférica a nivel microregional.

Los modelos meteorológicos pueden ser conceptuales, utilizando únicamente la información estadística oficial y el juicio de meteorólogos expertos en la cuenca atmosférica de que se trate, o matemáticos, empleando complejos sistemas computarizados con comprobaciones de campo para verificar las predicciones, como el modelo meteorológico de mesoescala RAMS utilizado recientemente en el valle de México (Molina, 2002).

**Figura 1**  
**ESQUEMA GENERAL DEL DISEÑO Y OPERACIÓN FUNCIONAL DE UN**  
**SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO**



Además de los aspectos meteorológicos, que servirán para ubicar estaciones representativas, es indispensable conocer o estimar de manera preliminar la calidad del aire de la cuenca.

Si existen estudios previos de calidad del aire éstos pueden ser de gran utilidad, sin embargo, el diseño de una red, su rediseño o su expansión, siempre requerirán de campañas recientes de medición en las que se tomen en cuenta los inventarios actualizados de emisiones contaminantes a la atmósfera y los usos de suelo predominantes en la cuenca de interés. El tipo y número de instrumentos de medición a utilizar puede ser muy variable: desde cientos de monitores pasivos para un estudio de saturación (Lacy, 2001), hasta una estación móvil equipada con un solo *LIDAR* de percepción remota, como el empleado en las primeras campañas de caracterización de partículas en el valle de México (IMP, 1998).

Los modelos de dispersión de contaminantes y los resultados de las campañas de monitoreo nos servirán tanto para caracterizar la cuenca atmosférica como para diseñar nuestro programa de control de la contaminación del aire y definir los objetivos de calidad de datos y de las mediciones que se pretenden lograr.

En el diseño de la red es necesario considerar primero las normas de calidad del aire a vigilar. Estas normas, en sentido estricto, definen los parámetros a medir, los métodos y en consecuencia, el tipo de instrumentos a seleccionar. No obstante, el diseño de la red depende en mayor medida de los objetivos de calidad de datos y los objetivos de medición. La definición de éstos ya fue ampliamente tratada en los documentos anteriores de esta serie, así que en este documento no se repetirán.

La ubicación de las estaciones es la tarea más complicada del diseño y la más laboriosa. En ésta deben de intervenir equipos interdisciplinarios de trabajo y realizar procedimientos metódicos según se explicará más adelante en este capítulo. El diseño de las casetas donde se ubicarán los instrumentos y la toma de muestra es una tarea más sencilla y simplificada, gracias a la diversidad de empresas de ingeniería e instrumentación que comercializan desde casetas prefabricadas hasta la construcción y equipamiento de estaciones bajo modalidades contractuales como la de “llave en mano”.

El diseño de la red de monitoreo puede entonces visualizarse como la consecución de las siguientes fases o etapas (Martínez, 1997):

- Fase I** Definición de Objetivos
- Fase II** Caracterización de la Cuenca o parcela Atmosférica
- Fase III** Selección de sitios y parámetros de muestreo para las redes de medición
- Fase IV** Selección de tecnologías e instrumentos de medición
- Fase V** Diseño de estaciones o casetas de medición

Es importante destacar que la calidad del aire y en general, la calidad de cualquier atributo ambiental siempre es medido de manera imperfecta, por lo que los objetivos a los que se refiere la Fase I corresponden al grado de imperfección de las medidas que será permitido por los operadores de las redes o autoridades locales.

## **2.1. Caracterización de la Cuenca Atmosférica**

El concepto de “cuenca atmosférica” es geográfico y tridimensional, incluye la definición de un territorio delimitado por rasgos topográficos identificables en cartografía, así como la descripción estratigráfica de la atmósfera.

Una cuenca atmosférica posee un patrón particular de vientos, influenciado principalmente por obstáculos naturales en un espacio geográfico determinado. Estos obstáculos pueden ser montañas, líneas costeras, cañadas o cualquier elemento físico que modifique el patrón general de vientos a nivel superficial. En México, el concepto de cuenca atmosférica es claramente reconocible en los extensos valles de altura donde se ubican ciudades como Puebla, Toluca, Guadalajara, Oaxaca, Querétaro o la Ciudad de México. No obstante, es igualmente aplicable a espacios geográficos abiertos como la planicie costera donde se ubica la ciudad de Villahermosa y en espacios topográficamente accidentados e irregulares como el que caracteriza el asiento de Jalapa, Tijuana, Guanajuato o Zacatecas.

Los límites físicos territoriales de una cuenca atmosférica se deben de definir con base en el interés público y en la perspectiva de realizar una Gestión de la Calidad del Aire dentro de ella. Toda cuenca atmosférica debe tener un punto o espacio focal de interés, en donde se centre la acción política y de planeación ambiental. Este punto o espacio puede ser igual a la totalidad de una área urbana definida a través de sus límites municipales, puede ser también la zona núcleo de un área natural protegida o puede ser un espacio visual de valor paisajístico o cultural que esté afectado por la pérdida de visibilidad.

De preferencia, la definición territorial de la cuenca debe de incluir a la totalidad de las fuentes emisoras, ubicadas en dirección contraria a la dirección de los vientos dominantes, que afectan directamente a ese punto o espacio focal de interés. Asimismo, se deben de incluir las áreas de mayor impacto, ubicadas viento abajo, dando preferencia a las áreas pobladas o las áreas que tengan algún recurso natural estratégico, amenazado o en peligro de extinción. Los límites pueden ser geopolíticos o topográficos y se deben de definir tomando como eje la línea de vientos dominantes.

Es muy importante que los límites de la cuenca coincidan con las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB's) definidas por el INEGI, ya que la información censal poblacional, epidemiológica y económica se agrupa en éstas unidades territoriales.

Para caracterizar la cuenca atmosférica se recomienda realizar los siguientes estudios, que coinciden con los aspectos señalados en la Figura 1:

- **Meteorología General de la Cuenca.** Este estudio descriptivo debe incluir datos y elementos de juicio que permitan conocer los fenómenos de transporte, dispersión, concentración, depositación y transformación de los contaminantes atmosféricos en la cuenca. Es importante contar con el patrón anual de los vientos, las precipitaciones, la radiación solar y los perfiles de temperatura, en series históricas de datos (más de 25 años). Si la información disponible para la cuenca o las principales parcelas atmosféricas de la misma, no es suficiente, será necesario realizar una campaña de medición anual.
- **Diagnóstico Preliminar de la Calidad del aire:** Existen muchas formas de conocer la contaminación de fondo de una cuenca atmosférica antes de instalar una red con estaciones fijas de monitoreo, pero todas ellas requieren de la realización de una campaña de medición, utilizando métodos pasivos, tradicionales o remotos. De preferencia, estos estudios se deben de realizar con métodos e instrumentos normalizados, tratando de medir durante las épocas o los días de mayor incidencia de contaminación y en los lugares donde se registren testimonios de mayor afectación a la salud y los ecosistemas.

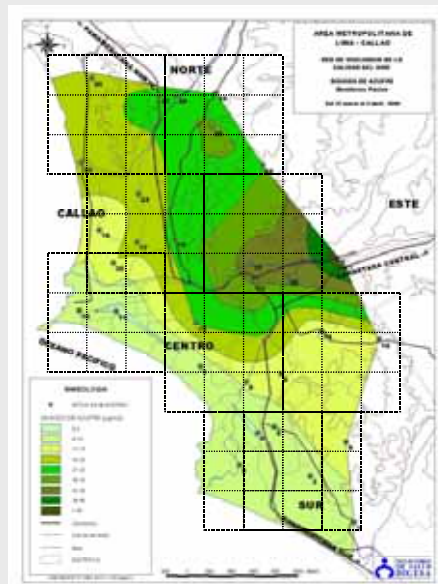
El objetivo principal de estos estudios debe ser el reconocer espacial y temporalmente cuáles son las áreas o sitios geográficos específicos, en donde la población o los ecosistemas de interés se ven afectados con mayor frecuencia y/o intensidad por la contaminación atmosférica. Esta información es vital para seleccionar los sitios donde se colocarán las estaciones fijas de medición continúa de la calidad del aire.

Se recomienda realizar estudios de saturación (ver recuadro) o mediciones que permitan “mapear” la distribución temporal de cada contaminante criterio u objetivo. El uso de unidades móviles de monitoreo, o sensores remotos de barrido (tipo LIDAR) también es recomendable pues permiten cubrir en corto plazo un territorio amplio con gran precisión en las mediciones. Los resultados de estos estudios pueden ser posteriormente ingresados a modelos de dispersión, sistemas de información geográfica o modelos estadísticos para definir el número ideal y la distribución de estaciones de monitoreo.

### Estudios de saturación

Se denomina “estudio de saturación” a la realización de una campaña intensiva en número de estaciones e instrumentos de medición, utilizando como base de distribución de los mismos, una cuadrícula territorial.

Cuadrículas de 1 o 2 kilómetros cuadrados son las más comunes y en cada parcela se deben de colocar instrumentos de medición para detectar la presencia y la concentración de los contaminantes de interés. La aplicación de monitores pasivos en este tipo de estudios es ideal, para México pues son de muy bajo costo y permiten medir contaminación acumulada en períodos de tiempo largo. Los resultados obtenidos facilitan la construcción de mapas con isoconcentraciones, que posteriormente pueden usarse en sistemas de información geográfica, para sobreponer otros atributos de la cuenca atmosférica y ubicar las estaciones de monitoreo atmosférico de una red permanente.



Resultados del estudio de saturación para Bióxido de Azufre, realizado en Lima, Perú (Lacy, 2001). Foto de un monitor marca Ogawa de Ozono tomada de su sitio en Internet <http://ogawausa.com>.

- **Exposición y epidemiología:** Los estudios en salud pública son indispensables y del más alto nivel de prioridad para calcular y aumentar la representatividad de los sitios que serán escogidos para ubicar estaciones de monitoreo. Es necesario realizar estudios de exposición donde se definan las horas y los espacios donde los distintos grupos de la población se exponen al aire ambiente y la contaminación. Existen muy diversas metodologías y procedimientos para realizar estudios de exposición ambiental, pero en lo general, todos requieren de encuestas para definir los patrones de exposición a los contaminantes en los diversos grupos que conforman una población de interés (ej. edad, género, ocupación, etc.) y amplias campañas de medición para estimar las concentraciones a las cuales la población se puede exponer. El manejo de los datos colectados se hace siempre con modelos estadísticos y los resultados son de alta utilidad no sólo para el diseño de la red, sino también para la definición de los programas de prevención y control de la contaminación, en especial los de contingencia.

Igualmente, es importante conocer la morbilidad y la mortalidad que caracteriza a la población expuesta, haciendo énfasis en la sintomatología y las enfermedades asociadas a la contaminación del aire. Los diseñadores de las redes de monitoreo atmosférico deben revisar los estudios epidemiológicos vinculados a la contaminación atmosférica para ampliar y robustecer sus objetivos y criterios de selección de estaciones.

- **Inventario de emisiones:** Aunque las metodologías para realizar inventarios de emisiones pueden ser muy complejas y tardadas en su aplicación (ver la metodología desarrollada por el Instituto Nacional de Ecología en [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)), para caracterizar una cuenca atmosférica y ubicar sus límites extremos, es necesario localizar las principales fuentes puntuales y de área de emisión y realizar un inventario de emisiones vehiculares, con base en el padrón vehicular más actualizado y la infraestructura vial del área bajo estudio. Esta información debe ser cartografiada y utilizada en sistemas geográficos de información, donde sea sobrepuesta a otros atributos de la cuenca o parcela de interés.
- **Espacio urbano y dinámica poblacional.** El diseño de una red de medición de la calidad del aire requiere de cartografía urbana actualizada con una definición precisa de usos e intensidades de uso del suelo. Son particularmente relevantes los datos y tendencias poblacionales, ya que la representatividad de las estaciones se calcula, entre otros factores, con los datos de densidades ( $\text{hab}/\text{km}^2$ ) y la pirámide poblacional. Asimismo, en ciudades mayores a 500 mil habitantes es importante contar con información vial y de tráfico de vehículos; estudios “origen-destino” de

transporte y aforos vehiculares que auxilian en el cálculo del inventario de emisiones y el entendimiento de la dinámica urbana interna de una ciudad.

- **Espacio Natural.** En sistemas de monitoreo atmosférico que comprenden áreas naturales protegidas o regiones naturales de interés para el sector ambiental, es necesario realizar una descripción cartográfica detallada del o los recursos naturales que se pretende proteger de la contaminación del aire y el tipo de interacción que éstos tienen con los intercambios de energía y materia a nivel atmosférico.

Todos estos estudios deben de producir mapas o cartas que contengan la información más relevante al caso y que permitan una sobreposición cartográfica para identificar el nivel de homogeneidad del territorio, las particularidades del mismo y las zonas donde impacta más la contaminación. Es recomendable que toda esta información este disponible en un sistema de información geográfica para facilitar su utilización y análisis.

## **2.2 Selección de parámetros y frecuencia de medición y reporte**

Las estaciones deben de estar equipadas para medir los parámetros de calidad del aire, que estipulen las normas oficiales mexicanas o los programas institucionales de gobierno previstos en el Sistema Nacional de Planeación Democrática, con instrumentos calibrados que cumplan con las normas oficiales mexicanas expedidas por el sector ambiental.

Para evaluar la calidad del aire es necesario definir qué contaminantes del aire son relevantes para su medición, aún cuando se tenga la necesidad legal de medir todos los contaminantes normalizados. De acuerdo a las condiciones locales y el tipo de cuenca o parcela atmosférica de interés, es posible que exista la necesidad de evaluar compuestos o contaminantes que no esten normalizados. Tal es el caso de lugares donde hay gran propensión a la formación de contaminantes fotoquímicos o la generación de sustancias tóxicas como pueden ser el benceno, el mercurio o la visibilidad.

Como ha sido señalado anteriormente, las estaciones de interés nacional deben medir todos los contaminantes criterio. Para las estaciones de cuenca o locales, los operadores de las redes podrán seleccionar los parámetros de acuerdo con los estudios, planes, programas o normas locales que sean utilizados para el diseño de su sistema de monitoreo atmosférico.

A continuación se presenta de manera resumida la información que contienen las normas oficiales mexicanas sobre los contaminantes normalizados, así como se hace una presentación general de los aspectos relevantes de los



parámetros de contaminación no normalizados de mayor interés a nivel nacional e internacional. Al final de este capítulo se incluye una tabla resumen de los contaminantes y los tiempos de muestreo requeridos por la regulación mexicana.

### **2.2.1. Contaminantes del aire**

Los contaminantes atmosféricos se pueden clasificar según su:

- origen, sean creados por el hombre o por la naturaleza;
- estado físico, gaseoso o en aerosoles, mismos que a su vez se clasificarán en líquidos y sólidos;
- formación, si son directamente emitidos a la atmósfera o de origen primario, o si son formados en ésta, de origen secundario o fotoquímico;
- fuente específica de emisión, móviles o fijas; o
- toxicidad, que va desde la irritación a la carcinogenicidad o muerte.

Obviamente hay contaminantes que pueden pertenecer a más de una categoría. Para fines legislativos y administrativos en la Gestión de la Calidad del Aire, los contaminantes son clasificados como normalizados o no normalizados. De los contaminantes no normalizados destacan los precursores de los contaminantes secundarios y/o fotoquímicos así como los que presentan toxicidad, en particular los carcinogénicos.

#### **2.2.1.1 Normalizados**

Los contaminantes normalizados cuentan con una definición operativa. En México las definiciones operativas de los contaminantes se encuentran en la Normas Oficiales Mexicanas. A estos contaminantes normalizados también se les aplica el término de “contaminante criterio”, porque existe legalmente un criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al contaminante especificado.

Tal es el caso del ozono (O<sub>3</sub>) y la NOM-020-SSA1-1993 que fue expedida por la Secretaría de Salud como la medida adecuada para la protección a la salud de la población. Asimismo, existe o debe existir una Norma Ecológica que define los métodos de medición y los procedimientos de calibración necesarios para evaluar adecuadamente cada contaminante. Al ozono, por ejemplo, le corresponde a la NOM-036-ECOL-1993. Estas normas fueron mencionadas anteriormente en la sección 1.3 de este documento.

Actualmente se cuenta con criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono (O<sub>3</sub>), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), las partículas suspendidas totales (PST), las partículas menores de 10 micrometros (PM<sub>10</sub>), y el plomo (Pb) contenido en las partículas suspendidas totales. A continuación se describen cada uno de estos contaminantes y sus efectos en los seres humanos y el ambiente.

**Ozono.** A la letra la NOM-020-SSA1-1993 dice:

*El ozono (O<sub>3</sub>) es un gas constituido por moléculas triatómicas de oxígeno. Su presencia en el aire es la resultante de la combinación de los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos volátiles y la radiación ultravioleta, los que consecuentemente actúan como precursores.*

*Hasta el momento actual se considera que su efecto sobre los tejidos vivos estriba en su extraordinaria avidéz por las lipoproteínas, las que degenera dando lugar a: 1. Alteraciones en las membranas celulares y 2. Superoxidación de enzimas.*

*Los tejidos más sensibles a estas acciones son las mucosas, principalmente la ocular y la respiratoria. El riesgo que representa depende del nivel de concentración del contaminante en el aire ambiente y del tiempo de exposición del individuo, así como de su susceptibilidad, fundamentalmente en niños, ancianos y neumópatas crónicos.*

*Hasta ahora se ha demostrado que es un factor en el determinismo de inflamación de esas mucosas, de facilitación del proceso de infección, así como en el establecimiento precoz de procesos degenerativos (envejecimiento y enfisema).*

...

*La concentración de ozono, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el límite máximo normado de 0.11 ppm, o lo que es equivalente a 216 µg/m<sup>3</sup>, en una hora, una vez al año, en un periodo de tres años, para protección a la salud de la población susceptible.*

**Monóxido de Carbono.** A la letra la NOM-021-SSA1-1993 dice:

*El monóxido de carbono (CO), es un gas inodoro e incoloro que se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono, consecuentemente pueden verterlo al aire los vehículos automotores y la industria, aunque en menor escala; algunos procesos naturales son capaces de emitirlo, tales como los incendios forestales o su emisión de los procesos naturales que se llevan a cabo en los océanos. Mención especial debe hacerse de la acumulación intramuros por procesos domésticos y el hábito de fumar.*

*El efecto dañino potencial principal de este contaminante lo constituye su afinidad para combinarse con la hemoglobina dando lugar a una elevada formación de carboxihemoglobina y como consecuencia, disminuye la cantidad de oxihemoglobina y por ende la entrega de oxígeno a los tejidos.*

*El riesgo de la exposición al CO varía desde el efecto de pequeñas cantidades atmosféricas en individuos que padecen deficiencias circulatorias (siendo particularmente susceptibles los enfermos con angina de pecho, así como aquellos con arterioesclerosis), hasta una intoxicación aguda por inhalación de grandes cantidades del contaminante en espacios cerrados y/o en un lapso de tiempo corto.*

...

*La concentración de monóxido de carbono, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el valor permisible de 11.00 ppm o lo que es equivalente a 12,595 µg/m<sup>3</sup> en promedio móvil de ocho horas una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible.*

**Bióxido de azufre.** A la letra la NOM-022-SSA1-1993 dice:

*El bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se genera tanto de fuentes naturales, como de la combustión de compuestos ricos en azufre. Es hidrosoluble y al hidrolizarse da lugar a ácidos lo que le confiere sus características potencialmente agresoras.*

*Se asocia con la humedad de las mucosas conjuntival y respiratoria; constituye un riesgo en la producción de irritación e inflamación aguda o crónica; suele asociarse también con las partículas suspendidas (PST) y dar lugar a un riesgo superior, puesto que su acción es sinérgica.*

*Esta combinación, bióxido de azufre/partículas suspendidas totales (SO<sub>2</sub>/PST), en condiciones favorables para su acumulación y permanencia en la atmósfera, ha sido la responsable del incremento de la morbilidad y la mortalidad en enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias.*

...

*La concentración de bióxido de azufre como contaminante atmosférico no debe rebasar el límite máximo normado de 0.13 ppm o lo que es equivalente a 341 µg/m<sup>3</sup>, en 24 horas una vez al año y 0.03 ppm (79 µg/m<sup>3</sup>) en una media aritmética anual, para protección a la salud de la población susceptible.*

**Bióxido de Nitrógeno.** A la letra la NOM-023-SSA1-1993 dice:

*El bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se deriva de los procesos de combustión, siendo ésta la fuente principal de su vertimiento a la atmósfera.*

*Es un contaminante primario y juega un doble papel en materia medio ambiental ya que se le reconoce efecto potencialmente dañino de manera directa, pero también es uno de los precursores del ozono.*

*La acumulación de bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), en el cuerpo humano, constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que: inicia, reactiva y puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfonucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica.*

...

*La concentración de bióxido de nitrógeno, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el límite máximo normado de 0.21 ppm o lo que es equivalente a 395 µg/m<sup>3</sup>, en una hora una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible.*

**Partículas Suspendidas Totales.** A la letra la NOM-024-SSA1-1993 dice:

*Como partículas suspendidas totales se considera a la contaminación del aire provocada por material sólido o líquido finamente particulado.*

*Son producto de una gran cantidad de procesos naturales o antropogénicos y consecuentemente el riesgo que constituyen depende de algunas de sus múltiples características por un lado y por otro su constitución específica, pero más en la capacidad de absorber elementos adicionales y aun la posibilidad de absorción de elementos xenobióticos.*

*Se les considera capaces de bloquear los mecanismos de defensa del aparato respiratorio, tanto a nivel de vías aéreas superiores como en bronquios y en alveolos.*

*Por su contenido de metales pesados, si es el caso, dan lugar a los cuadros específicos correspondientes (plomo, cadmio.)*

*Se asocian con mucha frecuencia con elementos ácidos con los que se sinergiza su efecto dañino potencial y finalmente pueden acarrear elementos biológicos que van desde pólenes hasta bacterias, hongos y virus.*

*El riesgo sanitario lo constituyen aparte de su concentración y tiempo de exposición, las características propias descritas y los individuos susceptibles por excelencia son aquellos que son portadores de una enfermedad respiratoria crónica que haya dado lugar principalmente a daños del sistema mucociliar.*

...

*La concentración de partículas suspendidas totales como contaminante atmosférico, no debe rebasar el límite máximo permisible de 260 µg/m<sup>3</sup>, en 24 horas, en un período de un año y 75 µg/m<sup>3</sup> en una media aritmética anual, para protección a la salud de la población susceptible.*

**Partículas menores a 10 micrómetros.** Las partículas menores a 10 micrómetros (PM10) son generadas en procesos similares a las partículas suspendidas totales salvo las fracciones mas pequeñas, que son de origen secundario y con una mayor dominancia de productos de combustión que pueden contener compuestos tóxicos. A la letra la NOM-025-SSA1-1993 dice:

*Su tamaño es la característica física más importante para determinar su toxicidad. Las partículas que miden mas de 10 micrómetros se retienen básicamente en las vías respiratorias superiores. Las que miden menos de 10 micrómetros predominan en la fracción respirable y penetran hasta el espacio alveolar del pulmón.*

...

*La concentración de partículas menores de 10 micras, como contaminantes atmosféricos, no deben rebasar el límite permisible de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en 24 horas una vez al año y 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en una media aritmética anual, para protección a la salud de la población susceptible.*

**Plomo.** A la letra la NOM-026-SSA1-1993 dice:

*El plomo (Pb) es uno de los metales pesados más difusamente distribuidos en toda la superficie de la Tierra y consecuentemente el riesgo de exposición de la población en general es muy variado.*

*Una de las maneras como se ha utilizado de forma particularmente frecuente es como tetraetilo de plomo (antidetante de las gasolinas) y de ahí su vertimiento a la atmósfera.*

*El plomo puede ingresar al organismo por vía digestiva, riesgo más frecuente por la ubicuidad de sus aplicaciones o bien, por vía respiratoria, riesgo menos frecuente pero más directo; de la primera vía se absorbe el 10%, de la respiratoria se puede absorber hasta el 40%.*

*El plomo es capaz de dar lugar a intoxicación aguda o bien acumularse de manera crónica en dientes, huesos y sistema hematopoyético. Se le asocia a alteraciones en el desarrollo del sistema nervioso central así como a interferencia con los mecanismos de defensa del organismo donde participe el sistema retículo endotelial.*

...

*La concentración de plomo, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el valor permisible de 1.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en un periodo de tres meses promedio aritmético, como protección a la salud de la población susceptible.*

Adicionalmente, a estos parámetros normalizados es muy probable que le sean agregadas en un futuro las partículas menores a 2.5 micrómetros (PM2.5) y la

acidez total en el ambiente, dadas las evidencias epidemiológicas y toxicológicas de los daños en la salud humana que éstos causan.

### **2.2.1.2. Contaminantes no normalizados**

#### ***Precursores de contaminantes secundarios y contaminantes secundarios.***

Como se mencionó anteriormente, los contaminantes atmosféricos pueden ser emitidos a la atmósfera directamente y se les denomina contaminantes de origen primario, como es el caso del monóxido de carbono, producto de una combustión incompleta. De igual manera el bióxido de nitrógeno es emitido directamente a la atmósfera y constituye uno de los precursores del ozono, éste último producto de la combinación de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos volátiles en presencia de radiación ultravioleta.

Los óxidos de nitrógeno son emitidos directamente a la atmósfera pero éstos sufren transformaciones al entrar en contacto con aire rico en oxígeno. Los escapes de los automóviles emiten principalmente monóxido de nitrógeno. La mayor parte de éste es transformado en bióxido de nitrógeno, que a su vez puede formar nitratos, combinarse con contaminantes orgánicos e intervenir en la formación de contaminantes fotoquímicos, como el ozono.

Los otros precursores del ozono son los compuestos orgánicos volátiles. Aún cuando no se tiene normalizado los niveles de los compuestos orgánicos volátiles es importante su medición para poder desarrollar estrategias efectivas para controlar la formación de oxidantes fotoquímicos. Por ejemplo, el total de los compuestos orgánicos o hidrocarburos no metánicos (a veces denominado como HCNM) sirve como indicador de la carga total de hidrocarburos que pueden intervenir en las reacciones precursoras de los oxidantes fotoquímicos y es relativamente fácil de medir con analizadores de operación continua.

Adicionalmente a la medición agregada de los hidrocarburos no metánicos, la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos ha establecido una lista de 54 hidrocarburos que se deben evaluar como mínimo para las estaciones designadas para la evaluación de contaminantes fotoquímicos. Estos hidrocarburos incluyen alcanos o parafinas, como el etano, alquenos u olefinas, como el penteno, y compuestos con anillos bencénicos o aromáticos, como el tolueno. Estos compuestos se pueden analizar mediante cromatografía de gases con detector de ionización de flama.

Otros compuestos que tienen gran importancia por su reactividad son el formaldehído y otros compuestos orgánicos oxigenados. La medición de estos compuestos y los compuestos orgánicos volátiles segregados por compuestos o grupos de compuestos es más elaborada y requiere de procedimientos de recolección de muestras en campo y análisis en laboratorio de las mismas.

Estos se describirán brevemente en la siguiente sección. No obstante estos retos, es necesario entender la reactividad de la atmósfera en un área contaminada para establecer estrategias adecuadas de control. La Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos ha enfatizado el establecimiento de estaciones de monitoreo para la evaluación fotoquímica, con lineamientos claros, en regiones donde se rebasa con frecuencia su norma de calidad del aire para ozono. Investigación de Norte América para el Ozono Troposférico (NARSTO por sus siglas en Ingles) ha identificado 60 compuestos prioritarios que incluyen los propuestos por la Agencia de Protección de Ambiente de los Estados Unidos, homologando los métodos de detección.

Es importante destacar que hay otros contaminantes de origen secundario que tienen importancia por sus efectos en la salud, el ecosistema y la visibilidad. Los sulfatos y los nitratos son especies que contribuyen en los efectos negativos a la salud y forman parte de los depositos secos y húmedos (lluvia ácida) en suelos y aguas superficiales. Adicionalmente, el tamaño de las partículas que forman influyen adversamente la visibilidad como se mencionará posteriormente.

### ***Contaminantes tóxicos***

Si bien todos los contaminantes son tóxicos de una u otra manera se reconoce que hay ciertos contaminantes que representan riesgos mayores para la población humana. Actualmente no se han normalizado estos contaminantes en nuestro país pero ya existen criterios claros a nivel internacional promovidos por la Organización Mundial de la Salud para regularlos. Esta organización los divide genéricamente en orgánicos e inorgánicos. Los contaminantes orgánicos de mayor relevancia incluyen al benceno, el tolueno y los hidrocarburos policíclicos aromáticos. Otros contaminantes que se han definido o están por ser definidos como contaminantes tóxicos genéricos incluyen a las partículas de diesel y al humo de tabaco ambiental.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha identificado 189 compuestos como peligrosos, que incluyen entre otros a los compuestos orgánicos volátiles y metales en material particulado. Los compuestos orgánicos volátiles se subdividen en aromáticos: como el benceno, el tolueno y el xileno. Estos últimos se muestrean en canisters de acero inoxidable y se evalúan por cromatografía de gases con detector de fotoionización.

Los compuestos volátiles no aromáticos de interés son generalmente halogenados como el cloroformo, el percloroetileno; al igual que los anteriores, se muestrean con canisters y se analizan por cromatografía de gases pero se miden con detectores de captura de electrón.

El metilterbutiléter se muestrea y analiza de la misma manera pero con un detector de ionización de flama.

Los aldehídos (carbonilos) como el formaldehído y el acetaldehído se muestrean con tubos adsorbentes y se analizan por cromatografía de líquidos de alta resolución con detector ultravioleta.

También se consideran de gran importancia dada su toxicidad a los hidrocarburos policíclicos aromáticos, estos pueden estar en fase gaseosa o particulada dependiendo de su peso molecular, su presión de vapor y las condiciones atmosféricas. Su colección es mixta con espuma rígida de poliuretano y con filtros de cuarzo. El análisis de estos compuestos se realiza por cromatografía de líquidos de alta resolución con detector de fluorescencia.

Adicionalmente, hay compuestos semivolátiles y/o persistentes como los plaguicidas, bifenilos policlorados y dioxinas que también se muestrean y analizan cromatográficamente.

En general los compuestos tóxicos se analizan mediante métodos cromatográficos sea de gases o líquidos variando el método de colección y de detección que van desde la detección por ionización de flama a la espectrometría de masas. El uso de la espectrometría de masas permite la cuantificación y la identificación de cada compuesto mediante fragmentos ionizados que tienen relaciones masa carga muy bien definidas y asociadas a la molécula original. La detección y cuantificación de compuestos orgánicos volátiles, en muchos casos es común para los precursores fotoquímicos y los compuestos orgánicos tóxicos.

Como se mencionó con anterioridad, los otros compuestos tóxicos son inorgánicos destacando los metales. El arsénico y el cadmio contenidos en el material particulado se muestrean en filtros de fibra de vidrio y se analizan por absorción atómica. Para el cromo hexavalente se utilizan filtros de celulosa y cromatografía de iones. Los demás metales como el plomo y el mercurio se muestrean en filtros de celulosa y se analizan con fluorescencia de rayos X.

Es importante destacar que para el análisis de contaminantes tóxicos hay una diversidad de métodos que esta emergiendo y que en algunos casos se traslapan para su cuantificación y análisis. Algunos de estos métodos emergentes se consideraran en la sección siguiente sobre sensores remotos.

### ***Contaminantes que afectan la visibilidad***

Es importante mencionar que la pérdida de visibilidad que acompaña los niveles altos de contaminación es lo que la población percibe diariamente como "contaminación". Esta pérdida de visibilidad es debida a la absorción y a la dispersión de la luz por los contaminantes. De los contaminantes gaseosos, el bióxido de nitrógeno es el único que contribuye a la pérdida de visibilidad; éste es de un color entre anaranjado y café.



Las partículas suspendidas en el aire son las responsables de la mayoría de la dispersión y absorción de la luz en la atmósfera. Las partículas entre 0.1 y 1 micrómetro son las que más eficientemente dispersan la luz. Por esto, las partículas finas son de gran relevancia en la prevención del deterioro de la visibilidad. El carbón elemental contenido en las partículas suspendidas es el único que absorbe luz. En ambientes urbanos los sulfatos, nitratos y el carbón elemental son los que se asocian más firmemente con la reducción de la visibilidad.

Como se mencionará posteriormente, la humedad también puede tener una gran influencia en este fenómeno, y en casos extremos, cuando hay condiciones de saturación del contenido de humedad, hay neblina. La humedad también actúa promoviendo la formación de partículas de especies hidroscolópicas.

## **2.2.2 Tecnologías de medición de la calidad del aire**

Actualmente, las tecnologías de medición de los contaminantes atmosféricos se ha ido desarrollando rápidamente. De hecho, la tendencia actual es contar con monitoreo continuo en tiempo real para todos los contaminantes atmosféricos. Sin embargo, no todas las tecnologías emergentes han sido normalizadas o estandarizadas. Para la mayoría de los contaminantes normalizados existen tecnologías de medición de referencia y equivalentes, esto es, que cumplen con los criterios de medición de los métodos de referencia. Esta sección se refiere estrictamente a los analizadores de los contaminantes normalizados dado que ya se hizo una breve descripción de la evaluación y cuantificación de contaminantes no normalizados.

### **2.2.2.1 Analizadores de gases**

A continuación se describen los métodos de medición de referencia y el método equivalente para la medición de gases, empezando por el monóxido de carbono que a la letra de la NOM-034-ECOL-1993 dice:

*El método de referencia para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente, es el de absorción infrarroja por medio de un fotómetro no dispersivo... El método de referencia se basa en la capacidad que tiene el monóxido de carbono para absorber la energía de determinadas longitudes de onda, que consiste en medir la radiación infrarroja absorbida por el monóxido de carbono mediante un fotómetro no dispersivo... En este método se hace pasar un haz de energía infrarroja a través de una celdilla que contiene la muestra de aire por analizar, midiéndose la energía infrarroja absorbida por el monóxido de carbono presente en esa muestra de aire por medio del fotómetro.*

...

*El método equivalente para determinar la concentración de monóxido de carbono presente en el aire ambiente, es el de fotometría de correlación*

*de filtro de gas... Este método tiene el mismo principio de medición que el método de referencia que se basa en la capacidad que tiene el monóxido de carbono para absorber energía infrarroja. En este método se usa como filtro, el mismo gas que se está midiendo o algún otro gas patrón.*

Para la medición de ozono, a la letra, la NOM-036-ECOL-1993 dice:

*El método de referencia para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente, es el de luminiscencia química...El método de referencia se basa en la capacidad que tiene el ozono de emitir luz al reaccionar con etileno...En este método se hace entrar simultáneamente aire y etileno a la cámara de mezclado del analizador. Ahí, el ozono presente en el aire reacciona con el etileno emitiendo una luz, que se detecta a través de un tubo fotomultiplicador. La fotocorriente resultante se amplifica y puede leerse directamente o mostrarse en un registrador, de acuerdo con la cinética de la reacción (correspondiente).*

...

*El método equivalente para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente, es el de fotometría en la región de radiación ultravioleta... Este método se basa en el principio fotométrico de la absorción de luz en el rango de la radiación ultravioleta por el ozono.*

Para la medición del bióxido de nitrógeno, a la letra la NOM-037-ECOL-1993 dice:

*El método de referencia para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente, es el de quimiluminiscencia en fase gaseosa...El método de referencia permite medir la concentración de bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el aire ambiente de forma indirecta, por la determinación fotométrica de la intensidad de la luz a longitudes de onda superiores a 600 nanómetros (nm), que resulta de la reacción de quimiluminiscencia del óxido nítrico (NO) con el ozono (O<sub>3</sub>) generado dentro del mismo instrumento. En este método se reduce cuantitativamente el NO<sub>2</sub> a NO por medio de un convertidor. El NO que existe normalmente en el aire junto con el NO<sub>2</sub> pasa sin cambiar a través del convertidor, causando una concentración resultante total de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) igual a NO + NO<sub>2</sub>. Se mide también una muestra del aire de entrada sin que haya pasado a través del convertidor. Esta última medición de NO se resta de la primera medición (NO + NO<sub>2</sub>) para dar la medición final de NO<sub>2</sub>. Las mediciones de NO se pueden hacer de manera conjunta, utilizando un sistema dual o en forma cíclica, con el mismo sistema, cuando la duración del ciclo no sea mayor de un minuto...Los analizadores de quimiluminiscencia para NO/NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> son también sensibles a otros compuestos nitrogenados, como el nitrato de peroxiacetilo (PAN), el cual puede reducirse a NO en el convertidor térmico. Las concentraciones atmosféricas de estas interferencias*

*potenciales son bajas en general, comparadas con NO<sub>2</sub>, por lo que se pueden obtener mediciones válidas de NO<sub>2</sub>.*

Para la medición del bióxido de azufre, a la letra la NOM-038-ECOL-1993 dice:

*El método de referencia para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente, es el de la pararrosanilina...El método de referencia permite determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente, por medio de la técnica analítica por vía húmeda de la pararrosanilina...En este método se hace pasar la muestra a través de una solución de tetracloromercurato de potasio (TCM)...El bióxido de azufre reacciona con la solución de TCM formándose un complejo estable de monoclorosulfonatomercurato. Una vez formado, este complejo resiste la oxidación del aire y es estable en presencia de fuertes oxidantes como el ozono (O<sub>3</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Posteriormente, el complejo reacciona con la pararrosanilina y el formaldehído, formando ácido metilsulfónico de pararrosanilina, el cual tiene una coloración intensa. La densidad óptica de este compuesto se determina espectrofotométricamente...y es directamente referida a la cantidad de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) colectado.*

...

*El método equivalente para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente es el de fluorescencia...Este método se basa en la medición de la luz fluorescente emitida por ciertas moléculas cuando son excitadas por una fuente de radiación apropiada.*

Es importante mencionar que la mayoría de los métodos para medir gases se basan en la detección de luz de frecuencia específica, sea absorbida o emitida durante el proceso de medición y es captada por un fotómetro. Salvo el caso del método de referencia del bióxido de azufre, todos estos métodos permiten una medición del contaminante en tiempo real y por ende la capacidad de transmitir también en tiempo real esta información.

#### **2.2.2.2 Analizadores de partículas**

Actualmente sólo se cuenta con la norma oficial mexicana que establece el método de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales (PST) en el aire ambiente. A la letra la NOM-035-ECOL-1993 dice:

*El método de referencia para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, es el de muestreo de alto volumen...El método de referencia, permite medir la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, por medio de un muestreador adecuadamente localizado, que succiona a través de un filtro una cantidad determinada de aire ambiente hacia el interior de una caseta o coraza de protección, durante un período de muestreo de 24 hrs.*

*La velocidad de flujo del aire ambiente y la geometría del muestreador son tales que favorecen la recolección de partículas hasta de 50 micrómetros de diámetro aerodinámico, dependiendo de la velocidad del viento y su dirección. Los filtros usados deben tener una eficiencia de recolección mínima del 99 % para partículas de 0.3 micrometros...El filtro se pesa en el laboratorio bajo condiciones de humedad y temperatura controladas, antes y después de su uso, para determinar su ganancia neta de peso (masa). El volumen total de aire muestreado, corregido a las condiciones de referencia, se determina a partir del flujo de aire ambiente medido y del tiempo de muestreo. La concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas entre el volumen de aire muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico patrón, corregidos a las condiciones de referencia...En muestras tomadas a temperaturas y presiones barométricas que difieren significativamente de las condiciones de referencia, las concentraciones corregidas pueden variar de las concentraciones reales microgramos por metro cúbico real, sobre todo a elevadas altitudes. Las concentraciones reales de partículas pueden ser calculadas a partir de las concentraciones corregidas, utilizando las temperaturas y presiones que se hayan presentado durante el período de muestreo.*

Como se mencionó anteriormente, no hay una Norma Ecológica referente a las partículas menores a 10 micrómetros (PM10). Estas pueden ser muestreadas y analizadas con procesos similares a las partículas suspendidas totales salvo que las fracciones mas grandes deben ser separadas por un impactador virtual o un separador ciclónico, previamente a la colección en un filtro. El mismo concepto puede aplicarse a las partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>).

Adicionalmente a los métodos gravimétricos tradicionales, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos reconoce métodos semicontinuos o continuos equivalentes al método de referencia. El semicontinuo es mediante la atenuación de radiación beta por las partículas colectadas en un filtro. El segundo es continuo mediante la colección de las partículas en un filtro que esta vibrando permanentemente. Al aumentar la masa del filtro la frecuencia de oscilación disminuye y ésta puede ser asociada al cambio de la masa en el filtro. Estos muestreadores tienen una entrada de partículas de tamaño selectivo que remueve las partículas que tienen diámetros aerodinámicos mayores a 10 micras. Estos muestreadores tienen la ventaja de que pueden transmitir la información en tiempo real o cercano al tiempo real.

Es importante recalcar que el uso de muestreadores gravimétricos tradicionales es en muchos casos necesario para poder evaluar los contaminantes tóxicos en fase particulada, como por ejemplo el plomo. De igual manera otros contaminantes importantes en fase particulada, como los sulfatos y los nitratos, pueden ser analizados utilizando estos filtros.

### 2.2.2.3 Sensores remotos

Los sensores remotos, aún cuando no tienen una aceptación universal como métodos equivalentes para la medición de contaminantes normalizados, ya se están utilizando por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y permiten de una manera rápida dar un diagnóstico de la calidad del aire. Estos se han usado en dos tipos principales de aplicaciones: para evaluar las tasas de emisión de fuentes vehiculares y/o industriales y para evaluar la calidad del aire en zonas urbanas. Estos instrumentos pueden ser utilizados durante el periodo de evaluación preliminar para el diseño del sistema de monitoreo atmosférico y pueden definir con mayor facilidad y certeza dónde sería conveniente ubicar las estaciones viento arriba, dónde está la mayor emisión y dónde se encuentra el sitio que recibirá la mayor concentración de contaminantes de origen secundario.

Una ventaja que tienen estos sensores remotos es la diversidad de compuestos que pueden medir. En la actualidad se han usado entre otros el LIDAR, que se basa en la detección y posicionamiento por luminosidad al principio del radar, el FTIR, o espectrómetros infrarrojos de la transformada de Fourier de trayectoria abierta, y el DOAS, basado en la espectroscopia de absorción óptica diferencial.

El método de FTIR está considerado como uno de los métodos para la determinación de compuestos tóxicos/volátiles orgánicos por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos.

Los DOAS pueden detectar hidrocarburos, incluyendo sus compuestos halogenados, nitrados y sulfatados, y oxigenados y especies bencénicas. Estos compuestos tienen importancia en cuanto a su toxicidad. Los DOAS tienen la capacidad de detectar especies inorgánicas fotoquímicas de importancia como el ozono, los óxidos de nitrógeno y ácidos nitroso y nítrico. Adicionalmente pueden detectar precursores de partículas secundarias como amoníaco y bióxido de azufre. Estos sensores remotos están identificados por NARSTO para tales fines.

El LIDAR puede utilizarse para detectar y cuantificar aerosoles. Una ventaja clara de estos sensores es la capacidad de medir las distribuciones de contaminantes a distancias del orden de kilómetros en lo horizontal y en lo vertical, pudiéndose detectar fuentes puntuales, lineales o emisiones episódicas.

Todos estos sensores remotos aún tienen altos costos de adquisición y operación, requiriendo personal altamente calificado para su uso y para la interpretación de los datos que obtienen.

#### **2.2.2.4 Muestreadores pasivos**

En contraposición de los sensores remotos, están los muestreadores pasivos de contaminantes atmosféricos, los cuales son relativamente más baratos. El principio de estos muestreadores es la difusión que tienen los gases y su reactividad. El contaminante se difunde al interior del muestreador pasivo donde se tiene una superficie con una capa de material reactivo o absorbente ó adsorbente del contaminante. El contaminante al reaccionar o ser absorbido se puede cuantificar posteriormente en el laboratorio. La cantidad de sustancia medida será proporcional a la concentración del contaminante observado. Por ejemplo, en los muestreadores pasivos de bióxido de nitrógeno el muestreador esta expuesto al contaminante que se difunde al interior del monitor pasivo donde es absorbido en la superficie de una capa impregnada de trietanolamina. La medición se hace al extraer el bióxido de nitrógeno con agua destilada y hacerlo reaccionar con un colorante, utilizando para la cuantificación mediante un método colorimétrico.

El muestreador pasivo puede ser portado por un individuo o ser colocado en algún sitio específico de muestreo. Generalmente se hace una calibración muestreando en el mismo lugar donde se encuentre una estación continua de monitoreo para validar la concentración estimada por el monitor pasivo.

Una vez hecha la calibración se pueden disponer los monitores pasivos en áreas relativamente grandes con el objetivo de observar la extensión de la influencia del contaminante o evaluar lugares donde se sospeche que existe una gran concentración, de acuerdo con las condiciones locales, transporte y transformación de los contaminantes. Se han hecho estudios extensivos de este tipo en Estados Unidos, Canadá, Europa, Centro y Sudamérica. Actualmente se pueden evaluar en forma pasiva los óxidos de nitrógeno, el bióxido de azufre, el ozono y el benceno, tolueno y xileno.

Es importante mencionar que la utilización de los monitores pasivos ha permitido entender las distribuciones espaciales de los contaminantes dada la posibilidad de colocar una gran cantidad de estos en áreas relativamente extensas. También es importante mencionar que dada su portabilidad pueden usarse en la evaluación de la exposición personal de los portadores y hacer inferencias sobre el resto de la población. Estos monitores no tienen la resolución de un método de referencia pero pueden ser utilizados para las aplicaciones recién mencionadas, como el diseño de sistemas de monitoreo atmosférico o como estaciones centinela de la calidad del aire. En este sentido se podrían detectar lugares de máxima concentración que no estén cubiertas por el sistema de monitoreo atmosférico y que requieran de una acción de control y/o vigilancia.

### **2.2.3 Fenómenos atmosféricos, climáticos y meteorológicos vinculados a la contaminación atmosférica**

La concentración observada de los contaminantes primarios que no se degraden va a depender de dos componentes principales: la tasa de emisión del contaminante y el volumen de aire disponible para que éste sea mezclado. La tasa de emisión dependerá del número e importancia de cada fuente y de la tecnología empleada por el emisor o el grado de control que se ejerza sobre la fuente emisora.

Para el caso del volumen disponible para su mezclado, éste dependerá de las condiciones climáticas, meteorológicas y la situación geográfica del lugar. La climatología del lugar nos ayuda a describir los cambios que ocurren durante el año, cambios estacionales, cuándo se esperan los fenómenos de precipitación y cuando se esperan las temperaturas más altas o más bajas. La meteorología nos permite predecir y evaluar las condiciones atmosféricas para periodos determinados como la estabilidad atmosférica horizontal y vertical.

A nivel sinóptico o regional, es conveniente tener acceso a la información del Servicio Meteorológico Nacional, a cargo de la Comisión Nacional del Agua. La presencia de sistemas de alta presión le dan estabilidad a la región en donde se estacionan, mientras que un sistema de baja presión promoverá la dispersión de los contaminantes mediante turbulencia superficial y vertical. Esta información se obtiene mediante satélites meteorológicos y estaciones meteorológicas distribuidas en una región muy amplia que mide las temperaturas, viento, humedades y presiones barométricas.

A nivel local, generalmente los aeropuertos tienen estaciones meteorológicas dedicadas y pueden contar con sondeos matutinos de la atmósfera. Estos sondeos matutinos evalúan el perfil de las temperaturas y los vientos con la altura. Los perfiles de temperatura permiten evaluar la presencia de inversiones térmicas en superficie o en altura, su espesor y su intensidad. Se le llama inversión térmica porque durante el día la temperatura va disminuyendo con la altura. Por esto, en nuestro país hay volcanes con nieves perenes y las costas son mas cálidas que el altiplano. Cuando el perfil normal (adiabático) de la temperatura esta invertido no permite la mezcla de parcelas de aire verticalmente y promueve la acumulación de contaminantes cerca de la superficie, reduciendo efectivamente el volumen disponible para la mezcla éstos.

La dirección y velocidad del viento (superficial), nos permite evaluar el potencial de transporte de los contaminantes y saber dónde estarán ubicados los posibles receptores de éstos. Los vientos fuertes permiten una dispersión efectiva de los contaminantes mientras que los vientos débiles permiten cierta dilución de los contaminantes pero promueven su transporte a mediana y gran distancia.

La situación geográfica del lugar definirá en gran medida la meteorología superficial. La localidad, en cuanto a longitud, latitud y altitud, juntamente con la morfología, montañas, planicies o cuerpos de agua. Por ejemplo, si es un valle, habrá escurrimiento de vientos hacia el centro del valle por la noche y un patrón revertido durante el día. De igual manera una localidad ubicada en una zona costera experimentará vientos provenientes del mar durante el día y un patrón invertido durante la noche.

Debido a lo anterior, es importante que durante el diseño de los sistemas de monitoreo atmosférico se considere una estación viento arriba, antes de la zona de mayor emisión. Asimismo, es importante tener una estación de monitoreo donde se espere la mayor concentración de los contaminantes secundarios, específicamente del ozono. El análisis de los patrones de vientos prevalentes durante el diseño permitirán alcanzar estos objetivos.

La temperatura es otro parámetro de gran relevancia que interactúa de varias maneras con la calidad del aire. Promueve la formación de contaminantes fotoquímicos, es un indicador de la estabilidad atmosférica, y es un indicador de la radiación solar. La temperatura es un elemento crucial en la cinética de la formación de contaminantes fotoquímicos que generalmente aumenta con la temperatura. Es también un indicador indirecto de la estabilidad atmosférica.

Durante la noche se observan las menores temperaturas y es el periodo de mayor estabilidad vertical, a medida que va aumentando la temperatura con el día o la radiación solar, también irá aumentando el transporte convectivo (vertical) de los contaminantes, la temperatura a nivel superficial será mayor que la temperatura en altura y promoverá un transporte en esta dirección. A mayor radiación solar mayor temperatura, cuando hay nubosidad o lluvia la temperatura disminuye.

La humedad promueve la formación de aerosoles en presencia de compuestos hidroscolópicos. Adicionalmente interactúa en la cinética de la formación de contaminantes secundarios como los sulfatos y los nitratos. Es un parámetro que puede influenciar la estabilidad atmosférica e influencia la visibilidad. En casos extremos, cuando hay condiciones de saturación del contenido de humedad en la atmósfera, hay neblina.

La radiación solar actúa directamente en la formación de los contaminantes fotoquímicos. La cantidad de luz que arriba a la superficie contiene una variedad de longitudes de onda que permitirán que las moléculas de los precursores de especies fotoquímicas se exciten o rompan para promover las reacciones de formación de otros compuestos. Estas reacciones serán proporcionales a la radiación que esta disponible. Por esto durante los periodos de alta nubosidad o lluvia hay menor formación de ozono.



### **2.2.3.1 Equipos Meteorológicos**

Los instrumentos requeridos para medir las variables meteorológicas más útiles en los estudios de contaminación del aire; son comúnmente la velocidad y la dirección del viento, la temperatura ambiental y la diferencia de la temperatura vertical, la radiación solar y la altura de mezcla. NIWA (1995)

En la actualidad se disponen de varios equipos para medir estos parámetros atmosféricos. La elección de los sensores apropiados depende del tipo de aplicación que se les dará a los datos. Además de los sensores, podrán necesitarse otros equipos para el condicionamiento de la señal y la grabación y tal vez, para el registro electrónico de los datos. Para asegurar la recolección de datos representativos, es necesario seguir rigurosos procedimientos de identificación, instalación y mantenimiento de los instrumentos. Korc, M. (2001)

#### ***Velocidad de Viento***

Los dos principales tipos de instrumentos usados para medir la velocidad del viento son el anemómetro rotativo de cubeta y el anemómetro de hélice. Ambos tipos de anemómetros constan de dos subconjuntos; el sensor y el transductor. El sensor es el dispositivo que rota por acción de la fuerza del viento. El transductor es el que genera la señal que se grabará.

Un paquete completo de instrumentos también puede incluir un sistema electrónico para captar y grabar las señales electrónicas que genera el transductor. Por ejemplo, es probable que se necesite acondicionar la señal de modo que produzca una cantidad reportable. Para ello se debe usar un acondicionador de señal. Por último, para usar la señal acondicionada, esta deberá ser registrada y/o grabada a través de grabadores y registradores. NIWA (1995)

Los datos meteorológicos representativos obtenidos en los estudios sobre la contaminación del aire, son clave para la ubicación adecuada de los instrumentos. Korc, M. (2001)

- La altura estándar de exposición de los instrumentos de viento en un terreno abierto es 10 m sobre el suelo.
- El terreno abierto se define como una área donde la distancia entre el instrumento y cualquier obstrucción (árboles, edificios, etc.) es al menos 10 veces la altura de la obstrucción.

En los casos en que las descargas de emisión se producen generalmente sobre 10 m, es probable que se requieran mediciones adicionales del viento en mayores elevaciones. Se deberían establecer alturas adecuadas de medición a partir de cada caso y según la aplicación. Se recomienda, en lo posible, colocar los instrumentos de viento sobre una torre de rejillas. Además, se deben ubicar en la parte superior de esta o, si están en un lado de la torre, se deben ubicar en una varilla a una distancia de al menos dos veces el diámetro/diagonal de la torre, extendidas hacia afuera en dirección del viento prevalente. Korc, M. (2001)

### ***La temperatura y la diferencia de la temperatura***

Para los estudios de contaminación del aire son útiles tanto la temperatura del aire ambiental en un solo nivel (generalmente 1,5 a 2 m sobre el suelo) como la diferencia de temperatura entre dos niveles (generalmente 2 m y 10 m). Estas medidas sirven para realizar cálculos sobre la elevación de la pluma y para determinar la estabilidad atmosférica.

Las tres clases principales de sensores de temperatura se basan en: (1) la expansión térmica, (2) el cambio de resistencia y (3) las propiedades termoeléctricas de diversas sustancias como una función de la temperatura. Los termómetros de mercurio y alcohol son ejemplos comunes de sensores de expansión térmica. Sin embargo, su valor es limitado en redes de monitoreo *in situ* o remotas debido a que no tienen la capacidad de registrar datos automatizados.

Un tipo de sensor común en los programas de medición meteorológica *in situ* es el detector de temperatura por resistencia (DTR). El DTR opera sobre la base de los cambios de resistencia de ciertos metales, principalmente el platino o el cobre, como una función de la temperatura. Estos dos metales son los más usados porque su resistencia muestra un aumento rigurosamente lineal con el incremento de la temperatura. NIWA (1995)

Otro tipo de termómetro de cambio de resistencia es el termistor, hecho a partir de una mezcla de óxidos metálicos fusionados entre sí. Por lo general, el termistor arroja un cambio de resistencia con la temperatura mayor que el DTR. Como la relación entre la resistencia y la temperatura para un termistor no es lineal, estos sistemas generalmente están diseñados para usar una combinación de dos o más termistores y resistores fijos que permitan obtener una respuesta casi lineal sobre un rango específico de temperatura.

El principio de operación de los sensores termoeléctricos es el flujo de corriente eléctrica entre dos metales diferentes y depende de la temperatura. La instalación de tales sensores, llamados termopares, exige requerimientos especiales para evitar corrientes de inducción de fuentes cercanas de corriente alterna que podrían ocasionar errores en la medición. Los termopares también son susceptibles al voltaje causado por la humedad. Por estas razones, su uso es limitado en las mediciones rutinarias de campo.

- La temperatura del aire ambiental (superficial) se debe medir a una altura de 2 m.
- La altura estándar para medir la diferencia de temperatura es 2 y 10 m.

Si los niveles de emisión son considerables, puede ser apropiado efectuar mediciones adicionales de la temperatura en elevaciones más altas. Estas elevaciones estarían determinadas según el caso y la aplicación.

- El sensor de la temperatura se debe ubicar en una área abierta, plana y bien ventilada de al menos 9 m de diámetro.
- Los sensores de temperatura se deben colocar a una distancia de al menos cuatro veces la altura de cualquier obstrucción y al menos a 30 m de áreas pavimentadas amplias.
- La superficie donde se localice el sensor debe estar cubierta por una capa natural de tierra o pasto y estar lejos de áreas con agua estancada. Los instrumentos deben estar blindados para protegerlos de la radiación térmica y bien ventilados con sistemas apropiados.

### ***Radiación solar***

La radiación solar está relacionada con la estabilidad de la atmósfera. Los datos sobre la cobertura y la altitud de las nubes (altura de la base de la cima de la nube que obscurece casi la mitad del cielo) proporcionan una estimación indirecta de los efectos de la radiación solar y se usan junto con la velocidad del viento para derivar una categoría de estabilidad atmosférica.

El instrumento más usado en la medición de la radiación solar es el piranómetro, el cual mide la radiación directa y difusa sobre una superficie horizontal. Consta de un pequeño disco plano con sectores pintados alternativamente de blanco y negro.

Cuando el aparato es expuesto a la radiación solar, los sectores negros se vuelven más cálidos que los blancos. Esta diferencia de temperatura se puede

detectar electrónicamente. Se produce un voltaje eléctrico proporcional a la radiación solar incidente. Se instala una cúpula de vidrio óptico estándar sobre el disco que es transparente a longitudes de onda que oscilan aproximadamente entre 280 y 2.800 nm. Algunos piranómetros usan una cúpula de vidrio de silicio para medir la radiación en diferentes intervalos espectrales. Korc, (2001)

Otro tipo de sensor es el radiómetro neto, diseñado para medir la diferencia entre la radiación ascendente (solar) y la descendente (terrestre), a través de una superficie horizontal. La aplicación básica de un radiómetro neto es determinar la radiación diurna y nocturna como un indicador de la estabilidad. Sin embargo, las categorías de estabilidad nocturnas generalmente usadas en los estudios de contaminación del aire se basan exclusivamente en la velocidad del viento y en el aspecto del cielo. NIWA (1995),

- Los piranómetros usados para medir la radiación incidente (solar) se deben colocar en áreas abiertas con una amplia vista del cielo hacia todas las direcciones y durante todas las estaciones. Deben localizarse en puntos donde no se produzcan obstrucciones que proyecten una sombra sobre el sensor en cualquier momento. Además, se debe evitar colocarlos cerca de paredes de colores claros y fuentes artificiales de radiación. La altura del sensor no es un factor determinante para los piranómetros. Una ubicación recomendable es sobre una plataforma elevada.
- Los radiómetros netos se deben colocar aproximadamente a 1 m sobre el nivel del suelo. El subsuelo que está bajo el instrumento debe ser representativo del área general. También se deben colocar radiómetros netos para evitar obstrucciones en el campo de vista tanto ascendente como descendente.

### ***Altura de mezcla***

La profundidad vertical de la atmósfera donde se produce el mezclado se denomina capa de mezcla. La parte superior de esta capa se conoce como altura de mezcla. Esta determina el alcance vertical del proceso de dispersión de los contaminantes liberados debajo de ella. Se trata de una variable importante para los estudios de calidad del aire, ya que limita la dispersión vertical de los contaminantes. Si bien las alturas de mezcla generalmente no se miden directamente, es posible obtener cálculos aproximados a partir de las mediciones meteorológicas rutinarias. Por lo general, las alturas de mezclado producidas por la mañana y por la tarde se estiman a partir de los perfiles tanto de temperatura vertical tomados a la salida y puesta del sol, como de temperatura superficial. NIWA (1995), Korc, (2001)

Los perfiles de la temperatura vertical se miden con radiosondas, instrumentos transportados elevados a través de globos más ligeros que el aire (esto es, globos generalmente llenos de hidrógeno o helio). Para los modelos de la calidad del aire, las alturas de mezcla por hora se pueden estimar a partir de los valores de altura de mezcla tomados dos veces al día –a la salida y la puesta del sol- y las categorías de estabilidad atmosférica de cada hora. Los sistemas SODAR (Sound Detection And Ranging [detección y exploración del sonido]) y radar perfilador de vientos Doppler están adquiriendo importancia como herramientas eficaces para efectuar mediciones remotas de variables meteorológicas en alturas que alcanzan varios cientos de metros sobre la superficie. NIWA (1995), Korc, (2001)

Un SODAR transmite un fuerte pulso acústico a la atmósfera y capta la parte del pulso que se expande y regresa. Un radar perfilador de vientos usa principios de operación semipares al SODAR, pero en vez de transmitir pulsos acústicos, se transmite pulsos electromagnéticos. Se observa un creciente interés en el uso del SODAR y del radar perfilador de vientos para el desarrollo de bases de datos meteorológicos requeridas como aporte para los modelos de dispersión. El análisis de los retornos de SODAR y de los radares perfiladores de viento también puede servir para estimar la altura de mezclado.

En la siguiente tabla 1 se muestran valores de exactitud y resoluciones para equipos meteorológicos

**Tabla 1 Valores de Exactitud y Resoluciones**

<b>Variable Meteorológica</b>	<b>Exactitud de la variable</b>	<b>Resolución de la medición</b>
Velocidad del Viento	$\pm (0.2 \text{ m/s} + 5 \% \text{ del observado})$	0.1 m/s
Dirección de viento	$\pm 5$ grados	1 grado
Temperatura	$\pm 0.5$ °C	0.1 °C
Diferencia de temperatura	$\pm 0.1$ °C	0.02 °C
Radiación Solar	$\pm 5 \% \text{ del observador o } \text{W/m}^2$	$10 \text{ W/m}^2$

*Fuente: U.S EPA (1987)*

## 2.2.4 Parámetros normalizados y tiempos de medición

Los parámetros normalizados que se miden comúnmente en las estaciones de monitoreo y los tiempos de referencia que se utilizan para fines de comparación contra las normas de calidad del aire se indican en la Tabla 2. En el caso de los analizadores automáticos de gases donde se generan concentraciones en tiempo real, se emplean promedios horarios del número total de registros almacenados en una hora (comúnmente 1 registro por minuto).

Para los casos del  $O_3$  y  $NO_2$  dicha comparación puede efectuarse directamente toda vez que los criterios de estos dos contaminantes están basados en promedios horarios mientras que en el caso del  $CO$  y  $SO_2$ , cuyos tiempos de referencia son de 8 y 24 hrs respectivamente, la comparación se hace a partir de promedios móviles obtenidos a partir del último promedio horario con los correspondientes a las 7 o 23 h precedentes en cada caso.

En estaciones de interés nacional y estaciones urbanas ubicadas en áreas habitacionales, la frecuencia de medición no puede vincularse a objetivos de diagnóstico o investigación, debe vincularse estrictamente a las normas oficiales mexicanas.

En estaciones de interés nacional todos los instrumentos de medición para contaminantes normalizados deben de ser automáticos para permitir la medición continua y un reporte horario que incluya un promedio horario de ozono y bióxido de nitrógeno y con promedios móviles horarios de 8 para monóxido de Carbono y de 24 horas para partículas ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) y el bióxido de azufre. Esta indicación excluye al parámetro normalizado “partículas suspendidas totales”, cuya necesidad de medición deberá evaluarse de manera conjunta entre las autoridades ambientales y de salud, federales y locales, pero que esta dejando de ser utilizado como indicador de la calidad del aire.

**Tabla 2**  
**Resumen de Tiempos Normalizados de toma de muestra,**  
**Frecuencia de Medición y Forma de Reporte**

<b>Contaminante</b>	<b>Período de tiempo normalizado de toma de muestra</b>	<b>Frecuencia de Medición</b>	<b>Frecuencia de Reporte para mediciones continuas</b>
Partículas Suspendidas Totales <sup>1</sup>	24 horas	1 vez cada 3 o 6 días*	Semanal
Partículas menores a 10 micrómetros	24 horas	1 vez cada 3 o 6 días* y Continua	Promedio móvil de 24 horas cada hora
Partículas menores a 2.5 micrómetros	24 horas	Continua	
Bióxido de Azufre	24 horas	Continua	
Monóxido de Carbono	8 horas	Continua	Promedio móvil de 8 horas cada hora
Bióxido de Nitrógeno	1 hora	Continua	Promedio horario
Ozono	1 hora	Continua	Promedio horario

<sup>1</sup> La norma mexicana indica un método manual de medición

\* La frecuencia de medición pase de 6 a 3 días en temporadas de mayor contaminación (ej. estiaje)

Es importante mencionar que en el caso de mediciones continuas de contaminantes se deben preservar en una base de datos accesible, las concentraciones horarias, independientemente del reporte público de calidad del aire, que posee datos promediados en 1, 8 y 24 horas.

La frecuencia de medición de parámetros NO normalizados debe de realizarse con base en un protocolo de investigación o estudio, aprobado por las autoridades locales y/o federales, según sea el caso. No es obligatorio el reporte al público de estos parámetros, pero si es recomendable publicar un informe final o anual de los mismos, cuando las mediciones sean confiables y los datos sean interpretados o presentados de una manera científica sólida.

## 2.3 Criterios administrativos y funcionales en la selección de instrumentos de medición

Actualmente, muchas estaciones de medición de la calidad del aire en México operan con instrumentos de distintas marcas y distintas “generaciones” tecnológicas. Aún existen analizadores de gases con aditamentos analógicos, muestreadores de partículas de alto volumen de operación manual cuya operación se rige por el método de referencia y analizadores de gases con componentes electrónicas limitadas, sin memoria interna, rutinas de autodiagnóstico o sin posibilidad de recibir instrucciones remotas desde el Centro de Cómputo.

Muchos de estos equipos fueron donados durante programas de apoyo e intercambio técnico, otros fueron adquiridos en distintas administraciones y bajo procesos abiertos de licitación donde las partidas del concurso eran ganadas por distintas empresas debido a lo reducido de sus costos. Todas estas situaciones, lejos de abaratar costos y lograr “eficiencias administrativas”, han reducido la capacidad operativa de las redes y mantienen fuertes presiones de gasto en mantenimiento y entrenamiento de personal.

Las posibilidades de falla por mantenimiento y los costos mismos de operación, mantenimiento y entrenamiento del personal operativo de una red de medición, se pueden reducir si se cumplen las siguientes premisas:

**Homogeneidad instrumental de marca.** Es necesario procurar que los analizadores de gases y los muestreadores de partículas, así como los instrumentos meteorológicos, sean de una misma marca comercial. En su defecto, que operen con componentes y periféricos comunes o que sean compatibles, aunque esto último es por lo general una falacia electrónica, por lo cual, la compatibilidad debe ser al 100% de las funciones y ser probada *in situ* por parte del fabricante, antes de que se realice una adquisición nueva de equipo.

**Automatización electrónica avanzada.** La mayor parte de los instrumentos que se fabrican y distribuyen a nivel internacional poseen componentes electrónicas y funciones cada vez más complejas. Para disminuir la obsolescencia del instrumental a adquirir, es ampliamente recomendable adquirir el “último modelo”, la última versión o la más completa.

**Control remoto.** Los instrumentos de medición y calibración que deben instalarse en una caseta tienen fallas aleatorias, periódicas y recurrentes. Muchas de estas fallas pueden ser corregidas desde el Centro de Control sin necesidad de desplazar personal y equipo de mantenimiento al sitio. Se recomienda que cada uno de los instrumentos instalados tenga los dispositivos adecuados para “comunicarse” al Centro de Control y ser



“interrogado” e “instruido” para realizar acciones de autodiagnóstico, auto calibración y autocorrección electrónica. Existen muchos programas computacionales de comunicación y administración de las redes de monitoreo; estos programas pueden administrar a los instrumentos, las redes telemáticas, las bases de datos y los reportes al público.

**Licencias, garantías y refacciones por tres años.** El *software* que se adquiera para el manejo interno y de conjunto de las redes de medición y los Centros de Cómputo con que se administran, debe tener las licencias comerciales de acuerdo a la legislación vigente. Los instrumentos de medición, a nivel individual y en conjunto, deben de tener una garantía de fabricante y un “stock” de refacciones y consumibles para un período de operación ininterrumpida de 3 años como mínimo.

