

Guía práctica para la validación de datos en los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire - SVCA existentes en Colombia - GPVD

Instituto de Hidrología, Meteorología
y Estudios Ambientales

IDEAM

Noviembre de 2011

Esta Guía Práctica para la Validación de Datos en los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire - GPVD es una herramienta de ayuda para la toma de decisiones en el proceso de validación de los datos. Se elaboró acorde con lo estipulado en el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire establecido por el MAVDT, sin que lo reemplace ó sustituya.

Índice

Presentación	7
1 Introducción	8
2 Alcance y objetivos	9
3 Definiciones	10
4 Metodología	13
5 Validación de los datos en SVCA manuales.....	14
5.1 Pasos preliminares a la validación.....	14
5.2 Validación de los datos.....	16
5.3 Ayuda gráfica para la selección de banderas.....	17
5.3.1 Gráfica PST – PM10	17
5.3.2 Gráfica PM10 – SO ₂	20
6 Validación de los datos en SVCA automáticos.....	22
6.1 Etapas para la validación de los datos.....	23
6.2 Banderas de validación.....	24
6.3 Relaciones entre parámetros.....	25
6.3.1 Gráfica PST – PM10	26
6.3.2 Gráfica NO _x – NO ₂ – NO.....	28
6.3.3 Gráfica SO ₂ – PM10.....	30
6.3.4 Gráfica NO ₂ – O ₃	31
6.3.5 Gráfica NO _x – CO.....	32
6.4 Aspectos complementarios a tener en cuenta en el proceso de validación.....	33

7	Herramientas estadísticas de apoyo a la validación.	37
7.1	Establecimiento de rangos por hora.	37
7.2	Verificación de datos atípicos.	39
7.3	Otras.....	40
8	Estandarización de la nomenclatura para los parámetros asociados a los SVCA.	41
	Anexos.	42
	Bibliografía.	43

Índice de figuras

Figura No. 1 Comportamiento válido de la gráfica PST vs PM10.....	18
Figura No. 2 Comportamiento inválido de la gráfica PST vs PM10.....	19
Figura No. 3 Comparación entre SO ₂ y PM10.....	21
Figura No. 4 Relación correcta entre PST – PM10	27
Figura No. 5 Relación incorrecta entre PST – PM10.....	28
Figura No. 6 Relación correcta Óxidos de Nitrógeno	29
Figura No. 7 Relación incorrecta Óxidos de Nitrógeno	30
Figura No. 8 Relación SO ₂ – PM10.....	31
Figura No. 9 Relación O ₃ – NO ₂	32
Figura No. 10 Relación NO _x – CO.....	33
Figura No. 11 Gráfica de más de tres parámetros	35
Figura No. 12 Diagrama de caja.....	39
Figura No. 13 Histograma	40

Índice de tablas

Tabla No. 1 Banderas para un SVCA manual	16
Tabla No. 2 Correlación entre PST y PM10 en un SVCA manual	19
Tabla No. 3 Banderas que indican validez del dato	24
Tabla No. 4 Banderas que indican invalidez del dato.....	25
Tabla No. 5 Datos reconstruidos de PM10.....	35
Tabla No. 6 Datos reconstruidos de radiación.....	36
Tabla No. 7 Ceros en la serie de datos	37
Tabla No. 8 Límites mínimos y máximos de validación horaria.....	38
Tabla No. 9 Nomenclatura de parámetros de calidad del aire.....	41
Tabla No. 10 Nomenclatura Variables Meteorológicas.	42

Presentación

El hecho de contar con datos confiables permite hacer un correcto diagnóstico de la problemática de la calidad del aire en una zona o área específica. Esto se logra, contando con un Programa de Aseguramiento de la Calidad que contemple la realización estricta de cronogramas de calibración y mantenimiento de los equipos y mediante el proceso de validación a los datos obtenidos. Lo anterior es de suma importancia, debido a que las decisiones y programas de gestión que implemente la autoridad ambiental competente, se basarán en dichos datos.

Para que el proceso de validación se realice correctamente y se cumpla con el objetivo de contar con datos confiables, los profesionales encargados deben tener conocimiento sobre la química atmosférica, las condiciones meteorológicas locales, los usos del suelo de la zona de estudio, así como el funcionamiento y comportamiento de los equipos de medición, entre otros aspectos, que deben ser combinados con la experiencia.

El propósito de esta guía es unificar y facilitar las labores de validación, con el fin de presentar al público datos claros y confiables, además de lograr los objetivos señalados en el Manual de operación de SVCA dentro del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire en el numeral 7.1.8.

Este documento toma como base el capítulo 7 del manual anteriormente mencionado, que trata sobre los *ELEMENTOS COMUNES EN TODOS LOS SVCA* y contiene una sección de validación tanto para sistemas de vigilancia que cuenten con equipos manuales, semiautomáticos y automáticos, abordando los pasos necesarios para poder aplicarlo adecuadamente, es decir, que al ejecutar esta guía se incremente la confiabilidad de los datos que se reportan por parte de los SVCA existentes en el país.

1 Introducción

Antes de entrar de fondo al tema específico de validación de los datos es importante entender el comportamiento puntual de cada contaminante durante un día típico, ejercicio que ayudará al análisis de los datos que arroja un SVCA y que estos cumplan con los atributos de calidad los cuales deben ser: parciales, precisos, que tengan una representatividad tanto temporal como espacial, que puedan ser comparables y que cuenten con una integridad temporal.

Para entender el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera, se debe conocer cómo se emiten y cómo reaccionan dentro de ésta, con el fin de realizar observaciones que permitan correlacionarlos entre si y llegar a disminuir la incertidumbre que se puede presentar dentro de los registros, teniendo presente la definición de un contaminante primario y secundario y el comportamiento de cada uno de estos en la zona de estudio.

Así mismo, las variables meteorológicas cumplen un papel fundamental en el comportamiento y dispersión de los contaminantes en la atmósfera, siendo estas indispensables para realizar el análisis de los resultados de las mediciones de calidad del aire, así como para el diseño o re-diseño del SVCA dentro del área de estudio.

Por tanto, el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, adoptó, a través de la Resolución 650 de 2010, adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire y determinó en el Manual de Operación del SVCA los *“lineamientos a tener en cuenta para llevar a cabo la operación de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire en el país. Así mismo, se presentan elementos comunes a todos los sistemas de vigilancia de la calidad del aire como el programa de control y aseguramiento de la calidad del aire, el análisis de la información generada y la generación de reportes.”* El citado Protocolo fue modificado por la resolución 2154 de octubre del 2010

2 Alcance y objetivos

La elaboración de esta guía para la validación de los datos de un SVCA en el territorio nacional, permitirá contar con un documento de carácter voluntario que proporcione criterios técnicos y recomendaciones relacionados con la actividad de validación de la información de calidad del aire obtenida en la operación de un SVCA, para contar con información confiable y de calidad la cual permitirá la toma de decisiones por parte de las Autoridades Ambientales competentes y servirá de apoyo al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para el cumplimiento de las metas establecidas en el Plan de Acción de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire.

Esta guía se ha desarrollado con el objeto de estandarizar, a través de una serie de recomendaciones de carácter técnico, la forma de validación de los datos de calidad del aire a nivel nacional realizada por parte de los profesionales encargados de la operación en los diferentes SVCA existentes en el país.

Estas recomendaciones, se plantean con base en lo estipulado en el Manual de Operación de SVCA, ajustándolas y presentándolas de una forma gráfica y práctica, con el fin de facilitar la actividad de validación de los datos para que sean confiables y de calidad.

Los objetivos de esta guía práctica para la validación de datos en los SVCA son:

- Explicar detalladamente cada uno de los pasos para la validación de los datos que se presentan en el Manual de Operación de SVCA.
- Suministrar herramientas con criterio técnico a los profesionales encargados de la validación de los datos en un SVCA, que les permitan tomar decisiones para establecer, la validez o invalidez de un dato.
- Mejorar la calidad de los datos reportados al Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE.

3 Definiciones

Validación: Proceso que permite determinar si los datos resultantes de la etapa de monitoreo son confiables, representativos y de calidad, acopiando e inspeccionando mediante evidencia objetiva que confirme que los requerimientos específicos del uso final de los datos han sido cumplidos.

Metadatos: 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.¹

Límite de detección: 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.²

Controles o banderas: Son marcas que constan de una letra, cada una de las cuales le aporta una característica específica al dato que acompaña, ya sea de validez o de invalidez del mismo.

Datalogger: Dispositivo electrónico que registra mediciones ordenadas en el tiempo, provenientes de diferentes sensores o equipos. Posteriormente cada medición es almacenada en una memoria, junto con su respectiva fecha y hora.

Diagrama de cajas: Es una representación gráfica de varias estadísticas: 1) el primer cuartil (valor por debajo del cual está el 25% de los datos), representado por el borde inferior de la caja; 2) la mediana como medida de tendencia central, correspondiente al segundo cuartil (valor por debajo de cual están el 50% de los datos), representada por la línea horizontal dentro de la caja; 3) el tercer cuartil

¹ Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, página 76.

² Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, página 65.

(valor por debajo del cual está el 75% de los datos), representado por el borde superior de la caja; 4) el intervalo intercuartílico como medida de dispersión, definido como la diferencia entre el tercer y primer cuartil, representado por la altura de la caja.³

Integridad temporal: Relación entre la cantidad de datos válidos obtenidos por un sistema de muestreo comparado y la cantidad ideal que debería obtenerse en condiciones normales de operación.⁴

Límite máximo de validación: Corresponde a la mediana más tres veces la amplitud intercuartílica del conjunto total de datos.

Límite mínimo de validación: Corresponde al valor mínimo positivo presentado por el parámetro durante toda la historia del monitoreo.

Serie temporal o cronológica: Es un conjunto de datos cuyos valores representan observaciones de un fenómeno, uniformemente espaciadas a lo largo del tiempo. Bajo este concepto los datos reportados por los equipos de monitoreo de calidad de aire, corresponden a series cronológicas o temporales que representan la concentración de determinado tipo de contaminante, medida cada cierto intervalo de tiempo.⁵

Media Móvil: La media móvil es el promedio de un valor de la serie y los que le rodean. Las medias móviles se utilizan para suavizar las series cronológicas, es decir, para reducir las fluctuaciones en las series de datos. Se calcula del mismo modo que el promedio aritmético para una cantidad “n” de datos y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato agregado y manteniendo siempre el número de datos correspondiente a la cantidad definida.⁶

³ Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, páginas 112.

⁴ Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, página 66.

⁵ Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, página 102.

⁶ Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, página 102

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.⁷

Precisión: 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.⁸

Promedio Aritmético: Suma de los “n” datos de concentración del contaminante i obtenida en el período de tiempo j, dividida entre la cantidad de datos obtenidos en el período de tiempo j.⁹

Promedio Geométrico: Puede expresarse como la raíz enésima del producto de los “n” valores observados. $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \dots x_n$.¹⁰

Intervalo Intercuartílico: Definido como la diferencia entre el tercer y primer cuartil, representado por la altura de la caja.¹¹ Dentro de este intervalo se encuentra el 50% de la población.

SVCA: Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire.

⁷ Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, página 65.

⁸ Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, página 65.

⁹ Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, páginas 96 - 98.

¹⁰ Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, página 98.

¹¹ Manual de Operación de Sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, octubre de 2010, página 112.

4 Metodología

Como se mencionó anteriormente para elaborar esta guía, se tomó como documento base el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire establecido por el MAVDT del Protocolo para la Vigilancia y Seguimiento del Módulo Aire del Sistema de Información Ambiental, así como las experiencias de algunos SVCA en la implementación y mantenimiento de su programa de aseguramiento de la calidad de los datos.

5 Validación de los datos en SVCA manuales.



Foto: CORPAMAG

5.1 Pasos preliminares a la validación.

Para poder contar con datos válidos con una alta integridad temporal, se debe seguir estrictamente lo establecido en el numeral 4.2.6 “Mantenimiento de equipos y calibración” del Manual de Operación de SVCA del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, estas recomendaciones son el punto de partida para la obtención de datos confiables.

Del mismo modo, se debe contar con puntos de control en las diferentes etapas que comprenden desde la preparación del equipo para la toma de la muestra, hasta la obtención del resultado de la medición; lo anterior permitirá obtener metadatos que sirvan de apoyo en el momento de realizar la validación de los datos.

Para cumplir con el requisito anterior, dentro de la implementación del programa de Aseguramiento de Calidad del SVCA manual, deben existir formatos para registrar las situaciones que se hayan presentado en los diferentes procesos que se mencionan a continuación, enmarcados dentro de lo establecido en los numerales 7.1.10.10 y 7.1.10.11 del Manual de Operación de SVCA del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

Las actividades previas que se realizan antes de la validación final del dato en las cuales deben existir los puntos de control son:

- **Verificación y calibración del equipo a usar para la toma de muestra:** este es el proceso más importante en la medición porque la adecuada verificación del equipo de monitoreo es esencial para obtener datos precisos y reproducibles de calidad del aire y su importancia dentro del SVCA debe ser suficientemente enfatizada (MAVDT 2010). El programa de Aseguramiento de calidad debe verificar que los elementos utilizados para la calibración de los diferentes equipos, como balanzas, 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, trazables a estándares primarios reconocidos o autorizados (MAVDT 2010). Adicionalmente, se deben seguir las recomendaciones en el tema dadas por el fabricante.
- **Recolección de la muestra:** esta etapa, hace referencia a la manipulación de la muestra tomada, en la cual el programa de Aseguramiento de la Calidad establecido por el SVCA manual, debe contar con procedimientos detallados relacionados con la cadena de custodia de las muestras y con los respectivos registros de control de manipulación de las mismas, para garantizar la trazabilidad de los datos en esta etapa de la medición.
- **Transferencia de información:** proceso que comienza en el momento en que las muestras llegan al laboratorio (el cual deberá estar acreditado por el IDEAM) y se realiza la transferencia de la información recolectada en el paso anterior; las muestras son codificadas para su posterior tratamiento analítico, aplicando los procedimientos establecidos en el laboratorio.
- **Procesamiento de muestras:** Una vez las muestras son procesadas en el laboratorio siguiendo los diferentes métodos de análisis que permiten determinar la concentración de los contaminantes (gravimetría, colorimetría, entre otros), y habiendo superado las etapas de control de calidad analítico implementadas en laboratorio, los resultados deben hacerse llegar a la central de información, donde comenzará el respectivo proceso de validación.

5.2 Validación de los datos

Los datos obtenidos de los pasos preliminares a la validación, deberán ser acopiados en una base de datos (Excel, Access, SQL) según la necesidad y capacidad de operación del SVCA, que deberá ajustarse a los requisitos del Sub-Sistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE) (MAVDT 2010), de tal forma que posteriormente permita su visualización y validación manual. Se recomienda contar con dos bases de datos, una con la información completa (datos crudos) y otra depurada con la información validada.

Cada dato obtenido deberá ser marcado utilizando una bandera, de las que se presentan en la tabla No.1, de acuerdo al análisis de los metadatos registrados entre los procesos de **Verificación y calibración del equipo a usar para toma de muestra y Procesamiento de muestras**; esta labor deberá ser realizada por una persona idónea y capacitada, que conozca las condiciones aledañas del lugar de toma de muestra, la forma de operación del equipo de monitoreo y el principio de análisis con que se determinó la concentración del contaminante en laboratorio; este conocimiento permitirá la obtención de datos válidos o inválidos al finalizar este proceso.

Tabla No. 1 Banderas para un SVCA manual

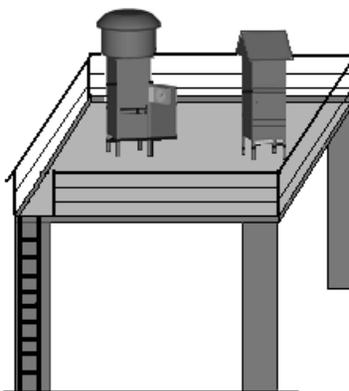
BANDERA	VALIDEZ	DESCRIPCIÓN DE LA BANDERA
V	S	Dato válido
D	N	Dato erróneo por falla técnica
E	N	Falla eléctrica equipo
L	N	Dato invalido por error en laboratorio
F	N	Falla en fluido eléctrico
M	N	Dato erróneo por razón desconocida
P	N	Daño de filtro

Fuente: Adaptada del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire – MAVDT 2010

5.3 Ayuda gráfica para la selección de banderas.

En los SVCA manuales, no siempre se cuenta con dos o más equipos en un mismo punto, situación que dificulta la comparación de un parámetro contra otro para dilucidar posibles errores inadvertidos en las mediciones; por esta razón, la ayuda gráfica aplicará en el momento que se cuente con más de un equipo en el punto de monitoreo y cuando los parámetros monitoreados se puedan relacionar entre sí ya sea por su composición o por las reacciones químicas que presentan en la atmósfera; como ejemplo de lo anterior se puede mencionar la comparación entre PST y PM10 o entre PM10 y SO₂, donde en el primer ejemplo el PM10 corresponde a una fracción del PST por lo cual las concentraciones de PM10 nunca podrán ser mayores que las concentraciones de PST y en el segundo ejemplo el SO₂ por su reacción en la atmósfera puede crear partículas secundarias, presentando un comportamiento similar al del PM10.

