

MAVDT

MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL



**PROTOCOLO
PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE**

PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE

Ministro del Medio Ambiente:
Dr. Juan Lozano

Director de Desarrollo Sectorial Sostenible:
Ing. Cesar Buitrago Gómez

Interventor:
Ing. Helver Reyes

Preparación:
K-2 INGENIERIA LTDA

Edición:
K-2 INGENIERIA LTDA

**PROTOCOLO
PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE**



FIRMA CONSULTORA:
K-2 INGENIERIA LTDA
Dirección: Carrera 36-36-28
Telefonos: 6352870 Fax: 6351812
Web: www.k2ingenieria.com
E-mail: info@k2ingenieria.com
BUCARAMANGA - COLOMBIA

Bogotá, Abril 2007

TABLA DE CONTENIDO

1.	PROPOSITO	8
2.	DEFINICIONES Y ACRONIMOS	9
3.	MARCO LEGAL	10
4.	ESTRUCTURA DEL PROTOCOLO:	13
5.	SISTEMAS DE GESTION DE LA CALIDAD DEL AIRE -SGCA-:	14
5.1	DEFINICION	14
5.2	Etapas de un SGCA	15
5.3	Implementación de un SVCA en el marco del Sistema de Gestión de la Calidad del Aire.	15
6.	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE - SVCA.	17
7.	REVISION INICIAL.....	18
8.	DEFINICION DEL DOMINIO DEL SVCA:.....	19
9.	DEFINICION DE OBJETIVOS DEL SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE:	19
9.1	Objetivos de los SVCA en Colombia	20
9.2	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL SVCA EN EL MARCO DEL SGCA:	22
10.	DIAGNOSTICO PRELIMINAR	23
10.1	Recolección de Información General:.....	23
10.1.1	Estudios de Salud	23
10.1.2	Geografía y clima.	23
10.1.3	Estructura y tendencias del crecimiento demográfico;	23
10.1.4	Otra información de Importancia:.....	23
10.1.5	Aspectos Económicos y financieros de la Autoridad Ambiental:	24
10.2	Inventario de Emisiones preliminar:.....	24
10.2.1	Fuentes Móviles:	24
10.2.2	Fuentes Puntuales:	26
10.2.3	Fuentes de Área:.....	26
10.2.4	Fuentes Naturales:	26
10.3	Estudio Micro-meteorológico Preliminar:.....	26
10.4	Campaña de Monitoreo Preliminar:	27
10.5	Modelación Preliminar:.....	27
10.6	ANALISIS DE LA INFORMACION RECOLECTADA EN EL DIAGNOSTICO PRELIMINAR	30
11.	FASE DE ELABORACIÓN DE DISEÑO FINAL	31
11.1	DEFINICION DEL TIPO DE SVCA:	31
11.2	SVCA TIPO I: Indicativo	32
11.2.1	Objetivos:.....	32
11.2.2	Aplicación:.....	32
11.2.3	Características:	32
11.2.4	Objetivos de la ubicación de estaciones de un SVCA Indicativo:	33
11.2.5	Monitoreo de Otros parámetros.....	33
11.2.6	Variaciones del SVCA Indicativo a la luz de la legislación vigente:.....	33
11.2.7	Componente de meteorología:.....	33
11.2.8	Componentes del SVCA Indicativo:	34
11.2.9	Consideraciones especiales de este tipo de SVCA:.....	34
11.3	SVCA TIPO II: Básico	35
11.3.1	Objetivos:.....	35
11.3.2	Aplicación:.....	35
11.3.3	Diseño específico del SVCA TIPO I: Básico.....	36
11.3.4	Numero de Estaciones:.....	36
11.3.5	Componente de meteorología:.....	39
11.3.6	Componentes del SVCA Básico:	39
11.3.7	Consideraciones especiales de este tipo de SVCA:.....	40

11.4	SVCA TIPO III: Intermedio	41
11.4.1	Objetivos:	41
11.4.2	Aplicación:	41
11.4.3	Diseño específico del SVCA TIPO III: Intermedio	42
11.4.4	Numero de Estaciones:	42
11.4.5	Componente de meteorología:	46
11.4.6	Componentes del SVCA Intermedio:	46
11.4.7	Consideraciones especiales de este tipo de SVCA:	46
11.5	SVCA TIPO IV: Avanzado	46
11.5.1	Objetivos:	46
11.5.2	Aplicación:	47
11.5.3	Diseño específico del SVCA TIPO IV: Avanzado	48
11.5.4	Numero de Estaciones:	48
11.5.5	Componente de meteorología:	53
11.5.6	Componentes del SVCA Avanzado:	53
11.5.7	Consideraciones especiales de este tipo de SVCA:	54
11.6	SEVCA - Sistemas Especiales de Vigilancia de la Calidad del Aire	54
11.6.1	Objetivos:	54
11.6.2	Aplicación:	54
11.6.3	Diseño específico de SEVCA	55
11.6.4	Objetivos de la ubicación de estaciones de un SEVCA	55
11.6.5	Numero de Estaciones:	55
11.6.6	Componentes del SEVCA:	56
11.6.7	Consideraciones especiales de este tipo de SVCA:	56
12.	PARAMETROS DETALLADOS DE DISEÑO DE UN SVCA	57
12.1	Definición del Tipo de Estaciones	57
12.1.1	Nivel 1: Clasificación de estaciones según el tipo de área	57
12.1.2	Nivel 2: Según el tiempo de muestreo	57
12.1.3	Nivel 3: Clasificación de estaciones según las emisiones dominantes	58
12.1.4	Nivel 3: Información adicional	58
12.1.5	Contaminantes de interés según el tipo de estación	59
12.2	CRITERIOS DE MACROLOCALIZACIÓN DE ESTACIONES	60
12.2.1	Criterios de macrolocalización de estaciones (menos Ozono)	60
12.2.2	Criterios de macrolocalización para ubicar los puntos de muestreo de ozono	60
12.3	MICROLOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE VIGILANCIA	62
12.3.1	Aspectos generales	62
12.3.2	Criterios Específicos de microlocalización de estaciones	63
12.4	SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MUESTREO del SVCA.	65
12.4.1	Muestreadores Pasivos:	65
12.4.2	Muestreadores Activos Manuales.	66
12.4.3	Muestreadores Semi-automáticos	68
12.4.4	Analizadores Automáticos:	68
12.4.5	Sensores remotos:	70
12.4.6	Comparación entre los diferentes sistemas de medición	71
12.5	Infraestructura de Monitores de Calidad del Aire	72
12.5.1	Infraestructura para equipos Manuales	72
12.5.2	Infraestructura de Equipos Automáticos:	73
13.	MEDICIÓN METEOROLÓGICA EN LOS SISTEMAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE	74
13.1	SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS SENSORES METEOROLÓGICOS.	75
13.1.1	Importancia de la Meteorología en el SVCA	75
13.1.2	Microlocalización de Estaciones meteorológicas	76
13.2	TECNOLOGÍAS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	81
13.2.1	Estaciones Meteorológicas de Alta Precisión	81
13.2.2	Estaciones Meteorológicas portátiles	84
13.2.3	Pluviómetros Automáticos	84
13.3	SOFTWARE DE APOYO AL SVCA.	84

13.3.1	Software de Modelación.	84
13.3.2	Software Inventario de Emisiones.	84
13.3.3	Software Gestión de la Información.	85
14.	ESTRATEGIA DE MUESTREO DEL SVCA.	86
14.1	DURACIÓN DEL PROGRAMA.	86
14.2	Frecuencia de monitoreo.	86
14.3	TIEMPO DE TOMA DE MUESTRA.	89
15.	MODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS EN REDES DE CALIDAD DEL AIRE.	90
16.	MÉTODOS DE REFERENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE.	91
17.	RECOMENDACIONES GENERALES PARA SELECCIÓN DE EQUIPOS.	91
18.	RECURSOS NECESARIOS PARA EL MONTAJE, OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA RED.	92
18.1	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA ESTIMACIÓN DE COSTOS.	92
18.1.1	DISEÑO DEL SVCA Y SELECCIÓN DE SITIOS.	93
18.1.2	Instalación de las estaciones.	93
18.1.3	Costos de operación.	94
18.1.4	Costos del Análisis.	95
18.1.5	Costos de mantenimiento de los equipos.	95
18.1.6	Costos del procesamiento de datos y reporte de información.	95
18.1.7	Costos de adquisición de datos.	96
18.1.8	Procesamiento de datos.	97
18.2	Validación de datos.	97
18.2.1	Costos del reporte de datos.	97
18.2.2	Costos combinados de manejo de datos.	97
18.2.3	Costos del control y aseguramiento de la calidad.	98
18.2.4	Costos de administración y gestión.	98
18.3	TALENTO HUMANO NECESARIO PARA UNA RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE.	99
19.	INDICADOR PARA LA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA.	100
19.1	Índice nacional de calidad del aire.	100
19.1.1	Contaminantes del Índice Nacional de Calidad del Aire.	100
19.1.2	Rangos del Índice Nacional de Calidad del Aire.	100
19.1.3	Puntos de Corte del Índice Nacional de Calidad del Aire.	100
20.	ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DEL AIRE.	106
20.1	OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD.	107
20.2	PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD PARA EL VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE.	107
20.3	Secuencia metodológica de implementación.	108
20.3.1	Planeación.	109
20.3.2	Implementación.	110
20.3.3	Evaluaciones.	110
20.3.4	Reportes.	111
20.4	Características organizativas de un programa de aseguramiento y control de la calidad.	111
20.5	OBJETIVOS DE CALiDad DE DATOS.	112
20.6	ESTABLECIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DE DATOS.	113
20.7	PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL.	114
20.8	ESTRATEGIAS y técnicas dE vigilancia.	114
20.9	Elaboración de procedimientos.	114
21.	OPERACIÓN DEL SVCA.	116
21.1	Visitas regulares.	116
21.1.1	Verificación de span y cero.	117
21.1.2	Calibración de Equipos.	117
21.1.3	Verificación del desempeño.	119
21.1.4	Auditorias internas y externas.	119
21.2	Acopio, revisión y validación de datos.	120
21.2.1	Acopio.	120
21.2.2	Revisión.	120
21.2.3	Validación.	121

22.	GENERACIÓN DE REPORTE	125
23.	EVENTOS DE CAPACITACIÓN	127
24.	INFORMES SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE. CONTENIDO DEL INFORME ANUAL DE CALIDAD DEL AIRE	128
24.1	FORMATOS NACIONALES DE REPORTE DE CALIDAD DEL AIRE	128
24.1.1	Información sobre las Redes	128
24.1.2	Información sobre las Estaciones	129
24.1.3	Información sobre la Configuración de las Mediciones por Compuesto.	130
24.2	CONTENIDO DEL INFORME ANUAL NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE	130
25.	MANEJO Y CUSTODIA DE LA MUESTRA	132
25.1	MANEJO DE LA MUESTRA	132
25.1.1	Etiquetado e identificación de la muestra	132
25.1.2	Colección de la muestra	133
25.1.3	Transporte	134
25.2	10.2 CADENA DE CUSTODIA	134

1. PROPOSITO

El propósito principal de éste documento, es el de ofrecer de manera particular a las Autoridades Ambientales responsables de la vigilancia y el control de la calidad del aire y de manera general a las personas o entidades interesadas, una guía y lineamientos básicos para llevar a cabo el monitoreo y seguimiento a la calidad del aire zonas urbanas y/o industriales del País. Así como los elementos básicos para el desarrollo de la operación de un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire, del tratamiento, análisis, interpretación, presentación y reporte de la información recolectada.

De la misma forma se busca que los responsables vayan mas allá monitoreo de la calidad del aire hacia la implementación de un SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD DEL AIRE (SG-CA) que permita el mejoramiento continuo en la búsqueda de la disminución del potencial deterioro de la salud pública y otros aspectos ambientales.

En el se recogen los principales aspectos considerados en las publicaciones. “*Air Monitoring programme design for urban and industrial areas*”, publicación científica No. 33 de la Organización Mundial de la Salud (OMS), The EEA Air Quality Monitoring and Information Network, publicaciones científicas de la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, en ingles) publicaciones científicas de la Agencia Ambiental Europea (EEA en Ingles), otras publicaciones y papers científicos y a experiencias técnicas del personal técnico del IDEAM durante las diferentes actividades desarrolladas para la evaluación de la calidad del aire y K-2 INGENIERIA LTDA y sus consultores en proyectos realizados para entidades públicas y privadas..

Con ésta información se pretende dar unas respuestas generales a las siguientes preguntas:

- ¿Por qué se evalúa la calidad del aire?
- ¿Como debe efectuarse la vigilancia de la calidad del Aire?
- ¿Cuándo se debe establecer un sistema de vigilancia?
- ¿Dónde se debe efectuar la vigilancia de la calidad del Aire?
- ¿Quien debe efectuar la evaluación de la calidad del aire?
- ¿Como se evalúa la calidad de los datos obtenidos?

Lo anterior con el fin de obtener el mayor beneficio en el conocimiento de la calidad del aire y sus tendencias con el menor costo económico posible de acuerdo a las condiciones ambientales del país.

Este documento pretende convertirse en una guía práctica para la gestión de la calidad del aire haciendo énfasis en monitoreo con todos sus componentes para la homogenización de toma de datos e interpretación de resultados por parte de autoridades y particulares de modo que sean insumos del Sistema de Información sobre Calidad del Aire, SISAIRE.

2. DEFINICIONES Y ACRONIMOS

SISAIRE: Sistema de Información sobre Calidad del Aire.

SG-CA: Sistema de Gestión de Calidad del Aire

SVCA: Sistema de Vigilancia de la calidad del aire.

EPE: Estación de propósito especial

MONITOREO FIJO¹: mediciones de los niveles de contaminantes realizadas en un punto fijo, continuas y mediante un método analítico de referencia (EPA o EEA).

MONITOREO INDICATIVO: Las mediciones realizadas en un punto de manera no continua mediante métodos que pueden ser o no de referencia (EPA o EEA).

PUNTO CRITICO: Puntos donde se encuentran posibles concentraciones altas por exposición directa (Hot Spot)

¹ PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MARCO DE LAS NUEVAS DIRECTIVAS. Grupo de Trabajo de Evaluación preliminar, posterior y Modelización de la calidad del aire. Versión final 8 de Mayo de 2000

3. MARCO LEGAL

Desde el año de 1967 se han realizados esfuerzos para controlar la contaminación del aire, en este año se instalaron las primeras redes de monitoreo de calidad del aire, pero solo hasta el año de 1973, se expidió la ley 23, cuyo objetivo era “Prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional”.

Ya con esta ley, al gobierno se le concedieron facultades para la expedición del código nacional de recursos naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, el cual fue sancionado por el presidente por medio del Decreto 2811 de 1974. De este decreto, específicamente del artículo 9, se realizó la propuesta de la norma de calidad del aire.

Posteriormente en 1979 se expide una ley que promulga las medidas sanitarias para la protección del medio ambiente, esta ley fue la 09 de 1979. Aquí se le otorgaron las facultades al Ministro de Salud para proferir normas para el control de la contaminación atmosférica, por lo cual el ministro en el año 1982 expidió el decreto 02 el cual reglamentaba parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y también el Decreto - Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas.

En el año de 1995 el Ministerio de Medio Ambiente (creado bajo la ley 99 de 1993) estableció el decreto 948, el cual derogó el decreto 02 de 1982. Este Decreto contenía el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.

A partir de ese momento, se expidieron diferentes decretos que modificaron o derogaron del 948 de 1995. Estos fueron:

- El decreto 2107 de 1995, que modificó el 948 sobre uso de crudos pesados, quemas abiertas, emisiones vehiculares y actividades contaminantes.
- El decreto 1224 de 1996 que deroga del artículo 40 de la 948 de 1995, sobre calidad de combustibles.
- El decreto 1228 de 1997 que modificó del artículo 91 del decreto 948 de 1995 sobre certificación del cumplimiento de normas de emisión para vehículos automotores.
- El decreto 1552 del 2000 que modificó el artículo 38 del decreto 948 de 1995 y el artículo 3 del decreto 2107 de 1995, sobre emisiones de vehículos diesel.
- El decreto 979 del 2006 que modifica los artículos 7, 10, 93, 94 y 106 del decreto 948 de 1995.

A su vez se han realizado resoluciones concernientes al tema, algunas de ellas son:

- Resolución 619 de 1997 sobre factores que requieren permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
- Resolución 601 de 2006 la cual establece la norma de calidad del aire o Nivel de inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia, esta deroga parcialmente el decreto 02 de 1982, y el objetivo de esta resolución es “establecer la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, con el propósito de garantizar un ambiente sano y minimizar los riesgos sobre la salud humana que puedan ser causados por la concentración de contaminantes en el aire ambiente.”

En la tabla 1 se presentan los niveles máximos permitidos de calidad del aire para Colombia, establecidas en la resolución 601 del 2006, estos datos se calcularon con el promedio geométrico para PST y aritmético para los demás contaminantes:

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Tiempo de exposición
PST	µg/m3	100	Anual
		300	24 horas
MP10*	µg/m3	70	Anual
		150	24 horas
SO2	ppm (µg/m3)	0.031 (80)	Anual
		0.096 (250)	24 horas
		0.287 (750)	3 horas
NO2	ppm (µg/m3)	0.053 (100)	Anual
		0.08 (150)	24 horas
		0.106 (200)	1 hora
O3	ppm (µg/m3)	0.041 (80)	8 horas
		0.061 (120)	1 hora
CO	ppm (mg/m3)	8.8 (10)	8 horas
		35 (40)	1 hora
Nota: mg/m3 o µg/m3: a las condiciones de 298,15°K y 101,325 KPa. (25° C y 760 mm Hg).			
*El límite máximo permisible anual de MP10 en el año 2009 será 60			

Tabla 3.1. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio

- Decreto NÚMERO 979 del 03 ABR 2006 por el cual se modifican los artículos 7, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995. El decreto reglamente la declaración de los niveles de prevención, alerta y emergencia y las áreas fuente de contaminación

En la Tabla 2 se indican las concentraciones y los tiempos de exposición bajo los cuales las autoridades ambientales competentes pueden declarar los estados excepcionales de Prevención, Alerta y Emergencia.

Contaminante	Tiempo de Exposición	Unidades	Prevención	Alerta	Emergencia
PST	24 horas	µg/m3	375	625	875
MP10	24 horas	µg/m3	300	400	500
SO2	24 horas	ppm (µg/m3)	0.191 (500)	0.382 (1.000)	0.612 (1.600)
NO2	1 hora	ppm (µg/m3)	0.212 (400)	0.425 (800)	1.064 (2.000)
O3	1 hora	ppm (µg/m3)	0.178 (350)	0.356 (700)	0.509 (1.000)
CO	8 horas	ppm (mg/m3)	14.9 (17)	29.7 (34)	40,2 (46)

Nota: mg/m3 o µg/m3: a las condiciones de 298,15°K y 101,325 KPa. (25° C y 760 mm Hg).

Tabla 3.2. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia

A continuación se transcribe el Decreto NÚMERO 979 en los que tiene que ver con la declaratoria de áreas fuente de contaminación:

Artículo 108. Clasificación de “Áreas - fuente” de contaminación.

Las autoridades ambientales competentes deberán clasificar como áreas - fuente de contaminación zonas urbanas o rurales del territorio nacional, según la cantidad y características de las emisiones y el grado de concentración de contaminantes en el aire, a partir de mediciones históricas con que cuente la autoridad ambiental, con el fin de adelantar los programas localizados de reducción de la contaminación atmosférica.

En esta clasificación se establecerán los distintos tipos de áreas, los límites de emisión de contaminantes establecidos para las fuentes fijas y móviles que operen o que contribuyan a la contaminación en cada una de ellas, el rango o índice de reducción de emisiones o descargas establecidos para dichas fuentes y el término o plazo de que éstas disponen para efectuar la respectiva reducción.

Para los efectos de que trata este artículo las áreas - fuente de contaminación se clasificarán en cuatro (4) clases, a saber:

1. Clase I - Áreas de contaminación alta: aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación o dispersión, excede con una frecuencia igual o superior al setenta y cinco por ciento (75%) de los casos de la norma de calidad anual. En estas áreas deberán tomarse medidas de contingencia, se suspenderá el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptarán programas de reducción de la contaminación que podrán extenderse hasta por diez (10) años.
2. Clase II- Áreas de contaminación media: aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede con una frecuencia superior al cincuenta por ciento (50%) e inferior al setenta y cinco por ciento (75%) de los casos la norma de calidad anual. En estas áreas deberán tomarse medidas de contingencia se restringirá el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptaran programas de reducción de la contaminación que podrán, extenderse hasta por cinco (5) años.
3. Clase III- Áreas de contaminación moderada: aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede con una frecuencia superior al veinticinco por ciento (25%) e inferior al cincuenta por ciento (50%) de los casos la norma de calidad anual. En estas áreas se tomarán medidas dirigidas a controlar los niveles de contaminación y adoptar programas de reducción de la contaminación, que podrán extenderse hasta por tres (3) años.
4. Clase IV- Áreas de contaminación marginal: aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede con una frecuencia superior al diez por ciento (10%) e inferior al veinticinco por ciento (25%) de los casos la norma de calidad anual. En estas áreas se tomarán medidas dirigidas a controlar los niveles de contaminación que permitan la disminución de la concentración de contaminantes o que por lo menos las mantengan estables.

Parágrafo Primero: Para la estimación de la frecuencia de las excedencias se utilizarán medias móviles, las cuales se calculan con base en las mediciones diarias.

Parágrafo Segundo: Para la clasificación de que trata el presente artículo, bastará que la frecuencia de excedencias de un solo contaminante, haya llegado a los porcentajes establecidos para cada una de las áreas de contaminación.

4. ESTRUCTURA DEL PROTOCOLO:

El protocolo contiene una serie de pasos para el establecimiento de un SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE -SVCA- en el marco de un SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD DEL AIRE -SG-CA.

Expone los pasos que deben seguir las autoridades ambientales para diseñar y mantener su SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE. En cuadros aclaratorios explica los conceptos o análisis que se deben tener en cuenta o conocer para la aplicación de los pasos respectivos.

El protocolo también presenta un aparte de la forma como se deben llevar a cabo los monitoreos desarrollados actualmente por particulares con fines de estandarizar y aumentar la calidad de la información de este tipo de monitoreos para que puedan ser incluidos en el Sistema de Información sobre Calidad del Aire, SISAIRE



5. SISTEMAS DE GESTION DE LA CALIDAD DEL AIRE -SGCA-:

5.1 DEFINICION

Un SGCA es un conjunto de procesos, procedimientos y aplicación de normas en la búsqueda de disminuir los impactos a nivel de calidad del aire y salud pública en un marco de mejoramiento continuo. Su aplicación involucra el estudio de la relación fuente-receptor y las implicaciones de esta relación utilizando diferentes técnicas de estudio.

Entre los beneficios de un Sistema de Gestión de la Calidad del Aire (SG-CA) se encuentra la capacidad de poder establecer un mayor control y entendimiento de los procesos que contribuyen a las emisiones y las consecuencias de estas en la calidad del aire así como la toma de decisiones acertadas.

El siguiente esquema ilustra las etapas posibles de un Sistema de Gestión de la Calidad del Aire.

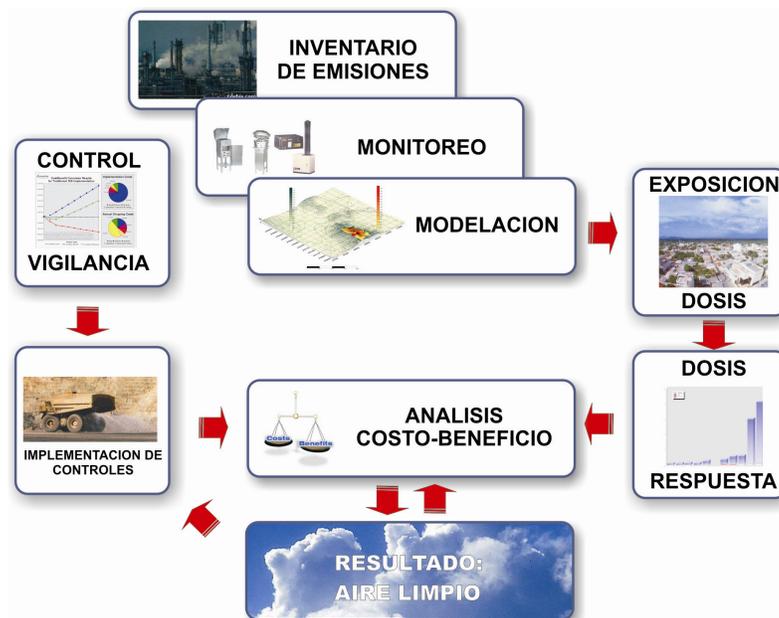


Figura 5.1. Esquema SGCA². /

En general un SGCA involucra los siguientes aspectos:

- Inventario de emisiones
- Estudio de dispersión de contaminantes y creación de modelos a mesoescala
- Monitoreo de la calidad del aire
- Evaluación de los riesgos ambientales para la salud (estudios epidemiológicos)
- Evaluación de daños por contaminación
- Análisis del costo ambiental de la contaminación atmosférica
- Determinación de opciones de mitigación y control
- Evaluación costo-beneficio de opciones de mitigación y control

² Adaptado de la página web: www.nilu.no

- Establecimiento de regulaciones y medidas de control
- Desarrollo de programa educativo

Tres herramientas, la vigilancia o medición, la modelación y los inventarios de emisiones, se integran en un programa de gestión de la siguiente manera:

- La medición y los inventarios de emisiones proveen fundamentos científicos, para el desarrollo de las estrategias y políticas, y hacen posible la cuantificación del efecto que producen las medidas adoptadas para implementarlas (evaluación del impacto). Sin embargo, estas herramientas, por bien utilizadas que sean solo entregan una imagen parcial, pero útil, de los comportamientos de las variables de contaminación del aire, en espacio y tiempo, para una ciudad o región
- La modelación de la calidad del aire, herramienta que además permite formular mejores políticas y ajustar las existentes, al predecir los efectos de las mismas.
- Las políticas orientan acciones de control, como límites de emisión, declaraciones de emergencia, restricciones a usos de suelo o combustibles etc., cuyos efectos son medidos con la vigilancia, cerrando el ciclo del Sistema.

Un SGCA puede ser implementado a varias escalas tanto a nivel micro (industria) hasta nivel local, regional o nacional variando en si la forma, dimensión, grado de influencia, implicaciones y naturaleza de las acciones de control.

5.2 ETAPAS DE UN SGCA

Un SGCA esta constituido por un conjunto de etapas³ que buscan la mejora de la calidad del aire, esas etapas son las siguientes:

- A. Revisión Inicial
- B. Política de Calidad del Aire
- C. Planeación
 - Evaluación de la Calidad del Aire
 - Revisión de requisitos Legales
 - Definición de Objetivos y metas
 - Programas de gestión de la calidad del Aire
- D. Implementación
 - Estructura funcional
 - Capacitación
 - Reporte a la comunidad
 - Control Operacional
 - Planes de emergencia y contingencia
- E. Revisión del sistema
 - Seguimiento y medición
 - No conformidades

5.3 IMPLEMENTACIÓN DE UN SVCA EN EL MARCO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.

³ Planteado por K-2 INGENIERIA LTDA bajo el esquema ISO 14000



El objetivo del presente protocolo es establecer criterios para una de las herramientas de un Sistema de Gestión de la Calidad del Aire; este es el establecimiento de un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire que permitirá evaluar la efectividad de las medidas planteadas al interior del sistema de gestión en pro de la disminución de la contaminación atmosférica.

Un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire -SVCA- se encuentra incluida en el elemento del sistema: Seguimiento y Medición y es una de las herramientas que permite verificar el cumplimiento de los objetivos del SGCA.

Otra etapa del Sistema de Gestión que brindará argumentos para el SVCA es la revisión inicial, en esta etapa se hará un sondeo de la situación de calidad del aire, lo cual permitirá identificar de manera general la problemática de la región de interés. Una vez se ha realizado esta etapa se inicia el diseño e implementación del SG-CA.



6. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE - SVCA.

Antes de enfrentar la tarea de diseñar un SVCA, primero debe definirse completamente el entorno en el cual esta herramienta deberá operar. Este entorno lo constituye un SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD DEL AIRE (SG-CA).

Las etapas de diseño de un SVCA para Colombia se resumen en el siguiente diagrama de flujo:

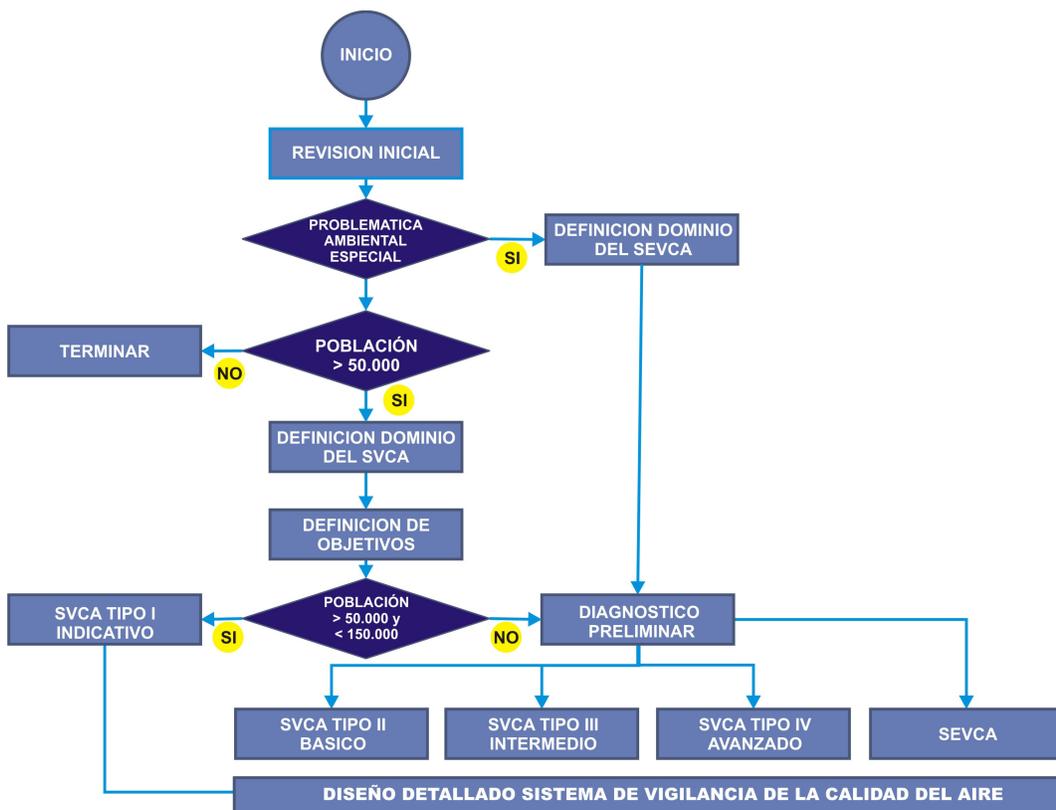


Figura 6.1. Etapas para el diseño de un SVCA para Colombia

7. REVISION INICIAL

El primer paso para el diseño de un SVCA es la Revisión Inicial por parte de los interesados en el tema de calidad del aire en la jurisdicción de la autoridad ambiental competente.

En reuniones instituciones locales la corporación autónoma regional o la autoridad ambiental competente podrá convocar un grupo local de trabajo, conformado por representantes de los diferentes actores involucrados y / o afectados por la problemática de la calidad del aire en la ciudad o región, tales como las secretarías de salud, las industrias, las alcaldías, la sociedad civil, grupos ambientales, ONGs, etc .

Éste grupo local de trabajo, asesorado por el comité técnico de la autoridad ambiental y si es del caso por el IDEAM, Universidades u otra institución privada o pública de carácter técnico (Consultores públicos o Privados), deberán realizar una revisión preliminar con miras a establecer un SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD DEL AIRE que parta de la identificación de los principales problemas relacionados con la calidad del aire en la jurisdicción de la autoridad ambiental.

la implementación del Sistema de Gestión de la Calidad del aire. El plan debe definir entre otros aspectos, los objetivos del sistema, proyectos y programas, y con base en las mismas los objetivos de vigilancia del SVCA que generalmente será uno de los proyectos asociados.

Como parte de la revisión inicial debe definir la necesidad de un SVCA en una zona, la autoridad ambiental⁴ deberá hacer un análisis que deberá partir de los siguientes argumentos:

- Evaluación de las principales problemáticas de la calidad del aire al interior de la jurisdicción de la autoridad ambiental. Realizada a partir de la experiencia de funcionarios de la jurisdicción y consultas de esta a otras instituciones (de salud, académicas, ONGs, entidades territoriales, etc). Se definirá el área o áreas de monitoreo al interior de la jurisdicción de la autoridad ambiental y su interés puntual en el capo de gestión de la calidad del aire.
- Estudio de quejas a la Autoridad Ambiental. Haciendo una recopilación estadística de quejas y evaluando su posible origen y ubicación geográfica en la jurisdicción
- Tamaño de las mayores áreas urbanas de la Jurisdicción: Luego de una evaluación de los principales centros urbanos se definirá el si es necesario la implementación de un SVCA con base en los siguientes parámetros:
 - No será necesario la implementación de un SVCA en poblaciones con numero de habitantes inferior a 50.000 Habitantes
 - Se deben implementar un SVCA en sitios con problemáticas ambientales especiales (zonas industriales, mineras u otras con fuentes de gran influencia) sin importar su densidad poblacional.
 - El SVCA adecuado a la problemática local será definido de acuerdo a los criterios expuestos en el presente protocolo.

⁴ Resolución 601 de 2006. Artículo 8: **Mediciones de Calidad del Aire por las Autoridades Ambientales:** Las autoridades ambientales competentes están obligadas a realizar mediciones de calidad del aire en el área de su jurisdicción, de conformidad con lo consagrado en la presente resolución.

8. DEFINICION DEL DOMINIO DEL SVCA:

Previamente a las siguientes etapas de diseño la autoridad ambiental deberá definir cual será la escala de monitoreo al interior de su área de jurisdicción, estas escalas definen el área de cobertura tanto del SVCA como de sus estaciones de calidad del aire asociadas:

Las escalas definidas en el presente protocolo son las siguientes⁵:

ESCALA	DESCRIPCION	ESCALA
MICRO	Típica de áreas como cañones urbanos y corredores de tráfico donde el público puede estar expuesto a altas concentraciones provenientes de fuentes móviles u otras fuentes puntuales cercanas que bajo ciertas condiciones puntuales produzcan altas concentraciones cerca de la fuente. Responde a estudios puntuales de un grupo de fuentes y receptores específicos y/o estudios epidemiológicos. Las mediciones tomadas a esta escala no deben tomarse como representativas de un área mayor.	2 m - 0.5 Km
MEDIA	Las mediciones en esta categoría pueden representar las condiciones en un área específica al interior de una ciudad	0.5 Km - 3 Km
URBANA	Condiciones de una ciudad	3 Km - 20 Km
REGIONAL	Áreas Rurales o áreas con varias ciudades y porciones rurales. Contempla la interacción de varias jurisdicciones de diferentes autoridades ambientales	Mas de 20 Km hasta el área total de la jurisdicción.
NACIONAL	Estudio del país. Incluye la integración de varias redes y jurisdicciones de diferentes autoridades ambientales	Todo el país.

Tabla 8.1. Escalas para definición del dominio de la Red

9. DEFINICION DE OBJETIVOS DEL SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE:

Los objetivos para la vigilancia de la calidad del aire, deben definirse de una forma concisa y clara, asimismo deben ser congruentes con las posibilidades técnicas y la realidad económica de la entidad, ciudad o región. Unos objetivos de vigilancia que sean difusos, muy restringidos o demasiados ambiciosos, resultarán en programas poco efectivos y costosos, con una mínima utilización de los datos. En esta circunstancia no es posible hacer un uso óptimo de los recursos disponibles.

Una vez la autoridad ambiental ha definido la necesidad de implementar un SVCA pasará a definir los objetivos de esta. Los objetivos definidos definirán varios aspectos de diseño posteriores. Un SVCA puede responder de uno o varios objetivos de acuerdo con sus necesidades y problemática puntual evaluada en el Diagnostico Inicial.

Los objetivos del SVCA deben de la misma forma responder a requerimientos legales y a la capacidad de evaluar los objetivos y programas del SG-CA.

⁵ Adaptado a las condiciones Colombianas tomando como punto de partida el de CFR 40 Appendix D to Part 58–Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring

9.1 OBJETIVOS DE LOS SVCA EN COLOMBIA

Los siguientes son los objetivos posibles de un SVCA en Colombia⁶:

- A. Determinar el cumplimiento de las normas nacionales de la calidad del aire
- B. Evaluar las estrategias de control de las autoridades ambientales
- C. Observar las tendencias a mediano y largo plazo
- D. Evaluar el riesgo para la salud humana
- E. Determinar posibles riesgos para el medio ambiente
- F. Activar los procedimientos de control en situaciones de emergencia
- G. Estudiar fuentes e investigar quejas concretas
- H. Validar los modelos de calidad del aire
- I. Soportar investigaciones científicas

A continuación se explican en detalle cada uno de los objetivos:

- A. Determinar el cumplimiento de las normas nacionales de la calidad del aire
La finalidad de la red en este caso, debería consistir en determinar las concentraciones de contaminantes en las principales áreas urbanas y comparar los resultados con las normas de calidad del aire establecidas en el Resolución 601 de 2006 y reconocidas por el decreto 948 de 1995 que han sido fijadas teniendo como objetivo principal proteger la salud de la población, es decir, para que los niveles de contaminantes atmosféricos se mantengan por debajo de tales límites. Puede realizarse con equipos manuales o automáticos, según la frecuencia estipulada por la normatividad para cada contaminante, por lo general se requiere determinar los promedios anuales y promedios de 24 horas. En ciertos casos, como en el del CO y el SO₂, se necesitan promedios horarios
- B. Evaluar las estrategias de control de las autoridades ambientales
El seguimiento que se efectuó durante periodos cercanos a los cinco años, a los contaminantes determinados por las diferentes estaciones componentes del SVCA, permitirá a las autoridades ambientales, determinar la eficiencia y eficacia de las medidas de control implantadas, para reducir los niveles de contaminación aportados por las fuentes de emisión existentes en la zona de estudio. El sistema de vigilancia de la calidad del aire, deberá en lo posible, establecerse antes de que comiencen a funcionar los controles de emisiones para las fuentes.
- C. Observar las tendencias a mediano y largo plazo
El objetivo principal de este tipo de evaluación de la calidad del aire, es el de vigilar cualquier tipo variación en la calidad del aire a consecuencia del desarrollo urbano, industrial o de otra índole, ó la ocurrencia de condiciones meteorológicas adversas para la dispersión de determinados contaminantes, junto con la variación de las condiciones geográficas, socio- económicas, climatológicas de la región estudiada Se caracteriza por un número mínimo de estaciones manuales ó automáticas, desplegadas en la mayor área posible, mientras se cumplan los objetivos propuestos Los datos recolectados son útiles para planear investigaciones epidemiológicas y para realizar sondeos previos que provean antecedentes sobre la necesidad de realizar o ampliar estudios de la contaminación causada por algunos contaminantes en determinadas zonas.

⁶ Tomados y adaptados de:

- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Desarrollado por Grupo de Expertos OMS de: Desarrollo Sostenible y Ambiente Saludable (SDE), Departamento de Protección del Ambiente Humano (EHA), Programa de Medio Ambiente y Salud Ocupacional (PHE). "GUÍA DE CALIDAD DEL AIRE". Ginebra. 2000
- EPA. Office of Air Quality Planning and Standards. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II: Part 1 Ambient Air Quality Monitoring Program Quality System Development. August 1998
- Criteria for EUROAIRNET The EEA Air Quality Monitoring and Information Network

Al ubicar estaciones para este tipo de monitoreo es necesario revisar cuidadosamente el área de representatividad de las estaciones planteadas.

D. Evaluar el riesgo para la salud humana

Los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud de la población, pueden agruparse en dos categorías: efectos agudos, generalmente observados en función de cambios drásticos en los índices de morbilidad y mortalidad por afecciones ó enfermedades asociadas a la contaminación del aire; y los efectos crónicos, que se van manifestando poco a poco en diferentes grupos de la población después de muchos años de exposición a contaminantes específicos del aire. Con respecto a los primeros, es indispensable la medición de los contaminantes a intervalos cortos; por lo común los periodos de muestreo de una a 24 horas son suficientes, pero para determinar exposiciones en el momento de concentraciones máximas tal vez se requiera obtener el promedio de observaciones durante periodos más cortos. En cuanto a los efectos crónicos, bastaran los promedios anuales, pero, puesto que puede ser procedente un conocimiento de las variaciones durante periodos de 24 horas, la integración de tales resultados, ofrecerá un buen complemento para la toma de decisiones. En ambos casos, la investigación requiere que los sitios de vigilancia estén localizados de manera que los datos obtenidos representen las concentraciones a las cuales están expuestos los grupos de población sujetos a estudio. Por lo tanto los sitios de vigilancia deben localizarse en áreas residenciales bien definidas dentro de una comunidad, posteriormente se podrán desarrollar correlaciones entre los datos de contaminación y los efectos observados en los niveles de morbilidad y mortalidad de la población.