## 2.4 Selección de Sitios de Medición

La selección de sitios y el número de estaciones de medición dependerá en una primer instancia de la naturaleza y objetivos del sistema de monitoreo atmosférico. Los sistemas orientados a vigilar la calidad del aire en ambientes urbanos requerirán un número de estaciones y parámetros de medición distinto a los que se instalarán en sistemas orientados a medir la calidad del aire ambiente en áreas naturales protegidas o espacios rurales no urbanizados.

Durante muchos años, la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1977) recomendó la utilización de criterios sencillos de ubicación de estaciones en áreas urbanas, por ejemplo, si sólo había presupuesto para instalar tres estaciones, éstas deberían de ubicarse en una zona industrial, una comercial y una residencial; si la topografía era accidentada, entonces una estación se ubicaba en el valle y otra en la montaña; si la ciudad tenía un centro histórico, administrativo o de negocios, una estación debería de estar ubicada en ese lugar; etc.

No obstante, cuando las ciudades o los ecosistemas de interés son muy grandes y se requiere de un número mayor de estaciones de monitoreo para cubrir la cuenca o parcela atmosférica, entonces es necesario tener una aproximación basada en métodos y consideraciones estadísticas, tanto espaciales como temporales.

### Consideraciones estadísticas en el diseño de una red

Para orientar el diseño general de una red, se ha sugerido tener en mente los siguientes criterios, que se aplican para la medición de un contaminante en específico cuyas concentraciones varían en tiempo y espacio en la cuenca de interés (Munn, 1981):

- El valor a obtener debe ser el valor promedio de concentración del contaminante en los diversos períodos de tiempo señalados por las normas oficiales (ver Tabla 2).
- La posibilidad de no detectar la violación de una norma de calidad del aire deben de ser estimada de manera probabilística y se debe de fijar un valor aceptado por las autoridades de salud, el cual no debe ser rebasado por los operadores de la red.
- Cuando se estime la concentración del contaminante en un punto no medido de la cuenca atmosférica, con base en las mediciones de dos o

- más estaciones de la red, el valor obtenido mediante una regresión o interpolación no debe tener un error cuadrático predeterminado también por las autoridades locales o de salud.
- La localización de las estaciones debe optimizarse en función de los parámetros estadísticos señalados previamente, eliminando las opciones de localización o diseño que se salgan fuera de éstos parámetros predeterminados. Este criterio también debe seguirse cuando se adicionan o se eliminan estaciones en una red existente. (Zimmerman, 2002)
  - La densidad de estaciones de una red debe ser lo suficientemente grande para detectar un cambio  $x$  en porcentaje en la concentración de un contaminante durante un número  $y$  de años, con un 95% de nivel de confianza. Tanto  $x$  como  $y$  en esta recomendación deben de ser fijados por los planes y programas de mejoramiento de la calidad del aire e incluidos en los objetivos de calidad de los datos y de mediciones
  - Conformar un equipo de trabajo interdisciplinario compuesto por Meteorólogos, Estadísticos Ambientales, Ingenieros Ambientales, especialistas en Planeación Urbana, Epidemiólogos, Químicos Ambientales, y que todos ellos tengan conocimientos y entrenamiento en Contaminación Atmosférica. (Munn, 1981)

Con base en los estudios señalados al inicio de este capítulo, es posible realizar análisis estadísticos más complejos y profundos, minimizando el número de sitios (Nychka, 1997) o diseñando estaciones multi-objetivos, para ello, existen múltiples modelos de análisis espacial avanzado (Sampson, 2001).

Entre los modelos computacionales auxiliares para la selección de sitios de monitoreo destacan los Sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés), los cuales tienen subrutinas que pueden ayudar a modelar para la ubicación estaciones de monitoreo.

En términos generales, las estaciones deben de colocarse en los sitios donde se espere la mayor concentración de contaminantes y el mayor impacto a la salud pública y los ecosistemas. Tomando en cuenta los criterios estadísticos mencionadas

## **2.4.1 Características de Redes de Monitoreo Atmosférico en Áreas Urbanas**

El objetivo principal de este tipo de sistemas es medir la calidad del aire que respira la población, por lo que las estaciones de receptor deben ubicarse principalmente donde la gente permanezca más tiempo expuesta a los contaminantes atmosféricos. La caracterización preliminar de la cuenca atmosférica y sus usuarios deben proporcionar suficiente información para detectar las áreas geográficas donde esto ocurra. Los estudios de exposición llevados a cabo por las autoridades y centros de investigación en salud pública son indispensables.

Las estaciones orientadas a medir el impacto de una fuente específica deben ubicarse predominantemente viento abajo y siguiendo la línea trazada por la dirección de los vientos dominantes. Si la fuente es puntual y suficientemente importante, como puede ser una planta termoeléctrica, una refinería o una cementera, es indispensable contar con modelos de dispersión que indiquen la distancia a la cual la pluma de contaminantes alcanza el nivel de piso. Si la fuente es lineal o de área, como pueden ser una carretera o una zona industrial, es necesario contar al menos con mediciones preliminares que definan las distancias y áreas de mayor impacto.

Sin embargo, para sistemas de monitoreo atmosférico diseñados en una escala urbana a nivel Ciudad, debe evitarse la medición en micro ambientes altamente impactados por fuentes específicas, pues éstos no serían representativos de la calidad del aire ambiente que respira la mayoría de la población. Estos espacios deben tratarse con programas específicos de monitoreo para el control de fuentes contaminantes. Por el contrario, sí deben incluirse micro ambientes cuya calidad del aire se vea fuertemente impactada por condiciones meteorológicas extraordinarias, como pueden ser valles intermontanos y profundos con atmósferas altamente estables o zonas deflectoras de viento que tiendan a acumular contaminantes.

El número de sitios de muestreo o estaciones que debe tener un sistema urbano de medición de la calidad del aire depende de los siguientes factores críticos:

- Densidad poblacional
- Homogeneidad territorial y urbana
- Dirección de vientos dominantes
- Intensidad del tránsito vehicular

- Densidad de fuentes fijas de contaminación
- Densidad de áreas verdes y naturales

En áreas urbanas densamente pobladas, ubicadas en terrenos planos con gran homogeneidad en el tipo de construcciones, es posible ubicar una estación de monitoreo atmosférico de escala media y urbana, representativa de una parcela atmosférica de 4 hasta 50 kilómetros de radio a su alrededor. Si la topografía es irregular y existe una alta heterogeneidad en el espacio urbano, será necesario ubicar más de una estación y éstas serán de escala media y microescala, con una representatividad no mayor a 4 kilómetros a su alrededor (EPA, 1998).

Para ilustrar lo anterior podemos emplear dos ejemplos característicos del Valle de México. El primero es el del municipio Netzahualcóyotl, al oriente del valle, el cual tiene la densidad poblacional más alta de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (189 habitantes por hectárea) (COLMEX, 2001) y se ubica en gran parte de lo que fue el ex vaso del lago de Texcoco, una planicie aluvial con poca vegetación y que hoy tiene construcciones civiles que en general no rebasan los diez metros de altura. En este municipio hay dos estaciones automáticas de monitoreo, una de PM10 y otra de PM2.5, que miden con una alta representatividad a una escala media municipal.

En contraste, está el poniente del valle, el cual presenta densidades poblacionales más bajas (86 hab/ha) (COLMEX, 2001), pero tiene una actividad urbana intensa y una topografía irregular, haciendo que la población se distribuya en lomeríos y pequeños valles intermontanos con flujos irregulares de viento y grandes áreas verdes y naturales entremezcladas con la traza urbana. Ahí se han tenido que ubicar varias estaciones (Lomas, Plateros, Cuajimalpa, Tlalpan, etc.) de escala media municipal y micro escala para medir partículas y gases y lograr una representatividad aceptable.

Las áreas verdes y naturales, como pueden ser cuerpos de agua (presas, lagos, mar o ríos) o áreas desprovistas de vegetación (llanos, campos de cultivo, canchas de fútbol, etc.), pueden amortiguar o aportar contaminantes. Igualmente, pueden aislar zonas urbanas donde sea necesario colocar estaciones especiales de medición.



Las estaciones pueden ser fijas o móviles, existiendo la posibilidad de ubicar estaciones que operen en sitios fijos con instrumentos móviles de muestreo. Esto último es posible hacerlo cuando se muestrean partículas o cuando se emplean monitores pasivos. Las estaciones o unidades móviles son por lo general camiones o casetas remolcables, que cumplen con las mismas características de diseño que las estaciones fijas y se

colocan donde hay condiciones de espacio, seguridad y servicio de energía eléctrica previamente arreglados. Como se mencionó anteriormente, estas unidades móviles tienen un gran potencial de utilización durante el periodo de diseño de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

En general, se puede afirmar que NO existe un número predeterminado de estaciones de medición a instalar por cuenca atmosférica, por contaminante o por población. El número de sitios de muestreo de un sistema de monitoreo atmosférico dependerá de la caracterización que se haga de la cuenca atmosférica y el presupuesto disponible para el operador.

No obstante, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) sugiere la siguiente distribución numérica por tamaño de población y tipo de contaminante:

**Tabla 3**  
**Número propuesto por la OPS**  
**de estaciones de medición de la calidad del aire**  
**en zonas urbanas<sup>1</sup>**

Población urbana millones de habitantes	Partículas	Bióxido de Azufre	Oxidos de Nitrógeno	Oxidantes	Monóxido de Carbono	Estación Meteorológica
<1	2	2	1	1	1	1
1 a 4	5	5	2	2	2	2
4 a 8	8	8	4	3	4	2
> 8	10	10	5	4	5	3

1. Tomado del libro "Introducción al Monitoreo Atmosférico", de A.P. Martínez e Isabelle Romieu, coedición de OPS, GTZ y DDF, 1997, haciendo referencia al libro "Diseño de Programas de Vigilancia del Aire para Zonas Urbanas e Industriales" de la OPS, publicado en 1978.

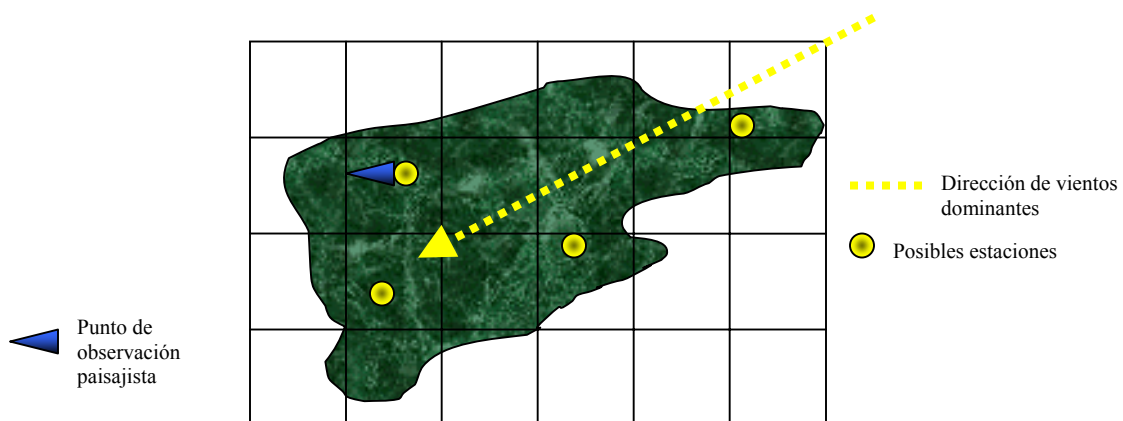
## 2.4.2 Características de Redes de Monitoreo Atmosférico en Áreas Rurales

El número de estaciones en sistemas de monitoreo atmosférico que tienen como punto focal de interés un área natural protegida o un área no urbanizada donde exista algún recurso o actividad productiva de interés nacional o local, depende de los siguientes factores críticos:

- Extensión del ecosistema natural o inducido a vigilar
- Densidad del recurso de interés
- Meteorología dominante en el ecosistema a vigilar
- Condiciones de frontera de la cuenca o parcela atmosférica

Para determinar el número de estaciones y su ubicación, es recomendable realizar una aproximación utilizando una retícula sobrepuesta al ecosistema o territorio de interés. Las cuadrículas pueden formarse con líneas equidistantes cada 1, 5 o 10 kilómetros dependiendo de la escala de representatividad deseada, en función de los factores críticos listados.

**Figura 2**  
**Retícula de aproximación a la selección de sitios de monitoreo en sistemas rurales**



La retícula puede ayudar en los estudios preliminares para caracterizar la cuenca atmosférica, de tal forma que en cada intersección de la retícula o en el centro de cada cuadrado se coloquen monitores prospectivos de distintos contaminantes. En áreas no urbanizadas no es obligatorio medir parámetros con instrumentos normalizados, no obstante, es importante hacerlo en algunas de las estaciones empleadas durante las campañas de medición preliminares y en las redes finales de medición, para correlacionar datos con la contaminación de origen antropogénico que recibe el ecosistema.

Las estaciones pueden distribuirse a criterio del diseñador de las redes de monitoreo teniendo en consideración la naturaleza del parámetro a medir. Tratándose de contaminantes secundarios, es importante medir en el eje marcado por los vientos dominantes, viento abajo y viento arriba, para estimar el impacto y transformación de los mismos a su paso por el ecosistema. Tratándose de parámetros que afectan la visibilidad, es necesario ubicar el sitio de muestreo en concordancia con los puntos de observación del paisaje que sean de mayor interés al sector turismo.

Si las redes de medición tienen como objetivo medir fenómenos de deposición ácida, es necesario que la distancia entre las estaciones permita obtener la suficiente información para procesar los datos cartográficamente. El espaciamiento excesivo puede restar representatividad, un espaciamiento reducido puede crear redundancia y desperdicio de recursos.



### 2.4.3 Características del Predio para colocar la Estación

Una vez que haya sido seleccionado el sitio de muestreo, es necesario ubicar el predio exacto donde se instalará la estación o caseta de medición. El predio tiene que cumplir con los siguientes atributos generales:

- **Accesibilidad.** El predio debe ser de fácil acceso vial, hay que evitar calles estrechas, inseguras, sin pavimentar o de acceso controlado por vecinos, empresas o grupos no institucionales o de gobierno, además de que se pueda asistir a cualquier día y hora.
- **Seguridad.** La estación debe de estar ubicada en un predio cercado, preferentemente dentro de una escuela, centro de salud, oficina gubernamental o cualquier otra edificación o terreno operado de manera continua con personal de vigilancia. No es conveniente ubicar estaciones en predios comunitarios sin barda perimetral como pueden ser camellones, parques urbanos, plazas públicas, etc., este tipo de predios están expuestos a vandalismo.
- **Servicios.** El predio debe de contar con todos los servicios, a saber: agua entubada, drenaje sanitario y pluvial, electricidad, recolección de basura y líneas telefónicas.



***Estación ubicada en un predio dentro de una escuela***

Los instrumentos de medición pueden instalarse en el interior de una caseta (*shelter*) a ubicar en el piso o en una azotea, o pueden ubicarse en un cuarto u

oficina de algún edificio o construcción dentro del predio. Esta última opción no es recomendable, no obstante es posible y puede ocurrir si existe una restricción presupuestal para adquirir casetas de monitoreo.



***Instrumentos de medición sobre una azotea***

No deben de existir obstrucciones o actividades que alteren la muestra a tomar de aire o el libre flujo de los vientos. Las siguientes restricciones son obligatorias:

- Ninguna obstrucción en un radio de 20 metros alrededor de la estación, tomando como punto de referencia la toma o las tomas de muestra. Si la toma de muestra se hace a través de una ventana de un edificio, esta restricción aplica para los 180° de visibilidad de la misma. Se entiende por obstrucción cualquier edificación, árbol o estructura física sólida que esté por arriba de la altura de la toma de muestra.
- Ninguna toma o desfogue (inyección o extracción) de aire de ventilación o sistemas de calefacción o aire acondicionado en un radio de 20 metros alrededor de la estación, tomando como punto de referencia la toma o las tomas de muestra.



***Estación Obstruida por Vegetación***

- Las siguientes actividades son incompatibles con la ubicación de la caseta en un radio de 100 metros alrededor de la estación:
  - Gasolinerías, gaseras, gaserías o cualquier instalación de distribución o venta de combustibles
  - Chimeneas o fuentes fijas de combustión, en especial calderas, plantas emergentes de energía eléctrica, hornos e incineradores
  - Canchas deportivas al aire libre, con o sin recubrimiento de cemento, arcilla, pasto o cualquier otro material
  - Industrias o talleres donde se apliquen pinturas o solventes o se emitan de manera directa gases o partículas de procesos productivos
  - Rellenos sanitarios, estaciones de transferencia de residuos sólidos o peligrosos, tiraderos a cielo abierto o depósitos de materiales reciclables
  - Cuerpos de agua
  - Áreas o vialidades desprovistas de vegetación o recubrimiento
  - Edificios o estructuras que rebasen el doble de la altura de la toma de muestra o cuya forma arquitectónica impida el libre paso del viento

Además, es necesario evitar que en los alrededores inmediatos de las estaciones se lleven a cabo las siguientes actividades. Si éstas son inevitables

por razones de mantenimiento, los datos deben ser marcados y eventualmente invalidados. Estas actividades son:

- Impermeabilización de azoteas, en especial cuando la caseta o las tomas de muestra están en esas azoteas
- Quema de madera, pasto, ramas o restos de vegetación por trabajos de jardinería
- Aplicación de pintura o recubrimientos arquitectónicos donde se empleen solventes o hidrocarburos volátiles
- Demoliciones
- Fogatas, “barbecue”, asaderos de comida al aire libre o explosión de fuegos artificiales
- Soldadura por métodos eléctricos.

Es necesario que las estaciones de monitoreo NO se ubiquen en las inmediaciones o a menos de 100 metros de los siguientes lugares de concentración de vehículos e instalaciones viales y de transporte:

- Terminales y paraderos de despacho de taxis, microbuses o autobuses
- Semáforos
- Casetas de peaje o de pesaje de camiones de carga
- Estacionamientos, en especial, entradas o salidas de los mismos
- Sitios de carga y descarga de materiales o productos de consumo
- Calles o avenidas con pendiente pronunciadas, mayor de 15%
- Intersecciones conflictivas, salidas y entradas de vialidades confinadas
- Escuelas, fábricas y oficinas con intenso tránsito vehicular en los horarios de entrada y salida de estudiantes, trabajadores o empleados

Las estaciones de monitoreo deben de ubicarse a una distancia prudente de fuentes lineales de contaminación como son vialidades, puentes, carreteras o líneas de ferrocarril. La magnitud del flujo de vehículos y la naturaleza de los vehículos que por ahí circulen (a gasolina, diesel, gas LP, etc.) es un factor importante a considerar. En la siguiente tabla se especifican las distancias recomendadas por la USA-EPA.

**Tabla 4\***  
**Distancia recomendada por la USA-EPA**  
**de separación mínima entre la toma de muestra**  
**y las calles o avenidas con tránsito vehicular**

Calles o avenidas con tránsito diario de vehículos por día	Distancia de separación mínima en metros entre las calles/avenidas y las tomas de muestra en varias escalas.					
	O3 Urbana	NO2 Urbana	CO Urbana	Pb		
				Micro	Media	Urb./Reg.
≤ 10,000	10	10	10	5-15	>15-50	>50
15,000	20	20	25	5-15		
20,000	30	30	45	5-15	>15-75	>75
30,000			80			
≥ 40,000					>15-100	>100
40,000	50	50	115			
50,000			135			
≥ 60,000			150			
70,000	100	100				
≥ 110,000	250	250				

\*Code of Federal Regulations. Title 40-Protection of Environment. Part 58-Ambient Air Quality Surveillance

### 3. CASETAS DE MONITOREO E INSTALACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Una vez seleccionado el predio donde se ubicará la estación de monitoreo y los parámetros a medir, es necesario seleccionar una caseta que pueda albergar el mayor número de instrumentos de medición posibles. Y que se considere espacio para equipos adicionales a futuro.

#### 3.1 Características constructivas y funcionales

Las casetas ya se fabrican comercialmente y son vendidas o distribuidas en México por fabricantes nacionales y extranjeros. En general, las casetas deben tener las siguientes características:

- ✓ **Autocontenidas.** Las casetas deben de estar diseñadas para contener en sí mismas todo el instrumental típico de muestreo, dentro o en el techo de la misma. Asimismo, deben tener las provisiones necesarias para conectar todos los suministros de energía eléctrica, aire, agua o gas
- ✓ **Ergonómicas.** Los espacios internos y accesos externos, con o sin equipo, deben permitir el libre movimiento de los operarios y no tener estructuras que puedan representar riesgos a su salud.
- ✓ **Adaptables.** El diseño debe de permitir adaptaciones en la colocación de estantes, escritorios, zonas de resguardo para gases de calibración, ubicación de tomas de muestra, entre otros dispositivos.
- ✓ **Aisladas térmicamente.** La estructura total de la caseta debe estar aislada para controlar



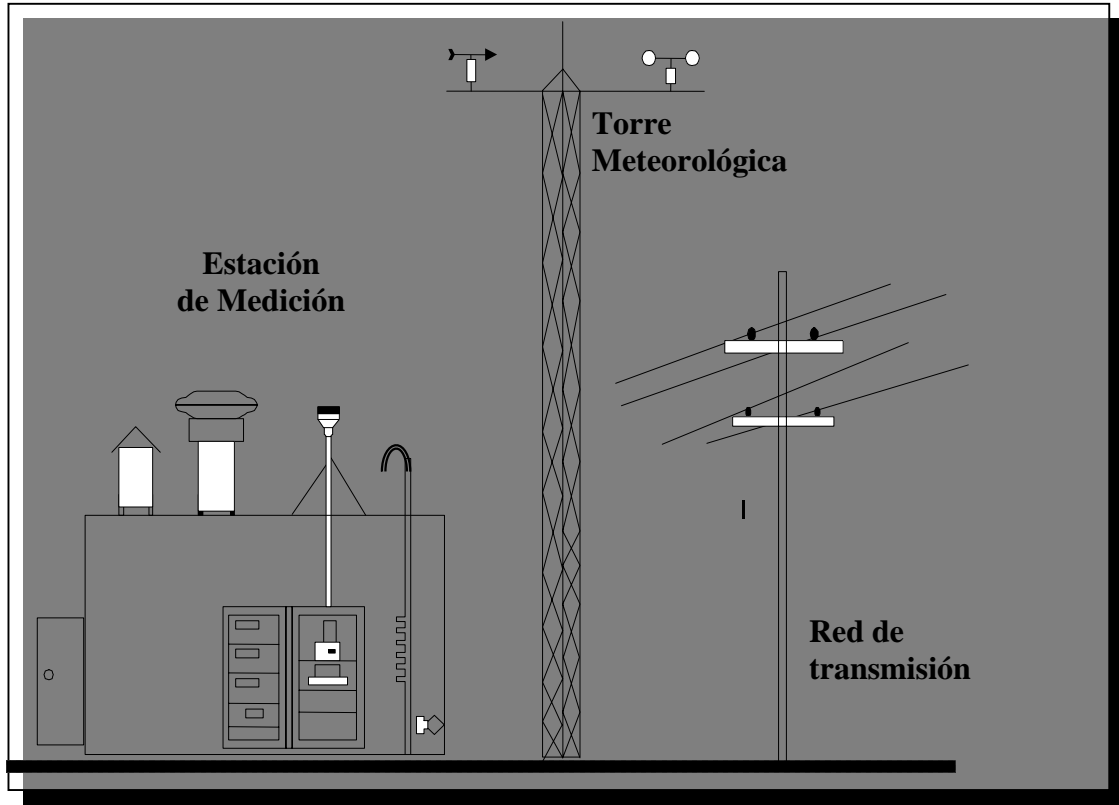
Caseta

la temperatura interna, de manera asistida, entre 18 y 30 grados centígrados.

- ✓ **Resistentes.** Los materiales de construcción deben ser resistentes al impacto y la oxidación, preferentemente de acero y aluminio.
- ✓ **Removibles.** Las casetas deben ser removibles en una sola pieza, con excepción de las escaleras externas de acceso, si es que éstas se necesitan.
- ✓ **Modulares.** Las casetas deben permitir, en sus estructuras internas y externas, la ampliación modular para la colocación de nuevos instrumentos de medición.
- ✓ **Herméticas.** La hermeticidad interna es importante para no emitir ruido al exterior o a las diferentes áreas internas de la caseta.

*Caseta*

**Figura 3**  
**Arreglo Típico de una Estación de Monitoreo Atmosférico**



En la figura 4 se muestra el arreglo interno típico de una caseta de monitoreo atmosférico (Lacy, 2001), donde se identifican tres áreas que de preferencia deben estar divididas por paredes aisladas y comunicadas entre sí mediante puertas, estas áreas son:

1. **Área de Instrumentos de Medición.** En esta área se colocan comúnmente los estantes modulares (*racks*) donde van colocados los analizadores de gases y muestreadores de partículas. Igualmente, en esta área se coloca el dispositivo de distribución de aire (*manifold*) de la toma de muestra. Esta área debe estar aclimatada y mantener una temperatura interna en un rango de 20 a 30 °C con una variación máxima de +/- 2 °C. Si la temperatura interna de esta área se sale del rango señalado, los datos de obtenidos por los monitores de contaminación deben de “abanderarse” para su posterior validación.





Estante o "Rack" de colocación de instrumentos de medición, metálico y con rieles de desplazamiento para facilitar el montaje y el mantenimiento *in situ*

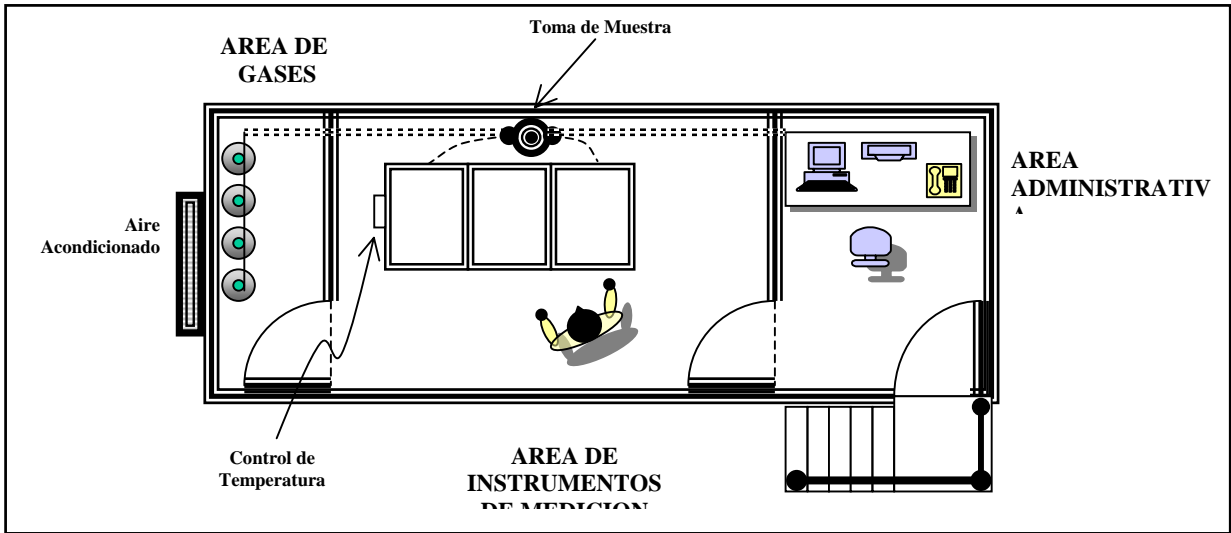
2. **Área de Tanques Presurizados.** Es necesario que exista un espacio donde se coloquen los tanques presurizados que contienen los gases de calibración y la muestra de "aire cero" en caso de que no se cuente con generador de aire limpio. Los tanques deben sujetarse con cadenas o con estructuras que eviten su desplazamiento, rodaje o caída, para evitar el degüello o daño de la válvula de control y medidor de flujo.
3. **Área de Recepción.** El personal operativo de mantenimiento debe de ingresar a la caseta en esta área y ahí realizar sus labores administrativas como revisar y bajar las bases de datos, elaborar la bitácora de mantenimiento o comunicarse con el Centro de Cómputo. Para realizar estas tareas, el área debe estar equipada con un escritorio, archiveros, computadora de respaldo de datos y un teléfono, entre otros dispositivos y mobiliario posibles. Como esta área es de mayor uso, es recomendable que en lugares con climas extremos, esté separada y aislada del área de instrumentos para mantener su temperatura.



Estación de Monitoreo en la ciudad de Monterrey

Figura 4

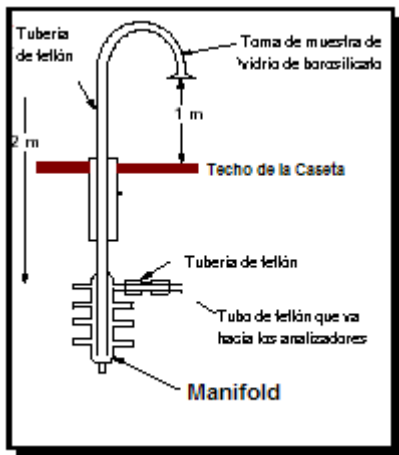
Arreglo Interno Ideal de una Caseta de Monitoreo Atmosférico



3.2 Toma de muestra

La toma de muestra en una estación de monitoreo es el dispositivo crítico de control de la representatividad de la estación. La muestra de aire ambiente no debe ser alterada durante su trayectoria del exterior al interior de los instrumentos de medición, además, debe tomarse preferentemente de una masa de aire que sea la que la población respira.

Figura 5



Existen muchas formas y arreglos para la toma de muestra, en la ilustración anexa (Figura 5) se muestra la más común, sobresaliendo de la Caseta de Monitoreo por el techo y en la cual se emplea tubería de teflón y vidrio de borosilicato para sus partes componentes. En las fotografías siguientes se muestran los arreglos más usados y comunes de colocación del "manifold" o distribuidor de la muestra de aire, dentro de la caseta, que conduce a la muestra de aire hasta los analizadores de gases, mediante mangueras de teflón inertes. El manifold puede colocarse de forma horizontal o vertical, aunque por cuestión de

seguridad se recomienda el horizontal ya que existe menos riesgo de romperse accidentalmente.



**Figura 6**  
**Manifold Vertical**  
**con aislamiento térmico**



**Figura 7**  
**Manifold Horizontal**  
**sin aislamiento térmico**

Los muestreadores automáticos de partículas requieren de una toma exclusiva, vertical, corta y directa al instrumento para evitar pérdidas del material particulado a coleccionar. A continuación se ilustra en fotografía el arreglo típico de los muestreadores de PM10.



**Figura 8**  
**Toma de muestra**  
**de un analizador automático de partículas**

Como puede observarse en las fotografías anteriores, la muestra de aire se toma a través de una instalación independiente dentro del arreglo general de los instrumentos de la caseta. La toma de muestra debe cumplir con las siguientes características, propiedades y parámetros de operación:

- **Inerte.** Todos los materiales de la instalación para tomar la muestra de aire deben ser inertes, de preferencia transparentes para facilitar la visualización de su limpieza y funcionamiento, pudiendo utilizarse vidrio Pyrex, Teflón o acero inoxidable, entre otros. Es requisito indispensable que la muestra de aire se mantenga lo más inalterada posible, química y físicamente, por ese motivo, la instalación tubular de la toma de muestra también debe estar aislada para evitar un choque térmico entre el exterior y el interior de la caseta.
- **Externa y Segura.** La toma de muestra debe ubicarse en la parte externa superior de la caseta, ser rígida y sobresalir del techo a un metro de distancia como mínimo. La muestra a tomar debe ser únicamente de aire, evitando la penetración de agua o cualquier material extraño a los analizadores de gases; para eso, la toma debe realizarse a través de un tubo doblado en “u”, con media vuelta, que termine en un cono invertido.
- **Segregación de humedad y sólidos pesados.** La toma de muestra del techo debe conectarse a un tubo que penetre verticalmente a la caseta, conduzca el aire mediante una conexión en “T” hacia un tubo distribuidor de múltiples salidas (*manifold*) y termine en un recipiente que reciba por gravedad la humedad remanente o cualquier material sólido extraño.
- **Distribución múltiple de la muestra de aire y gases de calibración.** El *manifold* debe ser de vidrio transparente, distribuir la muestra de aire o los gases de calibración a los analizadores de gases. Puede colocarse horizontal o verticalmente y ser modular, dependiendo del espacio disponible en la caseta y el arreglo y número de los instrumentos que se desee conectar. Se recomienda conectar los analizadores para O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> en los puertos más cercanos.
- **Flujo controlado e inducido.** La muestra de aire, que pasa a través del arreglo descrito, debe de inducirse y controlarse con una bomba de aire o soplador que opere en un rango de flujos de 85 a 140 litros por minuto. La muestra de aire debe circular del exterior al interior de los analizadores de gases en un tiempo no mayor de 10 segundos, a este tiempo se le denomina *tiempo de residencia* (EPA,1998).

### 3.2.1 Determinación del tiempo de residencia

El tiempo de residencia de la muestra de aire en la tubería y el *manifold* que la conduce a los analizadores es un factor crítico que debe controlarse.

De acuerdo con los registros realizados por la USA-EPA, un gas reactivo como el ozono presenta pérdidas insignificantes cuando su tiempo de residencia o de paso por una tubería de 13 milímetros de diámetro es menor a 10 segundos. Arriba de 20 segundos las pérdidas son detectables y cuando el tiempo de residencia es mayor a 60 segundos, la pérdida es total.

El cálculo del tiempo de residencia se realiza a través de la división del volumen total de todos los tubos, el *manifold* y las trampas de humedad, sobre el flujo de aire que logra la bomba o el soplador. El flujo debe ajustarse a un tiempo menor a 10 segundos como se indicó anteriormente.

Las fórmulas para calcular el tiempo de residencia  $T_R$  en minutos de una muestra de aire a través de la instalación de toma de muestra, son las siguientes:

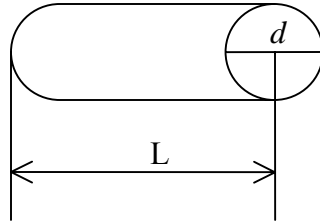
$$T_R \text{ en minutos} = \frac{V_T \text{ volumen total de los dispositivos de la toma de muestra en litros}}{F_B \text{ flujo de la bomba en litros por minuto}}$$

$$V_T = V_t + V_m + V_d$$

**Donde**  $V_t$  = Volumen de todas las tuberías  
 $V_m$  = Volumen del *manifold*  
 $V_d$  = Volumen de todos los dispositivos adicionales  
como son las trampas de humedad

El volumen de cada tubo se calcula de la manera siguiente:

$$V_t = \pi (d/2)L$$



Donde  $\pi = 3.1416$

L= longitud del tubo

d = diámetro del tubo

Se debe de incluir el volumen de los tubos de la toma de muestra y los tubos del *manifold* a los analizadores de gases así como los tubos internos de éstos.

### 3.2.2 Altura de la tomas de muestra

Para cada contaminante hay una altura determinada o permitida para ubicar la toma de muestra, dependiendo de la escala de representatividad de la estación donde se esté midiendo. En la siguiente Tabla 5 se muestran los rangos de las alturas aceptables.

En la práctica, todos los gases contaminantes se pueden medir mediante una sola toma, por lo que las tomas en cada sitio tienden a ubicarse a la misma altura.

En estaciones ubicadas en el cañón de la calle, donde los contaminantes de interés son los provenientes de vehículos automotores, se puede ubicar la toma de muestra a una altura de 2 metros, que puede tomarse como la media entre el escape a nivel de piso (30 cm. aprox.) de un auto particular tipo sedán y el escape de chimenea de un autobús o camión (3 metros aprox).

**Tabla 5**  
**Altura de Ubicación de las Tomas de Muestra\***

<b>Contaminante</b>	<b>Escala</b>	<b>Altura desde el piso hasta la toma de muestra (metros)</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	Todas	3-15
<b>CO</b>	Puntual y Micro Medias	2±0.5 3-15
<b>O<sub>3</sub></b>	Todas	3-15
<b>Precursores de Ozono</b>	Todas	3-15
<b>NO<sub>2</sub></b>	Todas	3-15
<b>Pb</b>	Puntual y Micro Medias, urbana y regional	2-7 2-15
<b>PM<sub>10</sub></b>	Puntual y Micro Medias, urbana y regional	2-7 2-15
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	Puntual y Micro Medias, urbana y regional	2-7 2-15

\*(Martínez, 1997),(EPA, 1998) (WHO, 1977)

Las partículas se colectan con muestreadores independientes que poseen su propia toma de muestra. En general, se recomienda colocar los muestreadores de PM<sub>10</sub> y Pb, a una distancia de 2 a 4 metros de separación entre cada muestreador si son diferentes y para colocar muestreadores de PM<sub>2.5</sub>, debe haber una distancia de 1 a 4 metros de separación entre cada muestreador cuando éstos sean colocados en el techo de la caseta o fuera de ella.

Los parámetros meteorológicos se miden en instrumentos dispuestos en dos alturas distintas. Los medidores de dirección y velocidad de viento deben de ubicarse en la cima de una torre cuyas alturas pueden variar de 10 a 25 metros, dependiendo de la ubicación de la base; mientras que los muestreadores pluviales y los medidores de radiación ultravioleta pueden ubicarse en el techo mismo de la caseta de monitoreo.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Calder, K.L. (1975). *Objective Procedures for Optimum Location of Air Pollution Observation Stations*. EPA-650/4-75-005.
2. Code of Federal Regulations. *Title 40-Protection of Environment*. Part 58-Ambient Air Quality Surveillance.
3. Colegio de México (2001). *La Ciudad de México en el fin segundo milenio*. Colegio de México.
4. Couling, Suzanne. (1993). *Measurement of Airborne Pollutants*. Warren Spring Laboratory. Butterworth-Heinemann Ltd.
5. Environment Protection Agency, USA. (1998). *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurements Systems*. EPA-454/R-98-004.
6. Instituto Mexicano del Petróleo. (1998). *Investigación sobre Materia Particulada y Deterioro Atmosférico*. Subdirección de Protección Ambiental.
7. Korc, M. (2001). *Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire*. Adaptado del manual de auto-instrucción "SI:049 Basic air pollution meteorology course U.S. EPA", CEPIS.
8. Lacy, Rodolfo. (2001). *Diseño de la Red de Monitoreo de la Ciudad de Lima, Perú. Reporte Final del Estudio de Saturación*. COSUDE.
9. Martínez, A; Romieu, I.(1997). *Introducción al Monitoreo Atmosférico*. coedición OPS-GTZ-DDF, Hemes Impresores, 1er edición,. México.
10. Molina, Mario. (2002). *Air Quality in the Mexico Megacity*. Kluwer Academic Publishers.
11. Munn, R. E. (1981). *The Design of Air Quality Monitoring Networks*. Macmillan Publishers Ltd.
12. NIWA (1995). National Ambient Air Quality Network Design for New Zealand.
13. Nychka, Douglas. Gilleland, Eric. (1997). *Measuring Air Quality Standards and Spatial Design*. National Center for Atmospheric Research.
14. Sampson, Paul. (2001). *Air Quality Monitoring Network Design Using Pareto Optimality Methods for Multiple Objective Criteria*. NRCSE University of Washington and EPA.
15. U.S. EPA (1987) (Revised 1993). On-Site Meteorological Program Guidance for Regulatory Modeling Applications. EPA-45/4-87-013.
16. WHO (1977). *Air Monitoring Programme; Design for Urban and Industrial Areas*.
17. Wiersma, G. Bruce. (2004) *Environmental Monitoring*. CRC Press.
18. Zimmerman, D. L. (2002). *Optimal Spatial Design*. Encyclopedia of Environmetrics. Wiley, N. Y.



# **DOCUMENTO 4**

***Operación, Mantenimiento y Calibración en  
Sistemas de  
Monitoreo Atmosférico***

# INDICE

CAPITULO	PÁG.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. RECURSOS HUMANOS</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Calificación del Personal</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Capacitación</b>	<b>5</b>
<b>3. OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Monitoreo de gases criterio</b>	<b>6</b>
<i>3.1.1 Especificaciones de Funcionamiento de los Analizadores</i>	<i>6</i>
<i>3.1.2 Principios de Operación de los Analizadores de Gases</i>	<i>9</i>
<b>3.2 Muestreo y/o Monitoreo de Partículas</b>	<b>15</b>
<i>3.2.1. Muestreadores manuales de PST y PM<sub>10</sub></i>	<i>16</i>
<i>3.2.2 Métodos semicontínuos o continuos</i>	<i>18</i>
<b>3.3 Arranque, estabilización y calibración inicial in situ de equipos</b>	<b>19</b>
<b>3.4 Procedimientos operativos (POs)</b>	<b>22</b>
<i>3.4.1 Elaboración de Procedimientos Operativos</i>	<i>23</i>
<b>4. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Mantenimiento Preventivo</b>	<b>28</b>
<b>4.2 Conservación General de Inmuebles</b>	<b>29</b>
<b>4.3 Centro de Cómputo</b>	<b>30</b>
<b>4.4 Software</b>	<b>31</b>
<b>4.5 Inventario de Equipos y Listas de partes</b>	<b>31</b>
<b>4.6 Almacenes de Refacciones y Equipos</b>	<b>34</b>
<b>4.7 Estaciones de Monitoreo</b>	<b>35</b>
<i>4.7.1 Bitácora de la Estación</i>	<i>37</i>
<i>4.7.2 Visita a Sitio (Documentos)</i>	<i>37</i>
<b>4.8 Mantenimiento Preventivo de Analizadores e Instrumentos</b>	<b>43</b>

<b>5. PROGRAMAS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS</b>	50
<b>5.1. Aspectos Generales</b>	50
<b>5.2. Laboratorio de transferencias de estándares</b>	51
<b>5.3. Certificación de Estándares de Transferencia</b>	54
<i>5.3.1 Certificación de calibradores de flujo</i>	54
<i>5.3.2 Fotómetros</i>	58
<b>5.4 Gases de calibración</b>	59
<b>5.5 Calibración de Calibradores Dinámicos</b>	62
<i>5.5.1 Procedimiento de calibración</i>	62
<b>5.6 Calibración de Analizadores</b>	70
<i>5.6.2 Calibración del Cero y Span</i>	76
<i>5.6.3 Verificación automático del Cero y el Span</i>	77
<b>5.7 Calibración de sensores meteorológicos</b>	78
<b>5.8 Frecuencia de la calibración y ajuste del analizador</b>	79
<b>5.9 Validación de Datos a partir de la información de Calibración</b>	80
<b>6. SEGURIDAD Y PLANES DE EMERGENCIA</b>	82
<b>6.1 Seguridad en las instalaciones:</b>	82
<b>6.2 Practicas de seguridad entorno a las instalaciones:</b>	84
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	86

<b>LISTA DE FIGURAS</b>		<b>PAG.</b>
<b>FIG. 2.1</b>	<i>Personal Técnico</i>	<b>4</b>
<b>FIG. 3.1</b>	<i>Principio de Detección IRND simple</i>	<b>9</b>
<b>FIG. 3.2</b>	<i>Principio de Detección IRND de Filtro por Correlación de Gas</i>	<b>10</b>
<b>FIG. 3.3</b>	<i>Principio de Detección de Fluorecencia UV</i>	<b>11</b>
<b>FIG. 3.4</b>	<i>Principio de Detección de Quimiluminiscencia</i>	<b>12</b>
<b>FIG. 3.5a</b>	<i>Principio de Detección de fotometría UV</i>	<b>14</b>
<b>FIG. 3.5b</b>	<i>Principio de Detección de fotometría UV</i>	<b>14</b>
<b>FIG. 3.6</b>	<i>Muestreador de Altos Volúmenes con Cabezal PM<sub>10</sub></i>	<b>17</b>
<b>FIG. 3.7</b>	<i>Componentes Básicos para la elaboración de un Procedimiento Operativo</i>	<b>23</b>
<b>FIG. 4.2</b>	<i>Almacenamiento de analizadores fuera de operación</i>	<b>34</b>
<b>FIG. 4.3</b>	<i>Área de Almacén de Refacciones</i>	<b>34</b>
<b>FIG. 4.4</b>	<i>Equipo de Aire Acondicionado en una Caseta de Monitoreo</i>	<b>36</b>
<b>FIG. 4.5</b>	<i>Revisión y limpieza de un cabezal PM<sub>10</sub></i>	<b>48</b>
<b>FIG. 4.6</b>	<i>Instrumentos meteorológicos en estación de monitoreo de la Ciudad de Guadalajara</i>	<b>49</b>
<b>FIG. 5.1</b>	<i>Múltiple en interior de laboratorio de Transferencia de estándares</i>	<b>52</b>
<b>FIG. 5.2</b>	<i>Kit para calibración de medidores de flujo en las estaciones de monitoreo</i>	<b>55</b>
<b>FIG. 5.3</b>	<i>Calibrador primario marca BROOKS de referencia para calibradores de flujo</i>	<b>55</b>
<b>FIG. 5.4</b>	<i>Arreglo General para Calibradores de Orificio</i>	<b>57</b>
<b>FIG. 5.5</b>	<i>Curva de Calibración para unidades de orificio</i>	<b>58</b>
<b>FIG. 5.6</b>	<i>Certificación contra estándar fotómetro de referencia)</i>	<b>58</b>
<b>FIG. 5.7</b>	<i>Arreglo típico para calibración de un estándar de transferencia de O<sub>3</sub></i>	<b>59</b>
<b>FIG. 5.8</b>	<i>Diagrama para la certificación de gases de calibración. Método de dilución</i>	<b>61</b>
<b>FIG. 5.9</b>	<i>Diagrama para la certificación de gases de calibración. Método sin dilución</i>	<b>61</b>
<b>FIG. 5.10</b>	<i>Diagrama de Calibración de Ozono</i>	<b>64</b>
<b>FIG. 5.11</b>	<i>Carta de control de desfasamiento del cero</i>	<b>78</b>
<b>FIG. 6.1</b>	<i>Tablero de distribución de energía eléctrica en estación de monitoreo</i>	<b>83</b>
<b>FIG. 6.2</b>	<i>Tanques de gases comprimidos en estación de monitoreo sin sujeción</i>	<b>84</b>

<b>LISTA DE TABLAS</b>		<b>PAG.</b>
<b>TABLA 3.1</b>	<i>Especificaciones de Funcionamiento y Principios de Operación y de los analizadores de Gases Criterio</i>	<b>8</b>
<b>TABLA 3.2</b>	<i>Especificaciones y Características de Muestreadores y Analizadores de Partículas</i>	<b>16</b>
<b>TABLA 4.1</b>	<i>Tipo y frecuencia de PMP en Instalaciones Centrales de un SMA</i>	<b>30</b>
<b>TABLA 4.2</b>	<i>Tipo y frecuencia de PMP en Casetas de las estaciones de monitoreo</i>	<b>35</b>
<b>TABLA 4.3</b>	<i>Lista de revisión del operador (Check List) TEMPERATURAS</i>	<b>39</b>
<b>TABLA 4.4</b>	<i>Lista de revisión del operador (Check List). VELOCIDAD HORIZONTAL DE VIENTO</i>	<b>40</b>
<b>TABLA 4.5</b>	<i>Lista de Revisión del operador ANALIZADOR DE OZONO</i>	<b>41</b>
<b>TABLA 4.6</b>	<i>Lista de Revisión del operador ANALIZADOR DE SO<sub>2</sub></i>	<b>43</b>
<b>TABLA 4.7</b>	<i>Programa de Mantenimiento. Analizador de CO Bendix Model 8501-5CA</i>	<b>45</b>
<b>TABLA 5.1</b>	<i>Reporte de calibración arb –sistema de calibración del gas environics 9100</i>	<b>68</b>
<b>TABLA 5.2</b>	<i>ARB reporte de calibracion – sistema de calibración del gas environics</i>	<b>69</b>
<b>TABLA 5.3</b>	<i>Criterios del Calibrador Dinámico</i>	<b>67</b>
<b>TABLA 5.4</b>	<i>Rangos de Concentración típicos para calibraciones Multi punto</i>	<b>70</b>
<b>TABLA 5.5</b>	<i>Formato de registro</i>	<b>74</b>
<b>TABLA 5.6</b>	<i>Formato Tipo de Datos de Calibración para Analizadores de NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub></i>	<b>75</b>
<b>TABLA 5.7</b>	<i>Datos de verificación de la calibración torre meteorológica</i>	<b>79</b>

# 1. INTRODUCCION

La operación de un Sistema de Monitoreo Atmosférico (SMA) implica diversas tareas y actividades coordinadas y realizadas por personal capacitado y entrenado que garantice la correcta medición de los contaminantes atmosféricos y los parámetros meteorológicos; así como la adquisición, almacenamiento y procesamiento de los datos generados.

En este documento se refieren los aspectos mas relevantes de los Programas de calibración y mantenimiento que deben implantarse para garantizar la una operación continua y confiable de un SMA. El presente documento está integrado por seis capítulos:

El capítulo 2 incluye los requerimientos de capacitación y entrenamiento del personal que participa en las actividades de operación, mantenimiento y calibración de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMA's),

En el capítulo 3 se describen los principios de funcionamiento de los analizadores automáticos de gases y de muestreadores y monitores de partículas usados en la medición de las concentraciones de los contaminantes criterio en el aire. También se incluyen criterios para la selección de los equipos y las actividades que se efectúan para su arranque, instalación y operación. En la parte final se refieren consideración básicas para la elaboración de Procedimientos Operativos (PO's) que representan una herramienta esencial en los esquemas de calidad las organizaciones responsables de los Programas de Monitoreo Atmosférico.

En el capítulo 4 se establecen directrices generales y los requisitos mínimos con que deben contar los programas de mantenimiento preventivo (PMP) de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMA's). También se incluyen los aspectos básicos relacionados con: la disponibilidad de partes, refacciones y equipos; la disponibilidad de Instalaciones apropiadas y las características generales de las actividades de supervisión y registro (Bitácoras) que deben documentarse en dichos programas.

En el capítulo 5, se refieren los aspectos generales de los tipos de calibraciones requeridas en este tipo de sistemas, para demostrar la trazabilidad de las mediciones que se realizan, enfatizando en la necesidad de disponer en el país a mediano plazo, de servicios de certificación y verificación de estándares de transferencia

Finalmente en el capítulo 6, se refieren lo aspectos relativos de seguridad y atención a emergencias que también deben ser considerados por los responsables de la operación de los SAMs.

Es importante señalar que las actividades de mantenimiento preventivo y calibración están implícitas a la operación propia de un SMA y que además, como parte integral del Sistema de Gestión de Calidad de los SMA's estas deberán documentarse para demostrar su rastreabilidad.

Asimismo, los Programas de Mantenimiento Preventivo y Calibración deberán ser eficaces en términos de cobertura y temporalidad. La cobertura se refiere a la inclusión integral de la infraestructura del SMA que incluye instalaciones, equipos, instrumentos vehículos etc. Mientras que la temporalidad esta relacionada con la frecuencia en que se programan y ejecutan las diversas actividades de chequeo, revisión sustitución, mantenimiento y calibración para garantizar el cumplimiento con los objetivos de calidad establecidos por la alta dirección.

También debe considerarse que para cierto aspectos críticos dichas frecuencias y otros requisitos específicos podrán obedecer a requerimientos reglamentarios y/o normativos establecidos por las autoridades competentes, los cuales podrán basarse en objetivos y metas de mediano y largo plazo para el fortalecimiento del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), el cual representa un elemento esencial para la Gestión de la Calidad del Aire.

## 2. RECURSOS HUMANOS

Los responsables de la operación de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMAs) deben asegurar la competencia y suficiencia del personal técnico que instale, pruebe, calibre, verifique la operación y dé mantenimiento preventivo y/o correctivo a los analizadores, equipos de muestreo y calibración y demás instrumentos comprendidos en la infraestructura básica de las redes de: monitoreo atmosférico, meteorológica y de adquisición, transmisión y acopio de datos, así como de los laboratorios de apoyo y/o transferencia de estándares.

El personal que realice tareas específicas operación, mantenimiento y/o calibración, procesamiento e interpretación de datos deberá estar calificado sobre la base de formación profesional y/o técnica apropiada, capacitación y/o destreza demostrada, según se requiera.

Como se describe en los documentos 5 y 6 los SMA's dentro de su Sistema de Gestión de Calidad (SGC) deberán contar con políticas y procedimientos de capacitación que incluyan las actividades de Inducción conducentes, para que el personal de nuevo ingreso realice sus primeras tareas con ayuda y bajo una supervisión rigurosa y también se familiaricen y conozcan los procedimientos operativos de Aseguramiento de Calidad relacionados con las funciones y actividades que habrán de desarrollar.

Además de las habilidades, perfil, capacitación, experiencia y conocimiento satisfactorio de los Procedimientos Operativos relacionados con sus actividades, el personal responsable tanto en la supervisión como ejecución de las actividades de rutina de operación, calibración y mantenimiento, en función de su nivel de responsabilidad debe tener:

- El conocimiento comprobado de los principios de operación y funcionamiento de los equipos de muestreo, analizadores, equipos de calibración, entre otros, así como los aspectos prácticos relacionados con su instalación, uso, rutinas de mantenimiento, fallas comunes y componentes críticos.
- Conocimiento general de los conceptos básicos de la contaminación del aire y de las unidades en que se expresan las concentraciones de los contaminantes y su relación con las normas, indicadores y métodos de prueba.
- Un buen entendimiento del significado de desviaciones encontradas respecto al comportamiento normal de contaminantes por ejemplo: la evolución de las curvas de concentración del CO , O<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> a lo largo



del día o bien, los decrementos e incrementos de las concentraciones de partículas durante las temporadas de lluvias y estiaje respectivamente.

- Conocimientos de estadística básica y de los indicadores típicos usados en monitoreo atmosférico para asegurar y controlar la calidad de los datos, tales como: precisión, sesgo, exactitud, representatividad, detectabilidad, comparabilidad e integridad.

De esta manera, el perfil y experiencia del personal técnico de lo SMA's será un factor determinante para la apropiada operación, implementación programas de mantenimiento y calibración y las actividades correspondientes al manejo y evaluación de los datos de calidad del aire.

En las visitas realizadas a la redes automáticas de monitoreo de calidad del aire, se corroboró que no obstante que en la mayoría de los casos se cuenta con un número limitado de personas para cubrir todos los aspectos operacionales de dichos sistemas de monitoreo, un buen número de personas exceden los 4 a 5 años de experiencia y al menos uno participó desde la etapa de instalación y en el arranque del sistema .

**Figura 2.1 Personal Técnico**



Personal técnico del Sistema de Monitoreo Ambiental de la Zona Metropolitana del Monterrey (SIMA). El varón tiene nivel de licenciatura y coordina y participa activamente en los programas de Mantenimiento y Calibración, mientras que la dama es pasante de ingeniería y se hace cargo de Manejo de datos, validación y elaboración de informes diarios de la calidad del aire.

Centro de Computo del SIMA de Monterrey

## **2.1 Calificación del Personal**

Dentro del SGC cada SMA debe de contar con una descripción de los puestos de todo el personal involucrado. El personal asignado a actividades de muestreo de calidad del aire debe cumplir con los requerimientos establecidos para su puesto con respeto a perfil, experiencia laboral, responsabilidades y calificaciones personales.

La plantilla de personal de un SMA deberá estar conformada por un grupo interdisciplinario que incluya Ingenieros y técnicos: ambientales, químicos, electrónicos. En sistemas de monitoreo atmosférico operados en Zonas metropolitanas tales como Cd. de México, Guadalajara y Monterrey podrán también requerirse especialistas en meteorología para fines de pronóstico de calidad del aire. Los registros de calificación del personal y su capacitación deben ser mantenidos y estar accesibles para cualquier proceso de revisión o auditoría y de acuerdo al procedimiento de control de documentos establecido dentro del Sistema de Gestión de Calidad.

## **2.2 Capacitación**

Cada SMA debe establecer un Programa de Capacitación Anual que conlleve al fortalecimiento profesional y actualización de su personal en los diversos temas relacionados con el monitoreo de calidad del aire y los correspondientes a la gestión de calidad. La capacitación para cada puesto debe programarse con base a la identificación necesidades del personal y con metas de cobertura previamente definidas indicando la frecuencia de capacitación deseables. La capacitación puede ser externa o interna e impartirse a través de: cursos formales, talleres, conferencias (pueden ser virtuales) y entrenamiento en el sitio de trabajo.

Entre los cursos de capacitación con que deben contar el personal de lo Sistemas de Monitoreo atmosférico se recomiendan entre otros temas:

- Conocimientos generales sobre contaminación ambiental
- Unidades y conversiones usadas en Contaminación del Aire
- Control de la contaminación
- Principios y practicas de control de la contaminación del aire
- Introducción al monitoreo del aire ambiente
- Aseguramiento y control de calidad para sistemas de monitoreo atmosférico
- Muestreo y monitoreo atmosférico
- Métodos analíticos para estándares de la calidad del aire
- Metrología básica ( Trazabilidad, estadística , incertidumbre, etc.)
- Evaluación de la calidad de los datos
- Auditorías Técnicas del Sistema y Auditorías de Funcionamiento

### **3. OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO**

Salvo las excepciones específicas que se pueden presentar en el caso de México por falta de actualización de los reglamentos y normas, los métodos de monitoreo usados deberán ser los emitidos como métodos de referencia o equivalentes a través de las normas mexicanas.

#### **3.1 Monitoreo de gases criterio**

##### **3.1.1 Especificaciones de Funcionamiento de los Analizadores**

En la práctica los sistemas de monitoreo que operan en México, efectúan la medición de los contaminantes criterio a partir de los métodos de referencia para los casos de CO y NO<sub>2</sub> ( NO<sub>x</sub>) y de los métodos equivalentes para el O<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub>. Para el caso de estos gases dicha categorización es aplicable tanto en México como USA.

En la tabla 3.1 se indican las especificaciones mínimas de desempeño monitores establecidas por la *USEPA*. Siendo importante referir que las nuevas generaciones de monitores cumplen sobradamente con dichos criterios de desempeño, también se incluyen los principios de detección de analizadores de contaminantes gaseosos cuya discusión se realiza en el siguiente apartado.

Dichas especificaciones generales de desempeño de los analizadores continuos de monitoreo del aire son definidas de la siguiente manera:

a) *Limite Mínimo de Detección.*

Es la concentración mas baja que puede detectar el analizador con confianza. Se define como el doble del nivel del ruido del analizador.

b) *Precisión*

Es el grado de variación de la respuesta del analizador respecto a la media de una serie de mediciones repetidas a un mismo valor de concentración, expresado como la desviación estándar respecto a la media.

c) *Linealidad*

Es la desviación máxima entre la respuesta actual del analizador y la respuesta de salida preestablecida por la regresión lineal (mínimos cuadrados) de las lecturas actuales.

d) *Desplazamiento del cero (Zero drift)*

Es el cambio de la respuesta de salida del analizador a una concentración de cero constante en un periodo de operación continua sin realizar ajustes.

e) *Desplazamiento del Span*

Es el cambio en porcentaje de la respuesta de salida del analizador a escala completa a una concentración conocida del contaminante en un periodo de operación continua sin realizar ajustes.

f) *Ruido*

Son las desviaciones espontáneas de corta duración en la salida del analizador en relación a la media, las cuales no son causadas por cambios en la concentración de entrada.

g) *Tiempo de respuesta*

Es el tiempo que transcurre a partir del primer cambio observable en la respuesta del analizador y la lectura al 95% de la concentración de prueba en forma estable.

h) *Rango de Temperaturas de Operación*

Son las temperaturas ambiente máxima y mínima en el entorno del analizador a las que puede operar sin cambios significativos en su respuesta o funcionamiento.

**Tabla 3.1 Especificaciones de Funcionamiento y Principios de Operación y de los analizadores de Gases Criterio**

Especificación Técnica	Contaminante			
	Monóxido de Carbono MÉTODO DE REFERENCIA	Ozono MÉTODO DE EQUIVALENTE	Óxidos de Nitrógeno MÉTODO DE REFERENCIA	Bióxido de Azufre MÉTODO EQUIVALENTE
Principio de Detección	Infrarrojo Correlación de filtro de gas	Fotometría UV	Quimiluminiscencia	Fluorescencia UV
Límite de Detección	0.1 ppm	0.002 ppm	0.005 ppm	0.002 ppm
Precisión	+/- 0.1 ppm	+/- 0.002 ppm	+/- 0.002 ppm	+/- 0.002 ppm
Linealidad	1.0% EC	1.0% EC	1.0% EC	1.0% EC
Desplazamiento del Cero 24h	+/- 0.2 ppm	+/- 0.002 ppm	+/- 0.002 ppm	+/- 0.002 ppm
Desplazamiento del Span 24h	1.0% EC	1.0% EC	1.0% EC	1.0% EC
Ruido	+/- 0.05 ppm	+/- 0.001 ppm	+/- 0.002 ppm	+/- 0.002 ppm
Tiempo de Respuesta 95%	90 s	90 s	180 s	180 s
Temperatura de Operación (Rango)	10 – 40 °C	10 – 40 °C	10 – 40 °C	10 – 40 °C
Rango de Humedad	100%	100%	100%	100%
Tiempo máximo De Ciclo	1.0 min.	1.0 min.	3.0 min.	3.0 min.
Voltaje	105 – 115 VCA/60 HZ	105 – 115 VCA/60 HZ	105 – 115 VCA/60 HZ	105 – 115 VCA/60 HZ

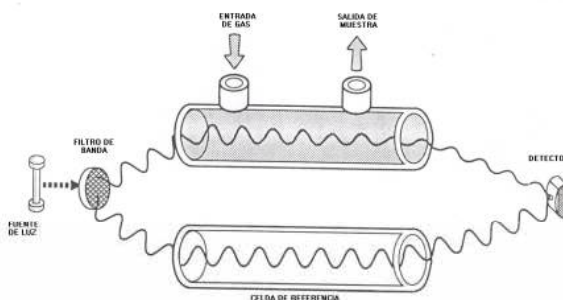
### 3.1.2 Principios de Operación de los Analizadores de Gases

#### Monóxido de carbono (CO)

➤ *Espectrofotometría de Infrarrojo no dispersivo (IRND)*

Estos instrumentos miden la absorción de luz de las moléculas de CO a partir del uso de filtros u otros mecanismos sobre rangos relativamente pequeños de longitudes de onda “bandas” centradas sobre la región de máxima absorción (peaks) de dicho compuesto. En la figura 3.1 se ilustra esquemáticamente los componentes básicos de un analizador IRND tradicional y su principio de funcionamiento. *Jahnke (1993)*

**Figura 3.1** Principio de Detección IRND simple

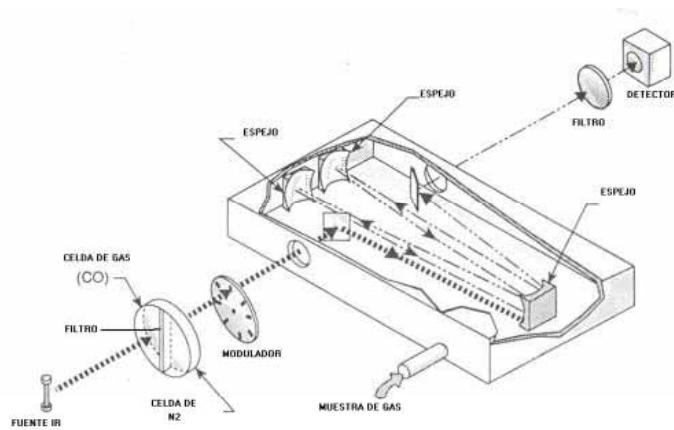


*Modificada de: Jahnke (1993)*

La luz infrarroja es emitida por una lámpara y se transmite a través de dos celdas: una celda de referencia y una celda de muestra. La celda de referencia contiene un gas inerte comúnmente  $N_2$  o  $Ar$ , los cuales no absorben luz IR a la longitud de onda usada en el analizador. De esta manera, conforme el haz de luz infrarroja pasa por la celda de muestra, las moléculas de CO absorben parte de la luz IR por lo que a la salida de la celda se tendrá menos energía que a la entrada y también menos que a la salida de la celda de referencia. Esta diferencia energética entre las dos celdas es medida por algún tipo de detector de estado sólido, la cual es directamente proporcional a la cantidad de CO contenida en la muestra de gas.

Sin embargo, los analizadores de CO más modernos se aplica una variación denominada Filtro por Correlación de Gas cuyo patrón de funcionamiento se muestra en la Figura 3.2.

**Figura 3.2 Principio de Detección IRND de Filtro por Correlación de Gas**



Modificada de: Jahnke (1993)

En este caso, el haz de luz IR pasa por un filtro rotativo integrado por dos celdas, las cuales contienen CO y N<sub>2</sub> para crear el haz de referencia de modo tal que el detector mide la diferencia de amplitud entre la luz absorbida en la celda de muestra y la señal modulada por la alternancia entre los filtros de gas. La señal del detector es procesada y acondicionada por microprocesadores para desplegarla como una lectura de concentración de CO en ppm o ppb.

## Bióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)

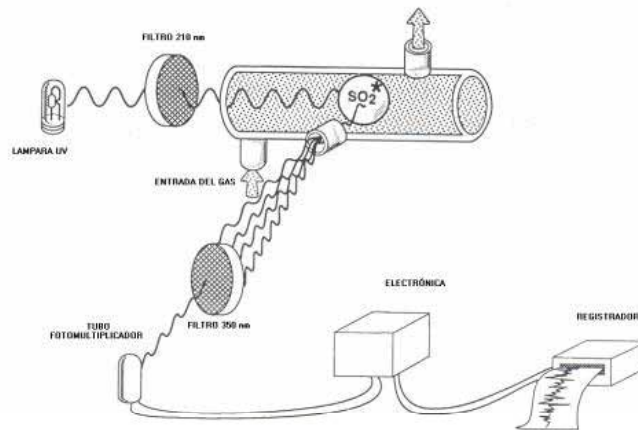
### ➤ El Método de fluorescencia UV.

El principio de funcionamiento de estos analizadores se basa en que las moléculas de SO<sub>2</sub> cuando absorben la luz ultravioleta (UV) a una longitud de onda en el rango de 210 nm entran en un estado instantáneo de excitación para posteriormente decaer a estado de energía inferior emitiendo luz UV de una longitud de onda mayor en el rango de 240 a 410 nm como se indica a continuación:



La intensidad de la luz fluorescente liberada es proporcional a la concentración de SO<sub>2</sub>, Jahnke (1993). Los componentes básicos de un analizador de este tipo se muestran en la Fig 3.3.

**Figura 3.3 Principio de Detección de Fluorecencia UV**



Modificada de: Jahnke (1993)

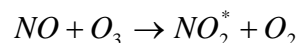
Como se observa la selección de las longitudes de ondas específicas se realiza por medio de filtros de banda tanto de la luz irradiada por la lámpara UV como la luz fluorescente emitida en la cámara, la cual es recibida por un tubo fotoeléctrico (fotomultiplicador) que detecta dicha señal luminosa y la convierte a una señal eléctrica cuya magnitud es directamente proporcional a la concentración de  $SO_2$  contenida en el gas muestreado. *Jahnke (1993)*

En la práctica los equipos comerciales además cuentan con scrubbers para la remoción de hidrocarburos u otros mecanismos para minimizar interferencias.