5.3.1 Gráfica PST – PM10

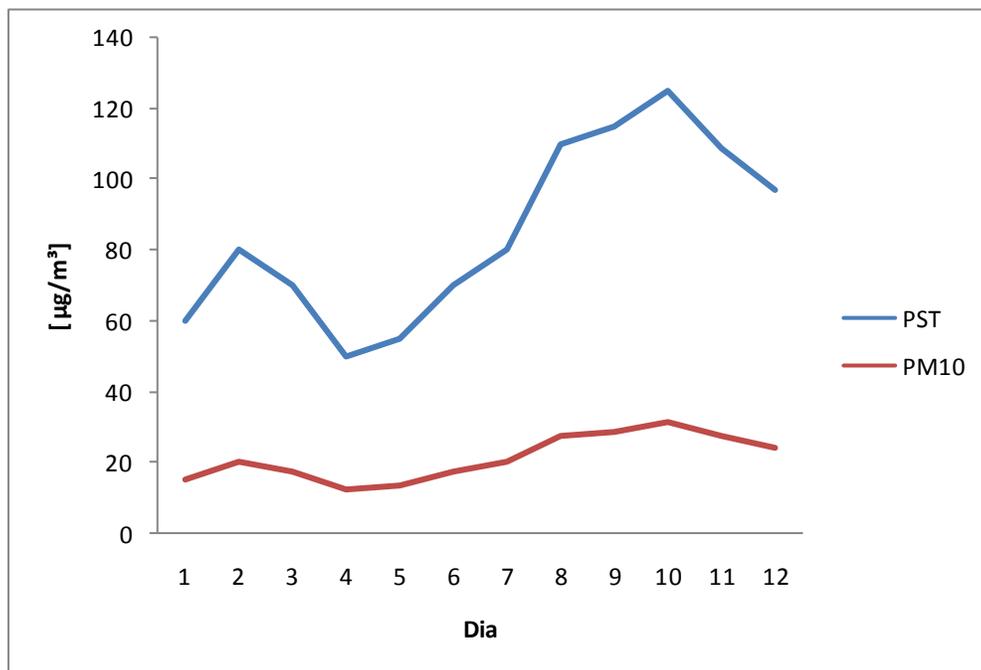


Fuente: MAVDT 2010

Se realiza una verificación del comportamiento de los dos parámetros, mediante una gráfica de comparación para el mismo periodo de tiempo de muestreo, con el fin de ver la particularidad de cada dato.

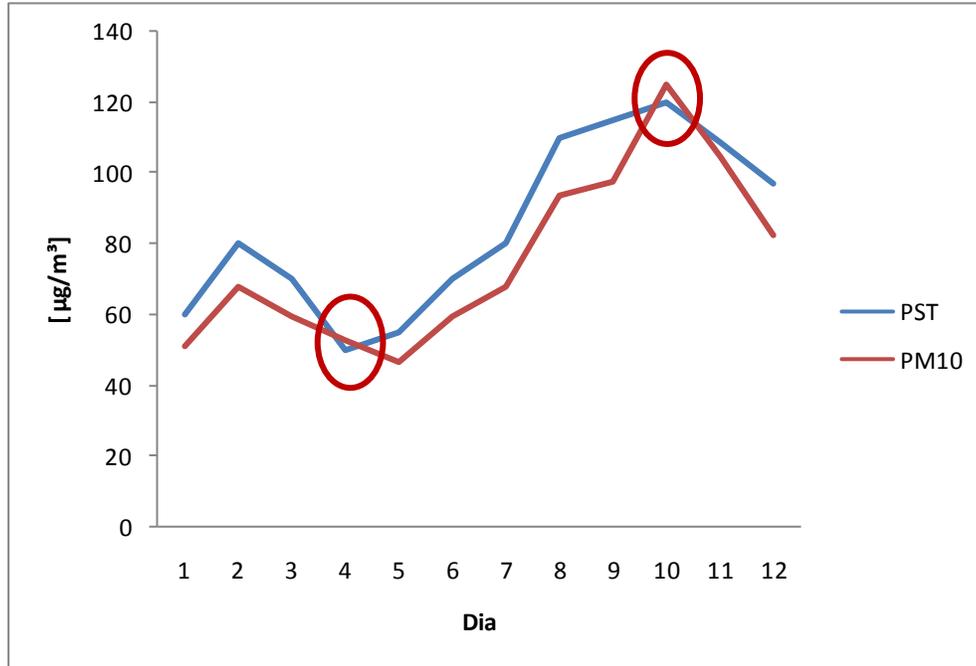
En la Figura No. 1 se presenta un ejemplo que permite visualizar la forma correcta del comportamiento de los dos parámetros relacionados; la línea de color rojo representa las concentraciones diarias monitoreadas de PM10, las cuales siempre serán menores o iguales a las concentraciones de PST, representadas con la línea de color azul.

Figura No. 1 Comportamiento válido de la gráfica PST vs PM10



Si se presenta el caso que al comparar las concentraciones de estos dos parámetros para un mismo período de tiempo los valores de PM10 se encuentren por encima de los de PST, tal como se muestra en la figura No. 2, es necesario verificar los metadatos de los dos muestreos para identificar posibles problemas que se hayan presentado en la etapa de prevalidación e invalidar este dato.

Figura No. 2 Comportamiento inválido de la gráfica PST vs PM10

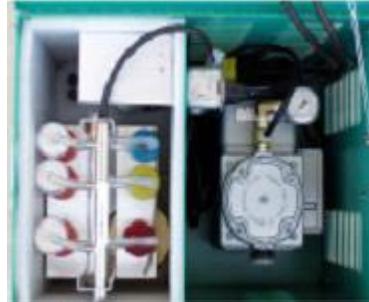
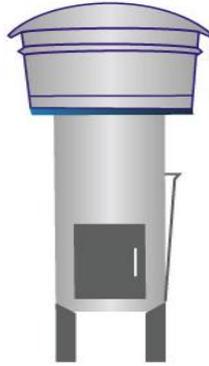


Una vez identificado el equipo y la causa del problema, es necesario marcar estos datos con la bandera adecuada, de acuerdo con la tabla No. 1. Un ejemplo de este caso se presenta en la tabla No. 2.

Tabla No. 2 Correlación entre PST y PM10 en un SVCA manual

Dia	PST	Flag	PM10	Flag
1	60	V	51	V
2	80	V	68	V
3	70	V	59,5	V
4	50	V	53	D
5	55	V	46,75	V
6	70	V	59,5	V
7	80	V	68	V
8	110	V	93,5	V
9	115	V	97,75	V
10	120	V	125	D
11	109	V	105	V
12	97	V	82,45	V

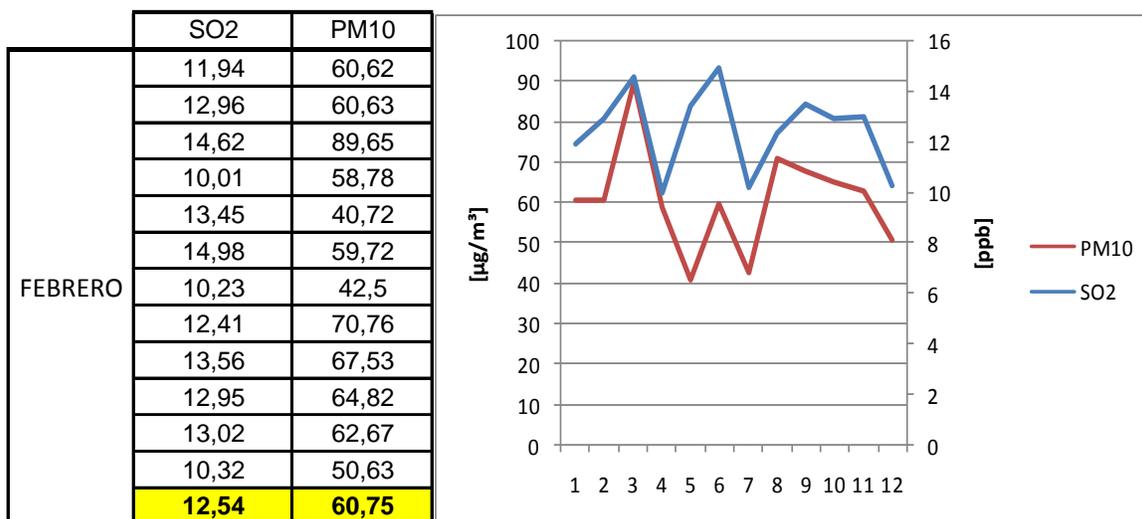
5.3.2 Gráfica PM10 – SO₂



Fuente: MAVDT 2010

Otro parámetro que puede ser comparado con el PM10 es el SO₂ debido a que los elementos azufrados generan partículas secundarias en la atmósfera (Nevers 1998); de acuerdo con lo anterior el comportamiento, no la concentración, puede llegar a ser muy similar para un mismo periodo de tiempo, tal como se presenta en la Figura No.3. Al visualizar esta relación se evidencia el buen funcionamiento de los dos equipos.

Figura No. 3 Comparación entre SO₂ y PM10



Como se dijo anteriormente, en muchos de los puntos de monitoreo de un SVCA manual se cuenta solamente con un equipo, generalmente de Material particulado (PST, PM10 ó PM2.5), lo cual impide realizar estas comparaciones dejando que la calidad del dato recaiga en las buenas prácticas que se realicen en los pasos de pre validación. Por esta razón, el SVCA deberá tener un plan de verificación de todos sus equipos, correlacionándolos con un equipo de referencia, lo cual permitirá evidenciar, junto con la hoja de vida del equipo, su buen funcionamiento. El periodo de verificación será estipulado según los resultados de la comparación entre equipos.