E. Determinar posibles riesgos para el medio ambiente

El objeto es el de establecer los impactos económicos causados por daños en las áreas cultivadas ó plantaciones de manera directa o indirecta por la contaminación del aire. Los impactos se observan a diferentes escalas, de acuerdo a la cercanía de las fuentes de emisión. Normalmente se pueden determinar los daños a las plantas y árboles de la zona urbana con base en las concentraciones obtenidas en periodos de 24 horas, pero puesto que una breve exposición a concentraciones elevadas de un contaminante fitotóxico (por ejemplo, de SO₂ o O₃) puede deteriorar en cortos periodos de exposición a especies vegetales muy sensibles, tal vez se requieran instrumentos de muestreo continuo, a fin de adoptar medidas de control que minimicen el riesgo para el entorno. En cuanto al daño a los materiales, la mejor manera de determinar los riesgos de daños a las obras de mampostería y otros materiales de construcción, particularmente los que ofrece el dióxido de azufre, es el empleo de dispositivos de muestreo pasivos, que se exponen a la atmósfera por periodos de uno a tres meses en cada ocasión. También es útil el análisis de muestras de precipitación, especialmente en lo que se refiere a la acidez.

F. Activar los procedimientos de control en situaciones de emergencia

El Decreto 948 de 1995 faculta a las autoridades ambientales, a adoptar medidas preventivas cuando los niveles de contaminación en una determinada región ocasionen episodios que superen las normas de calidad del aire, por tanto, es necesaria para este tipo de medición una gran rapidez de asimilación de los datos, poco después que los contaminantes entran en contacto con los monitores. En este caso, las redes de vigilancia automáticas son ideales, porque permiten implementar medidas de control basadas en lecturas en tiempo real. Se recomienda tomar promedios horarios, para obtener información útil, fácilmente utilizable y comparable con las normas respectivas.

El manejo de estas situaciones de emergencia para el recurso aire, es complicado y requiere de una coordinación inmediata de esfuerzos y recursos con otras instituciones del estado, como la policía, el ejército, la defensa civil y los diferentes cuerpos de socorro.

G. Estudiar e investigar fuentes y quejas concretas

Se orienta hacia la contaminación procedente de fuentes fijas locales motivadas por prevención por parte de las autoridades locales o quejas llegadas a la autoridad ambiental. Puesto que los pequeños cambios en la dirección del viento pueden influir en los resultados de la vigilancia de la calidad del aire, es posible que se requiera un gran número de dispositivos de muestreo, junto con equipos de vigilancia continua a fin de registrar los momentos de contaminación y los niveles máximos correspondientes. Es deseable, poder evaluar directamente las emisiones en las fuentes de emisión, si no se puede especificar previamente la clase de contaminante tal vez surjan dificultades, pues probablemente no sería factible establecer estaciones de muestreo para la diversidad de contaminantes. Para estos casos, es de gran utilidad, contar con estaciones móviles de muestreo que den apoyo a las diferentes campañas que la autoridad ambiental lleve a cabo.

H. Validar los modelos de calidad del aire

Los modelos de dispersión de contaminantes, Gaussianos, de grilla (Euleriano o Lagrangiano), modelos empíricos y estadísticos sobre calidad del aire, permiten relacionar las emisiones de un contaminante del aire proveniente de una fuente de emisión ó de un conjunto de fuentes, con las concentraciones que de dicho contaminante se determinen sobre el área de estudio. La efectividad de un modelo para predecir los niveles de contaminación bajo condiciones variables, solo podrá ser valorada, después que se lleven a cabo mediciones de campo bajo las mismas condiciones iniciales. En algunas ocasiones, cuando se dificulta la aplicación de un modelo de dispersión. Esta vigilancia de la calidad del aire, puede llegar a reemplazar tales desarrollos y convertirse en un modelo empírico.

Adicionalmente es importante considerar el uso de los datos para la validación y ajuste de modelos en los parámetros meteorológicos de difusión de contaminantes como en el desarrollo de estadísticas e índices de validación por ejemplo error medio absoluto, error estándar entre otros de los resultados de estos modelos.

Al determinar la frecuencia del muestreo, deberá considerarse también la clase de modelo de calidad del aire, si es de aplicación para zonas urbanas ó rurales y si tiene que utilizarse variaciones de la contaminación a corto plazo en periodos de una a 24 horas ó bien para determinación de promedios a largo plazo. En la mayoría de los casos para “calibrar” y validar el modelo de dispersión, se necesita de una gran cantidad de datos de campo ó concentraciones del contaminante en estudio, aportados por la red de vigilancia de la calidad del aire, durante un periodo mínimo de un año. Tal calibración implica necesariamente un adecuado conocimiento de las emisiones de la fuente de emisión evaluada y de las condiciones meteorológicas y topográficas locales.

I. Soportar investigaciones científicas

Se refiere a monitoreos con objetivos definidos desde el punto de vista científico, puede incluir bases para estudios epidemiológicos, estudios de especiación, estudio de reacciones fotoquímicas estudio de transporte de contaminantes a grandes distancias, entre otros.

9.2 CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL SVCA EN EL MARCO DEL SGCA:

Debido a la imposibilidad desde el punto de vista técnico y económico que cumplir todos los objetivos de la red de monitoreo de manera inmediata, la autoridad ambiental deberá definir objetivos de corto, mediano y largo plazo.

10. DIAGNOSTICO PRELIMINAR

Una vez definido el marco conceptual de la gestión de la calidad del aire y los objetivos del la SVCA, se debe proceder al diseño del mismo.

La labor de diseño de un SVCA debe llevarse a cabo en dos fases, una inicial de diagnostico y una final de elaboración del diseño propiamente dicho. A continuación, se describe la primera fase.

En esta primera fase, un grupo técnico interdisciplinario designado por la corporación autónoma regional o la autoridad ambiental competente debe establecer las causas de la contaminación del aire en la zona de interés, evaluar su impacto en la sociedad es decir, realizar un diagnostico de línea base y determinar si la ciudad o región bajo estudio necesita un sistema de vigilancia y evaluación de la calidad del aire. En este estudio se deberán efectuar las siguientes acciones⁷

Las ciudades con poblaciones inferiores a 50.000 y sin problemáticas especiales de contaminación atmosférica (complejos industriales, zonas mineras, etc) omitirán el paso de Diagnostico Preliminar y pasarán directamente al diseño detallado de su sistema.

El hacer o no alguno de los siguientes pasos será necesario dependiendo de la información disponible (estudios anteriores).

10.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN GENERAL:

Consiste en caracterizar la geografía, la población y el desarrollo urbano. Se debe hacer una revisión del POT o su equivalente estudiando detalladamente aspectos relacionados con la calidad del aire En particular, se deberá incluir una descripción de los siguientes puntos:

10.1.1 Estudios de Salud

Se debe hacer una recopilación de estudios de salud presentes en el dominio del futuro SVCA en manos de las autoridades respectivas o universidades.

10.1.2 Geografía y clima.

- Límites geográficos;
- Condiciones topográficas
- Uso de suelos.

10.1.3 Estructura y tendencias del crecimiento demográfico;

- Desarrollo urbano y sus actividades socioeconómicas
- Distribución demográfica y geográfica de los empleos
- Desplazamientos diarios.
- Número y antigüedad de las viviendas y hacinamiento en ellas
- Ubicación de los servicios de saneamiento básico, como, por ejemplo, rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales.

10.1.4 Otra información de Importancia:

- Cartografía de la zona de estudio
- Base de datos del transito local
- Base de datos de industrias locales

⁷ Adaptado y complementado de la fuente CEPIS-OPS/OMS. Directrices para la elaboración de planes de acción locales para mejorar la calidad del aire. 2001

10.1.5 Aspectos Económicos y financieros de la Autoridad Ambiental:

La autoridad debe revisar su capacidad financiera y presupuesto para el tema de calidad del aire así como su disponibilidad de recursos humanos. Esta evaluación se convertirá en uno de los criterios de diseño así como punto de partida para la gestión de recursos necesarios.

10.2 INVENTARIO DE EMISIONES PRELIMINAR:

En caso de no existir un inventario general de emisiones (1) se debe realizar uno preliminar incluyendo las fuentes más relevantes en el área de estudio. Este estudio puede tomar datos de estudio de expedientes de la autoridad ambiental y cálculos de emisiones a partir de factores de emisión, encuestas y modelos. El estudio no tendrá un gran nivel de detalle dados los fines con que se realiza.

Los criterios para el desarrollo de inventarios de emisiones en Colombia se rigen por el PROTOCOLO PARA DESARROLLO DE INVENTARIOS DE EMISIONES.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

(1) INVENTARIO DE EMISIONES

Es el cálculo de las cantidades de contaminantes que entran en la atmósfera en un periodo de tiempo determinado (normalmente un año), un estudio completo debe abarcar todas las fuentes presentes en la zona definida. Debe suministrar la localización, magnitud, frecuencia, duración y contribución relativa de estas emisiones. Es importante aclarar que los inventarios de emisiones no tienen en cuenta las reacciones de los contaminantes en la atmósfera.

Los resultados de los inventarios identifican las principales fuentes de contaminación dentro de la zona de estudio. Esta información puede ser útil para planificar los sistemas de gestión y las redes de vigilancia de la calidad del aire.

Las etapas asociadas con la elaboración de un inventario general de emisiones son las siguientes (EPA., 1972):

1. Clasificación de todos los contaminantes y fuentes de emisiones en la zona geográfica definida.
2. Identificación y recopilación de información sobre los factores de emisión para cada uno de los contaminantes y fuentes identificadas.
3. Determinación de la cantidad diaria de materiales manejados, procesados o quemados, u otra información sobre unidades de producción dependiendo de las fuentes individuales identificadas.
4. Cálculo de la tasa de emisión de cada contaminante de atmósfera, expresada sobre una base anual.
5. Suma de las emisiones de contaminantes específicos para cada una de las categorías de las fuentes identificadas.

Los inventarios de emisiones, dependiendo de la cantidad de fuentes identificadas generalmente implican la estructuración y desarrollo de una base de datos.

Los inventarios de emisiones deben ser actualizados periódicamente, tomando en cuenta que pueden aparecer nuevas fuentes y que las fuentes pueden variar su emisión.

Los inventarios de emisiones se regirán por el PROTOCOLO PARA EL DESARROLLO DE INVENTARIOS DE EMISIONES establecido por el MAVDT

Las fuentes a evaluar serán las siguientes:

10.2.1 Fuentes Móviles:

Para hallar estas emisiones se hará necesario el uso de modelos de emisiones para fuentes móviles (2) o factores de emisión (Ver conceptos fundamentales). Para la aplicación de estas metodologías será necesario como mínimo obtener la siguiente información:

- Base de datos del tránsito municipal
- Características de los combustibles locales

- Tipo, cantidad y calidad del combustible que se consume;
- Volumen y edad del parque automotor, tendencias de crecimiento en este campo;
- Distribución del transporte urbano;
- Estado actual y uso de las vías principales
- Puede ser necesario la realización de conteos y caracterización de la flota vehicular en las principales vías de acuerdo al PROTOCOLO PARA REALIZACION DE INVENTARIOS DE EMISIONES.

Al final de aplicación de la metodología se habrán hallado las emisiones provenientes de fuentes móviles como los automóviles, los autobuses, los camiones, las motocicletas, los aviones y los ferrocarriles.

Parte de la información necesaria puede estar en manos de autoridades de tránsito y empresas de transporte público aunque en la mayoría de casos será necesario la toma de información de campo.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

(2) CALCULO DE EMISIONES PARA FUENTES MOVILES

Modelos de Emisión:

International Vehicle Emisión - IVE: Es un modelo diseñado para estimar emisiones de provenientes de Fuentes móviles para su uso principal en países en desarrollo. El modelo hace predicciones para contaminantes de referencia, gases de efecto invernadero y contaminantes tóxicos. Fue desarrollado por efectos conjuntos de la University of California at Riverside, College of Engineering - Center for Environmental Research and Technology (CE-CERT), Global Sustainable Systems Research (GSSR), y el International Sustainable Systems Research Center (ISSRC). La Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA) financió el desarrollo del modelo⁸.

MOBILE: Determina los factores de emisión de contaminantes primarios: Hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y Oxido de nitrógeno (NO_x). El modelo también ofrece la ventaja de modelar efectos de combustibles oxigenados (mezclas gasolina-alcohol y gasolina-eter) en emisiones de CO⁹. Calcula los factores de emisión basándose en variables como estado de la flota vehicular, temperatura, coeficiente de rugosidad, fracciones de ventas diesel y gasolina, efecto del uso de catalizadores, en tres otras consideraciones importantes que logran un comprobado acercamiento a condiciones reales y como consecuencia predicciones verídicas.

*NONROAD*¹⁰; predice emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado resultante del uso de combustible para una variedad de fuentes como: vehículos recreacionales (todo terreno), tractores, sierras eléctricas, equipos de construcción, equipos industriales, equipos de jardinería, embarcaciones, locomotoras y aviones

*MOVES*¹¹: (Motor Vehicle Emission Simulator) es un software desarrollado por la EPA; es un modelo de nueva generación para la estimación de emisiones de fuentes móviles y fuentes móviles no convencionales (non road) para hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado

Otro modelo de condiciones similares a los anteriores es NMIM (National Mobile Inventory Model).

De los anteriores modelos presentados se recomienda el uso de IVE cuyo enfoque está adaptado a países en desarrollo aunque es necesario revisar el origen de los parámetros usados.

⁸ IVE Model Users Manual Version 1.0.3. Summer, 2003

⁹ EPA User's guide for MOBILE5

¹⁰ User's Guide for the Final NONROAD2005 Model

¹¹ WWW.EPA.GOV

10.2.2 Fuentes Puntuales:

Las fuentes puntuales son de gran magnitud y se las considera en forma individual, como las refinерías y las plantas termoeléctricas u otras industrias de cierta magnitud. Otras fuentes puntuales menor magnitud agrupadas pueden ser consideradas como fuentes de área.

10.2.3 Fuentes de Área:

Trituradoras, depósitos de materiales de construcción, minas, canteras, plantas de tratamiento de aguas residuales, etc.

10.2.4 Fuentes Naturales:

Emisiones provenientes de fuentes naturales como la resuspensión del polvo, las biogénicas y los volcanes en actividad. Este tipo de fuentes debe ser considerado (para el caso de un inventario preliminar) cuando sea de mucha influencia caso que aplica no para la mayoría de ciudades de Colombia.

Otros aspectos a tener en cuenta en el inventario de emisiones:

- Fuentes de emisión al interior de las viviendas.
- Los consumos de combustibles por las diferentes fuentes de emisión al nivel detalle que se pueda conseguir. Aporta información sobre los contaminantes de acuerdo al tipo de combustible utilizado y son fuente inicial para los cálculos de las emisiones.

10.3 ESTUDIO MICRO-METEOROLÓGICO PRELIMINAR:

Busca establecer los aspectos más relevantes para la dispersión de contaminantes atmosféricos en la zona de estudio y en la medida de lo posible el comportamiento de la atmósfera superficial y superior.

Como mínimo se deberá reunir información acerca del comportamiento de los vientos (rosa de vientos) y de precipitación. Otros datos importantes son temperatura, presión, humedad relativa y radiación solar.

Con estos datos mínimos se deben determinar predominancias en velocidad y dirección del viento con miras a establecer la dirección consecuente de los contaminantes y su grado de dispersión en la atmósfera. Por otra parte es importante el análisis de la pluviometría de la zona con fines de determinar o acercarse a las implicaciones de la remoción húmeda en la zona. La combinación de otros aspectos como perfiles atmosféricos, nubosidad y datos de superficie como temperatura, radiación solar y velocidad del viento deben llevar a la estimación de la estabilidad atmosférica.

Como parte de este estudio se deben determinar como mínimo los siguientes aspectos:

- Tendencias de vientos anuales durante los últimos años (entre 5-10)
- Rosa de vientos diurna y nocturna
- Variaciones mensuales de la rosa de vientos
- Determinar si en el área de estudio existen varias condiciones micrometeorológicas de vientos
- Tendencias de precipitación durante los últimos años (entre 5 y 10)
- Identificación de épocas secas y húmedas

Las estaciones usadas deben estar ubicadas en condiciones de representatividad de acuerdo a los criterios establecidos en este protocolo.

10.4 CAMPAÑA DE MONITOREO PRELIMINAR:

Se desarrolla con fines de establecer niveles probables en los contaminantes criterio u otros contaminantes de interés específico en la zona evaluada. Su duración debe ser de por lo menos 2 meses (uno en época seca y otro en época húmeda) con estaciones operando de manera simultánea. En caso de presentarse dificultades para la elaboración en las dos temporadas se deberá realizar en la época seca. Con esta campaña también se busca evaluar la distribución espacial y temporal de las concentraciones de los contaminantes incluidos en las normas nacionales de calidad del aire a través de la recopilación, análisis e interpretación de los datos existentes.

Se debe tener en cuenta que la información encontrada es indicativa y solamente buscará establecer valores probables.

La descripción de la calidad del aire en la zona de interés deberá incluir los siguientes aspectos:

- La distribución espacial y temporal de los contaminantes del aire durante los episodios de alta contaminación y los escenarios meteorológicos que se presentan durante ellos.
- Los modelos conceptuales del comportamiento de la atmósfera y los contaminantes durante los episodios de alta contaminación, en la zona de interés.
- La comparación entre los niveles de concentración de los contaminantes del aire y las normas de calidad ambiental del aire (de forma indicativa, nunca concluyente por el periodo de monitoreo corto).

La ubicación de las estaciones en la campaña de monitoreo preliminar se realizará de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Condiciones meteorológicas de la zona (especialmente condiciones de viento).
- Estaciones de fondo urbano (ver tipos de estaciones) vientos abajo en puntos de influencia de fuentes importantes (vías de alto tránsito, vías de congestión vehicular, complejos industriales).
- Uso de una estación meteorológica portátil en caso de no existir información simultánea disponible.
- Una estación de fondo rural (Concentración de fondo)

En el caso de los instrumentos necesarios se deberán utilizar (Ver tecnologías de muestreo) técnicas apropiadas para el caso particular considerando la frecuencia establecida a nivel nacional:

- Muestreadores activos para MP10 (Cada día de por medio) - Mínimo 3 estaciones.
- Analizador infrarrojo no dispersivo para el caso de Monóxido de Carbono (automático permanente)
- Muestreadores Pasivos o activos para O₃, NO₂ y SO₂ con fines de densificación de la campaña de monitoreo. (Dos campañas de un mes cada una)
- Si se encuentra disponible una estación móvil automática.

La combinación óptima de estos instrumentos brindará la información necesaria para el diseño de la red.

10.5 MODELACIÓN PRELIMINAR:

Toda la información obtenida de condiciones locales (topografía, actividades económicas, uso del suelo, distribución de la ciudad, etc), meteorología, emisiones y calidad del aire será usada para la alimentación de modelos de dispersión de fuentes fijas y móviles. Esta modelación servirá para llenar vacíos dejados por la campaña de monitoreo y entender la dispersión de contaminantes en el área de estudio.

Se recomienda el uso de modelos de dispersión Gaussianos para contaminantes no reactivos para esta modelación preliminar. Se proponen los siguientes:

Para fuentes fijas:

AERMOD (2) dependiendo de la información disponible. De no encontrarse la información necesaria se podrá utilizar el modelo ISCST.

Para fuentes móviles:

CAL3QHCR y CALINE4 (2) para fuentes móviles. Para este caso es posible que sea necesario dividir el área de estudio en varios dominios de modelación debido a las capacidades de los modelos.

Con la combinación de efectos de ambos modelos se podrán obtener algunas conclusiones sobre la distribución de los contaminantes evaluados en el área de estudio.

Dependiendo del tamaño de la ciudad y de la información disponible es recomendable el uso de modelos avanzados como CALPUFF (2) sin embargo dado el tamaño de la mayoría de municipios de Colombia el uso de los anteriores será suficiente.

Para el caso de ciudades y su área metropolitana que su población sea mayor de 500.000 habitantes los modelos se podrán hacer para zonas de interés de acuerdo al estudio de fuentes y no para toda la ciudad.

Para este caso el grado de precisión del modelo respecto a monitoreos no será tan importante, se buscará establecer en que sitios se presentan las mayores concentraciones de contaminantes y un nivel aproximado de influencia de las diferentes fuentes. Valores muy lejanos de la modelación respecto a los monitoreos podrían indicar que no se han considerado algunas fuentes importantes o que no se ha considerado concentraciones de fondo (Background).

El análisis conjunto de toda la información anterior dará los argumentos necesarios para pasar a la siguiente etapa de diseño ELABORACION DE DISEÑO FINAL.

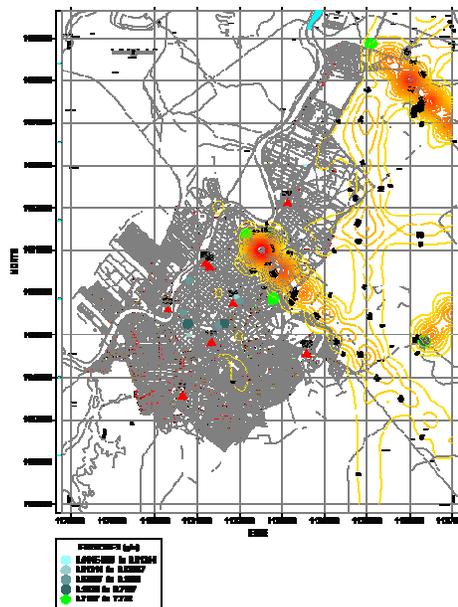


Figura 10.1. Mapa de resultados de modelación

CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

(2) MODELOS DE DISPERSION RECOMENDADOS:

Modelos de Dispersión de Fuentes Móviles:

*CALINE 4*¹²: desarrollado por el Departamento de Transporte de California (CALTRANS), basados en el modelo de la Pluma Gaussiana. Calcula concentraciones de diferentes contaminantes como CO (monóxido de carbono), NOx (Óxidos de Nitrógeno) y partículas suspendidas. Permite la modelación de calidad de aire en proximidades de intersecciones, cañones de calles, y sistemas de parqueaderos

CAL3QHC-R¹³: es un modelo empleado para predecir concentraciones contaminantes inertes provenientes de vehículos de motor en intersecciones viales. Incluye el modelo de dispersión CALINE3 y un algoritmo de tráfico para estimar la longitud de la cola de vehículos detenidos en intersecciones señalizadas. Tiene la capacidad de procesar un año de información meteorológica en forma horaria y emisiones de Monóxido de Carbono, Material particulado y óxidos de nitrógeno, tráfico y datos de señalización. Adicionalmente incorpora un algoritmo para altura de mezcla del ISC.

Modelos de Dispersión para fuentes Fijas:

AERMOD¹⁴: es un modelo de nueva generación diseñado para predecir concentraciones de contaminación para fuentes continuas: Puntuales, de área, línea y volumen. Posee varias características mejoradas: en la capa límite estable (SBL) la distribución de la concentración es asumida como Gaussiana en las direcciones horizontal y vertical; en la capa límite convectiva (CBL) la distribución horizontal es Gaussiana pero la dispersión vertical es descrita como una función de la densidad de la probabilidad Bi-Gaussiana. Adicionalmente en la CBL AERMOD trata plumas tipo lofting. AERMOD incorpora conceptos comunes acerca de la dispersión en terrenos complejos haciendo más realista la modelación. Fue diseñado como reemplazo del ISCST.

ISCST¹⁵: (Industrial Source Complex) es usado para evaluar concentraciones de contaminantes de una variedad de fuentes asociadas con complejos industriales. Predice concentraciones de contaminantes para fuentes continuas: puntuales, de área, de volumen y excavaciones a cielo abierto.

CALPUFF¹⁶: Es un modelo de dispersión tipo puff (bocanadas) avanzado multicapa, multi especies que puede simular los efectos de las variaciones espaciales y temporales meteorológicas en la remoción, transporte y transformación de contaminantes. Una de sus capacidades superiores a los modelos anteriormente presentados es su capacidad para procesar campos de vientos tridimensionales y transformaciones químicas de los contaminantes.

¹² CALINE4 User's guide

¹³ CAL3QHC-R User's Guide

¹⁴ K-2 INGENIERIA LTDA. Memorias curso Modelación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. 2002

¹⁵ K-2 INGENIERIA LTDA. Memorias curso Modelación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. 2002

¹⁶ CALPUFF Dispersión Model. User's Guide. Version 5

10.6 ANALISIS DE LA INFORMACION RECOLECTADA EN EL DIAGNOSTICO PRELIMINAR

El análisis preliminar llegará a un conocimiento integral del área donde se desea materializar el SVCA obteniendo acercamientos a las respuestas de las siguientes preguntas:

- Cuales son las fuentes criticas?
- Cuáles son los contaminantes críticos?
- Cual es el comportamiento meteorológico de la zona?
- Como se distribuyen los contaminantes en el dominio del SVCA?
- Cuales son los puntos de mayor concentración, cuales los de menos?

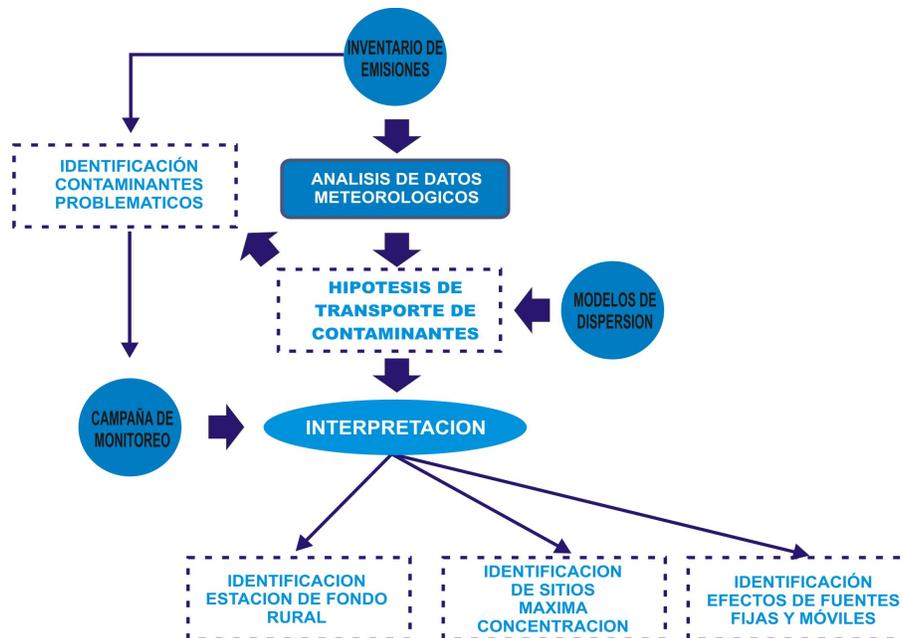


Tabla 10.2. Análisis de información preliminar

11. FASE DE ELABORACIÓN DE DISEÑO FINAL

Después de haber sido establecidos los objetivos de vigilancia, el grupo técnico conformado por consultores y/o funcionarios de la autoridad ambiental debe realizar el diseño detallado del SVCA para cumplir los objetivos del SVCA, siguiendo los lineamientos que a continuación se exponen:

11.1 DEFINICION DEL TIPO DE SVCA:

No existe una reglamentación única para el diseño detallado de un SVCA, dado que las decisiones sobre el número y ubicación de las estaciones de vigilancia, están sometidas a los objetivos y a la problemática específica que pueden ser diferentes para cada ciudad ó región. Además un SVCA por lo general no debe estar orientada a un solo objetivo, por lo tanto algunas estaciones pueden obedecer a dos o más objetivos a la vez, lo que implica diferencias entre los equipos instalados en una estación u otra, con las consiguientes diferencias de costos de implantación y operación.

Un diseño óptimo debe procurar que sea posible contrastar resultados entre varios sitios, sin duplicar o desperdiciar ni esfuerzos ni capital. La meta principal de diseño es asegurar la mayor cantidad de información con el mínimo infraestructura.

A pesar de lo anterior con el conocimiento de las condiciones Colombianas se proponen varios modelos de diseño de redes que deberán se adaptados a las condiciones específicas de cada localidad o región. Los sistemas de vigilancia podrán ir evolucionando con el tiempo de acuerdo a las necesidades y cambio de objetivos del sistema y pasando de un modelo posible a otro. En poblaciones inferiores a 50.000 sin problemáticas ambientales claramente identificadas no será necesario establecer un SVCA.

Se proponen 5 modelos de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del aire adaptados a las condiciones de población, territorio y condiciones ambientales de Colombia. El siguiente esquema resume los tipos de SVCA y sus criterios de escogencia:

Los análisis de población se realizarán con base en el último censo oficial realizado y proyectado al año de diseño del SVCA.

11.2 SVCA TIPO I: INDICATIVO

11.2.1 Objetivos:

Este tipo de sistema de vigilancia podrá responder a los siguientes objetivos aunque estos deben ser definidos de acuerdo a la necesidad de la jurisdicción de la autoridad ambiental:

1. Evaluar el riesgo para la salud humana
2. Determinar posibles riesgos para el medio ambiente
3. Estudiar fuentes e investigar quejas concretas
4. Soportar investigaciones científicas

11.2.2 Aplicación:

En poblaciones de 50.000 a 150.0000 habitantes sin problemáticas ambientales claramente identificadas (zonas industriales, mineras, otras fuentes relevantes). Para este tipo de poblaciones no es necesario realizar el diagnostico inicial sino que de la fase de revisión inicial se pasa a la fase de diseño (se debe realizar un análisis de rosa de vientos).

Poblaciones con problemáticas ambientales especiales de cualquier cantidad de población se regirán por el diseño tipo de Sistemas Especiales de Vigilancia de la Calidad del Aire -SEVCA-.

11.2.3 Características:

CARACTERISTICA	PARAMETRO	OBSERVACIONES
TECNOLOGIA DE MEDICION	Muestreo Activo	
TIEMPO MONITOREO	Mínimo tres meses en época seca	Podrá monitorearse también en combinación de época seca y húmeda (mínimo 1.5 meses en época seca)
PERIODICIDAD MONITOREO	Máximo cada 4 años se deberá repetir la campaña.	Se variará el periodo de acuerdo al análisis normativo descrito abajo.
PARAMETROS A MEDIR	MP10	
NUMERO ESTACIONES	Mínimo 2 estaciones.	
TIPO ESTACIONES ¹⁷	FONDO FONDO URBANA EPE ¹⁸	
UBICACIÓN ESTACIONES	Una estación ubicada vientos arriba de la localidad sin influencia de las fuentes estudiadas y una vientos abajo de las fuentes de mayor influencia.	Otras estaciones serán ubicadas de acuerdo a la rosa de vientos en sitios con población afectada por otras fuentes vientos debajo de ellas.
PERIODICIDAD MUESTREO	Cada tercer día	Se deben completar como mínimo 30 muestras en cada estación.
INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS	Precipitación Manual Estación meteorológica automática portátil en caso de no existir información simultanea.	

Tabla 11.1. Características SVCA Tipo I

¹⁷ Ver Tipos de estaciones

¹⁸ EPE: Estación de Propósito Especifico: En caso de existir una fuente significativa que amerite monitoreo permanente.

11.2.4 Objetivos de la ubicación de estaciones de un SVCA Indicativo:

Las estaciones ubicadas para este tipo de SVCA deben responder a las siguientes características¹⁹:

5. Estaciones localizadas para determinar las concentraciones más altas en el dominio del SVCA.
6. Estaciones localizadas para determinar concentraciones generales de Fondo.
7. Estaciones localizadas para determinar el impacto en la calidad del aire de fuentes significativas

11.2.5 Monitoreo de Otros parámetros

En caso que durante la revisión se encuentren quejas sobre otro contaminante diferente a MP 10 y habiendo realizado una revisión de tipos de fuentes presentes en el área y sus posibles contaminantes emitidos se debe incluir en el periodo de monitoreo dicho contaminante (se utilizarán métodos manuales de monitoreo). La frecuencia de monitoreo de dichos contaminantes se definirá con las mismos criterios descritos a continuación.

11.2.6 Variaciones del SVCA Indicativo a la luz de la legislación vigente:

Para conocer de manera indicativa (Resolución 601 de 206) el estado de contaminación de MP10 respecto a las legislaciones existentes se debe realizar de la siguiente forma (una vez se ha realizado control y aseguramiento de la calidad de la información):

- Para establecer tendencia anual se hace de forma indicativa (por ser una serie de datos muy corta -tres meses-) usando una extrapolación de la información monitoreada. Se debe tener en cuenta las condiciones de precipitación que se dieron durante el monitoreo para llegar a una extrapolación más acertada.
- Con fines de establecer variaciones del SVCA Tipo I respecto decreto NÚMERO 979 de 2006) se debe realizar el siguiente análisis de acuerdo a los niveles detectados durante la campaña de monitoreo:
- Se revisan los valores de MP10 hallados durante la campaña de monitoreo.
 - Si todos los valores de monitoreados se encuentran por debajo del nivel de prevención la campaña de de monitoreo del SVCA Indicativo se deberá realizar cada 4 años.
 - Si uno de los valores encontrados se encuentra entre el nivel de prevención y el nivel de alerta la campaña de monitoreo del SVCA Indicativo deberá realizarse nuevamente durante el año siguiente.
 - Si el 3% de la muestras se encuentra entre el nivel de prevención y de alerta o si alguno de los valores supera el valor de alerta se deberá pasar a un SVCA Básico. Esta decisión se toma una vez se revisen posibles eventos puntuales que hayan causado los niveles observados y la posibilidad de repetición de dicho evento.
 - En caso de existir una fuente significativa o específica en la zona (ej. cementera, planta de asfalto, troncal vial, de alto trafico, etc), temporalmente la estación de fondo podría entrar a realizar monitoreos indicativos y trasladándola el tiempo necesario al área de influencia de la fuente. En caso de encontrar valores cercanos en un 90% a la norma de 24 Horas se deberá constituir una estación Indicativa adicional en dicho punto en las campañas del SVCA Indicativo.

11.2.7 Componente de meteorología:

- Se podrá realizar el análisis a partir de estaciones meteorológicas existentes de otras instituciones siempre que sean representativas
- En caso de no existir una estación meteorológica cercana se deberá implementar una estación meteorológica portátil.

¹⁹ Adaptado de: Appendix D to Part 58—Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring

- Se deberá conocer la presión atmosférica del sitio con fines de calibración de los equipos utilizados.
- En cada estación se deberá ubicar un pluviómetro manual.

11.2.8 Componentes del SVCA Indicativo:

Hardware:

- Estaciones de calidad del Aire Indicativas
- Estación Meteorológica Portátil tipo I con parámetros básicos (Dirección y Velocidad del Viento, Pluviómetro y Temperatura)
- Pluviómetros manuales

Software:

- Hoja de Calculo para manejo de información de calidad del aire y meteorológica con capacidad para realiza graficas.

Reportes:

- Un Reporte trimestral físicos a la comunidad
- Reporte Mensual en el SISAIRE

11.2.9 Consideraciones especiales de este tipo de SVCA:

- Es poco probable que se requiera monitoreo de gases
- Se deberá revisar el diseño de este tipo de SVCA cada 4 años o de acuerdo a lo expresado en los parámetros de diseño arriba expuestos.

11.3 SVCA TIPO II: BÁSICO

11.3.1 Objetivos:

Este tipo de sistema de vigilancia podrá responder a los siguientes objetivos:

1. Determinar el cumplimiento de las normas nacionales de la calidad del aire Con limitaciones en cuanto a la medición de algunos parámetros y límites establecidos en la legislación para promedios inferiores a 24 Horas.
2. Evaluar las estrategias de control de las autoridades ambientales
3. Observar las tendencias a mediano y largo plazo
4. Evaluar el riesgo para la salud humana
5. Determinar posibles riesgos para el medio ambiente
6. Activar los procedimientos de control en situaciones de emergencia
7. Estudiar fuentes e investigar quejas concretas
8. Validar los modelos de calidad del aire
9. Soportar investigaciones científicas

11.3.2 Aplicación:

En poblaciones mayores de 150.000 Habitantes a 500.000 habitantes.

CARACTERISTICA	PARAMETRO	OBSERVACIONES
TECNOLOGIA DE MEDICION	Activo Pasivo Semi-automático Automático	
TIEMPO DE MONITOREO	Permanente	
PERIODICIDAD DEL MONITOREO	Permanente	
PARAMETROS A MEDIR	De acuerdo a la problemática local identificada, sin embargo debe medirse como mínimo MP10. Gases Tóxicos según sea necesario.	Serán definidos otros contaminantes de acuerdo al inventario de emisiones y al modelo de dispersión
NUMERO DE ESTACIONES	Mínimo 2 estaciones MP10.	
TIPO DE ESTACIONES ²⁰	FONDO FONDO URBANA INDICATIVAS	
UBICACIÓN ESTACIONES	Una estación ubicada vientos arriba de la localidad sin influencia de las fuentes estudiadas y una vientos abajo de las fuentes de mayor influencia. Otras estaciones serán ubicadas de acuerdo a los resultados del modelo de dispersión.	
PERIODICIDAD DEL MUESTREO	Para muestreadores activos cada tercer día. Para muestreadores pasivos tres series de un mes de duración ²¹ cada dos años, Para analizadores automáticos - permanente.	
INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS	Precipitación Automática Estación meteorológica automática portátil.	

Tabla 11.2. Características SVCA Tipo II

²⁰ Ver Tipos de estaciones

²¹ Para muestreadores pasivos de Ozono debe reducirse el tiempo a una semana, una serie cada vez que inicie un mes.

11.3.3 Diseño específico del SVCA TIPO I: Básico

Objetivos de la ubicación de estaciones de un SVCA Básico:

Las estaciones ubicadas para este tipo de SVCA deben responder a las siguientes características²²:

1. Estaciones localizadas para determinar las concentraciones más altas en el dominio del SVCA.
2. Estaciones localizadas para determinar concentraciones típicas de zonas densamente pobladas.
3. Estaciones localizadas para determinar el impacto en la calidad del aire de fuentes significativas
4. Estaciones localizadas para determinar concentraciones generales de Fondo.

11.3.4 Numero de Estaciones:

11.3.4.1 Definición y Ubicación de estaciones fijas:

Una estación podrá estar conformada con la medición de uno o varios parámetros:

Estaciones de MP10:

Se tendrá un número mínimo de 2 estaciones fijas de MP10 ubicadas con los siguientes criterios.

- 1 Estación de fondo (Objetivo 1). Se ubicará de acuerdo a la rosa de vientos de la zona, vientos arriba del centro urbano estudiado.
- 1 Estación en el punto donde se esperarán las concentraciones de contaminación por partículas más altas (Objetivo 4). Ubicada de acuerdo a los resultados del modelo de dispersión y de los resultados de la campaña de monitoreo preliminar. Se debe buscar una correlación entre los datos del modelo de dispersión y los datos monitoreo para tratar de disminuir la incertidumbre del mismo.

De acuerdo con los análisis del inventario de emisiones, campaña de monitoreo (extrapoladas o mediciones existentes) y la modelación realizados en el Diagnostico preliminar se deberá complementar la red de la siguiente forma cumpliendo los objetivos 2 y 3 descritos anteriormente.

- Estaciones localizadas para determinar concentraciones típicas de zonas densamente pobladas. De acuerdo a los resultados del modelo de dispersión teniendo en cuenta la combinación de resultados de fuentes fijas y móviles y los resultados de la campaña de monitoreo del diagnostico preliminar (o mediciones históricas existentes) . Se justificará la ubicación de una estación fija bajo los siguientes argumentos :

²² Adaptado de: Appendix D to Part 58–Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring

TECNICA	CRITERIO	ACCION
Activa automática	o Si todos los valores se encuentran por debajo del nivel de prevención	Se realiza monitoreo indicativo o no se realiza monitoreo
Activa automática	o Si uno de los valores (o el 3% de los datos tomados durante un año) encontrados se encuentra entre el nivel de prevención y el nivel de alerta	Se realiza monitoreo indicativo
Activa automática	o Si uno de los valores (o el 3% de los datos tomados durante un año) se encuentra por encima del valor de alerta	Se deberá instalar una estación fija con muestreo activo
Activa automática	o Si uno de los valores (o el 10% de los datos tomados durante un año) se encuentra por encima de los valores de emergencia.	Se debe instalar una estación fija con muestreo automático

Tabla 11.3. Justificación de ubicación de estaciones fijas de PM10

- Estaciones localizadas para determinar el impacto en la calidad del aire de fuentes significativas. Para ello se estudiarán por separado los resultados del modelo fuentes móviles y fuentes fijas identificando los impactos de las fuentes mas relevantes. Esto se debe complementar con el análisis de los resultados de la campaña de monitoreo con el objeto de verificar niveles probables. Este tipo de estaciones podrían ser indicativas. La estación pasará a ser fija si cumple con los criterios expuestos en la tabla anterior.