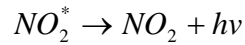
## Óxidos de Nitrógeno ( $NO_x$ )

### ➤ Quimiluminiscencia

Se denomina Quimiluminiscencia la generación de luz a través de una reacción química, los analizadores de  $NO_x$  utilizan este principio a partir de la reacción que tiene lugar entre el óxido nítrico ( $NO$ ) y el ozono ( $O_3$ ), donde se produce una radiación en el rango infrarrojo entre 500 y 3000 nm como se indica en la siguiente reacción:

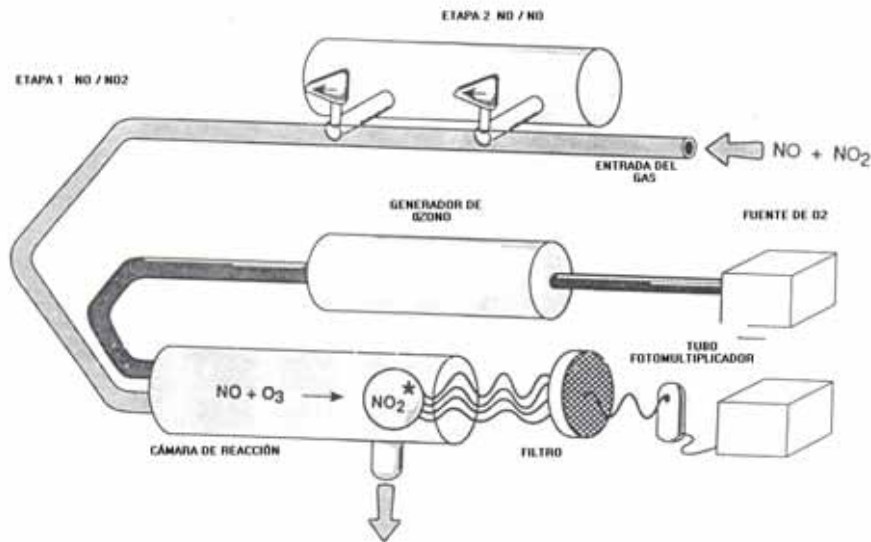






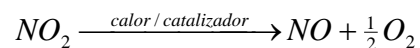
Como se observa el NO en una muestra de aire reaccionará con el O<sub>3</sub>, para generar el dióxido de nitrógeno en su estado excitado (NO<sub>2</sub>\*). Posteriormente cuando el dióxido de nitrógeno generado vuelve al estado inicial, emite la luz quimiluminiscente en una cantidad proporcional a la concentración del NO contenido en la muestra. *Jahnke (1993)*. En la Fig. 3.4, se muestra los componentes básicos de un analizador de NOx.

**Figura 3.4** Principio de Detección de Quimiluminiscencia



Modificada de: *Jahnke (1993)*

Dado que el NO<sub>2</sub> presente en el aire ambiente no participa en la reacción quimiluminiscente los analizadores están provistos de un convertidor donde en forma alternada la muestra de aire es pasada a través de este para reducir (convertir) el dióxido de nitrógeno a NO.



Como se observa en la Fig. 3.4 la generación del  $O_3$  se lleva a cabo por irradiación UV del oxígeno en un tubo de cuarzo. El  $O_3$  se suministra en exceso a la cámara de reacción para asegurar la reacción completa y para minimizar efectos de “quenching”. Jahnke (1993)

La determinación de los  $NO_x$ , se llevaban a cabo en dos etapas. En la primera el  $NO_2$  presente en la muestra no pasa por el convertidor por lo que la concentración detectada corresponde exclusivamente al  $NO$  presente, mientras que en la segunda etapa el  $NO_2$  de la muestra es reducido a  $NO$  en el convertidor y por consiguiente, la concentración detectada corresponde a los  $NO_x$  totales. La determinación del  $NO_2$  se efectúa a partir de la diferencia entre las lecturas registradas.

### **Ozono ( $O_3$ )**

➤ *El Método fotométrico ultravioleta (UV)*

Los analizadores de  $O_3$  emplean la fotometría UV para la medición continua de este contaminante en el aire ambiente, dicho método se basa en medir la cantidad de rayos ultravioleta absorbidos por el  $O_3$  a una longitud de onda de cerca de 254 nm.

Este principio de detección se basa en la Ley de Beer-Lambert la cual establece la relación entre la cantidad de luz absorbida a una longitud de onda específica por una molécula de un gas a una determinada distancia ciertas condiciones de presión y temperatura. La ecuación entre dichos parámetros es como sigue:

$$I = I_0 e^{-\alpha LC} \quad (\text{a CN de } P \text{ y } T)$$

Donde:

$I$  = La intensidad de la luz sin absorción

$I_0$  = La intensidad de la luz con absorción

$\alpha$  = Coeficiente de Absorción del  $O_3$  a determinada longitud de onda

$L$  = Longitud de la Celda o tubo de absorción

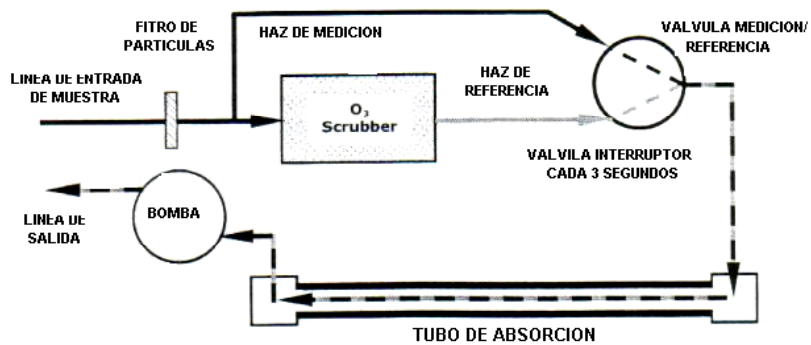
$C$  = concentración del gas absorbente ( $O_3$ )

Despejando la concentración de  $O_3$  (C) en unidades de volumen será como sigue:

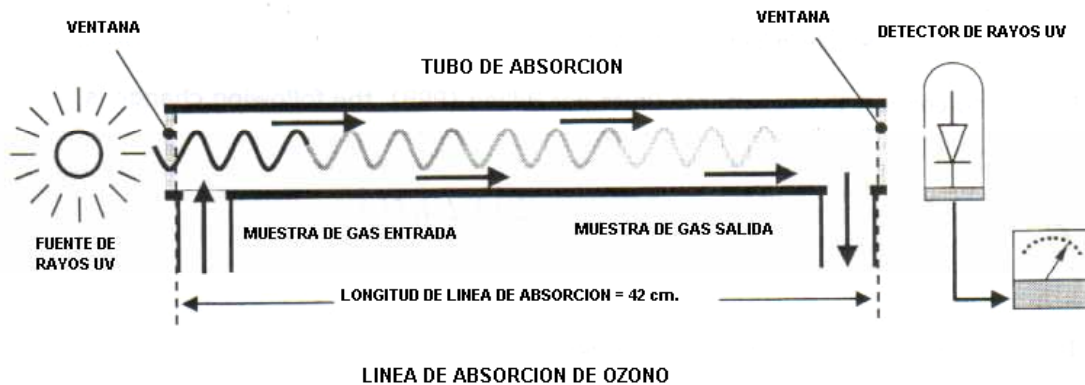
$$O_3 (ppm) = \frac{10^6}{\alpha * L} * \text{Log}_{10} \frac{I_0 * 760 * T}{I * P * 273}$$

En la figura 3.5 a) y b) se muestra un esquema simple del principio de operación y los principales componentes de un analizador UV.

**Figura 3.5a Principio de Detección de fotometría UV**



**Figura 3.5b Principio de Detección de fotometría UV**



Modificadas de: Teledyne Instruments (2002)

Comúnmente los equipos comerciales emplean una lámpara de alta energía de vapor de mercurio para generar el haz de luz UV. El haz pasa por un filtro de un material inerte al  $O_3$  y transparente a la luz UV de 254 nm. Dado que el  $O_3$  absorbe en forma muy eficiente la luz UV la longitud de la cámara requerida puede ser relativamente corta (p.e 40 –42 cm.). Finalmente el haz de luz UV pasa por un filtro similar ubicado en la parte final del tubo de absorción para ser detectado por un diodo al vacío selectivo a dicha longitud de onda cuya intensidad es convertida a una salida de voltaje directamente proporcional a la concentración.

Como se observa en la figura b el analizador a partir de detección alternativa de la intensidad de haz de luz obtenido de la muestra y la intensidad total de referencia proveniente del paso de la muestra por un cartucho para remoción de  $O_3$  (Scrubber), cuyo ciclo en los analizadores moderno tiene una duración de 5 a 6 segundos.

### **3.2 Muestreo y/o Monitoreo de Partículas**

En las redes de monitoreo automático que operan en México se aplican principalmente el método semi continuos de atenuación beta para la evaluación de partículas de  $PM_{10}$  y en algunos casos como en la ZMCM métodos de balanza piezométrica (TEOM).

Por otra parte, existen una cantidad importante de redes manuales que utilizan muestreadores de altos volúmenes para determinación de Partículas Suspendidas totales (PST) y Partículas iguales y menores a 10  $\mu m$  ( $PM_{10}$ ). En este apartado se efectúa la descripción general de dichas técnicas de muestro y/o monitoreo.

Las principales características de las técnicas de evaluación de partículas que se aplican en los sistemas de monitoreo de la calidad del aire se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.2 Especificaciones y Características de Muestreadores y Analizadores de Partículas**

Especificación Técnica	Aerosoles			
	Métodos Manuales		Métodos semi continuos o Continuos	
	Partículas Suspensas Totales (PST) <small>MÉTODO DE REFERENCIA</small>	Partículas Menores A 10um <small>MÉTODO DE REFERENCIA</small>	Atenuación BETA <small>MÉTODO DE EQUIVALENTE</small>	TEOM <small>MÉTODO EQUIVALENTE</small>
Principio de Medición ó Detección	Gravimetría	Gravimetría	Absorción de Radiación Beta	Micro balanza Oscilante
Límite de Detección inferior	2.0 ug/Nm <sup>3</sup>	2.0 ug/Nm <sup>3</sup>	10.0 ug/Nm <sup>3</sup>	2.0 ug/Nm <sup>3</sup>
Precisión	3 a 5%	5 a 7% ppm	3% (24 h)	+/- 0.002 ppm
Flujo manejado	1.1 - 1.7 Nm <sup>3</sup> /min	1.1 Nm <sup>3</sup> /min	18.9 lpm	16.7 lpms
Tiempo de Muestreo	24 h	24 h	Semi continua 1.0 h	Continuo 1 – 3 min

### 3.2.1. Muestreadores manuales de PST y PM<sub>10</sub>

#### a) Partículas Suspensas totales (PST)

El método manual de medición para determinar la concentración de partículas suspensas totales (PST) en el aire ambiente que se ha usado tradicionalmente tanto en USA como en México es de denominado de alto volumen, donde la la concentración de partículas suspensas totales en el aire ambiente es determinada a partir de la determinación gravimétrica de la ganancia en peso de las partículas retenidas en un filtro un fibra de vidrio previamente estabilizado a condiciones de humedad y temperatura controladas.

Los criterios de aceptación establecidos por el método estan relacionados con el flujo de aire manejado a través del mustrador debe ser en el rango de 1.1 y 1.7 m<sup>3</sup>/min y el tiempo de Mustreo debe ser de 24 h +/- 60 minutos.

La concentración de PST en el aire ambiente se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas entre el volumen de aire muestreado corregido a condiciones de referencia y se expresa en microgramos por metro cúbico de aire, p.e.

$$C_{PST} = 190 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$$

La frecuencia tipica de mustreo de estas deteminaciones manuales de Aerosoles es de cada 6 días.

**b) Partículas iguales o menores a 10  $\mu\text{m}$**

Como se mencionó anteriormente, no hay una Norma Mexicana para la determinación referente a las partículas menores a 10 micrómetros ( $\text{PM}_{10}$ ). Sin embargo la determinación manual de estas se se afecta adoptando los criterios del método de referencia de USEPA donde se usa también de un mustreador de altos volúmenes al que se le acopla un cabezal virtual com se debe mantenerse constante en la medidad de lo o posible a  $1.1 \text{ m}^3/\text{min}$  (40 acfm) para lograr condiciones óptimas de corte en la separación virtual de las partículas  $\text{PM}_{10}$  que tiene lugar en el cabezal.

En la Figura 3.6. Se muestra un mustreador típico de alto volumen provisto de su respectivo cabezal y los demás equipos periféricos que lo integran para la inducción de flujo de aire (motor); el registro de flujo y los accesorios para la sujeción del filtro,

**Fig. 3.6 Muestreador de Altos Volúmenes con Cabezal  $\text{PM}_{10}$**



*Fuente: ACGIH (1989)*

Es importante señalar que de las muestras obtenidas de los muestreadores gravimétricos tradicionales es posible efectuar analisis complementarios para la caracterización de los aerosoles, siendo los mas comunes el plomo, sulfatos y los nitratos. Sin embargo dichas evaluaciones analíticas no se estan llevando a cabo en redes en operación sino se efectuan en universidades y centros de investigación.

Existen también en el mercado otros tipos de muestreadores manuales gravimétricos de volumen medio los cuales fueron desarrollados principalmente para la evaluación de las partículas iguales o menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>).

### **3.2.2 Métodos semicontinuos o continuos**

Adicionalmente a los métodos gravimétricos tradicionales, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos reconoce métodos semicontinuos o continuos equivalentes al método de referencia. El semicontinuo es mediante la atenuación de radiación beta. Estos muestreadores tienen la ventaja de que pueden transmitir la información en tiempo real o cercano al tiempo real y su principio de operación se describe a continuación.

#### **a) Método de Atenuación Beta**

El método de atenuación beta para la determinación semi-continua de PM<sub>10</sub> es el de mayor uso en las redes de monitoreo que operan actualmente en el país, en el cual la concentración en masa se obtiene a partir del incremento de la absorción de rayos beta debida a la deposición de partículas en la cinta de papel filtro. Dicha absorción beta se incrementa en proporción directa a la masa de la sustancia cuando su calidad permanece inalterable y un rayo de baja energía es irradiado sobre dicha sustancia.

La relación entre la intensidad del rayo beta transmitido y la masa de partículas esta dada por la siguiente ecuación:

$$I = I_0 \exp(-um/Xm)$$

Donde:

I : Intensidad de la radiación Beta transmitida a través del filtro con partículas

I<sub>0</sub> : Intensidad de la radiación Beta transmitida a través del filtro limpio

um : Coeficiente de Absorción de masa (cm<sup>2</sup>/g)

Xm : Masa de partículas (g/cm<sup>2</sup>)

De esta forma despejando, la masa se calcula como sigue:

$$Xm = 1/um \ln(I_0/I)$$

Donde la concentración es expresada de la siguiente manera:

$$C = S/V \times m \times 10^6 = (S/V) \times (1/\mu m) \times \ln(I_0/I) \times 10^6$$

C : Concentración de PM<sub>10</sub> (ug/m<sup>3</sup>)

S : Área de colección (cm<sup>2</sup>)

V : volumen muestreado a CN (Nm<sup>3</sup>)

**b) Microbalanza Oscilante (TEOM) (Tapered Element Oscillating Microbalance)**

Estos monitores se emplean el principio de oscilación resonante para determinar la masa de partículas PM<sub>10</sub> o PM<sub>2.5</sub> dependiendo el tipo de cabezal de corte utilizado. En estos equipos el aerosol va siendo depositado por impactación en un microfilto (sustrato) colocado sobre el elemento de vidrio muy delgado capaz de vibrar a su frecuencia natural inducida por un amplificador. Conforme la masa de partículas va siendo colectada la en el filtro la frecuencia natural va decreciendo **f<sub>2</sub>**, la cual es comparada contra una frecuencia de inicial de referencia **f<sub>1</sub>**. La relación general que establece la relación entre la masa o concentración con las frecuencias esta dada por:

$$C = 333 * \frac{f_2 - f_1}{t_2 - t_1} (\mu g / m^3)^c$$

Donde:

**f<sub>2</sub>** = Frecuencia final al

**f<sub>1</sub>** = Frecuencia inicial

**t<sub>2</sub>** = tiempo al termino del ciclo

**t<sub>1</sub>** = tiempo al termino del ciclo

El control del flujo y de las condiciones de temperatura y humedad son críticos en estos analizadores. Las marcas comerciales manejan flujos del 16.7 lpm y ciclos entre pesada y pesada que van de los 180 a 300 segundos.

**3.3 Arranque, estabilización y calibración inicial in situ de equipos**

En esta sección se presentan los criterios técnicos que deben considerarse en la selección de un método de monitoreo para alguna aplicación. En particular, deben considerarse aspectos tales como:

- costo inicial y costos de operación
- la ventajas del principio de medición
- la sensibilidad del analizador
- las posibilidades de interferencias presentes en el sitio de muestreo



- los requerimientos de gases de calibración y otros equipos
- confiabilidad
- requerimientos de mantenimiento

Es importante considerar que en México la mayor parte de los analizadores instalados y en operación son de procedencia norteamericana. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (*EPA*) dispone de referencias útiles para la evaluación y selección de analizadores automáticos. Es recomendable que en la compra de un analizador nuevo se solicite la aprobación de la *EPA* y las especificaciones de funcionamiento, términos de la garantía, el tiempo de entrega y el periodo de prueba y que pasa si el analizador recibido no cumple con las especificaciones. En la recepción de un analizador nuevo el usuario deberá leer cuidadosamente el manual de operación correspondiente del equipo, el cual deberá contener instrucciones precisas concernientes a:

- Desempaque y verificación en que fueron enviados todos los componentes
- Chequeo de posibles daños durante el envío
- Chequeo de conexiones de mangueras y conexiones eléctricas
- Principio de Operación
- Instalación del analizador
- Calibración del analizador
- Operación del analizador
- Programa y procedimientos de mantenimiento preventivo
- Lista de fallas
- Lista partes y partes adaptables
- Diagrama

Una vez instalado el analizador, debe calibrarse y verificar que el instrumento opera correctamente. Las características de desempeño tales como: tiempo de respuesta, ruido, desfases del cero y el span a corto tiempo y la precisión deben ser revisadas o medidas usando formatos adecuados.. La aceptación del analizador debe basarse en los resultados de dichas pruebas de desempeño. Una vez aceptados los analizadores deben tener una garantía por parte del fabricante para operar dentro de dichas especificaciones por lo menos un año, con garantía de mantenimiento y refaccionamiento de tres a cinco años.

A continuación, se presenta un ejemplo de las actividades generales para la instalación de un analizador de Monóxido de Carbono CO, TECO modelo 42 que utiliza el principio de detección de infrarrojo no dispersivo (*NDIR*) y cuyas especificaciones son las siguientes:

<i>Rango:</i>	0-1, 2m 5, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 ppm
<i>Linealidad:</i>	+/- 1 %
<i>Ruido (en cero):</i>	0.05 ppm RMS
<i>Tiempo de respuesta (0–95 %):</i>	1 min
<i>Limite mínimo de detección:</i>	0.00 1 ppm
<i>Precisión:</i>	+/- 0.1 ppm
<i>Desfasamiento del cero:</i>	+/- 0.1 ppm por día
<i>Desfasamiento del span:</i>	+/- 1 % ene escala completa/día
<i>Temperatura de operación:</i>	15-30 C

a) *Instrucciones para la Instalación*

- Conecte la línea de entra del filtro al múltiple de aire ambiente. Conecte la salida del filtro al puerto 3 de la válvula solenoide localizada en la parte frontal del calibrador. Conecte la línea de muestra al puerto de la válvula solenoide marcada como “common”. Cuidadosamente asegúrese que la línea de muestra no está contamina de polvo, humedad u otros materiales extraños. Mangueras de teflón, borisilicato o un tubo similar de diámetro de 1 pulgada es requerido para todas las conexiones. La longitud de las mangueras debe ser lo más corto posible entre las conexiones. Para mejores resultados la distancia entre el múltiple y analizador deben ser menor a 3 m.
- Conecte el equipo de registro a los canales de salida del instrumento, localizados en la parte posterior.
- Al menos que otra cosas sea especificada las señales del registrador son de 0-1 VCD. Instale el cable al enchufe del equipo. Cheque que el voltaje sea apropiado.
- El modelo 48 debe ser operado con un filtro de partículas. El filtro debe ser de teflón con capacidad para retener partículas de 5 a 10 micrómetros.

b) *Encendido.*

Encienda el switch. El analizar automáticamente entra al modo de inicio durante ese tiempo ocurrirá los siguiente, la fuente se enciende, todos los dispositivos electrónicos, el enfriador del detector, el motor y la bomba, el calentador y el programa inicia por si mismo.

Tarda algunos minutos para estabilizarse y debe de observarse una apropiada operación del instrumento:

- Cuando el switch es energizado en el display del instrumento aparece la palabra “HOLA”, seguido por “CO”. Durante este tiempo (2 min aprox) la salida analógica debe de ser de cero volts,
- El instrumento estará automáticamente encendido en el modo muestreo (*run sample*)

c) *Calibración de prueba.*

Para verificar la respuesta de salida del analizado efectué una calibración multipunto y registre los resultados en el formato de calibración correspondiente como se indica en el capítulo 5 de Calibración.

### **3.4 Procedimientos Operativos (POs)**

Los procedimientos de operación deben desarrollarse de manera específica en cada Sistema de Monitoreo Atmosférico, dependiendo de las características tecnológicas y los requerimientos técnicos que demanden los instrumentos con los cuales fueron conformadas las estaciones de monitoreo, el centro de cómputo, los laboratorios de calibración y talleres de reparación y mantenimiento.

En cada uno de las estaciones de monitoreo se deben de encontrar: una copia de estos procedimientos Protocolizados, así como de manuales del fabricante de cada equipo o instrumento integrado a dicha estación. Estos manuales constituyen el nivel más específico de información para realizar las labores de operación, calibración y mantenimiento las cuales, en forma agregada y como conjunto, deberán estar circunscritas en procedimientos generales e instrucciones de trabajo. Un especial cuidado debe tenerse en lo relativo a la custodia y/o resguardo de los documentos originales bajo procedimientos de control de documentos establecido en el sistema de gestión de calidad (SGC).

Un procedimiento operativo (PO) es un documento detallado y estructurado en forma consistente, donde se describen etapa por etapa las actividades implícitas a un método de prueba, o a el empleo de un analizador o una actividad o proceso, por ejemplo la revisión de datos y generación de reportes etc. Los POs son documentos que forman parte del SGC de una organización y por lo tanto, son revisados y autorizados para su emisión por el personal responsable de su emisión, vigencia y revisión.

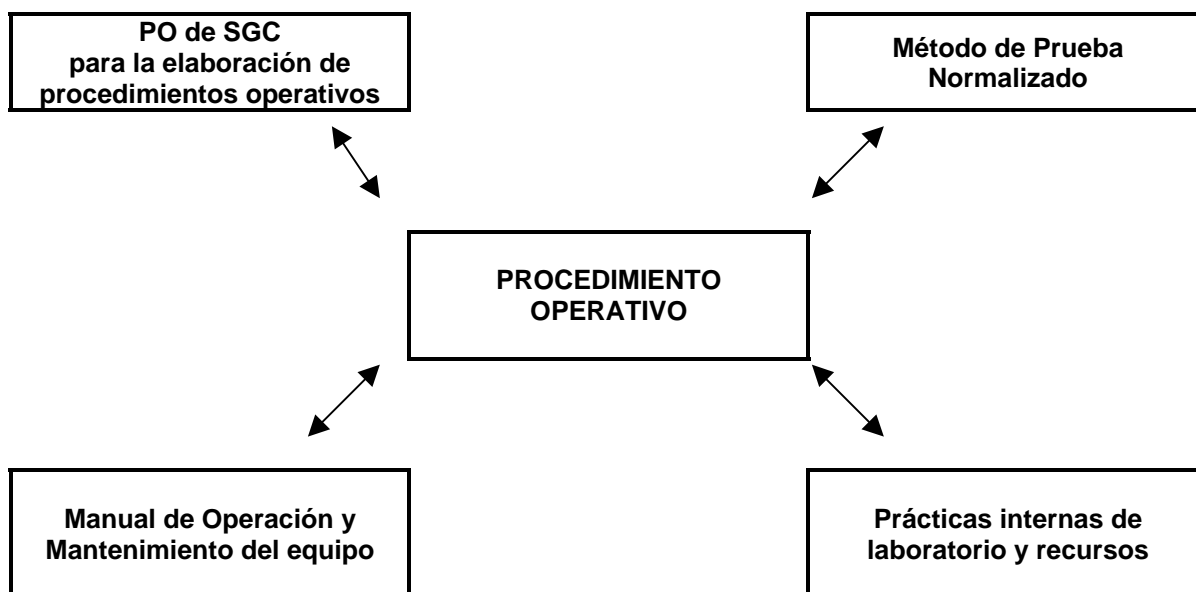
Un PO bien elaborado representa una herramienta de suma utilidad en las practicas de monitoreo o laboratorio que se realizan en un SMA, toda vez que reduce las recurrencias de errores, facilita las tareas de operación, mantenimiento

y calibración y sirve incluso para fines de capacitación y entrenamiento para personal de nuevo ingreso.

### 3.4.1 Elaboración de Procedimientos Operativos

En la Fig. 3.7 se ilustra los elementos básicos que se utilizan para la elaboración de un PO. Asumiendo por ejemplo, un procedimiento protocolizado para un método de prueba de Monitoreo Atmosférico.

**Fig. 3.7** Elementos Básicos para la elaboración de un Procedimiento Operativo



#### a) **Procedimiento General del SGC para la elaboración de procedimientos.**

Este documento establece las directrices, estructura y formato que deben contener todos los procedimientos operativos de la organización y forma parte de los procedimientos generales del SGC, en el se especifican los procedimientos de codificación, el contenido de los recuadros en términos de vigencia, fecha de emisión, revisiones, número de paginas, entro otros.

#### b) **Método de Prueba**

Los métodos de prueba que se aplican en los Sistemas de Monitoreo Atmosférico, corresponden a métodos normalizados, y deben utilizarse para extraer los aspectos técnicos mas relevantes e integrarse en forma estructurada al procedimiento operativo.

En el campo de monitoreo atmosférico en México, los métodos normalizados son las NOM's (NMX) de la serie SEMARNAT, por ejemplo: NOM-SEMARNAT-1993, *que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos de calibración de los equipos de medición.*

En ausencia de NOM (o NMX), métodos normalizados como los Métodos de Referencia o equivalentes de la EPA pueden emplearse para la conformación de los POs. Dichos métodos deben referenciarse en la sección de Referencias o Bibliografía de PO según los criterios utilizados. Asimismo, de estos métodos de prueba pueden tomarse aspectos relevantes, tales como:

- ✓ El principio del método
- ✓ El campo de Aplicación o aplicabilidad
- ✓ Interferencias
- ✓ Rango y Precisión
- ✓ Límites de Detección
- ✓ Flujos de Muestreos
- ✓ Criterios de Aceptación

### **c) *Manuales o Instructivos de Operación de los Instrumentos***

En las prácticas de monitoreo del aire los manuales o instructivos de operación y mantenimiento de los equipos de muestreo, analizadores, calibradores, entre otros representan la fuente primordial de información para la elaboración de los procedimientos operativos, ya que de ellos se extraen las instrucciones específicas para su instalación, operación, mantenimiento y detección de fallas "*troubleshooting*"

Dado que en la mayoría de los casos dichos manuales están en inglés, es muy importante que los aspectos más relevantes o resúmenes de determinadas secciones sean traducidos al español e incorporadas en forma clara a la estructura del PO en elaboración. Cuando la cantidad de información contenida en el manual es muy abundante, las organizaciones pueden optar por referenciar en el PO las secciones del manual del instrumento correspondiente para la ejecución de las actividades en cuestión por ejemplo:

- *Inicialice la secuencia de control de los parámetros descritos en la sección 7.10 del manual de operación y mantenimiento analizador TEI modelo 42.*

Asimismo, los manuales de operación y mantenimiento de analizadores automáticos de gases contienen instrucciones y formatos específicos para las prácticas de calibración y mantenimiento, las cuales pueden ser adoptadas por la organización como instructivos o formatos que formarán parte integrante de los POs en forma de anexos o apéndices.

**d) Prácticas de Operación.**

Los POs deben además, efectuar una descripción detallada (paso a paso) de la forma en que se realizan las actividades de muestreo, monitoreo, calibración o mantenimiento que apliquen según las prácticas operativas. Asimismo, dichas instrucciones son específicas a las características de los equipos de muestreo, calibradores o analizadores que se utilizan y a los formatos de registro o listas de revisión (chequeo) que se utilizan. En términos de sistemas de calidad se establece que los procedimientos operativos deben incluir la descripción de las actividades en la forma en que son llevadas a cabo en la práctica.

**f) Estructura de un PO**

En función del método de prueba o equipo analizador para que se desarrolle un PO el área de control de calidad establece el orden y tipo de secciones que deberán incluirse en los POs de la organización. A continuación, se refiere un ejemplo de la estructura típica de un PO:

1. Alcance y Aplicabilidad
2. Resumen del Método
3. Definiciones
4. Salud y seguridad
5. Precauciones
6. Interferencias
7. Perfil del Técnico
8. Equipos y materiales
9. Instrumento o Método de calibración
10. Colección de muestra
11. Manejo y preservación de muestra y análisis
12. Detección de fallas
13. Adquisición de datos, cálculos y revisión de datos
14. Software y Hardware (usados para manejar los resultados y reportes de datos)
15. Manejo de datos y registros

A continuación se presenta un ejemplo de la estructura temática (índice) de un Procedimiento Operativo de CARB para el BENDIX MODEL 8501-5CA ANALIZADOR DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO).

## B.1 – PROCEDIMIENTO PARA OPERADORES DE ESTACION

		Pag.	Revisión	Fecha
B.1.0 INFORMACIÓN GENERAL	2	0	08-01-78	
B.1.0.1 Teoría				
B.1.0.2 Ciclo Analítico				
B.1.0.3 Precauciones				
B.1.1 PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN	2	0	08-01-78	
B.1.1.1 Inspecciones Físicas				
B.1.1.2 Encendido Inicial				
B.1.1.3 Alineación del Analizador				
B.1.1.4 Calibración				
B.1.2 SERVICIO ( REVISIONES DE RUTINA)	4	1	02-01-84	
B.1.2.1 Información General				
B.1.2.2 Revisiones Diarias				
B.1.2.3 Revisiones Semanales				
B.1.2.4 Revisiones Mensuales				
B.1.2.5 Revisiones Semestrales				
B.1.2.6 Revisiones Anuales				
B.1.3 PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO	9	0	08-01-78	
B.1.3.1 Filtro de línea de Entrada				
B.1.3.2 Cartucho para gas (filtro)				
B.1.3.3 Bomba de Muestreo				
B.1.3.4 Limpieza del Analizador				
B.1.3.5 Alineación del Analizador				
B.1.4 GUÍA DE FALLAS (Trouble shooting)	2	0	08-01-78	
B.1.4.1. Información general				
B.1.4.2 Fallas electrónicas				
B.1.4.3 Fallas ópticas				
B.1.4.4 Fallas de flujos				
B.1.4.5 Fallas en equipo periféricos				
B.2. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	3	0	08-01-78	
B.2.0. Procedimientos de prueba				
B.2.0.1 Información general				
B.2.0.2 Inspecciones físicas				
B.2.0.3 Pruebas de operación				
B.2.0.4 Revisión final				
B.3. PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN	3	1	08-01-78	
B.3.0 Procedimiento de calibración				
B.3.0.1 Aparatos				
B.3.0.2 Registros estadísticos				

---

Fuente: CARB Air Monitoring Quality Assurance Volume II Standard Operating Procedures

#### 4. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO

Los responsables de las entidades estatales o locales de la operación de un SMA deben desarrollar un Programa de Mantenimiento Preventivo (PMP) con la consistencia necesaria para mantener el equipamiento de sus subsistemas (redes) en operación, servicio y prevenir reparaciones y/o adquisiciones extras costosas y/o el deterioro acelerado de su equipamiento.

El PMP es una extensión del programa de Control de Calidad, que se desarrolla normalmente dentro las rutinas diarias, semanales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales. EPA, (1998)

El Mantenimiento Preventivo (MP) del sistema es responsabilidad de los operadores de las estaciones, laboratorios de apoyo y personal del centro de cómputo bajo un esquema de asignación de funciones y responsabilidades, donde su éxito dependerá sustancialmente de la **supervisión** apropiada de los trabajos de MP y la verificación continua del programa. De esta manera el personal **supervisor** tiene la responsabilidad de asegurar que el mantenimiento preventivo se cumple de manera oportuna.

El MP es un proceso dinámico por lo que los procedimientos operativos correspondientes deben actualizarse, en situaciones tales como: la adquisición de nuevos modelos o tipos de instrumentos; cambios en los métodos de prueba; cambios del sistema de adquisición de datos (DAS por sus siglas en inglés) o en programas de cómputo, entre otros.

Todos los componentes de las estaciones de monitoreo que incluyen: casetas, aire acondicionado, analizadores, instrumentos y demás equipo de apoyo deben tener una **bitácora y/o expedientes** donde se registren todas las actividades de MP y reparaciones de ese instrumento en particular. Dichos registros debe permanecer siempre junto al instrumento dondequiera que este se encuentre y son un elemento indispensable para evidenciar la aplicación efectiva de los programas.

En general, en los Programas de Mantenimiento Preventivo se deben incorporar registros documentados de las actividades de rutina de las calibraciones, inspecciones, así como las labores de mantenimiento correctivo realizadas por fallas o eventos no programados a nivel de los analizadores, instrumentos y equipos periféricos de monitoreo.

Los programas de mantenimiento preventivo, incluyen elementos tales como:



- Inventario de equipo por organización o estación.
- Listas de partes y refacciones por equipo, incluyendo proveedores.
- Frecuencia de inspección / mantenimiento por equipo.
- Programas de Calibración
- Programas de sustitución de equipos.
- Sitios y responsables de reparación por equipos
- Contratos de Servicio.
- Formatos mensuales (registros) de las actividades de prueba, inspección y mantenimiento y formatos de ingreso de consumibles, refacciones y equipos.
- Requisiciones y/o ordenes de compra

#### 4.1 Mantenimiento Preventivo

El ***mantenimiento preventivo***, puede definirse como la capacidad de una organización para monitorear, controlar y registrar las condiciones de operación y ambientales requeridas por especificaciones, métodos y procedimientos relevantes en proporción a su influencia en la calidad de los resultados.

Mientras que el ***mantenimiento correctivo***, esta relacionado con la capacidad de respuesta del SMA para responder a fallas, descomposturas o siniestros tales como: daño total de un analizador por caída o descarga eléctrica, robo, etc, para restablecer en el menor tiempo posible la generación de datos y/o en general las condiciones de operación prevalecientes antes del evento.

Con base a lo anterior, el programa de mantenimiento preventivo (PMP) debe de incluir, tanto las instalaciones centrales de los SMA, tales como: el centro de computo, el laboratorio de transferencia de estándares, taller de mantenimiento y calibración de analizadores con sus respectivas áreas para el de almacenamiento de partes, consumibles y equipos e instrumentos; como las instalaciones remotas que comprenden principalmente las estaciones de monitoreo con su respectivo equipamiento de monitoreo, calibración y equipos periféricos, fuentes de energía, iluminación y condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa ).

Dichas instalaciones deben concebirse y mantenerse de modo tal, que faciliten la correcta ejecución de los ensayos y/o calibración, transmisión y acopio de información, así como el procesamiento de datos y reportes en sus diferentes modalidades.

Por lo tanto, los PMP deben diseñarse para asegurar que las condiciones ambientales u otros eventos no invaliden los resultados o afecten adversamente la calidad requerida de cualquiera de los elementos del proceso de medición de las concentraciones de contaminantes del aire y demás parámetros meteorológicos..

Asimismo, debe ponerse especial atención a los aspectos relacionados con polvo, perturbaciones electromagnéticas, radiación, humedad, suministro eléctrico, temperaturas, vibraciones tanto como sea apropiado para las actividades técnicas concernientes. Las mediciones y/o calibraciones deben ser suspendidos cuando las condiciones ambientales comprometan los resultados de las mismas.

Evidentemente para el desarrollo de las buenas prácticas en mantenimiento preventivo es necesaria que los SMAs dispongan de instalaciones con dimensiones suficientes para que exista una separación efectiva entre las áreas de trabajo, de modo tal que no existan actividades incompatibles o afectaciones a las demás áreas de trabajo (p.e. la elevación súbita de la temperatura ambiental en un área de computo o una estación de monitoreo).

A continuación, se refiere las principales prácticas y elementos que intervienen en un programa de mantenimiento preventivo de un sistema de monitoreo atmosférico.

## **4.2 Conservación General de Inmuebles**

En lo referente a las instalaciones centrales de los SMAs y estaciones de monitoreo, las practicas de mantenimiento general de los inmuebles deberán estar orientadas principalmente a la prevención de su deterioro y a enaltecer la imagen acorde con la importancia de sus funciones. Por lo tanto, la administración general de las dependencias deben de disponer de programas generales de Mantenimiento de Conservación que incluya las actividades de:

- Pintura de exteriores e Interiores
- Impermeabilización
- Cableado e instalaciones eléctrica general
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias
- Jardinería en su caso
- Ventilación General

Bajo dicho enfoque, además de las prácticas de supervisión, comunicación y diagnóstico eficientes, los factores determinantes para responder en forma eficaz a este tipo de contingencias incluyen:

- La disponibilidad de un Stock de Partes y Refacciones suficiente
- La disponibilidad de Muestradores, analizadores u otros equipo clave sustitutos.
- El personal entrenado y dispuesto a laborar por periodos extraordinarios.
- En su caso, la disponibilidad de proveedores de servicio externos competentes y comprometidos.

### 4.3 Centro de Cómputo

De las instalaciones centrales de los SMAs, el centro de computo, representa sin lugar a dudas un área medular que debe ser integrada al Programa de Mantenimiento Preventivo de la organización, toda vez que en este se concentra, administra y difunde la información de la calidad del aire y el estado de operación de las redes y estaciones de medición.

Para garantizar una operación continua y proteger tanto la integridad física de las bases de datos, como la de los equipos y la instalación en general el PMP debe incluir:

**Tabla 4.1 Tipo y frecuencia de PMP en Instalaciones Centrales de un SMA**

Actividad de MP		Frecuencia mínima
1	Revisión y limpieza de Equipo de Computo	Cuatrimestral
2	Revisión y chequeo de fugas y controles de Sist. de Aire Acondicionado	Semestral
3	Prueba de arranque de Planta de Emergencia	Quincenal
4	Revisión y recarga en su caso de Extintores	Anual
5	Pruebas de Funcionamiento de NO-BREAKS	Trimestral
6	Revisión de estado de Conexiones, tierras físicas y Luminarias	Semestral
7	Revisión de Instalaciones Eléctricas Mayores	Anual
8	Revisión de techos, paredes, ventanas, etc. para detección de humedad, Goteras acumulaciones de polvos etc.	Anual

#### **4.4 Software**

La protección de la integridad de la información que se procesa en los Centros de Computo, requiere de prácticas apropiadas de control del Software utilizado, desde este enfoque, las prácticas y revisiones de rutina que se recomiendan estarán orientadas a:

Empleo de Programas Originales y contratación de los servicio de actualizaciones correspondientes. En el caso específico de los antivirus la actualizaciones deberían ser con una frecuencia mínima de una semana o menor cuando se conozca la difusión de virus de alto riesgo a través de los medios u otras fuentes.

Asimismo los responsables del área de sistemas del centro de cómputo deben elaborar un programa de respaldos con la frecuencia necesaria para garantizar de la integridad de la totalidad de información generada por el SMA. Dicha frecuencia puede variar sustancialmente en función del tipo y capacidad de memoria de los equipos (analizadores, DAS y/o computadoras de que disponga cada SMA).

Por otra parte, para aquellas hojas de cálculo desarrolladas por el propio personal del SMA, para fines de procesamiento interno de la información tales como las requeridas para la transformación de valores de concentración a Indicadores de calidad del aire, deben estar sujetas a verificaciones sistemáticas para su validación de modo tal, que se asegure que los cálculos se siguen efectuando correctamente. Dichas validaciones deben documentarse a partir de los registros conducentes.

También es muy importante que se giren instrucciones precisas por escrito, respecto al uso exclusivo de las computadoras empleadas para el procesamiento de la información de calidad del aire, no debiéndose permitir su uso para otras funciones, ni la instalación de paquetes que no intervengan en dicho proceso.

Finalmente en el centro de cómputo deben controlarse los accesos a la información electrónica aparte de claves de acceso la cuales solo deberán conocer las personas autorizadas.

#### **4.5 Inventario de Equipos y Listas de partes**

Los responsables de los PMP deben de diseñar y mantener actualizado un inventario detallado de la totalidad de los equipos, refacciones, consumibles y accesorios principales, ya sea de su propiedad o asignados por comodatos que

dispone en el SMA, a través de los cuales pueda controlarse en forma efectiva la cantidad, localización y estado operativo, como su situación en términos del personal responsable de su resguardo y buen uso.

Un aspecto fundamental de un inventario es la correcta identificación de los equipos a partir de un diseño lógico de codificación la asignación de un **No. De Inventario Único** que represente algo así como una especie de Carnet "Personal" del equipo en cuestión. Dicho código de identificación debe estar adherido o prendido, según corresponda en un lugar visible y en forma segura en el componente inventariado. Se trata de disponer de un sistema codificado que facilite sustancialmente la identificación y localización y en general las tareas de mantenimiento preventivo.

En un segundo nivel pero probablemente de importancia mayor es la disponibilidad dentro del PMP de **Listas de Partes** actualizadas, las cuales deberían generarse en forma provisional desde antes de recibir los equipos de nueva adquisición a partir de la consulta con el proveedor para disponibilidad de lotes de consumibles y refacciones críticas a su llegada. Posteriormente dichas listas de partes se consolidan con base a la revisión y entendimiento de Manual de Operación de los instrumentos y se diseñan los formatos que contengan al menos pero no limitándose:

- Marca , modelo y descripción del instrumento mayor al que pertenecen
- No. de parte y datos del proveedor
- En su caso especificaciones o tipo
- Precio Unitario en la última adquisición
- Tiempo promedio de entrega
- Disponibilidad del proveedor ( en existencia o sobre pedido)
- Cantidad en existencia deseable
- Cantidad en existencia actual
- Status en términos de su importancia
- Fecha de revisión

En la actualidad el uso de computadoras y hojas de cálculo permite el diseño de base de datos iterativas para el manejo de Inventarios y listas de partes que puedan incluso dar avisos preventivos o de alarma cuando se llega a un número crítico de las existencias de un determinado consumible, refacción o componente.

Como en muchos otros casos de la práctica de Aseguramiento de Calidad el diseño de estos formatos computarizados pueden de requerir tiempo y muchas horas de trabajo la primera vez, pero una vez elaboradas se convierten en

poderosas herramientas que facilitan los Programas de MPC y permiten documentar y rastrear a partir de impresiones y resúmenes actualizados por estaciones por tipo de analizadores, etc.

#### **4.6 Almacenes de Refacciones y Equipos**

En las instalaciones centrales de los SMA 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 preferentemente deben estar separados físicamente y tener acceso restringido solo para personal autorizado, siendo muy conveniente asignar una función a algunas de las personas de almacenista, la cual deberá seguir y registrar todas las instrucciones operativas en términos del control de entradas y salidas bajo un esquema de firmas de autorizaciones y recibo. Comúnmente dicha persona es el responsable directo de mantener actualizados los inventarios de equipos y listas de partes, así como de dar inicio al proceso de requisición mediante la generación de formas de aviso

En ambos casos en dichos almacenes deben observarse “Buenas Prácticas de Trabajo” en lo relativo a orden y limpieza. En cada almacén las refacciones o equipos según corresponda, los componentes deberán disponerse en gabinetes, o gavetas bien identificados de modo tal que se facilite al extremo su localización y conteo. Asimismo en donde aplique su acomodo deberá minimizar la posibilidad de caída o ruptura u otro tipo de daño durante su permanencia por lo que deberán también tenerse instrucciones concretas de los requerimientos de seguridad y manejo, empaque y transportación de aquellos componentes que así lo requieran.

En las figuras 4.2 y 4.3 se muestran el almacenamiento de equipos fuera de uso y partes de reposición para equipos en funcionamiento del SIMA de Monterrey, donde se observan las limitaciones de espacio y por la falta de recursos humanos las prácticas de almacenamiento no son satisfactorias. Dicha situación es común en la mayor parte de las redes que operan en México.

**Figura 4.2 Almacenamiento de analizadores fuera de operación**



**Figura 4.3 Área de Almacén de Refacciones**



## 4.7 Estaciones de Monitoreo

Las estaciones de monitoreo fijas o móviles representan la infraestructura remota de los SMA por lo que requieren de prácticas de mantenimiento preventivo especiales debido a que se operan gran parte del tiempo en ausencia de personal.

En el caso de las casetas o albergues el PMP debe incluir actividades orientadas a garantizar la continuidad de la operación de los equipos de monitoreo externo e interno. El Programa de mantenimiento de las estaciones debe incluir actividades de revisión y limpieza tales como las que se indican en la tabla 4.2

**Tabla 4.2** *Tipo y frecuencia de PMP en Casetas de las estaciones de Monitoreo*

ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Limpieza del interior de la caseta (piso, muebles, paredes, etc.)	Mensual
Inspección general de la caseta	semestral
Revisión del Aire Acondicionado	Cuatrimestral
Cambio del filtro del Aire Acondicionado	Anual
Poda de hierba o pasto ,árboles, entre otros.	Cuando amerite
Limpieza y reparación de techo	bimestral
Limpieza general	bimestral
Retiro de basura	Cada visita
Revisión del sistema eléctrico	Trimestral
Revisión de acometidas telefónicas.	Trimestral

La mayoría de las casetas de monitoreo deben operar bajo rangos de temperatura especificados para garantizar el apropiado funcionamiento de los analizadores comúnmente dicho rango es de 20° a 25° C,. el responsable de elaborar PMP deberá poner atención especial al sistema de aire acondicionado para obtener datos de calidad del aire válidos, en la Fig.4.4 se ilustra el tipo de aire acondicionado que se utilizan comúnmente en las estaciones de monitoreo en México.



**Figura 4.4** *Equipo de Aire Acondicionado en una Caseta de Monitoreo*



Durante las vistas el operador debe hacer rutinas de chequeo para asegurar las apropiadas condiciones de trabajo de los equipos, primeramente realizar una inspección visual de los equipos para asegurarse de que estén en funcionamiento y segundo revisar continuamente que la temperatura este dentro del rango de operación es decir una temperatura dentro de la caseta debe estar en el rango de 20° a 25° C

Como se indico en la tabla cuatrimestralmente se debe dar servicio al sistema de aire acondicionado por un técnico certificado, lo cual ayudará a prevenir daños al hardware y perdida de datos de monitoreo. Otro aspecto importante consiste en la adecuada distribución de los *racks* dentro de la caseta además mantener el área de trabajo ordenada y libre de objetos con el objeto de prevenir accidentes.

Además de lo anterior, los componentes externos de la caseta tales como: la toma de muestra, muestreadores de altos volúmenes, instrumentos meteorológicos y la torreta, la puerta de entrada, el cableado y la acometida eléctrica y otros componentes que se juzguen convenientes deben revisarse en cuanto a cubiertas, corrosión e intemperismo y estado general, debiéndose disponer de las listas de chequeo y formatos de orden de servicio necesarias y suficientes para garantizar las acciones correctivas conducentes.

#### 4.7.1 Bitácora de la Estación

En cada estación debe existir una **bitácora de la estación** donde se registre la cronología de los eventos que ocurren en ella. La bitácora es de suma importancia para soportar documentalmente los problemas y sus soluciones. Se recomienda que estas bitácoras contengan anotaciones más de tipo narrativo que detalles de tipo técnicos ya que los aspectos técnicos deben registrarse en la correspondiente la bitácora de cada instrumento. Los aspectos que debe incluir la bitácora de una estación de monitoreo son los siguientes:

- Registro de visitas (fecha, hora y nombre y firma del personal que acude al sitio).
- Breve descripción del clima (p.e., despejado nublado lluvia etc.)
- Descripción breve de los alrededores del sitio. Cualquier cambio que pueda afectar los datos, por ejemplo, si un auto esta cerca que pueda explicar valores elevados de NOx.
- Cualquier ruido inusual, vibraciones o cualquier otro evento extraño.
- Descripción del propósito de la visita al sitio (p.e., calibración de instrumentos, reparación de un analizador, etc.)
- Información detallada de los instrumentos o equipos periféricos que requieren mantenimiento o que presentan fallas.

#### 4.7.2 Visita a Sitio (Documentos)

Durante cada visita a la estación (se recomienda tres veces por semana) el técnico debe documentar todas las actividades en la bitácora y llenar las listas de chequeo, como las que se incluyen en el ejemplo, las cuales pueden ser formatos multipágina, donde se incluyen preguntas que requieren una respuesta del técnico, a partir de las cuales se garantiza que el técnico haga una revisión general de los conceptos y/o aspectos más relevantes de la operación de los equipos y que tienen relevancia con la validación de los datos y en general con los objetivos de calidad.

La bitácora de la estación es tal vez el registro más importante disponible sobre las operaciones que ocurren, por lo que es vital que la información sea clara, legible y detallada. A continuación se describen algunos de las directrices que se recomiendan para asegurar que los registros de una bitácora sean útiles para cualquier revisión:

1. La bitácora no deberá retirarse del sitio.
2. Las hojas de la bitácora no deberán ser fácilmente desprendibles, si es posible, deberán estar foliadas. Es recomendable de copias con papel carbón, de modo que la página original permanezca en el cuaderno y las copias puedan removerse.
3. Todos los datos deberán escribirse con tinta y con letra molde, para asegurar que sean legibles.
4. Durante cada visita al sitio, deberá registrarse la fecha, hora de llegada y hora de salida del técnico.
5. En cada nueva página debe registrarse la fecha en la parte superior.
6. Deben describirse los eventos con el mayor detalle posible para facilitar su interpretación por parte de terceros, ya que cualquier información no registrada en tiempo y forma podrá perderse.
7. Si un canal se pone fuera de operación por cualquier razón, registre la hora exacta tanto del apagado como del encendido y explique la razón por lo que se llevó a cabo.
8. Registre las horas exactas de inicio y terminación de las calibraciones manuales. Anote cuando los resultados de calibración estuvieron dentro de los límites de control establecidos.
9. Describa todas las operaciones de rutina o no programadas de mantenimiento, fallas, reparaciones y sustitución de equipo, anotando la hora exacta de inicio o terminación de la actividad.
10. En su caso, registre la hora y fecha en que los filtros son colocados y removidos del muestreador de PST ó  $PM_{10}$ . También incluya el número de identificación del filtro y del muestreador, y la hora del flujo medido al final de la corrida.
11. Registre observaciones del clima u otras condiciones ambientales. Incluya cualquier condición anormal, por ejemplo, tolveneras, smog significativo, olores inusuales, precipitación fuerte, vientos fuertes, tráfico pesado, etc.

A continuación en las tablas 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 respectivamente, se presenta los formatos de listas de revisión del operador para:

1. Sensores de temperatura.
2. Velocidad del viento.
3. Analizadores de  $O_3$
4. Analizador de  $SO_2$

**Tabla 4.3**  
**Lista de revisión del operador (Check List)**  
**TEMPERATURAS**

OPERADOR \_\_\_\_\_ FIRMA \_\_\_\_\_ MES \_\_\_\_\_

FECHA							
TEMPERATURA							
I. Temperatura exterior							
<b>A. ¿Coincide la temperatura en el display con las condiciones actuales?</b>							
II. Temperatura interna							
<b>A. ¿Coincide la temperatura en el display con las condiciones en el interior?</b>							
B. ¿Están las temperaturas max/min del termómetro en el interior entre 23°C y 26°C?							
C. ¿Se encuentra el ciclo de aire acondicionado operando correctamente?							
1. ¿Ha sido limpiado el filtro del aire acondicionado en los últimos días?							
<b>COMENTARIOS</b> Si alguna parte del sistema no esta operando correctamente, favor de escribir los detalles en esta sección con fecha y hora							

Favor de escribir SI o NO en la celda que corresponde a cada pregunta

**Tabla 4.4**  
**Lista de revisión del operador (Check List)**  
**VELOCIDAD HORIZONTAL DE VIENTO**

OPERADOR \_\_\_\_\_ FIRMA \_\_\_\_\_ MES \_\_\_\_\_

FECHA							
VELOCIDAD DEL VIENTO							
I. ¿Concuerdan los valores de velocidad del viento con las condiciones actuales?							
<b>II. Operación del sensor y las copas</b>							
<b>A. ¿Están las copas dobladas o dañadas?</b>							
B. ¿Están las copas dañadas?							
C. ¿Están todos los bordes del sensor bien?							
<b>COMENTARIOS</b> Si alguna parte del sistema no esta operando correctamente, favor de escribir los detalles en esta sección con fecha y hora							

Favor de escribir SI o NO en la celda que corresponde a cada pregunta

**Tabla 4.5**  
**Lista de Revisión del operador**  
**ANALIZADOR DE OZONO**

OPERADOR \_\_\_\_\_ FIRMA \_\_\_\_\_ MES \_\_\_\_\_

Favor de escribir SI o NO en la celda que corresponde a cada pregunta

FECHA							
ANALIZADOR DE OZONO (DASIBI 1003-RS)							
I. Flujo de muestreo Flujo correcto _____ *puede ser necesario tapan el rotámetro para ver bien la lectura del rotámetro							
<b>A. ¿Esta encendida la bomba de muestreo?</b>							
II. sistema de calibración							
<b>A. Bomba y analizador encendidos</b>							
B. Switch remoto en posición Auto							
C. prueba de calibración de flujo correcto *puede ser necesario tapan el rotámetro para ver bien la lectura del rotámetro							
D. posición de ajuste O <sub>3</sub> Posición correcta _____							
III. Se ha efectuado cambio de filtro en la entrada de muestra en los últimos 30 días							
CALIBRADOR DASIBI 5008							
I. ¿Display encendido?							
II. El Menú de controles muestra correctamente las opciones							
III. Ventilador operando							
<b>COMENTARIOS</b> Si alguna parte del sistema no esta operando correctamente, favor de escribir los detalles en esta sección con fecha y hora.							

Lista de Revisión del operador

**TABLA 4.6**

**Lista de Revisión del operador**

**ANALIZADOR DE SO<sub>2</sub>**

OPERADOR \_\_\_\_\_ FIRMA \_\_\_\_\_ MES \_\_\_\_\_

FECHA							
ANALIZADOR SO <sub>2</sub> THERMO ELECTRÓN 43A							
I. Flujo de muestreo Flujo correcto _____							
II. Lectura de presión de vacío correcto							
III. Botones en panel de prueba en posiciones correctas							
IV. ¿Se han efectuado cambios del filtro en la línea de entrada de la muestra en los últimos 30 días?							
COMENTARIOS Si alguna parte del sistema no esta operando correctamente, favor de escribir los detalles en esta sección con fecha y hora							

Favor de escribir SI o NO en la celda que corresponde a cada pregunta

#### 4.8 Mantenimiento Preventivo de Analizadores e Instrumentos

Debido a la enorme cantidad de equipos que potencialmente puede ser usado en los SMA, en esta sección no se podrían directrices específicas para el mantenimiento de a cada tipo de equipos en particular.

Sin embargo es importante enfatizar que los procedimientos operativos de los equipos deben incluir los aspectos básicos del mantenimiento preventivo basado en los manuales de operación de cada analizador o instrumento que se trate, así como de la experiencia misma del personal que opera, calibra y da mantenimiento, deben considerarse para la implantación de un Programa de Mantenimiento Preventivo Integral que sustente la calidad de los datos y la continuidad de la operación de equipos e instrumentos al menor posible.

Asimismo siempre debe tenerse en cuenta que tanto los equipos como sus respectivas partes y accesorios tienen una determinada vida útil, la cual puede variar en función de su horas efectivas de operación, localización y temporada. (p.e se sustituyen más filtros de protección que usan los analizadores en época de secas que en época de lluvias).

Dentro de los esquemas básicos de control de calidad la mejor forma de documentar que las tareas de mantenimiento preventivo se programan, ejecutan y registran es, sin lugar a dudas la **bitácora de operación mantenimiento y calibración** de los equipos. A continuación se describen las características principales que deben de cumplir estos instrumentos de registro.

##### ***Bitácoras de Equipos***

Cada instrumento y equipo de apoyo (con excepción de los racks) deben tener una bitácora de registro. La bitácora preferentemente debe ser un cuaderno foliado y si es necesario puede ser un fólder o carpeta en el cual se integren formatos ya establecidos, por ejemplo, de las calibraciones y mantenimiento. En todos los casos deben referenciarse en la bitácora las fechas u otro dato de fácil identificación para fines de rastreabilidad.

Una bitácora debe contener el historial de reparaciones y calibraciones de ese instrumento en particular. Para cualquier actividad de calibración, mantenimiento, reparación o cambio de sitio deben registrarse notas detalladas en la bitácora del instrumento. La bitácora contiene el reporte de las calibraciones multi-punto, una hoja de mantenimiento preventivo, e información aceptable de las pruebas.



Si un instrumento falla y se decide transportarlo a otro sitio, el instrumento debe de ir acompañado de su bitácora. La bitácora puede ser revisada por el personal para la identificación de posibles causas de la falla del instrumento. También si el instrumento es enviado al fabricante u otro proveedor externo la bitácora puede ser muy útil para fines de interpretación y diagnóstico de la falla o descompostura.

### **Prácticas de Mantenimiento Preventivo**

#### a) *Analizadores automáticos de Gases ( SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>)*

En la tabla 4.7 se presenta un ejemplo del Programa de Mantenimiento específico para un analizador de CO marca Bendix Modelo 8501, así como es importante enfatizar que en su respectivo Procedimiento Operativo deben referenciarse a las Revisiones de Rutina, los Procedimientos de Mantenimiento y la Guía para Fallas (**Trouble shooting**) siendo esta última una herramienta esencial contenida en los manuales de operación de los analizadores, la cual es muy recomendable que se incluya bien traducida e integra en los procedimientos operativos..

**Tabla 4.7 Programa de Mantenimiento Analizador de CO Bendix Model 8501-5CA**

<b>Actividad</b>	<b>Diario</b>	<b>Semanal</b>	<b>Mensual</b>	<b>Trimestral</b>	<b>Anual</b>
Flujo de Muestreo	X				
Trazado de Graficadores	X				
Chequeo de Cero		X			
Chequeo del Span		X			
Presión de Bomba		X			
Cambio filtro de entrada				X <sup>1</sup>	
Cambio Cartucho de gas				X <sup>1</sup>	
Hoja Control de Calidad		X	X		
Limpieza de Rotametros	Conforme se requiera				
Prueba de Interf. De CO <sub>2</sub>					X
Prueba de Interf.. De H <sub>2</sub> O					X

<sup>1</sup> PUEDE REQUERIRSE ANTES EN CIERTAS EPOCAS O CONDICIONES DEL SITIO

Fuente: CARB (1997)

En general el mantenimiento de los equipos de análisis instrumental involucran actividades de limpieza, lubricación, re-acondicionamiento de partes susceptibles de cargarse de polvo o saturarse con humedad y cambio de dispositivos de protección como filtros y elementos para remoción de interferencias o humedad (*scrubbers*).

Por otra parte, actividades de mantenimiento no programadas derivadas de un funcionamiento anormal de los analizadores las cuales se identifican a través de las rutinas de revisión programadas o bien de los propios indicadores de fallas de

los equipos deben atenderse conforme a las instrucciones de los manuales de operación y mantenimiento de los instrumentos.

Es de vital importancia tener en cuenta que se deben **efectuar siempre calibraciones multi-punto** después de llevar a cabo actividades de mantenimiento correctivo que puedan incidir sobre cambios en la respuesta de los analizadores.

Tomando como ejemplo un analizador automático de SO<sub>2</sub> con principio de detección de fluorescencia pulsante, las actividades típicas de mantenimiento preventivo que deben realizarse de acuerdo a su respectivo instructivo de operación serian como sigue:

- Cambio el filtro de entrada una vez por mes o antes si se identifican problemas a través de la guía de fallas.
- Limpieza del filtro del ventilador una vez al año. Utilice agua tibia para la limpieza del filtro y posteriormente aplique el aerosol (*spray*) de recubrimiento de aceite.
- Reemplazo de la línea de toma de muestra una vez por año o con una mayor frecuencia si presenta alguna degradación
- Inspeccionar el tubo capilar cada seis meses e inspeccione si hay presencia de polvo/ humedad, si ese es el caso, remoje y limpia con agua caliente el capilar, permita que seque y reinstálelo. También cambie el empaque "O" *ring* cada vez que revise el capilar.
- Cambio del elemento para remoción de hidrocarburos (*scrubber*) una vez al año a con una mayor frecuencia cuando lo indique el manual de fallas
- Prueba de detección de fugas, practique una prueba para detección de fugas. Para ello obture la línea de entrada y observe la lectura del rotámetro. Si se registra alguna lectura arriba de cero es indicativa de fugas en el sistema. Para localizar las fugas, revise la sección 5.3.1 del Manual del fabricante.
- Revisión de que de fugas, revise el diafragma de la bomba de muestreo, si el vacío registrado durante la prueba de fugas es menor a 10" Hg y no existen fugas en el sistema, entonces remplace el diafragma de la bomba.

b) *Muestreadores Automáticos de PM10*

Para el caso de Muestreadores automáticos de Atenuación Beta, los cuales son utilizados en varias redes de monitoreo de la república, tales como Monterrey, Toluca y Guadalajara, a continuación se ejemplifican las revisiones de rutina y las actividades de mantenimiento preventivo que se incluyen en el Procedimiento Estándar Operativo (POS) de CARB correspondiente a un modelo BAM-1020 donde se incluyen los siguientes aspectos :

### **Revisiones de rutina**

#### **Información general**

- ✓ Efectúe las siguientes revisiones al BAM – 1020 con la periodicidad especificada. Registre toda la información relacionada en la lista de chequeo de Mantenimiento Mensual de Control de Calidad.

#### Diariamente:

- ✓ Revise los valores del datalogger de la estación para la correcta operación del BAM- 1020.

#### Semanalmente:

Revise el filtro (cinta) del BAM-1020 y remplace cuando sea necesario. Un rollo de filtro tiene una longitud de 22 m. y su duración será al menos de 60 días.

#### Quincenalmente:

- ✓ Realice la verificación del flujo de entrada para corroborar una tasa de 16.7 lpm (+/- 4 %). Remueva la entrada del PM10 únicamente durante la medición del flujo.
- ✓ Cheque las fugas. Si el valor observado en el *display* del instrumento es menor de 1.0 lpm cumple con la especificación del fabricante. La verificación quincenal del flujo puede efectuarse mientras el BAM 1020 esta en modo normal de operación. Remueva solo la entrada FMR PM10. Coloca ya sea el calibrador másico de flujo o el calibrador volumétrico de flujo y registre el flujo volumétrico en el formato de registro mensual de control de calidad.

### Mensualmente

- ✓ Efectué y llene el formato de registro mensual de control de calidad del BAM –1020 ;
- ✓ Limpie rigurosamente la entrada del PM10 FMR; 3) De cargue los datos del Data Logger del BAM –1020 y registros impresos (graficador) y llene el formato.

### Semestralmente

- ✓ Verifique la temperatura ambiente externa; la presión internan; cheque fugas y el flujo volumétrico.

### **Mantenimiento**

- ✓ Información General: El mantenimiento normal del BAM-1020 requiere conservar mantener la unidad central del equipo libre de polvo y limpieza de la entrada.
- ✓ El cabezal de entrada PM<sub>10</sub> debe removerse del tubo de entrada, desarmarse y limpiarse, como se muestra en la figura 4.5. La entrada debe limpiarse rigurosamente cada mes con un trapo húmedo libre de pelusa. Revise que los empaque O-Ring están en buen estado y acomódelos correctamente durante la re instalación. Si es necesario replácelos. En lo relativo al detector otra fuente consultada especifica que en general los detectores no deben ser perturbados o removidos, sin embargo si se observa que su superficie ha sido contaminada, esta debe limpiarse con un agente especial provisto por los fabricantes. Esta acción es delicada y es recomendable consultar con el fabricante antes de efectuarla.

**Figura 4.5** *Revisión y limpieza de un cabezal PM<sub>10</sub>*



c) *Instrumentos Meteorológicos*

El mantenimiento preventivo que se debe dar a los equipos de medición de dirección y velocidad del viento, así como a los sensores de radiación solar, temperatura y humedad relativa consiste básicamente en operaciones de limpieza, lubricación, sustitución de partes dañadas de piezas que comúnmente presentan deposición de polvo.

Asimismo, actividades de mantenimiento no programado podrán ser requeridas cuando se observa un funcionamiento anormal de algún instrumento identificadas por inspección física o presencia de lecturas ilógicas desplegadas por los instrumentos. En esos casos deberán seguirse las instrucciones específicas de los manuales de los equipos o en su caso consultar directamente a los fabricantes.

Al igual que en el caso de los analizadores cuando un instrumento meteorológico se somete a un mantenimiento mayor deberán realizarse verificaciones de la calibración después de dicha reparación. Todas las actividades de mantenimiento deben registrarse en la bitácora del instrumento correspondiente.

**Figura 4.6 Instrumentos meteorológicos en estación de monitoreo de la Ciudad de Guadalajara**



Se puede apreciar el equipo que mide la dirección y velocidad del viento, el cual permite evaluar el potencial de transporte de los contaminantes y saber dónde estarán ubicados los posibles receptores de éstos.

## 5. PROGRAMAS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS

### 5.1 Aspectos Generales

Los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMAs) requieren de Programas consistentes de Calibración para la totalidad de equipos de muestreo, monitores y sensores. Todos los datos y cálculos involucrados en esas actividades de calibración deben ser registradas en una bitácora de calibración. Siendo recomendable una bitácora individual para cada aparato o muestreador utilizado en el programa.

La calibración de un analizador consiste en establecer la relación cuantitativa entre la concentración real del contaminante (entrada en ppm, ppb,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , etc.) y la respuesta del analizador (lectura en la carta de registro, salida en volts o salida digital.).

En las practicas de monitoreo automático debe considerarse que la respuesta de la mayoría de los analizadores tiene una tendencia a cambiar con el tiempo (desplazamiento), por lo que la calibración debe ser actualizada (o la respuesta de los analizadores debe ser ajustada) periódicamente para mantener un alto grado de exactitud.

Cada analizador debe de ser calibrado apegándose a las condiciones de operación, conforme a procedimientos basados tanto en las instrucciones específicas del manual de operación del equipo como en las directrices generales provistas por las normas de referencia utilizadas las cuales comúnmente contienen criterios detallados de calibración.

Un concepto fundamental que debe considerarse en los programas de calibración es la **Trazabilidad**, la cual según la NMX-Z- 055:1996 INMC se define como *“Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, que esta puede ser relacionada con referencias nacionales o internacionales, por medio de una cadena interrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas”*.

Al respecto, en México no existe propiamente un laboratorio nacional de referencia que cuente con calibradores primarios para proveer servicios de certificación y calibración de los estándares de transferencia empleados por las redes de monitoreo que operan en el país.

Actualmente el CENAM esta teniendo cierto avance en lo relativo a gases certificados; sin embargo, no hay la disponibilidad de calibradores primarios y secundarios para certificación de fotómetros UV para analizadores de O<sub>3</sub> y Medidores calibradores primarios y de flujos tales como los medidores electrónicos de burbuja y calibradores de orificio empleados en los Muestreadores de Altos volúmenes de PST y PM<sub>10</sub>. En general podría afirmarse que para la conformación del Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico será indispensable a mediano plazo disponer de un Laboratorio Nacional de Referencia de Transferencia de Estándares que ofrezca los servicios de calibración primaria a los SMAs que operan en el país.

En este contexto el CENICA podría cumplir a mediano plazo esa importante función, toda vez que cuenta con cierta infraestructura para tal fin y en su organigrama se tiene un departamento específico del Laboratorios de Transferencia de Estándares.

Así entonces los SMA podrán requerir de otros materiales, patrones u instrumentos de referencias certificados en **masa, temperatura y volumen** para documentar la trazabilidad, en función de su complejidad y tipo específico de métodos de prueba que realicen o pretendan realizar a corto y mediano plazo.

## **5.2 Laboratorio de transferencias de estándares**

Con excepción del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la Zona metropolitana de la Cd de México, las demás redes de monitoreo automático en el país son relativamente pequeñas incluyendo de 4 a 7 estaciones de monitoreo fijas y en cierto casos 1 a 2 estaciones móviles. Por lo tanto, estas últimas no cuentan con un Laboratorio de Transferencia de Estándares propiamente dicho. en el caso del SIMAT cuyo alcance involucra la operación de 32 estaciones de monitoreo si se cuenta con una área específica para tal fin. Por su importancia dentro de los Programas de Calibración de los SMA's, a continuación se efectúa una descripción de las características y actividades que se realizan en estos laboratorios.