6 Validación de los datos en SVCA automáticos.



Foto: SDA

Debido a la gran cantidad de datos que se obtienen con los equipos de un SVCA automático el proceso de validación se debe realizar en varios niveles, para poder confirmar que los requerimientos específicos del uso final de los datos hayan sido cumplidos (MAVDT 2010). El primer nivel de validación es el que se efectúa en campo, el siguiente lo realiza automáticamente el equipo de acuerdo con su programación y el tercero lo realiza la persona responsable de revisar la información generada por el SVCA, en la estación central.

Estas etapas de validación se describen a continuación de forma clara y concisa.

6.1 Etapas para la validación de los datos.

Una primera etapa de validación manual que se efectúa en campo por parte de personal idóneo y capacitado en el funcionamiento y operación de equipos de monitoreo de calidad del aire (MAVDT 2010), la cual es fundamental para el procesamiento posterior de los datos por parte del personal encargado; consiste en realizar diferentes verificaciones y configuraciones a los equipos de análisis, monitores y sensores meteorológicos, con el fin de identificar datos erróneos intrínsecos del funcionamiento o configuración de los equipos, junto con los sucesos que se hayan presentado y que puedan haber incidido en la veracidad de la información. Este proceso permitirá obtener los metadatos necesarios para la validación posterior de la base de datos final. Debido a la importancia de esta etapa, el SVCA deberá contar con un programa implementado y documentado de mantenimiento preventivo y correctivo que se deberá cumplir a cabalidad, para que se garantice que los resultados arrojados por los equipos sean confiables y válidos para la posterior toma de decisiones.

Algunas de las estaciones de los SVCA automáticos cuentan con un tipo de telemetría que permite la transferencia directa de los datos; en caso de no contar con ésta o si se presenta alguna falla, se deberán remitir tanto los datos como los metadatos registrados en cada estación al equipo de procesamiento de la información, quienes además de utilizarlos para la validación de datos deberán emplearlos para determinar las acciones de control de calidad que deben aplicarse sobre los equipos que lo requieran.

Es por esto, que el manual de operación del SVCA deberá contar con un procedimiento de descarga de registros, que indique a los operarios de campo que deben descargar los datos en un plazo máximo de dos días, para que el grupo de procesamiento de la información cuente con todo el conocimiento sobre la calidad de los datos que se están registrando en las estaciones y de esta forma pueda tomar decisiones al respecto.

En una segunda etapa que se realiza de forma automática, el servidor de comunicaciones integra los datos a la base de datos del SVCA. En esta etapa se requiere la adecuada configuración de los equipos por parte del personal de campo de manera que se detecten posibles errores en las mediciones por factores propios del funcionamiento del equipo y sus elementos (temperatura, rendimiento de los tubos fotomultiplicadores, calibraciones de CERO y SPAN, entre otros). En

esta etapa el servidor disponible para tal fin, recolectará los datos de cada una de las estaciones almacenados en cada Datalogger y traerá cada uno de los registros con su respectiva descripción de validez inicial. Finalmente en una tercera etapa de revisión de la información generada, la cual es realizada en la estación central por personal con un mayor conocimiento de las variables que se miden, de la química de los contaminantes, del comportamiento local de los mismos, de los equipos del SVCA, de los resultados de las calibraciones, entre otras (MAVDT 2010), para determinar la validez final de cada uno de los registros que se han generado.

6.2 Banderas de validación.

Como se mencionó en los SVCA manuales, cada dato deberá ser marcado utilizando una bandera que indique su validez o invalidez como se muestra en las tablas No. 3 y No. 4, respectivamente. Estas banderas son asignadas en cualquiera de las tres etapas de validación anteriormente mencionadas, bien sea de forma automática o manual.

Tabla No. 3 Banderas que indican validez del dato

BANDERA	VALIDEZ	DESCRIPCIÓN DE LA BANDERA
V	S	Dato válido
O	S	Dato corregido
R	S	Dato reconstruido
<	S	Falta de datos
^	S	Valor alto del equipo
_	S	Valor bajo del equipo
/	S	Cambio brusco de la concentración

Fuente: Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire – MAVDT 2010

Tabla No. 4 Banderas que indican invalidez del dato

BANDERA	VALIDEZ	DESCRIPCIÓN DE LA BANDERA
C	N	Dato perturbado por calibración
S	N	Dato perturbado por calibración de Span
Z	N	Dato perturbado por calibración de Zero
M	N	Dato erróneo por razón desconocida
D	N	Dato erróneo por fallo técnico
T	N	Dato que no ha sufrido el proceso de validación adecuado
#	N	Datos insuficientes
B	N	Mal estado externo
E	N	Fallo eléctrico
F	N	Fallo en la corriente eléctrica
!	N	Señal fuera de rango
H	N	Valor de prueba
P	N	Proceso de purga del equipo

Fuente: Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire – MAVDT 2010

6.3 Relaciones entre parámetros

Como se explicó en el numeral 5.3 ayuda gráfica para la selección de banderas, en la validación de los datos en SVCA manuales, es de gran utilidad graficar las relaciones que se pueden presentar entre los parámetros monitoreados de acuerdo a la química de los contaminantes y a la presencia de fuentes de contaminación constantes. Esta etapa se realiza de forma manual por una persona idónea con conocimiento sobre química atmosférica y el comportamiento de cada uno de los contaminantes que son monitoreados por el SVCA. Adicionalmente, la persona encargada de la validación deberá tener conocimiento sobre el funcionamiento y operación de los equipos con los que cuenta el SVCA, así como de las características de las zonas donde se encuentran las estaciones de monitoreo.

Esta validación es realizada de forma rutinaria y debe considerar mínimo el conjunto de datos del día inmediatamente anterior. Para ello la persona encargada utiliza un software, tanto para la gestión de datos como para el manejo estadístico de los mismos, que le permita graficar las relaciones que se presentan entre los diversos parámetros, como ayuda del proceso de validación.

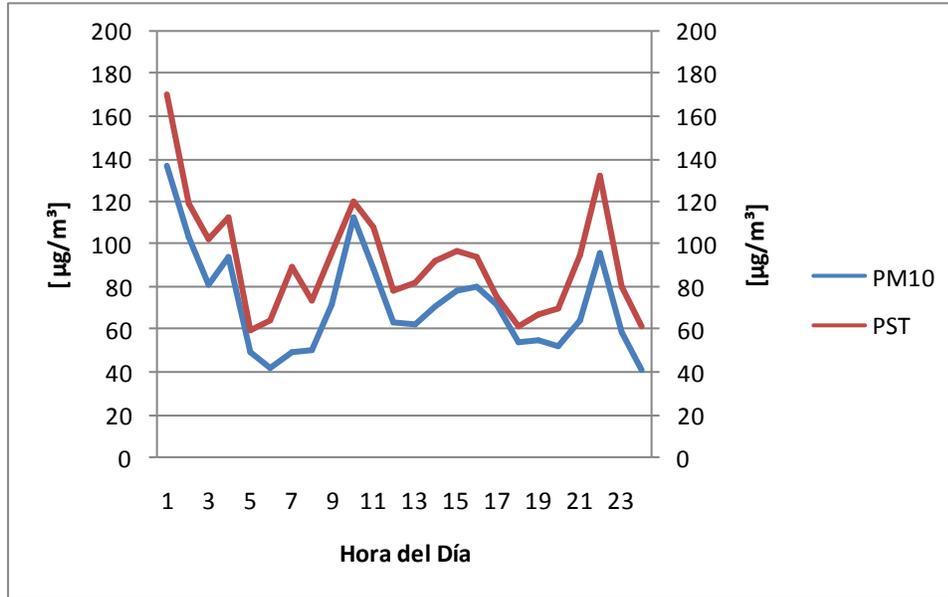
Por lo general en los sistemas automáticos se cuenta con registros diez minutales, sin embargo para esta validación se aconseja tomar registros horarios del día inmediatamente anterior, para visualizar con mayor facilidad los posibles errores que se puedan estar presentando.

6.3.1 Gráfica PST – PM10

La primera correlación que se puede realizar es entre las diferentes fracciones del material particulado, que corresponden al PST, PM10 y PM2.5. Es claro que las partículas suspendidas totales – PST, están constituidas por el total de partículas suspendidas en el aire, mientras que las partículas suspendidas con diámetro menor a diez micras – PM10 corresponden a una fracción del PST y a su vez, las partículas suspendidas con diámetro menor a 2.5 micras corresponden a una fracción del PM10. Con base en lo anterior se puede afirmar que la concentración de PM10 nunca podrá ser mayor que la concentración de PST y a su vez la concentración de PM2.5 no podrá sobrepasar a las de PM10 y PST.