Estaciones de otros parámetros:

- En este tipo de SVCA no será necesario medir CO
- Para la inclusión de otros parámetros será necesario el análisis de la información recolectada durante la campaña de monitoreo preliminar:
 - Se incluirá la medición de SO₂ cuando durante la campaña de monitoreo (mediante extrapolación o información histórica existente):

TECNICA	CRITERIO	ACCION
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio inferiores al 80% de la norma anual	Se realiza monitoreo indicativo
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio superiores al 80% de la norma anual	Se instalan equipos de monitoreo activo permanentes con monitoreo cada tercer día.
Activa o automática	Si uno de los valores (o el 10% de los datos anuales) se encuentra entre el nivel de prevención y el nivel de alerta o si cumple condiciones de área fuente de condición marginal.	Se deberán realizar monitoreos indicativos con equipos activos
Activa o automática	Si uno de los valores se encuentra por encima de los valores de alerta o si cumple condiciones de área fuente de contaminación media o moderada.	Se debe instalar una estación fija con muestreo activo o automático
Activa o automática	Si uno de los valores se encuentra por encima del nivel de emergencia o si cumple condiciones de área fuente de contaminación alta.	Se debe instalar una estación fija con automático

Tabla 11.4. Justificación de ubicación de estaciones de otros parámetros

- Se incluirá la medición manual de NO₂ cuando durante la campaña de monitoreo (mediante extrapolación o información histórica existente) se presenten los siguientes casos:

TECNICA	CRITERIO	ACCION
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio inferiores al 80% de la norma anual	Se realiza monitoreo indicativo
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio superiores al 80% de la norma anual	Se instalan equipos de monitoreo activo permanentes con monitoreo cada tercer día.
Activa o automática	si cumple condiciones de área fuente de condición marginal.	Se deberán realizar monitoreos indicativos con equipos activos
Activa o automática	Si cumple condiciones de área fuente de contaminación media o moderada.	Se debe instalar una estación fija con muestreo activo o automático
Activa o automática	Si cumple condiciones de área fuente de contaminación alta.	Se debe instalar una estación fija con automático

Tabla 11.5. Justificación de ubicación de estaciones de NO₂

La ubicación de estaciones para estos contaminantes se realizará de acuerdo al análisis combinado de los modelos de dispersión de fuentes fijas y móviles con los mismos criterios que para MP10. No es obligatorio que un SVCA Básico tenga estaciones fijas de medición de gases a menos que cumpla con alguno de los parámetros anteriores.

11.3.4.2 Definición y ubicación de estaciones indicativas:

Constituido por estaciones cuyo fin es determinar niveles probables de los contaminantes de interés para un SVCA. Los métodos de medición para este tipo de estaciones no necesariamente son de referencia. De la misma forma pueden ser estaciones que usan métodos de referencia pero que se movilizan con el tiempo.

Ubicación de estaciones indicativas de MP10

En caso que el SVCA este conformado por las dos estaciones mínimas se podrán realizar mediciones indicativas en otros puntos que respondan a los objetivos de ubicación 2 y 3. Este tipo de mediciones se harían de la siguiente forma:

- Durante el primer año las estaciones permanecerían en cada punto un mínimo de 3 meses antes de rotarla.
- A partir del segundo año debe permanecer un mínimo de un año en cada punto antes de ser rotada.
- En caso de encontrarse, durante la evolución de la red mediciones de MP10 si uno de los valores (o el 3% de los datos tomados durante un año) se encuentra por encima del valor de alerta se deberá ubicar una estación fija en el punto respectivo.

Ubicación de estaciones indicativas de Gases:

El mínimo número de estas estaciones se define la siguiente forma teniendo en cuenta el uso de muestreadores pasivos²³:

²³ Tomando como base y adaptado de: PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MARCO DE LAS NUEVAS DIRECTIVAS. Grupo de Trabajo de Evaluación preliminar, posterior y Modelización de la calidad del aire. Subgrupo de Evaluación preliminar y posterior. Versión final 8 de Mayo de 2000

CONTAMINANTE	NUMERO DE ESTACIONES	FRECUENCIA
SO2 y NO2	16	3 campañas de un mes cada una cada dos años
O3	7	3 campañas de un mes cada una cada dos años

Tabla 11.6. Ubicación de estaciones indicativas de gases- Muestreadotes pasivos

La ubicación se realizará de la siguiente forma:

- 1 Estación de SO2, NO2 y O3 de fondo.
- Las demás estaciones se ubicarán de a 3 en semicírculos concéntricos a partir de la concentración de fondo en la dirección del viento. Se diferencian las de ozono que se las 6 restantes se ubicarán en los dos radios mas externos de los semicírculos.
- Los espacios entre los muestreadores pasivos de un mismo contaminante no deberán ser mayores de 4 kilómetros. En caso de ser necesario se deberá densificar la red

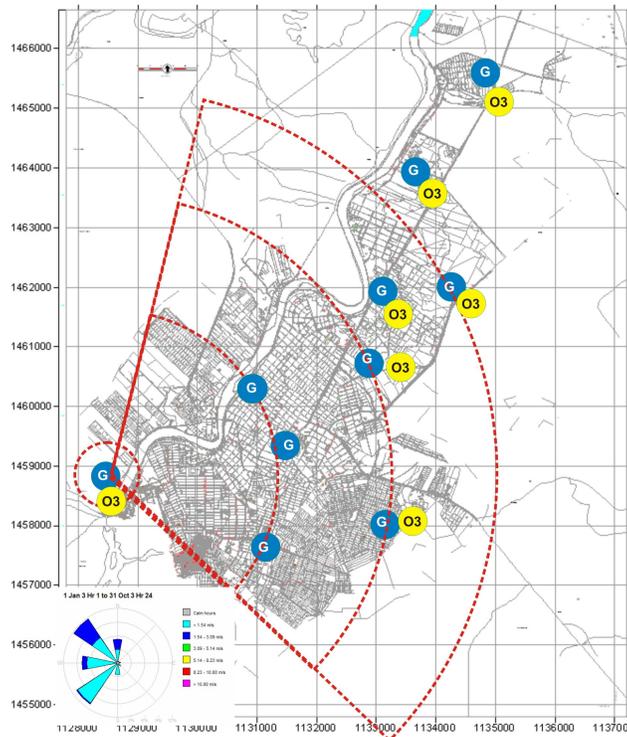


Figura 11.1. Ubicación de muestreadotes pasivos

Si se encuentra un resultado de muestreadores pasivos con niveles (extrapolando) que signifiquen cercanía de un punto a la norma anual en más del 80% se procederá a la ubicación en ese punto de un muestreador activo.

11.3.5 Componente de meteorología:

- Se instalará una estación meteorológica portátil tipo II en el punto de mayor representatividad (Velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa, pluviometría, presión barométrica).
- En cada estación fija se deberá ubicar un pluviómetro automático.

11.3.6 Componentes del SVCA Básico:

Hardware:

- Estaciones de calidad del Aire fijas
- Estaciones de calidad del aire indicativas
- Estaciones Meteorológicas Portátiles tipo II
- Pluviómetros automáticos

Software:

- Modelos de dispersión Gaussianos (fuentes fijas y móviles)
- Base de datos de Inventario de Emisiones
- Software de Gestión de la información

Reportes:

- Reporte mediante pagina web con actualización semanal
- Reportes trimestrales de acuerdo a lo establecido en el presente protocolo
- Reporte Mensual en el SISAIRE

11.3.7 Consideraciones especiales de este tipo de SVCA:

- Es poco probable que se requiera monitoreo de CO.
- En muy pocas ocasiones se necesitará monitoreo de NO₂ y SO₂
- Es posible que únicamente se necesiten tecnologías manuales de monitoreo.
- Se deberá revisar el diseño de este tipo de SVCA cada 4 años.

11.4 SVCA TIPO III: INTERMEDIO

11.4.1 Objetivos:

Este tipo de sistema de vigilancia podrá responder a los siguientes objetivos:

1. Determinar el cumplimiento de las normas nacionales de la calidad del aire.
2. Evaluar las estrategias de control de las autoridades ambientales
3. Observar las tendencias a mediano y largo plazo
4. Evaluar el riesgo para la salud humana
5. Determinar posibles riesgos para el medio ambiente
6. Activar los procedimientos de control en situaciones de emergencia
7. Estudiar fuentes e investigar quejas concretas
8. Validar los modelos de calidad del aire
9. Soportar investigaciones científicas

11.4.2 Aplicación:

En poblaciones en que su área metropolitana sea mayor de 500.000 Habitantes a 1.500.000 habitantes.

En poblaciones del área metropolitana fuera del SVCA de la ciudad mas grande deberán analizarse de manera independiente con los TIPOS de SVGA planteados en el presente protocolo pero la administración del sistema debe hacerse de manera conjunta.

CARACTERISTICA	PARAMETRO	OBSERVACIONES
TECNOLOGIA DE MEDICION	Activo Pasivo Semi-automático Automático	
TIEMPO DE MONITOREO	Permanente	
PERIODICIDAD DEL MONITOREO	Permanente	
PARAMETROS A MEDIR	MP10. MP2.5 Ozono	Serán definidos otros contaminantes de acuerdo al inventario de emisiones y al modelo de dispersión
NUMERO DE ESTACIONES	Mínimo 3 estaciones MP10. Mínimo 1 estación MP2.5 ²⁴ Mínimo 1 estación de O3	
TIPO DE ESTACIONES ²⁵	FONDO FONDO URBANA INDICATIVAS EPE	
UBICACIÓN ESTACIONES	De acuerdo al diseño específico descrito en el diseño detallado	
PERIODICIDAD DEL MUESTREO	Para muestreadores activos cada tercer día. Para muestreadores pasivos: tres series de un mes de duración ²⁶ cada dos años, Para analizadores automáticos - permanente.	
INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS	Precipitación Automática Estaciones meteorológicas automáticas portátiles. Estación Meteorológica de alta precisión	

Tabla 11.7. Descripción SVCA Tipo III

²⁴ La medición de este parámetro se realizará de acuerdo a lo explícito en la resolución 609 de 2006 o la que lo modifique parcialmente o lo reemplace

²⁵ Ver Tipos de estaciones

²⁶ Para muestreadores pasivos de Ozono debe reducirse el tiempo a una semana, una serie cada vez que inicie un mes.

11.4.3 Diseño específico del SVCA TIPO III: Intermedio

Objetivos de la ubicación de estaciones de un SVCA TIPO III Intermedio:

Las estaciones ubicadas para este tipo de SVCA deben responder a las siguientes características²⁷:

1. Estaciones localizadas para determinar las concentraciones más altas en el dominio del SVCA.
2. Estaciones localizadas para determinar concentraciones típicas de zonas densamente pobladas.
3. Estaciones localizadas para determinar el impacto en la calidad del aire de fuentes significativas
4. Estaciones localizadas para determinar concentraciones generales de Fondo.
5. Estaciones de soporte a estudios epidemiológicos

11.4.4 Numero de Estaciones:

Una estación podrá estar conformada con la medición de uno o varios parámetros:

11.4.4.1 Definición y Ubicación de estaciones fijas:

Estaciones de MP10:

Se tendrá un número mínimo de 3 estaciones fijas de MP10 ubicadas con los siguientes criterios.

- 1 Estación de fondo (Objetivo 1). Se ubicará de acuerdo a la rosa de vientos de la zona, vientos arriba del centro urbano estudiado.
- 1 Estación en el punto donde se esperarán las concentraciones de contaminación por partículas más altas (Objetivo 4). Ubicada de acuerdo a los resultados del modelo de dispersión y de los resultados de la campaña de monitoreo preliminar. Se debe buscar una correlación entre los datos del modelo de dispersión y los datos monitoreo para tratar de disminuir la incertidumbre del mismo.
- 1 Estación de Punto Critico (hot spot) Objetivo 3 y 5

Las tecnologías para este tipo de estaciones serán de muestreo activo. Se pasará a muestreo automático en los casos descritos a continuación.

De acuerdo con los análisis del inventario de emisiones, campaña de monitoreo (extrapoladas o mediciones existentes) y la modelación realizados en el Diagnostico preliminar se deberá complementar la red de la siguiente forma cumpliendo los objetivos 2 y 3 descritos anteriormente.

- Estaciones localizadas para determinar concentraciones típicas de zonas densamente pobladas. De acuerdo a los resultados del modelo de dispersión teniendo en cuenta la combinación de resultados de fuentes fijas y móviles y los resultados de la campaña de monitoreo del diagnostico preliminar (o mediciones históricas existentes) . Se justificará la ubicación de una estación fija bajo los siguientes argumentos :

²⁷ Adaptado de: Appendix D to Part 58–Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring

TECNICA		CRITERIO	ACCION
Activa automática	o	Si todos los valores se encuentran por debajo del nivel de prevención	Se realiza monitoreo indicativo o no se realiza monitoreo
Activa automática	o	Si uno de los valores (o el 3% de los datos tomados durante un año) encontrados se encuentra entre el nivel de prevención y el nivel de alerta	Se realiza monitoreo indicativo
Activa automática	o	Si uno de los valores (o el 3% de los datos tomados durante un año) se encuentra por encima del valor de alerta	Se deberá instalar una estación fija con muestreo activo
Activa automática	o	Si uno de los valores (o el 10% de los datos tomados durante un año) se encuentra por encima de los valores de emergencia.	Se debe instalar una estación fija con muestreo automático

Tabla 11.8. Justificación de estaciones fijas de PM10 para SVCA tipo III

- Estaciones localizadas para determinar el impacto en la calidad del aire de fuentes significativas. Para ello se estudiarán por separado los resultados del modelo fuentes móviles y fuentes fijas identificando los impactos de las fuentes más relevantes. Esto se debe complementar con el análisis de los resultados de la campaña de monitoreo con el objeto de verificar niveles probables. Este tipo de estaciones podrían ser indicativas. La estación pasará a ser fija si cumple con los criterios expuestos en la tabla anterior.

Estaciones de MP2.5²⁸

Una Estación en el punto donde se esperarán las concentraciones de contaminación por partículas más altas de MP10.

Estaciones de otros parámetros:

- En este tipo de SVCA no será necesario medir CO
- Para la inclusión de otros parámetros será necesario el análisis de la información recolectada durante la campaña de monitoreo preliminar:
 - Se incluirá la medición de SO₂ cuando durante la campaña de monitoreo (mediante extrapolación o información histórica existente):

²⁸ De acuerdo al capítulo II, Artículo 4, párrafo 2 de la resolución 601, Párrafo Segundo: Las autoridades ambientales competentes, deberán iniciar las mediciones de PM 2.5, cuando por las concentraciones de PST y MP10, por mediciones directas de PM 2.5 o por medio de estudios técnicos, identifiquen probables afectaciones a la salud humana. Para tal efecto, tomarán como valor guía los estándares de la EPA (15 µg/m³ como concentración anual a partir de la media aritmética y de 65 µg/m³ como concentración diaria)

TECNICA	CRITERIO	ACCION
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio inferiores al 80% de la norma anual	Se realiza monitoreo indicativo
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio superiores al 80% de la norma anual	Se instalan equipos de monitoreo activo permanentes con monitoreo cada tercer día.
Activa o automática	Si uno de los valores (o el 10% de los datos anuales) se encuentra entre el nivel de prevención y el nivel de alerta o si cumple condiciones de área fuente de condición marginal.	Se deberán realizar monitoreos indicativos con equipos activos
Activa o automática	Si uno de los valores se encuentra por encima de los valores de alerta o si cumple condiciones de área fuente de contaminación media o moderada.	Se debe instalar una estación fija con muestreo activo o automático
Activa o automática	Si uno de los valores se encuentra por encima del nivel de emergencia o si cumple condiciones de área fuente de contaminación alta.	Se debe instalar una estación fija con automático

Tabla 11.9. Justificación de estaciones fijas de otros parámetros para SVCA tipo III

- Se incluirá la medición manual de NO₂ cuando durante la campaña de monitoreo (mediante extrapolación o información histórica existente) se presenten los siguientes casos:

TECNICA	CRITERIO	ACCION
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio inferiores al 80% de la norma anual	Se realiza monitoreo indicativo
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio superiores al 80% de la norma anual	Se instalan equipos de monitoreo activo permanentes con monitoreo cada tercer día.
Activa o automática	si cumple condiciones de área fuente de condición marginal.	Se deberán realizar monitoreos indicativos con equipos activos
Activa o automática	Si cumple condiciones de área fuente de contaminación media o moderada.	Se debe instalar una estación fija con muestreo activo o automático
Activa o automática	Si cumple condiciones de área fuente de contaminación alta.	Se debe instalar una estación fija con automático

Tabla 11.10. Justificación de estaciones fijas de SO₂ para SVCA tipo III

La ubicación de estaciones para estos contaminantes se realizará de acuerdo al análisis combinado de los modelos de dispersión de fuentes fijas y móviles con los mismos criterios que para MP10. No es obligatorio que un SVCA Básico tenga estaciones fijas de medición de gases a menos que cumpla con alguno de los parámetros anteriores.

11.4.4.2 Definición y ubicación de estaciones indicativas:

Constituido por estaciones cuyo fin es determinar niveles probables de los contaminantes de interés para un SVCA. Los métodos de medición para este tipo de estaciones no necesariamente son de referencia. De la misma forma pueden ser estaciones que usan métodos de referencia pero que se movilizan con el tiempo.

Ubicación de estaciones indicativas de MP10

En caso que el SVCA este conformado por las dos estaciones mínimas se podrán realizar mediciones indicativas en otros puntos que respondan a los objetivos de ubicación 2 y 3. Este tipo de mediciones se harían de la siguiente forma:

- Durante el primer año las estaciones permanecerían en cada punto un mínimo de 3 meses antes de rotarla.
- A partir del segundo año debe permanecer un mínimo de un año en cada punto antes de ser rotada.
- En caso de encontrarse, durante la evolución de la red mediciones de MP10 si uno de los valores (o el 3% de los datos tomados durante un año) se encuentra por encima del valor de alerta se deberá ubicar una estación fija en el punto respectivo.

Ubicación de estaciones indicativas de otros Gases

Ubicación de estaciones indicativas de SO₂, NO₂, y O₃ usando métodos de medición de referencia:

Consiste en el uso de estaciones automáticas de monitoreo con equipos que utilizan métodos de medición de referencia. Estas estaciones están dotadas de equipos analizadores, de los sistemas auxiliares necesarios de adquisición de datos, de comunicaciones, de alimentación eléctrica autónoma y condiciones controladas de temperatura. Deben ser dispuestas en cabinas especialmente acondicionadas.²⁹

Este tipo de tecnología se utilizará de acuerdo a los criterios expresados anteriormente en la sección correspondiente a ubicación de estaciones fijas. En todo caso a menos que la autoridad ambiental posea equipos automáticos redundantes y los criterios establecidos lo permitan se optará por la tecnología más económica entre tecnologías móviles y fijas.

Estaciones Indicativas usando tubos pasivos:

El mínimo número de estas estaciones se define la siguiente forma teniendo en cuenta el uso de muestreadores pasivos³⁰:

CONTAMINANTE	NUMERO DE ESTACIONES	FRECUENCIA
SO ₂ y NO ₂	30	3 campañas de un mes cada una cada dos años
O ₃	15	3 campañas de un mes cada una cada dos años

Tabla 11.11. Ubicación de estaciones indicativas para SVCA tipo III- Muestreadores pasivos

La ubicación se realizará de la siguiente forma:

- 1 Estación de SO₂, NO₂ y O₃ de fondo.
- Las demás estaciones se ubicarán de a 3 en semicírculos concéntricos a partir de la concentración de fondo en la dirección del viento. Se diferencian las de ozono que se las 14 restantes se ubicarán en los tres radios más externos de los semicírculos.

²⁹ Revisar tecnologías de muestreo en el presente protocolo

³⁰ Tomando como base y adaptado de: PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MARCO DE LAS NUEVAS DIRECTIVAS. Grupo de Trabajo de Evaluación preliminar, posterior y Modelización de la calidad del aire. Subgrupo de Evaluación preliminar y posterior. Versión final 8 de Mayo de 2000

- Los espacios entre los muestreadores pasivos de un mismo contaminante no deberán ser mayores de 4 kilómetros en Caso de ser necesario se deberá densificar la red.

Si se encuentra un resultado de muestreadores pasivos con niveles (extrapolando) que signifiquen cercanía de un punto a la norma anual en más del 80% se precederá a la ubicación en ese punto de un muestreador activo (burbujeadores de gases³¹)

11.4.5 Componente de meteorología:

- Se deberá implementar una estación meteorológica de alta precisión
- Se deberá implementar el uso de una o varias estaciones meteorológicas portátiles tipo II de acuerdo con un estudio micro meteorológico básico con medición de los siguientes parámetros (Velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa, pluviometría, presión barométrica).
- En cada estación fija se deberá ubicar un pluviómetro automático.

11.4.6 Componentes del SVCA Intermedio:

Hardware:

- Estaciones de calidad del Aire fijas
- Estaciones de calidad del aire indicativas
- Estaciones Meteorológicas Portátiles tipo II
- Estaciones Meteorológicas de alta precisión.
- Pluviómetros automáticos

Software:

- Modelos de dispersión Gaussianos (fuentes fijas y móviles) o modelo Avanzado
- Base de datos de Inventario de Emisiones
- Software de Gestión de la información

Reportes:

- Reporte mediante pagina web con actualización semanal
- Reportes trimestrales físicos a la comunidad de acuerdo a lo establecido en el presente protocolo.
- Reporte Mensual en el SISAIRE

11.4.7 Consideraciones especiales de este tipo de SVCA:

- Es poco probable que se requiera monitoreo de CO.
- En muy pocas ocasiones se necesitará monitoreo de NO2 y SO2
- Es posible que únicamente se necesiten tecnologías manuales de monitoreo.
- Se deberá revisar el diseño de este tipo de SVCA cada 3 años.

11.5 SVCA TIPO IV: AVANZADO

11.5.1 Objetivos:

Este tipo de sistema de vigilancia podrá responder a los siguientes objetivos:

1. Determinar el cumplimiento de las normas nacionales de la calidad del aire.
2. Evaluar las estrategias de control de las autoridades ambientales
3. Observar las tendencias a mediano y largo plazo
4. Evaluar el riesgo para la salud humana

³¹ También conocidos como Rack de tres gases. Revisar tecnologías de medición

5. Determinar posibles riesgos para el medio ambiente
6. Activar los procedimientos de control en situaciones de emergencia
7. Estudiar fuentes e investigar quejas concretas
8. Validar los modelos de calidad del aire
9. Soportar investigaciones científicas

11.5.2 Aplicación:

En poblaciones en que su área metropolitana sea mayor de 1.500.000 Habitantes

En poblaciones del área metropolitana fuera del SVCA de la ciudad mas grande deberán analizarse de manera independiente con los TIPOS de SVGA planteados en el presente protocolo pero la administración del sistema deberá hacerse de manera conjunta.

CARACTERISTICA	PARAMETRO	OBSERVACIONES
TECNOLOGIA DE MEDICION	Activo Pasivo Semi-automatico Automático	
TIEMPO DE MONITOREO	Permanente	
PERIODICIDAD DEL MONITOREO	Permanente	
PARAMETROS A MEDIR	MP10. MP2.5 Ozono	Serán definidos otros contaminantes de acuerdo al inventario de emisiones y al modelo de dispersión
NUMERO DE ESTACIONES ³²	Mínimo 4 estaciones MP10 Mínimo 2 estaciones MP2.5 Mínimo 1 estación de O3	
TIPO DE ESTACIONES ³³	FONDO FONDO URBANA INDICATIVAS EPE	
UBICACIÓN ESTACIONES	De acuerdo al diseño específico descrito en el diseño detallado	
PERIODICIDAD DEL MUESTREO	Para muestreadores activos cada tercer día de por medio. Para muestreadores pasivos: tres series de un mes de duración ³⁴ cada dos años, Para analizadores automáticos - permanente.	
INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS	Precipitación Automática Estaciones meteorológicas automáticas portátiles. Estación Meteorológica de alta precisión	

Tabla 11.12. Descripción SVCA Tipo IV Avanzado

³² De acuerdo a criterios adaptados del CFR40

³³ Ver Tipos de estaciones

³⁴ Para muestreadores pasivos de Ozono debe reducirse el tiempo a una semana, una serie cada vez que inicie un mes.

11.5.3 Diseño específico del SVCA TIPO IV: Avanzado

Objetivos de la ubicación de estaciones de un SVCA TIPO IV Avanzado³⁵:

Las estaciones ubicadas para este tipo de SVCA deben responder a las siguientes características³⁶:

1. Estaciones localizadas para determinar las concentraciones más altas en el dominio del SVCA.
2. Estaciones localizadas para determinar concentraciones típicas de zonas densamente pobladas.
3. Estaciones localizadas para determinar el impacto en la calidad del aire de fuentes significativas
4. Estaciones localizadas para determinar concentraciones generales de Fondo.
5. Estaciones de soporte a estudios epidemiológicos
6. Estaciones localizadas para determinar grados de transporte regional de contaminantes entre áreas pobladas
7. Estaciones para estudios de especiación y aplicación de modelos de receptor.

11.5.4 Numero de Estaciones:

11.5.4.1 Definición y Ubicación de estaciones fijas:

Una estación podrá estar conformada con la medición de uno o varios parámetros:

Estaciones de MP10:

Se tendrá un número mínimo de 4 estaciones fijas de MP10 ubicadas con los siguientes criterios.

- 1 Estación de fondo (Objetivo 4). Se ubicará de acuerdo a la rosa de vientos de la zona, vientos arriba del centro urbano estudiado. De acuerdo a la meteorología y micrometeorología de la zona se debería ubicar varias estaciones para evaluar concentraciones de fondo.
- 2 Estaciones en los puntos donde se esperarán las concentraciones de contaminación por partículas más altas (Objetivo 1). Ubicada de acuerdo a los resultados del modelo de dispersión y de los resultados de la campaña de monitoreo preliminar. Se debe buscar una correlación entre los datos del modelo de dispersión y los datos de monitoreo para tratar de disminuir la incertidumbre del mismo.
- 1 Estación para soporte de estudios epidemiológicos o una estación de punto crítico para mediciones cercanas vías de alto tráfico (objetivo 5)

Las tecnologías para este tipo de estaciones serán de muestreo activo. Se pasará a muestreo automático en caso si uno de los valores tomados durante el Diagnóstico preliminar (o el 3% de los datos tomados durante un año) se encuentra por encima de los valores de alerta.

De acuerdo con los análisis del inventario de emisiones, campaña de monitoreo (extrapoladas o mediciones existentes) y la modelación realizados en el Diagnóstico preliminar se deberá complementar la red de la siguiente forma cumpliendo los objetivos 2, 3, 6 y 7 descritos anteriormente..

Este tipo de SVCA de acuerdo a la disponibilidad de recursos económicos de la autoridad

³⁵ Adaptado de CFR 40

³⁶ Adaptado de: Appendix D to Part 58—Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring

ambiental y con los análisis del inventario de emisiones y la modelación realizados en el Diagnostico Inicial podrá complementar la red de la siguiente forma cumpliendo los objetivos 2, 3, 6 y 7 descritos anteriormente.

- Estaciones localizadas para determinar concentraciones típicas de zonas densamente pobladas. De acuerdo a los resultados del modelo de dispersión teniendo en cuenta la combinación de resultados de fuentes fijas y móviles y los resultados de la campaña de monitoreo del diagnostico preliminar (o mediciones históricas existentes) . Se justificará la ubicación de una estación fija bajo los siguientes argumentos :

TECNICA	CRITERIO	ACCION
Activa automática	o Si todos los valores se encuentran por debajo del nivel de prevención	Se realiza monitoreo indicativo o no se realiza monitoreo
Activa automática	o Si uno de los valores (o el 3% de los datos tomados durante un año) encontrados se encuentra entre el nivel de prevención y el nivel de alerta	Se realiza monitoreo indicativo
Activa automática	o Si uno de los valores (o el 3% de los datos tomados durante un año) se encuentra por encima del valor de alerta	Se deberá instalar una estación fija con muestreo activo
Activa automática	o Si uno de los valores (o el 10% de los datos tomados durante un año) se encuentra por encima de los valores de emergencia.	Se debe instalar una estación fija con muestreo automático

Tabla 11.13. Justificación ubicación de estaciones fijas de PM10 para SVCA Tipo IV Avanzado

- Estaciones localizadas para determinar el impacto en la calidad del aire de fuentes significativas. Para ello se estudiarán por separado los resultados del modelo fuentes móviles y fuentes fijas identificando los impactos de las fuentes mas relevantes. Esto se debe complementar con el análisis de los resultados de la campaña de monitoreo o datos existentes con el objeto de verificar niveles probables. Este tipo de estaciones podrían no ser permanentes.
- Estaciones de especiación de MP. Equipos muestreadores de MP10 o MP2.5 que colectan muestras de aerosoles durante 24 horas cada tercer día. El análisis se realiza para iones sulfato, nitratos y amonio y fracciones orgánicas y de carbón elemental. Se instalarán este tipo de estaciones en sitios densamente poblados bajo la influencia de un complejo industrial.

Estaciones de MP2.5³⁷

- Dos estaciones en los puntos donde se esperarán o se ha registrado las concentraciones de contaminación por partículas más altas de MP10. De preferencia será ubicada una en el área de influencia de fuentes móviles y otra en el área de influencia de fuentes fijas. Sin embargo su ubicación estará condicionada al conocimiento y experiencia por parte de las autoridades ambientales locales.

El uso de estas estaciones se podrá utilizar para especiación de filtros de acuerdo a lo descrito anteriormente.

Estaciones de ozono (O3):

³⁷ De acuerdo al capítulo II, Artículo 4, parágrafo 2 de la resolución 601, Parágrafo Segundo: Las autoridades ambientales competentes, deberán iniciar las mediciones de PM 2.5, cuando por las concentraciones de PST y MP10, por mediciones directas de PM 2.5 o por medio de estudios técnicos, identifiquen probables afectaciones a la salud humana. Para tal efecto, tomarán como valor guía los estándares de la EPA (15 µg/m3 como concentración anual a partir de la media aritmética y de 65 µg/m3 como concentración diaria)

Se ubicarán vientos debajo de los sitios donde se encuentren las mayores emisiones de precursores de ozono. Estos sitios se podrán determinar con el uso de un modelo fotoquímico o con campañas previas de tubos pasivos.

Medición de otros parámetros:

En este tipo de SVCA podría medirse CO en cañones urbanos a nivel de suelo en puntos críticos. También será definidos puntos a nivel de fondo urbano de acuerdo a resultados de modelos de dispersión y campañas específicas con estaciones indicativas en los puntos de mayor concentración determinados por modelación con fines de establecer relaciones de dispersión y establecimiento de factores de emisión.

- En este tipo de SVCA no será necesario medir CO
- Para la inclusión de otros parámetros será necesario el análisis de la información recolectada durante la campaña de monitoreo preliminar:
 - Se incluirá la medición de SO₂ cuando durante la campaña de monitoreo (mediante extrapolación o información histórica existente):

TECNICA	CRITERIO	ACCION
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio inferiores al 80% de la norma anual	Se realiza monitoreo indicativo
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio superiores al 80% de la norma anual	Se instalan equipos de monitoreo activo permanentes con monitoreo cada tercer día.
Activa o automática	Si uno de los valores (o el 10% de los datos anuales) se encuentra entre el nivel de prevención y el nivel de alerta o si cumple condiciones de área fuente de condición marginal.	Se deberán realizar monitoreos indicativos con equipos activos
Activa o automática	Si uno de los valores se encuentra por encima de los valores de alerta o si cumple condiciones de área fuente de contaminación media o moderada.	Se debe instalar una estación fija con muestreo activo o automático
Activa o automática	Si uno de los valores se encuentra por encima del nivel de emergencia o si cumple condiciones de área fuente de contaminación alta.	Se debe instalar una estación fija con automático

Tabla 11.14. Justificación ubicación de estaciones fijas de otros parámetros para SVCA Tipo IV Avanzado

- Se incluirá la medición manual de NO₂ cuando durante la campaña de monitoreo (mediante extrapolación o información histórica existente) se presenten los siguientes casos:

TECNICA	CRITERIO	ACCION
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio inferiores al 80% de la norma anual	Se realiza monitoreo indicativo
Pasiva	Se obtengan concentraciones promedio superiores al 80% de la norma anual	Se instalan equipos de monitoreo activo permanentes con monitoreo cada tercer día.
Activa o automática	si cumple condiciones de área fuente de condición marginal.	Se deberán realizar monitoreos indicativos con equipos activos
Activa o automática	Si cumple condiciones de área fuente de contaminación media o moderada.	Se debe instalar una estación fija con muestreo activo o automático
Activa o automática	Si cumple condiciones de área fuente de contaminación alta.	Se debe instalar una estación fija con automático

Tabla 11.15. Justificación ubicación de estaciones fijas de NO₂ para SVCA Tipo IV Avanzado

Para el caso de NO₂ se podrá colocar un monitor automático en el sitio donde se ha determinado por modelación o con muestreos indicativos se están generando precursores de ozono responsables de las mayores concentraciones de este contaminante vientos abajo.

La ubicación de estaciones para estos contaminantes se realizará de acuerdo al análisis combinado de los modelos de dispersión de fuentes fijas y móviles con los mismos criterios que para MP10. No es obligatorio que un SVCA Básico tenga estaciones fijas de medición de gases a menos que cumpla con alguno de los parámetros anteriores.

Medición de contaminantes no convencionales:

Corresponden al monitoreo por diferentes métodos de los contaminantes establecidos en el Anexo 2 de la Resolución 601 de 2006. Para ello se deberá diseñar una prueba de acuerdo a un estudio previo detallado de las fuentes presentes que puedan emitir este tipo de sustancias.

Los SVCA TIPO IV deben contemplar la realización de muestreos de Contaminantes no convencionales dependiendo de sus condiciones específicas.

11.5.4.2 Definición y ubicación de estaciones indicativas:

Constituido por estaciones cuyo fin es determinar niveles probables de los contaminantes de interés para un SVCA. Los métodos para este tipo de estaciones pueden no ser de referencia. De la misma forma pueden ser estaciones que usan métodos de referencia pero que se movilizan con el tiempo.

Ubicación de estaciones indicativas de MP10

En caso que el SVCA este conformado por las dos estaciones mínimas se podrán realizar mediciones indicativas en otros puntos que respondan a los objetivos de ubicación 2 y 3. Este tipo de mediciones se harían de la siguiente forma:

- Durante el primer año las estaciones permanecerían en cada punto un mínimo de 3 meses antes de rotarla.
- A partir del segundo año debe permanecer un mínimo de un año en cada punto antes de ser rotada.
- En caso de encontrarse, durante la evolución de la red mediciones de MP10 si uno de los valores (o el 3% de los datos tomados durante un año) se encuentra por encima del valor de alerta se deberá ubicar una estación fija en el punto respectivo.

Ubicación de estaciones indicativas de MP2.5

En caso que el SVCA este conformado por las tres estaciones mínimas se podrán realizar mediciones indicativas en otros puntos que respondan a los objetivos de ubicación 2, 3, 5, 6 y 7 Este tipo de mediciones se harían de la siguiente forma.

- Durante el primer año las estaciones permanecerían en cada punto un mínimo de 6 meses antes de rotarla.
- A partir del segundo año debe permanecer un mínimo de un año en cada punto antes de ser rotada.
- En caso de encontrarse, durante la evolución de la red mediciones de MP10 superiores al 85% de la norma anual la estación de debe convertir en fija.

Ubicación de estaciones indicativas de otros Gases

Ubicación de estaciones indicativas de SO₂, NO₂, y O₃ usando métodos de medición de referencia:

Consiste en el uso de estaciones automáticas de monitoreo con equipos que utilizan métodos de medición de referencia. Estas estaciones están dotadas equipos analizadores, de los sistemas auxiliares necesarios de adquisición de datos, de comunicaciones, de alimentación eléctrica autónoma y condiciones controladas de temperatura. Deben ser dispuestas en cabinas especialmente acondicionadas.³⁸

Este tipo de tecnología se utilizará de acuerdo a los criterios expresados anteriormente en la sección correspondiente a ubicación de estaciones fijas. En todo caso a menos que la autoridad ambiental posea equipos automáticos redundantes y los criterios establecidos lo permitan se optara por la tecnología mas económica entre tecnologías móviles y fijas.

Estaciones Indicativas con usando tubos pasivos:

El número de estas estaciones se define la siguiente forma teniendo en cuenta el uso de muestreadores pasivos³⁹:

CONTAMINANTE	NUMERO ESTACIONES	DE	FRECUENCIA
SO ₂ y NO ₂	70		3 campañas de un mes cada una cada dos años
O ₃	35		3 campañas de un mes cada una cada dos años

Tabla 11.16. Estaciones Indicativas para SVCA Tipo IV Avanzado- Muestreadotes pasivos

La ubicación se realizará de la siguiente forma:

- 1 Estación de SO₂, NO₂ y O₃ de fondo.
- Las demás estaciones se ubicarán de a 3 en semicírculos concéntricos a partir de la concentración de fondo en la dirección del viento. Se diferencian las de ozono que se las 14 restantes se ubicarán en los tres radios mas externos de los semicírculos.
- Para casos de las características de este tipo SVCA donde pueden existir varias condiciones de viento el análisis anterior se debe hacer partiendo de cada estación de fondo

³⁸ Revisar tecnologías de muestreo en el presente protocolo

³⁹ Tomando como base y adaptado de: PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MARCO DE LAS NUEVAS DIRECTIVAS. Grupo de Trabajo de Evaluación preliminar, posterior y Modelización de la calidad del aire. Subgrupo de Evaluación preliminar y posterior. Versión final 8 de Mayo de 2000

Si se encuentra un resultado de muestreadores pasivos con niveles (extrapolando) que signifiquen cercanía de un punto a la norma anual en más del 80% se precederá a la ubicación en ese punto de un muestreador activo (burbujeadores de gases⁴⁰)

Ubicación de estaciones indicativas de SO₂, NO₂, y O₃ usando métodos de medición de referencia:

Consiste en el uso de estaciones automáticas de monitoreo con equipos que utilizan métodos de medición de referencia. Estas estaciones están dotadas equipos analizadores, de los sistemas auxiliares necesarios de adquisición de datos, de comunicaciones, de alimentación eléctrica autónoma y condiciones controladas de temperatura. Deben ser dispuestas en cabinas especialmente acondicionadas.⁴¹

Estas tipo de tecnología se utilizará cuando una vez se haya medido con muestreadores activos en un punto se presenten concentraciones que en promedio superen el 85% de la norma anual, una vez se haya adelantado un periodo de monitoreo de mínimo 3 meses.

11.5.5 Componente de meteorología:

- Se deberán implementar al menos dos estaciones meteorológicas de alta precisión. Estas estaciones deberán tener anemómetros ultrasónicos o de propelas y sensores de temperatura a dos alturas con miras a determinar perfiles atmosféricos. Una se ubicará en un punto con gran concentración de fuentes móviles (si allí se establece se encuentran la mayoría de precursores de ozono) y otra en fuera de estos efectos particulares.
- Se deberá implementar el uso de una o varias estaciones meteorológicas portátiles Tipo II d(Velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa, pluviometría, presión barométrica).de acuerdo con un estudio micro meteorológico básico con miras a complementar el comportamiento meteorológico de dominio del SVCA.

11.5.6 Componentes del SVCA Avanzado:

Hardware:

- Estaciones de calidad del Aire fijas
- Estaciones de calidad del aire indicativas
- Estaciones Meteorológicas Portátiles
- Estaciones Meteorológicas de alta precisión.

Software:

- Modelo urbano fotoquímico
- Base de datos de Inventario de Emisiones
- Software central de adquisición de datos.
- Software de Gestión de la información

Reportes:

- Reporte mediante pagina web con actualización diaria
- Reportes trimestrales físicos
- Reporte Mensual en el SISAIRES

⁴⁰ También conocidos como Rack de tres gases. Revisar tecnologías de medición

⁴¹ Revisar tecnologías de muestreo en el presente protocolo

11.5.7 Consideraciones especiales de este tipo de SVCA:

- Se deberá revisar el diseño de este tipo de SVCA cada 3 años.

