

**OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE DEL IDEAM PARA EL
DIAGNOSTICO, VERIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA
REPRESENTATIVIDAD EN CUANTO AL USO Y UBICACIÓN DE LA MISMA**

ANDRES FELIPE SANABRIA OROZCO

**INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES,
SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA – GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD
AMBIENTAL
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL, DIVISIÓN DE INGENIERIAS
BOGOTÁ D.C.
2012**

**OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE DEL IDEAM PARA EL
DIAGNOSTICO, VERIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA
REPRESENTATIVIDAD EN CUANTO AL USO Y UBICACIÓN DE LA MISMA**

ANDRES FELIPE SANABRIA OROZCO

**TRABAJO DE GRADO
MODALIDAD DE PASANTÍA**

**OSCAR ALEXANDER DUCUARA FALLA
Ing. AMBIENTAL Y SANITARIO
DIRECTOR**

**INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES,
SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA – GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD
AMBIENTAL
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL, DIVISIÓN DE INGENIERIAS
BOGOTÁ D.C.
2012**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 6 de Agosto de 2012

DEDICATORIA

Especialmente a mi Madre, Norma y mis hermanos, Margarita y Mauricio.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Oscar Alexander Ducuara Falla, docente de la Universidad Santo Tomas de Aquino y Grupo de Acreditación del IDEAM.

A la Doctora Martha Aldana, Directora del grupo de Laboratorio de Calidad de Aire del IDEAM.

Al Ingeniero Jorge Eduardo Arrieta Pearson, evaluador del proyecto de grado.

A Tomas Duque, estudiante de la Universidad Santo Tomas de Aquino.

A Diego Hurtado, estudiante de la Universidad Santo Tomas de Aquino.

Al grupo de docentes de la Universidad Santo Tomas de Aquino y al grupo laboratorio de Calidad Ambiental del IDEAM quienes ayudaron con el desarrollo del Proyecto.

A todas estas personas gracias por su apoyo incondicional durante cinco años de carrera profesional.

CONTENIDO	Pág.
1. RESUMEN	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. MARCO REFERENCIAL	14
3.1. MARCO CONTEXTUAL	14
3.1.1. ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS:	14
3.2. MARCO CONCEPTUAL	23
3.3. MARCO TEORICO	24
3.3.1. PROTOCOLO DE MONITOREO, FUNCIONAMIENTO Y USOS:	24
3.3.2. CLASIFICACION SEGÚN EL TIPO DE ESTACIÓN Y CRITERIOS PARA UNA DEBIDA UBICACIÓN E INSTALACIÓN:	29
3.3.3. Análisis Estadístico	34
3.4. MARCO LEGAL	38
4. OBJETIVOS	39
4.1. GENERAL	39
4.2. ESPECIFICOS	39
5. JUSTIFICACION	40
6. METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO	41
6.1. CAPACITACIÓN:	41
6.2. LABORATORIO:	41
6.3. MONITOREO	41
6.4. ANÁLISIS:	42
6.5. VALIDACIÓN:	42
6.6. RESULTADOS:	43
7. DESARROLLO DE LA PASANTIA	44
7.1. EQUIPOS HI-VOL PM ₁₀ (MANUAL):	44
7.2. EQUIPOS PM _{2.5} (PARTISOL 2000 SEMIAUTOMÁTICOS):	49
7.3. EQUIPO TRIGAS (NO ₂ Y SO ₂ - EQUIPO MANUAL):	54
8. BENEFICIO ECONOMICO	63