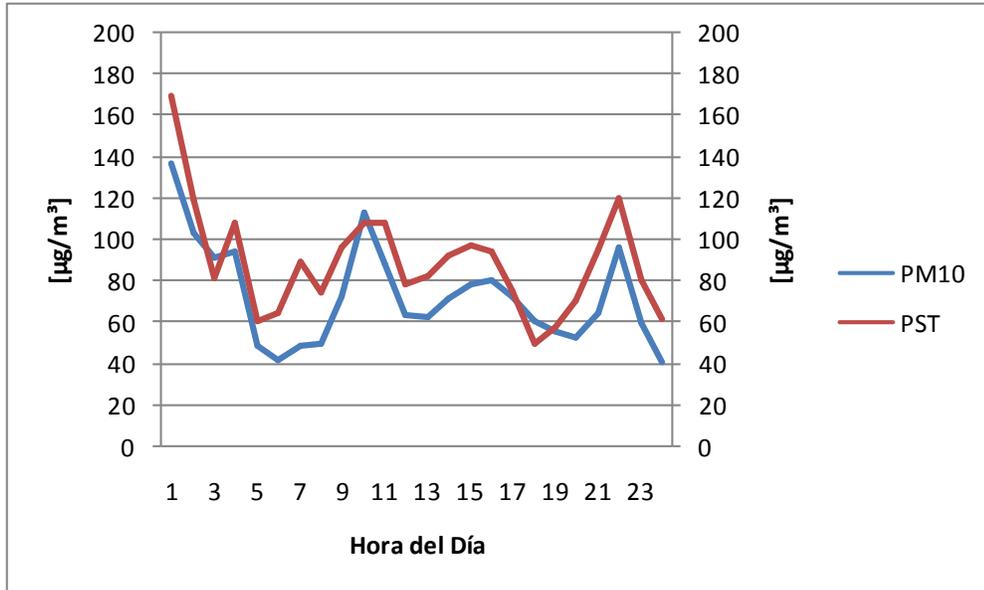
En la Figura No. 4 se presenta un ejemplo que permite visualizar la forma correcta del comportamiento de los dos parámetros relacionados; la línea de color rojo representa las concentraciones diarias monitoreadas de PM10, las cuales siempre serán menores o iguales a las concentraciones de PST, representadas con la línea de color azul. Adicionalmente las concentraciones son directamente proporcionales.

Figura No. 4 Relación correcta entre PST – PM10



En la Figura No. 5 se presenta el comportamiento errado en el cual la línea de color azul, que corresponde a la concentración de PM10 sobrepasa a la línea de color rojo, para un mismo período de tiempo. En este caso es necesario analizar los metadatos de cada equipo, para decidir cuál de los datos se va a invalidar.

Figura No. 5 Relación incorrecta entre PST – PM10

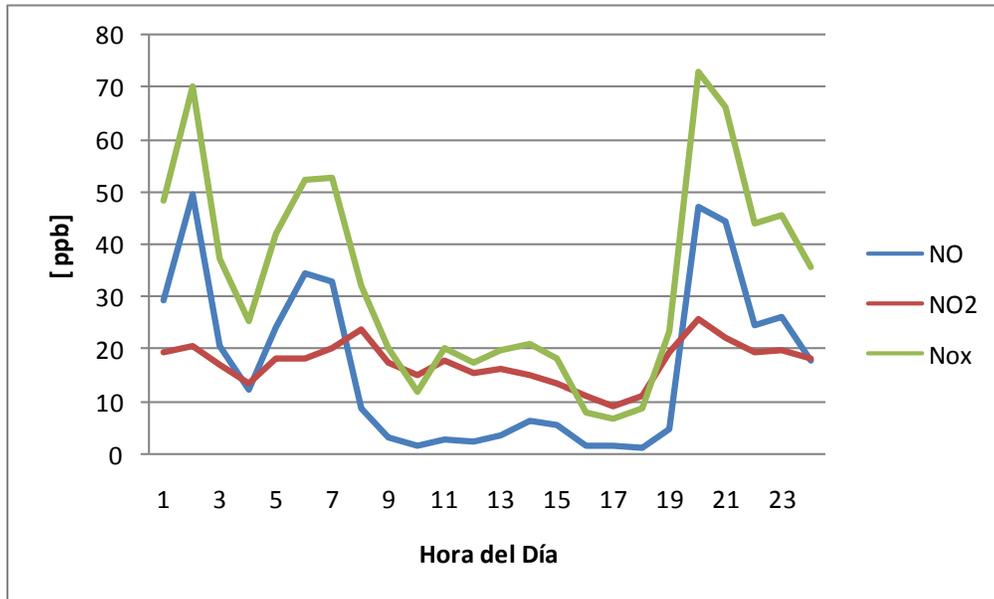


En el caso de monitorear en una misma estación PST, PM10 y PM2.5, se podrá comparar los resultados para verificar el buen funcionamiento de cada uno.

6.3.2 Gráfica NO_x – NO_2 – NO

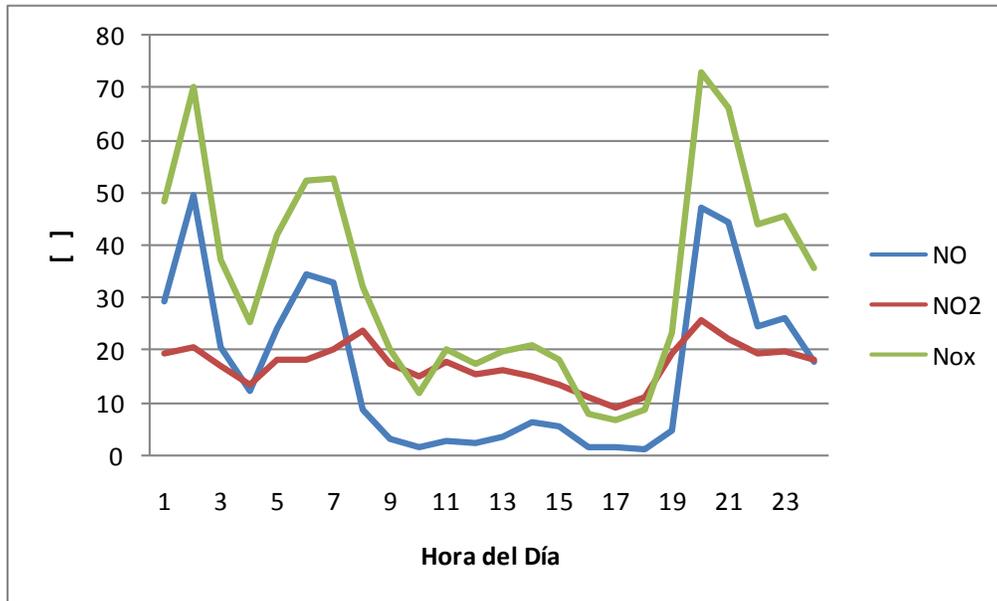
Teniendo en cuenta que los óxidos de nitrógeno NO_x , son compuestos químicos que están formados por diversas combinaciones entre el oxígeno y el nitrógeno, el NO_2 y el NO corresponden a una fracción de estos óxidos, por lo tanto sus concentraciones no podrán sobrepasar a la de NO_x , en una misma estación para un período de tiempo determinado. En la Figura No. 6 se presenta la relación correcta de los resultados de un analizador de NO_x ; donde las concentraciones de NO_2 y NO nunca superan a las de NO_x registradas para un día.

Figura No. 6 Relación correcta Óxidos de Nitrógeno



Cuando las concentraciones de NO_2 superen a las de NO_x , tal como se presenta en la Figura No. 7, se deberán invalidar los tres parámetros de la base de datos definitiva durante la hora que presentó el error. Si el problema persiste de forma continua, deberá ser reportado al grupo de campo para que se realice la evaluación del equipo.

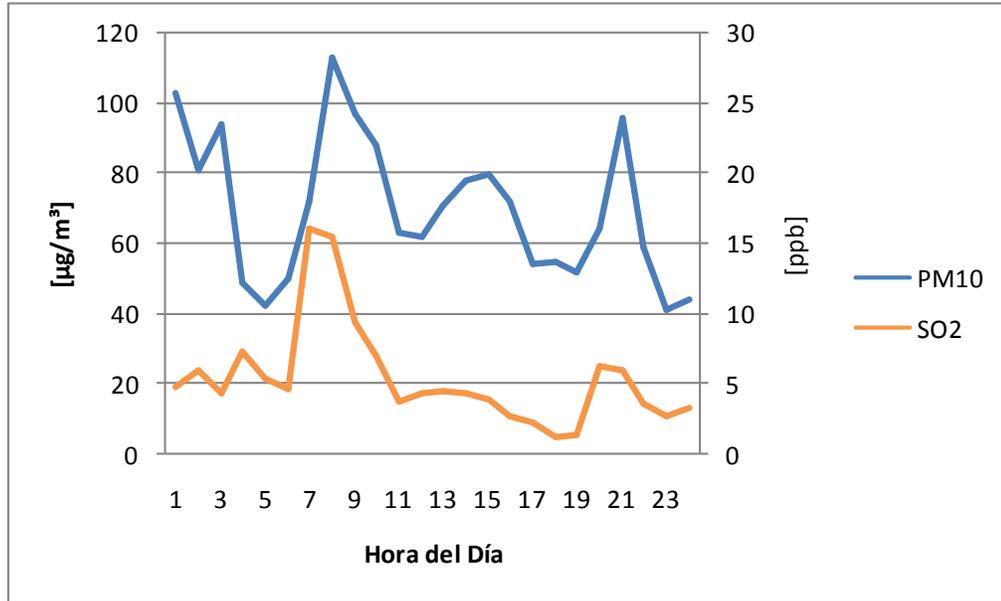
Figura No. 7 Relación incorrecta Óxidos de Nitrógeno



6.3.3 Gráfica SO₂ – PM₁₀

Como se explicó en el numeral 5.3.2 otro parámetro que puede ser comparado con el PM₁₀ es el SO₂ debido a la relación de las fuentes emisoras, las cuales muy seguramente, son constantes en espacio y tiempo; de acuerdo con lo anterior el comportamiento, no la concentración, puede llegar a ser muy similar para un mismo periodo de tiempo, tal como se presenta en la Figura No. 8. Al graficar esta relación se puede evidenciar el buen funcionamiento de los dos equipos.