11.6 SEVCA - SISTEMAS ESPECIALES DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE.

11.6.1 Objetivos:

Este tipo de sistema de vigilancia podrá responder a los siguientes objetivos:

1. Determinar el cumplimiento de las normas nacionales de la calidad del aire.
2. Evaluar las estrategias de control de las autoridades ambientales
3. Observar las tendencias a mediano y largo plazo
4. Evaluar el riesgo para la salud humana
5. Determinar posibles riesgos para el medio ambiente
6. Activar los procedimientos de control en situaciones de emergencia
7. Estudiar fuentes e investigar quejas concretas
8. Validar los modelos de calidad del aire
9. Soportar investigaciones científicas

11.6.2 Aplicación:

En poblaciones de cualquier número de habitantes bajo la influencia de fuentes de gran magnitud (siderúrgicas, concentraciones de fuentes puntuales, zonas mineras, refinерías, zonas petroleras) o grupo de poblaciones ubicadas de cualquier número de habitantes ubicadas bajo la influencia de gran magnitud.

CARACTERISTICA	PARAMETRO	OBSERVACIONES
TECNOLOGIA DE MEDICION	Activo Pasivo Semi-automatico Automático	
TIEMPO DE MONITOREO	Permanente	
PERIODICIDAD DEL MONITOREO	Permanente	
PARAMETROS A MEDIR	Se definirán los contaminantes de acuerdo al tipo de fuente involucrada.	Serán definidos otros contaminantes que no sean de referencia de acuerdo al inventario de emisiones y al modelo de dispersión
NUMERO DE ESTACIONES ⁴²	Debe contemplar una estación de fondo. Mínimo una estación vientos abajo de la fuente o fuentes.	
TIPO DE ESTACIONES ⁴³	FONDO FONDO URBANA INDICATIVAS EPE	
UBICACIÓN ESTACIONES	De acuerdo al diseño específico descrito en el diseño detallado	
PERIODICIDAD DEL MUESTREO	Permanente	
INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS	Precipitación Automática Estaciones meteorológicas automáticas portátiles. Estaciones Meteorológicas de alta precisión	

Tabla 11.17. Descripción SEVCA

⁴² De acuerdo a criterios adaptados del CFR40

⁴³ Ver Tipos de estaciones

11.6.3 Diseño específico de SEVCA

El diseño involucrará el uso de estrategias de los tipos de SVCA Básico, Intermedio y Avanzado y debe tomarse una metodología u otra dependiendo del tipo de fuentes involucradas y de la magnitud de la problemática puntual:

11.6.4 Objetivos de la ubicación de estaciones de un SEVCA

Las estaciones ubicadas para este tipo de SVCA deben responder a las siguientes características⁴⁴:

1. Estaciones localizadas para determinar las concentraciones más altas en el dominio del SEVCA.
2. Estaciones localizadas para determinar el impacto en la calidad del aire de fuentes significativas
3. Estaciones localizadas para determinar concentraciones generales de Fondo.
4. Estaciones de soporte a estudios epidemiológicos
5. Estaciones localizadas para determinar grados de transporte regional de contaminantes entre áreas pobladas
6. Estaciones para estudios de especiación y aplicación de modelos de receptor.

11.6.5 Numero de Estaciones:

Definición y Ubicación de estaciones fijas:

Las estaciones serán ubicadas y sus parámetros definidos de acuerdo al inventario de emisiones modelo de dispersión y la campaña de monitoreo preliminar.

En zonas con varias poblaciones involucradas, la ubicación de estaciones como mínimo se deberá hacer teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Una estación de fondo
2. Estaciones ubicadas en las principales concentraciones urbanas de la región analizada.
3. Mínimo una estación vientos abajo de las fuentes.

El uso de estas estaciones se podrá utilizar para especiación de filtros de acuerdo a lo descrito en la diseño detallado de SVCA Tipo IV.

Medición de parámetros especiales

Dependiendo del tipo de fuentes se deberán realizar mediciones de contaminantes no convencionales como metales pesados, benceno, VOCs, etc. u otros establecidos en la resolución 601 de 2006. Este tipo de mediciones se realizará de acuerdo a métodos específicos para cada sustancia.

Se deberá realizar especiación de filtros para el caso de distintos tipos de fuentes en una misma zona

Podrá existir la necesidad de determinar relaciones mp10-mp2.5 de partículas con miras a entender el tipo de contaminantes y consideraciones sobre el transporte y difusión estos.

Componente de meteorología:

- Podrá existir la necesidad de por lo menos una estación meteorológica de alta precisión con temperatura y parámetros de viento a dos alturas.
- Se deberá implementar el uso de una o varias estaciones meteorológicas portátiles tipo II de acuerdo con un estudio micro meteorológico básico con miras a complementar el

⁴⁴ Adaptado de: Appendix D to Part 58—Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring

- comportamiento meteorológico de dominio de la REVCA.
- Estaciones pluviométricas automáticas.

11.6.6 Componentes del SEVCA:

Hardware:

- Estaciones de calidad del Aire fijas
- Estaciones de calidad del aire indicativas
- Estaciones Meteorológicas Portátiles
- Estaciones Meteorológicas de alta precisión.

Software:

- Modelos Gaussianos o modelos avanzados
- Base de datos de Inventario de Emisiones
- Software central de adquisición de datos.
- Software de Gestión de la información

Reportes:

- Reporte mediante pagina web con actualización semanal
- Reportes trimestrales físicos a la comunidad
- Reporte Mensual en el SISAIRES

11.6.7 Consideraciones especiales de este tipo de SVCA:

- Se deberá revisar el diseño de este tipo de SVCA dos años.

12. PARAMETROS DETALLADOS DE DISEÑO DE UN SVCA

A continuación se presentan otros parámetros de diseño que permitirán precisar con mayor detalle la configuración del SVCA.

12.1 DEFINICIÓN DEL TIPO DE ESTACIONES⁴⁵

Para evaluar la calidad del aire a partir de los datos que proporcionan las estaciones de medición, así como para especificar los criterios necesarios para determinar los puntos de muestreo, es necesario tener en cuenta las características específicas de los puntos de medición considerados. Por lo tanto, clasifican las estaciones de acuerdo a varios niveles de modo que la representatividad de sus datos quede perfectamente establecida una vez sean reportados al SISAIRES.

12.1.1 Nivel 1: Clasificación de estaciones según el tipo de área

Respecto a este nivel, la clasificación determina el tipo de área donde se encuentra la estación de medición. El tipo de área está basado en la distribución o densidad de edificación. Se definen tres posibles tipos:

Tipo de área	Descripción
Urbana	Área totalmente urbanizada. Un área edificada no estará mezclada con áreas no urbanizadas, con la excepción de los parques urbanos.
Suburbana	Área en gran parte urbana edificada, pero las áreas edificadas estarán mezcladas con las áreas no urbanizadas (por ejemplo con áreas agrícolas, lagos, bosques, grandes zonas verdes, etc.)
Rural	Se definen como áreas rurales todas aquellas que no satisfagan los criterios para áreas urbanas y suburbanas.

Tabla 12.1. Tipos de áreas relativas a la clasificación de estaciones

12.1.2 Nivel 2: Según el tiempo de muestreo

Busca establecer la representatividad del dato en la escala de tiempo. Se definen dos posibles tipos:

Tipo de área	Descripción
Fija	Que permanece un periodo de tiempo superior a un año en un punto fijo.
Indicativa	Permanece en un punto en periodos de tiempo inferiores a un año. Pueden utilizarse con tecnologías de medición de referencia o no.

Tabla 12.2. Tipos de estaciones de acuerdo a su representatividad temporal

Los resultados provenientes de estaciones indicativas no deben usarse con fines legales.

⁴⁵ Tomado como base y adaptado de: PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MARCO DE LAS NUEVAS DIRECTIVAS. Grupo de Trabajo de Evaluación preliminar, posterior y Modelización de la calidad del aire. Subgrupo de Evaluación preliminar y posterior. Versión final 8 de Mayo de 200

12.1.3 Nivel 3: Clasificación de estaciones según las emisiones dominantes

Respecto a este segundo nivel, la clasificación determina el tipo de estación dependiendo de su localización dentro de un área, particularmente en relación con la influencia que sobre ellas tienen los diferentes tipos de fuentes emisoras. Las estaciones de medición se clasifican en tres tipos:

Tipo de estación	Descripción
De tráfico	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido viene determinado principalmente por las emisiones del tráfico rodado cercano.
Punto Critico	Estaciones ubicadas a nivel de suelo. Apoyo a estudios epidemiológicos.
Industrial	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido viene influenciado significativamente por las emisiones cercanas de fuentes industriales o áreas industriales con muchas fuentes.
De fondo	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido no está significativamente influenciado por fuente o calle alguna, pero sí por la contribución de las fuentes que influyen en estas estaciones debido al régimen de vientos. Por ejemplo, estaciones ubicadas en una ciudad que están bajo la influencia indirecta por viento del tráfico o combustiones, o estaciones ubicadas en áreas rurales influenciadas por ciudades o áreas industriales debido al régimen de vientos.

Tabla 12.3. Tipos de estaciones según las emisiones dominantes

En principio, cualquiera de estos tres tipos de estaciones puede estar ubicada en cualquiera de los tres tipos de área descritos en el nivel 1.

12.1.4 Nivel 3: Información adicional

Para caracterizar correctamente el resto de estaciones de medición fija, en algunos casos puede no ser suficiente la caracterización a tres niveles especificada anteriormente por lo que serán necesarias unas especificaciones adicionales para cada tipo de ubicación.

Tipo de estación	Especificaciones adicionales
Urbana y suburbana	Población
Tráfico	Distancia (m) al bordillo. Anchura de la calle o carretera, entre bordillos. Longitud (m) entre fachadas de edificios. Altura (m) de las fachadas de los edificios (promedio de ambos lados de la calle, en el área próxima a la estación) Intensidad media de tráfico (vehículos/día), de ambas direcciones, como promedio anual diario (AADT) Velocidad del tráfico (km/h) típico, indicando franja horaria. Fracción de vehículos pesados (%), promedio diario a lo largo del año.
Industrial	Tipo de industria Distancia a las fuentes (km) Dirección a las fuentes (en grados)
Punto Critico	Altura sobre el suelo Tipo de fuente evaluada Calle encajonada Calle libre
Indicativas	Tiempo de Muestreo Condiciones meteorológicas de muestreo (seco, húmedo)
Rurales de fondo	Cercanas a ciudades Regionales
En todas las estaciones	Representatividad espacial de la estación Objetivos de la medición Tecnología de Medición

Tabla 12.4. Especificaciones adicionales de la caracterización de estaciones

12.1.5 Contaminantes de interés según el tipo de estación⁴⁶

Los contaminantes de mayor interés a medir en los distintos tipos de estaciones, son los que figuran en la siguiente tabla:

Tipo de área	Tipo de estación	Contaminantes de mayor interés	
Urbana	Tráfico	NO ₂ , MP10, PM _{2.5} , CO y COVs ⁴⁷	
	Industrial	NO ₂ , MP10, PM _{2.5} , SO ₂ y COVs, metales pesados y contaminantes específicos de las emisiones de las industrias en cuestión.	
	Punto Critico	MP10, PM _{2.5} , CO, O ₃	
	Fondo	NO ₂ , MP10, PM _{2.5} , SO ₂ , CO, COVs y O ₃	
Suburbana	Tráfico	NO ₂ , MP10, PM _{2.5} , CO y COVs	
	Industrial	NO ₂ , MP10, PM _{2.5} , SO ₂ y COVs, metales pesados y contaminantes específicos de las emisiones de las industrias en cuestión.	
	Fondo	NO ₂ , COVs, O ₃ , MP10 y PM _{2.5}	
Rural	Tráfico	NO ₂ , NOx y COVs	
	Industrial	NO ₂ , MP10, PM _{2.5} , SO ₂ y COVs, metales pesados y contaminantes específicos de las emisiones de las industrias en cuestión.	
	Fondo	Cercana a ciudades	Sin determinar
		Regional	NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , NH ₃ , deposición ácida, SO ₄ , NO ₃ y PM _{2.5}
Remota		O ₃ , CFCs y también compuestos de S y N relacionados con la deposición ácida, y también niveles de fondo de PM y COVs	

Tabla 12.5. Contaminantes de interés según el tipo de estación de medición fija

⁴⁶ Tomado como base y adaptado de: PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MARCO DE LAS NUEVAS DIRECTIVAS. Grupo de Trabajo de Evaluación preliminar, posterior y Modelización de la calidad del aire. Subgrupo de Evaluación preliminar y posterior. Versión final 8 de Mayo de 2000

⁴⁷ Los COVs compuesto orgánicos volátiles no hacen parte de los contaminantes de referencia de la legislación Colombiana

12.2 CRITERIOS DE MACROLOCALIZACION DE ESTACIONES⁴⁸

12.2.1 Criterios de macrolocalización de estaciones (menos Ozono)

Los criterios que se especifican a continuación son válidos para todos los contaminantes excepto para el ozono.

Objetivo	Criterios
Para la protección de salud humana	<p>Deben ubicarse de manera que proporcionen datos de las áreas situadas dentro de las zonas y que concentren mas de de 50.000 habitantes que registren las concentraciones más altas a las que la población puede llegar a verse expuesta directa o indirectamente durante un periodo significativo en comparación con el periodo de promedio utilizado para el cálculo del valor o valores límite.</p> <p>Deben ubicarse de manera que proporcionen datos sobre los niveles registrados en otras áreas dentro de las zonas y aglomeraciones que sean representativas del grado de exposición de la población.</p> <p>Los puntos de muestreo estarán situados, en general, de tal manera que se evite la medición de microambientes muy pequeños en las inmediaciones.</p> <p>A título indicativo, un punto de muestreo estará situado de manera que sea representativo de la calidad del aire en sus alrededores dentro de un área de, al menos, 200m² para emplazamientos orientados al tráfico, y de varios kilómetros cuadrados para emplazamientos orientados al fondo urbano.</p> <p>Cuando sea posible, los puntos de muestreo deberán ser también representativos de emplazamientos similares que no estén en las inmediaciones.</p>
Para la protección de ecosistemas y vegetación	<p>Los puntos de muestreo dirigidos a la protección de los ecosistemas y de la vegetación estarán situados a una distancia superior a 20 km de las aglomeraciones o a más de 5 km de otras zonas edificadas, instalaciones industriales o carreteras.</p> <p>A título indicativo, un punto de muestreo estará situado de manera que sea representativo de la calidad del aire en sus alrededores dentro de un área de al menos 1000 km².</p> <p>Teniendo en cuenta las condiciones geográficas se podrán establecer puntos de muestreo a unas distancias menores o que sean representativos de áreas menores que las indicadas.</p>

Tabla 12.6. Criterios de macro localización para ubicar los puntos de muestreo

12.2.2 Criterios de macrolocalización para ubicar los puntos de muestreo de ozono

Los criterios de macroimplantación para las estaciones de medición de ozono difieren sustancialmente de los del resto de contaminantes. De todos modos, en la medida de lo posible, se debe intentar unir la ubicación de los puntos de muestreo de ozono con las del resto de contaminantes.

⁴⁸ Tomado como base y adaptado de: PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MARCO DE LAS NUEVAS DIRECTIVAS. Grupo de Trabajo de Evaluación preliminar, posterior y Modelización de la calidad del aire. Subgrupo de Evaluación preliminar y posterior. Versión final 8 de Mayo de 2000

Tipo de estación	Objetivos de la medición	Representatividad	Criterios de macrolocalización
Urbana	Protección de la salud: evaluar la exposición de la población urbana al ozono, es decir, las zonas en que la densidad de población y la concentración de ozono sean relativamente elevadas	Algunos km ²	Lejos de la influencia de las emisiones locales debidas al tráfico, gasolineras, etc. Instalación en locales ventilados donde puedan medirse niveles de ozono homogéneos Ubicaciones tales como zonas residenciales y comerciales urbanas, parques (lejos de los árboles), calles o plazas de grandes dimensiones con tráfico escaso o nulo, espacios abiertos característicos de instalaciones educativas, deportivas o recreativas.
Suburbana	Protección de la salud y la vegetación: determinar la exposición de la población y la vegetación en las afueras de las poblaciones de mas 500.000 habitantes en que los niveles de ozono tiendan a ser particularmente elevados	Algunas decenas de km ²	A cierta distancia de las zonas de emisiones máximas, vientos abajo de las principales direcciones del viento, en condiciones favorables a la formación del ozono. Casos en que la población, los cultivos frágiles o los ecosistemas naturales ubicados en los márgenes de la población descrita se encuentren expuestos a niveles elevados de ozono. Cuando proceda, algunas estaciones suburbanas pueden situarse a vientos arriba de las zonas de emisión máximas para determinar los niveles de contexto regional de ozono
Rural	Protección de la salud y la vegetación: determinar la exposición a las concentraciones subregionales de ozono de la población, los cultivos y los ecosistemas naturales.	Nivel subregional (algunos centenares de km ²)	Las estaciones pueden implantarse en pequeñas localidades y/o en zonas con ecosistemas naturales, bosques o cultivos que sean representativas de los niveles de ozono lejos de la influencia de emisiones locales inmediatas tales como instalaciones industriales y carreteras. Pueden situarse en espacios abiertos pero no en las cumbres de montañas de gran altura. Aplicable para SVCA TIPO IV

Tabla 12.7. Criterios de macrolocalización para ubicar los puntos de muestreo de O₃⁴⁹

⁴⁹ Tomado como base y adaptado de: PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MARCO DE LAS NUEVAS DIRECTIVAS. Grupo de Trabajo de Evaluación preliminar, posterior y Modelización de la calidad del aire. Subgrupo de Evaluación preliminar y posterior. Versión final 8 de Mayo de 2000

12.3 MICROLOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE VIGILANCIA.

Una vez definidos el número de estaciones de vigilancia, y seleccionadas las áreas donde se deben instalar y los contaminantes que se van a vigilar en cada una de ellas, debe evaluarse la microlocalización de todos los sitios propuestos y realizar las gestiones para lograr la autorización de uso de los mismos⁵⁰. Esta última labor puede convertirse en algunos casos en una verdadera dificultad, por lo cual se recomienda seleccionar por lo menos tres posibles ubicaciones para cada estación para tener alternativas en caso de que las autorizaciones se demoren o no se consigan. Para evaluar la microlocalización de un sitio específico dentro de un área debe tenerse en cuenta:

12.3.1 Aspectos generales

Las Condiciones de Seguridad. Las condiciones de seguridad de un lugar en particular deben ser suficientemente valoradas a la hora de seleccionarlo como sitio de vigilancia. Si el lugar no puede acondicionarse usando medidas convencionales de seguridad (iluminación, cercas, etc.), es decir si estas medidas no son suficientes, debe optarse por otro lugar en las cercanías, que permita cumplir los objetivos de vigilancia, pero que no comprometa la seguridad de los equipos, ni de los operadores. Además debe pensarse en la seguridad del público en general dado que elementos como la torre meteorológica o los sensores de viento, pueden representar algún riesgo para las personas en las cercanías de la estación de vigilancia.

Exposición de los toma muestras y sensores. Una adecuada condición de exposición de los toma muestras y los sensores es fundamental para poder lograr mediciones representativas y significativas. Los sitios de vigilancia deberán estar suficientemente separados de fuentes locales de contaminación, como parqueaderos, vías sin pavimento, o calderas, o sumideros como vegetación densa. Los toma muestras deberán estar expuestos para asegurar mediciones representativas, por lo cual deben evitarse sitios demasiado cubiertos o que presenten estancamientos locales (por ejemplo un callejón de vientos formado entre edificios altos). Además los toma muestras y los caminos de medición deben estar ubicados de tal manera que no se alteren las concentraciones de contaminantes en la muestra.

Condiciones de Logística. El lugar debe tener facilidades de acceso permanente para los operadores, para los materiales consumibles y los repuestos, para equipos automáticos, debe contar con al menos una línea telefónica fija o celular para el envío de datos, debe tener electricidad y disponibilidad de carga para todos los equipos que serán instalados.

Consideraciones visuales y arquitectónicas. Muchas veces la instalación de una estación de vigilancia en la terraza de un edificio o dentro de un parque puede resultar ofensiva visualmente o no armonizar con su entorno desde el punto de vista arquitectónico, factores que la mayoría de las veces son muy importantes para los dueños, o los vecinos de los terrenos, por lo tanto deben considerarse.

⁵⁰ Es recomendable tramitar estas autorizaciones y por periodos no inferiores a cinco años, para garantizar que no se tendrá que mover la estación, en un periodo de tiempo corto o en lo posible nunca, del sitio escogido, y ahorrarse los costos que implican un traslado y obtener además una serie de datos representativa de largos periodos.

12.3.2 Criterios Específicos de microlocalización de estaciones

En la Figura 12.1 se resumen los criterios que deben verificarse cuando se trata de evaluar la ubicación de los toma muestras y sensores. En general deben seguirse las siguientes consideraciones:

- Los toma muestras no deben estar localizados cerca de las salidas de sistemas de aire acondicionado o ventilaciones de edificios.
- Se deben evitar también zonas de parqueo, depósitos de químicos o de combustibles.
- No se recomienda emplear generadores eléctricos para las estaciones.
- Se debe evitar sitios muy cercanos ha acumulaciones de residuos sólidos o líquidos.
- Los sitios de vigilancia de PST deben estar alejados de carreteras sin pavimento, campos deportivos o lotes sin vegetación que los cubra.

Los tomamuestras, y los caminos de medición deben ubicarse a determinadas distancias de las vías vehiculares, según el objetivo definido para la estación.

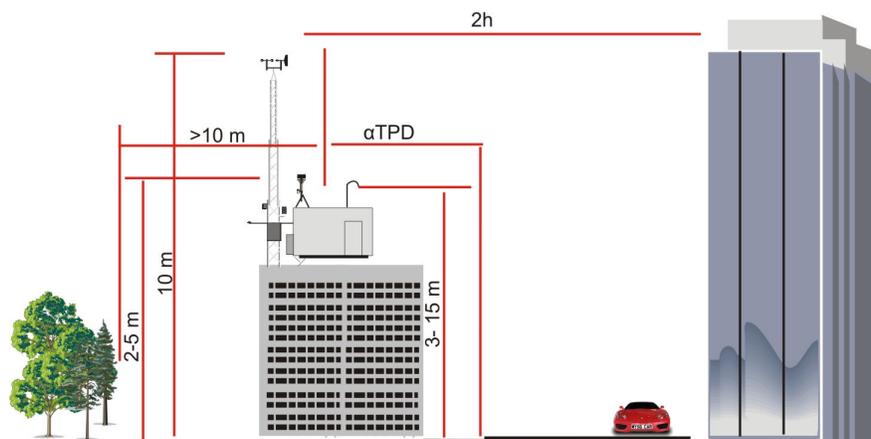


Figura 12.1. Ilustración de las recomendaciones para la ubicación de estaciones de vigilancia⁵¹.

h : altura del toma muestras y el obstáculo más cercano.

TPD : distancia a vías vehiculares.

αTPD : Distancia proporcional al tráfico promedio diario

De manera independiente a su número y ubicación, las concentraciones de contaminantes atmosféricos determinados deben relacionarse con parámetros tales como la radiación, la precipitación, velocidad, dirección del viento y temperatura, para tratar de establecer un patrón de influencia entre las variables climáticas y los niveles de contaminación del aire. Un análisis de este tipo permitirá crear una información base representativa con la cual se pueda retomar en un futuro la planificación de los programas de vigilancia de la calidad del aire y el establecimiento de las correspondientes medidas de control.

En la medida de lo posible deberán seguirse los siguientes criterios, que se definen de igual manera para todos los contaminantes:

⁵¹ h es la diferencia de altura entre el toma-muestras y el obstáculo más cercano. TDP es la distancia a vías vehiculares, αTDP es una distancia proporcional al Tráfico Promedio Diario. U. S. Code Federal Register 40 CFR 58 Appendix E. 1985

CONTAMINANTE	Escala de Vigilancia (Longitud máxima del camino de medición en metros)	Altura desde el piso al toma muestra horizontal o vertical, o 80% de la altura hasta el camino de medición ^a (metros)	Distancia desde estructuras de soporte ^b hasta el toma muestra horizontal o vertical, o 90 % de la distancia al camino de medición ^a (metros)	Distancia desde el toma muestra o desde el camino de medición ^a a los árboles cercanos (metros)
SO ₂ ^{c, d, e, f}	300 (Micro,) 1000 media	2 - 15	>1	>10
CO ^{d, e, g}	300 (Micro,) 1000 Media	3 ± 0.5 2 - 15	>1	>10
O ₃ ^{c, d, e}	300 (Micro) 1000 (media, Urbana y Regional)	2 - 15	>1	>10
Precusores de O ₃ ^{c, d, e}	1000 (media, Urbana)	2 - 15	>1	>10
NO ₂ ^{c, d, e}	300 (Micro) 1000 (Urbana)	2 - 15	>1	>10
MP10 ^{c, d, e, f, h} y PM _{2.5} ^{c, d, e, f, h, i}	Micro, Media, Urbana y Regional	2 - 7 (Micro) 2 - 15 (otras)	>2 a todas las escalas, distancia horizontal solamente	>10 a todas las escalas

Tabla 12. 8⁵². Criterios para ubicar toma muestras y caminos de medición

^a El camino de medición para analizadores de camino abierto es aplicable solo medición de CO a escala micro, media o de media y aplicable para todas las escalas para medición de SO₂, O₃, precursores de O₃ y NO₂.

^b Cuando el sitio de vigilancia se encuentra en una azotea, esta distancia se refiere a cualquier muro, columna, o baranda etc. situados en la misma.

^c Debería ser >20 m desde de las goteras de los árboles. Cuando estos actúan como obstáculos, la distancia debe ser 10 m.

^d Distancia desde el toma muestra, o 90% de la distancia desde el camino de medición, a un obstáculo (como un edificio). Cuando el obstáculo esta mas alto que el toma muestra o el camino de medición, debe ser al menos dos veces la diferencia de altura entre el obstáculo y el toma muestra o el camino de medición.

^e Debe tener flujo no restringido de aire 270° alrededor del toma muestra, 180° si el toma muestra se extiende desde el lado de un edificio.

^f El toma muestras y el camino de medición deben encontrarse lejos de fuentes menores de contaminación, como chimeneas de hornos. La distancia de separación depende de la altura del punto de emisión de la fuente menor, del tipo de combustible empleado en la misma, de la calidad de combustible. Este criterio esta diseñado para evitar influencias indebidas de fuentes menores.

^g Para sitios de vigilancia de CO a micro escala, el toma muestra debe estar a mas de 10 m de una intersección de calles y preferiblemente en una locación a mitad de manzana.

^h Para dos o más toma muestras de MP10 localizados en el mismo sitio, debe observarse entre ellos, una separación de 2 - 4 m.

ⁱ Para dos o más toma muestras de PM_{2.5} localizados en el mismo sitio, debe observarse entre ellos, una separación de 1 - 4 m.

⁵² Adaptado de Table E-4 of Appendix E to Part 58. Summary of Probe and Monitoring Path Siting Criteria

Valor promedio del tráfico diario vehículos por día	Distancia de separación mínima en metros entre vías vehiculares y toma muestras o caminos de medición a varias escalas.			
	O ₃ Media Urbana	NO ₂ Media, urbana	CO Media	Percusores de Ozono
<10000	10	10	10	>10
15000	20	20	25	20
20000	30	30	45	30
30000			80	
≥40000				
40000	50	50	115	50
50000			135	
≥60000			150	
70000	100	100		100
110000	250	250		250

Tabla 12.9 Distancia mínima de separación entre toma muestras o caminos de medición y vías vehiculares⁵³.

12.4 SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MUESTREO DEL SVCA.

Después de tener clara la distribución de la red se debe considerar cual debe ser el cubrimiento temporal que requiere el cumplimiento de los objetivos de vigilancia, y seleccionar con base en ellos la técnica de medición apropiada.

Las técnicas de medición pueden ser divididas en cinco grupos, con marcadas diferencias de costos y desempeño. Estos grupos son, los muestreadores pasivos, los activos, los semiautomáticos, los analizadores automáticos y los sensores remotos.

12.4.1 Muestreadores Pasivos⁵⁴:

Ofrecen una manera sencilla y económica de evaluar la calidad del aire en un área. Se basan en el principio de absorción molecular. Permiten recolectar una muestra, integrada en un periodo definido (por lo general de una semana a un mes), por difusión molecular en un material absorbente, específico para cada contaminante. El bajo costo de cada muestreador permite desplegarlos en grandes números en un área de interés. Eso es muy útil cuando se trata de identificar lugares críticos, de alta concentración de contaminantes, cerca de vías de alto tráfico o de áreas industriales, donde estudios más detallados pueden ser necesarios. Para obtener el mayor provecho de esta técnica se necesita una cuidadosa planeación de las mediciones y mucha atención al control y aseguramiento de calidad al proceso de análisis de muestras en el laboratorio de análisis de muestras. Los métodos de medición integral como los muestreadores pasivos, aunque en esencia limitados por su baja resolución temporal, serán adecuados para evaluar la exposición a largo plazo y muy útiles para los estudios de diagnóstico y diseño de RVCAs, por su poca demanda de recursos operativos y su bajo costo. Pese a lo anterior, como los muestreadores pasivos, se han trabajado bajo diferentes condiciones culturales, climáticas y geográficas, se requiere que antes de ser utilizados en estudios a gran escala, sea necesario efectuar ajustes menores al muestreador o al protocolo de muestreo, especialmente, cuando las condiciones difieren de aquellas bajo las cuales el muestreador fue inicialmente diseñado y probado.

⁵³ Adaptado de U. S. Code Federal Register 40 CFR 58 Appendix E. 1985

⁵⁴ Basada en INTRODUCCIÓN AL MONITOREO ATMOSFÉRICO- CEPIS

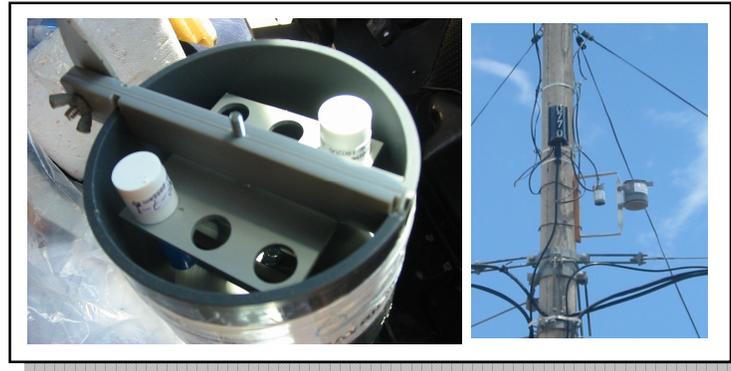


Figura 12.2. Muestradores pasivos

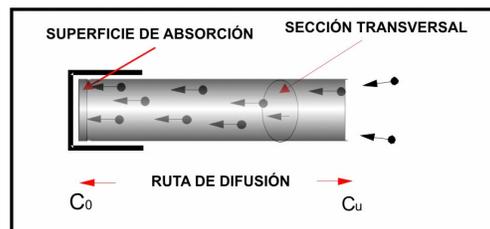


Figura 12.3. Configuración General de un Muestrador pasivo
(Adaptada de INTRODUCCIÓN AL MONITOREO ATMOSFÉRICO- CEPIS)

12.4.2 Muestradores Activos Manuales⁵⁵.

Estos equipos recolectan las muestras de contaminantes por métodos físicos o químicos para un posterior análisis en laboratorio. Por lo general toman un volumen conocido de aire y lo bombean a través de un colector (un filtro en el caso de las partículas o una solución química para los gases), por un periodo de tiempo determinado. Después el colector es retirado y llevado al laboratorio para su análisis. Esta técnica ha sido empleada por mucho tiempo alrededor del mundo, por lo cual existen disponibles datos valiosos para la comparación de tendencias con otros lugares. Los factores que determinan la calidad de los datos obtenidos a través de esta técnica son los sistemas de muestreo (para los gases), el acondicionamiento de la muestra, los sistemas de gravimetría (para partículas) y los procedimientos de laboratorio para gases como SO_x y NO_x .

Los sistemas semiautomáticos, como los muestradores de PM_{10} y SO_2 , serán adecuados para mediciones de estándares diarios y anuales, pero demandaran mayores esfuerzos operativos.

A continuación se describen los equipos muestradores activos más populares en nuestro medio:

⁵⁵ Basada en INTRODUCCIÓN AL MONITOREO ATMOSFÉRICO- CEPIS

Equipos Hi Vol (High Volumen Sampler)

Un muestreador de alto volumen (muestreador activo) es un equipo que succiona una cantidad medible de aire ambiente hacia una caja de muestreo a través de un filtro durante un periodo de 24 horas. El filtro es pesado antes y después para determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestreo. La concentración total de partículas en el aire ambiente se calcula como la masa recolectada divididas por el volumen de aire muestreado, ajustado a las condiciones estándar.

Existen dos muestreadores de este tipo los cuales se diferencian en su controlador de flujo, pueden presentar un sistema MFC (controlador de flujo de tipo másico) o VFC (controlador de flujo de tipo volumétrico).

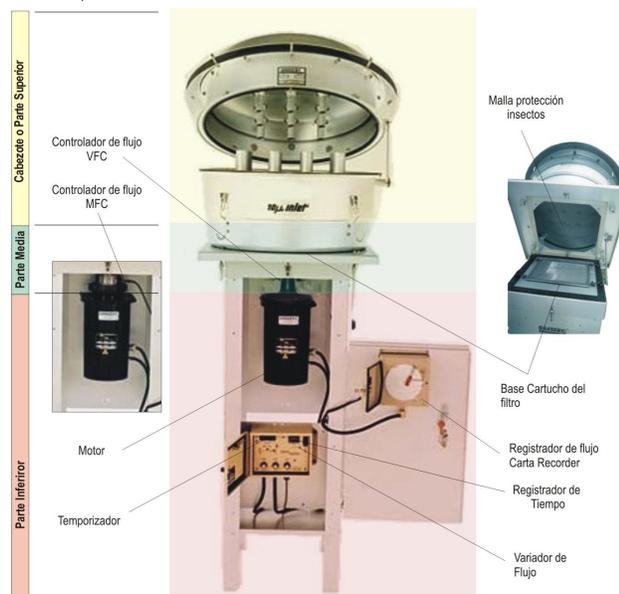


Figura 12.4. Muestreador Hi Vol MP10

Equipos Muestreadores de Tres Gases⁵⁶

Los equipos mas conocidos es esta área son los equipos los Burbujeadores acidimétricos.



Figura 12.5. Muestreadores Activos (Fotografías archivo de K-2 INGENIERIA)

⁵⁶ Basada en INTRODUCCIÓN AL MONITOREO ATMOSFÉRICO- CEPIS

Sus características se resumen en las siguientes:

- Recolectan las muestras de contaminantes por métodos físicos o químicos para su posterior análisis en un laboratorio.
- Generalmente toman un volumen conocido de aire y lo bombean a través de un colector por un periodo de tiempo determinado.
- Es una técnica muy popularizada en el mundo.
- Demanda una logística diaria para su operación
- Se denominan activos porque requieren energía eléctrica para su funcionamiento.

12.4.3 Muestreadores Semi-automáticos

Consisten en muestreadores activos a los que se les han incorporado sistemas electrónicos para mejorar la calidad y despejar la incertidumbre en las mediciones:

Al igual que los muestreadores activos necesitan de análisis posterior de la muestra. Algunas de sus características son:

Sistema de control de flujo a una rata especificada por el usuario (5 a 18 l/min)

Sistema incorporado con sensor de flujo másico, temperatura ambiente y presión

Microprocesador que permita la configuración de la programación del muestreo y almacenamiento de datos de estado de operación

Interfase RS-232 para adquisición de variables atmosféricas y de flujo

Capacidad para medir cambiando el inlet TSP, MP10, PM2.5 y PM1

Capacidad de muestrear varios días cambiando automáticamente los filtros



Figura 12.6. Muestreador Semiautomático

12.4.4 Analizadores Automáticos:

La información que genera este sistema de vigilancia, permite evaluar el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, tanto en el tiempo como en el espacio. Además, por la confiabilidad y oportunidad de los datos que genera, se emplea para definir políticas y estrategias de prevención y control de la contaminación, al igual que para evaluar la eficacia de los programas que se implanten. Pueden proporcionar mediciones de tipo puntual con alta resolución (promedios horarios, o mejores), para la mayoría de los contaminantes criterio (SO_2 , NO_2 , CO, TSP, MP10), como para otras especies importantes (HCT, HCM/HCNM, COV, etc.). Estas muestras pueden ser analizadas en línea usualmente por métodos electro-ópticos (Absorción UV, o de IRND, fluorescencia o quimioluminiscencia), y los datos pueden ser transmitidos en tiempo real. Para obtener datos exactos, precisos y confiables con esta técnica, debe alcanzarse un estándar alto de mantenimiento y de operación además de un ajustado programa de aseguramiento y control de calidad.

Si se desea implementar una estrategia de medición continua, los analizadores automáticos

proporcionarán un cubrimiento temporal muy amplio y con relativamente poco esfuerzo operacional. Si se logra ajustar adecuadamente un programa de aseguramiento y control de calidad, estos analizadores son muy adecuados para obtener datos con un alto cubrimiento temporal y disponibilidad inmediata.

12.4.4.1 Equipos Automáticos para Medición de Gases:

Principios optoeléctricos basados en características físicas y químicas del gas. Es la tecnología de medición puntual más avanzada en este campo. Estos equipos son generalmente dispuestos en cabinas con condiciones controladas de humedad y temperatura.



Figura 12.7. Cabinas de Monitoreo equipos automáticos (Fotografías Internet)

Entre sus características generales se encuentran:

- Mediciones en tiempo real.
- Proporcionan mediciones de tipo puntual con alta resolución (promedios horarios, o mejores).
- Estas muestras pueden ser analizadas en línea usualmente por métodos opto-electricos (Absorción UV, o de IRND, fluorescencia o quimioluminiscencia).
- Capacidad de transmitir datos
- Necesita una logística de mantenimiento.
- Miden tanto gases como partículas
- Deben ser dispuestos en cabinas especialmente diseñadas
- Necesitan gases patrón de calibración

12.4.4.2 Equipos automáticos para medición de partículas

Para el caso de material particulado se recomiendan los equipos tipo Beta Guage o TEOM.

El analizador Beta toma las partículas suspendidas en un filtro y mide el peso de las partículas por absorbancia de rayos beta. El coeficiente de absorción depende únicamente de la fuente de rayos beta únicamente, no de materiales, tamaños o colores de las partículas. Por consiguiente el peso es determinado por la absorbancia únicamente.

El TEOM utiliza un filtro intercambiable montado al final de un tubo hueco afilado. El extremo ancho del tubo es fijo. El elemento afilado vibra en su frecuencia natural, el aire de muestreo se pasa a través del filtro donde se depositan las partículas. La frecuencia de vibración natural disminuye conforme aumenta la masa de material particulado en el filtro, mientras la electrónica del equipo monitorea esta frecuencia.



El TEOM basado en la relación física entre la masa depositada y la frecuencia de vibración el instrumento genera la masa de material particulado acumulado en el filtro. El cambio de masa en tiempo real es combinado con la exactitud del flujo controlado con el ánimo de garantizar una medición precisa de la concentración de material particulado.

Entre sus características generales se encuentran:

- Mediciones en tiempo real.
- Proporcionan mediciones de tipo puntual con alta resolución (promedios horarios, o mejores).
- Capacidad de transmitir datos
- Deben ser dispuestos en cabinas especialmente diseñadas

12.4.5 Sensores remotos:

Estos equipos usan técnicas espectroscópicas de largo paso. Obtienen datos integrados a lo largo del paso entre un emisor de luz y un receptor, o entre un emisor, un espejo y un receptor. Estos sistemas de medición pueden ser muy útiles en varias situaciones, en particular en cercanía de fuentes. Deben mantenerse un alto nivel de operación, calibración, y validación de datos para sacar provecho de esta técnica.

Considerar métodos como los equipos DOAS que pueden medir en el mismo equipo varios contaminantes. Es un método de medición abierto el cual consiste en tomar un volumen dado en la atmósfera, entre el emisor de la radiación y del receptor, que es variable de acuerdo a las necesidades del seguimiento. Está basado en la ley de Beer y Lambert pero con la ventaja que mediante el mismo haz de radiación se mide varias sustancias contaminantes y darse diferentes niveles de representatividad.

Otros métodos más complejos se pueden considerar de manera ilustrativa como el LIDAR el LIF entre otros métodos más sofisticados.



12.4.6 Comparación entre los diferentes sistemas de medición

En la 12.10 se describen las principales ventajas y desventajas de cada grupo y se muestra un intervalo de los valores de los muestreadores o analizadores.