En esta área se realizan principalmente las calibraciones y pruebas de desempeño, limpieza, entre otros de los muestreadores, analizadores, calibradores dinámicos e instrumentos de referencia y sensores meteorológicos.



En general reparaciones o cambios de partes que se realizan en esta área obedecen descomposturas mayores que no fue posible solventar en las estaciones de monitoreo. por lo que es común que incluyan a la vez diversas áreas con el laboratorio de estándares, meteorológicos, eléctricos, talleres, pruebas, almacén, etc

Comúnmente en estas áreas se cuenta con varias mesas de trabajo y *racks* para instrumentos. Una mesa y un *rack* se dedica a la trazabilidad de Ozono. Los otros *racks* son usados para reparaciones y calibraciones. Por razones prácticas es muy conveniente que estén próximas al almacén de refacciones, consumibles y analizadores y otros equipos periféricos.

En dicha área debe disponerse de un múltiple para toma de muestra como el que se muestra en la figura 5.1, el cual debe estar montado cerca del banco de trabajo. Si es posible la toma de muestra también debe poderse inducir del exterior para corroborar el comportamiento de los analizadores que están siendo probados.

**Figura 5.1** *Múltiple en interior de laboratorio de Transferencia de estándares*



Debe contarse con ventilación forzada o natural en zonas donde se desfogon gases de calibración en exceso. Siendo recomendable que la bomba o extractor se ubique en el exterior para eliminar el ruido en el área trabajo.

Cada banco de trabajo debe tener anexo un *rack* de instrumentos. El *rack* de instrumentos debe estar equipado con soportes deslizables o rieles para facilitar el montaje y desmontaje de instrumentos. Si la instrumentación necesita ser reparada y entonces calibrada, esto debe efectuarse sobre el banco o dentro del *rack*.

Los Analizadores deben encenderse y permitir su estabilización y luego ser calibrados por una unidad de calibración. Los instrumentos que van a ser probados son conectados al múltiple de muestra permitiendo la inducción de aire ambiente de la misma forma en que operan dentro en una estación de monitoreo.

La salida de voltaje analógica del analizador es conectada al Sistema de Adquisición de datos (*DAS por sus siglas en ingles*) y al graficador de carta para probar su operación. Si se presentan problemas intermitentes, estos pueden ser observados en el graficador. El analizador debe operarse durante varios días para ver si la anomalía o problema persiste. Si eso pasa, hay un registro en la carta del problema. Si el instrumento cuenta con un *DAS* y un calibrador, pueden efectuarse chequeos de el *span* y el cero nocturnos para ver como se comporta el analizador con concentraciones conocidas.

En la operación de Sistemas de Monitoreo Atmosférico las principales cadenas trazables que deben demostrarse están relacionadas con:

- el empleo de estándares de transferencia certificados para la calibración o verificación de flujos de los calibradores dinámicos y los muestreadores automáticos y manuales de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ,
- el empleo de fotómetros certificados para la calibración de los analizadores de ozono.
- el uso de gases de calibración certificados de niveles de precisión con el uso de gases de calibración patrón.
- La calibración de los flujos de aire y gas y de las concentraciones de prueba de ozono generadas por los calibradores dinámicos, constituyen también un aspecto muy relevante en este campo de estudio.
- Las calibraciones de rutina de los analizadores y muestreadores
- Las calibraciones de los instrumentos meteorológicos y otros sensores e instrumentos usados en las practicas de monitoreo de la calidad dl aire

En las siguientes secciones se describen en forma general algunos de los aspectos relacionados con dichas actividades de certificación y calibración para fines de trazabilidad, siendo importante que dichos ejemplos representan en la mayoría de los casos extractos de las fuentes bibliográficas a la que se hace

referencia , por lo que los lectores interesados los documentos completos o procedimientos detallados podrían consultarlas.

### **5.3 Certificación de Estándares de Transferencia**

#### *5.3.1 Certificación de calibradores de flujo*

##### *Medidores de Burbuja (Bubble Meters)*

La exactitud de las mediciones de flujo es crítica en muchos procedimientos de calibración. Los instrumentos de medición de flujo y volumen deben ser certificados o verificados en periodos apropiados (cada 3 ó 6 meses) contra estándares patrones de referencia trazables a NIST o CENAM.

En la figura 5.2 un *kit* de medidores de flujo empleados por la mayor parte de los SMA's, conocidos como medidores de burbuja electrónicos u ópticos. Dichos calibradores son considerados como patrones primarios, debido a la alta precisión y reproducibilidad de su principio de funcionamiento, el cual se basa en la generación de una película de jabón cuyo desplazamiento ascendente inducido por el flujo de aire que se está midiendo es registrado por sensores ópticos localizados en la parte inferior y superior de la botella. Dicha señales son registradas por el cronómetro integrado del instrumento y microprocesador calcula el flujo de a partir de los datos de volumen y tiempo correspondientes. En la práctica se realizan una serie de repeticiones de la lectura de un determinado flujo y se utiliza para el calculo o verificación e valor promedio.

**Figura 5.2** *Kit para calibración de medidores de flujo en las estaciones de monitoreo*



No obstante la alta confiabilidad de estos calibradores la veracidad de sus lecturas debe ser corroborada para demostrar su trazabilidad. Fallas tales como: desajuste de los sensores o fugas pueden provocar errores importantes en las lecturas. Comúnmente la certificación de estos calibradores se realiza en laboratorios de referencia o calibración.

En la figura 5.3 se ilustra un calibrador primario de desplazamiento positivo Marca *Brooks* que se utiliza para la certificación o verificación de estos estándares de transferencia, propiedad del laboratorio de Estándares de Referencia CARB..

**Figura 5.3** *Calibrador primario marca BROOKS de referencia para calibradores de flujo*



Dicho equipo cuenta con tres tubos de cuarzo de tres diferentes volúmenes de alta precisión. Cuyo principio de funcionamiento es muy similar al descrito con anterioridad con excepción que el elemento de desplazamiento es un pistón “libre de fricción”.

La prueba calibración se efectúa conectando en serie ambos calibradores y se efectúan comparaciones de los flujos registrados por cada instrumento, las lecturas son corregidas por condiciones de presión y temperatura y se someten a un tratamiento estadístico para determinar si el equipo de prueba cumple con los límites de aceptación.

Las calibraciones se efectúan en 5 puntos al 100, 75, 50, 25 y 12.5% de la escala del estándar de transferencia. Para cada punto se realizan tres lecturas y se calcula la desviación estándar relativa (RSD).

Los criterios de aceptación de una verificación son que el coeficiente de correlación sea de 0.999 o mayor: que la pendiente este dentro de un 5% del valor esperado y menos del 1%.

La certificación consiste en realizar dicho protocolo durante 4 días diferentes cuya finalidad esta orientada a corroborar la estabilidad de instrumentos.

### Calibradores de orificio

Los *Kits* de calibración empleados para cuantificar el flujo de aire de los muestreadores de altos volúmenes, son también estándares de transferencia que requieren ser calibrados con una frecuencia de un año. Existen dos tipos de unidades de orificio, las de platos y las de perilla para variación de flujo.

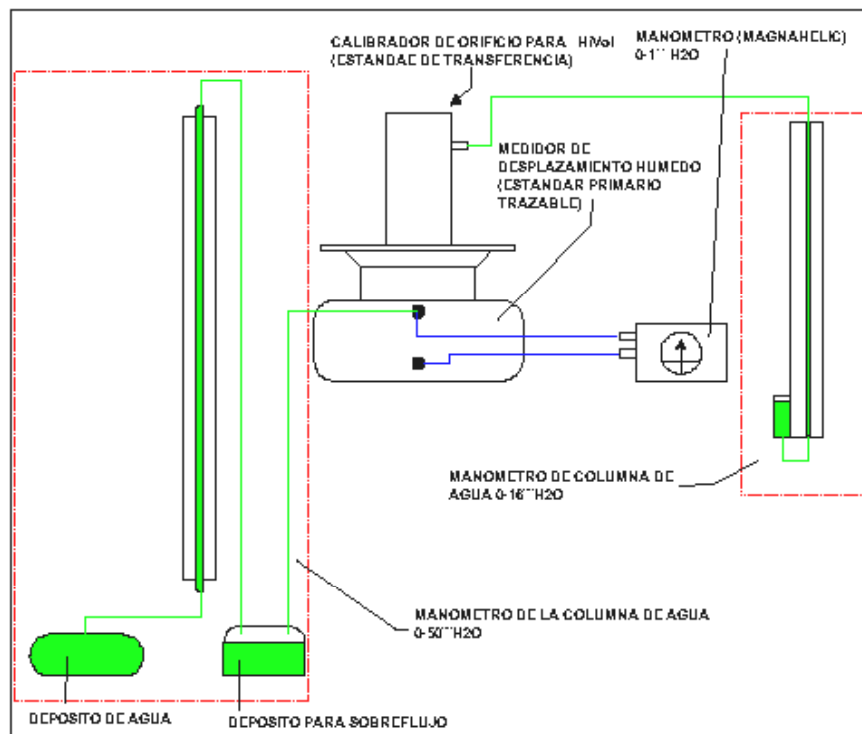
La calibración de estas unidades, se efectúa mediante el empleo de un medidor de desplazamiento positivo (MDP) de raíces (o cicloidal), el cual es un patrón de referencia secundario y su principio de funcionamiento se basa en la medición del volumen de aire que entra y sale, a través de las cavidades internas contenidas en sus elementos rotativos (lóbulos). La calibración consiste en:

1. Acoplar la unidad del orificio a calibrar sobre el medidor del desplazamiento positivo como se indica en la figura 5.4
2. Conectar las manguera de los manómetros de agua y del manómetro de mercurio a la unidad de orificio y al MDP respectivamente y realizar los ajustes para nivelar el cero en ambos casos
3. Checar el nivel de soporte del medidor de desplazamiento positivo y ajustar los tornillos de nivelación si es necesario
4. Instalar el plato número 18 entre la unidad de orificio y el MDP

5. Encender el motor del muestreador y permitir su operación durante 5 min para su estabilización
6. Registre los datos del número de orificio y número de MDP en el formato de calibración, así como la fecha y la hora
7. Registre la temperatura y la presión barométrica
8. Registre las lecturas del barómetro de Hg y del manómetro e H<sub>2</sub>O
9. Use un cronómetro APRA medir el tiempo en minutos y centésimas de exactamente 10 revoluciones del contador del MDP o para 100 ft<sup>3</sup> de aire a través del medidor
10. Registre los datos y tiempo medido en las columnas correspondiente de formato
11. Repita de los paso 3 al 11 para los platos 13, 10, 7 y 5

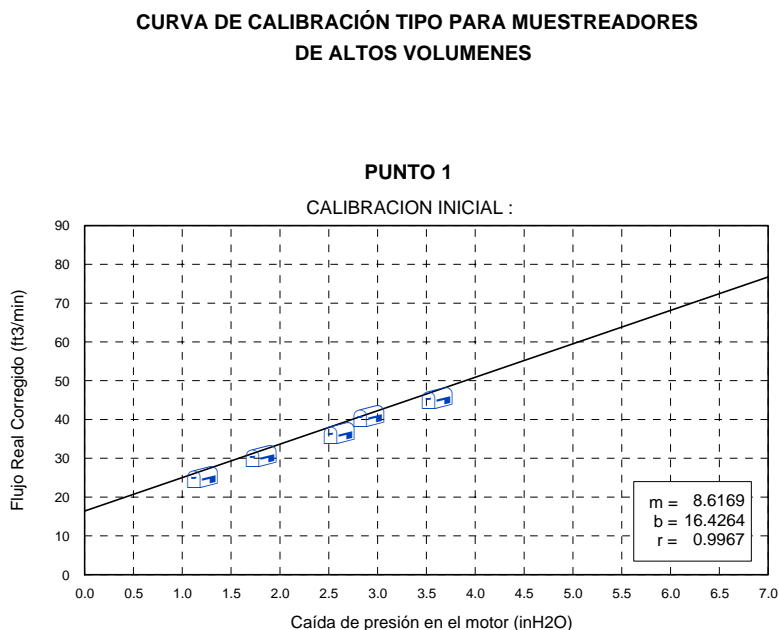
Una vez obtenidos los datos de la calibración, se procede a graficar el flujo medido contra la presión total por la unidad de orificio. Y se obtiene la curva de calibración correspondiente de la unidad de orificio. Un ejemplo de una curva, se puede observar en la Fig. 5.5

**Figura 5.4 Arreglo General para Calibradores de Orificio**



Fuente: CARB (1997)

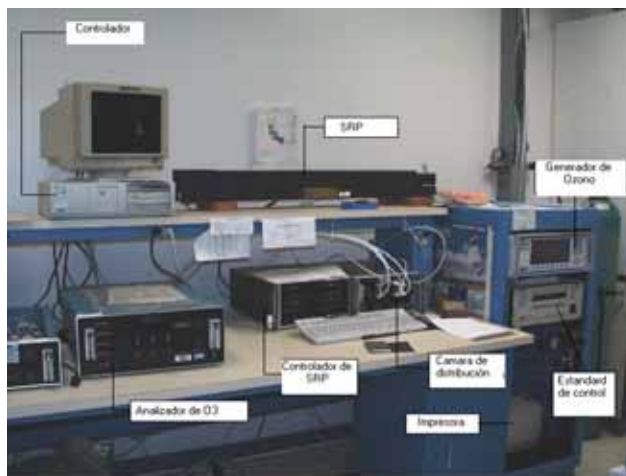
**Figura 5.5** Curva de calibración para unidades de orificio



### 5.3.2 Fotómetros

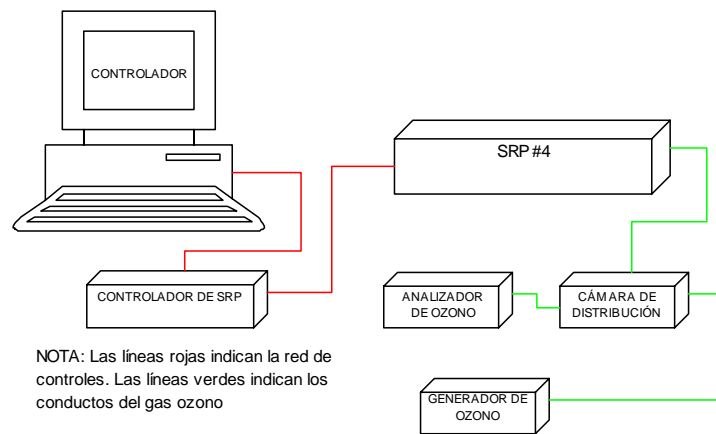
En las figuras 5.6 y 5.7 se muestra un arreglo típico para la certificación o verificación de analizadores de  $O_3$  que se utilizan como estándares de transferencia, que incluye: un fotómetro UV de referencia (estándar primario local), el analizador de  $O_3$  en prueba; el generador de  $O_3$ ; la cámara o múltiple de distribución del panel de control del SRP y la computadora para el almacenamiento de datos.

**Figura 5.6** Certificación contra estándar fotómetro de referencia



En la Fig. 5.7 se ilustra esquemáticamente la interconexión de los componentes para realizar las comparaciones de las lecturas de ozono registradas entre estándar de transferencia y el fotómetro primario de referencia. La frecuencia de calibración recomendada para los estándares primarios locales es de 1 año, mientras que la correspondiente a los estándares de transferencia es de cada 3 meses. Los criterios de aceptación recomendados de la *EPA*, se basan en diferencias en +/- el 4 % ó +/- 4 ppm (el que sea mayor) y una desviación estándar relativa de 6 pendientes de 3.7 % .

**Figura 5.7** Arreglo típico para calibración de un estándar de transferencia de O<sub>3</sub>



Fuente: CARB (1997)

## 5.4 Gases de calibración

En general, los instrumentos de monitoreo ambiental deben ser calibrados mediante el muestreo y análisis de gases de concentraciones conocidas de un determinado contaminante del aire. Todas las concentraciones de prueba (no cero), deben ser, derivadas de estándares locales o de trabajo (p.e. cilindros de gas comprimido o tubos de permeación) que estén certificados con trazabilidad a un estándar primario nacional o internacional (p.e. CENAM; NIST, entre otros)

En Estados Unidos, en el 40 CFR partes 50 y 58, se define “**Trazable**”: como *aquel estándar local que ha sido comparado y certificado, ya sea directamente o a través de no más de un estándar intermedio, contra un estándar primario como un*



*material de referencia estándar (SRM por sus siglas en inglés) del National Institute Standard and Technology (NIST) o un material de referencia certificado (CRM por sus siglas en inglés) aprobado, ya sea por EPA o NIST..*

Normalmente, el estándar de trabajo debe ser certificado directamente a un SRM o CRM, con un estándar intermedio solo cuando sea necesario. El uso directo de un CRM es aceptable, pero el uso directo de un NIST SRM como estándar de trabajo no es recomendable por su limitada disponibilidad y alto costo.

En el “*Red Book*”, se establece que como mínimo, el procedimiento de certificación para un estándar de trabajo debe cubrir los siguientes aspectos:

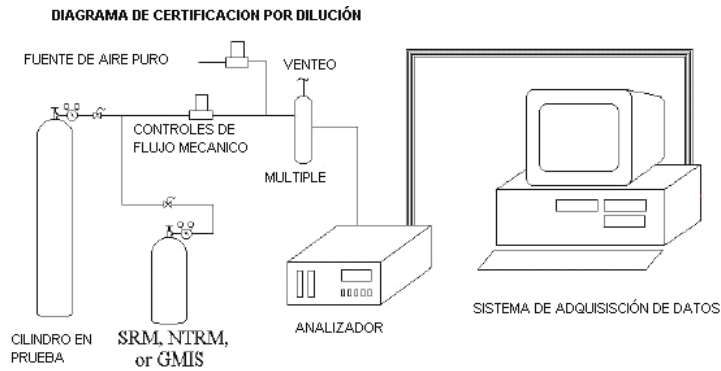
- establecer la concentración del estándar de trabajo relativa al estándar primario
- certificar que el estándar primario (y por lo tanto el estándar de trabajo) es trazable a un estándar primario de NIST
- incluir una prueba de estabilidad del estándar de trabajo de muchos días (caducidad)
- especificar un intervalo de recertificación para el estándar de trabajo

En Estados Unidos se permite que la certificación del estándar de trabajo puede ser establecida por el fabricante o por el usuario del estándar.

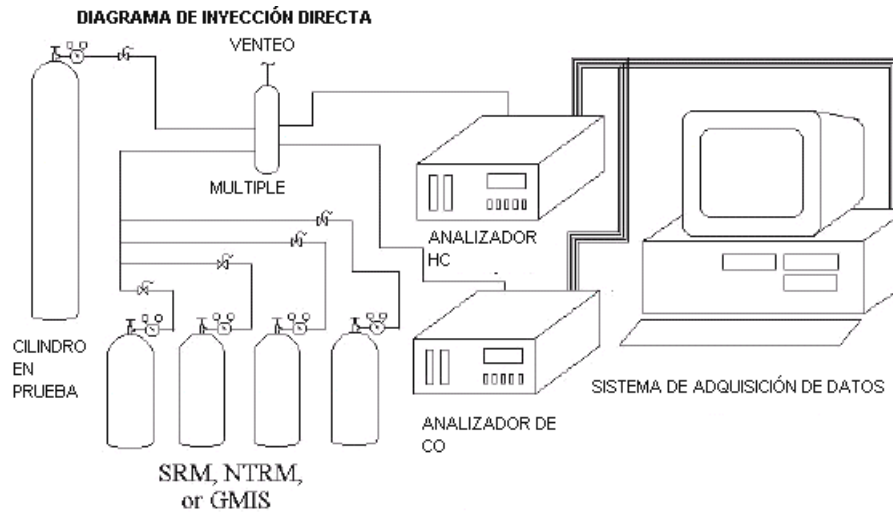
En el caso de los gases de prueba de concentración **cero**, se consideran como estándares válidos y no requieren ser trazables a un estándar primario. Sin embargo, debe asegurarse que verdaderamente se encuentran libres de todas aquellas sustancias que pudieran causar una respuesta detectable por el analizador en prueba. En las figuras 5.8 y 5.9 se ilustran los arreglos que se emplean para la certificación de gases de calibración empleando el método de dilución y el método sin dilución respectivamente.

En México, la certificación de gases de calibración es principalmente efectuada por los fabricantes. Sin embargo, no es común la práctica de recertificar mezclas de gases con fechas caducas, debido a que los costos de certificación son tan elevados como las de adquisición de una mezcla nueva.

**Figura 5.8 Diagrama para la certificación de gases de calibración. Método de Dilución**



**Figura 5.9 Diagrama para la certificación de gases de calibración. Método sin Dilución**



## 5.5 Calibración de Calibradores Dinámicos

Por su importancia dentro de la cadena de trazabilidad de los SMA's, en esta sección se presentan los aspectos mas relevantes de la sección de calibración del Procedimiento Operativo (PO) de un Calibrador Multi-flujo (MFC) *Envionics 9100* de la California Air Resorces Board ( ARB). *CARB (1997)*

El calibrador dinámico *Envionics 9100* esta equipado con dos controladores másicos de flujo. El controlador de flujo másico de aire tiene un rango de 0–20 litros estándar por minuto (SLPM) y es operado a 13 SLPM para los chequeos diarios de precisión y span. El controlador másico de gas opera en un rango de 0–100 centímetros cúbicos estándar por minuto (SCCM) y controla el flujo a 82 SCCM tanto para los chequeos diarios del cero y el span, como para los chequeos de precisión semanales.

El principio básico de operación de los controladores másicos de flujo es la Conductividad térmica. El flujo másico de gas es referenciado a condiciones Normales (760 mm Hg y 25° C). Por lo tanto, las correcciones de presión y temperatura son efectuadas automáticamente por el instrumento para mantener flujos exactos operando en cualquier ambiente.

Al igual que muchos otros modelos usados en los SMAs, el *Envionics 9100* también posee su propio generador de ozono. El ozono puede ser generado para obtener la concentración deseada a través del teclado. Un lámpara de luz ultravioleta con una longitud de onda de 184.9 nm produce el O<sub>3</sub> en el aire seco en el interior del generador. La concentración de Ozono es controlada por el voltaje aplicado a la lámpara. También son capaces de efectuar la titulación en fase gaseosa del óxido nítrico (NO) con Ozono (O<sub>3</sub>) para producir dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). *CARB (1997)*.

### 5.5.1 Procedimiento de calibración

Los controladores másicos de flujo y el generador de Ozono (O<sub>3</sub>) deben ser calibrados sobre una **base semestral**. Los controladores másicos de flujo son calibrados por comparaciones contra un estándar de transferencia de medición de flujo certificado. El generador de O<sub>3</sub> es calibrado comparando la salida del instrumento contra un estándar de transferencia de Ozono (O<sub>3</sub>) trazable a NIST.

La secuencia de pasos que se realizan en este procedimiento de calibración para los flujos de gas es referida a continuación, mientras que en la tabla 5.1 se presenta el formato de registro de los datos de calibración desplegado por la computadora utilizada por este SMA.

**a) Calibración del Flujo de Aire.** (“Como esta”)

1. Conecte el estándar de transferencia de flujo y encienda el instrumento para que se caliente durante al menos una hora.
2. Cierre el regulador del tanque de gas de calibración ( span )
3. Asegúrese que el conector de entrada digital esta desconectado de la parte posterior del Sistema de Adquisición de Datos (*DAS* por sus siglas en inglés), de lo contrario el calibrador 9100 marcara todos los contaminantes criterio con “” C “ en el *DAS*.
4. Desconecte la manguera de Teflón de ¼” de la salida del Environics a la entrada de la sonda de la estación y obture la entrada de la sonda con un tapón plástico. Conecte la manguera a la salida del estándar de transferencia de flujo certificado con capacidad para manejar un rango de 0– 30 SLPM.
5. Llene los datos en el formato electrónico AS –IS MFC que se muestra en la tabla 5.1.
6. Efectúe la calibración “Como esta” conforme a las secciones como se describe a continuación.
7. Presione el botón **FLOW MODE** en el menú principal.
8. Ponga el selector de gas a **0.0** SCCM y el de Ozono en **0.00** ppm
9. Opere el *Environics 9100* en el rango de 20 SLPM para 5 puntos de flujo. Los cuales serán 15, 14, 13, 12 y 11 SLPM.
10. Ponga el selector del MFC 1(aire) a 15 SLPM. Presione **START**. Encienda el generador de aire puro Aadco. Asegúrese que la presión en el manómetro en la línea de salida es de 35 psig.
11. Después de 5 minutos, registre la lectura de “Flujo Actual” del calibrador, y la correspondiente del *display* del standard de referencia (calibrador de flujo), y calcule el “Flujo Verdadero” (*true flow*) a partir de la ecuación del estándar de referencia certificado en el formato de calibración.
12. Seleccione el flujo (*Target Flow*) a **14** SLPM y Presione el botón **UPDATE**. Espere 2 minutos y registre los flujos. Repita este procedimiento para **13, 12 y 11** SLPM. Una vez que todos los datos de flujo han sido registrados presione **STOP**.

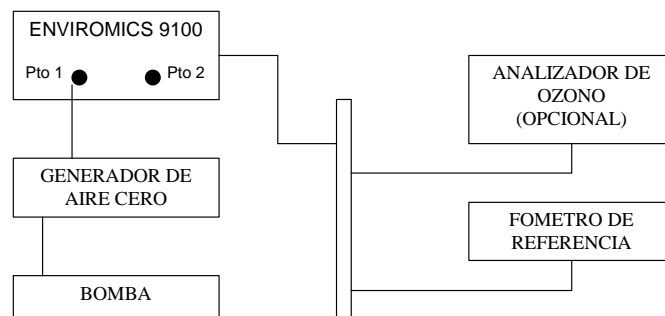
## b) Calibración del Flujo de Gas. (“Como esta”)

De forma análoga, la calibración del flujo de gas se realiza a partir de la comparación de nueve puntos: 92.0, 82.0, 72.0, 62.0, 52.0, 42.0, 32.0, 22.0 y 12.0 SCCM entre el *EnviroNics 9100* y el estándar de referencia. Los registros de las lecturas obtenidas en cada instrumento, las correcciones a partir de la curva de calibración del estándar de referencia y sus respectivas diferencias, se indican también en la tabla 5.1.

## c) Calibración del Generador de Ozono

La calibración del generador de ozono, se efectúa por la comparación de la salida del *EnviroNics 9000* contra un estándar de transferencia de ozono trazable a NIST. En la figura 5.10, se muestra un esquema del arreglo empleado para dicha calibración. A continuación, se describen las instrucciones que se llevan a cabo para tal fin, mientras que en la tabla 5.2, se presentan el registro de lecturas correspondiente a dicha prueba.

**Figura. 5.10** Diagrama de Calibración de Ozono



Adaptada: CARB (1997)

## CALIBRACION DE OZONO (“Como esta”)

1. Desconecte la línea de suministro de aire del puerto 2. Conecte la línea del cilindro de gas de calibración al puerto 2 y gire en posición de abierto. Conecte el suministro de aire en el puerto 1. Es necesario que el *DAS* este inhabilitado para este procedimiento. Asegúrese que el filtro de la línea de entrada al analizador haya sido cambiado recientemente. Registre la presión del manómetro *Magnehelic* del múltiple cuyo rango es de 1–1 pulgs C.A.
2. Use el formato de “Ozono como esta” en las hojas desplegada en la *laptop Environics 9100*, y llene todos los datos generales requeridos antes de empezar la calibración
3. Efectúe las conexiones del *Environics 9100*, el analizador de ozono y el fotómetro de referencia al múltiple como se indica en la fig. 5.10 Los siguientes pasos establecidos y la figura antes mencionada, asumen que el analizador de ozono será calibrado en forma conjunta con el *environics 9100*. Si el analizador de ozono de la estación no necesita ser calibrado, realice los ajustes apropiados.
  - a) Verifique que la presión de la línea de aire del generador de aire cero (marca Aadco) a la entrada del 9100 (puerto 1) esté a 35 psig
  - b) La mezcla ozono/aire fluye del equipo 9100 a través de una manguera de teflón dentro del puerto más alto del múltiple de entrada de la estación.
  - c) La línea de entrada de muestra del analizador de ozono, se conecta al puerto inferior del múltiple.
  - d) Un Puerto cerca de la parte inferior del múltiple de vidrio, es conectado al estándar de transferencia de ozono por medio de una manguera de teflón de 1/4 de pulgada.
  - e) El primer punto con la concentración mas alta de ozono es corrido durante aproximadamente 45 minutos. La caída de presión en el múltiple no debe exceder de 1.0 pulg. CA
  - f) Todo el gas en exceso debe ser venteado a través de la sonda, la extracción de la estación o un tubo adicional con diámetro mayor

4. En el menú principal presionar el **FLOW MODE**
5. Ajuste el flujo total a 13 SLPM. Asegure que el flujo de gas esté ajustado a 0.00 ppm (esto se hace posicionando NO "Target Gas" en concentración a 0.00) y el ozono a 0.00 ppm
6. **PRESIONE START**. Verifique que la presión a la salida del Aadco este a 35 psig. Asegúrese que el ajuste de presión del manómetro este encendido. Opere el equipo *Environics 9100* en este modo, hasta que una lectura estable del cero sea obtenida en el estándar de transferencia, el registrador de carta, el *data logger*, y si el analizador de ozono está siendo calibrado. Si no, gire el *by-pass* de la bomba de la estación. Registre el voltaje de la lámpara y la presión del generador de ozono.
7. Registre 10 lecturas consecutivas del cero desplegado del formato de la laptop.
8. Ajuste el valor de ozono a **0.60** ppm, y **PRESIONE UPDATE**. Debe permitirse hasta 30 minutos para lograr una lectura estable a este nivel. Después de que la respuesta de salida del ozono se ha estabilizado en el estándar de transferencia, el registrador de carta y el *data logger*, registre 10 lecturas consecutivas. Registre también el voltaje de la lámpara de ozono.
9. Repita las etapas precedentes para los niveles de concentración de **0.50, 0.40, 0.20, 0.09 y 0.05** ppm. La duración de cada corrida para estos puntos debe ser de 20 minutos.
10. Después de que todos los puntos han sido colectados, ajuste la concentración de ozono a **0.0** ppm. Cuando los valores indican una lectura de cero estable, o cuando transcurrieron 20 minutos, registre 10 lecturas consecutivas.
11. Presione **STOP** para detener esta operación.
12. Presione **EXIT** para salir del modo *FLOW* y regrese al menú principal.

### ***Criterios de aceptación***

Una vez efectuadas, las corridas de calibración descritas y mediante la ejecución de los cálculos y análisis estadísticos que se ilustran en los formatos de las tablas 5.1 y 5.2, la calibración que del calibrador dinámico debe de cumplir con los criterios de afectación que se indican en la tabla 5.3

**Tabla 5.3 Criterios del Calibrador Dinámico**

<b>Escala</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Tolerancias</b>
0-100 SCCM MFC	Flujo de gas	+/- 2 SCCM @ 22 SCCM +/- 2 SCCM @ 82SCCM
0-20 SLCM MFC	Flujo de aire	+/- 500 @ 13,000 SCCM
Generador de ozono	Salida de ozono	+/- 0.005 ppm @ 0.09 ppm +/- 0.050 ppm @ 0.50 ppm
Prueba de fugas	Integridad del sistema	- 5 SCCM @ 25 PSIA (10 psig)

*Fuente: CARB (1997)*

Si alguno de los criterios de aceptación no se cumple, entonces será necesario efectuar una "Calibración Final"



**TABLA 5.1 REPORTE DE CALIBRACIÓN ARB –SISTEMA DE CALIBRACIÓN DEL GAS Environics 9100**

MFC Calibración:

Estándar de Transferencia de Flujo I.D.:

	Tyland 4-1
Prop. #:	20603865
Cart. Date:	10/15/96
Cert. Exp.:	01/14/97

Calibración:

Cal. Type:	"como esta"
Fecha de Calibración:	10/21/96
Fecha de Cal. previa :	5/20/96

Ecuación de Transferencia de Flujo: m: X: B:

0-30 MCF :	Flujo de aire =	0.9752	"Prom. Display	+/-	-0.2025	SLPM
0-100 cc MFC :	Flujo de gas =	0.9947	"Prom. Display	+/-	-0.5973	SLPM

Datos de Calibración del Flujo de Aire– 0.30 slpm MFC:

Ajuste manual del flujo:	16.0	14.0	13.0	12.0	11.0
Flujo de Salida del Envir, <(Display):	14.97	13.99	13.00	12.01	10.72
Std.de transferencia (Display):	15.54	14.67	13.67	12.67	11.32
Flujo de Aire Real (sccm):	15.05	14.10	13.13	12.15	10.34
Net Change (set point - T.F.):	-0.05	-0.10	-0.13	-0.15	0.16

Nota: +/- Lpm Tolerante

Datos de Calibración del Flujo de gas – 0-100 sccm MFC:

Ajuste manual del flujo:	92.0	82.0	72.0	62.0	52.0	42.0	32.0	22.0	12.0
Flujo de Salida del Env<(Display):	91.99	82.00	72.02	62.00	52.03	42.00	30.01	22.01	12.01
Estándar de Transferencia:	91.46	81.75	71.73	61.81	52.12	42.22	32.26	22.20	12.20
Flujo de Aire Real (sccm):	90.28	80.62	70.65	60.79	51.15	41.30	31.41	21.39	11.39
Net Change (se tpoint - T.F.):	1.72	1.38	1.36	1.21	0.35	0.70	0.59	0.61	0.54

Nota: +/- 2cc Tolerante

Flujo de aire Cal. – 030 sccm MFC:

Ajuste manual de flujo (X)	Flujo de Aire Real: (Y)	Cal.Lineal
15.0	15.05	15.13
14.0	14.10	14.09
13.0	13.13	13.05
12.0	12.15	12.02
11.0	10.84	10.98

Ecuación de regresión lineal del flujo de aire:

TAF (Slope):	1.0376
Setpt (intercepción)	-0.4346

MFC Regresión lineal de aire a la salida::

Constante	-0.43460	MFC REGRESION
Std Er Y Est	0.13030	
R Squared	0.99529	
No. de observaciones:	5	
Grados de libertad	3	
Correlación	0.99764	
X Coeficiente	1.0376	
Coeficiente de Error	0.041	

Cal. Flujo de Gas – 0-100 sccm MFC:

Manul Flow Setpoint (X)	Flujo de aire real: (Y)	Cal. Lineales.
92.0	90.2780	90.40
82.0	80.5194	80.55
72.0	70.5525	70.70
62.0	60.7851	60.85
52.0	51.1465	51.00
42.0	41.2989	41.15
32.0	31.4116	31.31
22.0	21.3850	21.46
12.0	11.4579	11.61

MFC Regresión lineal del gas de salida

Constante	-0.21189	MFC REGRESION
Std Er Y Est	0.12334	
R Squared	0.99998	
No. de observaciones:	9	
Degrees of freedom	7	
Correlación	0.9999	
X Coeficiente	0.9849	
Std Err of Coef.	0.002	

Gas flow linear regres equ.:

TAF (Slope):	0.9849
Setpt (Intercepcion):	-0.2119

Comentarios:	
Calibrado por:	Revisado por:

**Tabla 5.2**  
**ARB REPORTE DE CALIBRACION – SISTEMA DE CALIBRACIÓN DEL GAS**  
**ENVIRONICS**

Calibración del generador de ozono:

Ozone Transfer Standard de transferencia de Ozono I.D.:

Marca y Modelo:	5009 CP	Span Dial Number:	308
Property No.:	20003850	P/T (On/off):	On
No. de serie:	309	P/T Corr. Value :	1.383
Presión del gas (mmHg):	610.0	Flujo de aire (Volts):	
Tempertura del gas (°C):	26.9	Flujo de gas (Volts):	
Flujo de aire (slpm):	2.0	Cart. Date:	10/15/96
Ajuste del flujo de aire:	2.5	Cart. Exp.:	1/14/96

Inf. Calibración:

Tipo de Cal:	As Is
Datos de Calibración:	10/22/96
Datos de Cal. Prev.:	5/20/96

Environics Display:

Temp. Block Temp. (°C):	51.000
Flujo de aire (SLPM):	13.13
O <sub>3</sub> Gen. Pres. (PSIA):	23.7
Flujo de Ozono (CCM):	494.1

Factor de corrección de Ozono real Factor (TOCF):

m: X: b:

True O <sub>3</sub> =	0.9982	"Avg. Display	+/-	0.0001	ppm O <sub>3</sub>
-----------------------	--------	---------------	-----	--------	--------------------

Datos de calibración (transferencia de estándares) para ozono:

	Número	Pre-cero	1 <sup>er</sup> 0.600	2° 0.500	3 <sup>er</sup> 0.400	4° 0.200	5° 0.90	6° 0.50	Post-cero
Voltaje de lámpara de O <sub>3</sub> :		0.735	12.76	12.66	12.51	11.47	9.95	9.350	0.732
	1	-0.002	0.604	0.510	0.415	0.207	0.089	0.050	0.000
	2	-0.002	0.604	0.510	0.415	0.207	0.089	0.050	0.000
	3	-0.002	0.604	0.510	0.415	0.207	0.089	0.050	-0.001
	4	-0.001	0.604	0.510	0.415	0.207	0.089	0.050	-0.001
	5	-0.002	0.604	0.510	0.415	0.207	0.089	0.050	-0.001
	6	-0.001	0.604	0.510	0.415	0.207	0.090	0.050	-0.001
	7	-0.001	0.604	0.510	0.415	0.207	0.089	0.050	-0.001
	8	-0.001	0.604	0.510	0.415	0.207	0.090	0.050	-0.001
	9	-0.001	0.604	0.510	0.415	0.207	0.089	0.050	-0.001
	10	-0.001	0.604	0.510	0.415	0.207	0.089	0.050	-0.001
Promedio Display:		-0.001	0.604	0.510	0.415	0.207	0.089	0.050	-0.001
Corr. Prom. (ppm):			0.604	0.510	0.415	0.208	0.090	0.051	

Valores gráficos para la conc. de Ozono.:

Set point: (X)	True O <sub>3</sub> (Y)	Calculo de Línea
0.60	0.604	0.610
0.50	0.510	0.509
0.40	0.415	0.408
0.20	0.208	0.205
0.09	0.090	0.094
0.05	0.051	0.053

Ozone Regression Output:

Constante		0.00233
Std Err of Est		0.00533
R Squared		0.99955
No. de observaciones		6
Degrees of Freedom		4
Correlación	0.99978	
X Coeficiente(s)	1.013335	
Std Err of Coef.	0.010630	

Pre-post cero

Pre:	-0.001
Post:	-0.001
Average:	-0.001

REGRESIÓN DE  
OZONO

Regresión equivalente del flujo de Ozono:

TCF (Stope):	1.0133
Intercepción:	0.0023

Comentarios:			
Calibrado por:		Revisado por:	

## 5.6 Calibración de Analizadores

En la operación práctica de los programas de calibración, se efectúan diferentes tipos de calibraciones, cuya complejidad y aplicación puede variar en función de las circunstancias y los objetivos de calidad establecidos. Sin embargo, es importante tener en mente que las calibraciones en este campo deben incluir los siguientes elementos: 1) Trazabilidad de los materiales de referencia o entradas conocidas; 2) Procedimientos establecidos y validados; 3) efectuarse en forma programada y 4) Documentar los resultados.

Los principales tipos de calibraciones que se efectúan a los analizadores de gases de los SMAs, se describen a continuación.

### 5.6.1 Calibraciones Multi-punto

Las calibraciones multi-punto consisten de tres o más concentraciones de prueba, incluyendo el cero y una concentración entre 80% y 90% de la escala completa del rango del analizador bajo calibración, y una o más concentraciones intermedias espaciadas en intervalos aproximadamente iguales dentro del rango de operación.

Estas calibraciones multi-punto son usadas para establecer y/o verificar la linealidad de los analizadores en su instalación inicial, después de reparaciones mayores y cada determinación de tiempo. La mayoría de los analizadores modernos tienen una respuesta lineal o muy próxima con la concentración de referencia.

En la tabla 5.4 se indican los rangos de concentración utilizados en la práctica para este tipo de calibraciones en analizadores de contaminantes criterio

TABLA 5.4 Rangos de Concentración típicos para calibraciones Multi punto

NO.	PUNTO DE PRUEBA	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> y O <sub>3</sub> (ppb)	CO (ppm)
1	Cero	0.0	0.0
2	Primer punto	30 – 80	3.0 – 8.0
3	Precisión	80 – 100	8.0 – 10.0
4	Tercer punto	150 – 200	15.0 – 20.0
5	Cuarto punto	275 – 325	27.5 – 32.5
6	Nivel 1	350 - 450	35.0 – 45.0

Fuente: CFR (2004)

El cálculo de las concentraciones de los gases de calibración para SO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub> y CO, se lleva a cabo de la siguiente ecuación:

*Ecuación A*

$$C = \frac{SG * G}{G + DA}$$

Donde:

C: Concentración del gas de calibración (ppb = ppm\*1000)

SG: Concentración del SPAN (ppm)

G: Flujo de gas del SPAN (cc/min), y

DA: Flujo de aire de dilución a través del calibrador (cc/min)

Por ejemplo, cuando:

SG = 100 ppm, G= 9 cc/min y DA = 10 L/min (10 000 cc/min),

$$C = \frac{(100)(9)}{(9 + 10000)}$$

C = 0.090 ppm = 90 ppb

La siguiente ecuación es usada para calcular el porcentaje de diferencia entre la concentración de entrada y los valores observados:

$$\% Diff = 100\% \left( \frac{(Obs - C)}{C} \right)$$

Donde:

% Diff: Porcentaje de diferencia

Obs: Concentración observada como es medida por el analizador y registrada por el sistema de datos, en las mismas unidades que C, y

C: Concentración del gas de calibración (ppm).

El procedimiento general para la realización de calibraciones multi-punto, es de la siguiente manera:

1. Llene los datos generales de la parte superior del formato, el cual identifica el sitio, el instrumento, la fecha, la hora, el operador y identificación del gas de calibración.
2. Marque el canal apropiado
3. conecte la línea de calibración al puerto marcado como "VENT" en el calibrador
4. Desconecte el filtro de la línea del múltiple de muestra

5. Conecte el filtro de la línea a la “t” de acero inoxidable lo más cerca al calibrador sobre la línea de calibración, verificando que el flujo del calibrador fluye en la dirección indicada en la línea del filtro.
6. Hasta tres instrumentos pueden ser calibrados usando este método. Especial cuidado, debe tenerse para asegurar que el instrumento no reciba gas calibración a un alta presión, así como, que haya suficiente flujo a la entrada del analizador, de modo tal que la muestra no sea diluida con aire ambiente.
7. Opere el calibrador para suplir gas de calibración en los rangos requeridos. Permita que el analizador logre una respuesta estable; registre la información del gas de entrada y el resultado del analizador en el formato. Calcule el % de diferencia, usando la ecuación A.
8. Compare los resultados de los porcentajes de diferencia contra los criterios de aceptación. Si los resultados exceden dichos límites, realice los ajustes o el mantenimiento conducentes y entonces repita la calibración nuevamente.
9. Después de que la calibración es completada, desconecte la línea de calibración y reconecte la toma de muestra del analizador al múltiple.
10. Purgar el calibrador con aire cero para prevenir posibles errores en las calibraciones durante las subsecuentes auto calibraciones.

En la tabla 5.5, se muestra un formato de calibración típico para analizadores de SO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub>.

Para el caso de los analizadores de NO<sub>x</sub>, la calibración para NO<sub>2</sub> y la determinación de la eficiencia del convertidos, son efectuadas a través de una calibración de 2 etapas conocida como titulación en fase gaseosa (TFG), esta consiste en la adición de ozono al óxido nítrico (NO) para obtener dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en la misma proporción en que el O<sub>3</sub> es alimentado. En la tabla 5.6, se muestra un ejemplo del formato de calibración que se utiliza para una calibración multi-punto de NO<sub>x</sub>, NO y NO<sub>2</sub>, y el cálculo de la eficiencia del convertidor.

Es recomendable que las lecturas de respuesta del analizador deban ser obtenidas del mismo dispositivo de registro (graficador, *display*, sistema de adquisición de datos, etc.) que será usado para las subsecuentes mediciones de las concentraciones en el aire ambiente.

En general los datos de calibración del analizador son graficadas contra sus respectivas concentraciones de prueba, y la mejor curva de ajuste lineal para los puntos debe determinarse a partir de la regresión de mínimos cuadrados conducente, donde la pendiente y el punto de intercepción de la curva de calibración es obtenida por la ecuación:

$$y = mx + a$$

donde:

**y:** representa la respuesta del analizador,

**x:** representa la concentración del contaminante

**m:** es la pendiente, y

**a:** es el punto de intercepción de la mejor curva de ajuste.

Cuando la ecuación de la calibración es usada para expresar las concentraciones medidas (x) por el analizador de las lecturas de respuesta del analizador (y), pueden corregirse despejando de la fórmula:

$$x = (y - a)/m.$$

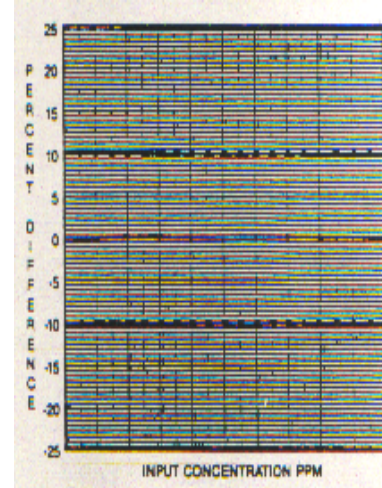
Dos indicadores típicamente usados para fines de Control de Calidad sobre las calibraciones, son la desviación estándar y/o el coeficiente de correlación que puede ser calculado en la regresión lineal correspondiente. Una carta de control del error estándar o el coeficiente de correlación puede elaborarse para monitorear el grado de dispersión de los puntos de calibración y verificar que se encuentran dentro de los límites de aceptación previamente establecidos.

Tabla 5.5 Formato de registro

**DATOS DE CALIBRACIÓN MULTIPUNTO**

PARÁMETRO

Estación/Sitio: \_\_\_\_\_  
 Técnico: \_\_\_\_\_  
 Fecha y Hora \_\_\_\_\_  
 Modelo del Analizador: \_\_\_\_\_  
 No. de Inventario (ID): \_\_\_\_\_  
 Rango del Analizador \_\_\_\_\_  
 Modelo de Calibrador: \_\_\_\_\_  
 No. Inv/ serie: \_\_\_\_\_  
 Gas de Cal./ No Cilin...: \_\_\_\_\_  
 Concentración: \_\_\_\_\_ PPM  
 Cilindro de Aire Ultra Puro NO. \_\_\_\_\_



SIN AJUSTE: Recalibre si la respuesta es +/- 10 %

Flujo de Gas De Calibración SCCM	Flujo de dilución SCCM	Concentration de entrada (ppm). A	Respuesta del Analizador (ppm). B	Percent Difference $\left(\frac{B-A}{A}\right) \times 100 = \%$
		0.000		

ADJUSTE: Ajuste la respuesta del Analizador al 40% de la escala completa

		0.000		

Comentarios: \_\_\_\_\_

**Tabla 5.6**  
**Formato Tipo de Datos de Calibración**  
**para Analizadores de NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>**

Estación : \_\_\_\_\_ Modelo de Calibrador de Flujo Másico: \_\_\_\_\_  
 Técnico: \_\_\_\_\_ No. de Inventario ó No deSerie: \_\_\_\_\_  
 Fecha/Horar: \_\_\_\_\_ Cilindro de Gas de Calibración No :\* \_\_\_\_\_  
 Medidor de Flujo Másico Mod: \_\_\_\_\_ Concentración de Gas de Calibración:\* \_\_\_\_\_  
 No. de Inv. o No. de serie \_\_\_\_\_ \*o tubo de Permeación \_\_\_\_\_

**DATOS DE CALIBRACIÓN NO**

Flujo de Gas De Calibración	Flujo de Dilución	NO entrada ppm	NO <sub>x</sub> Salida ppm	NO Salida ppm	NO <sub>2</sub> % Diferencia	NO % Diferencia

NO<sub>x</sub> Pendiente ( m ) \_\_\_\_\_ Intercepción ( b ) \_\_\_\_\_ Conc. NO<sub>x</sub> \_\_\_\_\_  
 NO Pendiente ( m ) \_\_\_\_\_ Intercepción ( b ) \_\_\_\_\_ Conc. NO \_\_\_\_\_

**Datos de Calibración de NO<sub>2</sub>**

Entrada de NO<sub>2</sub>

NO <sub>2</sub> Valor aproximado Entrada	Posición Medidor O <sub>3</sub>	$\frac{(\text{NO Inicial} - \text{NO Final})}{\text{NO Pendiente}^*} = \text{NO}_2 \text{ entrada}$		
0.050 ppm		-	-	-
0.100 ppm		-	-	-
0.200 ppm		-	-	-
0.300 ppm		-	-	-
0.400 ppm		-	-	-

\* No olvide dividir entre la pendiente NO

Salida de NO<sub>2</sub>

NO <sub>x</sub> Final – NO Final = NO <sub>2</sub> salida		
CERO	-	=
	-	=
	-	=
	-	=
	-	=

NO<sub>2</sub> Convertido

NO <sub>2</sub> Input – (NO <sub>x</sub> Inicial – NO <sub>x</sub> Final) = NO <sub>2</sub> Convertido	
-	( - ) =
-	( - ) =
-	( - ) =
-	( - ) =
-	( - ) =

Datos de Calibración NO<sub>2</sub>

Entrada NO <sub>2</sub>	Salida NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> % Diferen.

Datos de conversión

NO <sub>2</sub> entrada eje- x	NO <sub>2</sub> Converter y-axis

La eficiencia del convertidor es calculada efectuando la regresión lineal entre NO<sub>2</sub> entrada versus NO<sub>2</sub> convertido. Entonces la pendiente de la curva se multiplica por 100 para obtener la eficiencia

NO<sub>2</sub> Calib. – Pendiente ( m ) \_\_\_\_\_ Intercepción ( b ) \_\_\_\_\_  
 Coeficiente de Correlación \_\_\_\_\_ Eficiencia de Conversión NO<sub>2</sub> \_\_\_\_\_



### 5.6.2 Calibración del Cero y Span

La calibración del cero y el *span* se simplifica a la calibración de dos puntos (el *cero* y *span*), el procedimiento y formatos usados son los mismo que en la calibración multi-punto. A esta calibración algunos fabricantes la denominan también como nivel 1.

Aunque carece de las ventajas de una calibración multi-punto, la calibración de dos puntos puede y debe realizarse con mucho mayor frecuencia. También este tipo de calibración puede ser fácilmente automatizada. Los chequeos frecuentes o actualizaciones de la relación de la calibración, ayudan a mejorar la calidad de los datos a partir del control de los desfases (*drift*) de la respuesta de cada analizador.

Cuando se efectúa este tipo de calibración se recomienda ampliamente registrar las lecturas de respuesta del *cero* y el *span* antes de realizar cualquier ajuste que se haga al analizador, ya que estos registros sin ajustar proporcionan valiosa información para: (1) confirmar la validez (o invalidez) de las mediciones obtenidas inmediatamente precediendo la calibración, (2) monitorear la tendencia de los corrimientos (*drift*) del *cero* y *span* del analizador, y (3) determinar la frecuencia de recalibración.

El procedimiento general que se sigue para la calibración del *cero* y *el span*, es el siguiente:

1. Desconecte la entrada del analizador de la toma de muestra de aire ambiente y conéctelo al sistema de calibración. Deje el analizador en su modo normal de operación y no haga ajustes al analizador.
2. Mida y registre la concentración de respuesta del analizador respecto al gas de calibración una vez estable y sin ajustar ( $S'$ ).
3. Mida y registre la concentración de prueba del aire cero en condiciones estables, también sin ajustar, ( $Z'$ ).
4. Realice cualquier ajuste que requiera el analizador (p.e. flujo o presión) o relacionado con su mantenimiento.
5. Si el ajuste del cero es necesario o si cualquier ajuste ha sido hecho al analizador, ajuste el cero a la lectura deseada de cero. Registre la lectura ajustada de cero ( $Z$ ) en condiciones estables. Note que si no se hace ningún ajuste del cero entonces  $Z=Z'$ . Desplazar la lectura del Cero (e.j., a 1% de la escala) puede ayudar a observar cualquier desplazamiento negativo del cero que pueda ocurrir. Si un desplazamiento ( $A$ ) es usado, registre la lectura sin desplazamiento como,  $Z-A$ .

6. Mida la concentración del gas de calibración (*span*). Si es necesario un ajuste de *span*, ajuste la respuesta del *span* al valor deseado, dejando el cero ajustado usado en la etapa previa. Registre la lectura final del *span* ajustado en condiciones estables (S). Si el *span* no es ajustado entonces  $S=S'$ .
7. Después de cualquier ajuste efectuado al *cero* o al *span* o a otros parámetros, debe permitirse la reestabilización del analizador a esas nuevas condiciones y entonces debe verificarse las lecturas del *cero* y el *span* y registrarse los nuevos valores de Z y S, si es necesario.

Si la calibración es actualizada para cada calibración del *cero* y el *span*, una nueva curva de calibración debe ser elaborada usando las lecturas Z y S, o el punto de intercepción y la pendiente deben determinarse como sigue: EPA (1998)

$I = \text{Intercepción} = Z$

$$M = \text{pendiente} = \frac{S - Z}{\text{concentración del span}}$$

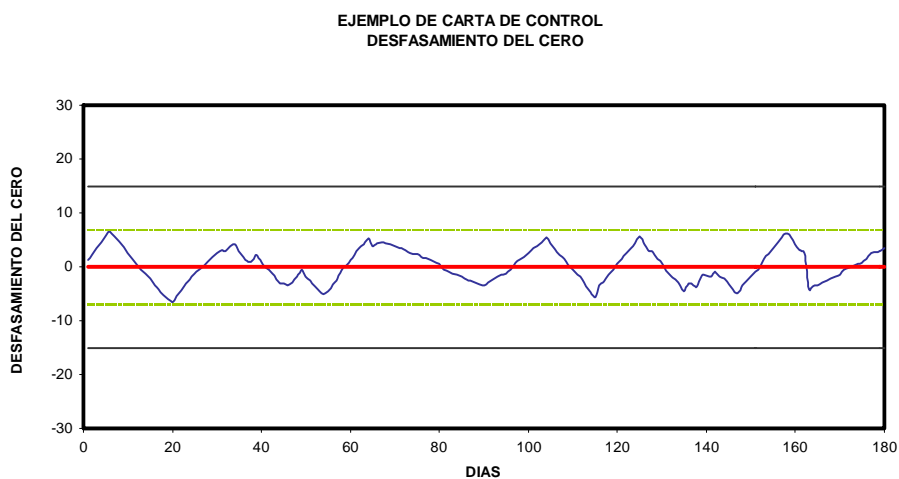
### 5.6.3 Verificación automático del Cero y el Span

Para fines del presente manual la verificación automática se refiere a aquellas que pueden ser efectuadas en forma remota a partir del sistema de adquisición de datos y el sistema de calibración del analizador, las cuales comúnmente se practican durante horarios nocturnos. En este tipo de revisión, tanto el *cero* como el *span* son introducidos en forma secuencial al analizador a través de sus puertos de muestreo desde el calibrador.

El suministro de gas *cero* y el *span* se hacen en tiempos del orden de 10 a 15 min. para cada uno. Los resultados son almacenados en una tabla de calibración e impresos por la impresora de la estación y/o el centro de cómputo. Estas verificaciones deben programarse para empezar 45 min. pasada la hora de modo tal de no invalidar los datos de medición de toda la hora anterior o posterior al evento de calibración.

En la Fig. 5.11, se muestra un ejemplo de carta de control que pueden generarse a partir del monitoreo diario de los desfazamientos del *cero*, a través de este tipo de verificaciones remotas, las cuales son una herramienta extremadamente útil para fines de control de calidad de los datos.

Figura 5.11 Carta de control de desfaseamiento del cero



Adaptada de: EPA (1998)

## 5.7 Calibración de sensores meteorológicos

Existen dos formas para calibrar los sensores de las estaciones meteorológicas, la primera es aquella donde la respuesta del sensor puede compararse contra una medida de referencia de calidad conocida mientras el sensor y el artículo de auditoria se someten a una misma condición ambiental, la segunda es relativa a someter el sensor a una condición artificial en la cual la respuesta es predecible teóricamente. Para los casos de dirección y velocidad del viento, radiación solar y precipitación pluvial es común calibrar los sensores contra elementos de condición artificial, mientras que los sensores de temperatura y presión pueden ser comparados a partir de patrones trazables.

Por ejemplo en el caso de los anemómetros la verificación de su calibración se realiza comparando en forma indirecta la respuesta de salida en unidades de velocidad contra las revoluciones por minuto de un tacómetro de referencia. El formato tipo de registro de datos se ilustra en la siguiente tabla 5.7.

**Tabla 5.7**

**DATOS DE VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN  
TORRE METEOROLÓGICA**

Sitio: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora de inicio: \_\_\_\_\_ Hora de terminación: \_\_\_\_\_

Parámetro Meteorológico	Patrón de referencia SH (Fecha de expiración)	Valor cero o Posición estática	Valor de Referencia	Respuesta del Instrumento (Sistema de datos)	Diferencia absoluta (signo + o -)	Criterio de aceptación
Dirección del Viento (WD)						
Velocidad del Viento (WS)						
Temperatura (Temp.)						
Precipitación pluvial (RFL)						
Radiación Solar (SRD)						
Presión Barométrica (PRES)						

Comentarios: \_\_\_\_\_

Nombre y firma: \_\_\_\_\_

*Fuente: Radian (1992)*

**5.8 Frecuencia de la calibración y ajuste del analizador**

Como se indico previamente, una calibración multipunto debe ser efectuada en los analizadores nuevos, o después de reparaciones mayores para establecer la linealidad del analizador. Es también apropiado efectuar una calibración multipunto de cada analizador en operación de rutina al menos cuatro veces al año para re verificar la linealidad, sin embargo la auditoria anual multipunto puede servir en lugar de una de esas

Las calibraciones referidas abajo podrían normalmente ser de 2-puntos cero y span. No obstante, una calibración multipunto siempre puede sustituir a la calibración de 2 puntos. Un analizador puede ser calibrado o recalibrado:

- Durante la instalación inicial
- Después de una relocalización
- Después de cualquier reparación o servicio que pudiera afectar la calibración
- Después de una interrupción de la operación de algunos días
- En cualquier indicación de mal funcionamiento del analizador o cambio en la calibración

- En algún intervalo de rutina (ver abajo)

Los analizadores en operación de continua deben recalibrarse periódicamente para mantener una relación apropiada entre la calibración. La frecuencia de esta rutina periódica de recalibración es material de juicio y de evaluación de los siguientes aspectos: la estabilidad inherente del analizador bajo las condiciones prevalecientes de temperatura, presión, voltaje, etc. en el sitio de muestreo; el costo y la no conveniencia de efectuar calibraciones; la calidad de los datos ambientales requeridos; el número de datos perdidos durante las calibraciones; y el riesgo de coleccionar datos inválidos debido a mal funcionamiento o problemas de respuesta del analizador que no podrían descubrirse hasta que una calibración es efectuada.

Cuando un instrumento nuevo se instala por primera vez, deben efectuarse calibraciones en forma frecuente, diarias o tres veces por semana, debido a que no existe o hay muy poca información del comportamiento del desplazamiento (*drift*) del analizador. La información de otro equipo del mismo modelo puede ser útil, sin embargo, pueden tener funcionamiento y respuesta diferentes. Después de que una cantidad suficiente de información sobre el funcionamiento del desplazamiento ha sido recabada, la frecuencia de las calibraciones debe determinarse para cubrir satisfactoriamente con varias de las consideraciones mencionadas anteriormente. Sin embargo una sugerencia prudente es que la frecuencia de calibración debe ser al menos cada dos semanas.

En general, las frecuencias mínimas de calibración adoptadas como objetivos de calidad por diferentes sistemas de monitoreo atmosférico de Estados Unidos, son las siguientes:

- Calibraciones multipunto cuatro al año, o bien después de una falla de los chequeos de control de calidad o después de un mantenimiento.
- Calibraciones cero span, una calibración cada dos semanas.
- Calibraciones de los medidores de flujo, una cada tres meses.
- Para el caso de ozono, la certificación del fotómetro patrón se realiza una vez por año.
- Los calibradores de orificios para los muestreadores de alto volumen, se calibran una vez cada dos años.

## **5.9 Validación de Datos a partir de la información de Calibración**

Cuando los límites de aceptación de desfazamiento del *cero* y *el span* son excedidos, las mediciones ambientales deben ser invalidadas hacia atrás hasta el punto donde dichas mediciones se consideren válidas. Usualmente ese punto es la calibración previa (o auditoria de precisión), al menos que pueda identificarse otro punto en el tiempo como la causa del desfazamiento excesivo (como una falla

de suministro de energía o descompostura). También, después de una falla del analizador o periodo fuera de operación debe considerarse como inválido hasta que se efectuó la subsiguiente calibración, al menos que las lecturas de cero y el span sin ajuste soporten la validez de las lecturas.

## **6. SEGURIDAD Y PLANES DE EMERGENCIA**

Además de los programas de mantenimiento y calibración discutidos en los anteriores capítulos, los SAMs deberán establecer procedimientos específicos de seguridad tanto para proteger la integridad física de los operadores como para garantizar la seguridad de la infraestructura de las instalaciones remotas (Casetas de monitoreo) como de los sitios de resguardo del equipamiento propio de la instalación.

Así mismo, debe de disponerse de procedimientos e instrucciones precisas para la atención de emergencias que pongan en riesgo la integridad de la información o bien del equipamiento, así como del persona operativo. En los siguientes dos apartados se enuncias los aspectos relacionados con estos tópicos que se han considerado de mayor interés.

### **6.1 Seguridad en las instalaciones**

El personal que realice rutinas de mantenimiento, calibración y supervisión en la operación de sistemas de monitoreo, deberán de contar con equipo de protección personal adecuado para la realización de actividades identificadas como riesgosas a través de un análisis de riesgo elaborado para tal fin.

El personal operativo deberá contar con los medios suficientes para la ejecución de las actividades previstas en las estaciones de monitoreo, así como con vehículos suficientes y en condiciones de mantenimiento y seguridad apropiadas para el transporte de personal, equipos y herramientas a las instalaciones. Siendo importante considerar que en muchas ocasiones deben efectuarse traslados nocturnos.

Es recomendable que las áreas de operación, mantenimiento, almacenamiento, tránsito y accesos peatonales, deberán estar delimitados y bien definidas, a medida de lo posible. Así mismo deberán instalarse anuncios alusivos a la seguridad e identificación de zonas que se determinen de riesgo, incidiendo principalmente a la restricción de acceso para personal no autorizado.

Tanto las instalaciones centrales como las estaciones de muestreo, deberán contar con un extintor acorde al tipo de riesgo de incendio y su carga y vigencia deberá ser controlada dentro de las rutinas de mantenimiento. Su instalación y localización deberá apegarse a las Normas de seguridad vigentes en México.

Las instalaciones eléctricas permanentes de la estación de monitoreo, deberán contar con dispositivos termo magnéticos de corte de energía, así como señales de acuerdo al voltaje y corriente de la carga instalada. Los tableros de distribución de energía eléctrica deberán estar señalizados e identificados de acuerdo con la Normatividad vigente. Por otra parte, las estaciones deberán contar con sistemas de para rayos donde aplique. En caso de que la electricidad estática represente un riesgo para el personal, se deberá controlar de conformidad con las Normas correspondientes.

*Figura 6.1 Tablero de distribución de energía eléctrica en estación de monitoreo*



En caso de manejarse solventes, materiales o sustancias químicas peligrosas dentro y fuera de las estaciones de monitoreo, derivadas de operaciones de mantenimiento u operación, deberá realizarse en condiciones técnicas de seguridad para prevenir y evitar daños a la salud del personal, así como a las instalaciones y disponer de instrucciones precisas para no almacenar en forma temporal dichas sustancias en las casetas de monitoreo ni en áreas de resguardo del equipamiento o la información.

En caso de estaciones de monitoreo donde se manejen y almacenen sustancias, gases inflamables, combustibles o sustancias explosivas, se deberán colocar señales y avisos en lugares visibles, que indiquen la prohibición de fumar, introducir fósforos, utilizar dispositivos de llamas abiertas, objetos incandescentes y cualquier otra sustancia susceptible de causar incendio o explosión. Así mismo debe garantizarse la apropiada sujeción de tanques de gases comprimidos en su interior.



Figura 6.2 Tanques de gases comprimidos en estación de monitoreo sin sujeción



Los residuos sólidos generados durante la estancia de los operadores en las estaciones de monitoreo, deberán ser retirados frecuentemente y dispuestos en forma adecuada en un contenedor próximo al sitio de monitoreo.

Para aquellas estaciones con torretas meteorológicas de gran altura se deberá disponer de un procedimiento específico de seguridad para el ascenso del personal que lo realice tanto de la propia organización o de las empresas de servicio.

Es recomendable integrar dentro de los programas de capacitación del SMA cursos básicos de primeros auxilios para personal operativo, así como establecer un programa de instalación y abastecimiento de botiquines de primeros auxilios.

## 6.2 Practicas de seguridad en torno a las instalaciones

Las estaciones de monitoreo atm+-osférico que se encuentren ubicadas en sitios públicos o en instalaciones oficiales, deberá contar con especificaciones de seguridad para salvaguardar las instalaciones de actos vandálicos e inclemencias meteorológicas, las cuales deberán contar con las siguientes medidas de seguridad:

La malla ciclónica perimetral que salvaguarda las instalaciones, deberá contar con al menos una altura de 2.5 m y alambre de púas en la parte superior de la valla.

Instalar anuncios en la valla perimetral de la estación, los cuales deberán anunciar el tipo de propiedad y los números telefónicos para solicitar o reportar información sobre la estación.

Deben establecerse programas de cooperación con el personal administrativo de las instalaciones oficiales o bien hacer del conocimiento a vecinos del objetivo de la estación de monitoreo y persuadirlos en la participación para la vigilancia de las instalaciones, notificando de actos vandálicos y de eventos que pongan en riesgo las instalaciones.

Las periferias de las instalaciones deberán ser inspeccionadas para prevenir daños causados por árboles u otras estructuras endebles que pudieran afectar las estructuras vulnerables de la instalación.

Las instalaciones deberán contar con acceso restringido, así como mecanismos adecuados, como candados y cerraduras, para impedir el acceso de personal ajeno.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1989). *Air sampling Instruments*. Susanne Hering, Technical editors, 7<sup>th</sup> edition, Cincinnati, Ohio.
2. CARB (1997). *Standard Operating Procedures for Air Quality Monitoring*. Vol. II, Appendix A, B, C, California Air resources Board, State of California.
3. EPA (1998). *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems*, Vol. II; Part 1, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, USA.
4. Janhke. J, (1993). *Continuous Emission Monitoring*. Van Nostrand Reinhold, Ontario, Canada
5. Ness. S (1991). *Air Monitoring for Toxic Exposures, an Integrated Approach*. Van Nostrand Reinhold, New York.
6. Radian (1992). *Operation manual Ambient Air Monitoring Systems-SIMA*. Radian Corporation, Austin, Texas.
7. Teledyne Instruments (2002). *Instructor Manual Ozone Analyzer Model 400 E*. Teledyne Technologies Company, San Diego, CA.
8. CFR (2004). Code of Federal Registers Title 40. Protection of Environment, PART 58-AMBIENT AIR QUALITY SURVEILLANCE.