8.1.	CONSUMO ELÉCTRICO:.....	63
8.2.	FILTROS PARA MUESTREADOR HIGH-VOL:	64
8.3.	FILTROS PARA MUESTREADORES PARTISOL:	64
8.4.	REACTIVOS PARA SO ₂ :	64
8.5.	REACTIVOS PARA NO ₂ :	65
8.6.	FORMATOS DE CAMPO:	65
8.7.	TRANSPORTE:	65
8.8.	ALIMENTACIÓN:.....	66
9.	RESULTADOS OBTENIDOS	67
9.1.	FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO HI-VOL (PM ₁₀), SERIAL A29816..	68
9.2.	FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO HI-VOL (PM ₁₀), SERIAL A29817..	69
9.3.	FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO PM _{2.5} – PARTISOL 2000, SERIAL A29979.....	70
9.4.	FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO PM _{2.5} – PARTISOL 2000, SERIAL A29980.....	71
9.5.	FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO TRIGAS, MEDICIONES DE SO ₂ ..	72
9.6.	FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO TRIGAS, MEDICIONES DE NO ₂ .	73
9.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA PM ₁₀	75
9.8.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA PM _{2.5}	87
9.9.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA SO ₂	97
9.10.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA NO ₂	109
9.11.	CONCLUSION.....	119
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	121
	ANEXOS	123

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1. Tipos de áreas relativas a la clasificación de estaciones	30
Tabla No. 2. Tipos de estaciones de acuerdo a su representatividad temporal	30
Tabla No. 3. Tipos de estaciones según las emisiones donantes	30
Tabla No. 4. Especificaciones adicionales de la caracterización de estaciones ...	31
Tabla No. 5. Contaminantes de interés según el tipo de estación de medición fija	32
Tabla No. 6. Criterios para ubicar toma muestras y caminos de medición	33
Tabla No. 7. Consolidado muestras PM ₁₀	46
Tabla No. 8. Consolidado muestras PM _{2.5}	51
Tabla No. 9. Consolidado muestras NO ₂	56
Tabla No. 10. Consolidado muestras SO ₂	59
Tabla No. 11. Presupuesto estimado mensual para el monitoreo de calidad de aire en el IDEAM.....	56
Tabla No. 12. Formato de Ubicación equipo Hi-VolPM ₁₀ -Serial A29816	68
Tabla No. 13. Formato de Ubicación equipo Hi-VolPM ₁₀ -Serial A29817	69
Tabla No. 14. Formato de Ubicación equipo Partisol 2000 PM _{2.5} - Serial A29979	70
Tabla No. 15. Formato de Ubicación equipo Partisol 2000 PM _{2.5} - Serial A29980	71
Tabla No. 16. Formato de Ubicación Equipo Trigas Mediciones de SO ₂	72
Tabla No. 17. Formato de Ubicación Equipo Trigas Mediciones de NO ₂	73
Tabla No. 18. Análisis estadístico para PM ₁₀	75
Tabla No. 19 Resultados de Medidas de tendencia central y de dispersión para PM ₁₀	76
Tabla No. 20. Resultados CUSUM para PM ₁₀	83
Tabla No. 21. Análisis estadístico para PM _{2.5}	87
Tabla No. 22 Resultados de Medidas de tendencia central y de dispersión para PM _{2.5}	88
Tabla No. 23. Resultados CUSUM para PM _{2.5}	93
Tabla No. 24. Análisis estadístico para SO ₂	97
Tabla No. 25. Resultados de Medidas de tendencia central y de dispersión para SO ₂	98