	VENTAJAS	DESVENTAJAS	INVERSIÓN U.S. DLLS
Muestreadores Pasivos	Muy bajo costo. Muy simples. Útiles para cribado y estudios de base.	No probado para algunos contaminantes. En general sólo proveen promedios semanales y mensuales. Requieren análisis de laboratorio.	\$2-4 por muestra.
Muestreadores Activos	Bajo costo. Fáciles de operar. Confiables en: operación y funcionamiento. Historia de bases de Datos	Proporciona concentraciones pico o de alerta. Trabajo intensivo. Requieren análisis de laboratorio.	\$2000-4 000 por unidad.
Mediciones Automáticas	Alto funcionamiento comprobado. Datos horarios. Información <i>on line</i> y bajos costos directos.	Operación Compleja. Costosos. Requieren técnicos calificados. Altos costos periódicos de operación.	\$13200-26400 por monitor.
Sensores Remotos	Proporcionan patrones de resolución de datos. Útiles cerca de fuentes y para mediciones verticales en la atmósfera. Mediciones de multicomponentes.	Muy complejos y caros. Difíciles de operar, calibrar y validar. No son siempre comparables con los analizadores convencionales	\$264 000 por sensor.
Bioindicadores	Baratos. Útiles para identificar la presencia de algunos contaminantes.	Problemas en la estandarización de sus metodologías y otros inherentes a los procedimientos. Algunos requieren análisis de laboratorio.	Costo Variable.

Tabla 12.10. Características de las diferentes técnicas de medición⁵⁷.

*Nota: La inversión es inicial y no contempla el costo por análisis de laboratorio. Precios de 2005.

Las técnicas de muestreo descritas, tienen diverso grado de utilización, según los objetivos del muestreo, según los recursos económicos disponibles y según la infraestructura disponible. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestran los usos más comunes de estas metodologías, de acuerdo al objetivo de vigilancia de la calidad del aire. Los valores del 1 al 3 indican la utilidad de la metodología. Correspondiendo el número 3 a la tecnología más recomendada para cumplir con el objetivo propuesto para el SVCA. La ausencia de valor implica que esta tecnología no es recomendable para cumplir con el objetivo establecido.

Existe una clara proporcionalidad entre la complejidad, el costo, confiabilidad y desempeño. Equipos mas sofisticados, proveen datos más refinados pero usualmente son más complejos y más difíciles de operar. Los muestreadores manuales ó semiautomáticos, no son necesariamente menos exactos que los analizadores automáticos. Por ejemplo datos provenientes de un analizador de NO/NO₂ por quimioluminiscencia, y un tubo de difusión localizados en un mismo punto, pueden mostrar una concordancia entre ± 10%, sujetos ambos a

⁵⁷ UNEP-WHO. GEMS AIR. "Methodology Review Handbook". 1994.

altos estándares de operación y aseguramiento de calidad⁵⁸.

Con base en la experiencia a nivel internacional, se observa que en algunos casos, puede implementarse una estrategia combinada utilizando muestreadores pasivos, activos y automáticos dentro de una misma red, con el objeto de implementar la resolución espacial y temporal de las mediciones de calidad de aire, siempre y cuando se lleven a cabo los estudios de validación pertinentes de los diferentes instrumentos, y se tome en cuenta que algunos de ellos presentarán dosis acumuladas y no detectarán eventos episódicos.

Lo más recomendable es siempre escoger la instrumentación más simple, que usualmente es también la más barata, que permita lograr datos confiables, con la periodicidad deseada. Equipos no apropiados, muy complejos, o propensos a fallas pueden resultar en una pobre recuperación de datos, en datos de muy limitada utilidad y en consecuencia en pérdida de los recursos invertidos. Para decidirse por un equipo en especial, se deben considerar primero los objetivos de vigilancia, luego la disponibilidad de recursos para implantación y operación, y por último la de recurso humano capacitado.

12.5 INFRAESTRUCTURA DE MONITORES DE CALIDAD DEL AIRE

Uno de los aspectos más importantes a la hora definir la tecnología de muestreo de calidad del aire es la infraestructura asociada. Esta varía considerablemente dependiendo del sitio específico de instalación de la estación y de la tecnología de muestreo, así mismo varían los costos inversión inicial y mantenimiento de dicha infraestructura.

12.5.1 Infraestructura para equipos Manuales

Los sitios de las estaciones deben garantizar la seguridad de la estación e infraestructura para la manipulación y mantenimiento de los equipos así como la posibilidad de instalación de un tercer equipo testigo:

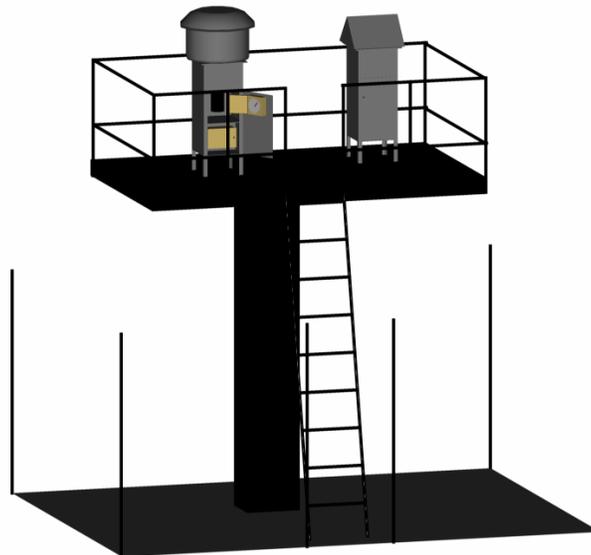


Figura 12.8. Modelo de infraestructura para estaciones fijas equipos manuales

⁵⁸ Smith S, Bush T, Stevenson KJ, Moorcroft S 1997 Validation of Nitrogen Dioxide Diffusion Tube Methodology. Stanger Science and Environment and AEA Technology, National Environmental Technology Centre, Lansdowne Building, Lansdowne Rd, Croydon, CR0 2BX, UK and <http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/reports/valid/nvalid.html>.

Esta infraestructura debe ser factible de movilizar reutilizando la mayoría de sus elementos.

Para el caso de las estaciones indicativas (móviles) se construirán infraestructuras desmontables tipo andamios que permitan reutilizar todos sus elementos.

12.5.2 Infraestructura de Equipos Automáticos:

A continuación se presentan esquemas que servirán de ejemplo de la infraestructura necesaria para una estación automática

Infraestructura Estaciones de medición de parámetros múltiples:

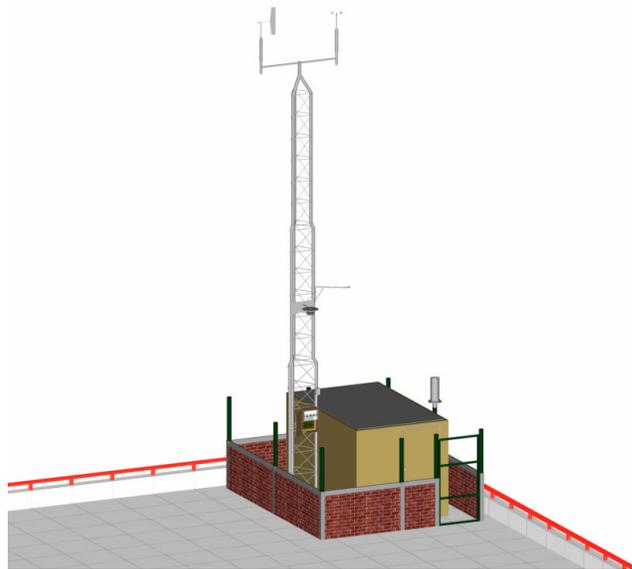


Figura 12.9. Estaciones Fijas Automáticas

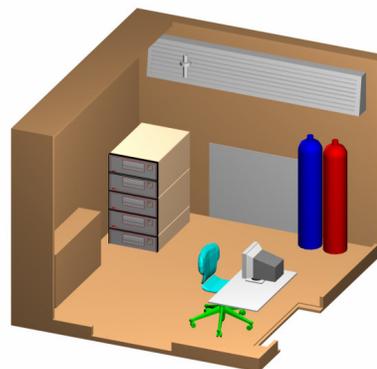


Figura 12.10. Configuración interna esquemática estación de monitoreo

Una estación automática de parámetros múltiples requiere de condiciones especiales de

instalación como una cabina con asilamiento térmico, aire acondicionado, protección eléctrica entre otros aspectos que garantizan el funcionamiento óptimo de los equipos. Se debe tener en cuenta que además de los equipos analizadores de gases una estación de este tipo debería tener: datalogger, calibrador dinámico de gases, generador de ozono, generador de aire cero, UPS y gases de calibración entre otros accesorios que se describen más adelante.

Infraestructura Estaciones de medición de parámetro Único:

En los casos en que se utilicen únicamente uno o dos equipos es posible montar una infraestructura más sencilla de acuerdo al siguiente esquema.

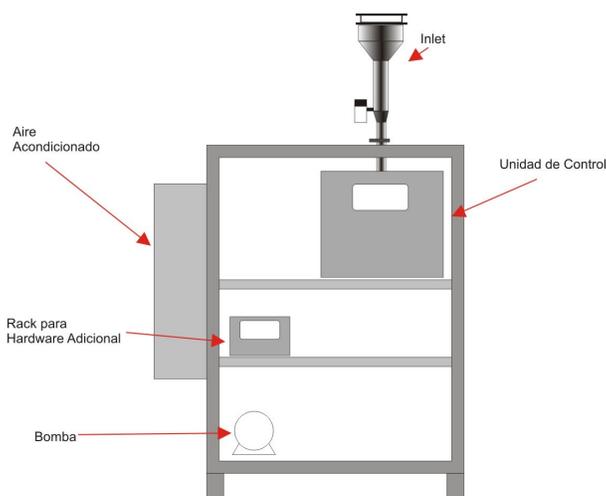


Figura 12.11. Infraestructura Estaciones Automáticas (pocos equipos)

13. MEDICIÓN METEOROLÓGICA EN LOS SISTEMAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE

Las principales tareas que se deben realizar en el campo de la meteorología, dentro de un SVCA, pueden ser resumidas así⁵⁹:

- Participación en los estudios de diagnóstico previos a la implantación de una SVCA para apoyar la definición de sitios y número de estaciones para la red.
- Generación de información meteorológica requerida para corregir y normalizar mediciones de calidad de aire
- Generación de datos de apoyo para el análisis de los resultados de las mediciones de calidad de aire con respecto a las condiciones meteorológicas, por ejemplo, para estudiar direcciones asociadas a contaminación, análisis de impactos de fuentes cercanas, etc.
- Análisis de condiciones meteorológicas de escala local, urbana y regional.
- Pronósticos de periodos de riesgo debido a altas concentraciones de contaminantes.
- Estudios de transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos.
- Generación de información requerida por modelos de dispersión de contaminantes.
- Provisión e interpretación de datos climatológicos de difusión.
- Asesoría en la generación de inventarios de emisiones con información compatible con los

⁵⁹ SZEPEI D.J. Applications of meteorology to atmospheric pollution problems. World Meteorological Organization. Technical Note No.188 . WMO - No. 672. 1987.

modelos de simulación meteorológica.

13.1 SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS SENSORES METEOROLÓGICOS.

13.1.1 Importancia de la Meteorología en el SVCA

Los sensores meteorológicos dependiendo del tipo seleccionado no tienen alto costo, luego las restricciones económicas no juegan un papel determinante a la hora de establecer el número de equipos meteorológicos que se pueden adquirir. Por lo tanto es muy recomendable instalar sensores de velocidad y dirección de viento, precipitación, temperatura, brillo solar, radiación, presión y humedad en todas las estaciones dependiendo del tipo de SVCA requerido.

Dado que no existe la necesidad imperativa de instalar los sensores meteorológicos exactamente en la misma localización que los de calidad del aire⁶⁰ y que existe la posibilidad de encontrar sitios que cumplan con todas las restricciones impuestas para la vigilancia de calidad del aire pero no cumplan con las restricciones meteorológicas, es posible diseñar SVCAs donde algunos o todos los sensores meteorológicos estén separados de los de calidad del aire. Sin embargo, ponerlos en el mismo sitio resulta más económico, dado que se requerirían menores recursos para la adquisición y transmisión de datos, y para la operación y mantenimiento.

Por otro lado, es posible que el número de sitios para evaluar calidad del aire, no sea suficiente para caracterizar adecuadamente la meteorología de la región o ciudad, luego podría ser necesario instalar algunas estaciones adicionales solo con sensores meteorológicos, para lograr un cubrimiento adecuado y para contar a futuro con la información necesaria para alimentar modelos de calidad del aire.

Las estaciones meteorológicas deben ubicarse teniendo en cuenta factores como la rugosidad de la superficie terrestre de la ciudad, el uso del suelo urbano, el agrupamiento, la orientación y las características de los edificios y viviendas aledañas al sitio de vigilancia, debido a que las diferencias de estas características influyen en el balance radiactivo del sistema tierra - atmósfera y por lo tanto en la micrometeorología urbana⁶¹. Deben tenerse en cuenta también las perturbaciones que tienen origen en la capa mezcla, la capa superficial y la capa de estela urbana, las condiciones microclimáticas de la capa límite planetaria y la capa límite urbana, como se ilustra en la Figura 13.1.

⁶⁰ SZEPEI D.J. Applications of meteorology to atmospheric pollution problems. World Meteorological Organization. Technical Note No.188 . WMO - No. 672. 1987.

⁶¹ ASESORÍA AL PROCESO DE AUDITORÍA AL DISEÑO Y OPERACIÓN DE LA RED DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AIRE DE BOGOTÁ. INFORME FINAL. P. Ulricksen. Centro Nacional del Medio Ambiente, Bogotá 2002. Anexo 14.

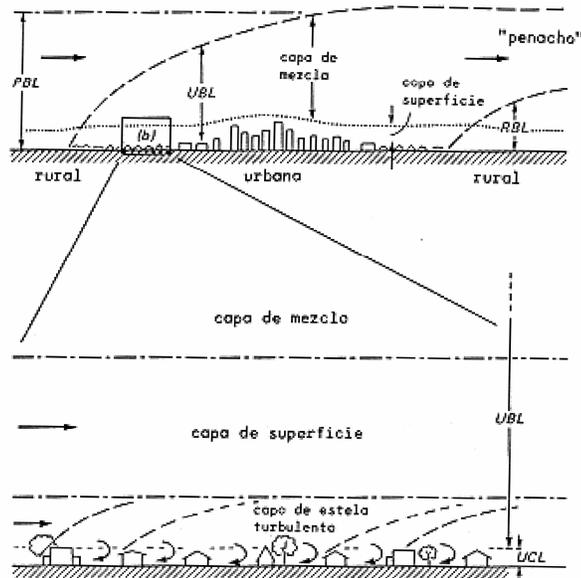


Figura 13.1. Disposición teórica de las estructuras de la capa límite sobre una ciudad (Oke 1984, presentado por TAESLER, 1988⁶²).

Para zonas con diferentes rugosidades de la superficie terrestre y condiciones térmicas particulares, como las ciudades, se recomienda hacer mediciones de turbulencia en un rango de tres a cinco sitios. De dos a cuatro estaciones para medir velocidad y dirección de viento, y temperatura en las capas superiores de la atmósfera.

13.1.2 Microlocalización de Estaciones meteorológicas

Para obtener datos meteorológicos representativos en los estudios sobre la contaminación del aire es muy importante la ubicación adecuada de los instrumentos. Estos se deben colocar lejos de obstrucciones que puedan influir en las mediciones.

No se debe permitir que consideraciones secundarias, como la accesibilidad y la seguridad, comprometan la calidad de los datos. Será prácticamente imposible encontrar sitios que cumplan todos los criterios de ubicación.

Los sensores meteorológicos no necesariamente deben ser ubicados en los mismos sitios donde se ubican los de calidad del aire, aunque evaluando el presupuesto del montaje de la red, es mucho más económico ubicarlos en el mismo sitio ya que se disminuyen costos en la adquisición y transmisión de datos, la operación y mantenimiento.

Las estaciones meteorológicas se deben ubicar teniendo en cuenta aspectos como:

- Rugosidad de la superficie terrestre de la ciudad
- Uso del suelo urbano
- Ubicación de los edificios y viviendas
- Deben tenerse en cuenta también las perturbaciones que tienen origen en la capa mezcla, la capa superficial y la capa de estela turbulenta, las condiciones microclimáticas de la capa límite planetaria y la capa límite urbana.

⁶² Taesler, R. 1988. Métodos y Datos sobre Climatología Urbana. Conferencia Técnica: La Climatología Urbana y sus Aplicaciones con Especial referencia a las Regiones Tropicales. OMM N° 652, Org. Meteor. Mundial, Ginebra.

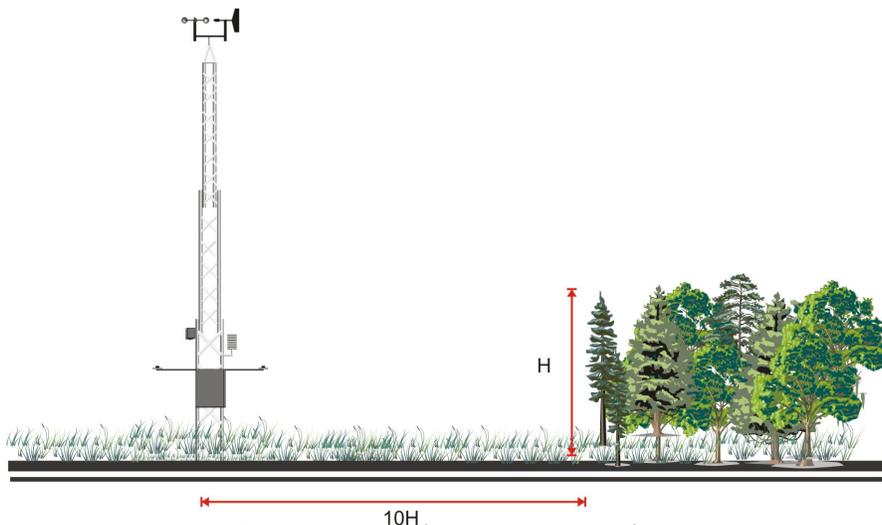


Figura 13.2. Ubicación estaciones meteorológicas

Además de los criterios expuestos deben observarse las siguientes condiciones de microlocalización y disposición de los sensores:⁶³

CRITERIO	RECOMENDACIÓN
Altura del instrumento sobre el suelo	La altura estándar de los instrumentos anemométricos utilizados sobre terreno llano abierto es de 10 m por encima del suelo.
Altura del edificio (cuando están ubicados en el techo)	En zonas urbanas sensores de vientos que estén situados en los techos de los edificios, deben estar a una altura lo suficientemente alta para evitar la estela aerodinámica del edificio. Como regla, la profundidad total estimada de la estela del edificio es aproximadamente 2.5 veces la altura del edificio.
Distancia del instrumento a la torre	El instrumento se debe ubicar en la parte superior de la torre o dos veces el diámetro de la torre, extendido hacia fuera en dirección del viento predominante
Diámetro de la torre	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior
Distancia al obstáculo más cercano	La distancia entre el anemómetro y cualquier obstáculo debe ser por lo menos diez veces superior a la altura del obstáculo.
Altura del obstáculo más cercano	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior.

Tabla 13.1. Recomendaciones para asegurar la correcta ubicación de los sensores de velocidad y dirección del viento según la OMM.

Además de los anteriores criterios anteriores, se deben ubicar en la parte superior de una torre o en un lado de esta a una distancia de al menos dos veces el diámetro de la misma, apuntando hacia afuera en dirección del viento predominante.

⁶³ Introducción al Monitoreo atmosférico. ECO/OPS. México.

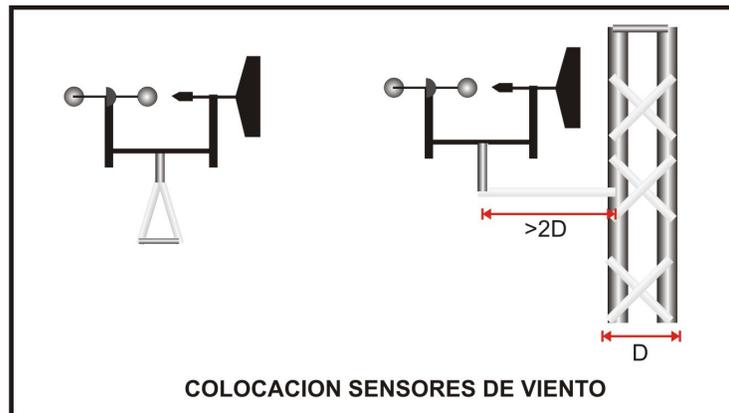


Figura 13.3. Colocación Sensores de viento

CRITERIO	RECOMENDACIÓN
Altura del instrumento sobre el suelo	La temperatura observada deberá ser representativa del estado del aire que rodea la estación en un área lo más extensa posible, y a una altura entre 1,25 y 2 metros por encima del nivel del suelo
Distancia al obstáculo más cercano	La distancia debe ser por lo menos 4 veces la altura del obstáculo más cercano. Debe tener exposición directa al sol y al viento y libre de la sombra o proximidad de árboles, edificios u otros objetos que obstruyan.
Altura del obstáculo más cercano	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior
Otros criterios	El sensor debe estar alejado por lo menos 30 metros de áreas pavimentadas. Debe indicarse si está sobre un suelo cubierto por una capa natural de tierra o pasto y lejos de aguas estancadas. Adicionalmente, se debe evitar su ubicación en terrenos con pendientes muy inclinadas o con depresiones.

Tabla 13.2. Recomendaciones para asegurar la correcta ubicación de los sensores de temperatura según la OMM.

CRITERIO	RECOMENDACIONES
Altura del instrumento sobre el suelo	La altura del instrumento debe ser igual a 10 metros.
Distancia del instrumento a la torre	La distancia debe ser por lo menos 2 veces el diámetro de la torre y debe estar ubicado en la dirección predominante del viento
Diámetro de la torre	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior.

Tabla 13.3. Recomendaciones para asegurar la correcta ubicación de los sensores de diferencia de temperatura según la OMM.

CRITERIO	RECOMENDACIONES
Distancia del instrumento a la torre	El instrumento se debe ubicar en la parte superior de la torre o dos veces el diámetro de la torre, extendido hacia fuera en dirección del viento predominante.
Diámetro de la torre	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior.
Distancia al obstáculo más cercano	La distancia entre el sensor y cualquier obstáculo debe ser tal que no ocasione sombras en ninguna época del año.
Altura del obstáculo más cercano	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior
Ubicación del instrumento	El lugar elegido para ubicar el sensor debe estar libre de obstáculos por encima del plano del sensor y, al mismo tiempo, debe ser fácilmente accesible. Debe estar libre de obstáculos que puedan producir sombra y lejos de paredes de color claro u otros objetos que puedan reflejar la luz solar

Tabla 13.4. Recomendaciones para la ubicación del sensor de radiación global según la OMM

CRITERIO	RECOMENDACIONES
Altura del instrumento sobre el suelo	La altura del instrumento sobre el suelo debe ser igual a 2 metros
Distancia del instrumento a la torre	El instrumento se debe ubicar en la parte superior de la torre o dos veces el diámetro de la torre, extendido hacia fuera en dirección del viento predominante
Diámetro de la torre	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior
Distancia al obstáculo más cercano	La distancia entre el sensor y cualquier obstáculo debe ser por lo menos 4 veces superior a la altura del obstáculo
Altura del obstáculo más cercano	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior
Ubicación del instrumento	El sensor debe estar protegido de la lluvia y el viento y su protección no debe generar un micro-clima.

Tabla 13.5. Recomendaciones para la ubicación del sensor de humedad relativa según la OMM.

CRITERIO	RECOMENDACIÓN
Altura del instrumento sobre el suelo	La altura del instrumento sobre el suelo debe ser igual o superior a 1 metro.
Distancia del instrumento a la torre	El instrumento se debe ubicar en la parte superior de la torre o dos veces el diámetro de la torre, extendido hacia fuera en dirección del viento predominante
Diámetro de la torre	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior.
Distancia al obstáculo más cercano	La distancia entre el sensor y cualquier obstáculo debe ser por lo menos 2 veces superior a la altura del obstáculo.
Altura del obstáculo más cercano	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior.
Ubicación del instrumento	Se deben evitar las laderas o los techos de los edificios

Tabla 13.6. Recomendaciones para la ubicación del sensor de precipitación según la OMM

TIPO DE SENSOR	RECOMENDACIONES
Barómetros de mercurio	Colgar el barómetro en una pared interior, preferiblemente en un sótano, sin ventanas ni calefacción, con un pequeño ventilador eléctrico que impida cualquier estratificación de la temperatura. Utilizar luz artificial en todas las observaciones para conseguir condiciones de iluminación uniformes en las lecturas. Ubicar el instrumento en un lugar desprovisto de vibraciones, preferentemente una pared sólida, y con la columna de mercurio en posición vertical. Se recomienda ubicarlo en una caja que tenga una puerta con bisagra y disponga de ventilación suficiente a fin de evitar la estratificación del aire en su interior.
Barómetros electrónicos	Requiere una atmósfera limpia y seca que no contenga sustancias corrosivas. Se debe mantener a temperatura constante. Se deben evitar las vibraciones y choques mecánicos y se emplazará lejos de fuentes electromagnéticas. Cuando esto no sea posible, se protegerán los cables y el armazón. Se debe contar con buena iluminación general, pero no se deben colocar frente a una ventana u otra fuente de luz intensa
Barómetros aneroides	Los requisitos de exposición se asemejan a los del barómetro de mercurio. El lugar de montaje deberá tener temperatura uniforme durante todo el día. En consecuencia, se tratará de un lugar que ofrezca protección contra los rayos del sol directos y contra otras fuentes de calor o frío que puedan causar cambios bruscos y considerables de temperatura.

Tabla 13.7. Recomendaciones para la ubicación del sensor de presión

13.2 TECNOLOGIAS DE ESTACIONES METEROLOGICAS.

Las estaciones planteadas para los SVCA en Colombia son:

13.2.1 Estaciones Meteorológicas de Alta Precisión.

Las estaciones del tipo estacionario son comúnmente construidas con equipos de altísima calidad y precisión, los datos arrojados por estas estaciones hacen parte de grandes redes de meteorología de ámbito nacional y la mayoría pertenece a grandes redes de meteorología.

Estas estaciones deberán ser compatibles con la red actual del IDEAM, y cumplir con estándares internacionales OMS.

La estación puede estar en línea (capacidad de acceder a ella en forma remota) o con un datalogger con capacidad de almacenar datos que puedan ser adquiridos con un computador portátil posteriormente.

La configuración mínima de este tipo de estaciones se ilustra en la siguiente figura.

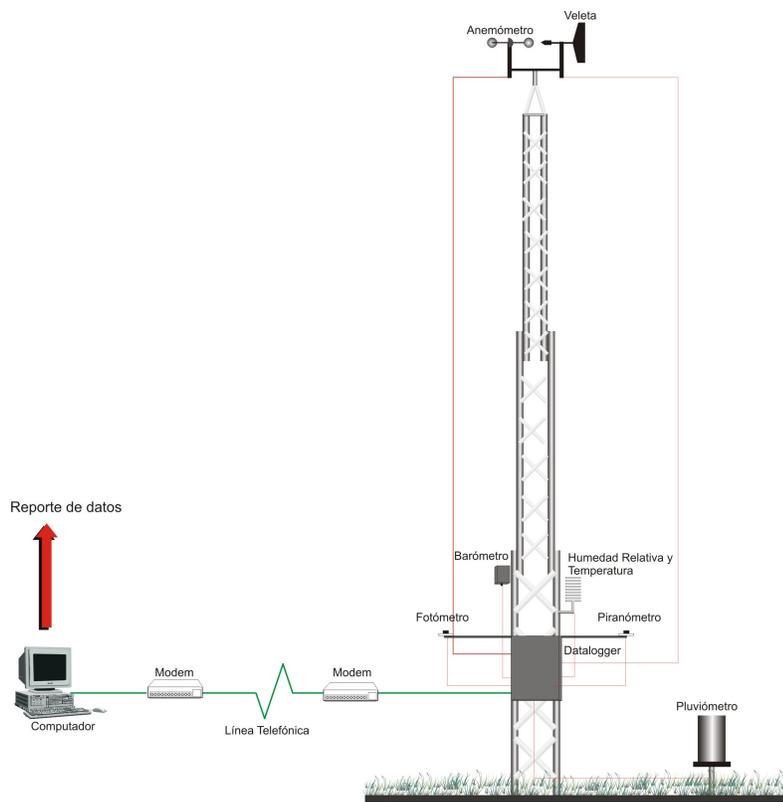


Figura 13.4. Configuración de estaciones de alta precisión

Las estaciones deberán constar de los siguientes componentes:

Sensores de viento - Anemómetro y veleta.

El instrumento más común para medir la dirección del viento es la paleta de viento o veletas que acompaña su medición de un anemómetro de copas; embargo existen otras tecnologías más avanzadas como propelas UVW y ultrasónicos que miden vectorialmente los componentes

del viento.

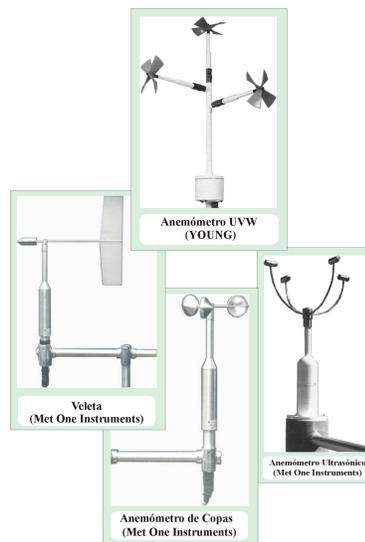


Figura 13.5. Tipos de Anemómetros.

Sensor de Temperatura.

Las tres clases principales de sensores de temperatura se basan en: la expansión térmica, el cambio de resistencia y las propiedades termoeléctricas de diversas sustancias como una función de la temperatura. Para cada uno de estos tipos de temperatura se tienen:

- Detector de Temperatura por Resistencia (DTR): El DTR opera sobre la base del aumento lineal de resistencia de ciertos metales como una función de la temperatura.
- Termistor: hecho a partir de una mezcla de óxidos metálicos que arrojan un cambio de resistencia con la temperatura mayor que el DTR pero no lineal, estos sistemas usan dos o más termistores fijos que permitan obtener una respuesta casi lineal sobre un rango específico de temperatura.
- Termoeléctricos: el flujo de corriente eléctrica entre dos metales diferentes es dependiente de la temperatura llamados también termopares.



Figura 13.6. Sensor Temperatura (Met One Instruments)

Sensor de Radiación Solar⁶⁴.

El instrumento más usado en la medición de la radiación solar es el Piranómetro. El sensor 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. Debido a esto 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.



Figura 13.7. Sensor de Radiación Solar. (Met One Instruments)

Sensor de Precipitación⁶⁵.

⁶⁴ MET ONE INSTRUMENTS. Manual de Usuario de la estación

⁶⁵ DAVIS. Catálogos estaciones meteorológicas

El método de funcionamiento para pluviómetros automáticos más común es del tipo de cazoletas basculantes:

El modo de operación del pluviómetro es el siguiente:

- El agua de lluvia es recogida por un primer embudo superior.
- La primera cazoleta báscula después de recoger una cantidad de agua dada esto genera un cierre momentáneo de un relé, posicionándose la segunda cazoleta para recoger el agua procedente del embudo.
- Una vez llenas, las cazoletas basculan en sentido contrario produciéndose un nuevo contacto de relé y repitiéndose el ciclo.



Figura 13.8. Sensor de Precipitación.
(DAVIS)

Sensor de Presión Barométrica.

Los sensores de presión barométrica convierten la presión atmosférica absoluta en un voltaje proporcional y lineal, para esto utilizan un transductor de estado sólido y dispositivos para linealizar y amplificar la señal.

Sensor de Humedad Relativa⁶⁶:

El sensor de humedad relativa está basado en el cambio de las propiedades de un capacitor polimérico de película delgada de una micra de espesor. Esta película absorbe las moléculas de agua a través de un electrodo metálico delgado y causa el cambio en la capacitancia proporcional a la humedad relativa.



Figura 13.9. Sensor de Humedad Relativa.
(Met One Instruments)

⁶⁶ MET ONE INSTRUMENTS. Manual de Usuario de la estación

13.2.2 Estaciones Meteorológicas portátiles

Estas estaciones están compuestas principalmente por componentes electrónicos capaces de leer de forma análoga a las antiguas estaciones manuales pero con la ventaja de la captura en línea de datos y la capacidad de almacenar y transmitir la información. Sus principales ventajas son su facilidad de transporte, instalación y su bajo costo.



Figura 13.10. Estaciones Automáticas portátiles (DAVIS)

13.2.3 Pluviómetros Automáticos

Permitirán la captura de información en datalogger de forma automática. No necesariamente están en línea. Usan la metodología de cubeta basculante.



Figura 13.11. Pluviómetros automáticos con Datalogger

13.3 SOFTWARE DE APOYO AL SVCA.

Se necesitará software para realizar la modelación y el acopio y análisis de la información.

13.3.1 Software de Modelación.

Habrán tres tipos de software posibles dependiendo de la complejidad de la dispersión y efectos sobre el área analizada. En los tipos de SVCA se hacen recomendaciones de los modelos a usar para cada caso particular, estos son dependiendo del tipo de SVCA:

- Modelos Gaussianos
- Modelos Avanzados
- Modelos numéricos regionales

13.3.2 Software Inventario de Emisiones.



Será un modulo actualizable a en el cual se introduzcan la información georeferenciada de emisiones y permita su actualización y análisis de la información.

13.3.3 Software Gestión de la Información.

Es una herramienta en la cual se introduzcan la información georeferenciada de datos de calidad del aire y otra información del SVCA con mínimo las siguientes características:

- Permite la visualización, control y gestión de los siguientes datos:
 - Resultados de los monitoreos - a partir de los datos del software
 - Gestión de repuestos y consumibles de los equipos
 - Tablas de calibración de los equipos
 - Inventario de los equipos
 - Cédulas técnicas de los equipos
 - Gestión de repuestos de estaciones meteorológicas
 - Resultados de la medición de variables meteorológicas
 - Análisis estadístico de los resultados de mediciones meteorológicas y de contaminantes
- 

14. ESTRATEGIA DE MUESTREO DEL SVCA.

La estrategia de muestreo ó forma en que se ejecutará el programa a seguir con el sistema vigilancia de la calidad del aire, esta estrechamente ligada al alcance de los objetivos propuestos. Por tal razón, la definición del programa de muestreo, del tiempo dispuesto para las mediciones y la frecuencia de las mismas, actividades componentes básicas de la estrategia, dependerán del tipo de programa que se pretenda llevar a cabo. Por tal razón, lo primero que se tendrá que definir para cualquier tipo de programa de vigilancia, ya sea de muestreo continuo o discontinuo, será la duración del mismo. La frecuencia de muestreo y el tiempo de toma de muestra, se determinarán para programas discontinuos en función de los objetivos de vigilancia y de la calidad de los datos que se requieran para cumplir.

14.1 DURACIÓN DEL PROGRAMA.

Se define así, el periodo durante el cual operará el SVCA, recopilando la información sobre concentraciones de contaminantes y condiciones meteorológicas, que permita cumplir plenamente con los objetivos del programa. En la tabla 14.1, se presentan las duraciones propuestas para redes de vigilancia de acuerdo al objetivo básico de diseño.

OBJETIVO BÁSICO	DURACIÓN DEL PROGRAMA
Evaluar cumplimiento de normas y determinación de tendencias.	Mayor ó igual a cinco (5) años.
Evaluar estrategias de control	Mayor ó igual a dos (2) años. Uno antes y otro después de implantar la estrategia.
Información al Público	Mínimo un (1) año
Identificación de Áreas Críticas	Dos (2) años. Dependiendo de la complejidad ambiental del área.
Estudios específicos	Dependerá de los parámetros evaluados, cantidad de datos requerida y la frecuencia de muestreo.

Tabla 14.1. Duración de un programa de vigilancia

14.2 FRECUENCIA DE MONITOREO

A continuación se presentan las frecuencias mínimas de monitoreo que deben tener los equipos de calidad del aire que pertenezcan a las redes de monitoreo de calidad del aire de las autoridades ambientales locales o regionales.

1. Analizadores continuos: Se deben obtener promedios horarios consecutivos, excepto durante periodos de mantenimiento rutinario, periodos de calibración del analizador o periodos exceptuados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Para demostrar el cumplimiento del límite máximo permisible anual y de 24 horas, los promedios deben estar basados en la información horaria que esté completa al menos en un 75% en cada trimestre calendario. Un promedio de 24 horas se considera válido si al menos el 75% de los promedios horarios para el promedio de 24 horas se encuentra disponible. En el evento que sólo 18, 19, 20, 21, 22 o 23 promedios horarios estén disponibles, el promedio de 24 horas deberá ser calculado como la suma de los promedios horarios disponibles usando 18, 19, etc., como el divisor. Si menos de 18 promedios horarios se encuentran disponibles, pero el promedio de 24 horas excede el límite máximo permisible cuando se reemplazan los valores faltantes por ceros, se debe considerar como un promedio válido de 24 horas. En este caso, el



promedio de 24 horas debe ser calculado como la suma de los promedios horarios disponibles divididos por 24.

Los promedios de 8 horas deben ser considerados válidos si al menos el 75% de los promedios horarios para el promedio de 8 horas está disponible. En el evento que solo seis o siete promedios horarios estén disponibles, el promedio de 8 horas debe ser calculado tomando como base las horas disponibles y usando seis o siete como divisor, respectivamente.

Para demostrar el cumplimiento del límite máximo permisible de 3 horas, los promedios deben estar basados en la información horaria que esté completa al menos en un 75% en cada trimestre calendario. Un promedio de 3 horas se considera válido sólo si los tres promedios horarios para el promedio de 3 horas se encuentran disponible. Si sólo uno o dos promedios horarios estén disponibles, pero el promedio de 3 horas excede el límite máximo permisible cuando se reemplazan los valores faltantes por ceros, se debe considerar como un promedio válido de 3 horas. En todos los casos, el promedio de 3 horas debe ser calculado como la suma de los promedios horarios disponibles divididos por 3.

2. Muestreadores manuales de PST: Deben seguir las mismas indicaciones que los muestreadores manuales de MP10.

3. Muestreadores manuales de MP10: Las muestras de MP10 de 24 horas deben ser tomadas desde la medianoche hasta la medianoche para asegurar la consistencia nacional. La frecuencia de monitoreo mínima para la estación en el área donde se espere la máxima concentración estará basada en el nivel relativo de la concentración en esa estación con respecto al nivel máximo permisible para 24 horas, de acuerdo a lo establecido en la Figura 8.19. Si la entidad encargada de la operación de la red de calidad del aire demuestra con los datos de monitoreo que durante ciertos períodos del año existen condiciones que evitan la violación del límite máximo permisible de MP10 para un periodo de 24 horas, la frecuencia de monitoreo máxima puede exceptuarse para esos períodos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y permitirse monitoreo hasta una vez cada seis días. La frecuencia de monitoreo mínima para las estaciones en un área debe ser una vez cada seis días.

Los ajustes a la frecuencia de monitoreo deben realizarse con evaluaciones basadas en mediciones de la red de calidad del aire de 5 años. Cuando no se cuente con información de 5 años, se debe considerar el año con información más reciente para estimar el estado de la calidad del aire en la estación cercana al área de máxima concentración. Modelos estadísticos como los presentados en este protocolo deben ser utilizados. La estación con la más alta concentración en el año más reciente debe ser considerada como la primera opción cuando se seleccione la estación con la mayor frecuencia de monitoreo. Otros factores como cambios importantes en las fuentes de emisión de MP10 o en las características de la estación de monitoreo pueden influenciar la ubicación del sitio de máxima concentración esperada.

Adicionalmente, el uso de los 3 años más recientes de datos se puede, en algunos casos, justificar para proporcionar una base de datos más representativa de la cual se estime el estado actual de la calidad del aire y proporcione estabilidad a la red. Esta consideración multianual reduce la posibilidad de un año anómalo que sesgue la selección de un sitio para el monitoreo poco frecuente. Si el sitio de máxima concentración basado en el año más reciente, no emplea la frecuencia de monitoreo más alta, se debe documentar la justificación para la selección de un sitio alternativo para que sea aprobado durante el proceso de evaluación de 5 años de información de la red de calidad del aire.