# **DOCUMENTO 5**

*Gestión, Aseguramiento y Control de la Calidad  
en los Sistemas de Monitoreo Atmosférico*

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>3. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Enfoque Institucional hacia la Calidad del Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA).</b>	<b>4</b>
3.1.1 Funciones y Responsabilidades	5
3.1.2 Definiciones	7
3.1.3 Origen del Aseguramiento de Calidad en las mediciones de Calidad del Aire	8
<b>3.2 Principios de la Gestión de la Calidad</b>	<b>9</b>
<b>3.3 Actividades Preliminares del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC)</b>	<b>12</b>
3.3.1. Programa de Actividades	14
<b>4. DESARROLLO DE SISTEMAS DE GESTION DE CALIDAD</b>	<b>16</b>
<b>4.1. Aspectos relacionados con Gestión de la Calidad en los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMA´s)</b>	<b>17</b>
4.1.1. La Política de Calidad	17
4.1.2. Responsabilidades	17
4.1.3. Planeación de la Calidad	20
4.1.4. Objetivos de Calidad	22
4.1.5. Gestión de Recursos para el SGC	23
<b>4.2 Aspectos Relacionados con Aseguramiento de la Calidad</b>	<b>24</b>
4.2.1. Sistema Documental	25
4.2.2. Procedimientos de Aseguramiento de Calidad (PAC'S)	26
4.2.3. Procedimientos Operativos (PO's)	27
4.2.4. Instrucciones de Trabajo y Registros	29
4.2.5. Control de Documentos	29
4.2.6. Criterios de Selección y Adquisición de Equipos, instrumentos, Materiales y Consumibles	32
4.2.7. Auditorías Internas y Externas	35
<b>4.3 Aspectos Relacionados con el Control de la Calidad</b>	<b>37</b>
4.3.1 Criterios de control de calidad en los sistemas de monitoreo atmosférico	37
4.3.2. Laboratorio de transferencia de estándares y de calibración	38
4.3.3. Revisión, verificación, validación y reconciliación de los datos con los objetivos de calidad	42
<b>5. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>62</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIG.</b>		<b>Pag.</b>
3.1	Estructura Jerárquico - Organizacional del PNMA	4
3.2	Interrelación de las diversas instancias para el aseguramiento de la calidad en el monitore atmosférico	9
3.3	Etapas para la implementación de un SGC	12
3.4	Programa de Actividades para la Implementación de un SGC	15
4.1	Pirámide de la documentación existente en un sistema de gestión de la calidad	26
4.2	Flujo de Validación de Datos	40
4.3	Verificación y validación de datos en un ciclo de proyecto	44

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Pag.</b>
4.1	Documentos que deben ser sometidos al control documental	31
4.2	Banderas asignadas por el Sistema Central de Procesamiento a los datos horarios obtenidos por el SIMAT	46
4.3	Registros comúnmente usados para la verificación de los datos	49
4.4	Representatividad de Los Datos de Monitoreo Atmosférico	56
4.5	Número de muestras requeridas para asegurar la representabilidad de un periodo de muestreo	57
4.6	Requerimientos a la Precisión y Exactitud para los Parámetros Normados	58

## 1. INTRODUCCIÓN

La Calidad es un tema que está adquiriendo mayor interés y atención a nivel internacional por lo que actualmente se reconoce como un parámetro de suma importancia en el sector industrial, de servicios y público a través del establecimiento de Sistemas de Gestión de Calidad (SGC) del producto<sup>1</sup>. Así entonces, la calidad puede considerarse como un instrumento eficaz para fortalecer los procesos de producción y/o servicios y las relaciones comerciales.

Los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMA's) no están excluidos de estas tendencias y en el caso de México, dentro del Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA) donde se pretende en su primer etapa de implementación: el establecimiento del marco de referencia de procedimientos de monitoreo atmosférico y posteriormente, en la tercera etapa: apoyar a los SMA's del país en la definición e instrumentación de sistemas de aseguramiento y control de calidad (PNMA, 2003). Como referencia destacan por su importancia otras actividades del PNMA orientadas a:

- ✓ Protocolizar los criterios de diseño, operación, mantenimiento, calibración de los SMA's
- ✓ Establecer los requerimientos para el manejo y reporte de datos y la difusión de información a nivel nacional
- ✓ Enunciar las Directrices y Criterios de aseguramiento y control de calidad
- ✓ Formular los Procedimientos para la evaluación y/o auditoría de los SMA's

Entre las normas más conocidas y aplicables a nivel internacional para el desarrollo y la implementación de *Sistemas de Gestión de la Calidad*, están las de la serie ISO (Organización Internacional de Normalización). Las normas que se puede tomar como referencia para el desarrollo de los SGC en el seno de las organización dedicadas al monitoreo atmosférico son las ISO 9001:2000 y la ISO/IEC 17025:1999, cuyas normas mexicanas correspondientes son NMX-CC-9001-IMNC-2000 y NMX-EC-17025-1999 respectivamente.

Con base a lo expuesto en el Documento 1 (cap. 5) un SMA podría certificar la calidad del servicio que proporciona a partir de demostrar que ha implantado un SGC conforme con la NMX-CC-9001-IMNC-2000.

Por otra parte, conforme a la Ley Federal de Metrología y Normalización los SMA's deberían estar sujetos a un proceso de acreditación ante una entidad autorizada (actualmente **ema**) para demostrar su competencia técnica y confiabilidad como laboratorio de ensayos a partir de cumplir los requisitos generales establecidos en la NMX-EC-17025-1999.

Dado que ambas normas establecen como requisito primordial la implantación de un SGC, en el presente documento se enuncian las directrices que los SMA's deberán emprender para lograr dicho propósito con base en la NMX-CC-9001-IMNC-2000, mientras que en el

---

<sup>1</sup> PRODUCTO EN CALIDAD INCLUYE TAMBIEN INTANGIBLES COMO SERVICIOS, TRÁMITES ETC

documento 6 se enfatiza sobre los requerimientos técnicos más específicos para fines de acreditación en la NMX-EC-17025-1999.

En México existen actualmente más de 15 organizaciones nacionales e internacionales acreditadas para la certificación de sistemas de calidad, siendo importante señalar que tanto el gobierno federal como otras autoridades estatales y locales cuentan o están en proceso de certificación en ISO 9000, habiendo ya cierta experiencia en el sector del Medio Ambiente.

Dentro de este contexto, el presente documento se describen los aspectos más relevantes para el diseño y la implementación de un SGC con un enfoque orientado a que los sistemas actuales y futuros de monitoreo atmosférico, logren a mediano plazo dicho propósito. En todos los casos debe considerarse que un SGC debe adecuarse a las características específicas de la estructura organizacional, el equipamiento y automatización tecnológica y métodos de pruebas ( procesos) empleados.

En el Capítulo 2 se describen los objetivos principales de este documento.

En el capítulo 3 de este documento, se plantea en su parte inicial un esbozo simple del papel que sería deseable desempeñen las diferentes áreas gubernamentales para inducir las prácticas de Aseguramiento y Control de Calidad en los SMA's. Posteriormente, se enuncian los ocho principios básicos de la gestión de la calidad y en la parte final, se indican las directrices generales para el diseño e implantación de un SGC.

El capítulo 4, se explican los requisitos básicos de la normativa en materia de calidad, iniciando con la Política de Calidad como instrumento rector de todo SGC (sec. 4.1.1.); enseguida se destaca la importancia de la asignación objetiva de las funciones y responsabilidades del personal. En la subsecuentes secciones, se refieren los aspectos relacionados con la planeación y los objetivos de calidad y la importancia de la disponibilidad de recursos dentro de un SGC.

En la sección 4.2 se enuncian los numerales de la norma relacionados con Aseguramiento de Calidad. Primero, se hace referencia a los conceptos básicos relacionados con el tipo de mediciones efectuadas por los SMA's, posteriormente se describen las principales características del sistema documental de un SGC y los requisitos que deben ser cumplidos en lo relativo a el control de documentos. En las partes finales se tratan los aspectos de selección y adquisición de materiales y equipos (compras), así como los correspondientes a calibración y materiales de referencia. Finalmente, se indica la importancia de la ejecución de auditorias internas para la identificación de desviaciones en el funcionamiento del SGC.

En la sección 4.3, se refieren los criterios de Control de Calidad que deben utilizar los SMA's y se destaca la importancia de las actividades de revisión, verificación y validación de los datos y su correspondencia como medio de comprobación del cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos por la organización.



## 2. OBJETIVOS

1. Introducir a los responsables de los SMA's en los conceptos de calidad y aspectos básicos requeridos para la implantación de un Sistema de Gestión de Calidad. (SGC).
2. Describir las características generales de Aseguramiento de Calidad contenidas en la norma ISO-9000 y su relación con las prácticas del monitoreo atmosférico.
3. Enunciar las prácticas de Control de Calidad aplicables a los SMA's relacionadas con la adquisición, almacenamiento y depuración de los datos.

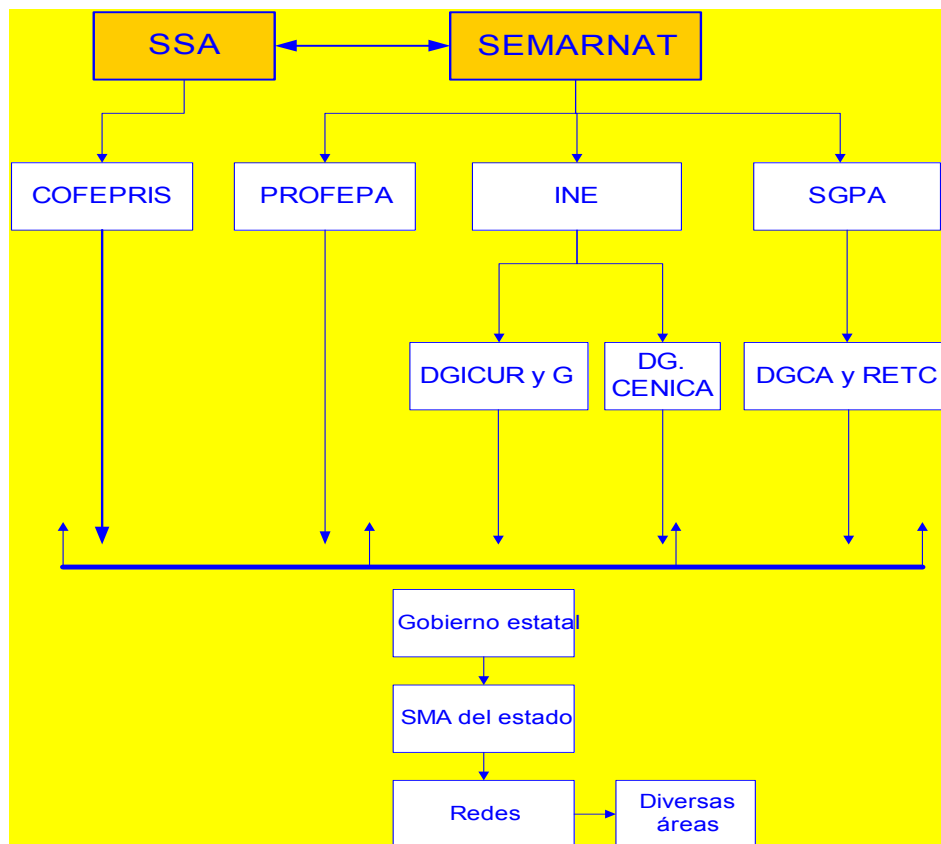
### 3. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

#### 3.1 Enfoque Institucional hacia la Calidad del Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA).

Antes de abordar los aspectos genéricos de calidad que deberán considerar los SMA's para el desarrollo de sus respectivos Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC), se considera conveniente plantear una estructura esquemática el PNMA desde un enfoque institucional orientado a la calidad, cuya meta final sería garantizar la confiabilidad de la información de calidad del aire a partir de esquemas de acreditación y certificación de los SMA's.

Para lograr dicho propósito, será indispensable una participación activa y decidida de todos los actores involucrados en la Gestión de la Calidad del Aire. En la figura 3.1 se plantea la estructura jerárquica - organizacional conformada por las dependencias e instituciones que intervienen directa o indirectamente en el PNMA , posteriormente se describen algunas de las funciones, responsabilidades y/o acciones que consideran importantes para la consolidación de las prácticas de Gestión de la Calidad dentro del PNMA.

**Fig. 3.1 Estructura Jerárquico - Organizacional del PNMA**



### **3.1.1 Funciones y Responsabilidades**

#### **SEMARNAT-SGPA**

##### *Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y RETC*

- Apoyar y Fortalecer el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico
- Promover la instalación de SMA's a nivel nacional;
- Definir los objetivos de calidad de aire por alcanzar a nivel nacional;
- Expedir y/o actualizar los reglamentos, las normas correspondientes y los lineamientos relacionados con el Monitoreo de la Calidad del Aire;
- Proveer apoyo técnico y asesorar a los sistemas de monitoreo estatales u otras instancias;
- Elaborar Informes bianuales del estado de la Calidad del Aire en las diferentes Cuencas Atmosféricas a nivel nacional.

#### **Instituto Nacional de Ecología**

##### *Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA):*

- Promover, justificar y asumir el liderazgo en la actualización y complemento de los métodos de prueba (NMX) que serán reconocidos oficialmente como métodos de referencia y equivalentes para la determinación de los contaminantes criterio en materia de Calidad del Aire.
- Promover, justificar y asumir el liderazgo en la elaboración y la expedición de la Norma Oficial Mexicana (NOM) en la que se establezcan los Requisitos mínimos de operación, reporte y aseguramiento de calidad que deberán cumplir los responsables de los SMA's que operen en México.
- Justificar e identificar las posibles fuentes de financiamiento para la conformación de un Laboratorio Nacional de Referencia que permita establecer la cadena de trazabilidad requerida para la operación confiable de los SMA's.
- Diseñar, establecer y participar en los procedimientos de auditoria y/o evaluación aplicables a los SMA's para garantizar la calidad de la información generada por dichos organismos.

##### *Procuraduría Federal de la Protección al Ambiente (PROFEPA):*

- Fortalecer la verificación del cumplimiento de normas de emisión de las fuentes fijas mayores y mejorar la cobertura de vigilancia durante las declaratorias de contingencias ambientales.

## **SECRETARIA DE SALUD**

### Instituto Nacional de Salud Pública:

- Desarrollar y/o recopilar información científica relativa a la evaluación de riesgos y exposiciones a los contaminantes del aire y en su caso promover la actualización de las normas de calidad del aire y de los niveles de activación de programas de contingencia que se operen en las cuencas atmosféricas del País.

### Entidad Mexicana de Acreditación (EMA):

- Apoyar a SEMARNAT en la conformación de un proceso Ad Hoc de acreditación para los SMA'S
- Conformar subcomité específico de calidad del aire, el cual a su vez deberá desarrollar los procedimientos y guías de evaluación requeridos para la acreditación de los SMA's.

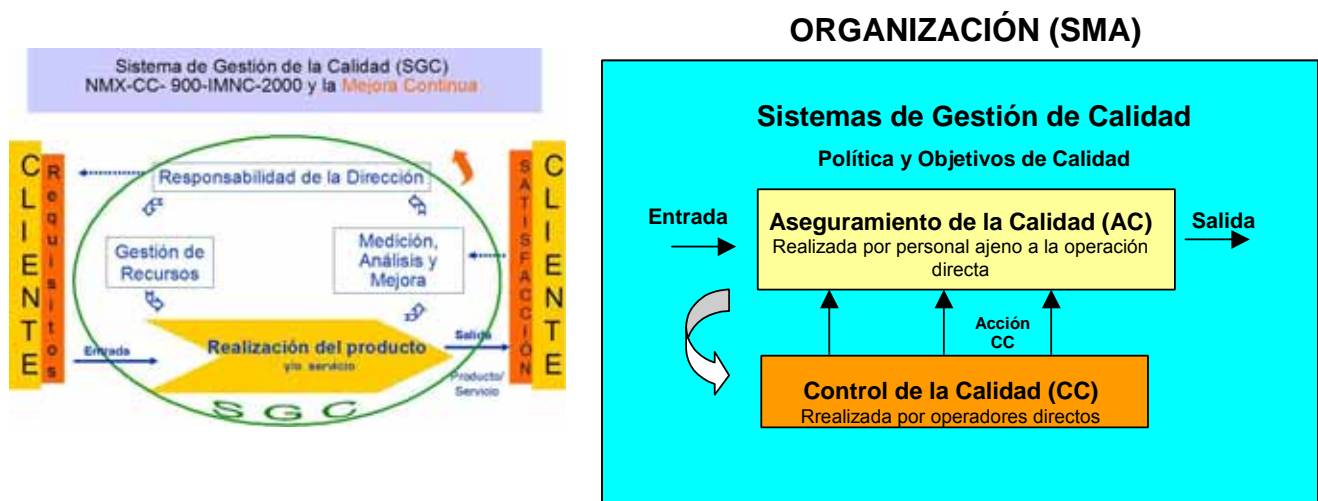
### Secretarías o Agencias de Medio Ambiente Estatales:

- Desarrollar planes estatales de calidad del aire para las zonas críticas determinadas en conjunto con la Federación;
- Implementar medidas adecuadas en caso de episodios de contingencia con el fin de proteger la salud pública;
- Instalar sistemas de monitoreo atmosférico en las cuencas atmosféricas que lo requieran
- Proveer los recursos necesarios para realizar los monitoreos atmosféricos, incluyendo laboratorios de transferencia de estándares y de calibración;
- Comunicar los resultados del monitoreo atmosférico a la Federación indicando la precisión, el sesgo y la exactitud en la determinación de la calidad de datos trimestrales y anuales;
- Comunicar los resultados del monitoreo atmosférico a la población.

### 3.1.2 Definiciones

En el contexto de Sistemas de Gestión de la Calidad, se emplean términos tales como la gestión y el aseguramiento y control de la calidad. Su definiciones pueden diferir de una fuente a otra pero lo mas importante será que a lo largo de este documentos el usuario logre entender correctamente dichos conceptos en la aplicación directa a la implementación de un SGC en las organización dedicadas al Monitoreo de la Calidad del Aire.

Como un primer acercamiento a continuación se enuncian tanto las definiciones expresadas en la norma NMX-CC-9000-IMNC-2000 “Sistemas de Gestión de la Calidad – Fundamentos y Vocabulario”. Como las enunciadas por Decanini un prestigiado autor en el tema de calidad. En las figuras se ilustran algunas del interacciones entre dichos conceptos.



“El **aseguramiento de la calidad** es la parte de la gestión de la calidad orientada a proporcionar confianza en que se cumplirán los requisitos de la calidad” (NMX-CC-9000-IMNC-2000).

“El **aseguramiento de la calidad** es el conjunto de actividades planeadas y sistemáticas, que lleva a cabo una organización, con el objeto de brindar la confianza apropiada de que un producto o servicio cumple con los requisitos de calidad especificados.” (Decanini, 1997)

“El **control de la calidad** es la parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad.” (ISO-IMNC,2001) o también se define como:“el conjunto de métodos y actividades de carácter operativo, que se utilizan para satisfacer el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos “ (Decanini, 1997)

“La **gestión de la calidad** es el conjunto de actividades a través de las cuales se determina e implanta la política de calidad, que incluye a su vez el establecimiento de los objetivos de calidad, la identificación de los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad, la determinación e interacción de estos procesos, la determinación de los criterios y métodos

para el control eficiente de dichos procesos, la asignación de recursos y el compromiso de la mejora continua de estos procesos.” (Decanini, 1997).

“**El sistema de gestión de la calidad** se define como un conjunto de elementos mutuamente relacionados o que interactúan para establecer la política y los objetivos y para lograr dichos objetivos y que es el sistema para dirigir y controlar una organización con respecto a la calidad”. (ISO-IMNC,2001)

### 3.1.3 Origen del Aseguramiento de Calidad en las mediciones de Calidad del Aire<sup>2</sup>

El Aseguramiento de Calidad en las prácticas de monitoreo atmosférico, tuvo su origen en los programas de monitoreo realizados por el gobierno, las universidades, institutos de investigación, empresas privadas, laboratorios de medición y prueba quienes han realizado tareas importantes en aspectos relacionados con:

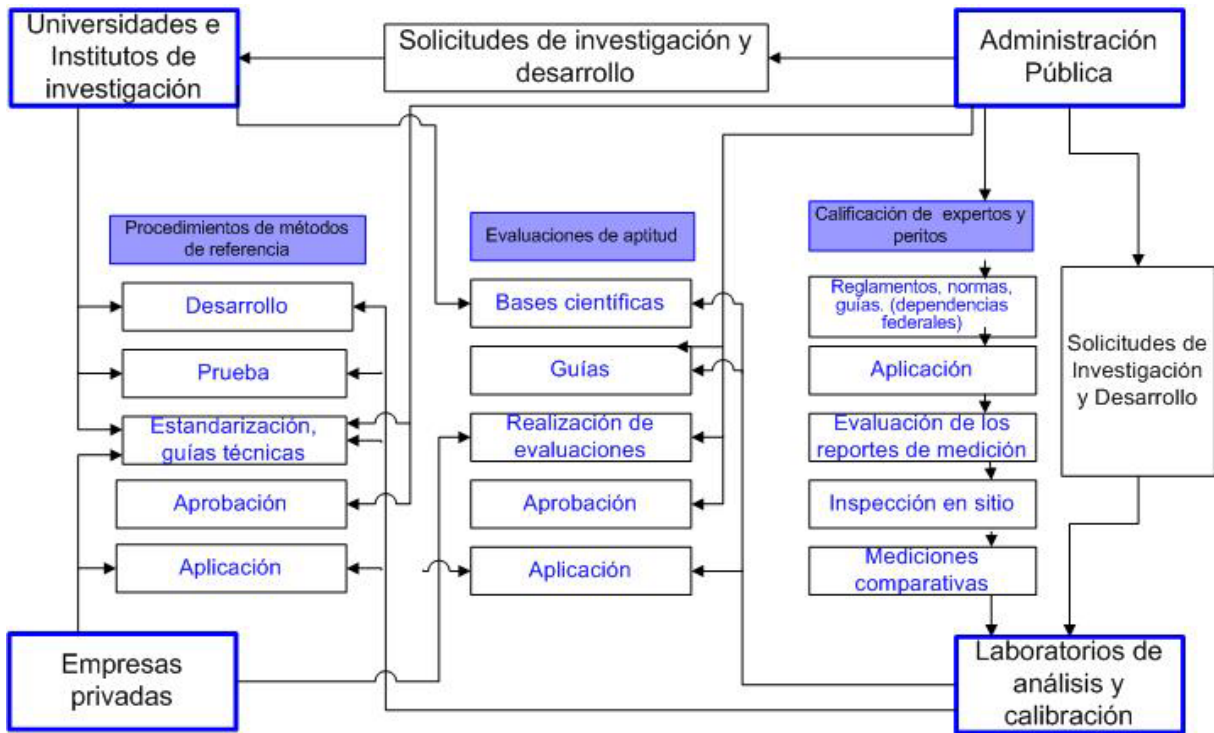
- la puesta a disposición de los métodos de referencia para la medición.
- la preparación y realización de evaluación de aptitud de equipos de medición.
- la calificación y el reconocimiento de instancias de expertos o peritos.
- las pruebas inter-laboratorios o interinstitucionales para tareas de medición en el ámbito del monitoreo de calidad atmosférica para estaciones de monitoreo acreditadas.

En la Fig. 3.2, se representa un ejemplo de la interacción entre los diferentes actores que han participado en el desarrollo de las técnicas de monitoreo atmosférico y la subsecuente necesidad de emprender sistemas de aseguramiento y control de calidad para garantizar la calidad de los datos de las mediciones de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en Alemania.

---

<sup>2</sup> <http://www.umweltbundesamt.de/messeinrichtungen/moimi12.htm>

**Fig. 3.2 Interrelación de las diversas instancias para el desarrollo del AC en el monitoreo atmosférico**



Traducida de: <http://www.umweltbundesamt.de/messeinrichtungen/moimi12.htm>

### 3.2 Principios de la Gestión de la Calidad

La gestión de la calidad se basa en ocho principios, cuyos preceptos se describen brevemente a continuación. Dichos principios deben ser entendidos y aplicados por la Alta Dirección para lograr un desarrollo exitoso de la calidad en sus organizaciones (ISO-IMNC,2001)

#### 1. Enfoque al cliente

El precepto básico de la calidad parte de que “*el cliente es lo mas importante*”, por lo que bajo un esquema tradicional productivo los beneficios de este principio en general, se reflejan en el incremento de utilidades y participación en el mercado a partir del lograr la entera satisfacción del cliente vía respuestas oportunas y flexibles a sus requerimientos.

Para el caso de los SMA’s el producto es un servicio intangible, específicamente los datos de concentración de contaminantes y los valores de los parámetros meteorológicos generados. Los clientes son los usuarios de dicha información:

autoridades y el público, mientras que la calidad estaría denotada esencialmente por la confiabilidad de los datos.

## **2. Liderazgo**

Toda organización comprometida con la Calidad requiere de una máxima autoridad emprendedora cuyo liderazgo permeé sobre todos y cada uno de sus integrantes. Los beneficios de este principio, se traducirán en que el personal esté motivado y comprometido con los objetivos y metas de la organización, las cuales deben ser ambiciosas pero alcanzables.

Asimismo, a nivel de mandos medios en un SGC debe de inducirse y fortalecer el liderazgo individual de todos los integrantes de la organización. En este contexto, es muy importante proveer los recursos, capacitaciones necesarias y reconocer las contribuciones del personal dentro el alcance de sus funciones.

## **3. Trabajo en equipo**

Una vez que se cuenta con personal motivado, comprometido e involucrado, es indispensable que cada integrante de la organización conozca sus funciones y responsabilidades, así como el papel determinante que juega en el proceso productivo para la consecución de los objetivos y la relevancia del trabajo en equipo. Los beneficios de este principio, son que el personal sea reconocido por su propio desempeño y disposición de participar y contribuir en la mejora continua para la consecución de objetivos y metas comunes.

## **4. Enfoque basado en procesos**

Este principio se basa en identificar los procesos y actividades clave, para obtener los resultados deseables a partir de la asignación de responsabilidades y los métodos de seguimiento (supervisión) y medición de resultados. En la identificación de los procesos se deben tomar en cuenta las etapas, las mediciones de control, el entrenamiento, las actividades, la información, equipos, métodos, materiales y otros recursos para obtener el resultado deseado.

Asimismo, es muy importante también evaluar los posibles riesgos, consecuencias e impactos de los procesos sobre los clientes, proveedores u otras partes interesadas. Los beneficios de este principio consisten en optimizar los costos por medio del uso eficiente de los recursos con resultados mejorados, consistentes y predecibles.

## **5. Enfoque Sistemático de la Gestión**

Este principio consiste en la integración y alineación de los procesos y actividades que logren mejores resultados, además en la habilidad para centrar el esfuerzo en las actividades críticas de los mismos. Los beneficios de este principio se traducen en



confianza, consistencia y eficiencia por parte de los clientes internos y externos. Los clientes externos son los receptores finales del servicio o producto, los clientes internos son los receptores intermedios de un componente o actividad dentro de una cadena productiva, p.e en el laboratorio de un SMA un analista es el cliente (interno) del técnico de muestreo.

## **6. Mejora continua**

Este principio demanda la revisión periódica tanto de las actividades y procedimientos como de las desviaciones identificadas a través del SGC para lograr identificar oportunidades de mejora. Los beneficios de ésta práctica son la incorporación de innovaciones o previsiones que se traducen en un mayor nivel de calidad en los productos o servicios proporcionados al cliente.

## **7. Toma de Decisiones basada en Resultados**

La toma de decisiones en un SGC, debe efectuarse a partir de la disponibilidad de datos y/o información suficiente y confiable para justificar o evidenciar que los cambios o innovaciones que se realizan dentro del sistema son convenientes para la organización. Los beneficios de este principio consisten esencialmente en contar con el soporte necesario y suficiente para la gestión de recursos que conlleven a mejorar la calidad.

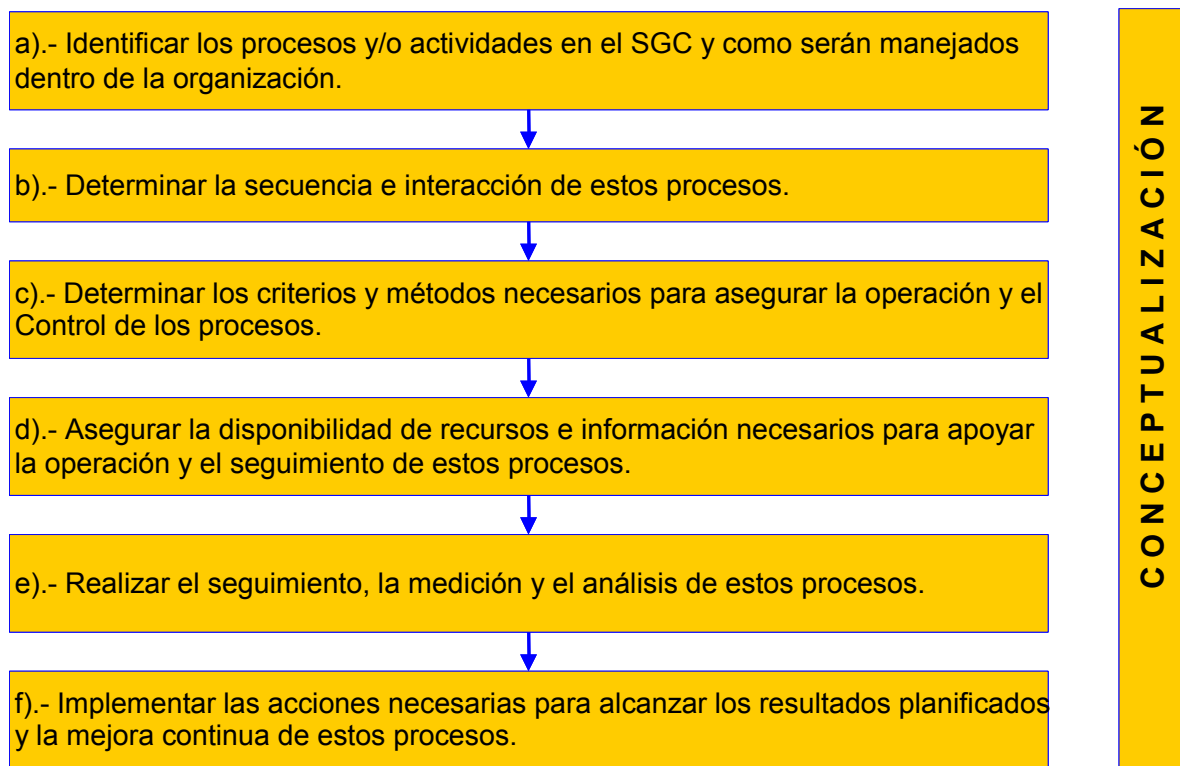
## **8. Relación de beneficio mutuo con los proveedores**

Los proveedores juegan un papel determinante para la consecución de objetivos y metas de calidad de una organización, por lo tanto se requieren de políticas que beneficien a ambas partes a partir de los esquemas conocidos como “Ganar/Ganar”, donde cada parte expone sus necesidades críticas, por ejemplo, el tiempo de entrega de un insumo y la forma de pago requerida por la contraparte para satisfacer dicha demanda y se buscan soluciones para beneficio mutuo de las partes.

### 3.3 Actividades Preliminares del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC)

Todo Sistema de Monitoreo Atmosférico que pretenda implementar un SGC, conforme a los requisitos de las normas: NMX-CC-9001-IMNC-2000 y NMX-EC-17025-1999, deberá emprender en general las 6 etapas iniciales que se indican en la Fig. 3.3 y cuya descripción se efectúa a continuación.

**Fig. 3.3**      ***Etapas para la implementación de un SGC***



Las actividades de conceptualización del SGC indicadas en la figura anterior se describen brevemente a continuación:

- a) Identificar cuales son los procesos y/o actividades que deberán integrarse al SGC y como serán manejados dentro de la organización.

Esto comprendería en el caso de un SMA específico, revisar todos los procesos y/o actividades, que intervienen en la obtención de los datos (producto) como por ejemplo: muestreos y/o monitoreos; análisis de laboratorio, reportes, procesamiento, transmisión y validación de datos, hasta su publicación al público o en su caso a SEMARNAT.

- b) Determinar la secuencia e interacción de estos procesos.

Este análisis se hace para identificar los puntos de control más relevantes, que ayuden a minimizar fallas en los procesos, así como aumentar la confiabilidad y la cantidad de datos a reportar, así como para determinar las interacciones existentes entre diferentes áreas o actividades.

- c) Determinar los criterios y métodos necesarios para asegurarse de que tanto la operación como el control de estos procesos sean eficaces.

En este contexto, se requiere revisar cuáles son los medios usados y cuales más serían necesarios para asegurar la calidad, por ejemplo, para el funcionamiento óptimo de los analizadores automáticos, los elementos de AC usados para lograr dicho propósito, serían el Programa de Calibración y mantenimiento, los procedimientos de calibración, los requerimientos de capacitación del personal operativo, etc. .

- d) Asegurar la disponibilidad de recursos e información necesarios para apoyar la operación y el seguimiento de estos procesos.

Los recursos son un factor indispensable en cualquier proceso operacional. En los SMA's se deben de considerar desde la planeación anual de presupuesto, considerando no solamente los medios necesarios para la operación, sino también los recursos necesarios para el mantenimiento preventivo y correctivo, al igual que la capacitación para asegurar que los sistemas funcionen con eficacia en todo momento y actualizados. Es primordial elaborar el programa operativo y de adquisiciones de manera oportuna.

- e) Realizar el seguimiento, la medición y el análisis de estos procesos.

Este requisito se relaciona con la supervisión y evaluación de los procesos y actividades, a través de sistemas de registro tales como bitácoras, formatos de

calibración, cartas de control, etc. en los cuales debe definirse quién reporta a quién y con que frecuencia.

- f) Implementar las acciones necesarias para alcanzar los resultados planificados y la mejora continua de estos procesos.

Esta etapa se refiere al desarrollo de actividades de auditoría interna, externa y en su caso de inspección. Los sistemas de monitoreo atmosférico deben adicionalmente desarrollar acciones correctivas y preventivas en consecuencia de los resultados de las auditorías o inspecciones. Adicionalmente, se deben establecer y aplicar procesos para la mejora continua del sistema de gestión de la calidad.

### **3.3.1. Programa de Actividades**

Una vez se posee una visión conceptual de las actividades y procesos que deberá considerar el SGC, deberá proceder a la elaboración de un programa de trabajo, donde se establezca en mayor detalle la secuencia lógica de actividades necesarias para la implementación progresiva del SGC.

En esta etapa, será determinante que el personal clave de la organización que participará activamente en la implantación del SGC, tenga un buen conocimiento de los requisitos específicos de la norma para que en cada una de las actividades programadas, se verifique que se están considerando todos los requerimientos establecidos en cada numeral, asimismo es de suma importancia que para cada actividad del Programa se asigne un responsable de coordinar y dar seguimiento a la misma y que se programen reuniones periódicas donde los responsables informen sus respectivos grados de avance y se de un intercambio de ideas y propuestas para la solución de problemas externados por los participantes. En la Fig.3.4 se muestra un ejemplo simple de un programa de actividades para la implementación de un SGC.

**Fig. 3.4 Programa de Actividades para la Implementación de un SGC**

SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO									
Programa General de actividades para el establecimiento, documentación, implementación, seguimiento y mejora del sistema de gestión de la calidad -SGC- conforme a la norma mexicana NMX-CC-9001-IMNC-2000.									
Actividades para la implementación del SGC	200x								
	Mes 1		Mes 2		Mes 3		Mes 4		Responsable M.R.F. Avance(%)
	1	2	3	4	1	2	3	4	
Revisión de los procesos existentes y establecimiento de la Política y los Objetivos									90 %
Identificación y determinación de los procesos y su secuencia									80 %
Definición e integración del manual de calidad									15 %
Difusión del manual de calidad									0 %
Revisión e implementación de los procedimientos obligatorios y necesarios									30 %
Revisión al SGC por parte de la Dirección									0 %
Auditoría interna al SGC									0 %
Gestión de acciones correctivas y preventivas									0 %
Proyectos de mejora continua									0 %
Auditoría externa									0 %

#### 4. DESARROLLO DE SISTEMAS DE GESTION DE CALIDAD

Bajo el PNMA se tiene como meta que antes del año 2010, todos los sistemas de monitoreo atmosférico (SMA's) que operen en el país tengan implantado y aprobado por SEMARNAT un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC). Dichos SGC deberán incluir como mínimo los siguientes aspectos:

- Estructura Organizacional (Funciones y Responsabilidades).
- Definición de objetivos de calidad, en especial lo en relación con datos de calidad del aire.
- Programa de capacitación y entrenamiento del personal.
- Sistema de organización documental que incluya un manual general, procedimientos, bitácoras, reportes y memorias, entre otros
- Programa de autoevaluación, acreditaciones y/o certificaciones.
- Procedimientos de:
  - Instalación, operación, mantenimiento, calibración, prueba y reposición de estaciones e instrumentos de medición.
  - Colección, captura, transmisión, validación, almacenamiento y procesamiento de datos meteorológicos y de calidad atmosférica.
  - Análisis estadístico y reporte de datos.
  - Atención a contingencias atmosféricas.
  - Comunicación interna y externa.
  - Muestreo, cadena de custodia y análisis de muestra para parámetros de medición manual.

La "gestión de la calidad" inicia por determinar e implantar la política de calidad que a su vez incluye el establecimiento y cumplimiento de objetivos de calidad, la identificación de los procesos necesarios para el SGC y su respectiva interacción, la determinación de los criterios y métodos eficaces para su control, la asignación de recursos y el compromiso para la mejora continua de estos procesos (*Decanini, 1997*).

Con relación a los SMA's, los aspectos Gestión de Calidad que se pueden agrupar en esta categoría son: la definición de una política y de objetivos de calidad, la planeación de la calidad, la definición de responsabilidades en base a organigramas, la definición de programas de calidad y actividades, la asignación de recursos y su gestión, la revisión de los sistemas de gestión de la calidad enfocada a una mejora continua.

En el caso de los SMA's las actividades del aseguramiento de calidad, abarcan aspectos como administración, finanzas, diseño de las redes y los servicios asociados, compras (incluyendo la contratación), métodos de prueba aplicados en la operación, el sistema documental y su control, manejo de datos y difusión de la información, capacitación y actividades de evaluación como lo son las auditorías de diferente índole.

Con respecto a los sistemas de monitoreo atmosférico, los aspectos agrupados en el control de calidad, comprenden las actividades propias de calibración y mantenimiento, de revisión y validación de datos.

#### **4.1. Aspectos relacionados con Gestión de la Calidad en los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMA's)**

##### **4.1.1. La Política de Calidad**

Para cumplir con los principios de un SGC, la política debe ser adecuada al propósito de la organización. La política representa el marco de referencia para establecer los objetivos de la calidad, estos últimos deben revisarse periódicamente para determinar su vigencia y en su caso actualizarse. Asimismo, deber garantizarse que la Política de Calidad sea comunicada y entendida por todos los integrantes de la organización.

La Política de Calidad de cada SMA debe ser formulada y apoyada por la alta dirección, también debe ser adecuada a su propósito, considerando los objetivos del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SMA) en cuestión e incluir un compromiso de cumplir con los requisitos de la norma de certificación o acreditación de que se trate (p.e NMX-CC-9001-IMNC-2000 y NMX-EC-17025-1999), así como de mejorar continuamente la eficacia Sistema de Gestión de Calidad en beneficio de los clientes.

**Ejemplo de Política de Calidad de un SMA** hipotético operado en la Cd. de Querétaro, Qro. podría enunciarse en los siguientes términos:

***“Todos los integrantes del SIMAQ asumimos el compromiso de generar datos de calidad del aire confiables en beneficio de la comunidad. Para ello, nos esforzamos día a día a cumplir satisfactoriamente los objetivos de calidad vigentes y de los requisitos de la NMX-CC-9001-IMNC-2000, a partir de un proceso continuo de mejora de nuestro Sistema de Gestión de Calidad”***

##### **4.1.2. Responsabilidades**

En cualquier SGC deben estar claramente establecidas las responsabilidades y el grado de autoridad de cada actor dentro de la organización y verificarse que estas sean comunicadas y comprendidas por la totalidad de los participantes.

Se entiende que la máxima autoridad del SMA deberá comprometerse con la calidad y sus responsabilidades y funciones relacionadas con la Calidad deberán declararse en forma documental en Manual de Calidad del SGC. Un ejemplo de los términos en que se enuncian dichos compromisos en un Manual de Calidad sería como sigue:

## **Ejemplo 1: Declaración de Responsabilidad con el SGC de la Dirección General**

1. *En mi posición de Director del Sistema de Monitoreo Atmosférico de Querétaro (SIMAQ), declaro a todos los integrantes de nuestra organización y representantes de organismos de acreditación y certificación; a nuestros clientes y proveedores, mi absoluta responsabilidad para la planeación, desarrollo, aplicación, revisión, autorización de un SGC en nuestro Sistema de Monitoreo consistente con las normas mexicanas: NMX-CC-9001-IMNC-2000 y NMX-EC-17025-1999 sobre sistemas de calidad o su equivalente (ISO 9001:2000 y la ISO/IEC 17025:1999), para dar cumplimiento a los lineamientos establecidos por el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA) y los requerimientos de reporte y calidad de los datos que nos han sido encomendados a través del SINAICA.*
2. *También así, delego en su proporción participativa, la responsabilidad de funciones y actividades según corresponda, para que todos los integrantes de nuestra organización con su respectiva capacitación, se aseguren de la correcta aplicación y cumplimiento demostrativo de este manual del SGC.*
3. *Manifiesto la asignación de un responsable directo con autoridad suficiente y con libertad organizacional para que con mi dirección y total apoyo audite y me informe periódicamente los resultados de aplicación del sistema en forma general.*
4. *Otorgo mi apoyo absoluto para mantener y mejorar en forma continua nuestro SGC para el beneficio de todos nuestros clientes y de nuestro SMA.*
5. *Es mi responsabilidad que el SGC del SMA exista documentado y distribuido específicamente donde corresponda en todas las áreas y niveles técnico, operativos y administrativos como la herramienta principal para el desarrollo de nuestras actividades para asegurar la calidad de funciones y en general todas las actividades implícitas a los servicios de muestreo, monitoreo análisis que se realizan en nuestra organización.*
6. *Los procedimientos y demás documentos derivados del alcance de este manual de Aseguramiento de Calidad, deben ser desarrollados por los Gerentes, Jefes de Área y por la Dirección General, según su competencia, bajo programas planeados, documentados, asignados e implantados por el Jefe del SGC.*

Para los siguientes niveles de la estructura organizacional del SMA también deben de documentarse en el Manual de Calidad las responsabilidades y grado de autoridad. Lo cual se hace en documentos denominados Descripción de funciones en forma clara y sin ambigüedades los siguientes:

- 1) *Título del Puesto*
- 2) *Puesto al que reporta*
- 3) *Dirección o Gerencia al la que pertenece:*
- 4) *Personal que le reporta*
- 5) *Justificación y objetivo del puesto*
- 6) **Responsabilidades genéricas del Puesto**
- 7) *Comunicación Interdepartamental*



- 8) *Grado de Autoridad dentro de la organización*
- 9) *Grado de Autoridad fuera de la Organización*
- 10) *Lugar de trabajo o alternativas*

De esta manera las **responsabilidades genéricas del Puesto** son enunciadas y documentadas en el SGC como se indica en los siguiente ejemplos 2 y 3.

### **Ejemplo 2: Asignación de Responsabilidades para el Jefe del Departamento de Aseguramiento de Calidad.**

1. *Elaborar revisar y distribuir el manual de Calidad (MAC) actualizado del SMA.*
2. *Elaborar, revisar, actualizar y distribuir los Procedimientos de Aseguramiento de Calidad (PAC´s)*
3. *Revisar y aprobar los procedimientos operativos y verificar su distribución*
4. *Llevar a cabo la depuración anual de archivos de aseguramiento de calidad*
5. *Verificar los procesos que se realicen el SMA para asegurar que son ejecutados con la calidad especificada*
6. *Coordinar las actividades de revisión, verificación y validación de datos, con base a los criterios de aceptación establecidos para controlar la calidad*
7. *Formular los programas específicos de verificaciones, pruebas y registros que deben aplicarse en cada fase operativa y funcional del SMA*
8. *Diseñar, elaborar e implantar bajo la autorización de la Dirección General un procedimiento eficiente para el tratamiento de reclamaciones (no conformidades) y sus respectivas acciones preventivas y correctivas*
9. *Coordinar y participar con las auditorias internas del SGC, analizar los resultados, verificar que se apliquen la medidas preventivas y correctivas que procedan en el ámbito de competencia de cada área e informar a la Dirección General, los resultados de dichas acciones*
10. *Facilitar, fomentar y desarrollar programas de capacitación en todas la áreas del SMA*

### **Ejemplo 3: Asignación de responsabilidades para el Jefe del Área de Monitoreo Atmosférico**

1. *Supervisar y organizar al personal, para llevar a buen termino las actividades de muestro y análisis programadas*
2. *Asignar actividades al personal técnico para el cumplimiento de los programas de trabajo*
3. *Garantizar, de acuerdo a los procedimientos operativos, una adecuada toma de muestra y realización de análisis*
4. *Garantizar, de acuerdo a los establecido pro el SGC un adecuado sistema de identificación y rastreo de los trabajos realizados*
5. *Garantizar de acuerdo con los instructivos operativos, el adecuado manejo de los equipos e instrumentos*
6. *Evaluar el buen estado y funcionamiento de los equipos, así como el cumplimiento de los programas de calibración y mantenimiento*
7. *realizar revisiones periódicas al estado de los equipos o instrumentos, consumibles, equipos sujetos a desgaste y refacciones con el propósito de visualizar las necesidades técnico económicas que permitan una planeación de las actividades correctivas y/o en su caso de su reinversión*

8. *En coordinación con la Dirección, participar en la revisión de los procedimientos operativos del área y verificar el cumplimiento de los lineamientos establecido pro el SGC.*
9. *Verificar el adecuado manejo de muestras, durante el desarrollo, transporte y análisis y hasta la emisión de reportes*
10. *Verificar el apropiado llenado de los muestreo practicados, los resultados de los análisis, cálculos e información requerida para la emisión del reporte*
11. *Revisar los formatos de campo de los muestro practicados, los resultados de los análisis, cálculos e información requerida para el reporte de los mismos.*
12. *Verificar que todas las etapas del proceso de monitoreo de calidad del aire hasta la recepción del personal el centro de computo queden registrada de acuerdo a los establecido por el SGC.*

Finalmente, es importante señalar que en todo SGC, las funciones y responsabilidades asignadas deben transmitirse a partir de mecanismos eficientes de comunicación que garanticen su entendimiento y aplicación.

#### **4.1.3. Planeación de la Calidad**

Cada SMA debe contar con un Plan de Aseguramiento de Calidad (PAC), (o Plan de Calidad PC como se desee nombrarle) el cual es definido como:

***“ El documento formal donde se describen en forma objetiva las actividades técnicas y administrativas de aseguramiento y control de calidad (AC/CC) que deben ser implantadas para asegurar que los resultados del trabajo realizado satisfacerán los criterios de desempeño declarados”*** (ANSI/ASQC Std E4-9)

Con base a lo anterior, lo PAC´s de los SMA´s debe orientarse a describir los aspectos y actividades de AC y CC mas relevantes que serán implantadas en cada una de las etapas implícitas al monitoreo del aire, para asegurar que la calidad de los datos cumpla con los objetivos declarados.

Comúnmente un PAC es estructurado por secciones e incluye la descripción sustancial de los siguientes puntos relacionados con el Aseguramiento de Calidad:

1. La política y los objetivos de calidad.
2. La organización responsable del sistema de monitoreo, el organigrama, las responsabilidades respectivas para las actividades clave en el sistema de gestión de la calidad y requerimientos de capacitación.
3. Las actividades de control y aseguramiento de calidad, incluyendo la descripción de los métodos usados, equipos, procedimientos de compras, manuales de operación, procedimientos e instrucciones de trabajo, procedimientos de calibración.
4. Los estándares usados, trazabilidad y criterios de certificación.
5. El procesamiento de datos y validación de estos.
6. Las auditorías, acciones correctivas y preventivas, revisiones del sistema de gestión de la calidad y
7. Esquemas de Reporte

## 8. La documentación del sistema de gestión de calidad.

Es recomendable que en dicho plan se desglose y profundice a mayor detalle en lo concerniente al aseguramiento y control de calidad que adoptará la organización en sus principales procesos operativos, los cuales podrían incluir:

1. Instalación, operación, mantenimiento, calibración, prueba y reposición de estaciones e instrumentos de medición
2. Colección, captura, transmisión, validación, almacenamiento y procesamiento de datos meteorológicos y de calidad del aire
3. Análisis estadístico y reporte de datos
4. Atención a contingencias atmosféricas
5. Comunicación interna y externa
6. Capacitación
7. Muestreo, cadena de custodia y análisis de muestra para parámetros de medición manual

Como puede observarse la elaboración del PAC inicia con la definición de los objetivos de cada sistema de monitoreo. Todos los pasos subsecuentes se refieren al desarrollo de programas, procedimientos y actividades por desarrollar para llegar a cumplir con los objetivos definidos.

#### 4.1.4. Objetivos de Calidad

Para apoyar y conducir las actividades apropiadas de aseguramiento de calidad, la organización debe establecer y declarar los objetivos que pretende alcanzar en términos de calidad, en un primer nivel podrá enunciar objetivos generales tales como:

1. Proveer datos con la exactitud y precisión requeridos para verificar el cumplimiento de las normas de calidad del aire.
2. Minimizar las pérdidas de datos de calidad del aire debidas a fallas de funcionamiento de los equipos e instrumentos de medición.
3. Evaluar la calidad de los datos del monitoreo del aire para garantizar sus representatividad y comparabilidad

En nivel mayor específico, cada SMA deberá enfocar sus actividades de aseguramiento de calidad a controlar en la mayor medida posible la calidad de los datos de las concentraciones de los contaminantes del aire que evalúa. Bajo las consideraciones del PNMA, es deseable y recomendable que dichos objetivos de calidad de los datos sean establecidos por SEMANART-INE a través de la DGCENICA por medio de un proceso análogo del que practica la EPA en E.U.A. Evidentemente, la complejidad y criterios de precisión y exactitud aplicables en México en una primera etapa, deberán ser evaluados. Algunos ejemplos de objetivos de calidad de los datos pueden ser de la siguiente manera:

- Exactitud-con base a auditorías de funcionamiento los datos de calidad del aire deben de estar dentro del +/- 15 % del valor teóricamente considerado como verdadero (VTCV), con excepción de los datos de flujo de PM<sub>10</sub>, los cuales deberán estar dentro del +/- 10 % del VTCV. Para los analizadores de NO<sub>x</sub> la eficiencia de los convertidores debe ser igual o mayor a 96 %. El nivel de confianza al 95 % de límites de probabilidad debe ser mayor al 80 %.
- El porcentaje mínimo de integridad de las bases de datos anuales para cada contaminante normado debe ser del 75%.
- Los datos obtenidos por las estaciones de monitoreo para los contaminantes normalizados deben de tener como mínimo un 80% nivel de confianza, en función de su representatividad y escala.
- El error instrumental de medición para cada contaminante gaseoso normalizado no deberá ser mayor de +/- 5% en un año.
- El error instrumental de medición para partículas normalizadas no deberá de ser mayor a +/- 7% en un año.

Otros objetivos de calidad y metas particulares de cada SMA pueden ser establecidos en las funciones y niveles pertinentes dentro del mismo SMA y su respectivo SGC y deben ser coherentes con la política de calidad establecida.

Asimismo cuando el PAC involucre actividades o insumos no disponibles para asegurar la calidad de un determinado proceso estas deberán programarse y establecerse como metas y cuantificables indicando periodos, responsabilidades y recursos necesarios para su consecución. Adicionalmente, si se requiere la especificación de los procesos operativos necesarios y de los recursos relacionados para cumplir con los objetivos de la calidad.

#### **4.1.5. Gestión de Recursos para el SGC**

En términos generales la gestión de los recursos puede definirse como:

***“... la capacidad de la organización para proveer al SGC de los recursos financieros, humanos e infraestructura (instalaciones, equipamiento y materiales) necesarios y suficientes para garantizar su apropiado desempeño”.***

A continuación se enuncian algunos criterios e ideas que faciliten la interpretación de este requisito normativo de calidad aplicado a los SMA's.

##### ***Recursos Financieros***

Toda organización que opere un SGC, requiere inevitablemente de un presupuesto acorde con las características específicas de sus alcances, en el caso de los sistemas implantados en organizaciones productivas, se entiende que los recursos monetarios son autogenerables, a través de la actividad productiva. En el caso de los SMA's donde se efectúa un servicio no lucrativo, la disponibilidad de recursos financieros es complicada y provendrá normalmente de partidas presupuestales de origen gubernamental. Sin embargo, es importante señalar que uno de los factores mas críticos que se observa en las redes actuales de monitoreo, es precisamente la fuerte limitación de recursos económicos para realizar sus funciones.

Al respecto, debe considerarse que un SGC difícilmente podrá ser implantado y mantenido sin disponer de fondos. Por las características propias de esta actividad, será de vital importancia por una parte, el convencimiento de las máximas autoridades gubernamentales de la importancia de medir la calidad del aire en las cuencas atmosféricas bajo su Jurisdicción y por otra; que los SMA's diseñen estrategias alternativas de financiamiento para darle viabilidad a su operación.

##### ***Recursos Humanos***

En el caso de los Recursos Humanos, cada SMA debe asegurar que se cuenta con la cantidad y calidad de personal requeridos para su apropiada operación.

De esta manera, a través del SGC deberá evaluarse el desempeño del personal que realiza los trabajos que se relacionan directamente con la calidad de los datos y garantizar su perfil

adecuado en cada caso. Dicho proceso, se lleva a cabo a través de la descripción de los perfiles de puestos en la parte documental del SGC.

A su vez el SGC deberá considerar en su gestión, el requisito de la norma relacionada con los programas de capacitación, orientados a mejorar la nivel técnico, capacidades y destrezas de su personal, documentando a través de registros su aplicación.

También es muy recomendable que el personal directivo y operativo cuente con la experiencia suficiente y comprobable en el campo de la ingeniería y las ciencias ambientales y también, deberán estar sujetos a un programa de actualización y capacitación periódica.

La capacitación puede llevar a cabo a través de cursos formales, talleres, conferencias o virtuales y entrenamiento en campo.

### ***Infraestructura***

Respecto a la infraestructura, la organización debe disponer y mantener, las instalaciones, equipamiento y materiales necesarios para el apropiado desempeño de sus funciones. La infraestructura incluye edificios, espacios de trabajo, servicios asociados, equipos de muestreo y monitoreo, consumibles, refacciones, instrumentos meteorológicos, sistemas de adquisición y transmisión de los datos y los servicios de apoyo como el transporte y la comunicación.

La gestión de dichos recursos en el SGC, incluye también el diseño de los programas de reposición y control de inventarios apropiados que garanticen la operación continua de dicha infraestructura, como una condicionante determinante en el proceso de generación de datos de calidad del aire.

## **4.2 Aspectos Relacionados con Aseguramiento de la Calidad**

Una de las definiciones más comprensibles de Aseguramiento de Calidad (AC), localizadas para la elaboración el presente documento, es la que se enuncia a continuación:

***“ Aseguramiento de Calidad es el sistema integrado de actividades que incluye la planeación, implementación, evaluación, reporte y mejora para asegurar que un proceso, producto o servicio es del tipo y calidad necesario y esperado por el cliente”***  
(ANSI/ASQC Std E4-9)

Con base a dicha definición, puede concluirse que el AC incluye todas aquellas actividades planeadas e implementadas para asegurar la calidad del producto o servicio final , las cuales deben ser evidenciadas objetivamente, es decir, se deben documentar para demostrar la **conformidad** a este requisito primordial implícito a toda norma de calidad.

La demostración de dicho requisito se efectúa a través de un Sistema Documental que constituye un componente medular de todo SGC y cuyas principales características se refieren en el siguiente apartado.

#### **4.2.1. Sistema Documental**

Retomando algunos de los aspectos discutidos en las secciones anteriores, tales como política y objetivos de la calidad declarados, los SMA's, estos deben contar con un sistema documental donde se integren, ordenen e Inter-relacionen todas las actividades relacionadas con la calidad. Comúnmente el Sistema Documental incluye los siguientes :

- Un manual de la calidad que proporciona información coherente acerca del sistema de gestión de la calidad,
- Procedimientos generales de AC, donde se enuncian las políticas específicas que practica la organización para cumplir los requisitos de la normas de calidad y otros establecidos por la autoridades o entidades de certificación y acreditación.
- Procedimientos de operación que describen en forma detallada las diferentes etapas en el desarrollo del proceso de monitoreo del aire hasta la entrega de reportes,
- Instructivos de trabajo y formatos relacionados a los diversos procesos,
- Registros que pueden ser datos que proporcionan evidencia objetiva de las, actividades realizadas o resultados obtenidos.

Adicionalmente deben existir documentos complementarios que establecen especificaciones, normas de referencia y guías relacionadas con las actividades que se practican, los cuales también podrán formar parte del acervo Documental de la organización.

En la figura 4.1 se ilustra la estructura jerárquica típica del Sistema Documental de un SGC en función de la importancia y volumen de los documentos relacionados.

**Fig. 4.1. Pirámide de la documentación existente en un sistema de gestión de la calidad**



#### **4.2.2. Procedimientos de Aseguramiento de Calidad (PAC'S)**

Como se observa en el segundo nivel de la pirámide documental en su parte intermedia estará conformada por Procedimientos de Aseguramiento de Calidad (PAC's) los cuales como se refirió anteriormente en ellos se enuncian las políticas y actividades generales para cumplir los requisitos de la normas de calidad y otros establecidos por la autoridades o entidades de certificación y acreditación.

En la práctica algunas organizaciones optan por incluir los PAC's como parte integrante del manual de calidad y en otros casos como un manual separado específico de aseguramiento de calidad .



## Ejemplo del índice tentativo de un Manual de Procedimientos de Aseguramiento de Calidad de un SMA podría ser como sigue:

### 4.0 MANUAL DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

#### 4.1 Introducción

#### 4.2 Contenido

- PAC 01 *Elaboración de Procedimientos*
- PAC 02 *Control de los documentos*
- PAC 03 *Adquisición de Servicios y Suministros*
- PAC 04 *Quejas y Reclamaciones*
- PAC 05 *Control de Ensayo o calibración no conforme*
- PAC 06 *Acción correctiva y Acción Preventiva*
- PAC 07 *Control de los registros*
- PAC 08 *Auditorias internas*
- PAC 09 *Personal y Capacitación*
- PAC 10 *Instalaciones y Condiciones Ambientales*
- PAC 11 *Métodos de Prueba*
- PAC 12 *Equipo e Instrumentos de Medición y Laboratorio*
- PAC 13 *Trazabilidad, Materiales de Referencia y estándares de transferencia*
- PAC 14 *Manejo de datos (revisión, verificación y validación)*
- PAC 15 *Reporte, transmisión y publicación de Datos*

### 4.2.3 Procedimientos Operativos (PO's)

En el siguiente nivel de la estructura documental se encuentran los **Procedimientos Operativos** donde se indican en detalle la forma en que se realizan los métodos de prueba, mediciones, análisis, revisiones, calibraciones, mantenimiento y demás actividades para asegurar la calidad en el desarrollo de los procesos, la exactitud y precisión de los datos y la credibilidad de la organización. La redacción de los procedimientos debe ser clara y entendible para el personal. En el documento 4 se efectuó una descripción detallada de la utilidad de los delo PO's como herramienta de trabajo en las prácticas de Monitoreo atmosférico los componentes básicos que se utilizan para su elaboración.

Considerando las características actuales Sistemas de Monitoreo Atmosférico que operan en el país donde su infraestructura actual esta orientada básicamente a la evaluación de contaminantes criterio y parámetros meteorológicos, los Procedimientos Operativos a desarrollar basados en un criterio de Métodos de Prueba utilizados por un SMA podrían incluir entre otros:

- P0 - SIMAQ-001** *Selección de Sitios de Muestreo e Instalación de Sondas*
- P0 - SIMAQ-002** *Procedimiento para la Determinación de las concentraciones de PM10 en el aire ambiente (Método Manual –Alto Volumen)*

<b>P0 - SIMAQ-003</b>	<i>Procedimiento para la Determinación de las concentraciones PM<sub>10</sub> en aire ambiente (Método Instrumental – Optico Atenuación Beta)</i>
<b>P0 - SIMAQ-004</b>	<i>Procedimiento para la Determinación de las concentraciones de Ozono (O<sub>3</sub>) en aire ambiente (Método Instrumental – Fonometría UV)</i>
<b>P0 - SIMAQ-005</b>	<i>Procedimiento para la Determinación de las concentraciones Bióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) en aire ambiente (Método Instrumental – Fluorescencia Pulsada)</i>
<b>P0 - SIMAQ-006</b>	<i>Procedimiento para la Determinación de las concentraciones Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en aire ambiente (Método Instrumental - Quimiluminiscencia)</i>
<b>P0 - SIMAQ-007</b>	<i>Procedimiento para la Determinación de las concentraciones de Monóxido de Carbono (CO) en aire ambiente (Método Instrumental – Infrarrojo no dispersivo)</i>
<b>P0 - SIMAQ-008</b>	<i>Procedimiento General para la Determinación de la Velocidad y Dirección del viento.(Vw y Dw); Temperaturas( Bs y Bh) y Presión Barométrica Pbar. en la red Meteorológica del SIMAQ.</i>
<b>P0 - SIMAQ-009</b>	<i>Adquisición, almacenamiento, revisión y transmisión de datos en la Estaciones de Monitoreo del SIMAQ.</i>
<b>P0 - SIMAQ-010</b>	<i>Procedimientos de Poleo, Adquisición Almacenamiento Central de información. Revisiones de 1° y 2° Nivel, verificación y validación de datos en Centro de Computo del SIMAQ</i>
<b>P0 - SIMAQ-011</b>	<i>Procedimientos para elaboración de Reportes ( interno, publico y transmisión de datos a SINAICA.)</i>

Cada uno de los PO's debe estructurarse y escribirse conforme al PAC para elaboración de Procedimientos vigente en el SGC y en el caso de Procedimientos Operativos de Métodos de Monitoreo atmosférico, su contenido incluye secciones tales como:

1. Objetivo y aplicación
2. Resumen del método
3. Definiciones
4. Referencias
5. Medidas de precaución
6. Interferencias
7. Personal y Responsabilidades
8. Equipos y materiales
9. Calibración del instrumento o método
10. Recolección de la muestra
11. Manejo y conservación, preparación de la muestra y su análisis
12. Mantenimiento de Rutina y Lista de Fallas
13. Obtención de datos, cálculos y reducción de datos
14. Criterios de Aceptación

#### **4.2.4 Instrucciones de Trabajo y Registros**

En el último nivel del sistema documental, se encuentran los instructivos de trabajo y los registros.

Las instrucciones de trabajo son documentos que detallan los pasos en el desarrollo del trabajo específico a realizar y muchas veces pueden incluirse en los PO's como apéndices, por ejemplo los procedimientos específicos de calibración y el servicio de mantenimiento de un analizador. Con frecuencia, se trata de resúmenes traducidos de los instructivos suministrados por los proveedores de los equipos e instrumentos usados en el monitoreo atmosférico o en su caso ciertas acciones se reverencian al instructivo original para su ejecución.

Para el caso de los SMA's, los registros comprenderían las bitácoras y formatos utilizados durante las actividades de muestreo, calibración y mantenimiento, análisis y reportes, a través de los cuales puede evidenciarse la fecha, el responsable y los datos de las actividades de AC y CC que fueron realizadas a lo largo del proceso de la generación de los datos de calidad del aire.

#### **4.2.5. Control de Documentos**

Como "control de documentos" se entiende que todos los documentos existentes en un SGC de una organización estén ordenados, fácilmente localizables y protegidos (p.e. de humedad u otras condiciones que pudieran peligrar su conservación), provistos de fechas de emisión y vigencia para evitar confusiones y uso no apropiado. Además, se tienen que señalar documentos obsoletos, por ejemplo con un sello o leyenda que indica "obsoleto". Es importante señalar que al respeto de los documentos relacionados a procesos operativos, como lo son en este caso muestreos atmosféricos, se debe tener especial atención de que las versiones actuales de los documentos pertinentes deben estar disponibles en todos los lugares donde se realicen operaciones esenciales para asegurar el funcionamiento eficaz del sistema de monitoreo atmosférico y control de calidad. Se debe asegurar que los cambios estén identificados y visible el estado de la revisión actual en los documentos.

Es recomendable que los procedimientos o instrucciones de trabajo para realizar los trabajos de prueba, inspección y mantenimiento de equipos deben estar disponibles en cada estación de monitoreo.

El sistema documental de SGC debe actualizarse periódicamente a partir de revisiones programadas, o bien por circunstancias especiales, por ejemplo cuando existan modificaciones a la legislación ambiental, las normas oficiales mexicanas, ampliación o modificaciones relevantes a los sistemas de monitoreo, modificaciones a los planes y programas de Gestión de la Calidad del Aire o modificaciones relevantes a la estructura administrativa y operativa del sistema de monitoreo atmosférico. Para lograr un control de estas actividades, se deben establecer y mantener procedimientos para la preparación, la

revisión, la aprobación, la expedición, el uso, control, revisión y mantenimiento/ resguardo de documentos y registros en tiempo.

Los procedimientos de operación e instrucciones de trabajo deben ser revisados una vez al año, revisados según sea necesario y aprobados adecuadamente por el personal autorizado. Toda información considerada como documento y registro se debe retener mínimo por 5 años a partir de la fecha de emisión o a partir de la fecha de entrega de reporte a la SEMARNAT. En caso de relacionarse a alguna investigación, auditoría u otra acción con registros, estos se tendrán que conservar hasta que se hayan resuelto todos los asuntos relacionados. En la Tabla 4.1, se presentan el tipo de documentos que deben ser controlados dentro del SGC.

**Tabla 4.1 Documentos que deben ser sometidos al control documental**

Categorías	Ejemplos
Organización, gestión y estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico</li> <li>• Reglamento Interior de las Secretarías de Medio Ambiente federal y estatal; Organigramas de los sistemas de monitoreo atmosférico;</li> <li>• Calificación del personal y capacitación;</li> <li>• Programa de implementación del Sistema de Gestión de la Calidad;</li> <li>• Procedimiento de control de documentos;</li> <li>• Contratos de soporte.</li> </ul>
Información de la cuenca o parcela atmosférica a vigilar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de caracterización de la cuenca,</li> <li>• Descripción de la parcela atmosférica a vigilar ;</li> <li>• Archivo de caracterización del sitio de la estación.</li> <li>• Fotos/ mapas de las redes y del sitio de la estación</li> </ul>
Gestión de la calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual del SGC</li> <li>• Procedimientos de AC</li> <li>• Instructivos de AC</li> <li>• Registros de AC</li> <li>• Cartas o fichas de control</li> <li>• Auditorías externas e internas</li> </ul>
Aseguramiento y Control de Calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de Aseguramiento de Calidad</li> <li>• Procedimientos operativos</li> <li>• Bitácoras de mantenimiento y calibración</li> <li>• Cadena de custodia de manejo y resguardo de muestras; reportes de auditorías;</li> <li>• Actas de inspección y mantenimiento.</li> </ul>
Datos crudos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bases de datos</li> <li>• Cualquier dato original (de rutina o de control de calidad)</li> </ul>
Reportes de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportes de los IMECAs</li> <li>• Reportes Estadísticos</li> <li>• Publicaciones</li> </ul>

*Nota:* la organización puede integrar la documentación en la forma que le resulte más funcional para su manejo, distribución y resguardo.

### **Seguridad de datos**

En caso de falla en los sistemas de transmisión, las estaciones deberán estar equipadas con computadoras o equipos electrónicos (*datalogger*) que permitan el almacenamiento en el sitio de todos los datos generados por el instrumental de medición en un periodo mínimo de un mes. Asimismo, los instrumentos de medición automáticos de parámetros meteorológicos, gases y partículas deberán tener la capacidad intrínseca de almacenar como mínimo hasta una semana de datos por ellos generados.