Tabla No. 26. Resultados CUSUM para SO ₂	105
Tabla No. 27. Análisis estadístico para NO ₂	109
Tabla No. 28. Resultados de Medidas de tendencia central y de dispersión para NO ₂	110
Tabla No. 29. Resultados CUSUM para NO ₂	115
Tabla No. 30. Formato de Registro de Gravimetría PM ₁₀ y PM _{2.5}	132
Tabla No. 31. Resultados de calibración equipo A29816 21 de diciembre de 2011	133
Tabla No. 32. Resultados de calibración equipo A29817 21 de diciembre de 2011	135
Tabla No. 33. Resultados de calibración equipo A29816 21 de enero de 2012 ..	137
Tabla No. 34. Resultados de calibración equipo A29817 21 de enero de 2012 ..	139
Tabla No. 35. Resultados de calibración equipo A29816 25 de enero de 2012 ..	141
Tabla No. 36. Resultados de calibración equipo A29817 13 de marzo de 2012.....	132
Tabla No. 37. Hoja de Campo de Registro de Equipos Hi-Vol PM ₁₀	145
Tabla No. 38. Formato de Registro de Equipos PM _{2.5}	146
Tabla No. 39. Formato de Identificación y Caracterización de Muestras PM ₁₀ y PM _{2.5}	147
Tabla No. 40. Hoja de Registro de Campo de Verificación de Flujo Equipo Trigas	148
Tabla No. 41. Formato de Registro de Muestras Equipo Trigas.....	149
Tabla No. 42. Parámetros de estandarización	154
Tabla No. 43. Volúmenes a emplear para la preparación de la curva de calibración	165
Tabla No. 44. Parámetros de estandarización	177
Tabla No. 45. Tabla para curva de calibración	182
Tabla No.46. Hoja de Registro de Campo Equipo Trigas.....	187

LISTADO DE FIGURAS, IMÁGENES Y GRAFICAS

Imagen No. 1 Estación del IDEAM, ubicada en la Cra. 10 No. 20-30.....	29
Imagen No. 2. Ubicación geográfica de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá.	79
Figura No. 1 Equipos Hi-Vol PM ₁₀	15
Figura No. 2 Accesorios y Partes de los equipos Hi-Vol PM ₁₀	15
Figura No. 3. Equipos Muestreadores PM _{2.5} (Partisol 2000)	17
Figura No. 4 Accesorios y Partes de los Equipos Muestreadores PM _{2.5} (Partisol 2000)	18
Figura No. 5 Equipo Trigas	20
Figura No. 6 Accesorios y Partes del equipo Trigas.....	21
Figura No. 7. Rosas de Vientos para las estaciones No. 15 Usme y No. 16 Vitelma de la RMCAB	78
Figura No. 8. Rosa de Vientos para el departamento del Nariño	101
Grafica No. 1. Distribución muestral de las medidas de tendencia para PM ₁₀	76
Grafica No. 2. $\bar{X}$ Bar PM ₁₀	81
.....	81
Grafica No. 3. Gráfico CUSUM PM ₁₀	85
.....	85
Grafica No. 4. Distribución muestral de las medidas de tendencia para PM _{2.5}	88
Grafica No. 5. $\bar{X}$ Bar PM _{2.5}	91
Grafica No. 6. Gráfico CUSUM para PM _{2.5}	95
Grafica No. 7. Distribución muestral de las medidas de tendencia para SO ₂	98
Grafica No. 8. $\bar{X}$ Bar para SO ₂	103
Grafica No. 9. Grafico CUSUM para SO ₂	107
Grafica No. 10. Distribución muestral de las medidas de tendencia para NO ₂	110
Grafica No.11. $\bar{X}$ Bar NO ₂	113
Grafica No. 12. Método CUSUM para NO ₂	117
Grafica No. 13. Relación entre P1/Pa vs Caudal orificio (m ³ /min) 21-12-11	134
Grafica No. 14. Relación entre P1/Pa vs Caudal orificio (m ³ /min) 21-12-11	136

Grafica No. 15. Relación entre P1/Pa vs Caudal orificio (m^3/min) 21-01-12	138
.....	138
Grafica No. 16. Relación entre P1/Pa vs Caudal orificio (m^3/min) 21-01-12	140
.....	140
Grafica No. 17. Relación entre P1/Pa vs Caudal orificio (m^3/min) 25-01-12	142
Grafica No.18. Relación entre P1/Pa vs Caudal orificio (m^3/min) 13-03-12	144
.....	144