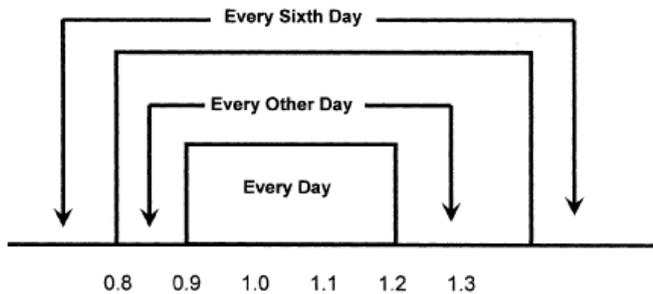


Figura 14.1. Relación con el límite máximo permisible para 24 horas de MP10⁶⁷

4. Muestreadores manuales de PM2.5: Los muestreadores manuales de PM2.5 deben operarse al menos cada tercer día en los sitios donde no exista un analizador continuo de PM2.5. En los sitios donde se mida PM2.5 simultáneamente con un muestreador manual y un analizador continuo, la entidad a cargo de la red de calidad del aire puede solicitar al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial la aprobación de una reducción en la frecuencia de monitoreo de PM2.5 hasta cada sexto día en las estaciones de la red de calidad del aire o para ciertos periodos del año. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial puede conceder reducciones en la frecuencia de monitoreo después de la consideración de factores como la evaluación de calidad de la información histórica de PM2.5, la localización de los sitios actuales de PM2.5, y a las necesidades de información para generar regulación, entre otros. Los sitios con concentraciones calculadas dentro de más o menos el 10% de los límites máximos permisibles de calidad del aire y los sitios donde los valores de 24 horas han excedido los límites máximos permisibles en un periodo de 3 años deben mantener la frecuencia de monitoreo al menos cada tercer día. Los sitios con concentraciones calculadas dentro de más o menos 5% del límite máximo diario permisible de PM2.5 deben contar con un método de referencia o un método equivalente aprobado por la US-EPA operando diariamente.

Los muestreadores manuales de PM2.5 requeridos para evaluar concentración de fondo y transporte regional de contaminantes deben operarse con una frecuencia de al menos cada tercer día.

Los muestreadores manuales de PM2.5 en estaciones utilizadas para especiación de contaminantes deben operarse con una frecuencia de al menos cada tercer día.

5. Muestreadores manuales de SO₂: Las muestras de SO₂ de 24 horas deben ser tomadas desde la medianoche hasta la medianoche para asegurar la consistencia nacional, con una frecuencia que tenga en cuenta las mismas consideraciones de las muestras de MP10.

Para demostrar el cumplimiento del límite máximo permisible anual y de 24 horas, los promedios deben estar basados en la información que esté completa al menos en un 75% en cada trimestre calendario. Un promedio de 24 horas se considera válido si al menos el 75% de los promedios horarios para el promedio de 24 horas se encuentra disponible. En el evento que sólo 18, 19, 20, 21, 22 o 23 promedios horarios estén disponibles, el promedio de 24 horas deberá ser calculado como la suma de los promedios horarios disponibles usando 18, 19, etc., como el divisor. Si menos de 18 promedios horarios se encuentran disponibles, pero el promedio de 24 horas excede el límite máximo permisible cuando se reemplazan los valores faltantes por ceros, se debe considerar como un promedio válido de 24 horas. En este caso, el promedio de 24 horas debe ser calculado como la suma de los promedios horarios disponibles divididos por 24.

Las muestras de SO₂ de 3 horas deben ser tomadas a partir de la medianoche en bloques de 3 horas que no se superpongan para asegurar la consistencia nacional, con una frecuencia que

⁶⁷ EPA-CFR 40

tenga en cuenta las mismas consideraciones de las muestras de MP10.

Para demostrar el cumplimiento del límite máximo permisible de 3 horas, los promedios deben estar basados en la información horaria que esté completa al menos en un 75% en cada trimestre calendario. Un promedio de 3 horas se considera válido sólo si los tres promedios horarios para el promedio de 3 horas se encuentran disponibles. Si sólo uno o dos promedios horarios estén disponibles, pero el promedio de 3 horas excede el límite máximo permisible cuando se reemplazan los valores faltantes por ceros, se debe considerar como un promedio válido de 3 horas. En todos los casos, el promedio de 3 horas debe ser calculado como la suma de los promedios horarios disponibles divididos por 3.

6. Muestreadores manuales de NO₂: Las muestras de NO₂ de 24 horas deben ser tomadas desde la medianoche hasta la medianoche para asegurar la consistencia nacional, con una frecuencia que tenga en cuenta las mismas consideraciones de las muestras de MP10.

Para demostrar el cumplimiento del límite máximo permisible anual y de 24 horas, los promedios deben estar basados en la información que esté completa al menos en un 75% en cada trimestre calendario. Un promedio de 24 horas se considera válido si al menos el 75% de los promedios horarios para el promedio de 24 horas se encuentra disponible. En el evento que sólo 18, 19, 20, 21, 22 o 23 promedios horarios estén disponibles, el promedio de 24 horas deberá ser calculado como la suma de los promedios horarios disponibles usando 18, 19, etc., como el divisor. Si menos de 18 promedios horarios se encuentran disponibles, pero el promedio de 24 horas excede el límite máximo permisible cuando se reemplazan los valores faltantes por ceros, se debe considerar como un promedio válido de 24 horas. En este caso, el promedio de 24 horas debe ser calculado como la suma de los promedios horarios disponibles divididos por 24.

7. Métodos manuales de Plomo (Pb): Se debe obtener al menos una muestra de 24 horas cada 6 días excepto durante períodos exceptuados por Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

14.3 TIEMPO DE TOMA DE MUESTRA

El tiempo de toma de muestra de una lectura individual en mediciones discontinuas, corresponde al período de tiempo en que se lleva a cabo la determinación de concentraciones de los contaminantes. Mientras más corto es el tiempo de toma de muestra, más altos serán los valores máximos esperados.

Este tiempo se determina tomando en cuenta los criterios recomendados de efectos en la salud o factores de inmisión de los contaminantes a determinar, por medio de los límites de detección del método de muestreo utilizado y por medio de los criterios establecidos en las normas de calidad del aire vigentes.

Para métodos de referencia discontinuos estos tiempos son los siguientes:

- Para gases (SO₂): 1 hr, 3hr, 24 hr.
- Para partículas suspendidas: 1hr, 24 horas.

Algunas recomendaciones de los manuales OMS/UNEP, GEMS/AIR, en cuanto a tiempos de muestreo, son las siguientes:

- Deben ser medidas concentraciones promedio de 24 horas.
- La medición anual se recomienda para determinar las variaciones estacionales y para obtener promedios anuales.
- El muestreo diario se recomienda si se necesitan realizar comparaciones significativas a corto plazo o si las concentraciones a 24 horas serán cuantificadas confiablemente.

- Se requiere de medición con resolución horaria únicamente cuando existan condiciones de episodio de contaminación y se requiera verificar el cumplimiento de las normas ó valores límites de concentración de la situación de emergencia.

15. MODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS EN REDES DE CALIDAD DEL AIRE

Los encargados de operar la red de calidad del aire pueden discontinuar el uso de muestreadores o analizadores automáticos en cualquier estación de la red si se cumple alguno de los criterios que se describen a continuación.

Cualquier analizador o muestreador de PST, MP10, PM2.5, SO₂, NO₂, O₃ o CO que haya mostrado cumplimiento de la norma de calidad del aire durante los cinco años anteriores, que tenga una probabilidad inferior al 10% de exceder el 80% de los límites máximos permisibles aplicables durante los siguientes tres años, basado en los niveles, tendencias y la variabilidad observada en el pasado, y si no se requiere específicamente por alguna autoridad ambiental para realizar seguimiento. El muestreador o analizador no podrá ser desmontado en un área de incumplimiento de la calidad del aire, o en una zona clasificada como área fuente cuando el equipo sea el único operando en la zona.

Cualquier analizador o muestreador de PST, MP10, SO₂, NO₂ o CO que haya medido consistentemente menores concentraciones que otro analizador o muestreador del mismo contaminante en la misma área de influencia, durante los cinco años anteriores y que no sea requerido específicamente por alguna autoridad ambiental para realizar seguimiento, si las medidas de control pendientes por ser implementadas o discontinuadas durante los siguientes cinco años aplican a las áreas alrededor de ambos equipos y tienen efectos similares en las concentraciones medidas, de tal forma que el monitor que permanezca siga siendo el que presente las mayores lecturas.

Para cualquier contaminante, cualquier muestreador o analizador en una determinada área donde el equipo no haya medido incumplimiento de la norma de calidad del aire en los cinco años anteriores y que se presenten medios específicos y reproducibles que permitan representar la calidad del aire del área afectada en la ausencia del equipo actual de monitoreo.

Un equipo para monitorear PM2.5 que no pueda ser comparado con los límites máximos permisibles debido a la ubicación del equipo, de acuerdo con los criterios de ubicación establecidos en este protocolo.

Cualquier equipo que esté designado para medir concentraciones vientos arriba de un área urbana con el fin de caracterizar el transporte de contaminantes en el área y que no haya registrado incumplimientos de la norma de calidad del aire en los cinco años anteriores, si el desmonte del equipo está ligado al inicio de otra estación dedicada también a la caracterización del transporte de contaminantes.

Cualquier equipo que no sea factible de retiro bajo cualquiera de los criterios mencionados anteriormente, debe ser trasladado a una ubicación cercana con la misma escala de representación si se presentan problemas logísticos fuera del alcance del encargado de la red, que hagan imposible continuar con la operación en el sitio actual.

16. MÉTODOS DE REFERENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE

Para monitorear los contaminantes criterio (SO_2 , CO , NO_2 , O_3 , MP_{10} , PST) o $\text{PM}_{2.5}$ con el fin de realizar la comparación con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa nacional, se deben utilizar los métodos de referencia o métodos equivalentes aprobados por la US-EPA y/o la EEA a menos que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial determine lo contrario.

17. RECOMENDACIONES GENERALES PARA SELECCIÓN DE EQUIPOS

La selección de los equipos tiene que ver con factores como el diseño de la red, el nivel de tecnología apropiado y la disponibilidad económica así como los requerimientos establecidos de acuerdo al SVCA de la autoridad ambiental respectiva. Aunque se encuentre con un capital suficiente de inversión, los equipos deben estar sujetos a las especificaciones planteadas en el diseño y a la tecnología accesible, de manera que la inversión cumpla los propósitos con la menor inversión y máximos beneficios.

Cuando no se cuenta experiencia propia con los medios para realizar pruebas de desempeño, lo más recomendable para seleccionar equipos específicos (marca y modelo) para una SVCA, es basarse en la experiencia que al respecto han acumulado instituciones internacionales como la OMS, Agencias Regulatoras como la US-EPA, quien publica regularmente una lista de los equipos equivalentes y de referencia, que han sido sometidos a exhaustivas pruebas de desempeño y las han aprobado. Con este listado de equipos y el apoyo de proveedores a nivel nacional, se pueden adquirir todos aquellos elementos, que la disponibilidad económica permita.

18. RECURSOS NECESARIOS PARA EL MONTAJE, OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA RED.

18.1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Un SVCA es una iniciativa que demanda gran cantidad de compromisos y costos, por lo tanto la inversión (de capital y de operación), es el factor que en la práctica, más limita el diseño de un SVCA. La disponibilidad de recursos económicos para la implantación de la red y la sostenibilidad a largo plazo de su operación y mantenimiento, debe ser el primer aspecto en evaluarse, mucho antes de pensar siquiera en algún equipo específico.

Los costos típicos en los que se incurre en un programa completo de vigilancia y evaluación de la calidad del aire pueden dividirse en las siguientes ocho actividades principales:

Diseño del SVCA y selección de sitios.

- Instalación de las estaciones.
- Medición.
- Análisis.
- Mantenimiento de los equipos.
- Procesamiento de datos y reporte de información.
- Control y aseguramiento de la calidad, y
- Administración y gestión.

Debe evaluarse además la disponibilidad continua de recurso humano capacitado, interno o externo al ente responsable del SVCA, para el mantenimiento de los equipos, junto con las operaciones rutinarias de calibración y análisis de los datos. Por lo general el presupuesto requerido para un año de operación y mantenimiento de la red se encuentra en el orden del 10% de la inversión inicial para la implantación de la misma.

Es necesario además realizar una previsión presupuestal para el programa de aseguramiento y control de la calidad, que debe estar en el rango del 20% al 40% de los costos anuales de operación, dependiendo de la complejidad del programa y de los objetivos de calidad de los datos.

Una vez establecidos los anteriores costos, y conociendo la disponibilidad de recursos, es posible el número de estaciones de vigilancia que las restricciones de presupuesto permiten. Con base en este número puede iniciarse el proceso de establecer la distribución de las mismas.

Los costos del programa de vigilancia y evaluación de la calidad del aire siempre deben ajustarse a las necesidades y circunstancias específicas de la ciudad o región, sobre la cual se implementará. Por tal razón, es muy difícil establecer una fórmula única que permita estimar los costos asociados para cualquier región. Sin embargo ésta estimación es fundamental, para dimensionar un SVCA sostenible a largo plazo.

En esta sección se analizan y describen los costos en los que se incurre al realizar un programa típico de vigilancia y evaluación de la calidad del aire. Se discuten principalmente los costos de las actividades generales consideradas al comienzo de este numeral, que no dependen del sistema de medición específico. Los costos asociados a los sistemas de medición específicos se discuten solo brevemente.

Dado que a la fecha no existe en el país, suficiente información sobre los costos de la vigilancia

de la calidad del aire, la estimación de costos se basa en experiencias internacionales al respecto.

En general en este documento se asume que la vida útil de un SVCA es de 5 años y se utiliza un SVCA con 5 estaciones para estimaciones específicas de costos.

Para enfrentar la tarea de evaluación de costos de implantación y mantenimiento de un SVCA deben tenerse claros los objetivos de vigilancia y los objetivos de calidad de los datos, y después calcular los costos asociados a cada una de las siguientes actividades:

18.1.1 DISEÑO DEL SVCA Y SELECCIÓN DE SITIOS.

El costo del diseño y selección de sitios de un SVCA, puede calcularse por las horas / hombre invertidas en este tipo de estudios. Estos estimativos incluyen el trabajo necesario para el desarrollo del Diagnóstico preliminar que incluye la el Inventario de Emisiones, campaña de monitoreo y aplicación de modelos de dispersión así como el análisis de la información hasta llegar a la selección de sitios, lo que involucra salidas a campo para evaluar las características de los sitios. En éste costo solo se incurrirá una vez y se amortizará lo largo de la vida útil del SVCA. Los costos por cada modelo de SVCA de manera aproximada estarían estimados de la siguiente forma en Salarios Mínimos Mensuales Legales Colombianos:

SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE					
Actividad	Indicativo	Básico	Intermedio	Avanzado	Especial
Inventario de Emisiones	0.0	119.0	119.0	178.6	119.0
Campaña de Monitoreo	0.0	148.8	148.8	238.1	148.8
Modelación	0.0	89.3	148.8	178.6	59.5
Análisis	29.8	59.5	74.4	89.3	89.3
TOTAL	29.8	416.7	491.1	684.5	416.7

Tabla 18.1. Costos de diseño aproximados de un SVCA en SMLMV

18.1.2 Instalación de las estaciones

Los costos de instalación de las estaciones comprenden los terrenos y su adecuación, la compra e instalación de los equipos de medición, etc. El terreno del sitio seleccionado, puede ser comprado, arrendado o en algunos casos usado sin costo alguno. La adecuación del sitio incluye el acceso, la seguridad y la electricidad. Puede ser posible que se requiera, una nivelación del terreno y la construcción de una plataforma para colocar la cabina ó shelter donde se protegerán los equipos, puede necesitarse además una vía de acceso, y definitivamente será necesario tener en cuenta la acometida eléctrica par alimentar los equipos si son eléctricos⁶⁸, la línea telefónica para transmitir los datos⁶⁹, el cercado y la iluminación para prevenir en alguna medida robos y vandalismo. Después de preparar el sitio se debe transportar e instalar la cabina ó shelter⁷⁰ y los equipos, estos últimos deben ponerse en condiciones de operación, deben calibrarse y deben prepararse para la medición rutinaria.

Los costos de instalación de la estación deben incluir gastos en materiales consumibles,

⁶⁸ Si el sitio es demasiado remoto y no puede proveerse la electricidad necesaria, es preferible cambiarlo. Si se considera la posibilidad de producir la energía requerida, con una planta eléctrica que utilice combustibles fósiles, ésta debe instalarse lo suficientemente alejada, vientos abajo en la dirección predominante de viento, de manera que se cumplan las normas dispuestas en la tabla 4. sin embargo esta opción no es muy recomendada ya que los datos obtenidos de ésta estación estarán innegablemente influenciados por esta fuente emisora y serán difíciles de validar.

⁶⁹ En sitios que cuenten con cubrimiento de telefonía celular, esta puede constituir una opción muy buena para transmisión de datos, dependiendo de la calidad del servicio que preste el operador celular.

⁷⁰ Para sitios de medición en terrazas de edificios, si se requiere de la cabina, esta debe ser construida sobre la misma.

servicios, y personal. Estos son por lo general costos en los que se incurrirá solo una vez y se amortizarán en el tiempo de vida útil de la estación. Para los propósitos de este documento se establece una vida útil de 5 años para las estaciones. Los costos totales de instalación de una estación pueden llegar a ser muy significativos (mucho mayores que los costos de los equipos dentro de ella), sin embargo pueden reducirse si se buscan sitios de fácil acceso y con buenas condiciones de seguridad, cercanos a redes eléctricas y telefónicas, y cuyo uso no implique costo alguno para el SVCA (como predios de universidades, colegios, entes estatales, parques públicos).

A los costos de las instalaciones y /o acometidas eléctricas, deben sumarse también los costos de la línea telefónica, del servicio, y del MODEM para la transmisión de datos en caso de ser requerido.

La cerca ó malla de seguridad, debe tener de 2 a 3 metros de altura, y debe llevar alambre de púas en el tope. Debe tener una puerta con sistema de seguridad y ser de dimensiones suficientes para permitir sacar la cabina sin necesidad de levantarla por encima de la cerca. Deben instalarse también lámparas de seguridad, que enciendan automáticamente al atardecer y se apaguen al amanecer, si es necesario.

Los costos totales de adecuación del sitio e instalación de una estación, incluyendo acceso, electricidad y seguridad, pueden estar entre US\$ 3.200 y US\$ 6.400⁷¹. El límite bajo de este rango representa el costo para un sitio en un área urbana de acceso disponible, mientras que límite alto corresponde a un sitio rural, que requiere de adecuación de acceso y del sitio. No se incluyen los costos de arriendo o compra de terrenos, por ser estos casos los menos llamativos al momento de la selección del sitio de medición.

18.1.3 Costos de operación

Los costos de vigilancia incluyen, la operación y los desplazamientos necesarios para el servicio periódico en campo a cada estación, sus equipos, además de los consumibles, repuestos y energía que estos demandan. El servicio en campo consiste en las operaciones de rutina de mantenimiento preventivo que pueden ser realizadas por un técnico 1. Las tareas de mantenimiento correctivo, y preventivo que involucran un mayor conocimiento técnico se deben considerar en el rublo de mantenimiento. Los costos de las calibraciones de rutina y chequeos del desempeño de los equipos se considerarán en el rublo de control y aseguramiento de calidad.

Los costos de vigilancia dependen de las técnicas de muestreo y del sistema de medición implantado y de las distancias que se deben recorrer para visitar las estaciones. Los diferentes sistemas de medición requieren diferentes servicios, diferentes medios de muestreo, y consumibles. Por ejemplo los sistemas automáticos de medición de ozono, dióxido de azufre, y dióxido de nitrógeno, no requieren medios de muestreo, pero necesitan el cambio periódico de los filtros de PST para funcionar adecuadamente.

Si la red emplea equipos semiautomáticos, se deberán costear los papeles de filtros para el PST o MP10 y los reactivos para los métodos calorimétricos que detectan SO₂ y NO_x. Los costos del trabajo se estiman con base en la frecuencia y las actividades requeridas para cada sistema de medición.

Los costos de los desplazamientos deben calcularse anualizados, estimando el valor por kilómetro de viaje (incluyendo el costo de alquiler o compra de los vehículos) y multiplicándolo por la distancia entre la estación y el centro de operaciones. La frecuencia de las visitas depende del sistema de medición, por ejemplo para un sistema con analizadores

⁷¹ Dólares de 2005. US- EPA, Guidance for Estimating Ambient Air Monitoring Costs for Criteria Pollutants and Selected Air Toxic Pollutants" EPA-454/R-93-042, October 1993.



automáticos en una ciudad de más de 500.000 habitantes, con catorce estaciones, pueden hacerse dos visitas por día, es decir una por semana a cada estación. Dependiendo de la rigurosidad del programa de control y aseguramiento de calidad puede requerirse una frecuencia más alta de visitas, luego puede necesitarse mas personal. Por lo general al inicio de un programa de vigilancia se requiere mayor numero de visitas, mientras que para un programa ya en marcha, se requieren menos visitas y menos desplazamientos, al optimizar el programa de aseguramiento de calidad y visitar en un solo viaje las estaciones cercanas.

18.1.4 Costos del Análisis

Los costos de análisis aplican cuando se hacen análisis de laboratorio de las muestras recolectadas en campo, es decir para redes que usen muestreadores, pasivos o activos, semiautomáticos. El costo de análisis de una muestra depende específicamente del compuesto a analizar y de cómo se recolectó. Los costos anuales dependerán entonces del número y del tipo de muestras que se deba analizar. Los análisis pueden ser subcontratados a un laboratorio externo, o pueden ser realizados internamente. Para este último caso deben hacerse provisiones para el costo, de capital y de operación, del laboratorio de análisis y amortizarlo en el tiempo de vida del SVCA. Se debe calcular entonces un valor de análisis por muestra por tipo de contaminante, totalizando todos los rubros y dividiéndolos por el número de muestras a analizar en el tiempo de vida útil de la red.

Los analizadores automáticos no requieren análisis en laboratorio pero es recomendable para una red automática incluir en este rublo, el costo, de capital y de operación, de un laboratorio de referencia, donde reposan los equipos utilizados para refrendar las mediciones y el desempeño de los demás equipos del SVCA.

18.1.5 Costos de mantenimiento de los equipos

Los costos de mantenimiento de los equipos están representados por el valor de las operaciones rutinarias de mantenimiento preventivo y correctivo del equipo de medición. Las actividades específicas de mantenimiento dependen del sistema de medición implantado. El rublo incluye mano de obra, desplazamiento, equipos, repuestos y consumibles. El mantenimiento debe ser realizado por un técnico 2. Después de ser reparado un analizador o muestreador debe ser recalibrado, estos resultados deben ser incluidos en el rublo de mantenimiento.

18.1.6 Costos del procesamiento de datos y reporte de información

En este rublo deben incluirse los recursos necesarios para la adquisición, el procesamiento, validación y reporte de datos. Los datos de calidad del aire pueden dividirse en dos categorías, continuos e intermitentes. Los datos continuos son obtenidos de los analizadores automáticos y de los sensores meteorológicos, por lo general en forma de promedios horarios. Los intermitentes son el resultado del cálculo de concentración a partir de un flujo o un volumen acumulado de aire medido en el sitio de vigilancia y de la masa del material recolectado medida en el laboratorio. Las muestras son recolectadas, por lo general, en periodos de 24 horas de manera consecutiva o no. El costo del manejo de datos depende del volumen de datos, de su categoría (continua o intermitente), del nivel de sistematización empleado, y de las características operacionales del sistema de medición, factores que en últimas están determinados totalmente por los objetivos de vigilancia y de calidad de los datos.

El manejo de datos puede ser manual o sistematizado. En la practica, la mayor parte sistemas de manejo de datos están basados en el uso de computadores pero, no son completamente sistematizados, por ejemplo pueden requerir entrada o edición manual de datos. Lo más recomendable desde el punto de vista de manejo de datos es tener un sistema automático que permita la descarga remota desde los equipos de adquisición de datos en las estaciones de



medición a la base de datos en el centro de operaciones. En el caso de la medición intermitente, los datos remitidos por el laboratorio deben estar en un formato digital, especialmente diseñado para permitir que la base de datos del centro de operaciones los recupere automáticamente desde un medio extraíble, o través de un acceso remoto vía telefónica. En ambos casos se debe disponer de herramientas estadísticas, graficas y de chequeo de errores, que permitan validar los datos producidos y generar los reportes de resultados.

Los costos de capital del hardware destinado al procesamiento y validación de los datos, y generación de reportes, son generalmente marginales dado que, dependiendo de la cantidad de datos a manipular, estos computadores pueden compartirse con otras tareas, luego la mayoría de las veces pueden omitirse si se cuenta con alguna disponibilidad de equipos en la entidad.

Si son necesarios equipos de adquisición de datos en las estaciones, como en el caso de redes automáticas, deben incluirse específicamente en las estimaciones de costos. Es recomendable elegir equipos compatibles tanto con el hardware de análisis como con el de transmisión, procesamiento y validación de la información, además de ser escalables y actualizables. Los equipos de adquisición de datos que por lo general hacen parte del paquete tecnológico que venden los distribuidores de analizadores, pueden presentar sesgos en este aspecto, por lo cual debe exigírsele explícitamente al vendedor proporcionar equipos compatibles con las tecnologías más aceptada en el mercado.

Las actividades de manejo de datos pueden ser realizadas con un computador personal con una capacidad en disco duro y memoria RAM adecuada, un quemador de CD-ROM y un modem, cuyo costo puede estar entre 3 y 5 millones de pesos⁷² si se quieren adquirir, y entre 250.000 y 300.000 pesos⁷³ mensuales si se piensa en alquilarlos.

Los costos del software de comunicación, de base de datos y de análisis estadístico / grafico de los datos pueden sumar al rededor de 1.000 a 2.000 dólares⁷⁴.

18.1.7 Costos de adquisición de datos

La adquisición de datos puede ser manual o automática. Los datos continuos pueden ser recopilados en cada estación en un sistema de adquisición de datos (data logger), descargados periódicamente en disquetes (o otros medios desmontables) y llevados al centro de operaciones para su análisis, o pueden ser descargados vía línea telefónica a través de un modem. Los datos continuos también pueden ser impresos en cartas continuas para ser interpretados después manualmente o ser mantenidos como copia de respaldo de la información digital.

Los datos intermitentes pueden ser remitidos por el laboratorio en medio magnético ó forma impresa, o en ambas.

Los costos de un sistema automático de comunicaciones y adquisición de datos serán menores a largo plazo, dado que inicialmente debe tomarse en cuenta el costo del desarrollo (o compra y adaptación) del sistema. Además este sistema proveerá un desempeño superior desde el punto de vista de control de calidad, que el desempeño de un sistema en el cual se requiere la transcripción manual de datos.

⁷² Pesos de 2002.

⁷³ Ibid.

⁷⁴ Dólares de 1993. US- EPA, Guidance for Estimating Ambient Air Monitoring Costs for Criteria Pollutants and Selected Air Toxic Pollutants" EPA-454/R-93-042, October 1993.

18.1.8 Procesamiento de datos

El procesamiento de datos es el paso intermedio entre la adquisición y la base de datos. El costo de procesamiento incluye el esfuerzo necesario para dar un formato adecuado a los datos y cargarlos en la base de datos del centro de operaciones del programa de vigilancia. Esto puede involucrar conversiones de formatos de datos, aplicación de filtros iniciales de datos errados o inexistentes, y generación de resúmenes para las actividades de validación posteriores. En un sistema totalmente automatizado este paso es transparente para el usuario, y no requiere mayor esfuerzo ni de operación, ni de mantenimiento; Por lo tanto implicaría costos mínimos, o despreciables.

Un estimativo razonable para los costos de procesamiento de datos es de 6 a 12 horas por analizador por año para datos continuos, y entre 2 y 4 horas por muestreador por año para datos intermitentes de labor un profesional 1 o 2, contando con las herramientas de software y hardware adecuadas para esta tarea.

18.2 Validación de datos

Pueden definirse dos niveles de validación de datos, el de validación operativa (nivel 1) y el nivel de validación estadística (nivel 2). El Nivel 1 lo constituye la revisión de todos los datos de campo disponibles y la aplicación de los filtros apropiados. Estos filtros deben retirar los datos marcados con banderas que indican eventos como, fallas de potencia, instrumentos fuera de línea, instrumento bajo calibración, chequeo de cero y span, actividades de mantenimiento, instrumento fuera de calibración, error de fecha /hora, falla del instrumento, falla del data logger, dato perdido, fuente local de contaminación inusual⁷⁵. Después de ser aplicado el nivel 1 de validación, los datos pasan al nivel 2 usando métodos gráficos y estadísticos. Estos métodos pueden incluir control del límite de excedencias, tasa de cambio excesiva, picos, estabilidad anormal (persistencia en un valor), chequeos interparámetros (i.e. NO₂ - O₃, radiación solar - O₃), datos fuera del intervalo, y datos por debajo del límite de detección.

Un estimativo razonable de las horas hombre requeridas para la validación de datos son 12 horas por analizador por año para datos continuos y 6 horas por muestreador por año para datos intermitentes, de un profesional 1 o 2 para el nivel 1 de validación y de profesionales 2 o 3 para el nivel 2 de validación.

18.2.1 Costos del reporte de datos

El costo del reporte de datos representa el valor de la generación de reportes y la transmisión de los mismos a los sistemas de integración de información existentes. Esto incluye la preparación de todos los formatos y resúmenes necesarios. Estos deben ser procedimientos automatizados. Un estimativo razonable para los costos de generación de reportes es 2 a 4 horas por analizador o muestreador por año de un profesional 1 o 2, para datos continuos o intermitentes.

18.2.2 Costos combinados de manejo de datos.

El tiempo total requerido para el manejo de datos esta entre 30 y 50 horas por analizador por año para datos continuos y entre 20 y 30 horas por muestreador por año para medición intermitente. Aproximadamente el 50 % del trabajo lo deberá realizar el profesional 1, el profesional 2 hará el 25% y el profesional 3 el 25% restante. Estas proporciones pueden variar

⁷⁵ La mayoría de éstas banderas pueden ser aplicadas automáticamente por los sistemas de adquisición de datos adecuadamente programados, el técnico 1 que visita con mayor regularidad las estaciones debe estar en capacidad de proveer la información de campo necesaria para marcar las banderas que no puedan automatizarse.



de acuerdo con la calidad del personal y las características del sistema de manejo de datos. Cabe anotar que no faltan por incluir los costos de hardware y software, y los de desarrollo y mantenimiento del sistema.

18.2.3 Costos del control y aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de calidad (AC) es un programa diseñado para alcanzar los objetivos de calidad de datos y certificar que los datos recopilados por el sistema de medición tienen una calidad conocida. El control de calidad (CC) es un conjunto de pruebas y procedimientos rutinarios diseñados para implementar un programa de aseguramiento de calidad. Un programa de AC implica el planeamiento de actividades, la implementación de procedimientos, y la realización de pruebas para realizar un apropiado CC de datos y documentos. Este programa es un requerimiento en toda actividad de medición de calidad del aire.

Los costos de AC incluyen la planeación y la coordinación, las calibraciones y certificaciones, auditorías, entrenamiento, revisión de datos y elaboración de reportes. El plan de AC debe ser preparado para cada RVCA siguiendo los lineamientos publicados por el IDEAM sobre la materia. Los equipos de medición deben ser calibrados regularmente, con estándares certificados y rastreables. Se deben llevar a cabo pruebas periódicas del desempeño de los equipos y del sistema para documentar apropiadamente las operaciones y los resultados. Los datos obtenidos por la medición, durante calibraciones y pruebas deben ser evaluados contra los objetivos de calidad de datos. Se debe implementar un programa de entrenamiento del personal.

El programa de AC requerirá gastos en mano de obra (planeación y coordinación), bienes de capital (equipos de calibración), consumibles (estándares de calibración), y servicios (auditorías externas). En los costos de capital se incurrirá solo una vez (Compra de equipos, planeación), y otros son costos anuales (calibraciones de rutina, pruebas). Aunque la validación de datos es propiamente una actividad de AC, para propósitos de estimación de costos es mejor incluirla dentro del rubro de procesamiento de datos y reporte de información. Los costos de AC dependen específicamente del sistema de medición pero por lo general deben estar en el rango del 20% al 40% de los costos anuales de operación, dependiendo de la complejidad del programa y de los objetivos de calidad de los datos.

18.2.4 Costos de administración y gestión

La administración y gestión del un programa de vigilancia incluye la planeación general del alcance del programa, la coordinación de la implementación del programa, supervisión de las actividades de rutina, y la revisión periódica de la práctica y los procedimientos. Los costos totales de administración se deben dividir en el número de analizadores / muestreadores, para presentar un costo específico de administración / por equipo de medición.

En general se deben estimar costos para dos grupos de actividades administrativas, planeación y coordinación, y supervisión y revisión. La planeación hace parte de las tareas de diseño de la red y la coordinación es el conjunto de acciones necesarias para soportar e impulsar el programa de vigilancia. Una vez el programa está en marcha, las actividades de supervisión se centran en la revisión periódica de datos y los reportes de AC, y en el cumplimiento de los objetivos de calidad de los datos y de los cronogramas y presupuestos.

El tiempo requerido para administrar un programa de vigilancia de calidad del aire depende de la complejidad del programa y de su extensión. Ésta tarea debe ser llevada a cabo por un profesional 3 o 4. Se estima que son necesarias 16 horas por monitor⁷⁶ por año para planeación y coordinación, y 16 horas más por monitor por año, para supervisión y revisión.

⁷⁶ Entiéndase como monitor todos los equipos de medición de calidad del aire, ya sean analizadores automáticos, o muestreadores automáticos o manuales.



18.3 TALENTO HUMANO NECESARIO PARA UNA RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE.

El personal involucrado en las diferentes actividades que se llevan a cabo en un SVCA, es en general multidisciplinario. En las diferentes etapas que implica el diseño de una red, se involucran ingenieros de diversas ramas, economistas, meteorólogos, químicos, arquitectos, operarios electromecánicos, entre otros.

Se puede clasificar de la siguiente manera:

Técnico 1: Técnico con entrenamiento en operaciones de rutina en los sitios de vigilancia, con capacidad para llevar registros exactos, y hacer observaciones correctas sobre eventos que puedan tener impacto en la calidad de los datos, con habilidades matemáticas, en escritura, y en comunicación. Solo requiere tener educación secundaria, aunque debe preferirse un título técnico.

Técnico 2: debe poseer además de las habilidades del técnico 1, debe tener el entrenamiento, la educación, y la experiencia necesaria para instalar, calibrar y hacer mantenimiento, a la mayoría de equipos de medición. Debe entender matemáticas estadísticas simples aplicadas a control de calidad, regresiones lineales, y conversiones de unidades. Debe además entender los principios de aseguramiento de calidad. En la mayoría de los casos, debe tener entre 2 y 6 años de experiencia o un título técnico y de 1 a 3 años de experiencia en actividades afines.

Profesional 1: debe poder enfrentar responsabilidades rutinarias como los procedimientos de control de calidad, y validación de datos de operación. Un profesional 1 puede servir también como técnico de laboratorio. Se prefiere un título profesional en un campo científico relacionado y hasta 3 años de experiencia.

Profesional 2: será responsable por tareas críticas que requerirán experiencia y criterio. Estas incluirán su participación en el diseño de la red y el planeamiento del aseguramiento de calidad, supervisión de las operaciones en las estaciones, y validación estadística de datos de medición, y preparación de reportes. Un técnico de laboratorio experimentado puede estar a este nivel. Un título profesional en un campo científico relacionado, y experiencia entre 3 y 8 años o con una maestría en el campo ambiental y con experiencia entre 1 y 3 años.

Profesional 3: es un profesional técnico experimentado que tiene la responsabilidad de administrar y dirigir programas de vigilancia. Participará activamente en la labor técnica de planeación, desarrollo y administración cotidiana del SVCA, compartiendo muchas de estas tareas con el profesional 2. El profesional 3 debe tener un título profesional y un mínimo de 8 a 14 años de experiencia, o una maestría en el área ambiental y 3 a 8 años de experiencia.

Profesional 4: es un profesional técnico experimentado y / o un profesional administrativo, que será responsable por administrar la totalidad del programa de vigilancia, y establecer las políticas para cumplir las regulaciones relevantes. Esta persona deberá también revisar el trabajo de los demás. Coordinará las actividades con las demás instituciones involucradas en el programa de vigilancia. El profesional 4 debe tener una maestría en un campo ambiental y más de 8 años de experiencia en el campo o un doctorado y más de 10 años de experiencia.

19. INDICADOR PARA LA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA.

19.1 ÍNDICE NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE

El Índice de Calidad del Aire (ICA) permitirá comparar los niveles de contaminación de calidad del aire, de las autoridades ambientales o entidades, que cuenten con redes de monitoreo de la calidad del aire.

El ICA corresponde a una escala numérica a la cual se le asigna un color, el cual a su vez tiene una relación con los efectos a la salud.

19.1.1 Contaminantes del Índice Nacional de Calidad del Aire

Teniendo en cuenta los contaminantes que son monitoreados en el país, las características de los combustibles que se distribuyen y los equipos que actualmente se encuentran en las redes de calidad del aire, los contaminantes a tener en cuenta son los denominados criterio (PST, MP10, SO₂, NO₂, O₃ y CO).

19.1.2 Rangos del Índice Nacional de Calidad del Aire

El ICA corresponde a un valor adimensional, que oscila entre 0 y 500. En la Tabla se presentan los rangos cualitativos, los efectos a la salud y el valor del ICA y en la Tabla 19.2. Efectos a la salud de acuerdo al rango y al valor del Índice de Calidad del Aire

se presentan las acciones preventivas que se deben tener en cuenta, de acuerdo al valor del ICA.

19.1.3 Puntos de Corte del Índice Nacional de Calidad del Aire

Teniendo en cuenta que el ICA tiene una correlación directa con los efectos en la salud, los puntos de corte del ICA son los límites correspondientes a efectos entre la salud y la calidad del aire. En este caso, se utiliza la información reportada por la US-EPA que presenta dichas relaciones.

ICA	COLOR	DESCRIPCIÓN	pst 24H µg/m ³	MP10 24H µg/m ³	so2 24H ppm	no2 1h ppm	o3 1 h ppm	co 8 h ppm
0-100	Verde	Bueno	0-260,4	0-154	0,000-0,144			0,0-9,4
101-150	Amarillo	Desfavorable para grupos sensibles	260,5-315,4	155-254	0,145-0,224	¡Error! Marcador definido.	no 0,125-0,164	9,5-12,4
151-200	Naranja	Desfavorable	315,5-375,4	255-354	0,225-0,304	¡Error! Marcador definido.	no 0,165-0,204	12,5-15,4
201-300	Rojo	Muy desfavorable	375,6-625,4	355-424	0,305-0,604	0,65-1,24	0,205-0,404	15,5-30,4
301-500	Púrpura	Peligroso	625,5-875,4	425-604	0,605-1,004	1,25-2,04	0,405-0,604	30,5-50,4

Tabla 19.1. Puntos de corte del ICA

En la Tabla 19.1 se presentan los puntos de corte del ICA, de acuerdo con los efectos sobre la salud reportados por estudios de la US-EPA.

Calculo del Índice Nacional de Calidad del Aire para Colombia

El ICA será calculado a partir de la siguiente ecuación, que corresponde a la metodología utilizada por la US-EPA para el cálculo del AQI y será reportado el mayor valor que se obtenga de las diferentes ecuaciones individuales.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

- I_p = Índice para el contaminante p
- C_p = Concentración medida para el contaminante p
- BP_{Hi} = Punto de corte mayor o igual a C_p
- BP_{Lo} = Punto de corte menor o igual a C_p
- I_{Hi} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Hi}
- I_{Lo} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Lo}



Índice de calidad del aire	Descripción de la calidad del aire	Color	Ozono (ppm)	MP10 (µg/m³)	Monóxido de carbono (ppm)	Dióxido de azufre (ppm)	Dióxido de nitrógeno (ppm)
			1 hora	24 horas	8 horas	24 horas	1 hora
0-100	Bueno	Verde	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
101-150	Desfavorable para grupos sensibles	Amarillo	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas y molestias respiratorias en niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias, como asma	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios y agravación de enfermedades pulmonares como asma	Incremento de la probabilidad de reducir la tolerancia al ejercicio debido al aumento de los síntomas cardiovasculares, tal como, dolores de pecho en personas con enfermedades cardiovasculares	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y dificultad al respirar, en personas con asma.	Ninguno
151-200	Desfavorable	Naranja	Mayor probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios y dificultad para respirar en niños activos, adultos y personas con enfermedad respiratoria, como asma; posibles efectos respiratorios de la población en general	Incremento de los síntomas respiratorios y recrudescimiento de las enfermedades pulmonares tales como asma; posibles efectos respiratorios en la población en general	Reducir la tolerancia al ejercicio debido al incremento de los síntomas cardiovasculares como dolor de pecho, en personas con enfermedad cardiovascular	Incremento de síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y jadeo en personas con asma, posible recrudescimiento de enfermedades cardíacas y pulmonares	Ninguno
201-300	Muy desfavorable	Rojo	Síntomas cada vez más severos y respiración deteriorada probablemente en niños, adultos y personas activas con enfermedad respiratoria, como asma; incremento en la probabilidad de efectos respiratorios en la población en general	Aumento significativo en síntomas respiratorios y aumento de la gravedad de enfermedades pulmonares como asma, incremento de la probabilidad de ocurrencia de efectos respiratorios para la población en general	Recrudescimiento significativo de los síntomas cardiovasculares, como dolores en el pecho en personas con enfermedades cardiovasculares	Aumento significativos en síntomas respiratorios tales como jadeo y respiración corta en personas con asma, recrudescimiento de enfermedades cardíacas y pulmonares	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios dificultad para respirar en niños y personas con enfermedades respiratorias como asma
301-500	Peligroso	Púrpura	Efectos respiratorios severos, daños respiratorios en niños	Riesgo serio de síntomas respiratorios y recrudescimiento de	Agravación seria de los síntomas cardiovasculares, tal como dolor de pecho en	Síntomas respiratorios severos, como jadeo y disminución de la	Mayor incremento de la probabilidad de síntomas respiratorios y dificultades





Índice de calidad del aire	Descripción de la calidad del aire	Color	Ozono (ppm)	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Monóxido de carbono (ppm)	Dióxido de azufre (ppm)	Dióxido de nitrógeno (ppm)
			1 hora	24 horas	8 horas	24 horas	1 hora
			activos, adultos y personas con enfermedad respiratoria como asma; incremento de los efectos respiratorios severos probables en la población en general	enfermedades pulmonares como asma, probables efectos respiratorios en la población en general	personas con enfermedades cardiovasculares, deterioro de las actividades enérgicas en la población en general	respiración en personas con asma, incremento de la gravedad de enfermedades cardíacas y pulmonares, posibles efectos respiratorios en la población general	respiratorias en niños y personas con enfermedades respiratorias como asma.