Por su parte, los centros de cómputo deberán tener la capacidad de almacenar en forma segura hasta cinco años de datos y deberán realizar un respaldo físico externo de la base histórica de datos, a ubicar en una edificación distinta a las oficinas administrativas donde

operen. Este último respaldo debe realizarse en un Archivo Histórico oficial del municipio o del estado.

#### **4.2.6. Criterios de Selección y Adquisición de Equipos, instrumentos, Materiales y Consumibles**

El proceso de selección y compra es determinante para la calidad del producto. Una mala selección de equipos o insumos ponen en peligro a la calidad de los datos y puede conllevar a no lograr los objetivos planeados. Es importante tener toda la información relativa a las especificaciones del instrumento, equipo, reactivo u otros que deban adquirirse para asegurar que cumplen con los requisitos de calidad preestablecidos.

##### **A) Criterios**

- Es deseable que los equipos de muestreo, monitores, calibradores que utilizan los SMA's cuenten con un certificado de desempeño Nacional o Internacional. La SEMARNAT a través del CENICA podría adoptar a corto y mediano plazo los listados de analizadores certificados por EPA como métodos de referencia o Equivalentes y notificar anualmente a todas las organizaciones responsables de los sistemas de monitoreo atmosférico los listados de instrumentos y equipos de medición y de control, verificación y calibración autorizados.

##### **B) Selección**

Como mínimo, cada SMA debe considerar los siguientes puntos en el momento de la selección de equipos e instrumentos de control y verificación:

- los objetivos de los monitoreos,
- la exactitud de las mediciones requerida,
- en la lista de equipos o instrumentos autorizados, o si son prestadores de servicios certificados por las instancias de acreditación respectivas,
- la calidad y los precios de los equipos y de los servicios ofrecidos a los sistemas,
- la disponibilidad de refacciones y servicios de reparación.

En la selección de un método de monitoreo para una aplicación particular, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones que en parte se derivan de los instrumentos que trabajan bajo este método:

- La aptitud del principio de medición, incluyendo la sensibilidad, exactitud y precisión,
- La sensibilidad del analizador,
- la susceptibilidad a interferencias que pueda estar presentes en el sitio de la estación de monitoreo,
- los requerimientos de gases de soporte y otros equipos,
- la confiabilidad del método,
- los requerimientos de mantenimiento,

- los costos iniciales de adquisición e instalación, así como también los costos de operación,
- características como un chequeo de cero y del span internos o completamente automáticos o su capacidad de ajuste, entre otros.

Las redes de monitoreo atmosférico deben evaluar y seleccionar los proveedores en función de su capacidad para suministrar los equipos, instrumentos, materiales o servicios de acuerdo a los requisitos de la organización.

En los procedimientos de compras de todas las redes de monitoreo atmosférico deben estar claramente establecidos los criterios para la selección, la evaluación y la re-evaluación. Los registros de los resultados de las evaluaciones y de cualquier acción necesaria que se derive de las mismas deben mantenerse de acuerdo a lo establecido en control de documentos y registros.

Las redes de monitoreo atmosférico se deben asegurar que exista información de las compras que describan el equipo, instrumento, material o servicio a comprar. Adicionalmente se debe contar con la documentación correspondiente a los requisitos para la aprobación de la compra del equipo, material o servicio que entre otros pueden depender de factores técnicos, económicos o políticas de compras, requisitos de la calificación del personal en el caso contratar servicios, y requisitos del sistema de gestión de calidad.

En el procedimiento de compra se debe establecer cuales son las disposiciones para la verificación pretendida contra los requisitos de compras y el método para la liberación de los pagos de los equipos, materiales y servicios o en su caso la política de pagos, tiempos de entrega y garantías requeridas al proveedor.

Algunas características recomendables para la selección de equipo de soporte usados en los SMA se refieren a continuación:

**Calibradores dinámicos:** Estos pueden ser con control de flujo de masa o equipos de *permeación*. Se recomienda que sean de 110 VCA, compatibles con sistemas de obtención de datos para calibración automática y que cuenten con sistemas de lógica verdadera de transistor- transistor.

**Sistemas de Adquisición de Datos :** Se recomienda que tengan una lógica de 16 bit mínimo, tengan capacidades de *modem*, permitan un control y acceso remoto para iniciar calibraciones remotas.

**Graficadores de cartas analógicas:** se recomienda que los registradores de cartas sean capaces de soportar varios plumillas, aceptar entradas de varios voltajes (p.e. capaces de aceptar entradas de 1, 5 o 10 voltios) y que se puedan programar.

**Racks para instrumentos:** Los racks deben estar contruidos de acero y contar con rieles de deslizamiento. Racks abiertos ayudan a mantener la temperatura de los equipos baja y a que el aire circule fácilmente.

**Sistemas de aire cero:** Estos sistemas deben ser capaces de suministrar 10 litros/ minuto de aire libre de contaminantes, por ejemplo de ozono, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> hasta 0.001 ppm y CO e hidrocarburos hasta 0.1 ppm.

### **Instrumentos de Verificación**

Los instrumentos de verificación pueden ser equipos de revisión del correcto funcionamiento electrónico hasta equipos con gases de referencia.

Las actividades de control y chequeo pueden ser delegadas a instancias subcontratadas siempre que estén reconocidas y certificadas para estos fines por parte de la EMA u otra entidad con las facultades de certificación.

Cada red de monitoreo de calidad atmosférica debe contar con instrumentos de control y procedimientos de verificación de equipos y componentes de los equipos de muestreo para garantizar el desempeño de la red de acuerdo a los niveles establecidos por SEMARNAT.

### **Sistemas computacionales usados para el Control de Calidad**

Atención especial merece la elección de los sistemas computacionales para procesar y entregar la información a tiempo. Estos sistemas deben ser capaces de:

- Calcular las ecuaciones de calibración.
- Calcular las mediciones de la linealidad de las calibraciones. (p.e. desviación estándar o coeficiente de correlación).
- Imprimir curvas de calibración.
- Calcular resultados del desvío de cero/ span o rango.
- Imprimir los datos del desvío del cero/span.
- Calcular la precisión y exactitud de los resultados.
- Calcular los límites de las cartas de control.
- Imprimir cartas de control.
- Abanderamiento automático de los resultados que indican un estado anormal - fuera de control de los instrumentos o arreglos de muestreo y análisis.
- Mantener y obtener registros de calibración y desempeño.

Los equipos deben estar siempre en buenas condiciones y sometidos a pruebas de inspecciones y mantenimientos apropiados para garantizar una operación y un desempeño confiable. Por la gran variedad y cantidad de equipos existentes, aquí se señalarán únicamente aspectos generales que se deberán considerar:

- Lista de equipos por red y por estación,



- Lista de equipos o piezas de refacción - por equipo, incluyendo proveedores para estos.
- Frecuencia de inspección y mantenimiento por equipo,
- Frecuencia de prueba y fuente de la concentración de prueba o equipo de prueba,
- Programas de reemplazo de equipos,
- Instancias de reparación por equipo,
- Acuerdos de servicio que existen en el lugar,
- Listas de verificación (check lists) mensual y formatos de registro para documentar las pruebas, inspecciones y el mantenimiento realizado.

En el documento “**Operación, Mantenimiento y Calibración en Sistemas Monitoreo Atmosférico**”(documento 3 y 4 de esta serie) se definen estos conceptos con mayor detalle.

#### **4.2.7. Auditorías Internas y Externas**

La operación efectiva de SGC debe evaluarse periódicamente a través de Programas de Auditorías Internas y Externas. Las primeras representan un requisito de evaluación de las Normas de Calidad que debe ser implementado como parte integrante del SGC de los SMA’s. Las segundas estarán relacionadas para demostrar la conformidad para fines de certificación y/o acreditación.

##### ***Auditorías Internas***

Los responsables de los SMA’s deberán conducir auditorías internas periódicas de sus actividades y con base a un programa calendarizado, bajo procedimientos predeterminados para verificar que las operaciones continúan cumpliendo con los requisitos del SGC. El objetivo de estas auditorías es identificar desviaciones u omisiones para posteriormente emprender las acciones correctivas conducentes, y formular las medidas preventivas que conlleven a minimizar su recurrencia y por ende a fortalecer el proceso de mejora continua.

El programa de auditorías internas deber dirigirse a todos los componentes incluidos en el alcance del SGC. El responsable del SGC debe planear y organizar las auditorías conforme al programa o bien cuando se identifique una desviación importante en le sistema producto de una queja o reclamación. Las auditorías internas deben ser efectuadas por personal entrenado y calificado (auditores internos) dentro los SMA’s, ésta es un requisito muy importante para el cumplimiento de la norma y siempre se debe procurar, que quienes auditan determinadas áreas o actividad, no estén relacionados directamente con las mismas.

Los auditores deben definir los requerimientos de cada auditoría, planificar la misma, evaluar el soporte documental de las actividades que se realizan y determinar su suficiencia. En caso de encontrar una desviación, ésta se deberá de informar inmediatamente al auditado para su conocimiento y aprobación de que dicha desviación será levantada, ya sea como no conformidad o como observación según corresponda la no conformidad, informar cualquier

obstáculo importante encontrado durante la auditoría e informar los resultados de la auditoría en forma clara y concluyente.

En este contexto las revisiones por parte de la dirección son importantes y deberán ser también con base a un calendario y procedimientos para la revisión del SGC y asegurar su adecuación, efectividad continua e introducir los cambios o mejoras necesarios.

### ***Auditorías Externas***

Una vez que los SMA's implementen su SGC, el PNMA tiene previsto desarrollar un procedimiento de auditorías periódicas para asegurar la calidad del servicio que prestan a la comunidad, dado que el objetivo de los sistemas de monitoreo es vigilar el cumplimiento de normas oficiales mexicanas de calidad del aire, en el documento 6 se presenta la propuesta de auditorías externas a las que quedarían sujetos dichos organismos, basado tanto en el procedimiento acreditación existente en México acorde con la ley federal de metrología y normalización, como en los programas de auditoría que se han desarrollado en estados unidos a través de *EPA para la evaluación del desempeño de los SMA's*, el cual incluye los siguientes tres tipos de evaluaciones: 1) *auditorías técnicas del sistema*, 2) *auditorías de funcionamiento* y 3) *auditorías de datos* cuyos alcances funcionales se describen en dicho documento.

## 4.3 Aspectos Relacionados con el Control de la Calidad

### 4.3.1 Criterios de control de calidad en los sistemas de monitoreo atmosférico

En forma general el control de calidad se define de la siguiente manera:

***“ El sistema de tareas técnicas que mide los atributos y desempeño de un proceso, producto o servicio contra estándares definidos para verificar que estos alcanzan los requerimientos de calidad establecidos por el cliente y/o los métodos de prueba, y/o las autoridades”***

Con base a lo anterior, en el campo específico del Monitoreo Atmosférico el Control de Calidad incluye las tareas relacionadas con el control durante la colección de las muestras, manejo, análisis, revisión, verificación de datos y reporte. Evidentemente se incluyen las calibraciones periódicas, chequeos rutinarios del servicio, chequeos mensuales de mantenimiento de para control de calidad de instrumentos específicos y muestreos y análisis de muestras duplicadas o enriquecidas.

Las actividades de control de la calidad se aplican, para asegurar que en los monitoreos atmosféricos las lecturas de la medición reflejen los valores de la calidad del aire y que éstas se mantengan dentro de los criterios de aceptación para el cumplimiento de los objetivos de calidad de datos. El control de calidad es correctivo al igual que proactivo, estableciendo técnicas para prevenir la generación de datos inaceptables y la política para acciones correctivas a través de:

- Las técnicas usadas para el control de calidad;
- La frecuencia de las verificaciones y el punto en el proceso de medición en el cual se introduce la verificación;
- La trazabilidad de las normas;
- La matriz de la muestra de verificación;
- El nivel de concentración de la sustancia a analizar;
- Las acciones a tomar en el caso de que una verificación de control de calidad identifique un sistema de medición que falle o que esté cambiado;
- Las fórmulas para estimar los indicadores de calidad de datos;
- Los procedimientos para documentar los resultados del control de calidad, incluyendo tarjetas o cartas de control y protocolos;
- Las descripción de como los datos serán usados para determinar si el desempeño de la medición es aceptable en el contexto de verificación y validación de los datos.

Otros elementos del SGC que pueden contener requerimientos relacionados con el control de calidad incluyen:

- El diseño del muestreo que identifica las muestras de control de calidad planeadas así como también los procedimientos para la preparación y manejo de las pruebas de control de calidad;
- los requerimientos de métodos de muestreo, que incluyen los requerimientos para determinar si las muestras recolectadas representan adecuadamente la población de interés,
- los requerimientos al manejo y resguardo de las muestras, que deben describir cualquier equipo de control de calidad usado para asegurar que las muestras no sean alteradas (p.e. sellos de resguardo) o sujetas a otras condiciones inaceptables durante el transporte,
- los requerimientos de los métodos analíticos que incluyen información de los métodos anteriores y posteriores al muestreo y la información para la preparación de muestras de control de calidad (p.e. blancos y replicas) ,
- la calibración de instrumentos y frecuencia que define los criterios prescritos para solicitar la recalibración (p.e. las verificaciones de una calibración fallida).

#### **4.3.2. Laboratorio de transferencia de estándares y de calibración**

Se considera el laboratorio de transferencia de estándares y de calibración como un aspecto de aseguramiento de calidad por presentar un conjunto de actividades planeadas y sistemáticas, que son llevadas a cabo con el objeto de brindar la confianza apropiada de que los monitoreos atmosféricos y servicios asociados cumplen con los requisitos de calidad especificados, aunque en el laboratorio mismo si puede contar con aspectos clasificados bajo “control de la calidad”. (EPA, 1998).

Cada red de monitoreo de calidad atmosférica debe contar con un laboratorio de transferencia de estándares y de calibración. Estos laboratorios pueden ser subcontratados para este servicio siempre que cuenten con su acreditación ante EMA u otra entidad de certificación de laboratorios para los fines mencionados. (EPA, 1998).

Los laboratorios deben estar integrados en el sistema de calidad de los sistemas respectivos de monitoreo atmosférico y deben aplicar las “Buenas Prácticas de Laboratorio”. (EPA, 1998).

Las “Buenas Prácticas de Laboratorio” se refieren a prácticas generales o comunes relacionadas a un gran número, pero no necesariamente a todas las mediciones realizadas en el laboratorio. Las buenas prácticas de laboratorio normalmente son independientes de los métodos estándar de operación, como por ejemplo: mantenimiento de las instalaciones, registros, manejo y conservación de muestras, limpieza de la vidriería de laboratorio, entre otro. Comúnmente, estas prácticas no son documentadas de manera formal, dado que se consideran de sentido común. Sin embargo, se deben documentar si pueden causar

inseguridades innecesarias en la medición o pueden tener una desviación o un sesgo significativo. (EPA, 1998).

Los siguientes son principios de “Buenas Prácticas de Laboratorio”:

- La administración de las instalaciones de prueba
- La administración del personal.
- Los equipos, materiales, reactivos e instalaciones.
- Los sistemas de prueba.
- Los procedimientos estándar de operación.
- La realización del estudio.
- El reporte de los resultados del estudio.
- El almacenamiento y retención de registros y materiales.

La definición de cada uno de los puntos anteriores, se tiene que elaborar a detalle para cada laboratorio en particular, reflejando sus características específicas.

En general aplica a todos los laboratorios de calibración y de transferencia de estándares el cumplimiento de los siguientes principios básicos:

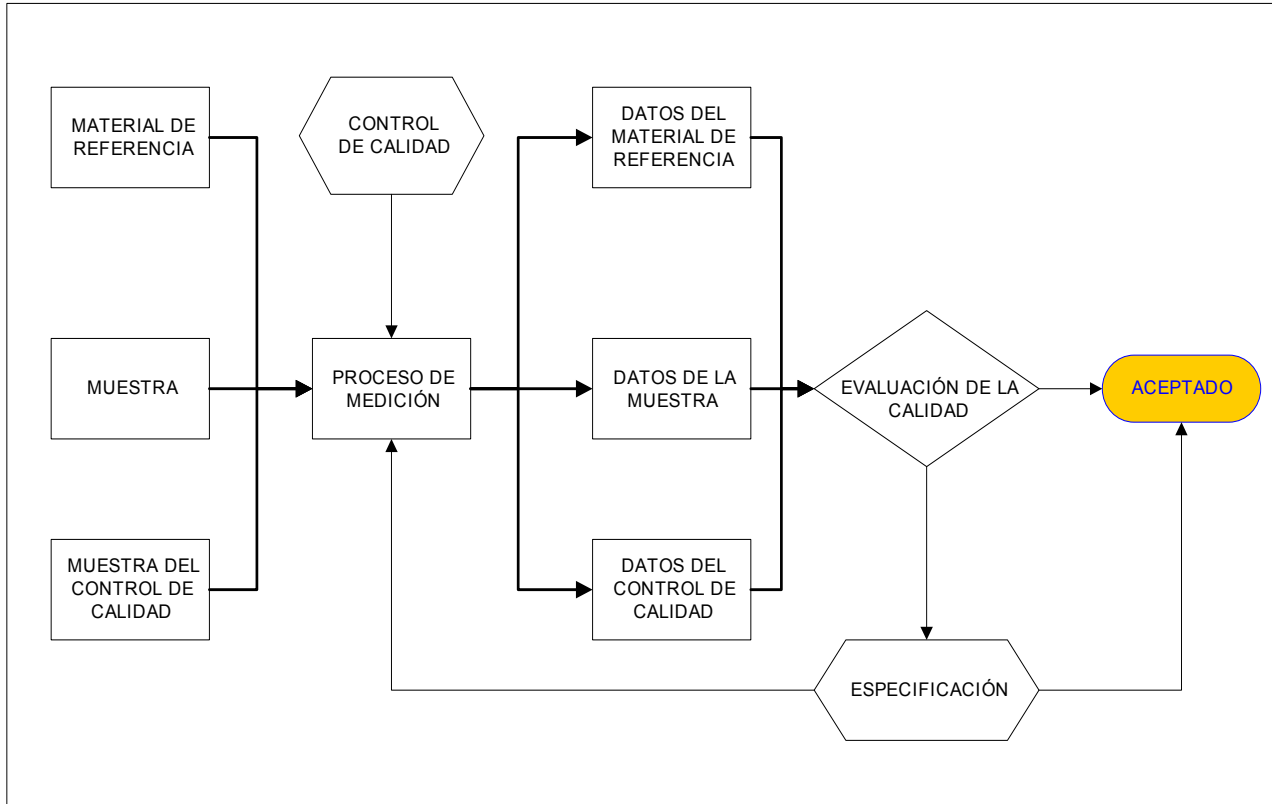
- El equipo debe ser calibrado y mantenido frecuente y adecuadamente.
- El personal que realice el análisis, debe ser calificado.
- Los procedimientos analíticos deben estar de acuerdo a la práctica aceptada.
- Deben de conservarse registros completos y exactos.

En los programas de monitoreo atmosférico, las actividades de laboratorio deben estar enfocadas, principalmente, a los contaminantes asociados con mediciones manuales (p.e. plomo, partículas y COVs). Sin embargo, muchos laboratorios también preparan materiales de referencia, hacen pruebas y certifican equipos y realizan otras actividades necesarias para recolectar y reportar datos de medición. Cada laboratorio debe definir estas actividades críticas y asegurar que existan métodos consistentes para su implementación. (EPA, 1998).

Se recomienda que los laboratorios de transferencia de estándares y calibración tengan sistemas de control de calidad desarrollados de acuerdo a la norma NMX-EC-17025-IMNC 2000.

Para la aceptación de los datos en el proceso de calibración se recomienda un proceso como el que se muestra en la figura 4.4 Flujo de Validación de los Datos.

**Fig. 4.2. Flujo de Validación de Datos**



Fuente © EPA, 1998)

En el caso de materiales y reactivos, los laboratorios deben seguir su procedimiento de compras para asegurar la calidad de los reactivos usados en las rutinas diarias de operación, poniendo especial atención en los estándares de referencia primarios, estándares de trabajo y soluciones estándar. Se debe definir que nivel de pureza se requiere para el agua, las pruebas específicas y frecuencia de verificación para asegurar la calidad del agua usada en los procesos analíticos y para el lavado de vidriería. Se recomienda comprar únicamente vidriería volumétrica del tipo A y realizar las calibraciones y recalibraciones necesarias para obtener resultados confiables.

Se debe contar con procedimientos para la limpieza y el almacenamiento de vidriería considerando los aspectos relativos a requerimientos a vidriería usada en la determinación de trazas. La vidriería astillada o dañada debe ser desechada.

Los laboratorios de transferencia de estándares y calibración deben estar equipados para poder realizar operaciones de prueba, reparaciones, revisión de fallas y poder calibrar todos los analizadores y equipos de soporte necesarios para operar la red de monitoreo atmosférico.

El laboratorio debe estar diseñado de manera tal que cuente con sitios destinados para almacenar los diversos equipos, los filtros de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, los equipos de soporte de verificación y el taller. Se debe prever la disponibilidad de espacio por separado para refacciones y analizadores extras. El sistema de toma de muestra (*manifold*) o la toma de muestra debe estar instalada atrás del banco de instrumentos. Es recomendable instalar un tubo de toma de muestras a través del techo del laboratorio para poder tomar aire del exterior para poder probar los analizadores. Cualquier gas de calibración excedente se debe conducir hacia la atmósfera exterior. El montaje de los instrumentos y analizadores de prueba debe ser realizado como sería en una estación de monitoreo. Se deben correr pruebas de funcionamiento por varios días para observar si existen problemas en el equipo o del registro de datos. Si se cuenta con un anaquel (*rack*) que consta de un sistema de obtención de datos y un calibrador, se pueden realizar calibraciones automáticas nocturnas para ver como reacciona el analizador a concentraciones de gas conocidas. Por ejemplo, el banco y anaquel de recertificación de ozono deben estar fijo al banco de trabajo. En el anaquel debe estar el estándar primario de ozono y los estándares de transferencia de ozono que son verificados para recertificación. El "Aire cero" debe estar fijado al anaquel para la calibración y las pruebas de analizadores de ozono y estándares de transferencia.

## **Calibración de Equipos e Instrumentos**

Dentro del proceso de monitoreo atmosférico, un parámetro importante de control de la calidad es la verificación de calibración de los equipos para garantizar la capacidad de los instrumentos de medición para alcanzar los parámetros normados o los resultados planificados.

En el proceso de obtención de datos de monitoreo atmosférico, lo anterior significa, por ejemplo:

- La verificación de que las condiciones establecidas para las estaciones de monitoreo se cumplan, (electricidad, control de la temperatura, control de la humedad, líneas de transmisión de datos y otras).
- La calibración de los equipos de medición esté actualizada y sea trazable.
- Los estándares de gases y de reactivos sean vigentes.
- La validación de los datos genere datos confiables.

Los equipos de medición deben calibrarse o verificarse a intervalos definidos, antes de su aplicación y deben ajustarse o reajustarse según sea necesario, conforme al procedimiento respectivo.

La frecuencia de calibración depende del equipo y/o método usado para la determinación de los diversos contaminantes. Listas de verificación respectivas deben ser mantenidas en todo momento para poder evidenciar el estado actual de los equipos. Los equipos deben identificarse para poder determinar el estado de calibración.

La calibración o verificación debe realizarse comparando contra patrones de medición trazables a patrones de medición nacionales o internacionales; en caso de que no existan tales patrones, deben indicarse y registrarse las bases utilizadas para la calibración o la verificación.

Los equipos de medición, de control y chequeo deben protegerse contra ajustes que pudieran invalidar el resultado de los monitoreos y mediciones y protegerse contra daños y deterioros durante la manipulación, el mantenimiento y el almacenamiento.

### **Procedimientos analíticos**

Para el desarrollo correcto y confiable de los procesos realizados en los laboratorios analíticos, se debe considerar:

- el factor humano,
- la instalación y condiciones ambientales,
- los métodos de ensayo, calibración y validación de métodos,
- el equipo,
- la trazabilidad de la medición,
- el muestreo,
- el manejo de los elementos de ensayo y calibración.

Estos factores deben ser considerados en la incertidumbre total de la medición. Por otra parte, de ellos se derivan oportunidades de mejora en el desarrollo de los métodos y procedimientos de ensayo u calibración, la capacitación, calificación del personal y en la selección del equipo usado.

Los requisitos técnicos en relación a los análisis se establecen en las normas de referencia mexicanas respectivas y/o en los métodos de referencia de la EPA.

#### **4.3.3. Revisión, verificación, validación y reconciliación de los datos con los objetivos de calidad**

La revisión, verificación y validación de datos son técnicas usadas para aceptar, rechazar o calificar los datos de una manera objetiva, consistente o sistemática.

La *revisión* de datos consiste en una primera evaluación de estos de forma sencilla, aplicando criterios como por ejemplo si existe un dato o no existe.

La *verificación* se puede definir como la confirmación a través de una evaluación y la realización de pruebas objetivas para demostrar que los **requerimientos específicos** se cumplen, por ejemplo, verificando que se hayan aplicado adecuadamente las técnicas de muestreo y de análisis.



La *validación* puede ser definida como la confirmación a través de una evaluación y el suministro de pruebas objetivas de los **requerimientos especiales para un uso específico** se están cumpliendo, por ejemplo confirmando que los datos obtenidos con ciertas técnicas sirven para evaluar la calidad del aire en cierta área delimitada o sirven para determinar tendencias de la calidad del aire en cierta cuenca atmosférica.

Es importante especificar los criterios de evaluación para determinar el grado en que cada tipo de datos cumple las especificaciones de calidad descritas en el programa de control de calidad de un sistema de monitoreo atmosférico. En general se toman en cuenta para la validación completa métodos cuantitativos, como son el rango de aplicación o de medición, la selectividad hacia los contaminantes a medir, la función de calibración, la precisión del método, la exactitud, los límites de decisión para indicar si un valor es válido, el límite de detección, el sesgo, la influencia de factores externos y la inseguridad en la medición.

Los procedimientos, el personal y frecuencia de las valoraciones deben estar incluidos en el programa de control de calidad de los sistemas de monitoreo atmosférico ( ver inciso sobre la implementación de un sistema de gestión de la calidad). Los reportes emitidos sobre la calidad del aire deben considerar únicamente datos validados.

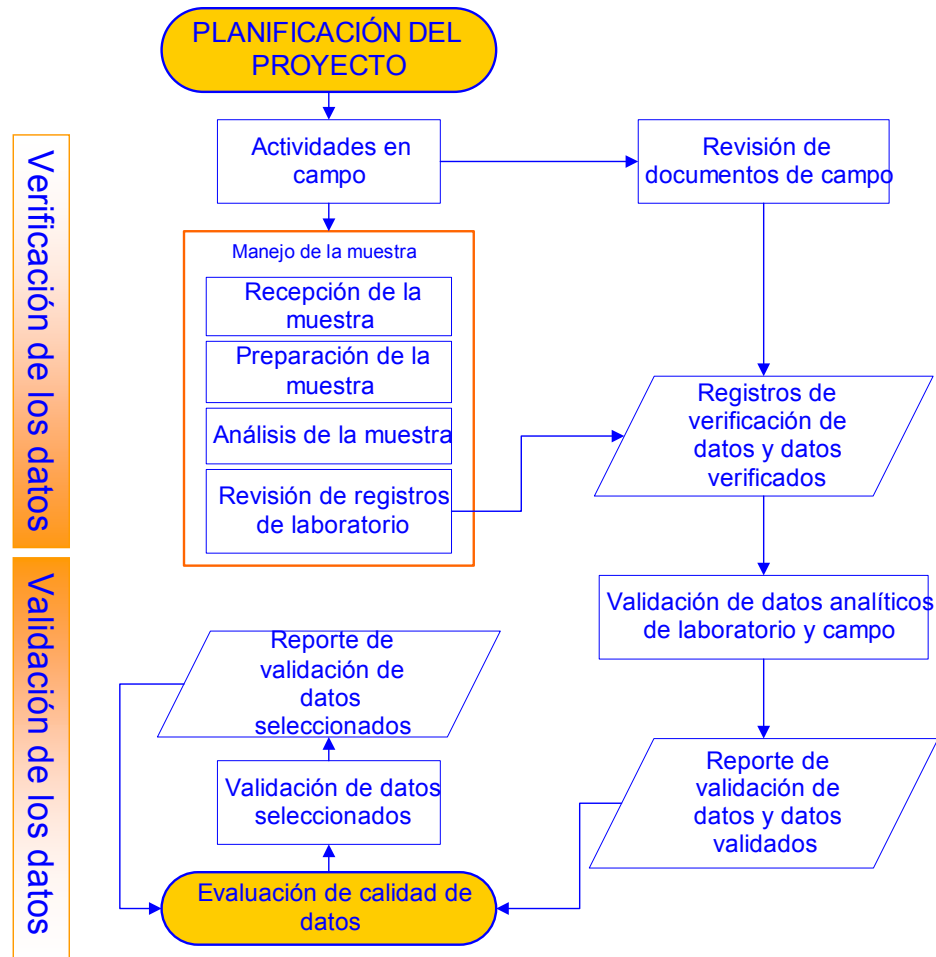
El diseño del programa de muestreo, los procedimientos de recolección de muestra, el manejo de las muestras, los procedimientos analíticos, el control de calidad, las calibraciones, la reducción de datos y su procesamiento se deben de considerar en el proceso de revisión, verificación y validación de datos.

En el proceso de llegar a valores validados se puede hablar de varias fases de evaluación:

1. La revisión de una selección adecuada de equipos, de un diseño adecuado del muestreo para lograr los objetivos, de una calibración correcta de los equipos de medición
2. la revisión inicial de datos
3. la verificación de los datos
4. la validación de los datos

La figura 4.4 ilustra en qué paso o etapa del proceso se aplican las diversas acciones de verificación y de validación.

**Fig. 4.3 Verificación y validación de datos en un ciclo de proyecto**



Verificación y evaluación de datos

Traducida de: (EPA. 2002)

De la selección de equipos, del diseño adecuado del muestreo para lograr los objetivos ya se tocó en otros capítulos de este manual, así como también en los documentos 1 y 2 de esta serie.

### Métodos de revisión de datos

El flujo de datos desde las operaciones de datos ambientales en campo hasta su almacenamiento en la base de datos, requiere de diversos pasos y bien diferenciados, entre otros además de:

- La selección inicial de equipo físico y software para la adquisición, almacenamiento, recuperación y transmisión de los datos.
- La organización y el control del flujo de datos del sitio de muestreo al laboratorio analítico.

- La adquisición de los datos.
- La validación de los datos.
- El manejo de los datos.
- El análisis de los datos.
- El almacenamiento sistemático de los datos.
- La entrega de los datos a la base de datos central del SINAICA.

Tanto el manejo manual de los datos; así como el computacional, requieren de evaluaciones individuales de todas las tablas y cálculos de datos existentes, por ejemplo en forma de bitácoras, con la finalidad de verificar la corrección de éstos por existir la posibilidad de error en el manejo. En un primer nivel de evaluación se realiza una inspección manual a los datos. El propósito de una inspección manual es descubrir valores extremos ya sean altos o bajos que pueden indicar un error grande en el sistema de muestreo y captura de datos.

Para reconocer que la concentración reportada de un contaminante en particular es extremadamente alta o baja, se recomienda que la persona a cargo tenga conocimientos suficientes sobre el comportamiento cíclico de los contaminantes más importantes y de las condiciones de calidad del aire usuales en el lugar de muestreo. Los valores de datos considerados cuestionables, deben ser tomados para su verificación. Esta revisión de datos detecta errores cuando haya valores extremos pero no en el caso de errores relacionados a valores intermedios, que también pueden tener un efecto considerable.

La revisión manual de tablas y cálculos de datos también permite la detección de un deslizamiento incorrecto de la línea base del cero de un equipo de medición continua. La migración o el deslizamiento del cero puede ser demostrada si la concentración mínima diaria tiende a aumentar o disminuir en comparación con la concentración usualmente observada durante un período de varios días. Por ejemplo, en la mayoría de las estaciones de muestreo muy temprano (de las 3: 00 a.m. a las 4: 00 a.m.) las concentraciones de monóxido de carbono tienden a llegar a un mínimo (por ej. 2 a 4 ppm). Si la concentración mínima es significativamente diferente de esto, se puede sospechar un deslizamiento del cero. El deslizamiento del cero se podría confirmar por la revisión del registro gráfico original de datos de un periodo de varios días.

En un sistema de procesamiento de datos automatizado, se pueden incluir fácilmente procedimientos para la revisión de datos en el software básico. La computadora puede ser programada para revisar los valores de los datos y detectar aquellos que caen fuera de rango del contaminante.

Estos chequeos pueden ser programados en detalle para registrar la hora exacta en el día, el día de la semana y otras condiciones cíclicas.

Los datos dudosos deben ser abanderados o marcados en bitácora para señalar un posible error. Otros tipos de revisión de datos pueden consistir de evaluaciones preliminares de un conjunto de datos, calculando algunos percentiles estadísticos básicos y revisando los datos mediante gráficas.

En el caso de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) del Sistema de Monitoreo Atmosférico del Distrito Federal, los procesos de revisión se realizan cada hora de manera automatizada. Como un ejemplo del uso de banderas en el siguiente tabla 4.2 se muestran las banderas más utilizadas por esta red de monitoreo atmosférico.

**Tabla 4.2. Banderas asignadas por el Sistema Central de Procesamiento a los datos horarios obtenidos por el Sistema de Monitoreo Atmosférico (Ciudad de México).**

BANDERA	SIGNIFICADO
X	Nulo
M	Mantenimiento
O	Observación *
T	Problemas de transmisión
P	Incomunicado
N	Negativos
A	Transmisión y Negativos
Sin bandera o S	Dato correcto del sistema principal

\* Los datos marcados para observación se someten al proceso de verificación.

*Fuente: SIMAT, (consulta directa,2004)*

Como criterios para aceptar un dato como correcto se consideran:

El criterio de límite de detección se aplica cuando el límite de detección es el valor mínimo medido de un contaminante que se puede diferenciar con una seguridad del 95% de cero. Obviamente estos límites de detección dependen de los métodos y equipos usados para la medición de los contaminantes y son indicados en la descripción del método o en el manual del fabricante de los equipos. El sistema automático abandera valores que son inferiores a los límites de detección "X" como nulos.

En el caso de la medición de NO<sub>2</sub> se considera la diferencia del valor indicado para NO y NO<sub>x</sub>. El límite de detección para NO<sub>2</sub> consta de la suma de los límites de detección de NO y NO<sub>x</sub>. En el caso de que la diferencia entre la medición de NO y NO<sub>x</sub> sea mayor a 0.006 ppm el sistema automáticamente abandera el valor "nulo" a los valores de NO<sub>x</sub>. Los valores se mandan a observación en las horas subsecuentes, o sea al proceso de verificación.

En el caso de que existe inestabilidad en la operación del equipo automático TEOM de PM<sub>10</sub>, ocasionado por vibraciones (p.e. por fuertes vientos sobre el cabezal) y algunas otras causas, que pueden ocasionar registros de valores negativos menores al límite de detección. El sistema de revisión de datos automático abandera estos valores como "negativos" y estos valores quedan como nulos.

En el caso de equipos meteorológicos para medir velocidad del viento, dirección del viento e humedad relativa, se abanderan los valores negativos o valores constantes y se toman como "nulos".

En el caso de valores de medición de la radiación UVA y UVB entre las 21:00 y las 6:00 horas, esta deber ser igual a cero, de lo contrario estos valores serán abanderados y tomados como “nulos” indicando su correspondiente valor de temperatura.

### *Cortes de energía*

Estos cortes son detectados por el sistema de verificación de datos automatizado cuando los valores registrados por los analizadores automáticos de SO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> registran valores negativos durante algunos minutos.

### *Temperatura interna y temperatura controlada de funcionamiento:*

Para asegurar un funcionamiento correcto de los equipos electrónicos, la temperatura interna de las estaciones de monitoreo atmosférico debe estar entre 14°C y 24°C. Por lo cuál se toma en cuenta este criterio en la fase de revisión de datos y en la fase de verificación de datos, principalmente en lo que se refiere a los valores de SO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> medidos con equipos automáticos.

En el caso de sensores que miden la radiación UVA y UVB, la temperatura de ellos debe estar entre 24 y 26°C para garantizar un óptimo funcionamiento, en caso contrario, el sistema automáticamente abandera los valores como “nulos”.

## **Métodos de verificación de datos**

La verificación de datos se define como la confirmación por un examen y por el suministro de evidencias objetivas que demuestren que los requisitos específicos se están cumpliendo. Estos requisitos relacionados a cada operación de datos deben estar incluidos en los programas y sistemas de control de calidad de los sistemas de monitoreo atmosférico. El proceso de verificación de datos involucra la auditoría técnica, el análisis y la aprobación de los datos de campo o de las muestras. Las auditorías de sistemas técnicos pueden ser internas o externas y son realizadas frecuentemente por técnicos de campo y de laboratorio.

Preguntas guías para el proceso de verificación:

- ¿Se realizaron las operaciones de datos ambientales de acuerdo a los procedimientos de operación estándar?
- ¿Las operaciones de datos ambientales fueron llevadas a cabo en el tiempo correcto y la fecha originalmente especificada? ( Los mecanismos de cronometraje de monitor deben haber funcionado correctamente para que las muestras se hayan tomado dentro del periodo especificado.)
- ¿El muestreador o el monitor funcionó correctamente? (La verificación individual de fuga, verificación del flujo, las influencias meteorológicas, y otras evaluaciones, auditorías y la verificación del desempeño deben haberse realizado y estar documentados.)

- ¿La muestra ambiental pasó una revisión y evaluación visual inicial? (Muchas muestras ambientales pueden ser abanderadas durante la revisión visual inicial por ejemplo con una “O” que significa que se deben seguir verificando procesos y datos en conexión con este dato.)
- ¿Se realizaron los procesos relacionados con los datos ambientales requeridos para cumplir con los objetivos de calidad de datos diseñados para los procesos relacionados a datos específicos? ( Esto se refiere por ejemplo a las actividades para asegurar que se puedan proporcionar datos confiables para un estudio específico de investigación) y
- ¿Los procesos fueron llevados a cabo conforme a lo especificado? (Los objetivos para los procesos relacionados con datos ambientales deben ser claros y entendidos por todos aquellos involucrados con la recolección de datos.

Registros que pueden apoyar la verificación de datos que requieren un análisis en el laboratorio se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla. 4.3 Registros comúnmente usados para la verificación de los datos**

Operación	Registros	Fuente de los registros
Muestreo	Bitácoras de los registros diarios de campo en las estaciones de monitoreo o en la oficina del sistema de monitoreo atmosférico, bitácoras de las muestras que se envían al laboratorio	Plan de calidad del proyecto, procedimientos e instructivos de trabajo
Recepción de las muestras	Registros electrónicos de las estaciones automáticas, registros de recepción del laboratorio	Plan de calidad del proyecto, procedimiento relativo a la transmisión y recepción de datos, procedimientos de recepción de muestras del laboratorio
Preparación de las muestras	Servicios analíticos requeridos, formatos de recepción del laboratorio y otros formatos del laboratorio relacionados al manejo de la muestra, certificados del productor de los estándares, gases y reactivos	Plan de calidad del proyecto, métodos de referencia, procedimiento del laboratorio de preparación de la muestra y otros
Análisis de la muestra	Servicios analíticos requeridos, formatos de recepción del laboratorio y otros formatos del laboratorio relacionados al manejo de la muestra, certificados del productor de los estándares, gases y reactivos, hoja de cálculos, registros de los datos crudos, resultados de control de calidad	Plan de calidad del proyecto, métodos de referencia, procedimientos del laboratorio, instructivos de trabajo, formatos
Revisión de registros	Checklist usadas en el laboratorio y/o en las estaciones	Plan de calidad del proyecto, procedimientos al respecto del método de análisis,

## **Métodos de validación de datos**

La validación de datos es un proceso rutinario diseñado para asegurar que los valores reportados satisfagan las metas de calidad para los procesos de generación de datos ambientales. La validación de datos es definida como examen y suministro de evidencia objetiva de que los requisitos para un uso específico se cumplan. (EPA, 1998).

El propósito de la validación de datos es detectar y luego verificar cualquier valor que no pueda representar las condiciones de calidad del aire reales en la estación de muestreo. Los procedimientos de validación de datos son manejados totalmente por separado de los procedimientos de la recolección inicial de datos. Se debe usar un enfoque progresivo y sistemático para la validación de datos para asegurar y evaluar la calidad de los datos. (EPA, 1998).

Por medio de cálculos computacionales se puede realizar rápidamente una determinación de la validez de datos que no son necesariamente altos o bajos. Los procedimientos de validación se recomiendan como procedimientos de operación estándar. Una manera de hacer esto es revisar la diferencia entre valores de datos sucesivos de concentraciones de un contaminante, p.ej. en un periodo de reporte de 5 minutos o hasta una hora en el cual no se esperan cambios muy rápidos. Si la diferencia entre dos valores sucesivos excede un valor predeterminado, se puede marcar la tabla de valores con un símbolo apropiado, es decir utilizar banderas (EPA, 1998).

Los datos de control de calidad pueden apoyar los procedimientos de validación de datos. Si los resultados de la evaluación de datos demuestran un problema evidentemente serio de respuesta con el analizador, la organización responsable de la operación de la red de monitoreo debe examinar toda la información de control de calidad pertinente para determinar si algún dato ambiental, así como también algún dato de valoración asociado, debe ser invalidado. Si las lecturas de la evaluación de la precisión, del sesgo o de la exactitud son obtenidos durante un periodo para el cuál las lecturas de datos ambientales son determinadas como inválidas en su momento de levantamiento de datos o justo después del registro, por razones justificadas, se requiere también invalidar las lecturas de los datos de la precisión, del sesgo y de la exactitud correspondientes. Cualquier cálculo de calidad de datos que se haya hecho usando las lecturas invalidadas se deben repetir. También se deben reprogramar los chequeos de la precisión, del sesgo o de la exactitud, preferentemente en el mismo trimestre calendario. La base o la justificación para todas las invalidaciones de datos debe ser documentada y mantenida permanentemente. (EPA, 1998).

Algunos criterios basados en la normatividad, el juicio del operador en la estación y técnico de laboratorio, pueden ser usados para invalidar una muestra o medición. Estos criterios deben ser identificados explícitamente en el Sistema de Gestión de Calidad de las organizaciones. (EPA, 1998).

El abanderamiento o la señalización o calificadores del resultado de evaluación de datos se usa para identificar los problemas potenciales con los datos o una muestra:



- (a) el resultado no causó un resultado numérico,
- (b) se generó un resultado numérico pero que está calificado de alguna manera por relacionarse con el tipo o validez del resultado,
- (c) se produjo un resultado numérico que por razones administrativas no se debe informar fuera de la organización.

Las señalizaciones pueden ser usadas tanto en el campo y en el laboratorio para identificar los datos que pueden ser sospechosos debido a la contaminación, eventos especiales o que rebasan los límites de control de calidad. Las señalizaciones pueden ser usadas para determinar si las muestras individuales, o las muestras de un instrumento particular no son válidas. En todos los casos, la muestra debe ser evaluada con precisión antes de cualquier invalidación. (*EPA, 1998*).

Las señalizaciones pueden ser usadas solas o combinadas para invalidar muestras. Las organizaciones deben revisar las combinaciones de señalización a fondo y determinar si los valores individuales o valores de una estación se deberán invalidar para un período de tiempo específico. El sistema de monitoreo debe guardar un registro de la combinación de banderas/ señalizaciones que resultaron al invalidar una muestra o todo un conjunto de muestras. (*EPA, 1998*).

Se deben implementar procedimientos para revisar si los datos contienen errores o anomalías.

### **Validación de métodos automatizados**

Los resultados de las mediciones atmosféricas se deben invalidar cuando los límites para el desvío del cero o del span son excedidos. La invalidación se aplica desde el punto más reciente en que se tenga la seguridad que los datos son válidos, que normalmente es la calibración previa (o la auditoría de exactitud), a menos que se pueda identificar algún otro momento del cual se conoce la causa probable del desvío excesivo (como un corte de electricidad o el funcionamiento defectuoso). También los datos inmediatamente posteriores a un mal funcionamiento del analizador o posteriores a un período sin operación deben ser considerados como inválidos hasta el momento de la siguiente calibración (Nivel 1 que se una calibración simplificada de dos puntos, usada cuando la linealidad del analizador no se requiere revisar o verificar), salvo que las lecturas de un cero desajustado y las lecturas del span en esa calibración puedan respaldar si son válidos los datos. (*EPA, 1998*).

### **Validación de métodos manuales**

Para los métodos manuales, se aplica como una primera depuración de la validación de datos, la aceptación o el rechazo de datos observados basándose en los resultados de chequeos/ revisiones de los procesos seleccionados para monitorear los parámetros críticos. Se tienen que tomar en cuenta para esta depuración, las tres fases más importantes de los métodos manuales: la toma de muestras, el análisis, y la reducción de datos. La reducción de datos se refiere a eliminar de todos los datos reportados y analizados, los que no cumplen con los criterios de calidad. (*EPA, 1998*).

Adicionalmente a esta verificación de los procesos, con la finalidad de validar datos, se deben observar todas las condiciones limitantes, tales como los límites de aprobación y las interferencias que ya se describieron previamente en los métodos de referencia y equivalentes, ya que por sí mismos pueden invalidar los datos. Adicionalmente se recomienda que resultados de auditorías o evaluaciones del desempeño no se usen como criterios únicos para invalidar los datos, ya que esta verificación se emplea para evaluar la calidad de los datos. (EPA, 1998).

### **La reconciliación con los objetivos de calidad de datos (OCD)**

La reconciliación con los objetivos de la calidad de datos (OCD) incluye revisar los datos rutinariamente como también datos de aseguramiento y control de calidad para determinar si se logró cumplir con los objetivos de calidad de datos y si los datos son adecuados para su uso intencionado. Este proceso de evaluación de datos contra los objetivos de calidad de datos se define como Evaluación de Calidad de Datos (ECA). (EPA, 1998).

Dentro del aseguramiento de calidad de datos, en las pruebas estadísticas que son base de la evaluación, se requieren calcular la precisión, el sesgo y la exactitud de los datos. Estos cálculos se muestran con más detalle en el anexo A. Por otra parte se deben tener datos sobre la integridad y la representatividad de los datos. (EPA, 1998).

El proceso de ECA ha sido desarrollado para casos donde se han establecido OCDs formales. Sin embargo, se pueden usar estos procedimientos para los datos que oficialmente no tienen OCDs. (EPA, 1998).

Usando el proceso de ECA, se puede responder a dos preguntas fundamentales:

1. ¿Se puede tomar la decisión con la confianza deseada, teniendo en cuenta la calidad del conjunto de datos?
2. ¿Qué tan bueno se puede esperar que sea el desempeño del diseño de muestreo sobre un amplio rango de posibles resultados?

La ECA es clave en la evaluación del ciclo de vida de datos ya que es muy similar al ciclo de vida del aseguramiento de la calidad de los monitoreos atmosféricos. Como un paso dentro del proceso de evaluación que sigue al paso de la verificación y validación de datos, la ECA determina que tan bien apoyan los datos validados su uso previsto. (EPA, 1998).

Los cinco pasos del proceso de Evaluación de Calidad de Datos (ECA) son los siguientes (EPA, 1998).

### **Paso 1. Revisar los objetivos de calidad de datos y el diseño del muestreo.**

Examinar los resultados de OCD para garantizar que todavía son aplicables. Si los OCDs no han sido desarrollados, especificar OCDs antes de evaluar los datos (por ej. para decisiones ambientales, definir la hipótesis estadística y especificar los límites de tolerancia para errores en la decisión; para problemas de estimación, definir un intervalo de probabilidad de confianza aceptable). Revisar la documentación del diseño del muestreo y recolección de datos para conocer la consistencia con los OCDs.

### **Paso 2. Realizar una revisión de datos preliminares.**

Revisar reportes de aseguramiento de calidad, calcular las estadísticas básicas y generar gráficas de los datos. Usar esta información para conocer la estructura de los datos e identificar patrones, relaciones o anomalías potenciales.

### **Paso 3. Seleccionar la prueba estadística.**

Seleccionar el procedimiento más apropiado para resumir y analizar los datos, basándose en la revisión de los OCDs, del diseño del muestreo y la evaluación de datos preliminares. Identificar las suposiciones fundamentales que apoyan la validez de los procedimientos estadísticos.

### **Paso 4. Verificar las suposiciones de la prueba estadística.**

Evaluar si las suposiciones subyacentes se mantienen o si se pueden aplicar exclusiones, basados en los datos verdaderos y otra información del estudio.

Las **suposiciones** detrás de la prueba estadística incluyen a aquellas asociadas al desarrollo de los OCDs adicionalmente a las suposiciones relacionadas con el sesgo y la precisión y son:

- Los OCDs toman como base la media aritmética anual de los contaminantes atmosféricos de acuerdo a la prueba estadística del paso 3.
- Los errores de medición muestran una distribución normal (supuesto generalmente aplicado en mediciones ambientales).
- Los errores de decisión ocurren si el promedio estimado sobre la base de tres años varía del verdadero valor para los tres años. (Esto realmente no es un supuesto sino una constatación.)
- Los límites de precisión y sesgo se basan en el menor número de valores de muestreo requeridos en un periodo de 3 años.
- Los límites para errores de decisión se definieron en 5%. (Esto no es realmente un supuesto sino una condicionante.)
- La imprecisión de la medición se establece en 10% del coeficiente de variación.
- Existe el cumplimiento con los límites de la exactitud y del sesgo.

La verificación debe basarse cuando no se cuente con datos de un intervalo de tres años, en los datos disponibles.

La estimación para el periodo de tres años se calcula valorando a los componentes trimestrales usando la suposición más adecuada:

- a. La exactitud y el sesgo de los trimestres más recientes son los más representativos para lo que podrían ser los futuros trimestres.
- b. La exactitud y sesgo de todos los trimestres anteriores son igualmente representativos para lo que podrían ser los futuros trimestres.
- c. Algo inusual ocurrió en los más recientes trimestres, por lo cuál serán los trimestres representativos todos los trimestres anteriores menos los más recientes.

### **Paso 5. Obtener conclusiones de los datos.**

Realizar los cálculos requeridos para las pruebas estadísticas y documentar las interferencias en base a los resultados de los cálculos. Si el diseño es usado nuevamente, se debe evaluar el desempeño del diseño de muestreo.

Como indicadores de calidad de datos se usan la exactitud, la precisión, la captura de los datos, la representatividad, la completitud y la comparabilidad.

Todos los sistemas de monitoreo atmosférico deberán reportar trimestralmente y anualmente a la SEMARNAT los datos con la precisión y la exactitud de los muestreos de los parámetros normados. Asimismo, deberán cumplir las siguientes condiciones.

- **Exactitud**

+/- 15% del valor real con excepción de los datos de flujo para  $PM_{10}$ , que deben estar dentro del rango de +/- 10%. Para los analizadores de  $NO_x$ , la eficiencia del convertidor debe ser igual o mayor a 96 %. Los intervalos de confianza del 95% para cada sistema de monitoreo atmosférico deben ser menor del 20%.

“El intervalo de confianza no significa que el 95% de probabilidad que el intervalo contenga el valor real. El intervalo calculado para un conjunto de datos puede contener el valor real, pero también no lo puede contener. Al contrario, el nivel de confianza está asociado con el método de calcular el intervalo. El coeficiente de confianza es simplemente la proporción de muestras de un cierto tamaño que se espera de contener al valor real.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Tomada de: [www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda352.htm](http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda352.htm)

- **Precisión**

La precisión de los datos de calidad del aire se basa en valores obtenidos de chequeos realizados en cinco días de la semana y debe encontrarse dentro del rango de +/- 15% del valor real. Los intervalos de confianza del 95% reportados por los sistemas de monitoreo atmosférico cada tres meses debe ser menor de 20%.

- **La captura de datos o también nombrado integridad de los datos**

Los sistemas de monitoreo atmosférico deben obtener mínimo un 75% de los datos capturados, manteniendo los valores de la precisión y de la exactitud.

Esto se calcula tomando los datos recolectados de un solo contaminante en una estación de muestreo, en un tiempo determinado, entre todos los posibles datos a colectar.

$$\% \text{ de captura} = \frac{\text{Número total de horas posibles} - \text{número de horas perdidas por calibración} - \text{número de horas perdidas por paros}}{\text{Número total de horas posibles}} \times 100$$

La captura de datos de todo un sistema de monitoreo atmosférico de un contaminante específico se calcula:

$$\% \text{ de captura de datos para el sistema de un solo contaminante} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \% \text{ de las capturas de datos de cada una de las estaciones}$$

Donde „n“ es igual al número de estaciones de reporte.

- **Representatividad**

La representatividad es determinada entre otros factores por una correcta ubicación de las estaciones de muestreo, el objetivo del muestreo y del diseño de las redes de monitoreo y se detalla en el documento 1 y 2 de esta serie y de acuerdo a los datos estadísticos mostrados en la tabla 4.4 que muestra la representatividad de los datos de monitoreo atmosférico.

- **Completitud**

Los datos para una estación se consideran completos, si existen datos representativos para las horas requeridas del día, durante los meses requeridos y para el año requerido. El propósito del criterio de completitud para estos datos es determinar el mínimo de datos necesarios para asegurar que el muestreo ocurrió durante los periodos en los cuales se esperan contingencias.

- **Comparabilidad**

Se obtiene la comparabilidad de los datos, usando procedimientos uniformes y los métodos de referencia o equivalentes establecidos por la normatividad correspondiente para cada caso.

**Tabla 4.4 Representatividad de los Datos de Monitoreo Atmosférico**

Periodo de representabilidad estadística	Tiempo de muestreo	Datos Base	Número de periodos representativos requeridos
Anual	Cualquiera		Cuatro trimestres calendario representativos
Trimestral	24 horas	Basado en un muestreo diario	Tres meses representativos
	Menos de 24 horas	Basado en muestreos horarios	1,643 horas o más
		Basado en estadística diaria	69 o más días calendario
Mensual	24 horas	Basado en una sola muestra cada 6 días	4 o más muestras de 24 horas
		Basado en una muestra cada 3 días	8 o más muestras de 24 horas
	Menos de 24 horas	Basado en una estadística diaria	23 o más días calendario
		Basado en muestreo horarios	548 o más horas
		Basado en todas los muestreos de 2 horas	274 o más muestras de dos horas
		Basado en todos los muestreos de 3 horas	183 o más muestras de tres horas
Diario	1 hora		6 o más horas en cada 1/3 del día (empezando de las 0 horas a las 7, de 8 a 15, de 16 a 23), sin perder no más de dos muestras horarias consecutivas
	2 horas	Basado en todos los muestreos de 2 horas	9 o más muestras
	3 horas	Basado en todos los muestreos de 3 horas	6 o más muestras
	24 horas	Basado en todos los muestreos diarios	Entre 22 y 26 horas de muestreo

Fuente: CARB (2003)

**Tabla 4.5. Número de muestras requeridas para asegurar la representabilidad de un periodo de muestreo**

	<b>N</b>	<b>Número de muestras requeridas</b>
Promedio del periodo de N horas	24	18 y más muestras horarias
	8	6 o más muestras horarias
	6	5 o más muestras horarias
	4	3 muestras horarias
	3	3 muestras horarias
	2	2 muestras horarias
	1	30 minutos o más de un muestreo continuo

*Fuente: CARB (2003)*

La tabla 4.6 indica los requerimientos a la precisión y exactitud de acuerdo dependiendo de que si es el instrumento individual o la red de monitoreo de los parámetros normados.

**Tabla 4.6 Requerimientos a la Precisión y Exactitud para los Parámetros Normados**

<b>Muestreador manual</b> <b>NO<sub>2</sub></b> (quimioluminescencia) <b>O<sub>3</sub></b> (fotometría ultravioleta) <b>SO<sub>2</sub></b> (fluorescencia ultravioleta)			
Parámetro	Frecuencia para registrar	Criterio de aceptación	Información
<b>Precisión</b>			
Muestreador manual	½ semana	Ninguno	Concentración = 0.08 – 0.10 ppm
Sistema o red de monitoreo	1/3 meses	En el intervalo de confianza al 95% - +/- 15%	
<b>Exactitud</b>			
Muestreador manual	20% de todos los sitios	Ninguno	4 rangos de concentración
Sistema o red de monitoreo	Trimestralmente ( en un año todos)	En el intervalo de confianza al 95%- +/- 20%	Si falla, se requiere recalibración, fallas frecuentes requieren acciones correctivas
<b>CO</b> (fotometría de infrarojo no dispersiva)			
Parámetro	Frecuencia para registrar	Criterio de aceptación	Información
<b>Precisión</b>			
Muestreador manual	½ semana	Ninguno	Concentración = 8 –10 ppm, agregación de cuartos de valores de precisión medida
Sistema o red de monitoreo	1/3 meses	En el intervalo de confianza al 95%- +/- 15%	
<b>Exactitud</b>			
Muestreador manual	20% de todos los sitios	Ninguno	4 rangos de concentración
Sistema o red de monitoreo	Trimestralmente ( en un año todos)	En el intervalo de confianza al 95% - +/- 20%	Si falla, se requiere recalibración, fallas frecuentes requieren acciones correctivas

*Fuente: EPA (1998).*



<b>Pb ( Espectrometría de adsorción atómica)</b>			
Parámetro	Frecuencia para registrar	Criterio de aceptación	Información
<b>Precisión</b>			
Analizador individual	1/6 días	Ninguno	Los dos valores de plomo
Sistema o red de monitoreo	1/3 meses	En el intervalo de confianza al 95%- +/- 15%	deben ser mayores a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Exactitud</b>			
Analizador individual	20% de todos los sitios	Porcentaje de diferencia +/- 16%	Analizar en tres muestras de auditoría en cada uno de los dos rangos de concentración.
Sistema o red de monitoreo	Trimestralmente ( en un año todos)	En el intervalo de confianza al 95% - +/- 20%	Los muestreos de auditoría deben ser repartidos por el año.

<b>PM<sub>10</sub> ( muestreador dicotómico)</b>			
Parámetro	Frecuencia para registrar	Criterio de aceptación	Información
<b>Precisión</b>			
Analizador individual	1/6 días	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de una conc. de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Los dos valores de PM <sub>10</sub> deben ser mayores a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sistema o red de monitoreo	1/3 meses	7% para una conc. mayor a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el nivel de confianza al 95% - +/- 15%	
<b>Exactitud</b>			
Analizador individual	20% de todos los sitios	ninguno	Los estándares de transferencia deben ser diferentes a los estándares de calibración.
Sistema o red de monitoreo	Trimestralmente ( en un año todos)	En el intervalo de confianza al 95% - +/- 20%	Recalibrar antes de cualquier muestreo adicional. Invalidar datos hasta llegar al último chequeo de flujo aceptado, si difiere por más o igual a 10%.

Fuente: EPA (1998).

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. CARB (2003). *Air Monitoring Quality Assurance*. State of California, Air Resources Board, Monitoring and Laboratory Division: Vol.1, Quality Assurance Plan, October 2003
2. CFR (2004). *Code of Federal Registers Title 40*. Protection of Environment, PART 58-AMBIENT AIR QUALITY SURVEILLANCE.
3. DDF-GCM (2004). *Verificación y Validación de Datos*. Sistema de Monitoreo Atmosférico, Gobierno de la Ciudad de México, 2004.
4. Decanini, Alfredo E. (1997). *Manual ISO-9000*, Ediciones Castillo, tercera edición, 1997.
5. EPA (1998). *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems*. Vol.II: Part 1, Ambient Air Quality Monitoring Program Quality System Development, EPA-454/R-98-004 , Office of Air Quality Planning and Standards, Washington, August 1998.
6. EPA (2002a). *Guidance for Quality Assurance Project Plans*. EPA QA/G-5, Office of Environmental Information, Washington, December 2002.
7. EPA (2002b). *Guidance on Environmental Data Verification and Data Validation*. EPA QA/G-8, Office of Environmental Information, Washington, November 2002.
8. INE-SEMARNAT (2003). *Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico*. CENICA, México, 2003.
9. ISO / IMNC (2001a). *Sistemas de Gestión de la Calidad – Requisitos, ISO 9001:2000*, COPLANT/ISO 9001-2000, NOM-CC-9001-IMNC-2000. Enero 2001.
10. ISO /IMNC (2001b). *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*. ISO /IEC 17025:1999, NMX-EC-17025-IMNC-2000, 2001.
11. ISO/ IMNC (2001). *Sistemas de gestión de la calidad–Fundamentos y vocabulario, ISO9000:2000; COPANT/ISO 9000-2000, NMX-CC-9000-IMNC-2000*. Enero 2001.
12. Ministry for the Environment in New Zealand (2000). *Good-practice guide for Air Quality Monitoring and Data Management*, New Zealand, December 2000.
13. Umweltbundesamt (2004). “QS-Handbuch , Das Qualitätsmanagementsystem im Messnetz” , rev. März 2004.

## Sitios de Internet

1. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda352.htm> Definición del intervalo de confianza.
2. <http://www.umweltbundesamt.de/messeinrichtungen/moimi12.htm>

## ANEXO 1

### HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN DE CALIDAD DE DATOS

Traducida de: CFR Title 40: Protection of Environment, PART 58—AMBIENT AIR QUALITY SURVEILLANCE, 2004

Los sistemas individuales de monitoreo atmosférico deben reportar datos para la precisión, el sesgo y las pruebas de exactitud individuales.

#### A. La precisión para métodos automáticos, excluyendo PM 2.5

La estimación de la precisión para estos métodos se calcula con los resultados de los chequeos de dos semanas de la precisión. Al final de cada trimestre calendario, se calcula un intervalo de probabilidad de la precisión para todos los analizadores de las estaciones de monitoreo en la red y para cada contaminante.

##### A.1 La precisión del analizador individual.

**A.1.1** La diferencia en porcentaje ( $d_i$ ) para cada chequeo de precisión se calcula usando la ecuación 1, donde “ $Y_i$ ” es la concentración indicada por el analizador para la precisión “ $i$ ” y “ $X_i$ ” es la concentración conocida para el chequeo de precisión “ $i$ ” como sigue:

##### Ecuación 1

$$d_i = \frac{Y_i - X_i}{X_i} \times 100$$

Donde  $i$  corre de 1 a  $n$ .

**A.1.2** Se calcula para cada analizador el promedio trimestral ( $d_j$ ) con la ecuación 2, y la desviación estándar ( $S_j$ ) con ecuación 3, donde “ $n$ ” es el número de chequeos de precisión hechos al instrumento durante el trimestre calendario. Por ejemplo, “ $n$ ” debería ser 6 o 7 si los chequeos de precisión se realizaron cada dos semanas durante un trimestre.

Ecuación 2 y 3 son:

##### Ecuación 2

$$d_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$$

### Ecuación 3

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n d_i \right)^2 \right]}$$

j corre de 1 a 4.

### A.2 Precisión para cada sistema o red de monitoreo.

**A.2.1** Para cada contaminante, se calculan el promedio de los promedios (D) y la desviación estándar común ( $S_a$ ) para todos los analizadores auditados de este contaminante durante un trimestre, usando las ecuaciones 4 y 5 o 4a y 5a, donde “k” es el número de analizadores auditados en un sistema de monitoreo atmosférico para un contaminante individual, como sigue:

### Ecuación 4

$$D = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k d_j$$

### Ecuación 4a

$$D = \frac{n_1 d_1 + n_2 d_2 + \dots + n_j d_j + \dots + n_k d_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_j + \dots + n_k}$$

### Ecuación 5

$$S_a = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k S_j^2}$$

**Ecuación 5a**

$$S_a = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2 + \dots + (n_j - 1)S_j^2 + \dots + (n_k - 1)S_k^2}{n_1 + n_2 + \dots + n_j + \dots + n_k - k}}$$

Las ecuaciones 4 y 5 se usan cuando se realiza el mismo número de chequeos de precisión para cada uno de los analizadores. Ecuación 4a y 5a se usan para conseguir un promedio ponderado y una desviación estándar ponderada con diferente número de chequeos de precisión realizados en los analizadores.

**A.2.2** Para cada contaminante se calculan los intervalos de confianza al 95% para la precisión de un sistema de monitoreo atmosférico usando las ecuaciones 6 y 7 como sigue:

**Ecuación 6** Límite del intervalo de confianza superior al 95%  
 $Límite = D + 1.96S_a$

**Ecuación 7** Límite del intervalo de confianza inferior al 95%  
 $Límite = D - 1.96S_a$

## **B Exactitud de los métodos automáticos, excluyendo PM2.5.**

Para cada trimestre calendario de operación de los analizadores, se deben auditar por lo menos 25% de los analizadores de monitoreo SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> o CO, de esta manera una vez al año le toca a cada analizador una auditoría. Si son menos de cuatro analizadores se elige un analizador al azar para la auditoría de seguimiento.

Se estima la exactitud de los métodos automáticos con base en cálculos considerando los resultados de auditorías independientes. Al final de cada trimestre calendario, se calcula para cada contaminante un rango de la probabilidad de exactitud para todos los analizadores de las estaciones de monitoreo auditados en un sistema de monitoreo atmosférico (red). Se calculan por separado los límites del intervalo de confianza para cada nivel de concentración usado en las auditorías.

### **B.1 Exactitud de un analizador individual**

La diferencia en porcentaje ( $d_i$ ) de cada concentración de auditoría se calcula usando la ecuación 1, donde  $Y_i$  es la medición de concentración indicada por el analizador a verificar durante la auditoría y  $X_i$  es la concentración real del gas usado en la verificación de auditoría.

### **B.2 Exactitud de el sistema de monitoreo atmosférico (red).**

**B.2.1** Para cada nivel de concentración de un contaminante en particular, el promedio ( $D$ ) de las diferencias individuales en porcentaje ( $d_i$ ) para todos los  $n$  analizadores auditados durante el trimestre se calcula usando la ecuación 8, como sigue:

#### **Ecuación 8**

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$$

**B.2.2** Para cada nivel de concentración de un contaminante en particular, se calcula la desviación estándar ( $S_a$ ) de todas las diferencias en porcentaje individuales para todos los  $n$  analizadores auditados durante un trimestre usando la ecuación 9, como sigue:

#### **Ecuación 9**

$$S_a = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n d_i \right)^2 \right]}$$

**B.2.3** Para los sistemas de monitoreo atmosférico (redes) que tengan cuatro o menos analizadores para un contaminante particular, se requiere solamente una auditoría por trimestre. Para estas organizaciones se requiere de los resultados de dos auditorías consecutivas para calcular un promedio y una desviación estándar usando las ecuaciones 8

y 9. Por esta razón se deben reportar los límites de probabilidad semestralmente en vez de trimestralmente.

**B.2.4** Para cada contaminante, se calculan los límites del nivel de confianza al 95 % para la exactitud de un sistema de monitoreo atmosférico para cada nivel de concentración de auditoría usando las ecuaciones 6 y 7.

### **C La precisión de métodos manuales excluyendo PM<sub>2.5</sub>.**

Para las redes de métodos manuales, diferentes a PM<sub>2.5</sub> se seleccionan una o más estaciones de monitoreo para un muestreo por duplicado. Se elige, dependiendo de la cantidad de estaciones, el número de estaciones para el muestreo duplicado. Como mínimo se recomienda para la cantidad de 1 a 5 sitios de muestreo una estación para el muestreo duplicado, para 6 a 20 sitios de muestreo dos estaciones, y tres estaciones si son más de 20 sitios de muestreo. Para la determinación de la precisión de PST, PM<sub>10</sub> y Plomo, se recomienda considerar las redes por separado. Las estaciones que muestran los más altos valores, entre el 25% de la media anual en concentración, deben ser elegidas obligatoriamente. Entre los dos analizadores o equipos de muestreo usados para el muestreo duplicado no debe haber una distancia mayor a 4 metros. Los equipos de muestreo de partículas deben estar mínimo 2 metros separados el uno del otro para excluir interferencia en los flujos de aire del muestreo. La calibración, el muestreo y análisis deben ser iguales para los dos equipos de muestreo, así como también para todos los otros analizadores o equipos de muestreo de la red. Uno de los equipos duplicados, se determina como equipo o analizador primario cuyas muestras servirán para el reporte de la calidad del aire en el sitio de la estación. El analizador o equipo de muestreo duplicado debe operar mínimo una vez por semana en paralelo con el equipo primario. Los días de muestreo paralelo se deben repartir equitativamente durante el año, considerando una programación de muestreo de 6 días. Se reportan los resultados de los dos equipos de muestreo. Al final de cada trimestre calendario, se integra para cada método manual de red un intervalo del nivel de confianza de precisión para todos los equipos de muestreo instalados que operan en un sistema de monitoreo atmosférico ( red).