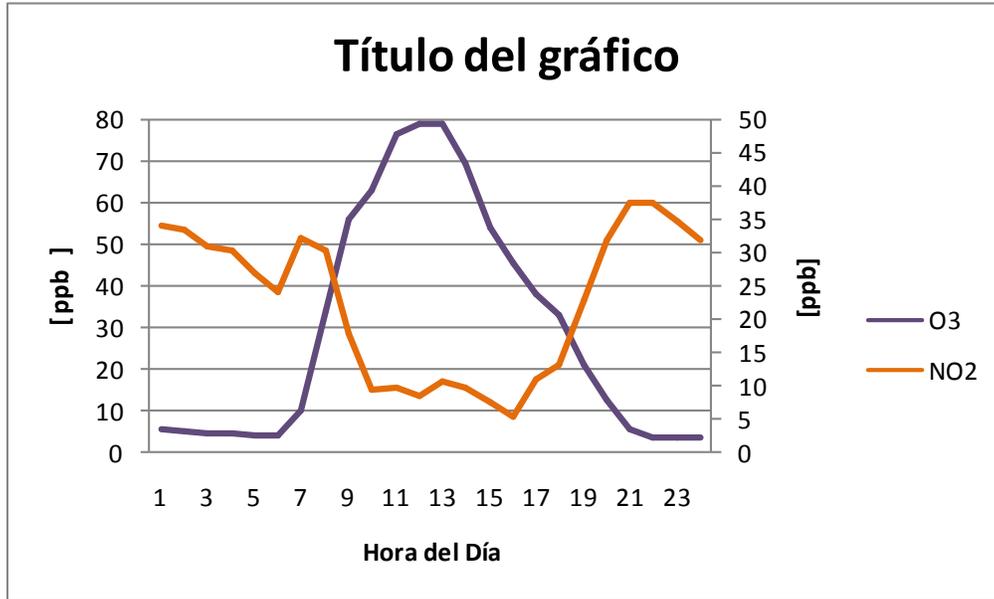
Figura No. 8 Relación SO₂ – PM10



6.3.4 Gráfica NO₂ – O₃

Como es bien sabido, el dióxido de nitrógeno NO₂, es precursor del ozono O₃ en presencia de la radiación solar, por lo tanto sus concentraciones son inversamente proporcionales, es decir, que al aumentar la concentración de ozono en el transcurso del día, la concentración de dióxido de nitrógeno presentará un comportamiento contrario. En la figura No. 9 se muestra el comportamiento típico de estos dos contaminantes. Nótese que hacia el medio día, momento en el cual se presentan los máximos valores de radiación solar, las concentraciones de ozono también presentan los mayores valores y por el contrario las concentraciones de dióxido de nitrógeno son las más bajas. Cuando no se pueda apreciar claramente la correlación entre estos dos contaminantes, se deberá incluir la variable radiación solar en la gráfica, debido a que es el factor determinante para que ocurra la reacción; ésto permitirá tener certeza en el momento de validar los datos.

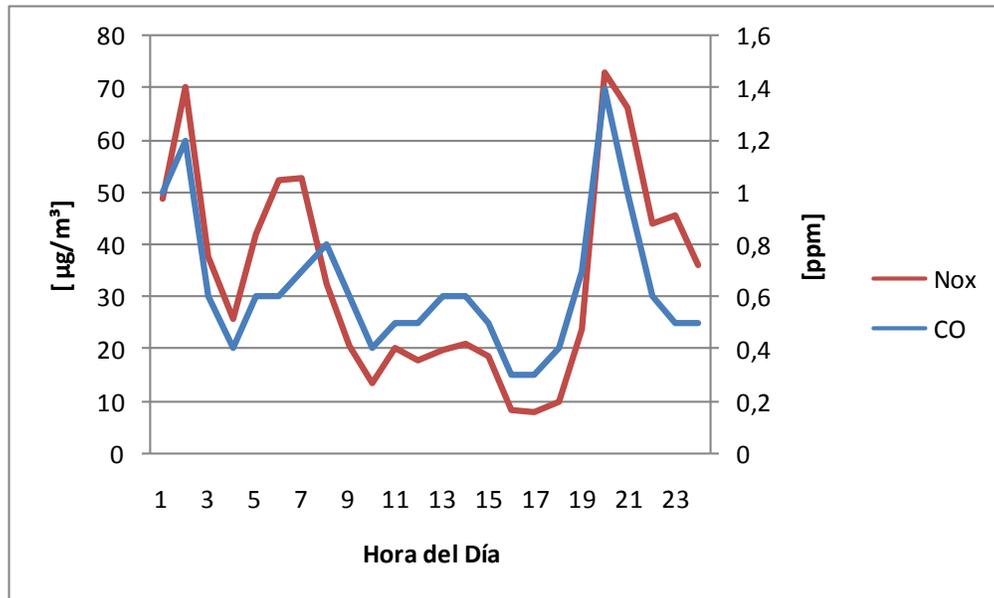
Figura No. 9 Relación O₃ – NO₂



6.3.5 Gráfica NO_x – CO

Al igual que lo mencionado en la relación PM₁₀ – SO₂, debido a las fuentes emisoras de los diversos contaminantes, dentro de un perímetro urbano, las cuales se mantienen constantes durante el tiempo, se puede encontrar una relación en el comportamiento de los parámetros de NO_x y CO, los cuales al transcurrir el día se deben comportar en forma muy similar; es de anotar que para realizar la visualización de la relación se debe tener cada contaminante con una escala diferente en el eje de las ordenadas, de tal forma que se puedan comparar como se muestra en la Figura No. 10.

Figura No. 10 Relación NO_x – CO



6.4 Aspectos complementarios a tener en cuenta en el proceso de validación.

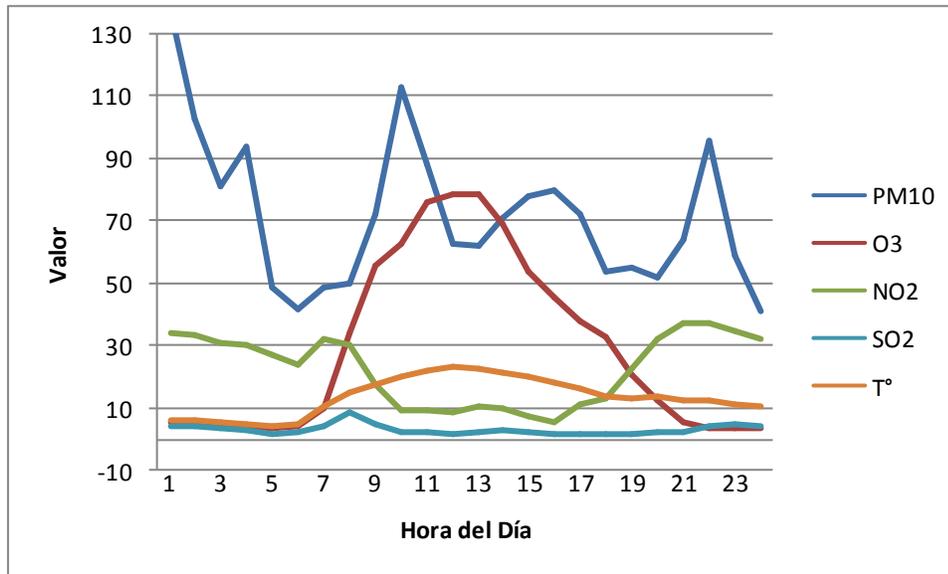
Aunque durante los pasos de validación se aplican controles que pueden ayudar a que el dato final se identifique como válido o no, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos para validar o invalidar definitivamente un dato:

- Antes de invalidar totalmente un dato, verifique la ocurrencia de fenómenos en la zona de estudio que hayan podido provocar la alteración de las condiciones típicas, como por ejemplo incendios, días festivos, marchas entre otras (MAVDT 2010).
- Un dato puede ser invalidado por el sistema debido a una desviación del cero que puede llegar a ser evidente, cuando los valores mínimos usuales de las concentraciones de contaminantes tienden a incrementarse o a disminuirse por un periodo de tiempo; ésto se presenta por lo general en

analizadores de gases automáticos como el de Monóxido de Carbono. En este caso, si es posible, deben corregirse los datos en la base de datos definitiva asignando la bandera de dato corregido “O” y recomendar el ajuste del equipo en cuestión al grupo de operación del SVCA (MAVDT 2010).