Fuente: US-EPA, 2005.

Tabla 19.2. Efectos a la salud de acuerdo al rango y al valor del Índice de Calidad del Aire





Índice de calidad del aire	Descripción de la calidad del aire	Color	Ozono (ppm)	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Monóxido de carbono (ppm)	Dióxido de azufre (ppm)	Dióxido de nitrógeno (ppm)
			1 hora	24 horas	8 horas	24 horas	1 hora
0-100	Bueno	Verde		Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
101-150	Desfavorable para grupos sensibles	Amarillo	Niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias como asma, deben reducir la actividad física al aire libre	Personas con enfermedades respiratorias como asma deben reducir la actividad física al aire libre	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina deben reducir la actividad física y las fuentes de CO como el tráfico pesado	Personas con asma deben considerar reducir la actividad al aire libre	Ninguno
151-200	Desfavorable	Naranja	Niños y adultos activos, y personas con enfermedades respiratorias, deben reducir la actividad física prolongada al aire libre, especialmente los niños.	Personas con enfermedades respiratorias como asma deben reducir la actividad física al aire libre	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina, deben reducir moderadamente el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado	Los niños, los asmáticos y las personas con enfermedades cardíacas y pulmonares deben reducir el esfuerzo al aire libre	Ninguno
201-300	Muy desfavorable	Rojo	Niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias como asma, deben reducir la actividad física al aire libre; especialmente los niños	Personas con enfermedades respiratorias como asma deben evitar cualquier actividad al aire libre; todos los demás, especialmente los ancianos y niños, deben reducir el esfuerzo al aire libre	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina, deben reducir el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado	Niños, asmáticos y personas con enfermedades cardíacas y pulmonares deben evitar el esfuerzo al aire libre; todos los demás deben reducir el esfuerzo al aire libre	Niños y personas con enfermedades respiratorias como asma deben reducir el esfuerzo al aire libre
301-500	Peligroso	Púrpura	Todos deben evitar el esfuerzo al aire libre	Todos deben evitar cualquier esfuerzo al aire libre, las personas con enfermedades respiratorias como asma no deben estar al aire libre	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina, deben reducir el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado; todos los demás deben limitar el esfuerzo	Niños, asmáticos y personas con enfermedades cardíacas o pulmonares no deben estar al aire libre; todos los demás deben evitar el esfuerzo al aire libre	Niños y personas con enfermedades respiratorias como asma, deben reducir el esfuerzo moderado o pesado al aire libre

Tabla 19.3. Acciones preventivas de acuerdo al rango y al valor del Índice de Calidad del Aire .Fuente: US-EPA, 2005



ICA	COLOR	DESCRIPCIÓN	pst 24H µg/m ³	MP10 24H µg/m ³	so2 24H ppm	no2 1h ppm ⁷⁸	o3 1 h ppm ⁷⁹	co 8 h ppm
0-100	Verde	Bueno	0-260,4	0-154	0,000-0,144	¡Error!		0,0-9,4
101-150	Amarillo	Desfavorable para grupos sensibles	260,5-315,4	155-254	0,145-0,224	Marcador definido.	no 0,125-0,164	9,5-12,4
151-200	Naranja	Desfavorable	315,5-375,4	255-354	0,225-0,304	¡Error!	no 0,165-0,204	12,5- 15,4
201-300	Rojo	Muy desfavorable	375,6-625,4	355-424	0,305-0,604	Marcador definido.	0,205-0,404	15,5- 30,4
301-500	Púrpura	Peligroso	625,5-875,4	425-604	0,605-1,004		0,405-0,604	30,5- 50,4

Tabla 19.4. Concentraciones para cada punto de corte por contaminante
Fuente: US-EPA, 2005.

⁷⁷ En el caso del ozono, el AQI se calcula a partir de la concentración de O₃ medida en 8 horas, sin embargo, en algunas áreas se considera que el AQI calculado a partir de concentraciones de O₃ medidas en 1 hora es más preventivo.

⁷⁸ En el caso del NO₂ la EPA solamente proporciona valores del AQI por encima de 200.

⁷⁹ En el caso del O₃ la EPA solamente proporciona valores del AQI por encima de 100 para concentraciones de 1 hora.

20. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DEL AIRE

Las diferentes Redes de Vigilancia de Calidad del Aire (RVCA) que existen en el país son el resultado de esfuerzos independientes de diferentes autoridades ambientales, persiguen objetivos de vigilancia diferentes y la mayoría no cuenta con programas de aseguramiento de calidad (AC) que permitan garantizar que los datos obtenidos por dichas redes sean comparables y compatibles. Por tanto, actualmente no es posible realizar comparaciones y evaluaciones significativas entre los resultados obtenidos por las diferentes RVCA, que aporten instrumentos de decisión a escala alguna.

La justificación de los recursos invertidos en las RVCA del país, requiere que se puedan armonizar los datos obtenidos y que se realicen las evaluaciones que orienten adecuadamente las políticas y medidas, a escala local, regional y nacional. Para lograrlo es necesario que cada una de las RVCA alcance y reporte una calidad conocida y aceptable de los datos que genera.

Existen diversos enfoques para armonizar las mediciones de las RVCA. Un método que puede describirse como orientado al ingreso de datos, se basa en la especificación de las técnicas operativas y el instrumental requerido con un gran nivel de detalle. Los manuales operativos brindan instrucciones precisas en todos los aspectos del uso de instrumentos, de las prácticas de vigilancia, de las técnicas de apoyo y del manejo de datos. Generalmente, este esquema enfatiza la elaboración cuidadosa de documentos para garantizar el cumplimiento de las metodologías establecidas. Este enfoque puede funcionar adecuadamente para armonizar las mediciones de redes que operan con objetivos consistentes en líneas generales, con un nivel comparable de desarrollo técnico y de disponibilidad de recursos. Sin embargo, no resulta práctico ni apropiado para redes con diseños generales sustancialmente diferentes, que usan distintas técnicas genéricas de vigilancia o que tienen niveles variables de financiamiento y de personal calificado, como en el caso de nuestro País.

Si bien el IDEAM, que es la autoridad responsable de dar lineamientos técnicos para la elaboración de programas de aseguramiento y control de calidad, y de coordinar la centralización de los datos de vigilancia, desempeña un papel importante en asegurar la consistencia y la calidad general del ingreso de datos para dichas redes, debe enfatizarse que el punto crucial del aseguramiento de la calidad está en el nivel de los operadores locales (entes privados, CARS u otras autoridades ambientales) dado que las metodologías de AC solo se pueden aplicar exitosamente con una participación directa y periódica aunadas al conocimiento detallado de las condiciones y problemas locales.

A través de éste documento el IDEAM cumple parte de su papel, al emitir los lineamientos técnicos que deben guiar la implementación de programas de AC en las diferentes RVCA del país. Dichos lineamientos se basan en la normatividad desarrollada por entidades internacionales como la Red Europea de Control del Aire (EUROAIRNET), el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) Organización mundial de la Salud (WHO), la Organización Internacional de Estándares (ISO), la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US - EPA).

20.1 OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD

Un programa de aseguramiento y control de calidad deberá garantizar que los datos obtenidos del sistema de medición sean representativos de las concentraciones ambientales existentes en cualquiera de las áreas bajo investigación. Esto implica que:

- La variación en los resultados medidos por diferentes instrumentos se mantenga dentro de un intervalo permitido.
- Se minimicen las variaciones interlaboratorios.
- La variable ó las mismas variables sean medidas con la misma exactitud y precisión a través de toda la red.
- Las mediciones deberán tener la suficiente precisión y calidad para cumplir con los objetivos de vigilancia establecidos.
- Los datos deberán ser comparables y reproducibles. Los resultados dentro de una misma red deberán ser consistentes y comparables con estándares internacionales.
- Los resultados deberán ser consistentes en el tiempo y seguir patrones rastreables por medio de estándares metrológicos sobre todo si se realizan análisis a largo plazo.
- Generalmente se requiere que el intervalo de captura de datos anual sea de por lo menos 75 - 80 % y que la pérdida de datos esté distribuida, en lo posible, a lo largo de todo el año calendario.

El éxito de un buen programa de vigilancia dependerá en gran medida de la adecuada aplicación de un programa de aseguramiento y control de la calidad.

20.2 PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD PARA EL VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE

Un programa de aseguramiento de calidad (AC) puede definirse como un conjunto de actividades organizadas en etapas e ideadas para alcanzar unos objetivos de calidad de datos y certificar que los datos recopilados por el sistema de vigilancia tienen una calidad conocida.

El Control de calidad (CC) es el sistema general de las actividades técnicas que miden los atributos y desempeños de un proceso, artículo, o servicio respecto a estándares definidos con el objeto de verificar que estos se encuentren dentro de los requisitos establecidos por el usuario. Se desarrolla para asegurar que la incertidumbre de las mediciones se mantenga dentro de criterios de aceptación establecidos por los objetivos de calidad de datos⁸⁰.

En síntesis el control de calidad se considera como el uso cotidiano de procedimientos diseñados para obtener y mantener niveles específicos de calidad en un sistema de medición. El aseguramiento de la calidad es un grupo de acciones coordinadas, como planes, especificaciones y políticas usadas para asegurar que el programa de mediciones sea cuantificable y tenga una calidad conocida.⁸¹

Un programa de aseguramiento y control de la calidad para una red de vigilancia, solo puede existir y cumplir su propósito dentro del desarrollo de un programa de vigilancia y control de la

⁸⁰ Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II: Part 1 Ambient Air Quality Monitoring Program Quality System Development

⁸¹ "Quality assurance/Quality control program for wet deposition monitoring in East Asia". March 2000. The second interim scientific Adviser group meeting of Acid Deposition monitoring network in East Asia

calidad del aire; Y a su vez ninguna actividad de vigilancia puede ser justificada si no existe un programa de aseguramiento y control de la calidad que la respalde.

En la Tabla 20.1, se resumen los aspectos principales que debe de contemplar un plan de aseguramiento de calidad. De estos objetivos de vigilancia se derivarán los objetivos de calidad de los datos que se requieran. Los objetivos de calidad de los datos, definen los requerimientos que deben de cumplir las mediciones, de manera que estas puedan ser usadas para resolver las preguntas formuladas en los objetivos de vigilancia, debiendo cumplir con características como exactitud, precisión, integridad, representatividad y compatibilidad.

Definición de los objetivos de vigilancia	de los de	Objetivos de Calidad de Datos (exactitud, precisión, integridad, representación, compatibilidad).
Aseguramiento de Calidad	de	Diseño de la Red. Selección del Sitio. Selección del equipo. Diseño del Sistema de Muestreo.
Control de Calidad		Desarrollo de Programas de Entrenamiento. Elaborar protocolos (procedimientos y estándares de operación, archivos) para la operación y mantenimiento del equipo. Elaborar protocolos de calibración y certificación del equipo. Preparar programas para las visitas de los sitios de muestreo.
Estimación de la Calidad	de la	Elaborar protocolos para el acopio, la inspección, revisión y validación de los datos. Programas para reportes y auditorías.

Tabla 20.1. Desarrollo de un programa de aseguramiento de calidad

Los objetivos de vigilancia y de calidad de los datos necesitan ser definidos claramente para optimizar el diseño de la red, seleccionar los contaminantes apropiados y sus métodos de medición y determinar el nivel requerido de control de calidad y manejo de datos.

Las principales fases de la estrategia de vigilancia, con un programa de aseguramiento de calidad, se agrupan en:

- Diseño de la red
- Selección del sitio
- Evaluación y selección del equipo
- Diseño del sistema de muestreo
- Infraestructura del sitio
- Operaciones de rutina
- Mantenimiento y calibración del equipo
- Acopio, revisión y validación de los datos.

20.3 Secuencia metodológica de implementación.

Los programas de aseguramiento de la calidad para vigilancia de calidad del aire son procesos continuos, que pueden y deben estar en constante cambio y adaptación a nuevas circunstancias, a

nuevas necesidades o a cambios en la disponibilidad de recursos.

Aunque lo más recomendable para un SVCA puede ser establecer un sistema de calidad similar a la norma ISO 9000, para garantizar la capacidad, competencia y credibilidad de toda la gestión alrededor del programa de vigilancia, y al respecto todo esta muy bien documentado, se describen los aspectos más importantes a tener en cuenta para la implantación de un programa de aseguramiento de la calidad para la vigilancia de calidad del aire y la secuencia metodológica para la implantación de estos programas.

Si bien lo más acertado es iniciar el programa de aseguramiento de calidad, desde el comienzo del esfuerzo de vigilancia, inmediatamente después de que se hayan definido los objetivos de vigilancia, también se puede seguir la metodología que describe éste capítulo para implementar el programa de aseguramiento de la calidad en un SVCA que ya esté en operación.

En la Figura 20.1 se representan las etapas de planeamiento, implementación, evaluación y generación de reportes, que componen los programas de aseguramiento de la calidad para vigilancia de la calidad del aire. Estas etapas y los elementos que las constituyen se describirán brevemente a continuación.

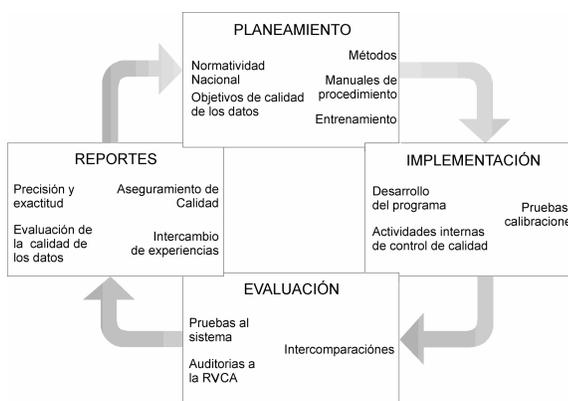


Figura 20.1. Ciclo de los programas de AC para vigilancia de calidad del aire.

20.3.1 Planeación.

Lo primero que se debe hacer para implementar un programa de AC en un SVCA es planear a donde se quiere llegar, y como se puede llegar. Las actividades de planeación incluyen:

- **Inserción del programa en la normatividad nacional.** El programa deberá iniciar por revisar la normatividad existente y los planes nacionales sobre el tema para acoger y adaptarse a sus exigencias y seguir sus orientaciones.
- **Establecimiento de los objetivos de calidad de los datos.** Una vez revisado el marco normativo el programa de aseguramiento de calidad debe definir los objetivos de calidad de datos, que son las metas cualitativas y cuantitativas que clarifican el fin del programa de vigilancia, definen el tipo apropiado de datos que deben recolectarse, determinan las condiciones más adecuadas para la recolección de los datos, y especifican los límites tolerables para respaldar un dato, que serán usados como base para determinar la calidad y cantidad de los datos aprobados.
- **Selección de los métodos de medición.** Después de tener claridad sobre los objetivos a perseguir, se deben seleccionar los métodos de medición de que permitan alcanzarlos y que estén de acuerdo a la normatividad vigente.

- Elaboración del Plan del Programa de Aseguramiento de la Calidad. El propósito principal de este plan, es sintetizar el programa, partiendo de los objetivos y métodos que ya se han definido y puntualizando las actividades de AC y CC que deberán ser desarrolladas para la implementación del plan, todo dentro de un solo documento. El plan deberá proporcionar una descripción clara de todos los aspectos del programa de AC y deberá incluir información sobre todos los componentes del programa de vigilancia.
- El plan se deberá elaborar además para facilitar la comunicación entre los usuarios de los datos, el grupo de trabajo del SVCA, la dirección del programa, y los auditores externos; y también para dar instrumentos a la parte administrativa para mantener el programa de vigilancia dentro del cronograma y dentro del presupuesto aprobado.
- Elaboración de los manuales de procedimientos. Se deben elaborar manuales de procedimiento para todas las actividades relativas al programa de vigilancia, con base en la documentación científica sobre los métodos de referencia, y los métodos equivalentes, con base en este documento y en los trabajos que han desarrollado entidades internacionales sobre la materia.
- Elaboración de un programa de entrenamiento. Al finalizar todas las anteriores actividades se debe organizar un programa de entrenamiento para capacitar a todas las personas que conforman el grupo de trabajo del SVCA, en especial, sobre que deben hacer, porque deben hacerlo, como deben hacerlo, cuando deben hacerlo y que deben obtener como resultado de cada actividad.

20.3.2 Implementación

Las actividades de implementación incluyen:

- Ejecución del plan de Aseguramiento de la Calidad (AC). Después de contar con el plan de aseguramiento de la calidad, este debe ponerse en práctica.
- Actividades internas de Control de Calidad (CC). Cuando se habla del control de calidad para un SVCA, este puede definirse, como el conjunto de actividades técnicas que miden los atributos y el desempeño de un proceso, un equipo, o un servicio y los comparan con los criterios de aceptación establecidos, para que el programa de vigilancia pueda afirmar, con bases científicas, que la incertidumbre de la medición obtenida cumple con lo dispuesto en los objetivos de calidad de los datos. La normatividad de las entidades ambientales internacionales, contiene la documentación y los procedimientos para la realización de pruebas cualitativas y cuantitativas para asegurar que los datos obtenidos cumplirán los objetivos de calidad. Cada una de estas pruebas evalúa partes de la incertidumbre total de la medición efectuada. Las pruebas más importantes se presentan a continuación.
- Pruebas de precisión y exactitud. Estas pruebas pueden usarse para obtener una evaluación general de la incertidumbre de las mediciones.
- Pruebas de Cero y Span. Estas pruebas están diseñadas para mostrar si se está operando adecuadamente el sistema de medición.
- Pruebas de Calibración. Estas pruebas son realizadas en el sitio de vigilancia, haciendo que el sistema de vigilancia analice muestras de gases con una concentración conocida de los contaminantes.
- Intercomparaciones internas. Estas pruebas consisten en la confrontación de los resultados arrojados por equipos de vigilancia comparables, pueden realizarse en el sitio de medición o en un ambiente controlado como un laboratorio.

20.3.3 Evaluaciones

En un programa de vigilancia de calidad del aire, las evaluaciones se usan para medir el desempeño o la efectividad del programa y sus elementos, incluyendo la revisión de los sistemas

administrativos, de inspección, o de supervisión, e involucran auditorías, evaluación de desempeño, e intercomparaciones externas.

- Auditorías. Estas auditorías, generalmente externas buscan determinar si el SVCA está cumpliendo con sus objetivos de vigilancia ó si corresponde, como debe ser modificada para seguir cumpliendo con ellos. Lo más recomendable es que sean realizadas por parte de pares, o por autoridades ambientales de orden nacional.
- Evaluaciones de Desempeño. Este es un tipo de evaluación en el cual los datos cuantitativos generados en un sistema de vigilancia, son obtenidos de manera independiente y comparados con datos generados rutinariamente para determinar la capacidad profesional de un analista, o el desempeño de un laboratorio o un sistema de vigilancia. Pueden hacerse con la colaboración de autoridades ambientales nacionales como el IDEAM.

20.3.4 Reportes

Todos los datos de concentración requerirán evaluaciones para determinar si cumplen con los objetivos de calidad, y por tanto deberán generarse reportes de estas evaluaciones. Estos reportes deberán incluir:

- Evaluación de la calidad de los datos. Es la evaluación científica y estadística de los datos obtenidos por las actividades de aseguramiento y control para determinar si los datos de vigilancia son correctos y adecuados, en cuanto a la calidad y cantidad, para soportar los usos posteriores que se les den. Los datos del programa de aseguramiento y control de calidad pueden valorarse a varios niveles de agregación para determinar si los objetivos de calidad de datos se han cumplido. Por ejemplo los datos de aseguramiento de calidad de las pruebas de precisión, exactitud y parcialidad pueden ser agregados por cada equipo monitor ó para todos los monitores de un SVCA que empleen ese mismo método.
- Reportes de precisión y exactitud. Estos reportes deben generarse anualmente y evalúan la precisión y la exactitud de los datos contra los requerimientos establecidos.
- Reportes de Aseguramiento de calidad. Un reporte de AC debe proporcionar una evaluación de los datos de aseguramiento y control por un periodo determinado de tiempo, para establecer si los objetivos de calidad de datos se han alcanzado en ese periodo.
- Intercambio de experiencias. Las experiencias obtenidas durante la implementación del programa aseguramiento y control de la calidad deben compartirse con otras autoridades ambientales, con el sector académico y otras entidades privadas, antes que ellas inicien las respectivas vigilancias, con el objeto de obtener una retroalimentación valiosa para el mejoramiento del SVCA. Es importante que la información derivada de estos intercambios, sea debidamente documentada y se refleje en los informes anuales de aseguramiento de calidad del aire.

Después de llevar a cabo la etapa de generación de reportes, puede enfrentarse con bases nuevas, la planeación de las acciones correctivas que permitan obtener mejores resultados continuando así el ciclo del programa de aseguramiento de calidad.

20.4 Características organizativas de un programa de aseguramiento y control de la calidad

Los objetivos de vigilancia, así como las limitaciones económicas y la disponibilidad de personal capacitado, determinan en el alcance y complejidad del programa de AC y CC, y a la vez la sostenibilidad del mismo.

Los principios generales de la práctica del aseguramiento y control de la calidad son aplicables a todo tipo de metodología de vigilancia, sin embargo, los detalles del programa y del personal

requerido dependerán en gran medida de la técnica de vigilancia implementada. Si se usan muestreadores semiautomáticos, el programa de AC deberá hacer énfasis en aseguramiento de la calidad de las actividades de laboratorio, incluido el análisis de las muestras recolectadas; si se utilizan analizadores automáticos, se deberá concentrar esfuerzos en las mediciones.

En cualquier circunstancia, es sumamente importante que todo el personal sea conciente de que el programa de AC y CC, es un componente integral y vital de cualquier programa de vigilancia de la calidad del aire. Los operadores deben estar estrechamente familiarizados con los diferentes aspectos relacionados con los procedimientos de operación y manejo de datos. Por otro lado, la comunicación constante entre los supervisores de control de calidad y los operadores brinda la oportunidad de intercambiar ideas y examinar los procedimientos de operación. Esta práctica puede ser efectiva para identificar rápidamente los problemas y mejorar la comunicación entre el personal de operación y los supervisores responsables de la implementación formal de los programas de AC. Un programa adecuado de AC también debe detallar los procedimientos destinados a garantizar un flujo efectivo de información entre las autoridades centrales y los operadores, además de proporcionar una adecuada capacitación en procedimientos de CC.

20.5 OBJETIVOS DE CALIDAD DE DATOS

Los datos recolectados por un SVCA deben corresponder a las necesidades de los usuarios de la información, es decir a los objetivos de vigilancia trazados para la red, y servirán en la mayoría de los casos sólo para responder las preguntas contempladas cuando se trazaron estos objetivos.

Si el SVCA esta bien diseñada, bien operada y tiene un programa efectivo de aseguramiento de calidad, estas preguntas se podrán responder, con un grado de incertidumbre conocido.

Los objetivos de calidad de datos, trazados por usuarios finales de la información (autoridades ambientales, entes de planeación, academia, etc.) con base en los objetivos de vigilancia, determinaran como deben recolectarse los datos, cuales son los criterios para tomar decisiones y cual es cual es la incertidumbre aceptable para esas decisiones.

Esta incertidumbre es la suma de todas las fuentes de error asociadas a todo el proceso de obtención y procesamiento de los datos. Puede representarse por la siguiente ecuación:

$$U_o^2 = U_R^2 + U_p^2 + U_c^2$$

Donde:

U_o = Incertidumbre total.

U_R = Incertidumbre de la representatividad espacial y temporal.

U_p = Incertidumbre de la precisión.

U_c = Incertidumbre de la exactitud.

Incertidumbre de la representatividad espacial y temporal. La representatividad es el atributo de calidad de datos más importante de un SVCA. El término se refiere al grado en el cual los datos representan de una manera precisa y exacta, una característica de una población, la variación de un parámetro en un punto de muestreo, la condición de un proceso o una condición ambiental. No importa que tan preciso y exacto pueda ser un dato si no representa lo que debería representar. La incertidumbre de la representatividad se puede controlar así:

- Diseñando un SVCA con un tamaño adecuado, con sitios representativos consistentes con los objetivos de vigilancia.
- Determinando y documentando las restricciones que impone la meteorología, la topografía, las fuentes de emisión cercanas, en los sitios de vigilancia.
- Estableciendo periodos de muestreo adecuados para los objetivos de vigilancia

Incertidumbre de la calibración e incertidumbre de la precisión. Estas incertidumbres están asociadas a todas las etapas de obtención y procesamiento de los datos. En cada una pueden ocurrir errores, que se dispersan en la siguiente. La finalidad del programa de AC es mantener la incertidumbre en un nivel aceptable, mediante la aplicación de varias técnicas. Si se dispone de recursos suficientes, se puede evaluar la incertidumbre en cada etapa de la medición, de lo contrario puede calcularse evaluarse o estimarse la incertidumbre general de la medición.

Los tres más importantes indicadores de la calidad de los datos que permiten el cálculo de la incertidumbre general de la medición son:

- La precisión, que se define como grado de concordancia entre las mediciones individuales de una misma propiedad bajo condiciones similares expresadas generalmente en términos de la desviación estándar. Representa el componente aleatorio del error.
- La parcialidad, definida como la desviación sistemática o persistente en un proceso de medición que causa errores en una misma dirección. Puede ser determinada estimando la desviación positiva y negativa del valor real calculada como un porcentaje del mismo.
- El límite de detección, que es el valor inferior del intervalo de variación de una característica (como la concentración) que un procedimiento que utiliza un método de medición específico puede discernir.

El término exactitud ha sido empleado en este documento y en general, para representar la medida de la cercanía al “valor real” de una medición pero cuando se habla de incertidumbre, esta medida puede representarse mejor como una combinación de las componentes del error asociadas a la precisión y la parcialidad.

20.6 ESTABLECIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DE DATOS

Teniendo claro el concepto de incertidumbre y haciendo que los usuarios finales lo entiendan puede enfrentarse el proceso de establecimiento de los objetivos de calidad de datos. Este proceso debe permitir⁸²:

- Establecer un lenguaje común entre los usuarios de la información y el personal técnico del SVCA.
- Seleccionar objetivos de calidad de datos que permitan responder adecuadamente las preguntas planteadas por los objetivos de vigilancia.
- Proveer una estructura lógica dentro de la cual el proceso iterativo del programa de Aseguramiento de Calidad (planeamiento, implementación, evaluación, reporte), puede ser logrado eficientemente.
- Orientar y reforzar el desarrollo del diseño del SVCA, al definir los requerimientos espacio

⁸² US- EPA. Guidance for the Data Quality Objectives Process EPA QA/G4. 1996

temporales para la implantación de la red.⁸³

El desarrollo de los objetivos de calidad de datos puede ser complejo y su resultado es definitivamente único, porque obedece a objetivos de vigilancia particulares para cada RVCA.

Lo más recomendable es tomar el objetivo de vigilancia más exigente, en términos de calidad de datos, y establecer los objetivos de calidad de datos necesarios para cumplirlo; Por lo general los demás objetivos de vigilancia, que son menos exigentes, podrán cumplirse sin objetivos de calidad de datos adicionales. Si ésta labor es exitosa se logrará minimizar la incertidumbre espacial y temporal asociada a los datos, que responde en esencia al diseño del SVCA. Resta minimizar la incertidumbre de las mediciones, que corresponde a la operación del SVCA. Ésta tarea se logra evaluando y controlando los datos, en las fases de muestreo, procesamiento y análisis, contra los criterios de aceptación impuestos por los objetivos de calidad de datos, para cada una, en términos de los siguientes atributos:

- Precisión.
- Parcialidad.
- Representatividad temporal y espacial.
- Limite de detección.
- Integridad temporal. Se define como la relación entre la cantidad de datos validos obtenidos por un sistema de muestreo comparado y la cantidad ideal que debería obtenerse en condiciones normales de operación.
- Comparabilidad. Es decir el grado de confiabilidad con que un conjunto de datos puede ser comparado con otro.

20.7 PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL

El entrenamiento continuo y planeado del personal que hace parte del SVCA, es una parte fundamental del programa de AC. El entrenamiento tiene como objeto incrementar la efectividad del personal, y de su organización. El programa de AC requiere que se establezca una programación de entrenamiento que especifique, el perfil profesional, el entrenamiento y la frecuencia del mismo para cada cargo. Todo el personal involucrado en la operación y en el mismo programa de AC, debe tomar los cursos de entrenamiento programados, sin dejar de atender sus responsabilidades.

20.8 ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE VIGILANCIA

En éste punto de implementación del programa de AC, ya sea que se trate de un SVCA que está en proceso de construcción, o una en operación, debe haberse realizado el proceso de diseño del SVCA, es decir se debe haber determinado el número de estaciones, establecido la distribución de las mismas en la zona de estudio, seleccionado los sitios de vigilancia, la estrategia y las técnicas que van ha utilizarse, aspectos estos que se analizaron anteriormente.

20.9 ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS

Lo más recomendable es que todo el personal que labora en un SVCA cuente con procedimientos

⁸³ La US-EPA ha desarrollado software para orientar el proceso de creación de los objetivos de calidad de datos, con miras a diseñar o reformar el diseño de un SVCA, este software denominado “Data Quality Objectives (DQO) Decision Error Feasibility Trials (DEFT)” puede descargarse de www.epa.gov/ttn/amtic/.

detallados para la realización de sus tareas. Sin embargo para poner en marcha un programa de AC, se deben elaborar al menos los procedimientos detallados para la operación rutinaria del SVCA, los procedimientos de mantenimiento preventivo, los procedimientos de manejo, validación, análisis de datos y generación de reportes, etc.

El programa debe además verificar que se cuente con una programación de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, y con un inventario adecuado de los elementos consumibles necesarios para la operación rutinaria del SVCA.

21. OPERACIÓN DEL SVCA

Las actividades rutinarias de aseguramiento y control de la Calidad que deben efectuarse en cada estación componente del SVCA, pueden resumirse como se muestra en la Tabla 21.1.

Actividad	Realizada por	Frecuencia mínima
Visita regular	Técnico 1	Semanal
Calibración	Técnico 2 y 1	Mensual
Verificación del desempeño	Profesional 1 y Técnico 2	Anual
Auditoría interna	Profesional 3 y 2	Anual
Auditoría externa	Profesional 3 y 2	Bianual

Tabla 21.1. Actividades rutinarias de AC para cada estación de vigilancia.

21.1 VISITAS REGULARES

A pesar de que los sistemas telemétricos proporcionan un método de recopilación de datos efectivo y eficiente para redes geográficamente muy extendidas con gran número de analizadores automáticos, se requerirán también visitas regulares de apoyo para la validación de los datos, las cuales se llevarán a cabo tan frecuentemente como la operación lo necesite y lo permitan las restricciones geográficas o de disponibilidad de personal.

Las visitas regulares buscan asegurar la operación adecuada de los instrumentos y maximizar la captura de datos y la integridad de los mismos. Se recomienda que tengan una frecuencia de al menos una por semana. Dentro de estas visitas regulares semanales deben realizarse visitas especiales una vez por mes y una vez por año donde se efectuarán las pruebas más rigurosas y los procedimientos más complejos.

Algunas de las funciones que se llevan a cabo durante las visitas a los sitios de muestreo son:

1. Preparar los instrumentos y elementos consumibles necesarios para la realización de la visita.
2. Registrar el ingreso del personal a la estación en el libro de control.
3. Inspeccionar de manera visual el sitio, y verificar el correcto funcionamiento de los equipos, revisar y limpiar los tomamuestras, revisar los sensores meteorológicos. Verificación cambios en el entorno del sitio de vigilancia que afecten los criterios de ubicación.
4. Revisar las alarmas y eventos registrados por el sistema de adquisición de datos y los analizadores o muestreadores. Anotación de los cambios inusuales.
5. Inspeccionar y limpiar los manifolds y las líneas de conducción de gases. Chequeo de fugas, y reparación de las fallas presentadas.
6. Reponer los consumibles como filtros de partículas suspendidas, para los analizadores de gases, medios de absorción de contaminantes para los sensores electroquímicos, etc., con la frecuencia recomendada por el fabricante.
7. Cambiar los lavadores, filtros de carbón activado, desecadores y otros elementos de purificación del sistema de aire cero para calibración, según la frecuencia recomendada por el fabricante.
8. Realizar los chequeos y las pruebas de diagnósticos sugeridas por los fabricantes.
9. En el caso de equipos automáticos, realizar la verificación de span y cero en cada

- instrumento⁸⁴ de acuerdo con los manuales del fabricante.
10. Realizar la calibración multipunto con la frecuencia recomendada por el fabricante o cuando los valores de span o cero se salgan del intervalo establecido por los objetivos de calidad de datos.
 11. Realizar las pruebas de calibración a los equipos meteorológicos de acuerdo con lo establecido por el fabricante.
 12. Realizar el mantenimiento preventivo de los equipos de acuerdo con el manual del fabricante, a fin de anticipar la presentación de problemas.

El desarrollo de las actividades descritas en los numerales 3 al 12, deben ser registradas en el libro de control de la estación.

El programa de AC debe establecer procedimientos separados para cada tipo de visita regular, seleccionando las tareas de acuerdo a su complejidad, su rigurosidad y a la frecuencia con que deben realizarse, es decir las tareas de las visitas regulares anuales serán las más exhaustivas y complejas, las mensuales lo serán menos y las semanales serán las más sencillas. Así mismo deben elaborarse los formatos correspondientes para la documentación de las visitas (listas de chequeo) y la recopilación de los datos de AC (Desviación de cero y span, ganancias, calibraciones etc.).

21.1.1 Verificación de span y cero

En el caso de los analizadores automáticos, la verificación de span y cero es una manera rápida de revisar su desempeño. Dicha revisión, debe realizarse al menos semanalmente. Si los analizadores disponibles tienen la capacidad de realizar el chequeo de span y cero automáticamente y guardar los resultados es posible programar éstas pruebas diariamente, cuidando que los valores de ganancia no sean modificados automáticamente. Además deben programarse para minimizar la pérdida de datos importantes (aproximadamente por un intervalo de una hora), es decir durante periodos del día tiempo poco relevantes, como la madrugada a menos que el sitio de vigilancia presente niveles importantes a esa hora.

Los procedimientos para estas verificaciones dependen de la tecnología de los analizadores y deben elaborarse a partir de las recomendaciones del fabricante.

El programa de AC debe elaborar los formatos adecuados para documentar de manera detallada los resultados de éstas pruebas y las observaciones de los técnicos que las realizan. Si el analizador se sale del intervalo de control, debe realizarse una calibración multipunto y debe identificarse, remediarse y documentarse la causa de la anomalía.

Las reparaciones necesarias deben hacerse de acuerdo con la programación de mantenimiento correctivo para minimizar la pérdida de datos.

21.1.2 Calibración de Equipos

La adecuada calibración del equipo de vigilancia, es esencial para obtener datos precisos y reproducibles de calidad del aire. La importancia de los procedimientos de calibración para los equipos de vigilancia de la calidad del aire nunca será suficientemente enfatizada. Solo a través de la calibración de los diferentes equipos de vigilancia (incluso el datalogger), así como de las pruebas desviación del span y cero, realizadas dentro de un estricto cronograma, y observando

⁸⁴ No deben realizarse ajustes de span y cero durante estas pruebas, que son únicamente de verificación dado que alteran inadecuadamente las ganancias de los equipos. Los ajustes se deben realizar solo durante las calibraciones multipunto.

rigurosamente los procedimientos, podrán conocerse y certificarse la calidad de los datos de vigilancia. El programa de AC debe recopilar cuidadosa y exhaustivamente los datos generados por estas actividades para su posterior evaluación.

El programa de AC y CC, debe verificar que el material utilizado para la calibración de los diferentes equipos, como los medidores de flujo, de presión, controladores de flujo másico, fotómetros, generadores de ozono, lentes de calibración, sistemas de permeación, cilindros de mezclas de gases, sensores de frecuencia, voltímetros y amperímetros, entre otros, estén certificados contra estándares de referencia o de transferencia, rastreables a estándares primarios nacionales o internacionales, por instituciones reconocidas, o autorizadas⁸⁵.

La frecuencia de calibración de los equipos de vigilancia de calidad del aire debe ser la siguiente:

- En intervalos regulares de seis meses como máximo.
- Antes de que un equipo recientemente instalado empiece a reportar datos.
- Antes de retirar un equipo del sitio de vigilancia.
- Después de una reparación o el cambio de algún repuesto.
- En intervalos de un mes para un equipo nuevo por un mínimo de 3 meses, para establecer su estabilidad.
- Cada vez que el equipo se salga del rango de control de span y cero.

La frecuencia de calibración de los instrumentos meteorológicos, debe ser:

- En intervalos regulares de un año como máximo.
- Antes de que un equipo recientemente instalado empiece a reportar datos.
- Después de una reparación o el cambio de algún repuesto.

Existe una gran variedad de métodos para realizar una calibración, que dependen de la tecnología y de la calidad de datos deseada, por tanto los procedimientos específicos para calibración de cada equipo serán considerablemente diferentes. En general se recomienda seguir las indicaciones del fabricante, e integrarlas a los procedimientos específicos de calibración de los diferentes equipos elaborados por el programa de AC.

Los datos de vigilancia anteriores a la calibración deben corregirse con base en la misma para que puedan aprobar las instancias de validación.

Para llevar a cabo la calibración individual de diferentes métodos de medición, según el tipo de muestreador y poder realizar comparaciones entre un equipo y otro aunque sean métodos diferentes se recomiendan los procedimientos siguientes (Tabla 21.2):

⁸⁵ Como el US - National Institute of Standards and Technology (NIST), la Agencia de protección ambiental US-EPA, el IDEAM.

Muestreadores Pasivos	Comparación contra otros métodos de muestreo y llevar a cabo calibraciones entre otros laboratorios analíticos. No se pueden realizar calibraciones de campo con gases estandarizados.
Muestreadores Activos	Calibraciones entre otros laboratorios analíticos usando soluciones estándar. Calibración dentro y entre redes con gases de referencia. Comparaciones de campo contra monitores automáticos y auditorías de procedimientos operacionales, son de gran utilidad.
Analizadores Automáticos	Calibraciones entre estándares de referencia usados por otros laboratorios. Los sitios deben ser calibrados dentro y entre redes usando sistemas o fuentes de gases de referencia. Llevar a cabo auditorías

Tabla 21.2. Procedimientos de calibración.

21.1.3 Verificación del desempeño

Esta actividad consiste en la intercomparación del desempeño de los instrumentos con los que cuenta el SVCA, ya sea entre si, o con los del laboratorio de referencia si el programa de vigilancia cuenta con uno. La meta que se persigue es asegurar que todos los instrumentos del SVCA estén operando en el mismo nivel, es decir que se obtengan mediciones comparables entre si mismas. Aunque es recomendable involucrar asesores externos durante este proceso de verificación para obtener una mayor imparcialidad, también puede realizarse solo con el personal interno del programa de AC.