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN PREVIA AL MUESTREO Y PESADO INICIAL DEL FILTRO - EQUIPO PM _{2.5} PARTISOL 2000	123
ANEXO B: CHEQUEO AUTOMÁTICO DE FUGAS EXTERNAS - EQUIPO PM _{2.5} PARTISOL 2000	124
ANEXO C: CHEQUEO MANUAL DE FUGAS EXTERNAS - EQUIPO PM _{2.5} PARTISOL 2000	125
ANEXO D: VERIFICACIÓN DE FLUJO - EQUIPO PM _{2.5} PARTISOL 2000.....	126
ANEXO E: CHEQUEO DE FUGAS INTERNAS - EQUIPO PM _{2.5} PARTISOL 2000	127
ANEXO F: CAMBIO DE FILTRO - EQUIPO PM _{2.5} PARTISOL 2000.....	128
ANEXO G: PREPARACIÓN DEL FILTRO Y PESADO DEL FILTRO POSTERIOR AL MUESTREO-EQUIPO PM _{2.5} PARTISOL 2000	129
ANEXO H FORMATO DE CONTROL DE LA BALANZA DEL LABORATORIO DEL IDEAM	130
ANEXO I: FORMATO DE REGISTRO DE GRAVIMETRÍA - MUESTRAS PM ₁₀ Y PM _{2.5}	132
ANEXO J: CALIBRACIONES EQUIPOS HI-VOL PM ₁₀	133
ANEXO K: HOJA DE CAMPO DE REGISTRO EQUIPOS HI-VOL PM ₁₀	145
ANEXO L: FORMATO DE CAMPO DE REGISTRO DE EQUIPOS PM _{2.5}	146
ANEXO M: FORMATO DE IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS PM ₁₀ Y PM _{2.5}	147
ANEXO N: HOJA DE CAMPO DE REGISTRO VERIFICACIÓN DE FLUJO EQUIPO TRIGAS	148
ANEXO Ñ HOJA DE CAMPO DE REGISTRO DE MUESTRAS EQUIPO TRIGAS	149
ANEXO O: DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂) EN LA ATMOSFERA (MÉTODO PARARROSANILINA)	150
ANEXO P: DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO ₂) EN LA ATMOSFERA (MÉTODO GRIESS SALTZMAN)	174
ANEXO Q: HOJA DE CAMPO DE REGISTRO DEL EQUIPO TRIGAS.....	187

1. RESUMEN

Realizar un monitoreo de calidad de aire en Bogotá consta de varias características y se apoya en las entidades ambientales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM; para este caso, el desarrollo de este trabajo de grado, sus principales objetivos fueron evaluar el funcionamiento y estado actual de los equipos, determinar si en el momento de realizar el monitoreo de calidad de aire se cumple con lo estipulado en los protocolos establecidos y por ultimo analizar la representatividad que presenta la estación del IDEAM para realizar un optimo monitoreo de calidad de aire.

Después de realizar un monitoreo de calidad de aire durante cuatro meses entre Diciembre del 2011 y Marzo del 2012 (estipulado en el convenio), tiempo en el cual se utilizaron equipos Hi-VolPM₁₀, PM_{2.5} y un Equipo Tres Gases (manuales y semiautomáticos), determinando así el estado que presentaron los equipos y la verificación en cuanto a la instalación y ubicación de los mismos en la estación del IDEAM, ubicada en la Carrera 10 No. 20-30 piso 9. Para esto se determino por medio de análisis estadísticos si la ubicación y las muestras que se tomaron fueron representativas y validas para determinar un estado de contaminación en el área.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Sistema de Información sobre Calidad del Aire-SISAIRE y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM se encargan de registrar y analizar información relacionada con el estado de la Calidad del Aire en la ciudad de Bogotá y alrededor del País. De esta manera, el IDEAM tiene la función, entre otras, de registrar y estudiar estos datos por medio de diferentes equipos e instrumentos, realizar clasificaciones de determinados contaminantes por horas, días, semanas, meses y años en diferentes concentraciones y niveles permisibles según el Decreto 601 de 2006 y la Resolución 610 del 2010 en cuanto a la Calidad del Aire.