- La hora del día es importante, ya que las variaciones diurnas y nocturnas en los patrones de emisión y en las condiciones meteorológicas ejercen gran influencia sobre la generación y dispersión de los contaminantes; por lo tanto, es importante tener en cuenta las variables meteorológicas que permitan explicar el comportamiento de algunos contaminantes, como por ejemplo el ozono – O₃, durante un periodo de tiempo determinado. (MAVDT 2010).
- Se deben tener en cuenta las actividades económicas que se desarrollan en las zonas en las que se está realizando el monitoreo de la calidad del aire, así como su dinámica, pudiendo ser un elemento clave para entender el comportamiento de los contaminantes monitoreados. Como ejemplo se puede mencionar el establecimiento de un asadero cercano a la unidad de monitoreo, la entrada en operación de una nueva fábrica ó la construcción de alguna infraestructura cercana (una vía, un edificio, etc), que aunque de forma temporal, afectará el registro histórico de datos dando lugar a que el sistema los invalide por encontrarse por fuera de los intervalos pre establecidos, sin embargo el personal encargado de la validación deberá tener en cuenta estos aspectos en el momento de la validación, marcándolos como datos válidos por eventos especiales.
- No grafique más de tres parámetros simultáneamente, porque las gráficas pueden resultar confusas como se muestra en la Figura No. 11.

Figura No. 11 Gráfica de más de tres parámetros



- Verifique si el dato puede ser reconstruido, esta situación se presenta para las partículas ya que aunque el Datalogger registra un dato cada diez minutos, el proceso de medición del equipo dura alrededor de una hora, por lo cual se podrá reconstruir el dato tal como se muestra en la tabla No. 5. En este caso se tiene que identificar con la bandera adecuada el dato que fue reconstruido.

Tabla No. 5 Datos reconstruidos de PM10

Fecha & Hora	ESTACIÓN	BANDERA	ESTACIÓN	BADERA
Fecha & Hora	PM10		TSP	
Fecha & Hora	µg/m3		µg/m3	
1/1/2010 00:00	115	V	115	V
1/1/2010 00:10	137	V	137	V
1/1/2010 00:20	0	D	137	R
1/1/2010 00:30	0	D	137	R
1/1/2010 00:40	137	V	137	V
1/1/2010 00:50	137	V	137	V

- También se pueden reconstruir datos meteorológicos como se muestra en la Tabla No. 6, tales como radiación donde en horas de la noche se presentan registros de cero que pueden ser invalidado por el sistema.

Tabla No. 6 Datos reconstruidos de radiación

Fecha & Hora	Vitelma	Bandera	Vitelma	Bandera
Fecha & Hora	Rad Solar		Rad Solar	
Fecha & Hora	W/M2		W/M2	
01/01/2010 00:00	0	V	0	V
01/01/2010 01:00	Sin Data	M	0	R
01/01/2010 02:00	Sin Data	M	0	R
01/01/2010 03:00	0	V	0	V
01/01/2010 04:00	0	V	0	V
01/01/2010 05:00	1,1	V	1,1	V
01/01/2010 06:00	23,7	V	23,7	V
01/01/2010 07:00	307	V	307	V
01/01/2010 08:00	584,9	V	584,9	V
01/01/2010 09:00	783,4	V	783,4	V
01/01/2010 10:00	920,7	V	920,7	V
01/01/2010 11:00	998,2	V	998,2	V
01/01/2010 12:00	978,5	V	978,5	V
01/01/2010 13:00	849,9	V	849,9	V
01/01/2010 14:00	694,9	V	694,9	V
01/01/2010 15:00	558,8	V	558,8	V
01/01/2010 16:00	322,8	V	322,8	V
01/01/2010 17:00	74,5	V	74,5	V
01/01/2010 18:00	0,8	V	0,8	V
01/01/2010 19:00	0	V	0	V
01/01/2010 20:00	0	V	0	V
01/01/2010 21:00	Sin Data	M	0	R
01/01/2010 22:00	Sin Data	M	0	R
01/01/2010 23:00	Sin Data	M	0	R

- No reconstruya los datos de parámetros que varíen continuamente como los gases o variables meteorológicas como la dirección o la velocidad del viento, que pueden cambiar su comportamiento de forma significativa en el transcurso del día, porque se puede incurrir en un error al tratar de reconstruir la serie de datos a partir de los registros disponibles.
- Aunque es posible que se presenten valores de cero o negativos para las mediciones de los parámetros de calidad del aire, estos valores se encuentran por debajo del límite de detección del instrumento y no son confiables, por lo cual deberán ser eliminados de la base de datos final identificándolos con la bandera respectiva, después de haber verificado la correcta calibración del equipo (MAVDT 2010); en la tabla No 7 se presenta un ejemplo.

Tabla No. 7 Ceros en la serie de datos

Fecha & Hora	ESTACION	Bandera
	PM10	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
01/01/2010 00:00	59	V
01/01/2010 01:00	103	V
01/01/2010 02:00	81	V
01/01/2010 03:00	0	M
01/01/2010 04:00	0	M
01/01/2010 05:00	42	V
01/01/2010 06:00	49	V
01/01/2010 07:00	50	V
01/01/2010 08:00	72	V

7 Herramientas estadísticas de apoyo a la validación.

Aunque ya se explicaron los procesos de validación que se deben realizar de forma diaria en los SVCA, es importante conocer que existen herramientas estadísticas, con las cuales se puede asegurar la validez del dato y hacer más fácil la tarea de validación.

En los siguientes numerales se mostrarán algunas de esas herramientas que se pueden implementar, donde se establecerá el tiempo de realización según la pertinencia y necesidad dentro del proceso de validación de información que es generada en un SVCA.

7.1 Establecimiento de rangos por hora.

Como apoyo a la tarea diaria de validación de datos para un SVCA automático se podrá implementar esta herramienta, mediante la cual se establecerán los límites tanto máximos como mínimos de validación de forma horaria para cada uno de los contaminantes y cada uno de los sitios donde se realiza el monitoreo. Para ello es indispensable contar con una base de datos de por lo menos dos años, que permita establecer mediante el registro histórico el intervalo dentro del cual oscila cada uno de los contaminantes monitoreados.

Los intervalos se determinan como resultado de la aplicación de la estadística descriptiva, al conjunto de mediciones de la base de datos validada de los últimos dos años. Como resultado se obtienen el valor máximo, la media, la mediana, el mínimo y el rango intercuartílico para cada hora del día. Estos intervalos deberán actualizarse como mínimo cada dos años.

En la siguiente tabla se muestran las columnas que se deben obtener al realizar el procedimiento descrito anteriormente; el límite mínimo de validación corresponde al registro inferior encontrado durante el periodo de los dos años analizados, mientras que el límite máximo de validación, corresponderá a la mediana de cada hora, más tres veces la amplitud intercuartílica que se haya obtenido para la misma hora.

Como se dijo anteriormente es importante que el ejercicio se realice con cada uno de los parámetros que monitorea el SVCA por separado.

Tabla No. 8 Límites mínimos y máximos de validación horaria.