Pueden realizarse un gran número de pruebas en los diferentes equipos tanto de vigilancia de calidad de aire como meteorológico. El programa de AC debe seleccionar cuáles debe implementar según los recursos con los que se cuente. Las pruebas de verificación de desempeño para los equipos de calidad del aire han sido estandarizadas en el Código de Regulaciones Federales del Gobierno de los Estados Unidos título 40 parte 58, anexos A y B⁸⁶. Los procedimientos para las pruebas a los equipos meteorológicos pueden encontrarse en la Guía de Instrumentos y métodos de Observación Meteorológicos de la OMM⁸⁷. El programa de AC debe utilizar estas fuentes para desarrollar y adaptar sus propios procedimientos para las pruebas de verificación de desempeño.

21.1.4 Auditorías internas y externas

El propósito de estas actividades es detectar parcialidades sistemáticas en los datos reportados por el SVCA, fallas en: Su programa de AC, en el sistema de administración, en el diseño del SVCA, y en general efectuar una revisión completa del programa de vigilancia. Las auditorías internas deben desarrollarse con la colaboración de otras entidades dedicadas a la vigilancia de calidad del aire (pares), que cuenten con personal idóneo y equipos de iguales o preferiblemente de mejores especificaciones que los propios. Las auditorías externas, en cambio serán realizadas por las autoridades ambientales responsables del acopio de los datos de vigilancia, es decir el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial en cabeza del IDEAM.

En este caso el programa de AC debe limitarse a realizar la programación de estas actividades de acuerdo a la frecuencia recomendada anteriormente, a verificar que se cumpla esta programación

⁸⁶ Code of Federal Regulations. Title 40 Protection of Environment. Chapter I Environmental Protection Agency. Volume 5, part 58 Ambient Air Quality Surveillance.

⁸⁷ Organización Meteorológica Mundial - OMM. Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos. OMM-No 8. Ginebra, Suiza. 1990.

y a implementar las acciones correctivas que resulten de las auditorías. Sin embargo el programa de AC puede verificar que se utilicen procedimientos adecuados, dependiendo de la complejidad y la profundidad de las auditorías implementadas. En el documento titulado “SLAMS/NAMS/PAMS Network Review Guidance”, editado por la US-EPA, se encuentran lineamientos para la realización de auditorías.

21.2 Acopio, revisión y validación de datos

Aunque se implante y se opere a satisfacción, un SVCA, pueden generarse datos incorrectos. Antes que dicha información sea enviada a la autoridad ambiental nacional, es necesario establecer también un sistema de almacenamiento, revisión y validación de datos adecuado, que permita su depuración para aceptarlos ó no.

21.2.1 Acopio

El acopio de la información consiste en la captura, colección y manejo de los datos que generalmente la lleva a cabo una persona ó entidad, diferente a la que realiza la validación, por lo que se necesitan fijar procedimientos y reportes que especifiquen QUIÉN está a cargo, de QUÉ parte del proyecto y CÓMO llevó a cabo su trabajo. Además deberá incluirse el DÓNDE, es decir la localización geográfica, el CUÁNDO, en el cual se reportarán no sólo las horas específicas, días, meses o años, sino también tópicos importantes como variaciones diurnas y estacionales, y el PORQUÉ, que consiste en establecer el propósito de la colección de los datos.

21.2.2 Revisión

El examen ó revisión de los datos es un proceso rutinario, que el personal calificado debe llevar a cabo en cada visita a la estación. Este proceso de revisión da como resultado metadatos usados posteriormente por el equipo de procesamiento como insumos para el proceso de validación de los datos de vigilancia. Los metadatos, definidos de una manera sencilla, son las anotaciones y observaciones realizadas diariamente durante la operación de la estación, junto con la información sobre procesos como la verificación de span y cero y la calibración de los equipos, aportadas por los operadores, en los formatos respectivos.

La revisión sirve tanto para rechazar datos erróneos o inválidos e informar a los operadores de campo de fallas o problemas del equipo que requieran atención, como para identificar datos extremos de concentración de contaminantes que se salgan de las normas de calidad del aire. En general las consideraciones que se tienen que tomar en cuenta para la revisión de los datos son:

- Características e historia de instrumentos.
- Factores de calibración y tendencias.
- Datos fuera de intervalo o negativos.
- Picos o aumentos repentinos.
- Características del sitio de vigilancia.
- Efectos de la meteorología.
- Época del año y hora del día.
- Niveles de otros contaminantes.
- Observaciones desde otros sitios
- Eventos especiales (marchas, incendios, días festivos, etcétera.)

Además existen algunos criterios que se utilizan para estimar la calidad de los datos eliminando a los sospechosos y tomando en cuenta las consideraciones anteriores. Estos son:

- Las lecturas que caigan fuera del intervalo de detección del instrumento deberán ser eliminadas de la base de datos final, después de haber verificado la calibración del equipo.
-
- Datos que presenten cambios muy rápidos con respecto al tiempo, deberán tomarse con precaución verificando las condiciones atmosféricas o la presencia de alguna fuente de contaminación.
- Un importante indicador de la calidad de los datos pueden ser las características específicas de una estación de vigilancia, pues sus alrededores y las fuentes locales, pueden influenciar las mediciones.

Existe una fuerte relación entre la concentración de los contaminantes y las condiciones meteorológicas como dispersión atmosférica, velocidad y dirección del viento, precipitación y radiación solar; las cuales tendrán que tomarse en cuenta cuando existan datos dudosos.

Ya revisados los datos se procederá a la validación de los mismos para crear una base de datos confiable y que pueda ser utilizada para cumplir con los objetivos de vigilancia que se fijaron.

21.2.3 Validación

La validación es el proceso de confirmar los datos de vigilancia, acopiando e inspeccionando evidencia objetiva de que los requerimientos específicos del uso final de los datos se han cumplido.

La validación de los datos debe hacerse en varios niveles, de manera manual o mediante aplicativos de software. En cualquiera de los dos casos es necesario el concurso de un profesional tipo 2 con amplia experiencia y criterio que califique, y rechace o acepte datos inusuales. Éste profesional debe poseer un excelente entendimiento de la química de los contaminantes atmosféricos, del comportamiento de los analizadores, de las condiciones meteorológicas locales, de los usos de suelo de la zona de estudio, etc. Debe considerar además factores como las desviaciones del cero y span, los resultados de las calibraciones y los ajustes realizados a los parámetros de operación de los equipos, el historial de desempeño y servicio realizado a los equipos - es decir los metadatos provenientes de la revisión reportados por los operadores -, junto con los ciclos estacionales, las condiciones climáticas inusuales, los datos reportados para otros contaminantes y variables ambientales en los intervalos de tiempo adecuados desde el punto de vista de la cinética de las reacciones de los contaminantes atmosféricos.

En el primer nivel de validación deben usarse las compilaciones diarias de los datos de vigilancia para realizar la exploración general de todos los datos. El programa de AC debe especificar el formato exacto (unidades, decimales, etc.) en que los datos deben remitirse de las estaciones para su validación y análisis, que deben coincidir con lo estipulado en la normatividad nacional vigente y por la entidad encargada de recopilar y consolidar los datos de vigilancia de todo el país, es decir el IDEAM. Si los datos remitidos no coinciden con lo estipulado por el programa de AC, deben ser organizados según sea conveniente.

La exploración general de la base de datos debe:

- Buscar datos inusualmente altos o bajos que pueden indicar errores gruesos en los sistemas de vigilancia. Para poder determinar que valor puede considerarse alto o bajo para un contaminante específico, el profesional encargado de ésta labor debe conocer cuales son las condiciones predominantes para el contaminante en la estación de vigilancia y cuales son los

límites de detección superiores e inferiores del equipo, que determinan los valores más altos o más bajos que puede reportar el equipo. Los datos considerados cuestionables deben ser marcados con una bandera para ser posteriormente verificados. Esta exploración general de los datos no es sensible a datos con valores intermedios que también pueden estar errados.

- Detectar desviaciones del cero en un analizador automático que no han sido corregidas. Estas desviaciones son evidentes cuando los valores mínimos usuales de las concentraciones de contaminantes que por ejemplo para el CO se presentan en las horas de la madrugada tienden a incrementar o a disminuir por un periodo de varios días. También puede ocurrir que las concentraciones mínimas a estas horas se encuentran constantemente por encima de los valores típicos. En éste caso, puede inferirse que el analizador puede tener un mal ajuste del cero. En ambas situaciones es necesario contrastar los hallazgos con los reportes de verificación de cero y span, y los reportes de calibración del equipo. Sí es necesario deben corregirse los datos y recomendar el ajuste del equipo.
- Detectar y rechazar todos los valores negativos de concentración de los contaminantes a menos que provengan de un grado aceptable de inexactitud del instrumento (una característica común de muchos tipos de analizadores continuos).
- Marcar los valores de los datos que muestran alteraciones súbitas y los lapsos de ascenso y caída excesivos, que son cuestionables, aunque ciertas condiciones atmosféricas o la presencia de fuentes contaminantes cercanas pueden dar lugar a fluctuaciones extremas en los niveles de contaminantes ambientales. Bower J.S.⁸⁸ trata con detalle algunos de estos criterios.
- Por último debe identificarse el número de horas con información utilizable en cada día y descartar para el siguiente nivel de validación los días que no cumplan con el mínimo de recuperación de datos útiles establecido por los objetivos de calidad de datos.

La exploración continua de los datos de vigilancia y de los metadatos producidos por los operadores constituye un enfoque más flexible y recomendable para el nivel uno de validación de datos.

Para el segundo nivel de validación se deben tomar los datos marcados con banderas y analizar su validez a la luz de la experiencia, el sentido común y la iniciativa del personal encargado de examinar los datos, que son prerequisites para el éxito del proceso. Se deben rechazar los datos no adecuados. Algunas recomendaciones generales que deben tomarse en cuenta para este nivel de validación son las siguientes:

- Las características específicas para una estación particular pueden ser un indicador importante de la calidad de los datos. Los alrededores de la estación, el grado de protección, las fuentes y los puntos receptores locales pueden influir en las mediciones.
- La fuerte relación existente entre las concentraciones de contaminantes y la dispersión atmosférica u otras condiciones meteorológicas también pueden ser un indicador positivo de la integridad de los datos. Cuando los datos son dudosos, se deben considerar parámetros tales como la estación, la velocidad y dirección del viento, la precipitación y la radiación solar. Los altos niveles de ozono asociados con climas lluviosos y sin brillo se deben considerar como dudosos.
- La hora del día también es importante, ya que las variaciones diurnas en los patrones de emisión y en las condiciones meteorológicas pueden ejercer una influencia particularmente

⁸⁸ Bower, J. S. A Pragmatic View on Optimizing Performance of Air Monitoring Networks, Measurement and Control, 1989

fuerte en las concentraciones de O_3 y NO_x . Por ejemplo, altos niveles de ozono durante la noche si bien posibles bajo ciertas condiciones serían sumamente sospechosos a menos que se asocien con alguna evidencia de inicio de transporte vertical (por ejemplo, un aumento súbito en la velocidad del viento).

- La relación entre los diferentes contaminantes también puede aportar claves para determinar la validez de los datos; por ejemplo, no se esperarían altos niveles de ozono si se incrementan los niveles de NO_x .
- La continuidad temporal y espacial de los niveles de contaminación es otro factor que se debe considerar al examinar los datos medidos. Los resultados obtenidos de una red a menudo pueden indicar integralmente si las observaciones hechas en un sitio particular son excepcionales o cuestionables.

Luego deben seleccionarse los datos de acuerdo a los resultados de pruebas estadísticas, presentadas en forma de compilaciones gráficas como diagramas de cajas, de periodos diarios, mensuales y/o anuales.

Posteriormente deben corregirse los datos según los resultados de calibración de los equipos y calcular los promedios en el tiempo para la comparación con las normas nacionales vigentes.

El programa de AC debe estipular adecuadamente cual es el procedimiento de validación de los datos, que pruebas deben realizarse a los mismos y que documentación debe generarse.

Conversiones

Antes de calcular los promedios en el tiempo y comparar las mediciones con las normas de calidad de aire promulgadas por la autoridad ambiental competente, deben convertirse a valores a condiciones de referencia (298,15 K y 101,325 kPa) y presentarse en las unidades adecuadas. Las ecuaciones y factores para realizar estas conversiones han sido claramente estipulados dentro de la norma.

Cálculo de los promedios en el tiempo

El cálculo de los promedios en el tiempo de los datos de vigilancia debe ajustarse a las siguientes definiciones:

Se define una “hora” como el periodo de sesenta minutos transcurridos “inmediatamente antes” de la hora reportada, es decir los datos de vigilancia correspondientes a las 7 a.m. son los recolectados desde las 6.01 a.m. a las 7.00 a.m., esta definición se justifica por la necesidad de correspondencia entre los datos de vigilancia y los datos meteorológicos, ha sido establecida de acuerdo con los estrictos lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial, y está basada en el razonamiento de que la hora reportada solo puede cubrir eventos que ya han sucedido. Algunas organizaciones internacionales definen la hora como el tiempo transcurrido después de la hora reportada, y reconocen que este enfoque requiere de un esfuerzo adicional al momento de compaginar las mediciones con los datos meteorológicos. El IDEAM, ente encargado de recopilar la información sobre mediciones de calidad del aire, requiere que el formato remitido por las entidades que realizan la vigilancia utilice el esquema de “hora antes”. Sin embargo la entidad encargada de vigilancia puede elegir el esquema que más le parezca, y reportar los datos el IDEAM en el formato de “hora antes”.

El día se define como el periodo de 24 horas transcurrido entre las 00:01 y las 24:00, donde 00.01 es el primer minuto del día, después de la media noche. Es decir, en un día se obtendrán 24 promedios horarios desde la 1 que es la primera hora del día, hasta las 24 que es la última. Ésta

definición es fundamental cuando se quiere calcular promedios diarios.

La semana, el mes, y el año corresponden a la definición universal, del periodo que sigue inmediatamente al momento reportado; es decir, la semana comienza en minuto 00:01 del lunes y termina en el minuto 24:00 del domingo. El mes se ajusta a los periodos de tiempo reportados por el calendario y lo mismo el año.

Los promedios corridos deben corresponder al enfoque del tiempo que precede el reportado, ya sean de una hora, día, semana, mes, año.

Cálculo de número de excedencias

Una excedencia se define como el evento en el cual los valores de concentración de un contaminante sobrepasan lo estipulado por norma de calidad del aire. Por ejemplo para la norma horaria de ozono debe contarse una excedencia por cada vez que el promedio de concentración de una hora sobrepase el valor establecido por la norma y totalizarse el número de veces por año, en éste caso el número de excedencias debe reportarse como el “número de veces que la norma ha sido sobrepasada en determinado año”. Por otro lado cuando se trata de promedios corridos, como en la norma de CO de 8 horas, debe contarse una excedencia por cada vez que el promedio de concentración de 8 horas sobrepase el valor establecido por la norma y totalizarse el número de veces por año, en éste caso el número de excedencias debe reportarse como el “número de veces que la norma ha sido sobrepasada en determinado año”.

Brechas de datos

Ningún tipo de vigilancia entrega datos las 24 horas del día 7 días a la semana, siempre existirán brechas en el conjunto de datos, algunas causadas deliberadamente como las de las calibraciones y otras inevitables y fortuitas como las ocasionadas por cortes en la energía eléctrica, fallas de los equipos, etc. A pesar de la experiencia y de la alta inversión, es difícil siquiera acercarse al 95 % de recolección de datos validos.

Jamás debe siquiera considerarse interpolar o extrapolar datos brutos para completar estas brechas, a menos que se conozcan perfectamente las tendencias en estos periodos y puedan justificarse. En general cuando se pierde el 25 % ó más de los datos de un periodo a promediar, debe descartarse este periodo y no calcularse, ni reportarse valor alguno para el mismo. Los objetivos de calidad de datos deben establecer claramente cual debe ser el porcentaje de recuperación de datos y si se debe contabilizar o no, los periodos de calibración como perdidas. El programa de AC debe asegurarse de que los códigos reportados durante los periodos de calibración, o durante las fallas de los equipos, que en algunos sistemas son 9999, se excluyan del cálculo de los promedios, desde el primer nivel de validación, donde además debe introducirse un metadato que explique la razón por la cual los datos son invalidados.

Interpolación y ajuste

Aunque no se recomienda interpolar datos brutos, a veces los datos validados pueden ser interpolados. Por ejemplo cuando van a ser alimentados a un modelo, no deben tener brechas para que el modelo pueda correr. Existen técnicas estadísticas sofisticadas para realizar estas interpolaciones (ajuste de curvas, análisis de tendencias, filtrado selectivo de frecuencias, etc.), pero la más adecuada es una simple regresión lineal. Por recomendación heurística no deben realizarse interpolaciones en brechas de más de 1% de periodo promediado.

En algunas ocasiones puede hacerse una excepción cuando existen obvias y justificables

tendencias, como las presentadas en algunos puntos de vigilancia en el comportamiento diario de contaminantes como el CO, asociadas a los patrones de tránsito de fuentes móviles. En tales casos se obtienen distribuciones bien definidas de concentraciones horarias a través del día, con base en las cuales pueden interpolarse los valores faltantes de otros días en los cuales se cuenta solo con los puntos máximos y mínimos que usualmente se presentan a la misma hora del día.

Al interpolar datos debe tenerse en cuenta:

- Naturaleza del contaminante.
- Entendimiento de las condiciones atmosféricas presentes y su influencia sobre la dispersión
- Experiencia con tendencias y ciclos diarios de emisiones y meteorológicos
- Los periodos relevantes a promediar.

El programa de AC debe encargarse además de evaluar el desempeño del proceso y el personal de validación de datos y de calcular los indicadores que antes ha establecido para determinar si se han cumplido los objetivos de calidad de los datos. A continuación se describen algunas pruebas que permiten efectuar ésta evaluación.

22. GENERACIÓN DE REPORTES

Una base de datos final y validada sobre calidad del aire es, por sí sola, de utilidad limitada. Para que se aplique en la elaboración de políticas, en el manejo de la contaminación del aire, en la investigación científica sobre sus efectos, los datos se deben cotejar, analizar y diseminar. Los resúmenes anuales y, de preferencia, mensuales de datos constituyen un nivel mínimo de la administración de esta información. Estos resúmenes pueden usar métodos sencillos de análisis estadístico y gráfico. Los formatos apropiados para este propósito se pueden diseñar fácilmente (véase por ejemplo, BROUGHTON et al⁸⁹).

Un reporte más regular de datos, por día u hora, puede ser apropiado para algunos objetivos de la red (por ejemplo, los sistemas de alerta de *smog*), aunque en tales casos, se debe poner de manifiesto que los datos diseminados pueden no estar plenamente validados y la calidad puede no estar asegurada. La diseminación de datos provisionales o validados solo representa un primer paso para alcanzar los objetivos de la vigilancia.

Ésta información debe proporcionar antecedentes a los encargados de tomar decisiones, así como una base para elaborar y verificar hipótesis científicas y modelos de los procesos relacionados con la calidad del aire y con su impacto en el hombre y su ambiente.

Para maximizar el uso de las mediciones ambientales de calidad del aire en su totalidad, se debe contar con datos sobre otros factores socioeconómicos y geográficos compatibles y de calidad óptima. Por ejemplo, el uso de datos para profundizar nuestro conocimiento de los procesos de emisión y dispersión atmosférica que incrementan las concentraciones de contaminantes requiere acceder a mediciones meteorológicas y de emisión. Otro ejemplo: para evaluar el impacto de las condiciones de calidad del aire en el ecosistema o en la salud se requiere información sobre distribuciones poblacionales, epidemiología, factores sociales y efectos sobre la salud.

⁸⁹ Broughton, G. F. J.; Bower, J. S.; Stevenson, K. J. et al. Air Quality in the UK: A Summary of Results from Instrumented Air Monitoring Networks in 1991/92. Stevenage, Warren Spring Laboratory, informe LR 941 (AP). 1993.

Generalmente, los datos de vigilancia y de las emisiones se usan para elaborar estrategias de reducción de los efectos; esto es, para manejar la contaminación del aire en el ámbito local o nacional. La importancia de una base de datos consolidada a escala nacional residiría en que se puede usar para evaluar el impacto de las medidas de control en el largo plazo y para estimar la situación de las ciudades de las que solo se cuenta con datos limitados, al compararlas con ciudades "representativas" similares. Las bases de datos de calidad del aire tienen a su disposición una variedad de metodologías analíticas comprobadas. Sin embargo, en el análisis final, el nivel y los medios apropiados de tratamiento de datos estarán determinados en gran medida por el uso de datos que se ha concebido al inicio. Se debe considerar el uso de sistemas de información geográfica, especialmente cuando se pretende combinar los datos de contaminación con los de epidemiología y otras fuentes coordinadas geográficamente (sociales, económicas y demográficas).

23. EVENTOS DE CAPACITACIÓN

Todo el personal, administrativo, profesional y técnico que participa de las diferentes actividades que se dan con la vigilancia permanente de la calidad del aire, requieren de ser capacitados y entrenados principalmente en el área de evaluación y control de la contaminación del aire.

Esta capacitación puede consistir en cursos, talleres, ó teleconferencias, ofrecidas por autoridades ambientales de orden internacional como la EPA, el CEPIS de la OPS, entre otras, ó de orden nacional como el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el IDEAM, Centros Ambientales de Universidades, instituciones académicas formales, asesores ambientales reconocidos, ó pares, complementados con actividades internas tales como exposiciones, lecturas o practicas en campo.

Se recomienda que las actividades de capacitación y entrenamiento se enfoquen a los siguientes temas:

- Legislación aplicada al recurso aire.
- Normas Técnicas para la evaluación de la calidad del aire.
- Aseguramiento de la calidad, de datos, de documentos, de equipos.
- Vigilancia de variables ambientales.
- Calibración de equipos de vigilancia manuales y automáticos.
- Practicas de laboratorio para los Métodos analíticos de calidad del aire.
- Meteorología aplicada a la contaminación del aire.
- Aplicación de cursos de autoinstrucción sobre aire, meteorología.
- Administración y revisión de sistemas administrativos.
- Estadística aplicada a manejo y presentación de datos ambientales.
- Inventario de emisores y emisiones de contaminantes del aire.
- Evaluación de emisiones atmosféricas en fuentes fijas y móviles.
- Sistemas generales para el control de la contaminación del aire.

24. INFORMES SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE. CONTENIDO DEL INFORME ANUAL DE CALIDAD DEL AIRE

24.1 FORMATOS NACIONALES DE REPORTE DE CALIDAD DEL AIRE

Los informes a ser elaborados y remitidos al centro de coordinación y recopilación de información de la RNVCA, han de prepararse según los formatos y condiciones que se presentan en este capítulo, donde se establecen los datos mínimos, cálculos y análisis a ser abordados en dichos reportes. El continuo y cabal seguimiento de los procedimientos establecidos para el aseguramiento y control del funcionamiento de los equipos de vigilancia, garantiza que los datos brutos recopilados tengan un nivel de precisión y exactitud que permitan un procesamiento posterior con una menor incertidumbre sobre la coincidencia entre las situaciones reales y las descritas por los datos.

Para el análisis de los fenómenos y episodios de contaminación; habiendo asegurado la calidad de la materia prima (los datos), es importante establecer no sólo un formato y modo común de presentación de la información por parte de las diferentes redes de vigilancia del país sino también los cálculos y las unidades de las variables utilizadas.

El reporte que aparece a continuación debe ser enviado al IDEAM, una única vez por la persona responsable o por el representante legal de la institución que posee la red, así mismo se notificará la recepción de dicha información, y se pedirá aclaraciones si hubiere el caso.

Información sobre redes, estaciones y técnicas de medición

Las diferentes redes en la medida de lo posible, deberán remitir el máximo de información posible en relación con los siguientes puntos:

24.1.1 Información sobre las Redes

INFORMACIÓN SOBRE LAS REDES
1. Nombre
2. Abreviatura
3. Tipo de red (industria local, ciudad, zona urbana, aglomeración urbana, provincia, región, país, internacional)
4. Organismo responsable de la gestión de la red
4.1. Nombre
4.2. Nombre y apellidos de la persona responsable
4.3. Dirección
4.4. Teléfono y fax
4.5. Correo electrónico
4.6 Sitio de Internet

24.1.2 Información sobre las Estaciones

INFORMACIÓN SOBRE LAS ESTACIONES
1. Información general
1.1. Nombre de la estación
1.2. Nombre de la ciudad o localidad, si procede
1.3. Número de referencia o código nacional y/o local
1.4. Código de la estación atribuido con arreglo al presente proyecto.
1.5. Nombre del organismo técnico responsable de la estación (si difiere del responsable de la red)
1.6. Organismos o programas a los que se remiten los datos (por compuesto, si procede) (local, nacional, GEMS, CEPIS, etc.)
1.7. Objetivo(s) del seguimiento (conformidad con los requisitos de los instrumentos jurídicos, evaluación de la exposición (salud humana y/o ecosistemas y/o materiales) análisis de tendencias, evaluación de emisiones, etc.)
1.8. Coordenadas geográficas (según la norma ISO 6709: longitud y latitud geográficas y altitud geodésica)
1.9. Contaminantes medidos
1.10. Parámetros meteorológicos medidos
1.11. Otra información pertinente: dirección predominante del viento, relación entre distancia y altura de los obstáculos más cercanos, etc.
2. Clasificación de las estaciones
2.1. Tipo de zona
2.1.1. Urbana
zona edificada continua
2.1.2. Suburbana
zona muy edificada: zona continua de edificios separados combinada con zonas no urbanizadas (pequeños lagos, bosques, tierras agrícolas)
2.1.3. Rural
todas las zonas que no satisfacen los criterios establecidos para las zonas urbanas / suburbanas
2.2. Tipo de estación en relación con las fuentes de emisión predominantes
2.2.1. Tráfico
estaciones situadas de tal manera que su nivel de contaminación está influenciado principalmente por las emisiones procedentes de una calle/carretera próxima
2.2.2. Industria
estaciones situadas de tal manera que su nivel de contaminación está influido principalmente por fuentes industriales aisladas o zonas industriales
2.2.3. Entorno de fondo
estaciones que no están influenciadas ni por el tráfico ni por la industria
2.3. Información complementaria sobre la estación
2.3.1. Zona de representatividad (radio). Para las estaciones “tráfico”, indique la longitud de la calle/carretera que la estación representa
2.3.2. Estaciones urbanas y suburbanas
población de la ciudad
2.3.3. Estaciones “tráfico”
volumen de tráfico estimado (tráfico medio diario anual)
distancia con respecto al bordillo de la acera
porcentaje del tráfico correspondiente a los vehículos pesados
velocidad del tráfico
distancia entre las fachadas de los edificios y altura de los edificios (calle de tipo cañón)
anchura de la calle/carretera (calles distintas de las de tipo cañón)
2.3.4. Estaciones “industria”
Tipo de industria(s) (nomenclatura seleccionada para el código de contaminantes atmosféricos)
Distancia de la fuente / zona fuente
2.3.5. Estaciones rurales (subcategorías)
próxima a una ciudad
regional
aislada

24.1.3 Información sobre la Configuración de las Mediciones por Compuesto.

INFORMACIÓN SOBRE LA CONFIGURACIÓN DE LAS MEDICIONES POR COMPUESTO
1. Equipos
1.1. Nombre
1.2. Principio analítico o método de medición
2. Características del muestreo
2.1. Localización del punto de toma de muestras (fachada de edificio, calzada, azotea, patio)
2.2. Altura del punto de toma de muestras
2.3. Tiempo de integración del resultado
2.4. Tiempo de toma de muestras.

24.2 CONTENIDO DEL INFORME ANUAL NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE

El objetivo principal de un informe de este tipo es el poner a la disposición de autoridades, investigadores, grupos ambientalistas y público en general, datos y análisis de los mismos, de la calidad del aire de las ciudades que poseen redes de vigilancia de calidad del aire. Adicionalmente, esta publicación permitiría a las diferentes autoridades que realizan actividades de vigilancia, evaluación e inspección, contar con información sistematizada sobre los niveles de contaminación en cada una de las ciudades presentadas, permitiendo con ello, evaluar las acciones de los Programas de Control de la Calidad del Aire, para prevenir, controlar y/o mejorar las condiciones prevalecientes en cada una de ellas, o en su caso rediseñar los instrumentos de política.

En términos generales para este documento se plantean seis capítulos; una introducción, el primero ilustra sobre los estándares que operan y su relación con los efectos en la salud de los grupos más vulnerables. Así mismo se presenta la información pertinente de cada red a nivel de infraestructura física y factor humano disponible para la operación, mantenimiento y gestión. Las redes que poseen tratamiento especial de los indicadores, es decir la elaboración y presentación de índices. En el siguiente capítulo se muestran los datos correspondientes a las variables meteorológicas, donde se debe incluir los factores espaciales y temporales que caracterizan la zona de estudio. Consecutivamente se relaciona el capítulo correspondiente a la calidad del aire, donde a través del seguimiento de los diferentes indicadores se puede establecer los niveles de inmisión en función de la normatividad vigente. En el último capítulo se pide relacionar las fuentes de emisión que causan el deterioro de la calidad del aire de la zona, es decir si se posee información de los inventarios de tanto de fuentes fijas como móviles. También se proponen varios anexos que complementan el análisis que se hace para todos los contaminantes.

Consideraciones a tener en cuenta para cálculos y representaciones gráficas:

- Los niveles o concentraciones de los contaminantes en el aire se expresan en unidades de microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para facilitar la comparabilidad con la situación en otros países.
- Para Ozono y NO_2 se calcula el porcentaje y número de horas en que se excede la norma de calidad del aire correspondiente a cada contaminante. Se calcula sobre la cantidad de horas con datos válidos por estación.
- Concentración promedio por hora. Se obtiene promediando los datos de la misma hora durante todo el año, contemplando la información horaria válida disponible de todo el año para cada estación de vigilancia.
- Concentración máxima por hora. Se toma el valor máximo para cada una de las horas del día

contemplando la información disponible de todo el año para cada estación de vigilancia.

- Promedio mensual de las concentraciones horarias. Se calculó del total de las concentraciones horarias válidas en el mes por estación de vigilancia.
- Máximo mensual de las concentraciones horarias. Se obtiene de todas las concentraciones horarias válidas de que se dispone al mes por estación de vigilancia.
- Promedio anual de las concentraciones horarias. Se obtiene de todas las concentraciones horarias válidas de que se dispone al año por estación de vigilancia.

Cuando sea necesario los promedios en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se calculan a partir de los promedios anuales en ppm y para ello se emplea la siguiente conversión:

$$C[\mu\text{g}/\text{m}^3] = \frac{C[\text{ppm}] \times PM}{0.024466}$$

En condiciones estándar de presión (760 milímetros de mercurio) y temperatura (25°C).

De tal forma que para cada contaminante se puede utilizar el siguiente factor de conversión:

Contaminante	M (peso molecular)	Factor de conversión
CO	28	1,144.26 x ppm = $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	46	1,879.85 x ppm = $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂	64	2,615.45 x ppm = $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O ₃	48	1,961.58 x ppm = $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 24.1. Factores de conversión

A continuación se presenta un índice de documento sugerido para el Informe Anual de Calidad del Aire.

1 INTRODUCCIÓN

2 . CALIDAD DEL AIRE

2.1 Parámetros de Calidad del Aire

2.2 Normas de Calidad del Aire

2.3 Índice de Calidad del Aire

2.4 Redes de Vigilancia

2.4.1 Redes Automáticas

2.4.2 Redes Manuales

2.5 Representatividad de los Datos

2.5.1 Redes Automática

2.5.2 Redes Manual

3. METEOROLOGÍA

3.1 Aspectos Meteorológicos

3.1.1 Localidad 1

3.1.2 Localidad 2

3.1.3 Localidad 3

3.1.4 Localidad 4

3.1.5 Localidad 5

3.2 Aspectos Regionales de la Contaminación del Aire

4. CALIDAD DEL AIRE EN LAS DIFERENTES CIUDADES

- 4.1 Caracterización Meteorológica
 - 4.1.1 Humedad Relativa
 - 4.1.2 Condiciones Meteorológicas de Dispersión
- 4.2 Análisis de la Calidad del Aire
 - 4.2.1 Comportamiento Anual del Índice de Calidad del Aire
 - 4.2.2 Material Particulado (MP_{10})
 - 4.2.4 Partículas Suspendidas Totales (PST)
 - 4.2.5 Dióxido de Azufre (SO_2)
 - 4.2.6 Monóxido de Carbono (CO)
 - 4.2.7 Ozono (O_3)
 - 4.2.8 Dióxido de Nitrógeno (NO_2)
 - 4.2.9 Otros Contaminantes
 - 4.2.10 Estudios Especiales
 - 4.2.11 Resultados de las Campañas.
- 5. CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE
 - 5.1 Fuentes Fijas
 - 5.2 Fuentes Móviles
- 6. EFECTOS SOBRE LA SALUD.
- 7. BIBLIOGRAFIA

25. MANEJO Y CUSTODIA DE LA MUESTRA

Una actividad crítica dentro de cualquier fase de la colección de datos es el proceso de manejo de las muestras en el campo, a través de las etapas de transporte, almacenamiento, y fases de análisis. La documentación obtenida asegura que el manejo haya sido apropiado y esto hace parte del registro de custodia.

25.1 MANEJO DE LA MUESTRA

En el programa de Vigilancia de la Calidad del Aire Ambiente, solamente los métodos manuales de Plomo, Partículas Suspendidas (MP_{10} y $PM_{2.5}$) y las muestras PAMS se manejan. En particular se debe prestar atención al manejo de los filtros de $PM_{2.5}$. Se ha sugerido que el proceso de manejo del filtro puede ser donde ocurre el mayor porcentaje de error. Debido a la manera de determinar las concentraciones es crítico ya que las muestras están manejadas según lo especificado en SOPs.

Las fases de manejo de la muestra incluyen:

- Etiquetado
- Colección de la muestra, y Transporte

25.1.1 Etiquetado e identificación de la muestra

Se debe tener cuidado para marcar correctamente todas las muestras, además supervisar las lecturas del dispositivo para asegurar la identificación positiva a través de los procedimientos de

prueba y análisis.

La regla usada como evidencia en acciones legales requiere que los procedimientos para la identificación de las muestras usadas en análisis forman la base para futuras evidencias.

Una admisión del analista del laboratorio (el/ella) no puede ser positiva si se analiza la muestra No 6 o la muestra No 9, por ejemplo, esto podría destruir la validez del informe de toda las pruebas.

La identificación positiva también se debe proporcionar para cualquier filtro usado en el programa. La tinta que se utiliza para marcar debe ser indeleble para no ser afectada por los gases y las temperaturas a los cuales esta sujeta. Otros métodos de identificación se pueden utilizar (barras de codificación), si estos proporcionan medios positivos de identificación y no deterioran la capacidad de funcionamiento del filtro. Cada recipiente para el transporte de la muestra debe contar con una identificación única para evitar la posibilidad de intercambiar las muestras.

El número de recipientes se debe registrar posteriormente en los datos del análisis. La figura 25.1 muestra la etiqueta estandarizada para la identificación que puede ser utilizada.

Nombre de la organización del muestreo	
No de identificación de la muestra:	_____
Tipo de muestra:	_____
Fecha de recolección:	_____
Nombre del sitio:	_____
Dirección del sitio:	_____
Dechado:	_____

Figura 25.1. Ejemplo etiqueta de la muestra.

La información adicional se puede agregar según lo requerido, dependiendo del programa de supervisión particular. Las muestras se deben manejar correctamente para asegurarse de que no están contaminadas y de que la muestra analizada es realmente la que fue tomada bajo las condiciones establecidas. Por esta razón, las muestras se deben mantener en un lugar seguro en el lapso de tiempo en que se recogen y el tipo en que se analizan. Se recomienda especialmente que todas las muestras estén aseguradas hasta su disposición final.

Estas medidas de seguridad se deben documentar en forma de expediente firmado por los tratantes de la muestra.

Las tarjetas de lectura de los analizadores automáticos deben estar claramente identificadas sin equivocaciones. La información se debe poner en cada tarjeta para no interferir con algunos de los datos. Si la tarjeta de lectura es muy larga se deben hacer intervalos periódicos. Las marcas deben ser indelebles y puestas permanentemente a cada tarjeta de lectura.

25.1.2 Colección de la muestra

Para reducir la posibilidad de invalidar los resultados, todas las muestras se deben retirar cuidadosamente del dispositivo de supervisión y colocarlos en recipientes no reactivos sellados. El mejor método de sellado depende del recipiente; en general, la mejor manera es utilizar simplemente un pedazo de cinta para imposibilitar la abertura accidental del envase.

Sin embargo, cuando hay cualquier posibilidad de acceso temporal a las muestras de personal no autorizado, los recipientes o sobres de la muestra se deben sellar con una etiqueta engomada autoadhesiva, que ha sido firmada y numerada previamente por el técnico de funcionamiento. Esta etiqueta debe adherirse firmemente para asegurarse de que no pueda ser quitada sin su destrucción. Luego las muestras deben ser entregadas al laboratorio para su análisis. Se recomienda que esto se realice el mismo día que se toma la muestra del monitor. Si esto no es posible todas las muestras se deben colocar en una caja (con candado preferiblemente) para la protección de la muestra contra fracturas, contaminación y pérdida.

25.1.3 Transporte

En el transporte de las muestras y de otros datos de supervisión, es importante tener las precauciones necesarias para evitar la posibilidad de forzar o destruir accidentalmente por acción física o química la muestra. Los factores que pueden afectar la integridad de las muestras incluyen: altas temperaturas, presión y el manejo físico de las muestras (embalaje). Estas consideraciones prácticas se deben tener en cuenta sitio por sitio y se deben documentar en las organizaciones QAPP y sitios específicos SOPs.

La persona que tiene a su cargo las muestras, las tarjetas de lectura y otros datos deben poder atestiguar que nada a interferido. La seguridad debe ser permanente. Si las muestras están en un vehículo, cierre con llave el vehículo. Después de la entrega al laboratorio las muestras se deben mantener en un lugar seguro.

Para asegurarse de que no se pierda ninguna muestra en el transporte marque todos los niveles líquidos en el lado del recipiente con un lápiz de grasa. Así cualquier pérdida importante que ocurra será fácilmente conseguida.

Cuando use los frascos de acero inoxidable para PAMS, la presión del frasco se debe registrar y comparar con la presión final de la colección de la muestra para indicar la pérdida de la muestra.

25.2 CADENA DE CUSTODIA

Si se van a utilizar los resultados de un programa de muestreo como evidencia, se debe contar con un expediente escrito disponible para ser localizado con los datos en cualquier momento.

Esta cadena de custodia es necesaria para hacer una demostración de la representatividad de los datos del muestreo. Sin esto uno no puede estar seguro de que los datos del muestreo analizados eran iguales que los datos obtenidos en el campo.

Los datos se deben manejar solamente por las personas asociadas de cierta manera al programa de prueba. Una buena regla general a seguir es (entre mas pocas manos es mejor), aunque una muestra correctamente sellada puede pasar a través de varias manos sin afectar su integridad. Cada persona que maneja las muestras o las tarjetas de lectura debe poder indicar de quien fue recibido el artículo y a quien fue entregado. Es una práctica recomendada tener de cada muestra recibida una cadena de custodia para los datos del muestreo. La figura 10 es un ejemplo de la forma que se puede utilizar para establecer la cadena de custodia. Esta forma debe acompañar las tarjetas de lectura siempre del campo al laboratorio. Todas las personas que manejan los datos deben firmar la ficha. Cuando se tenga que usar el servicio postal para transportar el certificado o registro de los datos de muestreo, se debe solicitar un recibo. Cuando se usa el servicio de transporte con el paquete de las muestras se debe poner en conocimiento del embarque el contenido del paquete. El paquete se debe marcar y debe ser entregado solamente a

la persona autorizada.

N°		NOMBRE DEL PROYECTO		TIPO DE MUESTRAS	NUMERO Y TIPO DE ENLACES					OBSERVACIONES
OPERARIO										
N°	FECHA	HORA	DESCRIPCION DE LA ESTACION							
ENTREGADO POR:		FECHA	HORA	RECIBIDO POR:		IMPRESION		COMENTARIOS		

Figura 25.2. Ejemplo de la forma de cadena de custodia

Una vez que las muestras lleguen a su destino, se debe primero comprobar que se encuentren en perfecto estado. Cualquier muestra que tenga algo que pueda ser cuestionable deberá ser señalada por medio de una bandera, y estas se deben llevar junto con los datos hasta que la validez de la muestra pueda ser aprobada. Esta información se debe incluir en la sección de las observaciones de la figura 25.2 o ser documentada de otra forma.

Una cadena de custodia se debe utilizar para seguir la dirección de las muestras a través de varias etapas de almacenaje proceso y análisis de laboratorio. La figura 25.3 es un ejemplo de la cadena de custodia del laboratorio

LABORATORIO					
Numero de la muestra	Numero de recipiente	Descripcion de la muestra			
Persona responsable de muestras		Hora:		Fecha:	
Numero de la muestra	Entregada por:	Recibido por:	Hora	Fecha	Revision del cambio de custodia

Figura 25.3. Ejemplo de cadena de custodia del laboratorio