#### **C.1 La precisión del equipo de muestreo individual.**

**C.1.1** A concentraciones bajas, la concordancia entre las mediciones de los dos equipos de muestreo instalados, expresada en diferencias en porcentaje, puede ser relativamente baja. Por esta razón, se seleccionan los equipos de muestreo duplicados para usarlos en los cálculos de precisión siempre que las dos mediciones son superiores a los límites siguientes:

(a) PST: 20 µg/m<sup>3</sup>.

(b) SO<sub>2</sub>: 45 µg/m<sup>3</sup>.

(c) NO<sub>2</sub>: 30 µg/m<sup>3</sup>.



(d) Pb: 0.15 µg/m<sup>3</sup>.

(e) PM<sub>10</sub>: 20 µg/m<sup>3</sup>.

**C.1.2** Para cada par de mediciones seleccionados, se calcula la diferencia en porcentaje ( $d_i$ ) usando la ecuación 10 como sigue:

**Ecuación 10**

$$d_i = \frac{Y_i - X_i}{X_i + X_i} \times 100$$

Donde “ $Y_i$ ” es la medición de la concentración del contaminante obtenida por un equipo de muestreo duplicado y “ $X_i$ ” es la medición de la concentración obtenida por el equipo de muestreo o analizador primario designado para reportar la calidad del aire del sitio.

**C.1.3.** Para cada sitio, el promedio de diferencia en porcentajes por trimestre ( $d_j$ ) se calcula con base en la ecuación 2 y la desviación estándar se calcula con la ecuación 3, donde “ $n$ ” es el número de pares de mediciones seleccionados en el sitio.

## **C.2 Precisión de el sistema de monitoreo atmosférico ( red).**

**C.2.1** Para cada contaminante, se calcula el promedio de diferencia en porcentaje ( $D$ ) y la desviación estándar común ( $S_a$ ) usando las ecuaciones 4 y 5. Se usan las ecuaciones 4a y 5<sup>a</sup>, si se cuenta con diferente número de mediciones duplicadas en los sitios instalados. Para estos cálculos, la “ $k$ ” de las ecuaciones 4, 4a, 5 y 5a presentará el número de sitios instalados.

**C.2.2** El intervalo de confianza al 95% para la precisión integrada de un sistema de monitoreo atmosférico se calcula usando ecuación 11 y 12, como sigue:

**Ecuación 11** Límite del intervalo de confianza superior al 95%

$$\text{Límite} = D + 1.96S_a$$

**Ecuación 12** Límite del intervalo de confianza inferior al 95%

$$\text{Límite} = D - 1.96S_a$$

## **D La exactitud de métodos manuales con excepción de PM<sub>2.5</sub>**

Se realiza la estimación de la exactitud de métodos manuales en base a los cálculos de los resultados de auditorías independientes. Al final de cada trimestre calendario, se calcula un intervalo de confianza de la exactitud que es integrada para cada una de las redes de métodos manuales operada por un sistema de monitoreo atmosférico.

## **D.1 Muestreadores de partículas diferentes a PM<sub>2.5</sub> (incluyendo el método de referencia para muestreadores de Pb).**

### **D.1.1 Exactitud para un equipo de muestreo o analizador individual.**

Para la auditoría del flujo, se calcula la diferencia en porcentaje ( $d_i$ ) para cada auditoría usando la ecuación 1, donde  $X_i$  representa la tasa de flujo conocida y  $Y_i$  representa la tasa del flujo indicada por el analizador.

### **D.1.2 Exactitud para un sistema de monitoreo atmosférico.**

Se calculan para cada tipo de materia particulada medido (p.ej., PST/Pb), el promedio (D) de las diferencias de porcentajes individuales para todos los muestreadores de partículas similares auditados durante el trimestre calendario usando la ecuación 8. La desviación estándar ( $S_a$ ) de las diferencias en porcentajes de todos los muestreadores de partículas similares auditados durante el trimestre calendario se calculan usando la ecuación 9. Los límites del intervalo de confianza de 95% para la exactitud integrada del sistema de monitoreo atmosférico se calculan usando las ecuaciones 6 y 7. Para los sistemas de monitoreo atmosférico que cuentan con 4 o menos muestreadores de partículas de un tipo, se requiere solamente una auditoría para cada trimestre, y se requiere tomar en cuenta los resultados de auditoría de dos trimestres seguidos para calcular un promedio y una desviación estándar. En este caso, los límites del intervalo de confianza se deberán reportar semestralmente.

## **D.2 Métodos analíticos para SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y Pb.**

### **D.2.1. La exactitud de un solo día de análisis.**

Para cada una de las auditorías de los métodos analíticos para SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, y Pb, se calcula la diferencia en porcentajes ( $d_j$ ) en cada nivel de concentración usando la ecuación 1, donde  $X_j$  representa el valor conocido de la muestra de auditoría y  $Y_j$  representa el valor de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, o Pb indicado por el método analítico.

### **D.2.2. La exactitud para el sistema de monitoreo atmosférico (red).**

Para cada método analítico, se calcula el promedio (D) de las diferencias individuales en porcentaje en cada concentración usando la ecuación 8. La desviación estándar ( $S_a$ ) de las diferencias en porcentaje en cada nivel de concentración de auditoría durante un trimestre calendario se calcula usando la ecuación 9. Los límites del intervalo de confianza al 95% para la exactitud se calculan usando las ecuaciones 6 y 7.

## **E Precisión, exactitud y sesgo para métodos automáticos y manuales de PM<sub>2.5</sub>**

Los resultados de muestreadores duplicados son usados para evaluar la precisión del sistema de medición. Un par de muestreadores instalados consiste en un muestreador primario (usado para monitoreo de rutina) y un muestreador duplicado (usado para el chequeo de control de calidad). Estimaciones de la precisión trimestrales serán calculados por la SEMARNAT para cada par de muestreadores instalados y para cada método designado aplicado por cada sistema de monitoreo atmosférico. Estimaciones de precisión anual se calculan por la SEMARNAT para cada muestreador primario, para cada método de referencia y método equivalente usado por cada sistema de monitoreo atmosférico y a nivel nacional para cada método de referencia y método equivalente designado.

Los sistemas de monitoreo atmosférico deben reportar los datos que permitan la evaluación de los siguientes chequeos de control de calidad individuales y auditorías:

- (1) Auditoría de la tasa de flujo.
- (2) Muestreadores instalados, donde el muestreador duplicado no sea un equipo del método de referencia.
- (3) Muestreadores instalados, donde el muestreador duplicado sea un equipo del método de referencia.
- (4) Auditorías del método de referencia.

La SEMARNAT usará los resultados reportados para derivar la estimación de la precisión, exactitud y sesgo de acuerdo a los siguientes procedimientos:

### **E.1 Auditorías de la tasa de flujo**

El sistema de monitoreo atmosférico deberá reportar la tasa de flujo de auditoría estándar así como también la tasa de flujo indicada por el instrumento de muestreo. Estos resultados serán usados por la SEMARNAT para calcular la exactitud de la tasa de flujo y el estimado del sesgo.

#### **E.1.1 La exactitud para un muestreador individual – chequeo individual(trimestral) sesgo ( $d_i$ ).**

La diferencia en porcentaje ( $d_i$ ) para una tasa de flujo de auditoría individual " $d_i$ " se calcula usando la ecuación 13, donde " $X_i$ " representa la tasa de flujo estándar de la auditoría (conocida) y " $Y_i$ " representa la tasa de flujo indicada como sigue:

#### **Ecuación 13**

$$d_i = \frac{Y_i - X_i}{X_i} \times 100$$

#### **E.1.2 Sesgo para un muestreador individual – base anual ( $D_j$ ).**

Para un muestreador de partículas individual “j”, se calcula el promedio ( $D_j$ ) de las diferencias individuales en porcentaje ( $d_i$ ) durante un año calendario usando la ecuación 14, donde “ $n_j$ ” es el número de las diferencias individuales en porcentaje, producidas para un muestreador “j”, durante un año calendario como sigue:

#### Ecuación 14

$$D_j = \frac{1}{n_j} \times \sum_{i=1}^{n_j} d_i$$

**E.1.3** Sesgo para cada método de referencia NOM y método equivalente designado usado por cada sistema de monitoreo atmosférico – base trimestral ( $D_{k,q}$ ).

Para el método designado “k” usado por el sistema de monitoreo atmosférico, las diferencias en porcentaje ( $d_i$ ) trimestrales de un muestreador individual “q” ( $d_i$ ) se promedian usando la ecuación 15, donde “ $n_{k,q}$ ” es el número de diferencias en porcentajes individuales producidas por los métodos designados “k” en el trimestre “q”, como sigue:

#### Ecuación 15

$$D_{k,q} = \frac{1}{n_{k,q}} \times \sum_{i=1}^{n_{k,q}} d_i$$

**E.1.4** Sesgo para cada organización de reporte – base trimestral ( $D_q$ ).

Para cada organización de reporte, las diferencias en porcentajes individuales del trimestre “q” ( $d_i$ ) son promediadas usando ecuación 16, para producir un solo promedio para cada sistema de monitoreo atmosférico, donde “ $n_q$ ” es el número total de las diferencias en porcentaje de un muestreador individual para todos los métodos de referencia (NOM) o métodos equivalentes de los muestreadores en los trimestres “q”, como sigue:

#### Ecuación 16

$$D_q = \frac{1}{n_q} \times \sum_{i=1}^{n_q} d_i$$

**E.1.5** Sesgo para cada método designado de referencia (NOM) y equivalentes usado por cada sistema de monitoreo atmosférico – base anual ( $D_k$ ).

Para la designación del método “k” usado por el sistema de monitoreo atmosférico, se obtiene la diferencia promedio de porcentaje anual, “ $D_k$ ”, usando la ecuación 17, donde “ $D_{k,q}$ ” es el promedio reportado por el método designado “k” durante el trimestre “q” y “ $n_{k,q}$ ” es el

número de los monitores del método designado “k” que se usaron durante el trimestre “q” como sigue:

**Ecuación 17**

$$D_k = \frac{\sum_{q=1}^4 (n_{k,q} D_{k,q})}{\sum_{q=1}^4 n_{k,q}}$$

**E.1.6 Sesgo para cada sistema de monitoreo atmosférico – base anual (D).**

Para cada organización de reporte, la diferencia en porcentaje anual “D”, se deriva usando la ecuación 18, donde “D<sub>q</sub>” es el promedio reportado por el sistema de monitoreo atmosférico durante el trimestre “q” y “n<sub>q</sub>” es el número total de monitores que se usaron durante el trimestre “q”. Solo se genera un promedio anual para cada sistema de monitoreo atmosférico.

**Ecuación 18**

$$D = \frac{\sum_{q=1}^4 (n_q D_q)}{\sum_{q=1}^4 n_q}$$

**E.2 Equipos de muestreo instalados**

Si el equipo de muestreo duplicado no es un equipo del método de referencia.

La concordancia entre las mediciones de los equipos de muestreo instalados puede resultar relativamente baja a bajas concentraciones. Por esta razón, se seleccionan pares de medición, para usarlos en los cálculos de precisión, solamente si las dos mediciones son superiores al siguiente límite:

$$PM_{2.5}: 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

**E.2.1 La diferencia en porcentaje par cada chequeo (d<sub>i</sub>).**

La diferencia en porcentaje, “d<sub>i</sub>”, para cada chequeo será calculado por la SEMARNAT usando ecuación 19, donde “X<sub>i</sub>” representa la concentración generada por el equipo de muestreo primario y “Y<sub>i</sub>” representa la concentración reportada por el equipo de muestreo duplicado , como sigue

### Ecuación 19

$$d_i = \frac{Y_i - X_i}{(Y_i + X_i)/2} \times 100$$

#### E.2.2 Coeficiente de variación (CV) para un solo chequeo (CV<sub>i</sub>).

El coeficiente de variación, “CV<sub>i</sub>”, para cada chequeo será calculado por la SEMARNAT dividiendo el valor absoluto de la diferencia en porcentaje, “d<sub>i</sub>”, por la raíz cuadrada de dos, como muestra la ecuación 20:

### Ecuación 20

$$CV_i = \frac{|d_i|}{\sqrt{2}}$$

#### E.2.3 Precisión de un equipo de muestreo individual - base trimestral (CV<sub>j,q</sub>).

- (a) Para un equipo de muestreo de partículas”j”, se calculan los coeficientes individuales de variación (CV<sub>j,q</sub>) durante el trimestre usando la ecuación 21, donde “n<sub>j,q</sub>” es el número de pares de medición de los muestreadores instalados durante un trimestre:

### Ecuación 21

$$CV_{j,q} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_i} CV_i^2}{n_{j,q}}}$$

- (b) Los límites del intervalo de confianza al 90% para el equipo de muestreo individual CV serán calculados por la SEMARNAT usando las ecuaciones 22 y 23, donde “Pχ<sup>2</sup><sub>0.05 gl</sub>” y “Pχ<sup>2</sup><sub>0.95 gl</sub>” son los cuantiles 0.05 y 0.95 de la distribución chi cuadrada (Pχ<sup>2</sup>) con “n<sub>j,q</sub>” grados de libertad :

#### Ecuación 22 Límite inferior del intervalo de confianza

$$\text{Límite inferior} = CV_{j,q} \left( \frac{n_{j,q}}{X^2_{0.95, n_{j,q}}} \right)^{1/2}$$

y gl significando grado de libertad

### Ecuación 23 Límite superior del intervalo de confianza

$$\text{Límite superior} = CV_{j,q} \left( \frac{n_{j,q}}{X^2_{0.05,nj,q}} \right)^{1/2}$$

#### E.2.4 La exactitud de un muestreador individual – base anual.

Para muestreadores de partículas “j”, el coeficiente de variación individual, “CV<sub>i</sub>”, producido durante un año calendario se obtiene usando la ecuación 21, donde “n<sub>j</sub>” es el número de chequeos realizados durante un año calendario. Los límites del intervalo de confianza al 90% de un equipo de muestreo individual serán calculados por parte de la SEMARNAT usando las ecuaciones 22 y 23, donde “Pχ<sup>2</sup><sub>0.05 gl</sub>” y “Pχ<sup>2</sup><sub>0.95 gl</sub>” son el 0.05 y 0.95 cuantil de la distribución chi cuadrada (Pχ<sup>2</sup>) con n<sub>j</sub> grados de libertad:

#### E.2.5 La exactitud para cada método de referencia y métodos equivalentes designados usados por cada sistema de monitoreo atmosférico – base trimestral (CV<sub>k,q</sub>).

(a) Para cada método designado “k” usado por el sistema de monitoreo atmosférico, los coeficientes de variación trimestrales de un solo muestreador, “CV<sub>j,qS</sub>”, obtenidos de la ecuación 21, son combinados usando la ecuación 24, donde “n<sub>k,q</sub>” es el número de monitores primarios del método designado instalados( pero no instalados con el muestreadores del método de referencia) y “n<sub>j,q</sub>” es el número de grado de libertad asociado con “CV<sub>j,q</sub>”, como sigue:

### Ecuación 24

$$CV_{k,q} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_{j,q}} (CV_{j,q}^2 n_{j,q})}{\sum_{j=1}^{n_{j,q}} n_{j,q}}}$$

(b) El número de los CVs por método, producidos por un sistema de monitoreo atmosférico, será igual al número de los diferentes métodos designados que tienen más de un monitor primario usado por el sistema de monitoreo atmosférico durante un trimestre. (Si se usa exactamente un monitor de una designación especificada por el sistema de monitoreo atmosférico, será instalado con un muestreador del método de referencia )

#### E.2.6 La exactitud para cada método designado usado por el sistema de monitoreo atmosférico – base anual (CV<sub>k</sub>).

Para cada método designado “k” usado por el sistema de monitoreo atmosférico, se obtienen los coeficientes de variación trimestrales estimados,  $CV_{k,q}$ , usando la ecuación 25, donde “ $n_{k,q}$ ” es el número de monitores primarios instalados para un método designado durante los “q” trimestres y también el número de grados de libertad asociados a la estimación de la exactitud del trimestre para el método designado, “ $CV_{k,q}$ ”, como sigue:

### Ecuación 25

$$CV_k = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^4 (CV_{k,q}^2 n_{k,q})}{\sum_{q=1}^4 n_{k,q}}}$$

### E.3 Equipos de muestreo instalados, donde el equipo o analizador duplicado es un equipo del método de referencia

A bajas concentraciones, la concordancia entre las mediciones de los muestreadores instalados puede ser relativamente pobre. Por esta razón, se seleccionan pares de medición instalados para el cálculo de la precisión solamente si las dos mediciones son superiores al siguiente límite:  $PM_{2.5}$ :  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estos resultados de muestreadores duplicados se usan para evaluar el sesgo del sistema de medición. El sesgo trimestral será calculado por SEMARNAT para cada muestreador primario y para cada método designado usado por cada organización de reporte y a nivel nacional para cada método designado.

#### E.3.1 Exactitud para un solo chequeo ( $d'_i$ ).

La diferencia en porcentaje, “ $d'_i$ ”, de cada chequeo será calculado por la SEMARNAT usando la ecuación 26, donde “ $X_i$ ” representa la concentración producida por el muestreador del método de referencia tomado como el valor verdadero y “ $Y_i$ ” representa la concentración reportada por el muestreador primario como sigue:

### Ecuación 26

$$d'_i = \frac{Y_i - X_i}{X_i} \times 100\%$$

#### E.3.2 Sesgo para un solo muestreador – base trimestral ( $D'_{j,q}$ ).

- (b) Para muestreadores de partículas “j”, será calculado el promedio de las diferencias individuales en porcentaje durante un trimestre “q” por la SEMARNAT usando la



ecuación 27, donde “ $n_{j,q}$ ” es el número de chequeos realizados por muestreador “j” durante el trimestre calendario como sigue:

(c)

### Ecuación 27

$$D'_{j,q} = \frac{1}{n_{j,q}} \sum_{i=1}^{n_{j,q}} d_i$$

(b) El error estándar, “ $s'_{j,q}$ ”, de las diferencias de porcentajes de los muestreadores “j” para el trimestre “q” se calcula usando ecuación 28, como sigue:

### Ecuación 28

$$s'_{j,q} = \sqrt{\frac{1}{n_{j,q} - 1} \left[ \sum_{i=1}^{n_{j,q}} d_i^2 - (n_{j,q} D'^2_{j,q}) \right]} \times \frac{1}{n_{j,q}}$$

(c) Los límites del intervalo de confianza al 95% para el sesgo del muestreador individual se calculan usando las ecuaciones 29 y 30 donde “ $t_{0.975,gl}$ ” es el 0.975 cuantil de la distribución “t” de Student con “gl =  $n_{j,q} - 1$ ” grados de libertad::

### Ecuación 29 Límite del intervalo de confianza inferior

$$\text{Límite inferior} = D'_{j,q} - t_{0.975,gl} \times s'_{j,q}$$

### Ecuación 30 Límite del intervalo de confianza superior

$$\text{Límite superior} = D'_{j,q} + t_{0.975,gl} \times s'_{j,q}$$

### E.3.3 Sesgo para un equipo de muestreo individual – base anual ( $D'_j$ ).

(a) Para un muestreo de partículas “j”, la media del sesgo para el año se deriva de los sesgos estimados trimestrales, “ $D'_{j,q}$ ”, usando la ecuación 31, donde las variables son como definidas en las ecuaciones 27 y 28 :

### Ecuación 31

$$D'_j = \frac{\sum_{q=1}^4 (n_{j,q} D'_{j,q})}{\sum_{q=1}^4 n_{j,q}}$$

(b) El error estándar de la estimación arriba, “se’<sub>j</sub>” se calcula usando ecuación 32:

**Ecuación 32**

$$se'_j = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^4 [s'_{j,q} 2x(n_{j,q} - 1)]}{\sum_{q=1}^4 (n_{j,q} - 1) \sum_{q=1}^4 (n_{j,q})}}$$

(c) Los límites del intervalo de confianza al 95% para el sesgo de un solo muestreador se calculan usando las ecuaciones 33 y 34, donde “ $t_{0.975,gl}$ ” es el 0.975 cuantil de la distribución “t” de Student con “ $gl = (n_{j,1} + n_{j,2} + n_{j,3} + n_{j,4})$ ” grados de libertad:

**Ecuación 33** Límite del intervalo de confianza inferior

$$\text{Límite de confianza inferior} = D'_j - t_{0.975,gl} x se'_j$$

**Ecuación 34** Límite del intervalo de confianza superior

$$\text{Límite de confianza superior} = D'_j + t_{0.975,gl} x se'_j$$

**E.3.4** Sesgo para un sistema de monitoreo atmosférico individual (D') – base anual.

La media del sesgo de los sistemas de monitoreo atmosférico se calcula usando la ecuación 35, donde las variables son como definidas en las ecuaciones 31 y 32:

**Ecuación 35**

$$D' = \frac{1}{n_j} x \sum_{i=1}^{n_j} D'_j$$

**E.4 Auditorías del Método de Referencia**

Las auditorías del método de referencia se realizan una vez cada trimestre para muestreadores seleccionados. Los datos de concentración del muestreador primario son reportados por el sistema de monitoreo atmosférico. Los cálculos para las auditorías del método de referencia son similares a las auditorías para los muestreadores instalados teniendo muestreadores del método de referencia como duplicados. Los cálculos son diferentes dado que solamente se realiza un chequeo por trimestre.

**E.4.1** La exactitud para un muestreador individual – base trimestral ( $d_i$ ). La diferencia en porcentajes, " $d_i$ ", para cada chequeo se calcula usando la ecuación 26, donde " $X_i$ " representa la concentración producida por el muestreador del método de referencia y " $Y_i$ " representa la concentración reportada por el muestreador primario. Para el trimestre " $q$ " la estimación del sesgo para el muestreador " $j$ " se denomina " $D_{j,q}$ ".

**E.4.2** Sesgo para un muestreador individual – base anual ( $D'_j$ ). Para un muestreador de partículas " $j$ ", la media del sesgo de un año se deriva del sesgo estimado por trimestre, " $D_{j,q}$ ", usando ecuación 31, donde " $n_{j,q}$ " iguala a 1 dado que se realiza una auditoría del método de referencia por trimestre.

**E.4.3.** Sesgo para un sistema de monitoreo atmosférico – base anual ( $D'$ ). La media del sesgo de un sistema de monitoreo atmosférico se calcula usando la ecuación 35, donde se definen las variables como indicado en las ecuaciones 31 y 32.

# **DOCUMENTO 6**

***Procedimiento Federal de Auditoría  
a  
Sistemas de Monitoreo Atmosférico***

## INDICE

	PÁG.
<b>1. AUDITORÍA A LOS SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción	1
<b>2.0 CONSIDERACIONES LEGALES E INSTITUCIONALES</b>	<b>2</b>
2.1 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	2
2.2 Ley Federal de Metrología y Normalización	2
2.3 Aspectos Institucionales	4
<b>3.0 ENFOQUE HACIA UN PROGRAMA DE AUDITORÍA PARA SMA´s</b>	<b>6</b>
3.1 Auditoría Técnica del Sistema	6
3.2 Auditorias de Funcionamiento	8
3.3 Auditoria de Datos	9
<b>4.0 ESQUEMA DE AUDITORÍA A SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO</b>	<b>10</b>
4.1 Planteamiento General	10
4.2 Auditoría Técnica del Sistema (ATS)	11
4.2.1 <i>Frecuencia de las ATS</i>	12
4.3 Auditoría de Funcionamiento (AF)	12
4.3.1 <i>Frecuencia de la AF</i>	13
4.4 Auditoría de Datos	13

<b>5.0 PROCEDIMIENTOS Y DIRECTRICES</b>	<b>15</b>
<b>5.1 Procedimiento General de Acreditamiento de ema</b>	<b>15</b>
<b>5.2 Guía cubrir los requisitos de NMX – 7025-INMC 2000</b>	<b>21</b>
<b>5.3 Ejemplos de Procedimientos de Auditorías de Funcionamiento</b>	<b>39</b>
<b>6.0 BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>60</b>

# 1. AUDITORÍA A LOS SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

## 1.1 . Introducción

Dada la importancia de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico (SMA's) para fines de la Gestión de la Calidad del Aire, el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico PNMA contempla en su tercera etapa un esquema de auditorías para la evaluación periódica de su desempeño con la finalidad de asegurar la calidad de la información generada por dichos SMA's .

El objetivo primordial de los sistemas de monitoreo es medir las concentraciones de los contaminantes del aire para determinar el cumplimiento de los criterios de calidad del aire establecidos por las NOM's de la serie Secretaría de Salud (SS) para la protección de la salud pública.

Asimismo, la determinación de las concentraciones de los contaminantes del aire (gases y partículas) se lleva a cabo a partir de métodos de prueba normalizados, ya sea porque para algunos existen normas mexicanas NMX o en otros casos se realizan a partir de métodos cuyos principios de detección han sido validados a nivel internacional.

En el capítulo 2 se presenta un compendio de disposiciones jurídicas e institucionales, a través de las cuales puede sustentarse el desarrollo de un Programa Federal de Auditoría (PFA) de los SMA's, al que se hace referencia en el PNMA. En el capítulo 3 se enuncia el concepto general de auditoría y se describen en forma breve los diferentes tipos de auditoría que se han desarrollado para la evaluación de Sistemas y/o Redes de monitoreo de calidad del aire.

En capítulo 4, que constituye la parte medular de este documento, se plantea un esquema de auditoría federal, bajo los preceptos y lineamientos establecidos por la Ley Federal de Metrología y Normalización relativos a la acreditación y adoptando las directrices y criterios generales del Programa de Auditoría que ha desarrollado la USEPA, para la evaluación de las prácticas de aseguramiento y control de calidad de los Sistemas de monitoreo Atmosférico (SMA's).

Finalmente, en el capítulo 5 se describen textualmente los procedimientos de acreditación y la Guía de requisitos para el cumplimiento de la NMX-17025- INMC-2000, mientras que en la sección 5.3 se incluyen ejemplos de procedimientos de auditorías de funcionamiento usados por CARB.

## 2.0 CONSIDERACIONES LEGALES E INSTITUCIONALES

### 2.1 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Como se refirió en la sección del Marco Legal del documento 1, en la fracción VII del artículo 111 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental establece la facultad de SEMARNAT de:

**VII.- Expedir las normas oficiales mexicanas para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire;** SEMARNAT (2001)

Aún cuando hasta la fecha, no se ha expedido ninguna norma oficial mexicana para establecer y operar sistemas de monitoreo de la calidad del aire, es importante referir que uno de los objetivos más relevantes de los presentes documentos establecer las bases para la elaboración de la Norma Oficial Mexicana para la operación de los SMA's.

Como se refirió anteriormente el PNMA, tiene dentro de sus metas aplicar herramientas y estrategias para cubrir la demanda de monitoreo atmosférico en los sitios prioritarios, **homologar las prácticas de monitoreo atmosférico, establecer sistemas de control y aseguramiento de calidad y establecer un sistema de vigilancia por medio de auditorías a nivel nacional.**

Debe reiterarse que el artículo 112 de la LGEEPA en su fracción VI, estipula que los gobiernos estatales y municipales "establecerán y operaran, con el apoyo técnico en su caso de la secretaría Sistemas de Monitoreo de la calidad del aire. Los gobiernos locales remitirán a la secretaría los reportes locales de monitoreo atmosférico a fin de que aquella los integre al Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Aire" (SINAICA). SEMARNAT (2001)

### 2.2 Ley Federal de Metrología y Normalización

Por otra parte es importante considerar las disposiciones de la Ley de Metrología y Normalización LFMN en materia de acreditación, la cual en su Artículo 70 establece que las dependencias competentes podrán aprobar a las personas acreditadas que se requieran para la evaluación de la conformidad, en lo que se refiere a normas oficiales mexicanas (NOM's).

Dentro de este contexto, en materia de monitoreo de la calidad del aire el marco normativo vigente en México comprende, tanto a las NOM-SS, que establecen los



criterios de los niveles máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente. ( PST, PM<sub>10</sub>, Pb, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>), como las "NOM's" de la serie SEMARNAT, las cuales estrictamente deberían ser NMX debido a que corresponden métodos de prueba donde se establecen los procedimientos de medición para la determinación de las concentraciones de los contaminantes en aire ambiente. Sin embargo, dado que está contemplado por la propia LEEGPA, la generación de una NOM específica, donde se establezcan los requisitos mínimos que deben cumplir los SMA's, permitiría a SEMANART/INE un alcance mucho más integral para los fines que se persiguen a través del PNMA y el SINAICA e materia de evaluación de la conformidad.

También es importante considerar la fracción II de dicho artículo donde se establece que las autoridades competentes para la aprobación deben evitar duplicar los requisitos solicitados para su acreditación, **sin perjuicio de establecer adicionales**, cuando se compruebe justificadamente a la Secretaría (de Economía) la necesidad de los mismos, a fin de salvaguardar tanto el objetivo de la norma oficial mexicana, como los resultados de la evaluación de la conformidad con la misma y la verificación al solicitante de las condiciones para su aprobación.

En lo que respecta al artículo 71, se hace referencia a que las dependencias competentes podrán en cualquier tiempo realizar visitas de verificación para comprobar el cumplimiento de la LFMN, sus reglamentos y las normas oficiales mexicanas por parte de: las entidades de acreditación, **las personas acreditadas** o cualquier otra entidad u organismo que realice actividades relacionadas con las materias a que se refiere esta Ley, así como a aquellas a las que presten sus servicios.

Por otra parte en el Art. 73 se determina que las dependencias competentes establecerán, tratándose de las normas oficiales mexicanas, los procedimientos **para la evaluación de la conformidad** cuando para fines oficiales requieran comprobar el cumplimiento con las mismas.

Al respecto, debe entenderse por acreditación como el proceso documentado mediante el cual una entidad con autoridad reconocida, concede un reconocimiento formal de que una persona moral o física es competente para llevar a cabo trabajos específicos.

## 2.3 Aspectos Institucionales

A nivel federal, la responsabilidad de la Gestión de la Calidad del Aire compete esencialmente a la SEMARNAT en concurrencia con la Secretaría de Salud, a su vez el Instituto Nacional de Ecología (INE) como organismo descentralizado de la SEMARNAT, en lo relativo al tema de contaminación y monitoreo de la calidad del aire, es tratado de una manera más explícita en las funciones establecidas por el Reglamento Interior de la Secretaría.

Dentro del INE, la Dirección General de Investigación sobre Contaminación Urbana, Regional y Global, así como el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Nacional y la Dirección General del *Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA)* comparten las principales funciones que la institución tiene en materia de sistemas de monitoreo atmosférico. En el artículo 113 en su fracción XVIII establece lo siguiente:

...

*XVIII. Promover y coordinar el mantenimiento y mejoramiento de la base de datos y subsistemas de aseguramiento de calidad.*

Las funciones vinculantes de la D.G. del CENICA con los sistemas de monitoreo atmosférico se expresan en el siguiente artículo 115, donde se estipula que: “La Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental tendrá las siguientes atribuciones”:

...

*II. Participar en los comités de evaluación para la **acreditación y aprobación** de los laboratorios de pruebas en materia de muestreo y análisis de contaminantes atmosféricos, sustancias y residuos, cuando se requiera para efectos de la evaluación de la conformidad, respecto de las normas oficiales mexicanas, en términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y atendiendo a los criterios y lineamientos que para tal efecto emita la Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental;*

*III. Proponer a las unidades administrativas competentes de la Secretaría, especificaciones técnicas, bases de diseño y protocolos de operación y manejo de datos de los sistemas de monitoreo atmosférico; **supervisar y evaluar la operación y aseguramiento de la calidad de los sistemas de monitoreo atmosférico, así como promover, coordinar y supervisar el establecimiento de sistemas de monitoreo de la contaminación atmosférica en las entidades federativas;***

...

X. *Proponer a las unidades administrativas competentes de la Secretaría, el desarrollo de métodos analíticos y procedimientos de control y aseguramiento de calidad en los procesos de medición y caracterización de contaminantes ambientales;*

...

XVI. ***Funcionar como laboratorios de referencia en materia de análisis y calibración de equipo de medición de contaminantes atmosféricos, y***

XVII. ***Emitir opiniones y formular informes técnicos a partir de estudios e investigaciones, participación en programas de evaluación tecnológicas, supervisiones y evaluaciones de sistemas de monitoreo atmosférico, cuando así lo requieran las unidades administrativas competentes de la Secretaría y sus órganos desconcentrados.***

Como se establece en la fracción XVI , está previsto que el CENICA funcione como un laboratorio de transferencia de estándares, el cual podría jugar también un papel determinante para el apoyo a los SMA´s en lo referente a las cadenas de trazabilidad, toda vez que el tipo de auditorías que lleguen a practicar a dichos sistemas, tendrá como objetivo fundamental garantizar la calidad de los resultados a partir del empleo de estándares de referencia trazables.

Por consiguiente, se considera que el CENICA sería el candidato natural y tiene la facultad necesarias y suficientes para coordinar un Programa de evaluaciones sistemáticas a los Sistemas Monitoreo Atmosférico (SAM´s) del país, para lo cual en la siguientes secciones el CINAM plantea un esquema de Auditoría Federal basado en los dispuestos de la Ley Federal de Metrología y Normalización y las disposiciones legales e institucionales referidas.

### **3. ENFOQUE HACIA UN PROGRAMA DE AUDITORÍA PARA SMA´s**

En términos generales “una auditoría es una evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades de calidad y los resultados relacionados cumplen con los requisitos planeados, y si esos requisitos son efectivamente implantados y apropiados para lograr los objetivos”.

Para el caso de los SMA´s, el objetivo primordial de un programa de auditoría debe orientarse para asegurar que todos los datos publicados de calidad del aire, provengan de estaciones de monitoreo operadas con personal capacitado, usando métodos aprobados con base a procedimientos bien documentados y mediante el uso de materiales e instrumentos trazables, y que dichos resultados sean reportados con los requerimientos de precisión y exactitud adoptados.

El programa de auditoría, además deberá asegurar que los datos de calidad del aire sean comparables y usados con confianza dentro de los programas de gestión de la calidad del aire que realicen las autoridades ambientales y de salud, o en su caso los investigadores y demás interesados.

En general los programas de auditoría que se han desarrollado principalmente en Estados Unidos a través de la Agencia de Protección Ambiental (*EPA*) contemplan tres tipos de auditorías a los SMA´s, las *Auditorías Técnicas del Sistema*, las *Auditorías de Funcionamiento* y las *Auditorías de datos* cuyos alcances funcionales se describen a continuación.

#### **3.1 Auditoría Técnica del Sistema**

Una auditoría técnica del sistema es una revisión completa del Programa de Monitoreo de la organización responsable del SMA, donde se revisan tanto los aspectos técnicos, tales como: los sistemas de medición (colección de la muestra, análisis de muestras, procesamiento de datos, elaboración de reportes etc). La auditoría incluye la revisión del Personal, los procedimientos operativos, las instalaciones y la documentación para asegurar el cumplimiento con los administrativos en términos de aseguramiento de calidad.

En general una auditoría técnica comprende la evaluación de los siguientes elementos:

**A. Evaluación del personal:**

1. Nivel y experiencia profesional del personal.
2. Funciones y responsabilidades.
3. Capacitación del personal.

**B. Evaluación de las instalaciones:**

1. Revisión de por medio de cuestionarios y listas de verificación al personal del sitio.
2. Revisión de practicas de laboratorio.
3. Revisión de actividades de campo.
4. Inspección de laboratorio e instalaciones de apoyo.
5. Revisión de las estaciones de monitoreo en relación a sus criterios de ubicación y representatividad
6. Revisión de las condiciones ambientales de los laboratorios y estaciones (temp, HR, etc.)

**C. Evaluación de datos y control de documentos:**

1. Revisión de los formatos de cadena de custodia .
2. Revisión de los registros diarios de operación.
3. Revisión de los registros de los documentos de campo.
4. Revisión de los formatos de reporte, incluyendo los procesos usados para la obtención de datos.
5. Revisión del manejo y tiempo de retención de datos

**D. Evaluación de los programas de Aseguramiento de calidad:**

1. Revisión de las políticas, planes y objetivos de calidad
2. Revisión de los procedimientos operativos

### 3. Revisión del contenido y grado de aplicación de los procedimientos

#### 3.2 Auditorías de Funcionamiento

Las auditorías de funcionamiento consisten en verificar la respuesta u otros parámetros críticos de operación de los muestreadores, analizadores e instrumentos contra materiales o estándares de referencia. Las categorías de auditorías de funcionamiento pueden dividirse de la siguiente manera:

**A. Auditorías a través de la sonda**, donde se utilizan cilindros de concentraciones conocidas de gases criterio o hidrocarburos para corroborar la confiabilidad a la respuesta de los analizadores que se están operando en los SMA's.

**B. Auditorías del flujo** de los muestreadores, aplicables a los diferentes equipos para la determinación de partículas (PM10, PM2.5 ) donde se verifica los flujos, utilizando estándares de transferencia, tales como calibradores de orificio o medidores de flujo (másicos o volumétricos) certificados. Comúnmente el dispositivo de referencia es conectado en serie al dispositivo de medición de flujo del muestreador, y la tasa de flujo es medida bajo condiciones normales de muestreo.

**C. Auditorías de Laboratorio** que consisten en el empleo de soluciones estándar trazables de los analitos de interés a evaluar, tales como: plomo o compuestos tóxicos orgánicos, cuya determinación se efectúen en los sistema auditados.

**D. Auditorías de Instrumentos Meteorológicos**, las cuales se practican para evaluar las respuestas de los sensores contra las obtenidas con instrumentos de referencia trazables o aceptados como tales.

### 3.3 Auditorías de Datos

En términos generales, un auditoría de calidad de los datos debe orientarse a evaluar exhaustivamente los procedimientos usados para coleccionar, interpretar y reportar los datos de calidad del aire. Los criterios usados de evaluación están relacionados contra los objetivos de calidad de los datos establecidos por el propio SMA que incluye los procedimientos estadísticos usados para su control.

Las auditorías de los datos, entre otros pueden incluir la evaluación de los siguientes aspectos:

- Registro, Almacenamiento y transferencia datos crudos
- Procedimientos de revisión, verificación y validación de los datos
- Procedimiento de manejo de datos, cálculos y validación de hojas electrónicas
- Selección y discusión de Indicadores de calidad de los datos, incluyendo: Precisión, Exactitud, Integridad, Comparabilidad y Representatividad.

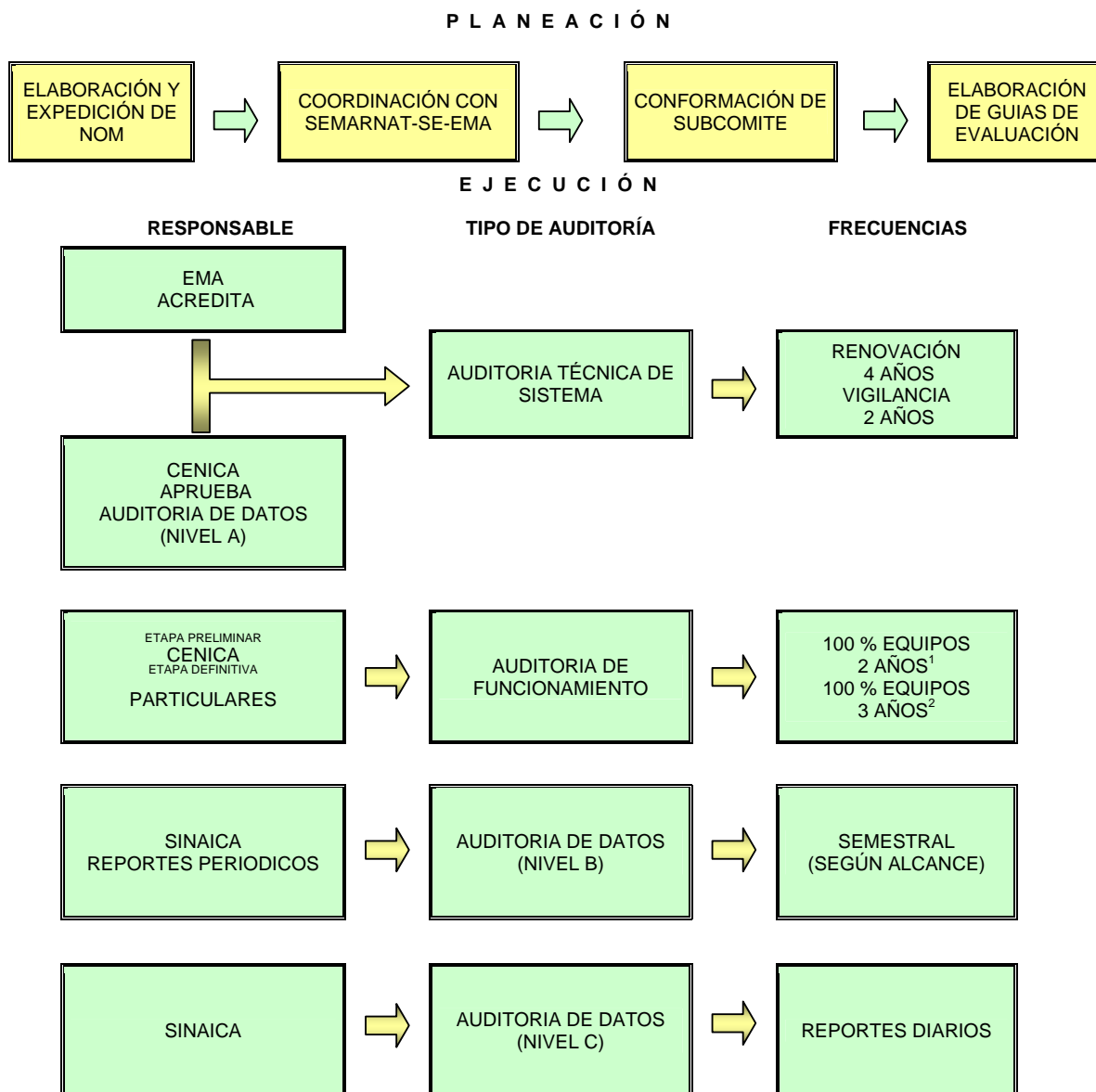
Al respecto es importante, tener en mente, que las Auditoría de los datos estaran muy relacionadas con las actividades propias de las Auditorías Técnicas y Auditorías de funcionamiento así como con los requerimientos de reporte que se establezcan para corroborar la calidad de la información de las concentraciones de contaminantes del aire.

## 4.0 ESQUEMA DE AUDITORÍA A LOS SISTEMAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO (SMA's)

### 4.1 Planteamiento general

Con base a lo expuesto en las anteriores secciones, se considera que un esquema viable para garantizar la implantación obligatoria de Sistemas de Gestión de Calidad Auditables en los SMA's podría realizarse conforme a la secuencia de etapas que se ilustran en la figura 1 y cuya discusión se realiza a continuación.

Fig. 1 ESQUEMA DE AUDITORÍA FEDERAL A LOS SMA's



1. Número de analizadores parámetro < a 10.
2. Número de analizadores por parámetro > a 20.



Como se ilustra en la figura 1, bajo el esquema que se propone el equivalente al tipo de **Auditoría Técnica del Sistema**, se efectuaría a través del esquema de acreditación y aprobación que establece la Ley Federal de Metrología y Normalización. Bajo estas condiciones, sería indispensable acelerar el proceso de elaboración y expedición de la Norma Oficial Mexicana que establezca los criterios de homologación y los requisitos que deben de cumplir los responsables de la operación de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico que operan en el territorio nacional.

Los elementos centrales en la norma deberán orientarse a establecer la obligatoriedad (o en su caso inducir) de:

- ✓ Acreditación ante la Entidad Mexicana de Acreditación, EMA.
- ✓ Los criterios adicionales de aprobación por parte de la autoridad competente de SEMARNAT-INE-CENICA.
- ✓ El compromiso de participar activamente en el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico.
- ✓ La obligatoriedad de reportar al SINAICA en los términos del art. 112 de la LGEEPA en los formatos y medios electrónicos que se establezcan.
- ✓ Implantar, mantener y mejorar un Sistema de Gestión Ambiental conforme con la Norma NMX-17025- INMC-2000.
- ✓ Cumplir con los objetivos de calidad y/o criterios de aceptación de los datos que se establezcan en dicha Norma.
- ✓ Las frecuencias y tipos de Calibración de los instrumentos, analizadores, y estándares transferencia.

#### **4.2 Auditoria Técnica del Sistema (ATS)**

Bajo estas condiciones la Auditoria Técnica del Sistema sería propiamente la efectuada en el proceso de acreditación que en términos de la LFMN se denomina como "Evaluación", pero cuyos alcances en la Norma NMX-17025-INMC-2000 representa una Auditoria Detallada de todos los componentes que integran el sistema de calidad de una organización que realiza métodos de prueba, tales como: Sistema de Calidad, Control de Documentos, Acción Correctiva y Preventiva, Control de Registros, Auditorias Internas.

Asimismo, el alcance de dicha norma en el numeral 5 de requisitos técnicos incluye los elementos auditables tales como: personal, instalaciones y condiciones ambientales, métodos de ensayo y calibración, equipo, trazabilidad, aseguramiento de calidad de los resultados, etc, los cuales se apegan

sustancialmente al tipo de actividades que se realizan actualmente en los SMA's en operación, donde en términos generales puede establecerse que se limitan al monitoreo automático de los contaminantes criterio y en algunos casos a los métodos manuales para la determinación de partículas (PST y PM<sub>10</sub>).

Ahora bien, si bien es cierto que el esquema conceptual del proceso de acreditación que se plantea a través de la EMA se considera "Ad Doc" para Auditar los Sistemas de Calidad de los SMA, deberá efectuarse una evaluación objetiva de desempeño actual de dicha entidad y de su capacidad a mediano plazo de contar con evaluadores y expertos técnicos con experiencia comprobada en los métodos de prueba de Monitoreo Atmosférico. Siendo muy recomendable la creación en coordinación con EMA un sub - comité específico para calidad del aire. Actualmente la acreditación métodos de prueba para la determinación de contaminantes del aire ambiente que realizan por laboratorios privados o institucionales se efectúa a través del sub comité de Fuentes fijas y Residuos.

#### **4.2.1 Frecuencia de la Auditorias Técnicas de Sistema**

Bajo el procedimiento actual de acreditación, la frecuencia de evaluaciones para la renovación del acreditamiento es de cada cuatro años pero existen visitas de vigilancia anuales, las cuales en el primer año puede ser de forma documental y la del segundo (mitad del periodo de Acreditamiento) se realiza en sitio.

#### **4.3 Auditorias de Funcionamiento**

Por otra parte, el esquema de Auditorias de Funcionamiento consistentes en las verificación de las respuestas a una determinada cantidad de equipos-instrumentos de cada sistema de monitoreo atmosférico a partir del uso comparaciones de materiales o instrumentos de referencia realizadas en campo se llevaría a cabo en dos etapas:

##### **Etapa I : Corto plazo**

Periodo tentativo 2005 - 2007

En una primera etapa la Auditorías de Funcionamiento serían efectuadas por la propia por la Dirección General del CENICA a partir del fortalecimiento y acreditación de su laboratorio de referencia y certificación de los estándares de transferencia que dispone. Para ello se recomienda ampliamente el buscar establecer un convenio con el Laboratorio de Estándares de CARB, así como solicitar apoyo de Agencias Internacionales para la adquisición y mantenimiento de los materiales, equipos e instrumentos complementarios para dichas actividades.

## **Etapa II Mediano y largo plazo 2008 en Adelante**

Posteriormente, a mediano plazo, se establecería un proceso de aprobación de particulares por parte de la D.G. de CENICA donde los candidatos naturales a realizar dichas Auditorías de Funcionamiento serían los Laboratorios de Calibración (actuales y futuros) Acreditados por ema que proveen servicios de calibración y/o mantenimiento de analizadores automáticos tanto para Emisiones vehiculares (Centros de Verificación) como a analizadores instrumentales empleados en fuentes fijas. Para tal fin, sería importante efectuar un estudio del mercado actual y sus tendencias con la finalidad de determinar su viabilidad económica.

### **4.3.1 Frecuencia de la Auditorías de Funcionamiento**

La cobertura temporal de las Auditorías de Funcionamiento que se propone es:

Cada 2 años para a totalidad de los analizadores de contaminantes criterio en todas aquellas redes con un número igual o menor a 10 analizadores y/o muestreadores por parámetro y/o instrumentos de medición determinados como críticos para garantizar la calidad de los datos estaciones. En esta categoría caen todas las redes automáticas y manuales que operan actualmente en el país con excepción de la correspondiente a la ZMCM. En el caso del SIMAT de la ZMCM se propone un criterio específico de una cobertura total en 3 años.

### **4.4 Auditoría de Datos**

En los que respecta a la Auditoría de Datos, estas se efectuarían a partir de tres niveles del esquema Integral de operación de Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico.

**NIVEL A.** Durante Evaluación en sitio para fines de Acreditamiento donde se efectúa la evaluación general del Sistema de Calidad, el personal técnico de CENICA en su calidad de Autoridad Competente participaría en dichas evaluaciones, donde su objetivo primordial sería efectuar una revisión detallada para la evaluación de la calidad de datos. Recomendándose ampliamente la elaboración de una "Guía de Evaluación", la cual sería un soporte para el Dictamen de Aprobación.

Asimismo, durante la visita de vigilancia efectuada en campo cada 2 años, las revisiones conducentes a este nivel serían efectuadas.

**NIVEL B.** El segundo Mecanismo consistiría en el requerimiento de los reportes trimestrales o semestrales de los estadísticos de precisión, exactitud o integridad establecidos en la NOM.

**NIVEL C.** A partir de la recepción de los datos enviados diariamente al SINAICA, a través de indicadores orientados a la detección de fallas evidentes en la operación de los monitores y/o por eventos extraordinarios, y cuyo enfoque sería de carácter preventivo para minimizar la posible invalidación de una cantidad significativa de datos.

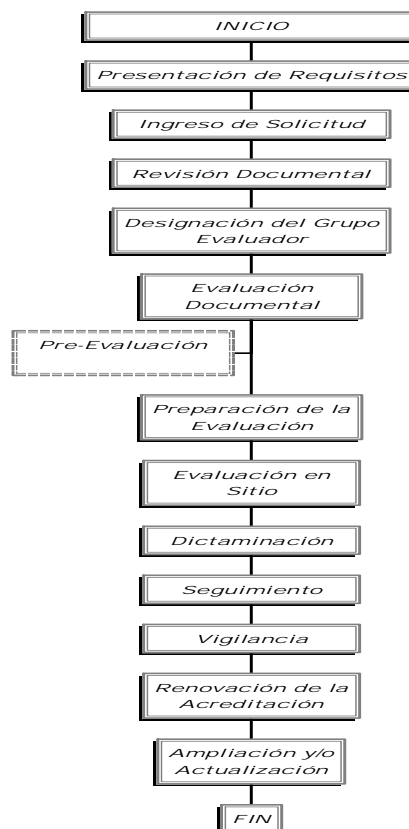
## 5.0 PROCEDIMIENTOS Y DIRECTRICES

En este capítulo se presenta en la sección 5.1 la secuencia de etapas implícitas al procedimiento vigente de la entidad mexicana de acreditación (**ema**). Al respecto es importante que un Sistema de Monitoreo Atmosférico sea concebido como un laboratorio de ensayos, es decir una organización cuyos procesos básicos están relacionados con la ejecución de métodos de pruebas para la determinación cuantitativa de un analito en la matriz aire.

### 5.1 Procedimiento General de Acreditación por EMA

La necesidad de asegurar que los laboratorios de calibración y ensayo, cuenten con un esquema que acredite o avale los servicios y sean reconocidos a nivel nacional e internacional, ha sido necesario establecer sistemas de acreditación, para lo cual, la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) ha desarrollado una metodología para la evaluación y acreditación, basándose en la NMX-EC-17025-INMC-2000. *IMNC (2000)*

En el siguiente esquema se resumen el proceso:



## **I. Presentación de requisitos**

La presentación de los requisitos por parte del cliente debe cubrir los siguientes puntos:

1. Contar con un Sistema de Calidad
2. Procedimientos técnicos desarrollados e implementados
3. Auditoría de Calidad Interna (ya aplicada)
4. Oficio por escrito de intención para la acreditación

## **II. Ingreso de solicitud**

La solicitud que será ingresada debe cubrir lo siguiente:

1. Definición de alcances
2. Compromisos del cliente para acatar el proceso de acreditación
3. Pagar los gastos relacionados al proceso
4. Responsabilidad

## **III. Revisión Documental**

1. Consiste en revisar a detalle los documentos del punto I y II, verificar que estén completos y sean los adecuados.

## **IV. Designación de Grupo Auditor**

El grupo auditor será asignado por la EMA

1. El grupo auditor se integrará por 2 personas como mínimo, quienes realizarán la evaluación documental, evaluación en sitio y la de seguimiento.
2. EMA notificará al cliente sobre designación del grupo evaluador. El Cliente puede negarse a recibir alguno de los integrantes por: existencia de relación

cliente-proveedor, exista una relación laboral en los últimos 2 años o por haber una relación asesoría-consultoría

3. Si cliente acepta fecha de evaluación, se notificará a EMA de forma escrita.

## **V. Evaluación Documental**

1. Evaluar el contenido del Paso II, se realizará antes de la evaluación en sitio. El evaluar líder deberá enviar al cliente el informe de evaluación documental y con la solicitud del plan de acciones correctivas
3. Cuando existan no conformidades se debe realizar lo siguiente:
  - a) presentar plan de acción de correcciones, incluyendo la forma en que se cerrarán las no conformidades y el tiempo
  - b) sino se entrega el cliente a tiempo el plan de acción se da por terminado el proceso de evaluación y acreditación
3. El grupo evaluador revisa y emite un informe de resultados con referencia al plan de acción. Asimismo, el informe es enviado al cliente.
4. Las acciones correctiva se revisaran durante la evaluación en sitio. Sino se ha implantado las acciones correctiva en un plazo no mayor de 6 meses la EMA, dará por terminado el proceso de evaluación y acreditación.
5. Sino se detectan no conformidades, sólo observaciones se continua con el Paso VIII

## **VI. Pre-Evaluación**

1. Es una actividad opcional a solicitud del cliente, permite tener un diagnostico preliminar e identificar de manera general la implantación del sistema de calidad, la parte técnica y la aclaración de la interpretación de la NMX-EC-17025-INMC-2000. La entidad emite un informe de resultados con observaciones y no conformidades.

## **VII. Preparación de la Evaluación**

1. EMA notificará al cliente y al grupo evaluador la fecha para la evaluación en sitio
2. El cliente debe confirmar fecha de la evaluación del sitio

## **VIII. Evaluación en Sitio**

1. Se evalúa las instalaciones del cliente, verificando el sistema de calidad y técnico, así como, el cumplimiento de los requisitos establecidos en la NMX-EC-17025-INMC-2000.
2. La evaluación se hará únicamente conforme al alcance de la solicitud de acreditación.
4. El procedimiento de evaluación en sitio consistirá en:
  - a) reunión de apertura
  - b) verificación de la implantación de los documentos
  - c) reunión de cierre, para presentar las no conformidades u observaciones detectadas y entrega de resultados de la evaluación.
5. El evaluador líder puede suspender la evaluación en sitio en los casos de:
  - a) no tener implantado el sistema de calidad o técnico
  - b) no se brinden facilidades por parte del cliente
  - c) si el evaluado agrede la integridad y dignidad del grupo evaluador
  - d) las razones de suspensión deben ser detalladas en el informe respectivo

## **IX. Dictaminación**

1. El informe se presenta a la Comisión de Opinión Técnica para que esta emita su opinión técnica
2. La EMA, notificará al cliente, el estado que guarda su solicitud en este paso y el plazo para el cierre de el 100 % de sus no conformidades
3. La dictaminación corresponderá a los siguientes casos: Tratándose de una solicitud inicial de acreditación o una renovación (reevaluación) o una ampliación, y tratándose de una evaluación de vigilancia o de actualización o de seguimiento.



4. LA EMA deberá remitir la decisión sobre su acreditación
5. El dictamen podrá ser una negación, una suspensión o un retiro de la acreditación parcial o total.
6. El documento de acreditación (con vigencia e 4 años, a partir de ser emitida), y el diploma de acreditación, emitido por la EMA, no podrá ser modificado si no es por la propia EMA.

## **X. Seguimiento**

1. Este paso se genera cuando se expide un dictamen técnico que requiere la presentación de acciones correctivas; cuando se reciben quejas o reclamaciones de la actuación del laboratorio y este seguimiento se puede hacer de dos maneras:
  - a) Por una evaluación documental
  - b) Por una evaluación en sitio.

## **XI. Vigilancia**

1. Consiste en realizar una evaluación anual del acreditado, para verificar que mantenga las condiciones bajo la cuales se concedió la acreditación
2. El primer año de vigilancia se lleva a cabo de manera documental y la del segundo año se verificará en el sitio, de la segunda determinará el Comité de Evaluación el alcance de la tercera vigilancia
3. La vigilancia del cuarto año, se llevará a cabo como lo establece la etapa de renovación
4. La EMA es la responsable de notificar al cliente de la vigilancia

## **XII. Renovación de la Acreditación**

1. Consiste en realizar nuevamente el proceso completo de evaluación y acreditación, al termino de su vigencia con fines de que se vuelva a expedir la acreditación, esta se realizará a solicitud del cliente, quien deberá notificar por escrito la EMA con 4 meses de anticipación ante de la fecha de vencimiento de acreditación.
2. La renovación se realizará, siguiendo los pasos del III al XI.

### **XIII. Ampliación y/o Actualización de la Acreditación**

1. Para la ampliación: consiste llevar a cabo una evaluación en las instalaciones del cliente para verificar que cuanta con los recursos implicados en la ampliación.
2. La ampliación puede ser por: métodos o técnicas de calibración y/o ensayo, alcances de medición ya acreditados, de personal, de instalaciones y de equipo. Este tipo de evaluación de la ampliación puede llevarse a cabo en conjunto con el Paso XI.
3. Para la actualización consiste en llevar a cabo un evaluación documental o en las instalaciones del cliente para evaluar la actualización solicitada.
4. La actualización puede llevarse en los siguiente casos: en la parte de sistema de calidad, parte técnica, parte administrativa, cambio de instalaciones. Para el caso de las actualizaciones de forma de la parte administrativa de calidad y técnica, el personal interno de la EMA realizará una evaluación documental. Cuando se trate actualizaciones de fondo de la parte técnica y de calidad, así como administrativas se debe seguir los pasos de este procedimiento ( del IV al X), para este caso se suspenderá temporalmente la acreditación hasta concluir el trámite.
5. Es obligación del cliente presentar la solicitud a EMA para los casos del punto II y III de este paso.

## **5.2 GUÍA PARA CUBRIR LOS REQUISITOS DE LA NMX-EC-17025-INMC-2000**

En esta sección se efectúa la adaptación del Procedimiento Interno de Entidad Mexicana de Acreditación (**ema**) MP-FE005-00 que representa la guía para cubrir los requisitos administrativos y técnicos de la NMX-EC-17025-2000 para fines de acreditación. Al respecto es importante aclarar los siguientes: 1) se ha sustituido el término laboratorio por SMA; 2) los números entre paréntesis corresponden a los numerales de la norma y 3) se ha dejado el término ensayo/calibraciones por el número importante de calibraciones que se realizan en un SMA, sin embargo el sentido original en el procedimiento de **ema** es que dicha norma es aplicable tanto para laboratorios de ensayo como para laboratorios de Calibración.

### **REQUISITOS ADMINISTRATIVOS**

#### **Organización [4.1]**

Tiene como objeto identificar la posición del SMA y de todo el personal del mismo en la organización. Así como, indicar las funciones y responsabilidades de cada miembro del mismo sistema.

#### ***Criterio:***

El SMA debe:

- a) Identificar en su sistema de gestión de calidad la personalidad jurídica que asume las responsabilidades legales derivadas de su actividad [4.1.1].
- b) Analizar y documentar todas las actividades que realiza y que sean diferentes a las de ensayo y/o calibración para determinar si se producen conflictos de interés en personal clave de la organización. En el caso que el SMA pertenezca a una organización más grande el análisis debe incluir las actividades realizadas por dicha organización [4.1.4].
- c) Definir las responsabilidades del personal clave y documentar las medidas a adoptar para garantizar que se eliminen los conflictos de interés que pudiera haber identificado [4.1.4].
- d) Documentar el compromiso de todo el personal del laboratorio de cumplir las medidas adoptadas para asegurar la protección de la información confidencial y los derechos de propiedad de sus clientes [4.1.5 c].
- e) No realizar actividades que puedan poner en peligro la confianza en su independencia de juicio, imparcialidad e integridad operacional, esto aplica tanto al laboratorio como organización y al personal del mismo [4.1.5 d].

- f) Disponer de un(os) organigrama(s) actualizado(s) que refleje(n) claramente su organización y los niveles de responsabilidad, líneas de comunicación y dependencias de su personal. Debe incluir toda la organización de la cual forma parte el laboratorio, no sólo el área del laboratorio que solicita la acreditación, y debe reflejar la posición del laboratorio dentro de la organización. Pueden presentarse organigramas parciales de cada sección o departamento [4.1.5 e].
- g) Evidenciar que se proporciona supervisión constante (al menos una vez por semana) al personal que realiza ensayos y/o calibraciones, y al que se encuentra en proceso de inducción. El personal que supervisa deberá contar con experiencia específica en el área a supervisar [4.1.5]
- h) Si la dirección técnica consta de más de una persona, es necesario especificar las funciones y responsabilidades de cada uno de los miembros que forman parte de ésta [4.1.5 i].

#### **Subcontratación de ensayos y calibraciones [4.5]**

Enfatiza la importancia de asegurar la confianza en los resultados informados, cuando estos no son generados por el propio SMA.

##### ***Criterio:***

Se consideran métodos subcontratados solo aquellos que están dentro del alcance de la acreditación. Sin embargo, el SMA debería ser capaz de demostrar que los ensayos y/o calibraciones no acreditados se contratan con un proveedor acreditado.

El SMA debe:

- a) Declarar en el sistema de gestión de calidad cuando no se realicen actividades de subcontratación de ensayos y/o calibraciones, ni se pretenda hacerlo.
- b) Demostrar la competencia de subcontratistas a través de la acreditación vigente del mismo con la norma mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2000 [4.5.1]. En caso que no existan laboratorios acreditados, se permitirá subcontratar laboratorios no acreditados, sin embargo el que subcontrata será responsable de verificar y demostrar el cumplimiento con la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 del subcontratado.
- c) Evidenciar la aceptación del cliente del servicio subcontratado [4.5.2].

- d) Identificar los métodos subcontratados claramente, tanto en el contrato aceptado por el cliente como en los certificados e informes [5.10.6]. e) Evitar hacer cualquier tipo de uso de la marca o logotipo de la entidad ó alusión alguna a la
- e) acreditación, en los cuales no estén perfectamente definidos los alcances de acreditación y trabajo subcontratado, que puedan dar lugar a una interpretación incorrecta.

#### **Compras de Servicios y Suministros [4.6]**

Su intención es asegurar que los suministros, reactivos y materiales consumibles que afectan la calidad de los ensayos y/o calibraciones cumplen con los requisitos técnicos establecidos.

##### ***Criterio:***

La verificación del cumplimiento de los suministros, reactivos y materiales consumibles con los requisitos normativos o con los requisitos definidos en los métodos de ensayos y/o calibración, no implica la realización de algún análisis químico a menos que así se indique en el método de ensayo o calibración normalizado o que el laboratorio lo tenga contemplado como parte del control de la calidad de sus resultados. La demostración de conformidad de los suministros, reactivos y materiales consumibles con las características técnicas requeridas puede ser demostrada a través de certificados de calidad o certificados de materiales de referencia que evidencien trazabilidad, según se requiera [4.6.2].

El SMA debe:

- a) Definir claramente los suministros, reactivos y materiales consumibles que afecten la calidad de los ensayos y/o calibraciones dentro del alcance de la acreditación [4.6.3].
- b) Evidenciar que las características técnicas de los suministros, reactivos y materiales señaladas en los documentos de compras son revisadas y aprobadas para garantizar que el servicio o suministro adquirido cumple con los requisitos técnicos establecidos [4.6.3].

#### **Control de Trabajo de Ensayo y/o Calibración no Conforme [4.9]**

Asegurar que “los clientes” no reciban trabajo no conforme y en caso de hacerlo estén informados, se haga una evaluación del mismo y se tomen las medidas necesarias con el fin de corregirlo.

**Criterio:**

Se entiende como producto del SMA, los resultados de ensayo/calibración reflejados en el informe de resultados o informe de calibración. El trabajo de ensayo/calibración no conforme es susceptible de detección en cualquiera de las etapas del proceso de ensayo/calibración (desde la toma de muestra hasta la transcripción de datos), por lo que los procedimientos aplicables deben contemplar este alcance.

El SMA debe contar con registros de:

- a) la evaluación del impacto de cada trabajo no conforme detectado.
- b) la acción inmediata realizada [4.9.2].
- c) el seguimiento completo de acciones correctivas.

**Acción Correctiva [4.10]**

Tiene la intención de corregir cualquier tipo de desviación detectada, tanto en la realización de los ensayos/calibraciones como del sistema de calidad, y tomar acciones endientes a evitar su repetición.

**Criterio:**

El SMA debe:

- a) Contar con registros de todas las actividades realizadas para las acciones correctivas siempre que exista una no conformidad derivada de cualquier fuente (quejas, auditorias internas y externas, supervisión, trabajo de ensayo o calibración no conforme, revisiones de la dirección u otras), desde la investigación de las causas hasta la verificación de la efectividad de las acciones tomadas [4.10.2, 4.10.3, 4.10.4].
- b) Evidenciar que para las no conformidades derivadas de las diferentes etapas del proceso de evaluación y acreditación se sigue el proceso completo de acción correctiva.

**Acción Preventiva [4.11]**

La Intención es detectar cualquier tipo de desviación potencial, tanto en la realización de los ensayos/calibraciones como del sistema de calidad y evitar que se traduzca en no conformidad.

***Criterio:***

Una acción preventiva no es una reacción a problemas, quejas, desviaciones al sistema de calidad, etc. ya que se realiza antes de que ocurran los problemas. Es importante hacer notar que una vez que ha ocurrido una no conformidad, cualquier acción tomada para prevenir su recurrencia es una acción correctiva.

El SMA debería ser capaz de detectar tendencias que le permitan anticipar no conformidades tanto del sistema de gestión como de los ensayos/calibraciones en su alcance de acreditación. Se puede tener un solo procedimiento para acción correctiva y preventiva, siempre y cuando se indique la diferencia entre ambas y se defina como actuar para cada caso.

**Control de Registros [4.12]**

Se asegura la rastreabilidad de los resultados de ensayo o calibración emitidos por el SMA a través de un manejo adecuado de los registros técnicos y de calidad, así como la protección y confidencialidad de los mismos.

***Criterio:***

Los registros tanto de calidad como técnicos deben conservarse, en archivo vivo o muerto, como mínimo durante un periodo de 4 años, o en su caso el periodo que establezcan otras disposiciones legales aplicables, o el periodo que el propio cliente solicite (el mayor de ellos). En el caso de las estaciones que aún no brinden servicios de ensayo y/o calibración deberán iniciar la conservación de registros a partir de que inicien las actividades descritas en el inciso (5.4) de los aspectos técnicos de este documento, referentes a laboratorios de nueva creación. Los procedimientos para el control de registros de calidad y técnicos podrán estar incluidos en los procedimientos del sistema de calidad o técnicos de los cuales se derivan.