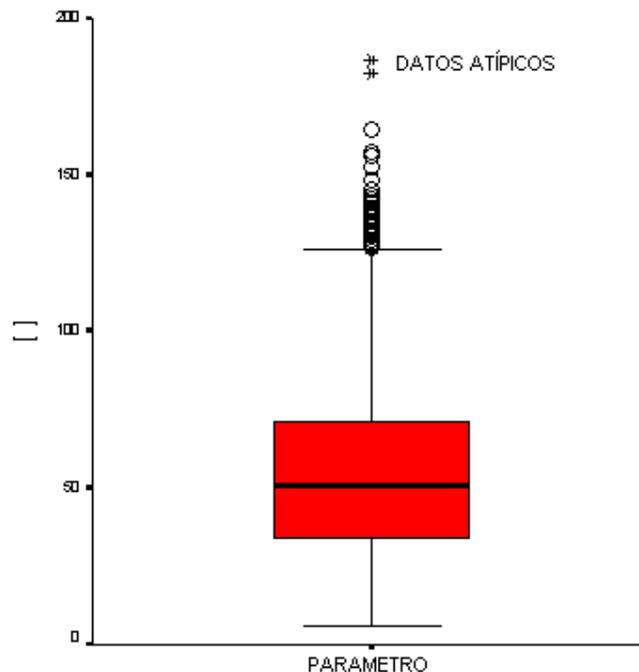
HORA	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango Intercuartílico	limite mín de validación	limite máx de validación
0	65,93	57,01	1,71	805,09	52,76	1,71	215,29
1	61,28	52,62	1,71	699,69	49,17	1,71	200,13
2	58,82	50,55	1,47	843,63	46,15	1,47	189,00
3	56,69	48,16	1,71	467,80	45,98	1,71	186,09
4	56,24	48,48	1,83	895,37	44,77	1,83	182,79
5	57,27	49,20	1,67	987,58	45,79	1,67	186,57
6	62,94	53,97	1,71	943,39	50,27	1,71	204,77
7	79,01	67,15	2,00	974,48	66,00	2,00	265,14
8	98,81	84,53	2,44	766,01	78,31	2,44	319,46
9	97,85	85,03	2,23	515,42	76,27	2,23	313,84
10	85,80	75,24	3,38	466,22	65,47	3,38	271,63
11	73,48	65,08	2,28	338,54	56,14	2,28	233,49
12	67,29	61,50	3,13	605,66	50,96	3,13	214,38
13	65,78	59,50	1,79	418,03	50,69	1,79	211,57
14	66,04	58,88	1,71	337,37	52,47	1,71	216,29
15	65,77	59,52	1,60	336,44	50,89	1,60	212,20
16	66,33	60,60	1,79	351,73	51,45	1,79	214,95
17	67,12	61,65	2,61	362,56	50,87	2,61	214,24
18	67,61	62,19	1,71	378,51	51,75	1,71	217,44
19	68,00	63,01	1,63	445,67	51,52	1,63	217,57
20	69,01	63,29	1,67	452,71	52,75	1,67	221,53
21	69,41	63,90	1,71	384,00	53,64	1,71	224,82
22	70,34	63,25	1,79	782,46	56,32	1,79	232,21
23	68,68	60,72	1,75	732,15	54,38	1,75	223,86

7.2 Verificación de datos atípicos.

Otra herramienta de gran ayuda en el momento de la verificación de los datos, es la visualización de los datos atípicos, es decir aquellos que se encuentran fuera del comportamiento normal del parámetro para un periodo específico.

Lo anterior se realiza mediante un diagrama de cajas, que permitirá identificar los datos atípicos como se muestra en la Figura No. 12, donde se representan como asteriscos. Una vez identificados en la base de datos, se deben verificar por el validador para establecer si en realidad deben ser invalidados o por el contrario se corresponden a datos de un evento puntual presentado en el área de monitoreo, lo cual se ve reflejado en la serie de datos, como por ejemplo un dato registrado por un incendio o por un problema de orden público, etc.

Figura No. 12 Diagrama de caja

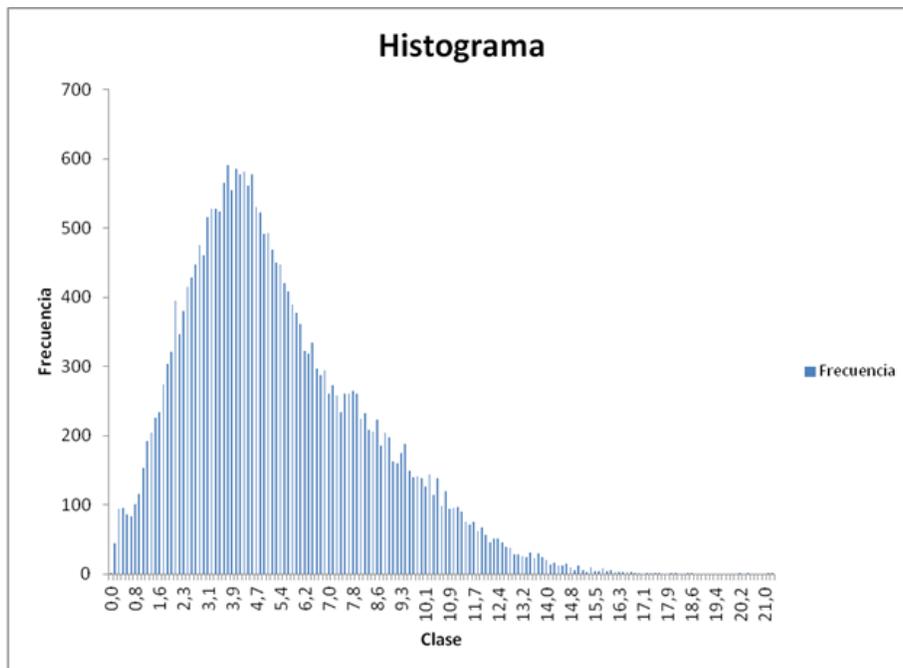


7.3 Otras.

Otras ayudas que pueden ser de importancia para la validación de los datos y para cuantificar la correlación que se presenta al realizar la comparación entre diferentes variables o de una misma variable monitoreada en diferentes sitios, son las medidas de asociación tales como la de Pearson o la de Spearman. Estas herramientas también pueden ser de ayuda en el momento de evaluar la necesidad de realizar el traslado de una estación que está muy cercana a otra. Para ver un ejemplo y la explicación detallada de de estas medidas de asociación remitirse al anexo 2.

También se podrá utilizar histogramas con el fin de visualizar el comportamiento de los datos, que deben de obedecer a un comportamiento normal, donde se visualizará el rango de mayor frecuencia donde se presentan los datos como se visualiza en la siguiente figura.

Figura No. 13 Histograma



8 Estandarización de la nomenclatura para los parámetros asociados a los SVCA.

Es importante que dentro de todos los SVCA se maneje el mismo lenguaje en cuanto a las siglas con las cuales se identifican los diferentes parámetros de calidad del aire, así como las variables meteorológicas; en las tabla 9 y 10 se encuentra la nomenclatura que se deberá implementar, el nombre del parámetro o variable y las unidades en las cuales se deberá realizar el reporte de la información, con su respectiva descripción.

Tabla No. 9 Nomenclatura de parámetros de calidad del aire.

Nomenclatura	Nombre	Unidades	descripción unidades
PST	Partículas Totales en Suspensión	µg/m3	microgramo por metro cúbico
PM10	Partículas suspendidas menores a 10 micras	µg/m3	microgramo por metro cúbico
PM2,5	Partículas suspendidas menores a 2.5 micras	µg/m3	microgramo por metro cúbico
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno	µg/m3	microgramo por metro cúbico
SO ₂	Dióxido de Azufre	µg/m3	microgramo por metro cúbico
CO	Monóxido de Carbono	µg/m3	microgramo por metro cúbico
O ₃	Ozono	µg/m3	microgramo por metro cúbico
HCT	Hidrocarburos Totales expresados como metano	µg/m3	microgramo por metro cúbico
C ₆ H ₆	Benceno	µg/m3	microgramo por metro cúbico
C ₆ H ₅ CH ₃	Tolueno	µg/m3	microgramo por metro cúbico
Cd	Cadmio	µg/m3	microgramo por metro cúbico
Pb	Plomo y sus compuestos	µg/m3	microgramo por metro cúbico
Hg	Mercurio	µg/m3	microgramo por metro cúbico
V	Vanadio	µg/m3	microgramo por metro cúbico

Tabla No. 10 Nomenclatura Variables Meteorológicas.

Meteorología			
Nomenclatura	Nombre	Unidades	descripción unidades
TMP2	Temperatura Ambiente a 2 m	° C	grados Celsius
TMP_DIFh	Temperatura Ambiente a diferente altura	° C	grados Celsius
PRCP	Precipitación	mm	milímetro
HUM_REL	Humedad Relativa	%	porcentaje
PRS_ATM	Presión Atmosférica	mmHg	milímetros de Mercurio
		hPa	hectopascal
VEL_VIE	Velocidad del Viento	m/s	metros por segundo
DIR_VIE	Dirección del Viento	°	grados
RGLO	Radiación Global	W/m2	vattios por metro cuadrado
RDif	Radiación difusa	W/m2	vattios por metro cuadrado
RDir	Radiación directa	W/m2	vattios por metro cuadrado
RDC_UV	Radiación Ultravioleta tipo B	W*s/m2	vattios segundo por metro cuadrado
BRL_SLR	Brillo Solar	h	Horas de sol al día

Anexos.

Anexo 1 Construcción de diagramas de cajas

Anexo 2 Medidas de Asociación (Pearson y Spearman)

Bibliografía.

1. Instituto de hidrología Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2005). Protocolo Para la Vigilancia y Seguimiento del Módulo Aire del Sistema de Información Ambiental.
2. Ministerio de Ambiente Vivienda y desarrollo territorial – MAVDT. (2010). Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad del aire.
3. EPA.(1998). Quality Assurance Handbook for air pollution Measurement systems, Volume II: Part I. Ambient Air Quality Monitoring Program Quality System Development.
4. Ministerio de Ambiente Vivienda y desarrollo territorial – MAVDT. (2010). Resolución 610 de 2010.