En este orden de ideas, con el desarrollo de este trabajo de grado se pretende realizar un diagnóstico que valide el estado actual y la funcionalidad de los equipos de monitoreo, así como verificar los requisitos estipulados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; todo lo anterior se realizara por medio de formatos que serán validados con los Protocolos de operación y manejo de los equipos; por ultimo y como síntesis del proceso se pretende analizar la representatividad de la estación del IDEAM por medio de análisis estadísticos y generar una visión del estado actual de la zona en que se encuentra ubicada la estación (Carrera 10 con Calle 20-30).

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. MARCO CONTEXTUAL

La Secretaria Distrital de Ambiente, como autoridad ambiental de Bogotá, cuenta con la red de monitoreo de calidad del aire (RMCAB), conformada por trece estaciones automáticas para la medición de contaminantes (PM₁₀, PST, SO₂, NO₂, CO y O₃). La cual obtiene datos diez-minutales de cada uno de los contaminantes mencionados. Adicionalmente, las estaciones están dotadas con sensores meteorológicos (dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, radiación y presión barométrica), que permiten analizar la información de calidad del aire con la meteorología de la región.¹

De esta manera el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial junto con el IDEAM en la ciudad de Bogotá cuenta con diversas estaciones de monitoreo de calidad de aire, en las cuales se determina el estado actual de contaminación del Aire en dichos lugares específicos donde se encuentran ubicadas. Además el IDEAM cuenta con estaciones de calidad de aire móviles que se desplazan por la ciudad realizando monitoreos en puntos específicos de la ciudad. En este caso y para la realización del Trabajo de Grado, se tomo la estación del IDEAM ubicada en la Carrera 10 No. 20-30 Piso 9.

3.1.1. ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS:

A continuación se expondrán los equipos que conforman la estación de monitoreo de calidad de aire mediante unas imágenes que demuestran el estado actual de cada uno de ellos. También se demostrara cada una de las partes de los equipos para el mejor entendimiento en todo el documento (todas las imágenes que se

¹COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES-IDEAM. Informe anual sobre el estado del Medio Ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia. (2002). Bogotá D.C. p 61

exponen a continuación fueron tomadas en la estación del IDEAM ubicada en el piso 9 en la Cra 10 No. 20-30)

3.1.2. Equipos Hi-Vol PM₁₀ (Manual):

Figura No. 1 Equipos Hi-Vol PM₁₀



FUENTE: Felipe Sanabria

Algunas partes de los equipos importantes son:

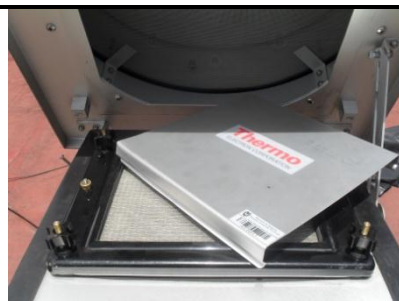
Figura No. 2 Accesorios y Partes de los equipos Hi-Vol PM₁₀



Este es el **Tamiz** del Equipo, donde se instala de forma manual el porta filtro asegurándolo con las cuatro clavijas.



El **Porta Filtro** y su **Protector**



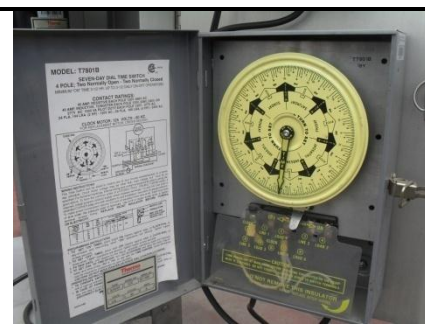
El **Gasómetro**, que mide la cantidad de gas que es succionado por la **Bomba** respectiva.



La **Carta Registradora de Eventos**, que registra las horas de monitoreo y el flujo de aire del equipo.