El SMA debe:

- a) Mantener un sistema de registro en papel o en medio electrónico adecuado a sus circunstancias particulares.
- b) Mantener y retener los registros técnicos, incluyendo observaciones originales, que resultan de llevar a cabo las diferentes etapas de los procesos de ensayo o calibración, desde el muestreo y/o recepción de los elementos de ensayo o calibración hasta la elaboración del informe de resultados que permitan establecer una completa rastreabilidad de los resultados.
- c) Utilizar bitácoras o cuadernos foliados para registrar los datos derivados del proceso de ensayo y/o calibración. En caso de que los registros se

mantengan en forma electrónica establecer y documentar las medidas equivalentes que eviten pérdidas o cambios en los datos originales.

- d) No hacer uso de hojas de papel sueltas para registrar datos de ensayo y/o calibración.

### **Auditorías Internas [4.13]**

Dota al laboratorio con una poderosa herramienta que le permita verificar el grado de implantación tanto del sistema de gestión de calidad como de los requisitos técnicos que permiten el desarrollo de los ensayos y/o calibraciones.

#### ***Criterio:***

Las auditorías internas pueden ser realizadas tanto por un auditor interno como por un auditor externo contratado para tal fin. En ningún caso puede ser su sustituida por auditorías externas, tales como las realizadas por “el cliente”, organismos de certificación, etc.

Cabe aclarar que las acciones correctivas derivadas de las auditorías internas pueden encontrarse en proceso de atención al momento de realizar la evaluación por parte de la entidad, en este mismo sentido, se aclara que con fines de acreditación es requisito indispensable cerrar aquellas no conformidades resultado de este proceso de acreditación.

Aunado a esto, el SMA debe:

- a) Planificar las auditorías internas.
- b) Demostrar que realiza una auditoría interna completa, por lo menos una vez al año, que incluya todas las áreas del laboratorio (incluyendo métodos de ensayo y/o calibración), abarcando todos los requisitos de la NMX-EC-17025-IMNC-2000. [4.13.1].
- c) Contemplar conocimientos en la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 dentro del perfil requerido para el personal que realizará las auditorías internas, se sugiere basar dicho perfil en ISO 19011 [4.13.1].
- d) Evidenciar que el personal designado como auditor interno está calificado con base en el perfil establecido [4.13.1].
- e) Incluir auditores que conozcan el área técnica, o en su defecto se debe demostrar que personal con conocimiento técnico ha participado en la elaboración de una lista o guía de evaluación [4.13.1].



- f) Evidenciar que las auditorías internas toman en cuenta todos los puntos del requisito 4.13 de la Norma Mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2000 aun cuando se conduzca para un sistema de calidad basado en una norma diferente (ej. ISO 9001). Los hallazgos derivados de las auditorías internas que provoquen dudas acerca de la validez de los resultados de ensayo o calibración, deben ser tratados en todos los casos conforme a 4.9 “Control de Trabajo de Ensayo y/o Calibración no Conforme”.

#### **Revisión de la Dirección [4.14]**

Proporciona a la dirección ejecutiva del SMA con una herramienta, que le permite tomar decisiones estratégicas con base en un análisis global del sistema de calidad.

##### ***Criterio:***

La revisión de la dirección es una actividad diferente a las auditorías internas y a la revisión de los documentos del sistema gestión de calidad, ya que se trata de un análisis global del sistema de calidad del laboratorio para determinar su efectividad y/o introducir mejoras o cambios necesarios. La revisión de la dirección debe ser realizada por un nivel ejecutivo, con la autoridad para tomar decisiones y proveer recursos.

Por lo tanto, el SMA debe:

- a) Planificar la revisión de la dirección.
- b) Realizar una revisión de la dirección por lo menos una vez al año [4.14.1].
- c) Evidenciar que la revisión de la dirección toma en cuenta todos los puntos del requisito 4.14.1 de la Norma Mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2000 aun cuando se conduzca para un sistema de calidad basado en una norma diferente (ej. ISO 9001).

#### **REQUISITOS TÉCNICOS**

##### **Personal [5.2]**

La Intención es asegurar que el personal involucrado en el desarrollo de los ensayos/calibraciones es técnicamente competente y conoce el sistema de gestión de calidad de su organización.

##### ***Criterio:***

Aún cuando la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 no incluye el concepto de signatario autorizado, la ema continua utilizando este término cuya definición se encuentra en el procedimiento de evaluación y acreditación como: “La persona

responsable del área de calibración y/o ensayos, propuesta por el cliente, y autorizada por ema, para firmar y endosar los informes de calibración y/o ensayo, emitidos por el laboratorio”.

Se entiende que no todo el personal designado como signatario realiza ensayos y/o calibraciones (jefes, supervisores, directores, etc.) como parte de sus funciones diarias, sin embargo, como responsables de los informes emitidos, deben demostrar sólidos conocimientos de dichas actividades.

Por lo anterior, todos los signatarios propuestos en la solicitud de acreditación deben:

- a) Demostrar conocimiento (en forma práctica y documental) de los procedimientos técnicos, con base al alcance de acreditación solicitado [5.2.1] y de acuerdo a sus funciones y responsabilidades [4.2.1].
- b) Conocer el sistema de calidad del laboratorio, de acuerdo a sus funciones, responsabilidades e interacciones con otras áreas [4.2.1].

Aunado a lo anterior, el SMA debe:

- a) Mantener registros de los resultados de las evaluaciones de desempeño de ensayos y/o calibraciones realizadas al personal involucrado en las operaciones técnicas (todos aquellos que realizan muestreos, ensayos y/o calibraciones, aun cuando no estén propuestos como signatarios) [5.2.1; 5.2.5].
- b) Demostrar que la capacitación interna y/o externa otorgada al personal del laboratorio es acorde a las actividades técnicas y administrativas que realiza cada persona y a las necesidades de capacitación detectadas [5.2.2].

#### **Métodos de Ensayo y Calibración y Validación del Método [5.4]**

Tiene la intención de la selección y desarrollo de los métodos de ensayo y/o calibración, ya que es la parte medular del SMA, puesto que se trata del producto ofrecido “al cliente” (o a la población), y por lo tanto es el aspecto primordial que debe controlarse.

#### ***Criterio:***

Se consideran métodos normalizados, suficientemente validados, aquellos publicados en Normas Oficiales Mexicanas, Normas Mexicanas o los emitidos por organizaciones de normalización internacionales o extranjeras reconocidas, tales como ISO, ASTM, AOAC, EPA, USP, Estándar Methods, etc.

El SMA debe:

- a) Documentar todos los métodos de ensayo y/o calibración incluidos en el alcance de su acreditación (incluidos los procedimientos para realizar muestreo, manejo, transporte, almacenamiento y preparación de los elementos a ensayar y/o calibrar) y tenerlos disponibles para consulta en el lugar que se realicen las actividades de ensayo y/o calibración [5.4.1; 5.4.2]. Es posible hacer referencia a la norma técnica para el desarrollo de un método de ensayo y/o calibración, siempre y cuando se cuente con un procedimiento particular que indique los detalles específicos del método que no estén incluidos en la mencionada norma técnica como: instalaciones, equipo, preparación, cuidado y disposición del elemento sujeto a ensayo y/o calibración, etc. [5.4.1 nota].
- b) Realizar la comprobación del método para demostrar que cumple las especificaciones del mismo y cuenta con la competencia técnica para realizarlo adecuadamente tomando en consideración sus instalaciones, equipo y personal [5.4.1]. Esto puede incluir por ejemplo: verificación del desempeño del equipo contra los requerimientos del método, uso de los materiales de referencia
- c) Requeridos por el método, conformidad de las instalaciones y condiciones ambientales del laboratorio con lo establecido en el método, perfil y competencia del personal que realiza el método, así como la habilidad total del laboratorio para alcanzar la repetibilidad, exactitud, límite de detección (cuando aplique), linealidad (cuando aplique), cumplimiento con los criterios de aceptación cuando lo especifique el método, o en su caso los criterios establecidos por el laboratorio mediante los datos de desempeño.
- d) Demostrar que las desviaciones ocasionales a los métodos y procedimientos documentados están: justificadas técnicamente, autorizadas por la función del laboratorio con autoridad para permitir dichas desviaciones y aceptadas por el cliente por escrito [5.4.1].
- e) d) Contar con procedimientos para estimar la incertidumbre de medición de acuerdo a lo establecido en la "Política referente a la Trazabilidad e Incertidumbre de Mediciones" vigente, de la ema [5.4.6].

Para los métodos propios o desarrollados por el laboratorio, los métodos obtenidos de publicaciones científicas, así como los métodos normalizados modificados o ampliados o usados fuera de su alcance propuesto el laboratorio debe:

- a) Contar con procedimientos de validación [5.4.5.2].

b) Mantener registros de la validación y la declaración de si el método se ajusta al uso propuesto [5.4.3].

c) Documentar y validar las modificaciones a los métodos normalizados. Cuando un método está escrito de una forma y se realiza de otra, es una desviación al método no una modificación. Se deben validar todas las aplicaciones informáticas desarrolladas por el laboratorio sobre plataformas comerciales con fines específicos e impacto directo en la adquisición, almacenamiento, procesamiento, registro o informe de datos de ensayos o calibraciones. Esto incluye hojas de calculo, bases de datos, procesadores de texto, etc.

El mantenimiento de la integridad y confidencialidad de los datos en equipos informáticos puede estar dado por los niveles de acceso de las claves de usuario.

Son susceptibles de acreditación aquellos métodos que se realizan regularmente. Sin embargo bajo circunstancias especiales se pueden acreditar métodos que no se realizan frecuentemente. En tales casos el laboratorio debe presentar la evaluación del desempeño del método por lo menos en forma anual con el fin de demostrar su competencia técnica para realizarlo.

Son susceptibles de acreditación aquellos laboratorios de ensayo y/o calibración de nueva creación, aún cuando no hayan dado servicio al cliente, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Debe demostrar practica y documentalmente el conocimiento, experiencia y capacitación del personal involucrado en la realización de cada método o procedimiento técnico contenido en el alcance de la acreditación.
- b) Si el(los) resultado(s) del(los) método(s) depende(n) de la habilidad del personal, como es el caso de los métodos químicos analíticos, se debe:
  - Realizar por lo menos un ensayo de aptitud interno estadísticamente válido para cada uno de estos métodos o procedimientos técnicos contenidos en el alcance de la acreditación y
  - Realizar por lo menos tres ejercicios prácticos de ensayo o calibración completos (desde el registro del elemento de ensayo o calibración hasta la elaboración del informe de resultados o informe de calibración) para cada uno de estos métodos o procedimientos técnicos contenidos en el alcance de la acreditación.
- c) Si el(los) método(s) no requiere(n) una habilidad específica del personal se deben realizar por lo menos tres ejercicios prácticos de ensayo o calibración completos (desde el registro del elemento de ensayo o calibración hasta la elaboración del informe de resultados o informe de calibración) para cada uno de los métodos o procedimientos técnicos contenidos en el alcance de la acreditación.

## **Equipo [5.5]**

Asegura que el equipo utilizado para la realización de los ensayos/calibraciones cumple con las especificaciones requeridas que permitan asegurar la confianza en el mismo.

### ***Criterio:***

Si el SMA, utiliza equipo rentado debe haber registros de las inspecciones realizadas antes de su uso, para la verificación de daños o mal funcionamiento. Es responsabilidad del laboratorio asegurar que dicho equipo reciba el mismo trato en cuanto a verificaciones y/o calibraciones que el equipo propio del laboratorio antes, durante y al concluir el periodo de utilización, se deberán presentar los certificados de calibración correspondientes, así como los registros de verificación.

El equipo rentado debe estar integrado en todos los aspectos al sistema de calidad como si fuera un equipo propio, incluyendo la capacitación necesaria para su correcta operación.

En este caso el SMA deberá presentar documentación que avale la renta del equipo, tal como:

- Contrato de arrendamiento financiero con opción a compra.
- Contrato de arrendamiento puro por un periodo definido.
- Contrato de arrendamiento por un trabajo o proyecto determinado.

En todos los casos, éstos contratos deben incluir las condiciones en las que se renta el equipo en cuanto a instalación, calibración, verificación y mantenimiento del mismo y quien es el responsable de proveer dichos servicios. El laboratorio deberá evidenciar la forma en que se asegura de que se cumplan dichas condiciones.

Para las redes que utilicen equipo rentado, las evaluaciones de vigilancia se realizarán en sitio.

Para el caso del equipo propio y rentado, el SMA debe:

- a) Tener disponibles en los sitios donde se utilizan, los procedimientos vigentes para la operación [5.5.3], mantenimiento [5.5.3], almacenamiento [5.5.6], calibración [5.5.2] y verificación [5.5.10] del equipo.
- b) Establecer específicamente sobre que personal recae la responsabilidad del manejo, calibración y mantenimiento del equipo [5.5.3].

- c) Mantener registros del cumplimiento de los programas de calibración y mantenimiento de todo el equipo y cada elemento del mismo, dichos registros deben contener: fecha, el sitio donde se realizó la actividad, persona que lo realizó, así como los detalles de almacenamiento entre usos [5.5.5].
- d) Analizar el efecto que tiene la ausencia de los instrumentos, cuando son enviados a calibración
- e) externa, sobre la rutina normal de operación del laboratorio y tomar acciones al respecto [5.5.9].
- f) Realizar en sitio la calibración de los equipos que sean sensibles al movimiento, es decir en donde opera [5.5.2].
- g) Estar contenidas en los procedimientos de manejo de equipo, las precauciones a tomar para su manejo o traslado, en el caso de equipos o patrones sensibles al movimiento [5.5.6].
- h) Examinar los efectos sobre los ensayos o calibraciones realizadas anteriormente a la detección de un equipo fuera de especificaciones, desajustado o fuera de calibración, deben existir registros de aplicación de los procedimientos de control de trabajo de ensayo o calibración no conforme, incluida la notificación a los clientes que sean afectados.

#### **Trazabilidad de la Medición [5.6]**

Tiene como objeto asegurar que la confiabilidad de los resultados de medición, expresada cuantitativamente por la incertidumbre asociada a ellos, se conozca en términos de la confiabilidad que poseen los patrones nacionales o internacionales de medición referidos como el origen de la trazabilidad para tales mediciones.

#### ***Criterio:***

No todos los equipos, o elementos del mismo, usados para realizar ensayos o calibraciones deben ser calibrados.

El SMA debe:

- a) Calibrar los equipos que tengan efecto significativo sobre la exactitud o validez de los resultados de ensayo o calibración [5.6.1].
- b) Justificar y documentar los periodos de calibración de los equipos críticos basado en la frecuencia de uso del equipo y mediante técnicas estadísticas [5.6.1]. En los casos en los que el método de ensayo y/o calibración indique explícitamente estos periodos, sujetarse a los mismos.

- c) Tomar las medidas adecuadas para asegurar que el estado de calibración se mantiene cuando es necesario transportar patrones de referencia para su uso en sitio.
- d) Conocer y documentar el efecto de las condiciones ambientales u otros parámetros importantes, sobre los patrones de referencia.
- e) Cumplir con la “política referente a la trazabilidad e incertidumbre de mediciones” vigente, de la ema.

### **Aseguramiento de la Calidad de los Resultados de ensayo y Calibración [5.9]**

La intención es enfatizar la necesidad de asegurar que los resultados de ensayo y/o calibración informados son confiables desde un punto de vista técnico.

#### ***Criterio:***

El SMA debe:

- a) Adoptar un conjunto de procedimientos para el control de calidad de sus resultados de ensayo o calibración, adecuados al tipo de trabajo realizado y al número de analistas o técnicos que realizan los ensayos o calibraciones, para cada uno de los métodos o procedimientos técnicos incluidos en el alcance de la acreditación.
- b) Mantener registros del cumplimiento de los programas de calibración y mantenimiento de todo el equipo y cada elemento del mismo, dichos registros deben contener: fecha, el sitio donde se realizó la actividad, persona que lo realizó, así como los detalles de almacenamiento entre usos [5.5.5].
- c) Analizar el efecto que tiene la ausencia de los instrumentos, cuando son enviados a calibración externa, sobre la rutina normal de operación del laboratorio y tomar acciones al respecto [5.5.9].
- d) Realizar en sitio la calibración de los equipos que sean sensibles al movimiento, es decir en donde opera [5.5.2].
- e) Estar contenidas en los procedimientos de manejo de equipo, las precauciones a tomar para su manejo o traslado, en el caso de equipos o patrones sensibles al movimiento [5.5.6].
- f) Examinar los efectos sobre los ensayos o calibraciones realizadas anteriormente a la detección de un equipo fuera de especificaciones, desajustado o fuera de calibración, deben existir registros de aplicación de los procedimientos de control de trabajo de ensayo o calibración no conforme, incluida la notificación a los clientes que sean afectados.

### **Trazabilidad de la Medición [5.6]**

Asegura que la confiabilidad de los resultados de medición, expresada cuantitativamente por la incertidumbre asociada a ellos, se conozca en términos de la confiabilidad que poseen los patrones nacionales o internacionales de medición referidos como el origen de la trazabilidad para tales mediciones.

#### ***Criterio:***

No todos los equipos, o elementos del mismo, usados para realizar ensayos o calibraciones deben ser calibrados.

El SMA debe:

- a) Calibrar los equipos que tengan efecto significativo sobre la exactitud o validez de los resultados de ensayo o calibración [5.6.1].
- b) Justificar y documentar los periodos de calibración de los equipos críticos basado en la frecuencia de uso del equipo y mediante técnicas estadísticas [5.6.1]. En los casos en los que el método de ensayo y/o calibración indique explícitamente estos periodos, sujetarse a los mismos.
- c) Tomar las medidas adecuadas para asegurar que el estado de calibración se mantiene cuando es necesario transportar patrones de referencia para su uso en sitio.
- d) Conocer y documentar el efecto de las condiciones ambientales u otros parámetros importantes, sobre los patrones de referencia.
- e) Cumplir con la "política referente a la trazabilidad e incertidumbre de ediciones" vigente, de la ema.

### **Aseguramiento de la Calidad de los Resultados de ensayo y Calibración [5.9]**

Este enfatiza la necesidad de asegurar que los resultados de ensayo y/o calibración informados son confiables desde un punto de vista técnico.

#### ***Criterio:***



El SMA debe:

- a) Adoptar un conjunto de procedimientos para el control de calidad de sus resultados de ensayo o calibración, adecuados al tipo de trabajo realizado y al número de analistas o técnicos que realizan los ensayos o calibraciones, para cada uno de los métodos o procedimientos técnicos incluidos en el alcance de la acreditación.
- b) Mantener registros del cumplimiento de los programas de calibración y mantenimiento de todo el equipo y cada elemento del mismo, dichos registros deben contener: fecha, el sitio donde se realizó la actividad, persona que lo realizó, así como los detalles de almacenamiento entre usos [5.5.5].
- c) Analizar el efecto que tiene la ausencia de los instrumentos, cuando son enviados a calibración externa, sobre la rutina normal de operación del laboratorio y tomar acciones al respecto [5.5.9].
- d) Realizar en sitio la calibración de los equipos que sean sensibles al movimiento, es decir en donde opera [5.5.2].
- e) Estar contenidas en los procedimientos de manejo de equipo, las precauciones a tomar para su manejo o traslado, en el caso de equipos o patrones sensibles al movimiento [5.5.6].
- f) Examinar los efectos sobre los ensayos o calibraciones realizadas anteriormente a la detección de un equipo fuera de especificaciones, desajustado o fuera de calibración, deben existir registros de aplicación de los procedimientos de control de trabajo de ensayo o calibración no conforme, incluida la notificación a los clientes que sean afectados.

### **Trazabilidad de la Medición [5.6]**

Tiene la intención de asegurar que la confiabilidad de los resultados de medición, expresada cuantitativamente por la incertidumbre asociada a ellos, se conozca en términos de la confiabilidad que poseen los patrones nacionales o internacionales de medición referidos como el origen de la trazabilidad para tales mediciones.

#### ***Criterio:***

No todos los equipos, o elementos del mismo, usados para realizar ensayos o calibraciones deben ser calibrados.

El SMA debe:

- a) Calibrar los equipos que tengan efecto significativo sobre la exactitud o validez de los resultados de ensayo o calibración [5.6.1].
- b) Justificar y documentar los periodos de calibración de los equipos críticos basado en la frecuencia de uso del equipo y mediante técnicas estadísticas [5.6.1]. En los casos en los que el método de ensayo y/o calibración indique explícitamente estos periodos, sujetarse a los mismos.
- c) Tomar las medidas adecuadas para asegurar que el estado de calibración se mantiene cuando es necesario transportar patrones de referencia para su uso en sitio.
- d) Conocer y documentar el efecto de las condiciones ambientales u otros parámetros importantes, sobre los patrones de referencia.
- e) Cumplir con la “política referente a la trazabilidad e incertidumbre de mediciones” vigente, de la ema.

#### **Aseguramiento de la Calidad de los Resultados de ensayo y Calibración [5.9]**

Enfatiza la necesidad de asegurar que los resultados de ensayo y/o calibración informados son confiables desde un punto de vista técnico.

#### ***Criterio:***

El SMA debe:

- a) Adoptar un conjunto de procedimientos para el control de calidad de sus resultados de ensayo o calibración, adecuados al tipo de trabajo realizado y al número de analistas o técnicos que realizan los ensayos o calibraciones, para cada uno de los métodos o procedimientos técnicos incluidos en el alcance de la acreditación.
- b) Cumplir con la “política referente a ensayos de aptitud para laboratorios acreditados o por acreditarse” vigente, de la ema. El hecho de que no existan
- c) programas de ensayos de aptitud en algunas áreas técnicas por parte de ema, no implica que el laboratorio no deba cumplir con este punto [5.9 b)].
- d) Realizar esquemas ensayos de aptitud internos.
- e) Aplicar mas de una forma de control de calidad para supervisar la validez de los resultados de ensayo o calibración.

- f) Analizar cuidadosamente los controles requeridos cuando se desarrollen o implanten métodos nuevos. Esto se debería documentar como parte del plan de aseguramiento de calidad de dichos ensayos o calibraciones.
- g) Asegurar que el control de calidad aplicado a los métodos de ensayo o calibración, es suficiente para asegurar la calidad de los resultados de ensayo o calibración. Algunos de los procedimientos de control de calidad que se utilizan comúnmente son:

- Uso periódico y programado de materiales de referencia y otros materiales de características conocidas durante la realización de los métodos de ensayo.

Si se realiza esta práctica de forma rutinaria permite el uso de cartas control y dar seguimiento a los niveles de precisión y exactitud alcanzados por el laboratorio en la realización de los métodos.

- Repeticiones regulares del ensayo o calibración a la misma muestra, realizadas por el mismo analista o técnico (pruebas de repetibilidad).

Esto permite conocer y dar seguimiento a la repetibilidad lograda por cada analista o técnico en el laboratorio.

- Repeticiones periódicas del ensayo o calibración en elementos de ensayo o calibración retenidos, realizadas por dos o más analistas o técnicos.

Esto permite conocer la precisión entre analistas o técnicos en un determinado método de ensayo o calibración, así como identificar desviaciones significativas en los resultados de un analista o técnico en particular.

- Realización de ensayos de la misma muestra en forma programada, por diferentes métodos de ensayo o calibración o dos diferentes muestras probadas en el mismo equipo.

Para calibración, el mismo elemento de calibración puede ser calibrado con diferentes instrumentos o usando métodos diferentes. Esto permite identificar desviaciones en los resultados de ensayo o calibración derivadas del método o de los equipos utilizados por el laboratorio.

- Registro y monitoreo de resultados de ensayo o calibración obtenidos por clientes o proveedores del laboratorio sobre la misma muestra.

Esto permite, teniendo suficientes datos, el uso de cartas control para conocer y dar seguimiento del nivel de precisión de los resultados entre los laboratorios involucrados. Los datos obtenidos pueden ser comparados con datos de reproducibilidad publicados para el método en particular, si están disponibles, siempre y cuando los dos laboratorios utilicen el mismo método.

- Participación en programas de ensayos de aptitud u otras formas de comparaciones interlaboratorios.

Esto permite que el laboratorio compare su desempeño con los laboratorios participantes que realizan los mismos métodos de ensayo o calibración. Esta práctica provee un mecanismo de alerta para detectar fallas en los métodos o técnicas utilizadas, en los analistas del laboratorios o en los equipos utilizados, que no sería posible conocer por otros medios. También provee una forma de conocer la reproducibilidad de métodos de ensayo o calibración específicos.

### **5.3 EJEMPLOS DE PROCEDIMIENTOS DE AUDITORÍA DE FUNCIONAMIENTO**

A continuación se presenta ejemplos de procedimientos auditoría de funcionamiento, tomados del manual de procedimientos de auditoría para el monitoreo de la calidad del aire de California Air Resources Board. CARB (2003).

Estado de California  
Volumen V  
Manual de Procedimientos de Auditoría para el Monitoreo de la Calidad del Aire  
Apéndice A

#### **PROCEDIMIENTOS DE AUDITORIA DE ANALIZADORES USANDO CILINDROS DE GASES DE CALIBRACIÓN CERTIFICADOS.**

##### **A.1.0 PROCEDIMIENTO**

###### **A.1.0.1 – Introducción**

*Los auditores emplean cilindros de gas comprimidos de aire ultra puro y de mezclas gases certificados Trazables de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos totales (THC), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxido nítrico (NO), y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).*

*En ambos casos el empleo de dichas cargas de gas comprimido pueden usarse hasta que la presión del cilindro sea 500 psig. Usando un panel capilar de flujo controlado con un medidor de flujo by pass, los auditores alimentan el gas a la línea de entrada del analizador.*

*Este procedimiento asegura que el gas certificado es muestreado de la misma forma que el aire ambiente. Ciertos analizadores de CO pueden tener bombas de vacío apagadas debido a los a altas tasas de flujo; sin embargo, el gas de referencia todavía debe alimentarse a través del tren de la muestra normal. Normalmente, se corren el cero y cuatro puntos de concentración cubriendo el rango total de operación del analizador (ver El Registro Federal 40 CFR Part 58 Apéndice a o Volumen 1 de este Manual).*

*La respuesta de este analizador, corregido por el desplazamiento del cero y los factores de calibración, es comparada con la concentración de referencia en cada punto para calcular las estadísticas de exactitud de datos.*

*Las regulaciones de EPA relacionada con la vigilancia y forma de reporte, requieren que los resultados de la auditoría sean calculados para representar la exactitud de cada analizador individual.*

*Trimestralmente y anualmente, se usan las exactitudes del analizador individual para determinar la estimación de exactitud de datos de la organización. El volumen 1 de este*

manual contiene de forma detallada los procedimientos para preparar los cálculos y los informes.

#### **A.1.0.2 Inspección**

(Preauditoría) - Es necesario, dirigir una inspección de preauditoría de los sitios de monitoreo. El reporte de la inspección de preauditoría deben anotarse las necesidades de equipo especial.

#### **A.1.0.3 Equipo.**

El equipo básico requerido para la ejecución de las auditorías se lista a continuación. Pueden requerirse otros equipos dependiendo en los requisitos particulares de un sitio o analizador.

1. El panel de control de flujo se diseñó para liberar las concentraciones de gas comprimido a los analizadores en la misma forma como las muestras de aire ambiente.
2. Los cilindros de gases certificados necesarios para alcanzar los rangos de la EPA (ver los 40 CFR Part de EPA 58, Apéndice A o Volumen I de este manual). La frecuencia mínima de ensayo de los estándares de gas comprimido deben ser:
  - a. Tres ensayos del cilindro (dos antes de la auditoría y uno después de la auditoría) se requieren para determinar el valor medio de concentración del gas de calibración.
  - b. Al cilindro de aire ultra puro se requiere un ensayo antes de la auditoría comparándolo contra el aire cero del laboratorio de aire.
3. Los Reguladores, líneas y conectores de Teflón \*, específicos para cada contaminante.
4. El siguiente equipo de pruebas con las frecuencias de la calibración recomendadas conocida o excedidas en las guías de la EPA, las cuales son:
  - a. El voltímetro digital con el adaptador del A/C puntas prueba.
  - b. Un termómetro de precisión NBS certificado.
  - c. Un medidor de Volumen o flujo (0 a 3 litros), o equivalente.
5. Bitácora de auditoría y los formatos.
6. Un juego de herramientas.
7. Repuestos y accesorios(conectores de SS, líneas de Teflón, etc.).

#### **A.1.0.4 Bitácora y formatos –**

#### **A.1.0.5 El montaje del equipo**

1. Prepare el panel de flujo de control. Seleccione e instale el capilar apropiado proporcionando aproximadamente 1.2 veces la demanda de flujo de analizador.

2. Conecte el regulador de presión de CGA 590 a los cilindros de aire de ultrapuro. Conecte el cilindro aire ultrapuro al panel de control de flujo.

3. Conecte el voltímetro digital en paralelo a la señal de salida del analizador. Si es posible, use el eliminador de CA del voltímetro para conservar la batería.

4. Si un analizador tiene su línea conectada al múltiple, desconecte la línea de entrada de la muestra del analizador del puerto del múltiple. Conecte la línea de auditoría al puerto de entrada del analizador. Tape la apertura del múltiple para prevenir la entrada de aire en al múltiple. Varios analizadores pueden ser auditados al mismo tiempo.

5. Si un analizador recibe toma su muestra directamente por una línea independiente, desconecte la entrada del analizador y conecte la línea de auditoría directamente al puerto de entrada muestra del analizador..

#### A.1.0.6 Procedimiento de Auditoría

1. Conecte el dispositivo de medición de flujo calibrado (Vol-o-Flo) a la línea de muestra de entrada del analizador a ser auditado. Determine y registre la tasa de flujo de muestreo en el formato de reporte preliminar de la auditoría.

2. Desconecte el Vol-o-Flo y conecte la línea de la entrada al panel de control de flujo al puerto de entrada del analizador usando la segunda etapa del regulador del cilindro de aire cero, ajuste la presión hasta que el flujo observado en el medidor de flujo del bypass del panel de control sea de aproximadamente 100 sccm.

**PRECAUCIÓN:** Aún cuando el flujo indicado medidor de flujo del bypass sea el deseado podrían existir fugas corriente abajo. Por consiguiente, siempre asegúrese todas las líneas y conexiones se encuentren libres de fugas antes de iniciar la auditoría. Permita que la respuesta de salida del analizador al menos 10 minutos. El personal del SMA auditado determinará cuando considere que la respuesta es estable y le proporcionará el valor de concentración del gas de auditoría registrado por el analizador. Registrar los valores reportados por el miembro del equipo de monitoreo de aire y la lectura digital del voltímetro en el libro de auditoría en un formato de auditoría de reporte preliminar.

3. Desconecte el cilindro de aire ultra puro del panel de flujo y el aire cero de la línea de la entrada del analizador. Conecte la línea de gas de concentraciones certificadas de contaminante proveniente del panel a la entrada de muestra del analizador. Coloque el regulador de presión al cilindro de auditoría auditado de mayor concentración. Conecte el cilindro auditado a la entrada correcta del panel de control de flujo. Las entradas y las líneas de muestreo son marcadas para identificar el contaminante usado en cada canal. No cambie reguladores, las líneas de muestra, los capilares de los flujómetros durante las pruebas de lectura de los contaminantes. Verifique que la presión del cilindro sea 500 psi. Ajuste la presión del regulador hasta alcanzar un flujo de aproximadamente 100 sccm en el medidor del flujo. Después el miembro del staff del SMA aire determine que la respuesta del analizador es estable, registre los valores reportados y las lecturas del voltímetro digital en la libreta de auditoría y en formato del reporte preliminar de auditoría.

4. Repetir el paso 3 con otras concentraciones certificadas de gas como lo requiere la EPA.

5. *Desconecte el gas de auditoría de la de la entrada y reconecte la línea de muestra al múltiple. Verifique que cada todas las válvulas de los reguladores de los cilindros de auditoría estén completamente cerradas.*

6. *Retire el equipo del sitio verificando contra el inventario del equipo utilizado.*

#### *A.1.0.7 Manejo de datos*

1. *Capture los datos la bitácora de auditoría en la hoja de calculo de Reporte de exactitud de un analizador continuo individual y calcule las estadísticas de auditoría.*

2. *Después de que los resultados son calculados, haga una revisión independiente de los cálculos.*

3. *Envíe copias del reporte de exactitud del Analizador Continuo a la coordinación de aseguramiento de calidad ARB después de la realización de la auditoría.*

Notar que en el reporte que los resultados son preliminares. Después el reporte final es completado, archive una copia del reporte de exactitud en el archivo de ARB-QA.



**Ejemplo: Procedimiento de auditoría de Funcionamiento para Analizadores de Ozono con un estándar de transferencia de ozono API 401.**

## **PROCEDIMIENTO DE AUDITORIA PARA ANALIZADORES DE OZONO**

### **C.1.1 INTRODUCCIÓN**

*Las auditorías de Ozono son usadas para validar los datos de concentración colectados en las estaciones de monitoreo. Dentro de las prácticas de Aseguramiento de Calidad de la CARB, se emplean comúnmente dos métodos para realizar auditorías de funcionamiento.*

*En el primer método, un arreglo conformado por un calibrador de gases Environics 9100S es usado como fuente de generación de O<sub>3</sub> y un analizador de Ozono API 400 es utilizado como estándar de transferencia para auditar los analizadores de las estaciones de monitoreo. El camión de Auditoría de CARB es trasladado a la estación de monitoreo. El estándar de transferencia de ozono es usado para generar concentraciones de ozono conocidas en los rangos de auditoría requeridos por EPA. Esta concentración de ozono es entonces introducida a la sonda de entrada de la estación. La respuesta del analizador de la estación a dicha concentración es comparada contra la obtenida por el analizador API 400 y la diferencia en porcentaje es calculada.*

*En el segundo método, un estándar de transferencia de ozono portátil API 401 es transportado a la estación. Este es el procedimiento se explica a continuación para la auditoría de los analizadores de ozono.*

*En el caso de que el calibrador de gases Environics 9100 no se pueda usar como fuente de generación de Ozono y el analizador API 400 como estándar de transferencia de ozono para el analizador de O<sub>3</sub> del sitio, será necesario realizar la auditoría usando un estándar de transferencia de O<sub>3</sub> portátil. En este caso el estándar de transferencia se traslada a la estación y se conecta el analizador de la estación (huésped). Las respuestas de salida del estándar son entonces comparadas contra las obtenidas durante la auditoría por el analizador de la estación. Del análisis de los resultados la diferencia en porcentaje es calculada y el reporte de auditoría emitido.*

*Los estándares de transferencia son certificados trimestralmente por el Laboratorio de Estándares de CARB, usando un Fotómetro Primario verificado por EPA.*

*Este procedimiento describe el método a través del uso de un estándar de transferencia portátil.*

### **C1.1.2 EQUIPO DE AUDITORÍA**

Para la ejecución de la auditoría usando el estándar de transferencia de ozono API 401 se requieren los siguientes equipos y materiales:

- Estándar de transferencia de ozono API 401 con certificación vigente.
  - Dos tramos de manguera de PTFE de diámetro ¼". Uno de 1.5 m y otro de 7.0 m.
1. conectar el estándar de transferencia de ozono API 4001 a 110 VCA y permitir un mínimo de una hora para calentarse antes de empezar la auditoría. El estándar de transferencia puede ser calentado en el trayecto al sitio de la auditoría.
  2. Mientras el estándar de transferencia es calentado, llenar el formato correspondiente de este equipo (Ver figura. A)
  3. Después de una hora de haberse calentado, conectar el estándar de transferencia al analizador huésped (auditado) de la siguiente manera:
    - a) Desconectar la línea de entrada de muestra, del puerto de entrada de la muestra del analizador a prueba de la estación (analizador huésped)
    - b) Conectar un extremo de la línea de Teflón de 5 pies al primer Puerto abierto del "IZS Vent" del estándar de transferencia. Conectar el otro extremo de la línea de 5 pies al puerto de entrada de la muestra del analizador a prueba.
    - c) Conectar un extremo de la línea de teflón de 20 pies al puerto central del estándar de transferencia "IZS Vent". Dejar que el otro extremo de 20 pies permanezca desconectado para ventear el exceso de flujo destape el tercer puerto del estándar de transferencia.
  4. Una vez que el arreglo se ha completado, empezar la auditoría presionando el botón localizado bajo "ZERO" en el estándar de transferencia. La bomba será encendida y habrá un flujo de salida de 5.0 lpm.. Continué de la siguiente manera;

*Nota: El exceso de flujo puede ser medido a través de la conexión abierta del extremo de 20 pies de la línea de Teflón a el medidor Vol-o-Flo de 10 lpm. El API 4001 genera 5 lpm de flujo todo el tiempo, así que el exceso de flujo debe ser igual al total de flujo menos el flujo requerido por el analizador en prueba.*

- a) Permita que el zero se estabilice al menos 15 min.
- b) Después de transcurridos 20 min , registre el zero de respuesta del estándar de transferencia y la del analizador en prueba en punto 1 del formato de Auditoría.

- c) *Presione el botón localizado bajo "O3GN" (o "CONC" modelo 4001X) en el frente del panel del desplegado en el estándar de transferencia . Presione el segundo botón de la izquierda hasta alcanzar un valor de 4. Después, presione el tercer botón de la línea izquierda hasta 0 desplegado. Entonces, presione el cuarto botón hasta un cero desplegado. Este desplegado debe leer ahora 0400. Presione "ENTER"*
- d) *Deje este punto a estabilizar. Esto puede tomar de 15 min a media hora. Cuando el estándar de transferencia y el analizador secundario se estabilicen, registre sus lecturas de respuesta en el formato de auditoria del punto 2.*

*Nota: mientras el estándar de transferencia es calentado, complete la sección de la información del instrumento en el formato del estándar de transferencia portátil.*

- e) *Presionar el botón bajo "O3GN" (o "CONC), y el desplegado debe leer 0400. Presionar los botones correspondientes, como en "c" , hasta que 0175 sea desplegado. Presionar ENTER.*
- f) *Nuevamente, permita que los dos instrumentos logren estabilizarse (de 15 a 30 min).y registre las lecturas de concentración desplegadas por cada uno en Punto 3 del el formato de Auditoria. .*
- g) *Presionar el botón localizado bajo "O3GN" (o "CONC") 0175 hasta que todavía este desplegado. Presionar los correspondiente botones, como "c", hasta 0070 sea desplegado. Presionar ENTER.*
- h) *Después de que el estándar de transferencia y el analizador secundario hayan sido estabilizados (de 15 a 30 min) registrar sus respuestas en le formato de Auditoria del Punto 4.*
- i) *Presionar el botón localizado bajo ZERO en el estándar de transferencia. Después el estándar de transferencia y el analizador secundario hayan sido estabilizados (de 15 a 30 min) registrar sus respuestas en le formato de Auditoria del Punto 5.*
- j) *Regresar el analizador auditado a la condición normal de operación desconectando la manguera de 5 pies del puerto de muestra y reconectando su línea de muestra normal.*
- k) *Apague el estándar de transferencia, y desconcte las mangueras de 5 y 20 pies. Empaque y asegure y el estándar de transferencia en la VAN.*

*5, La auditoria es completa, y la información puede ser registrada en la computadora Imprima un reporte preliminar en dos copias.*

#### C.1.4 CERTIFICACIÓN

Los estándares de transferencia de ozono son entregadas a el laboratorio de Estándares trimestralmente para la recertificación. Los estándares de transferencia son certificados con la EPA.

Fig. A

**FORMATO DE AUDITORIA PAA EL ESTÁNDAR PORTÁTIL DE TRANSFERENCIA DE OZONO**

Nombre del Sitio \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Numero del Sitio \_\_\_\_\_ Auditores \_\_\_\_\_

Van ( )  
 Cuarte: 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( )      Versión Estándar \_\_\_\_\_ Year \_\_\_\_\_

<b>RESPUESTAS DE OZONO</b>					
<b>PUNTO DE AUDITORIA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<i>Estándar de Transferencia de Ozono</i>	0	400	175	70	0
<i>Lectura del desplegado del API 401</i>					
<i>Lectura del anlaizador secundario</i>					

<b>INFORMACIÓN DEL INSTRUMENTO DE LA ESTACIÓN</b>	
<i>Fabricante</i>	
<i>Modelo</i>	
<i>Numero de propiedad</i>	
<i>Fecha de la última calibración.</i>	
<i>Num Equiv. EPA</i>	
<i>Pendiente/intercep.</i>	
<i>Flujo indicado</i>	
<i>Cambio de filtro dentro de línea</i>	
<i>Fecha de Certificación</i>	

## **Ejemplo de auditoría de funcionamiento de Muestreadores PM10.**

### **PROCEDIMIENTO GENERAL DE FLUJOS DE MUESTREADORES DE ALTO VOLUMEN PARA PM10**

#### **I. 1. 0.1 PROCEDIMIENTO DE AUDITORIA**

*La meta principal de un programa de auditoría es identificar errores en el sistema que puedan resultar en datos inválidos o sospechosos. La eficiencia absoluta del sistema de monitoreo (Trabajo de entrada vs. Datos validados de salida), depende de la aplicación efectiva de procedimientos de aseguramiento de calidad. Esta evaluación real de la exactitud y eficiencia del sistema de medición de partículas de alto volumen (Hi-Vol) pueden solamente lograrse a partir de efectúa una auditoría conforme a las los siguientes directrices:*

- A. Sin una preparación especial o ajuste del sistema que va a ser auditado.*
- B. A través de un conocimiento individual de los procesos o instrumentos evaluados, pero no el operador de rutina.*
- C. Con el empleo de Estándares de transferencia trazables (NIST) que son completamente independientes a los usados en la rutinas de calibración.*
- D. Con la documentación completa de datos de la auditoría enviada por el operador del organismo auditado. Incluyendo la información , pero no limitada a, tipos de instrumentos y estándares de transferencia auditados, modelos y números de series, transferencia de estándares trazabilidad, información de calibración y datos colectados en la auditoría.*

*Un observador independiente esté presente, preferentemente el operador del en la rutina del equipo muestreador. Esta practica no solo contribuye a la integridad de la auditoría, sino también permite al operador ofrezca cualquier explicación e información que pueda ayudar al auditor a determinar la causa de las discrepancias entre los datos medidos y la respuesta del equipo muestreador.*

#### **I.1.0.2 ADITORIAS DEL FUNCIONAMIENTO A MUETREADORES DE PM<sub>10</sub> DE ALTOS VOLUMENES DE FLUJO DE MASA Y DE FLUJO VOLUMÉTRICO CONTROLADO.**

*Los procedimientos de auditoría proporcionados aquí son específicos para los muestreadores Hi-Vol de PM<sub>10</sub> que están equipados con entradas fraccionadas que requieren una tasa de flujo actual de 1.13 m<sup>3</sup>/min (40.0 CFM). Las técnicas de auditoría pueden variar entre los diferentes modelos o muestreadores por la diferencia en los rangos de flujo requeridos, dispositivos de control de flujo,*

opciones utilizadas (es decir, los registros de flujo continuo), y la configuración de los muestreadores. En esta sub sección, se asumen las siguientes condiciones:

- A. El muestreador de flujo masa controlado utiliza un sensor de flujo para ajustar la tasa de flujo controlando la salida del motor y esta usualmente equipado con un registrador de flujo. El muestreador volumétrico de flujo controlado utiliza un orificio crítico de flujo para el control de flujo controlado y es no equipado con un registrador de flujo, aunque esa opción es disponible.
- B. La entrada del muestreador esta diseñada para operar a un rango de flujo volumétrico de 1.13 m<sup>3</sup>/min (40.0 CFM) a condiciones actuales; el rango aceptable de fluctuación de flujo es  $\pm 10\%$  de ese valor conforme a las especificaciones del fabricante. En algunos casos el rango de flujo actual debe ser corregido en relación a la elevación del sitio. Si el muestreador es volumétrico de flujo controlado y operado por ARB.
- C. El estándar de transferencia certificado que se usa para la auditoría es un calibrador de orificio a variable marca BGI con manómetro tipo U. Este equipo es trazable a NIST y se certifica trimestralmente con la desviación estándar dentro de 1.5 % entre las dos últimas certificaciones.
- D. La relación de calibración para calibrador de orificio variable (auditor) es expresada en términos del rango de flujo volumétrico verdadero (Qc) como son indicadas por el equipo; estas unidades están en ft<sup>3</sup>/min [pies cúbicos por minuto (CFM)].
- E. Ejemplos de muestreadores usados para medición de partículas son proporcionados en las figuras. Las diferencias en equipo y teoría para cada muestreador se muestran en los diagramas. Los procedimientos de auditoría de funcionamiento de los para los muestreadores varia debido a las diferencias en formas de operación.

### 1.1.0.3 FUNCIONAMIENTO DE PROCEDIMIENTOS DE AUDITORÍA – MUESTREADORES DE FLUJOS DE MASA CONTROLADO (MFC).

El auditor debe apegarse a los siguientes procedimientos durante una auditoría de el muestreador MFC:

- A. Colecte el equipo siguiente y transporte a la estación de monitoreo:
  - 1. Un dispositivo de orificio variable certificado (NIST trazable) con el reporte certificado mas reciente.
  - 2. Un manómetro tipo U con un rango de 0 – 20” H<sub>2</sub>O y una división mínima de escala de lo menos 0.2” H<sub>2</sub>O.

3. *Un dispositivo de medición de temperatura (es decir, termómetro, termómetro digital o termopar) capaz de medir exactamente la temperatura por encima del rango de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una exactitud de cerca de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Debe ser trazable a NIST o ASTM y verificado. El termómetro debe estar dentro de  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  respecto a la revisión anual.*
4. *Un barómetro capaz de medir exactamente presiones ambiente lo mas cerca de un milímetro de mercurio (mmHg) en el rango de 500 a 800 mm Hg. El barómetro debe ser referenciado dentro  $\pm 5\text{ mmHg}$  de un barómetro trazable a NIST por lo menos una vez al año.*
5. *Q.A. Formato de auditoría.*
6. *Cartas de Registro de Flujo, filtros limpios y herramientas de mano.*

*NOTA: El operador del sitio es responsable por proveer la relación de la calibración de los muestreadores (curva o factor de calibración) para las subsiguiente determinación de la tasa de flujo actual del muestreador de MFC. (Qa).*

*B. En la parte posterior de la carta de flujo nueva, registra los parámetros listados abajo e instale la carta en el registrador.*

1. *Número ID del muestreador.*
2. *Nombre del sitio*
3. *Fecha*
4. *Iniciales del auditor.*

*NOTA: Use una carta equivalente al tipo de cartas usada por el operador del sitio para eliminar el error debido al diferente formato impreso de cada fabricante. Si el muestreador de MFC fue calibrado usando papel de función cuadrática, la auditoría debe conducirse con una carta de registro similar. Observe el ajuste del registro del cero. Pregunte al operador si normalmente ajusta a cero como parte de la rutina de cada semana, si lo hacen solicite que ellos ajusten la plumilla para indicar el cero.*

*C. Instale un filtro limpio en el HV PM10. No use un porta filtro, ponga el filtro directamente en la malla del muestreador.*

*D. Instale el calibrador de orificio variable en al muestreador para auditoría. No restrinja la tasa de flujo a través de la unidad de orificio. (p.e, usando platos perforados o cerrando la válvula). Use un orificio sin restricción. Apriete las tuercas de la placa adaptadora en forma alterna (esquinas) para prevenir fugas y apriete al tope cada tuerca para no dañar o deformar el empaque. Asegúrese que el empaque de la unidad de orificio quede correctamente asentado y no obstruirá el patrón de flujo en el interior del orificio.*

*E. Revise que la unidad de orificio para auditoría indica el cero correctamente y ajuste si es necesario.*

F. Encienda el interruptor de muestreador y permita que alcance la temperatura de operación (5 minutos).

G. Observe y registre los siguientes parámetros en la formato de la auditoría QA:

1. Nombre del sitio, fecha de la auditoría y número del sitio
2. Altitud, auditores, agencia y técnicos
3. Muestreador, modelo, número ID y fecha de la última calibración.
4. # de Orificio ARB, auditoría trimestral y año
5. Temperatura ambiente ( $T_a$ ) en grados Centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ )
6. Presión ambiente barométrica ( $P_a$ ) en mm Hg
7. Condiciones inusuales de clima

H. Cuando el muestreador ha alcanzado la temperatura de operación, leer la presión diferencial en el manómetro y registre como  $\Delta P$  en la formato de la auditoría.

I. Invite al operador a leer la lectura correspondiente de flujo en la carta y registre el valor en el formato de auditoría como flujo indicado del muestreador ( $Q_{ind}$ ).

NOTA: Cerciórese que el operador levante la plumilla del registrador antes de leer la carta. Esto asegura una lectura real.

J. Apague el muestreador hasta que se encuentre en cero y repita los pasos H y I, de I.1.0.3, dos veces mas para efectuar un total de tres observaciones, Registre las respuestas del dispositivo y muestreador auditado para cada paso en el formato de auditoría.

K. Verifique que el controlador de flujo y el motor estén operando apropiadamente. Pruebe el muestreador con un filtro en el lugar y marque la carta de flujo. Sin apagar el muestreador, cierre parcialmente la válvula del la unidad de orificio y verifique que el flujo cae y vuelve al punto de funcionamiento original dentro de varios minutos. Después sin apagar el motor, abra de nuevo la válvula y revise otra vez para esta condición y verifique que el flujo retorne al punto de operación original. Si el control de flujo y motor no responden a este tipo de pruebas, entonces una prueba con doble filtro es conducida. Esto se logra por la adición y remoción de un segundo filtro encima del filtro original. Revise nuevamente la respuesta correcta de compensación de flujo y registre la información en el formato de auditoría de AC.

L. Apague el muestreador y remueva el orificio auditado.

M. Verifique las que las lecturas correctas del dispositivo de auditoría y del muestreador se hayan registrado en el formato de auditoría.

N. Solicite al operador que calcule la tasa de flujo estándar ( $Q_{std}$ ) del muestreador conforme a la relación de la calibración y registre el valor en el formato de auditoría.



O. Si la tasa flujo estándar es  $Q_{std}$ , convierta  $Q_{std}$  a  $Q_a$  (flujo actual) usando la ecuación 1:

$$(Ec.1) \quad Q_a = Q_{std} \times 760 / P_a \times T_a / 298.15$$

Donde:

$Q_a$  = Tasa de flujo actual del muestreador

$Q_{std}$  = Tasa de flujo estándar del muestreador

$T_a$  = temperatura ambiente, °K (°K = °C + 273.15)

$P_a$  = Presión barométrica ambiente, mm Hg

NOTA: Las subsecciones O a R son generadas como un resultado de la entrada de datos en la computadora Compaq. Estos cálculos son proporcionados para mostrar el método usado para generar el por ciento de diferencia.

P. Determine el rango de flujo verdadero manejado a través de la unidad de orificio (estándar de transferencia) usando la ecuación 2.

$$Q_c = m \sqrt{[\Delta P(H_2O) (T_a/P_a)]} \quad (Ec.2)$$

Donde :

$Q_c$  = rango de flujo volumétrico verdadero como es indicado por el orificio de auditoría,  $ft^3/min.$  (CFM).

$\Delta P(H_2O)$  = caída de presión a través del orificio, en pulgadas de agua (H<sub>2</sub>O)

$T_a$  = temperatura ambiente, °K (°K = °C + 273.15)

$P_a$  = Presión barométrica ambiente, mm Hg

$m$  = Pendiente de la relación (curva) de calibración de la unidad orificio de auditoría.

\*NOTA: La relación del orificio de calibración es igual a el que la EPA usa de pendiente e interceptación en el Manual de Aseguramiento de Calidad.

Q. Determine el porcentaje de diferencia entre la tasa de actual del muestreador y la tasa de flujo del orificio de auditoría usando la ecuación 3:

$$\text{Diferencia \%} = [O_a - O_c] / Q_c \times 100 \quad (Eq. 3)$$

NOTA: Si la desviación excede  $\pm 7\%$  requerirán recalibración. Desviaciones excediendo  $\pm 10\%$  requiere una solicitud de Acción de los Datos de Calidad del Aire (AQDA). Sobre la investigación la invalidación o corrección de todos los datos desde la pasada calibración o la fecha conocida de cambio a ser determinada por el SMA.

R. *Determine el porcentaje de diferencia entre la tasa de flujo de entrada de diseño de 40.0 CFM y la tasa de flujo verdadero medida en la auditoría usando la ecuación 4:*

$$\text{Diferencia \%} = [O_c - 40.0] / 40.0 \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

NOTA: *Si la desviación excede  $\pm 7\%$  requerirá una investigación. Desviaciones excediendo  $\pm 10\%$  requiere una solicitud de Acción de los Datos de Calidad del Aire (AQDA). Sobre la investigación la invalidación o corrección de todos los datos desde la pasada calibración o la fecha conocida de cambio a ser determinada por el SMA.*

S. *Genere el reporte preliminar de auditoría incorpore las lecturas registradas en el formato de auditoría dentro de la computadora. El reporte final se generará sobre la certificación final o el orificio variable BGI a el final del trimestre. Estos resultados serán enviados a el distrito.*

#### **I.1.0.4 PROCEDIMIENTOS DE AUDITORIA DE FUNCIONAMIENTO-MUESTRADOR DE FLUJO VOLUMÉTRICO CONTROLADO (VFC)**

*El auditor debe utilizar el siguiente procedimiento durante una auditoria de un muestreador VFC:*

- A *Colecte el equipo siguiente y transporte a la estación de monitoreo:*
- 1. Un dispositivo de orificio variable certificado (NIST trazable) con el reporte certificado mas reciente.*
  - 2. Un manómetro tipo U con un rango de 0 – 20" H<sub>2</sub>O y una división mínima de escala de lo menos 0.2" H<sub>2</sub>O.*
  - 3. Un dispositivo de medición de temperatura (es decir, termómetro, termómetro digital o termopar) capaz de medir exactamente la temperatura por encima del rango de –20 °C a + 60°C con una exactitud de cerca de 1°C. Debe ser trazable a NIST o ASTM y verificado. El termómetro debe estar dentro de  $\pm 2^\circ\text{C}$  respecto a la revisión anual.*
  - 4. Un barómetro capaz de medir exactamente presiones ambiente lo mas cerca de un milímetro de mercurio (mmHg) en el rango de 500 a 800 mm Hg. El barómetro debe ser referenciado dentro  $\pm 5$  mmHg de un barómetro trazable a NIST por lo menos una vez al año.*
  - 5. Q.A. Formato de auditoría (figura .A).*
  - 6. Cartas de Registro de Flujo, filtros limpios y herramientas de mano.*

NOTA: *El operador del sitio es responsable por proveer la relación de la calibración de los muestreadores (curva o factor de calibración) para las*

subsiguiente determinación de la tasa de flujo actual del muestreador de MFC. (Qa).

*B En la parte posterior de la carta de flujo nueva, registra los parámetros listados abajo e instale la carta en el registrador.*

- 1 Número ID del muestreador.*
- 2 Nombre del sitio*
- 3 Fecha*
- 4 Iniciales del auditor.*

*NOTA: Use una carta equivalente al tipo de cartas usada por el operador del sitio para eliminar el error debido al diferente formato impreso de cada fabricante. Si el muestreador de MFC fue calibrado usando papel de función cuadrática, la auditoría debe conducirse con una carta de registro similar. Observe el ajuste del registro del cero. Pregunte al operador si normalmente ajusta a cero como parte de la rutina de cada semana, si lo hacen solicite que ellos ajusten la plumilla para indicar el cero.*

*C. Instale un filtro limpio dentro de un portafiltro en el muestreador VFC.*

*D. Instale el calibrador de orificio variable en el muestreador para auditoría. No restrinja la tasa de flujo a través de la unidad de orificio. (p.e, usando platos perforados o cerrando la válvula). Use un orificio sin restricción. Apriete las tuercas de la placa adaptadora en forma alterna (esquinas) para prevenir fugas y apriete al tope cada tuerca para no dañar o deformar el empaque. Asegúrese que el empaque de la unidad de orificio quede correctamente asentado y no obstruirá el patrón de flujo en el interior del orificio.*

*E Revise que la unidad de orificio para auditoría indica el cero correctamente y ajuste si es necesario.*

*F Encienda el interruptor de muestreador y permita que alcance la temperatura de operación (5 minutos).*

*G. Observe y registre los siguientes parámetros en el formato Auditoría de Aseguramiento de Calidad .*

- 1. Nombre del sitio, fecha de la auditoría y número del sitio*
- 2. Altitud, auditores, agencia y técnicos*
- 3. Muestreador, modelo, número ID y fecha de la última calibración.*
- 4. # de Orificio ARB, auditoría trimestral y año*
- 5. Temperatura ambiente (Ta) en grados Centígrados (°C)*
- 6. Presión ambiente barométrica (Pa) en mm Hg*

## 7. Condiciones inusuales del clima

*H Cuando el muestreador ha alcanzado la temperatura de operación, leer la presión diferencial en el manómetro y registre como  $\Delta P$  en la formato de la auditoría.*

*I Invite al operador a leer la lectura correspondiente de flujo en la carta y registre el valor en el formato de auditoría como flujo indicado del muestreador ( $Q_{ind}$ ).*

*NOTA: Cerciórese que el operador levante la plumilla del registrador antes de leer la carta. Esto asegura una mejor lectura.*

*Si el muestreador no utiliza una carta de registro pida al operador que determine la tasa de flujo del muestreador usando el mismo método que usa durante la operación normal.*

*J. Apague el muestreador hasta que se encuentre en cero y repita los pasos H y I, de I.1.0.3, dos veces mas para efectuar un total de tres observaciones, Registre las respuestas del dispositivo y muestreador auditado para cada paso en el formato de auditoría*

*K Verifique las que las lecturas correctas del dispositivo de auditoría y del muestreador se hayan registrado en el formato de auditoría*

*L Solicite al operador que calcule la tasa de flujo estándar ( $Q_{std}$ ) del muestreador conforme a la relación de la calibración y registre el valor en el formato de auditoría.*

*M Si la tasa flujo estándar es  $Q_{std}$ , convierta  $Q_{std}$  a  $Q_a$  (flujo actual) como se indico en el inciso O de la sección anterior.*

*N Determine la tasa de flujo verdadero a través de la unidad de orificio de auditoría conforme a lo indicado en P de la sección anterior.*

*O. Determinar el porcentaje de diferencia entre la tasa actual de flujo del muestreador y la correspondiente al orificio de auditoría conforme a la ec 3 indicada en el inciso Q.*

*NOTA: Si la desviación excede  $\pm 7\%$  requerirán recalibración. Desviaciones excediendo  $\pm 10\%$  requiere una solicitud de Acción de los Datos de Calidad del Aire (AQDA). Sobre la investigación la invalidación o corrección de todos los datos desde la pasada calibración o la fecha conocida de cambio a ser determinada por el SMA.*

*P Determine el porcentaje de diferencia entre la tasa de flujo de entrada de diseño de 40.0 CFM y la tasa de flujo verdadero medida en la auditoría usando la ecuación 4 (ver R sección anterior)*

*NOTA: Si la desviación excede  $\pm 7\%$  requerirá una investigación. Desviaciones excediendo  $\pm 10\%$  requiere una solicitud de Acción de los Datos de Calidad del Aire (AQDA). Sobre la investigación la invalidación o corrección de todos los datos desde la pasada calibración o la fecha conocida de cambio a ser determinada por el SMA.*

*Q Genere el reporte preliminar de auditoría incorpore las lecturas registradas en el formato de auditoría dentro de la computadora (figura A). El reporte final se generará sobre la certificación final o el orificio variable BGI a el final del trimestre. Estos resultados serán enviados a el distrito.*

*I.1.0.4.1 ( no se incluye es prácticamente idéntica solo que se utiliza un manómetro como indicador de flujo)*

#### *I.1.0.5 REPORTE DE DATOS DE AUDITORIA*

*La entidad auditora debe de dar una copia preliminar de los resultados de la auditoría cuando la auditoría es completada. Los datos preliminares nunca deben ser usados para ajustes en el sistema de monitoreo. Una verificación post-auditoría del equipo auditado y de datos de la auditoría es esencial antes de que las interferencias puedan dibujar con respecto a el funcionamiento del muestreador. Un auditor debe poder soportar los datos trimestrales pre o post auditoría de la documentación y verificación de equipo.*

*Los datos finales verificados en la auditoría se deben someter a la agencia de operación cuanto antes. Retrasar puede dar lugar a la perdida de datos. Un muestreador fuera de los límites de auditoría está también fuera de los límites de calibración, y los datos colectados serán inválidos. Si un muestreador exhibe acuerdos insatisfactorios con los resultados de verificación de la auditoría ( las diferencias de la auditoría exceden los límites de control de ARB) una calibración se debe realizar inmediatamente (antes del siguiente día de funcionamiento).*

*NOTA: Las secciones del procedimiento antes mencionado fueron tomadas de las referencias "Método para la determinación de Material particulado en la Atmósfera como PM10".*

*Las diferencias de la intervención exceden los límites de control de ARB  
Los datos verificados finales de la intervención se deben someter a la agencia de funcionamiento cuanto antes*

*El auditor debe de seguir el siguiente procedimiento durante una auditoria del muestreador VFC.*

*A. Colectar el siguiente equipo y transportarlo a la estación de monitoreo*

*1.- Un certificado del instrumento de orificio variable con el más reciente reporte de certificación.*

*2. Un medidor de presión diferencial en un rango de 0-20" H<sub>2</sub>O y una escala mínima de al menos 0.2 " H<sub>2</sub>O*

*3.- Un aparato de medición de temperatura (por ejemplo termómetro) capaz de precisar una medición de temperatura en un rango de -20 C a +60 C y precisar a la más cerca de 1 C. Deber ser referenciado por la NIST o la ASTM y ser checada anualmente. El termómetro deber estar dentro de +/- 2C en un chequeo anual.*

*4. Un barómetro capaz de precisar la medición de la presión ambiental a el más cerca mmHg en un rango de 500 a 800 mmHg. El barómetro debe estar referenciado dentro de +/- 5 mmHg de la NIST, al menos anualmente.*

*5. Un formato AQ para la auditoria.*

*6. repuestos de registradores, filtros limpios y herramientas manuales.*

*Nota: el operador del sitio es responsable de proporcionar la información de la calibración del muestreador y si algún equipo es requerido (por ejemplo un manómetro de 0 a 8 mmHg) para determinar la tasa de flujo actual de la muestra.*

*B. Si la muestra utiliza un dispositivo de registrador, registrar los parámetros listados bajo la parte posterior de la caja limpia e instalar en le registrador*

*a. numero de identificación del muestreador*

*b. Nombre del sitio*

*c. fecha*

*d. iniciales del auditor*

*use la caja equivalente al tipo de caja usada por el operador del sitio para eliminar errores debido a la diferente marca en la caja impresa. Si el muestreador VFC fue calibrado usando una función de raíces cuadráticas, el auditor debe conducir una tabla similar de registro, Observe los registros de cero establecidos. Preguntar al operador si ellos normalmente ajustan el zero como parte de su rutina semanal. Si ellos lo hacen, la instrucción de ellos para ajustar el pen para indicar el verdadero zero.*

C. *Instalar un filtro limpio en el muestreador VFC.*

D. *Encender el muestreador y dejar que alcance la temperatura de operación (5 min)*

NOTA:

E. *Observe y registre los siguientes parámetros en el formato Auditoria de Aseguramiento de Calidad (fig. A)*

1.- *nombre del sitio, fecha del sitio y numero del sitio*

2.- *altitud, auditores, agencia y técnicos*

3.- *características del muestreador, modelo, numero de identificación y la ultima fecha de calibración*

4.- *Orifico ARB #, auditoria trimestral y anual*

5.- *Temperatura amb., grados centígrados*

6.- *presión barométrica, mmHg*

7.- *Condiciones inusuales del tiempo*

E. *Cuando el muestreador ha alcanzado la temperatura de operación, leer la presión a través de medido de presión diferencial en el dispositivo auditado y registrar como la presión en los formatos de auditorias.*

G. *Apagar el muestreador y remover el cassette del filtro. Instalar el dispositivo de orifico variable (el auditor) sobre el muestreador. Simultáneamente apriete la tuercas de la placa frontal sobre las equinas alternas para prevenir fugas y asegurar un ajuste uniforme. Los FITTINGS deben ser apretados con la mano , ya que mucha presión puede dañar la scaling gasket. Asegurarse que el orificio del GASKET este presente y que el orificio no este torcido en la placa frontal. Nota. No use un filtro cuando instale el equipo de auditoria.*

H. *Inspeccionar el dispositivo (orifico) que se utilizará como auditor para corregir el zero y ajustar si es necesario*

I. *Encender el muestreador. Ajuste el orifico variable hasta la presión de deflexión sobre el magnehelic del muestreador y registrar en el formato de registros.*

J. *Dejar que alcance su temperatura de operación (5 min). Verificar el magnehelic del muestreador para asegurar la presión de deflexión no haya sido cambiada. Reajuste el flujo para usar el orificio variable si es necesario.*

K. *Cuando el muestreador ha alcanzado la temperatura de operación, leer la presión a través de medido de presión diferencial en el dispositivo auditado y registrar como la presión en los formatos de auditorias.*

L. *Preguntar a el operador la lectura correspondiente a la respuesta registrada y registrar en los formatos de auditoria como la tasad de flujo indicada del muestreador (Qind).*

*M. Desconectar el muestreador hasta que el zero sea alcanzado y repetir los pasos H e I, de I.1.04, dos veces mas para un total de tres observaciones. Registrar el dispositivo de auditoria y las respuestas del muestreador para cada paso en le formato de auditoria.*

*N. Remover el dispositivo de auditoria. Verificar que el dispositivo correcto de auditoria y el registro del muestreador respondan, asi como que hayan sido escrito en le formato de registro.*

*O. Preguntar al operador para calcular la tasa de flujo estándar del muestreador (Qstd), tanto la determinación de la relación de la calibración y el registro en el formato de registro de auditoria.*

*P. si el Qstd, convierte a Qstd a Qa*

*Q. Determinar la verdadera tasa de flujo Qc, a través del orifico de transferencia estándar de auditoria.*

*R. Determinar el porcentaje entre la tasa actual de flujo del muestreador y la correspondiente medición de la tasa de flujo verdadera.*

**NOTA:**

*Las desviaciones que excedan +/- 7 % requerirá de recalibración. Las desviaciones que excedan +/- 10 % requerirán una Acción Correctiva de Aseguramiento de Calidad (AQDA) y en su caso, después de la investigación conducente, la anulación o la corrección de todos los datos generados a partir de la última calibración deberá ser efectuada.*

*S. Determinar la diferencia de porcentaje entre la tasa de flujo de diseño de entrada de 40 CFM y la tasa de flujo medida auditada verdadera.*

**NOTA:**

*Las desviaciones que excedan +/- 7 % requerirá de recalibración. Las desviaciones que excedan +/- 10 % ( o la tasa de flujo de diseño aceptable especificada por el fabricante) requerirán una Acción Correctiva de Aseguramiento de Calidad (AQDA) y en su caso, después de la investigación conducente, la anulación o la corrección de todos los datos generados a partir de la última calibración deberá ser efectuada.*

*T. Generar el reporte preliminar de auditoria registrando las respuestas en el formato de auditoria dentro la computadora. El reporte final será generado sobre las calibraciones finales del orifico variable BGI al final del trimestre.*



## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. CARB (2003). *Audit Procedures for Air Quality Monitoring*. State of California Air Resources Board, Monitoring and Laboratory Division. Vol V., February.
2. IMNC (2000). *Requisitos Generales para la Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración*. NMX-EC-17025-IMNC-2000, México.
3. *Ley Federal de Metrología y Normalización*. Diario Oficial del 01.07.1992
4. SEMARNAT (2001). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Diario Oficial del 31.12.2001.
5. SEMARNAT (2003). *Reglamento Interno de la SEMARNAT*. Diario Oficial del 21.1.2003.