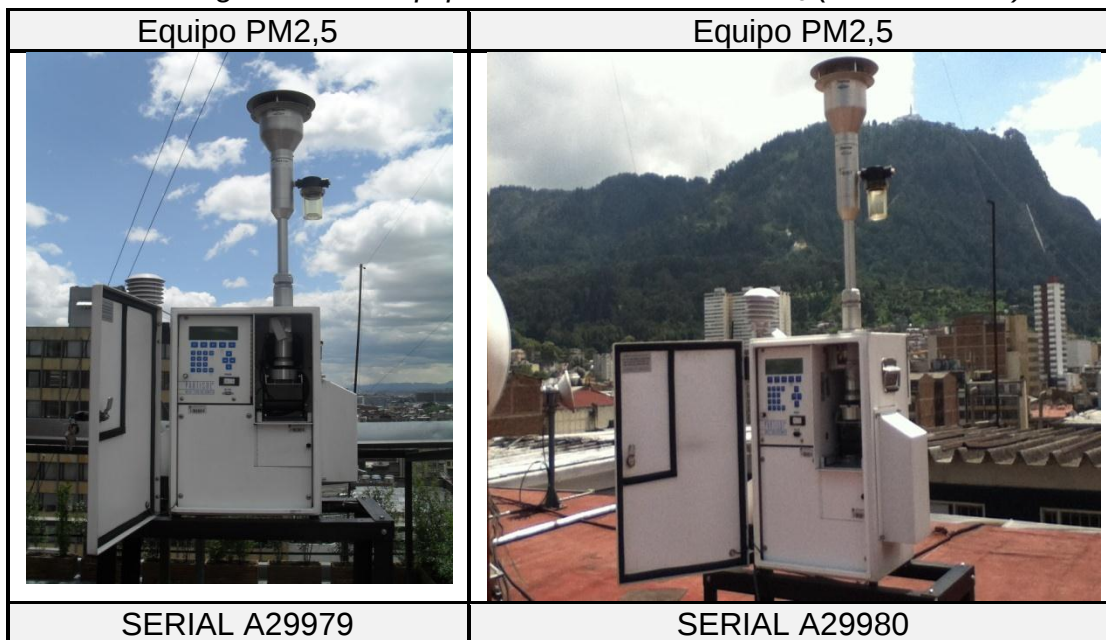
El **TIMER**, es el encendido y apagado del equipo, se puede activar y desactivar de forma manual o automática.



FUENTE: Felipe Sanabria

3.1.3. Equipos PM_{2.5} (Partisol 2000-Semi-automaticos):

Figura No. 3. Equipos Muestreadores PM_{2.5} (Partisol 2000)

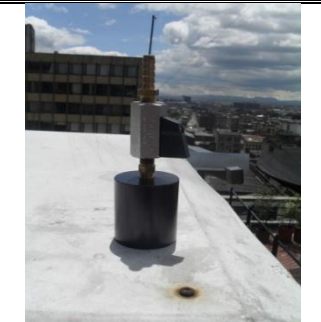


FUENTE: Felipe Sanabria

Algunas partes de los equipos importantes son:

Figura No. 4 Accesorios y Partes de los Equipos Muestreadores PM_{2.5} (Partisol 2000)

El Inlet, por donde entra el flujo de aire que succiona la bomba del equipo.	
Arriba, la Sonda de Muestra; abajo, la Plataforma donde va introducido el Filtro-Cassete.	
Este es el Display del equipo, donde se programan todas las operaciones que realiza el equipo.	
La Bomba de succión de aire del equipo.	

Los Cassetes y Porta Cassetes en donde va el Filtro de Teflon de 47mm introducido para el respectivo monitoreo.	
Equipo Bios 118982, es con el cual se realiza la verificación de Flujo (se utiliza también para cada uno de los orificios críticos del Trigas).	
Adaptador de auditoria de Flujo (57-000618), se utiliza para realizar las pruebas de fugas externas del equipo.	

FUENTE: Felipe Sanabria

3.1.4. Equipo Trigas TGP-0193 (NO₂ y SO₂- Equipo Manual):

Figura No. 5 Equipo Trigas

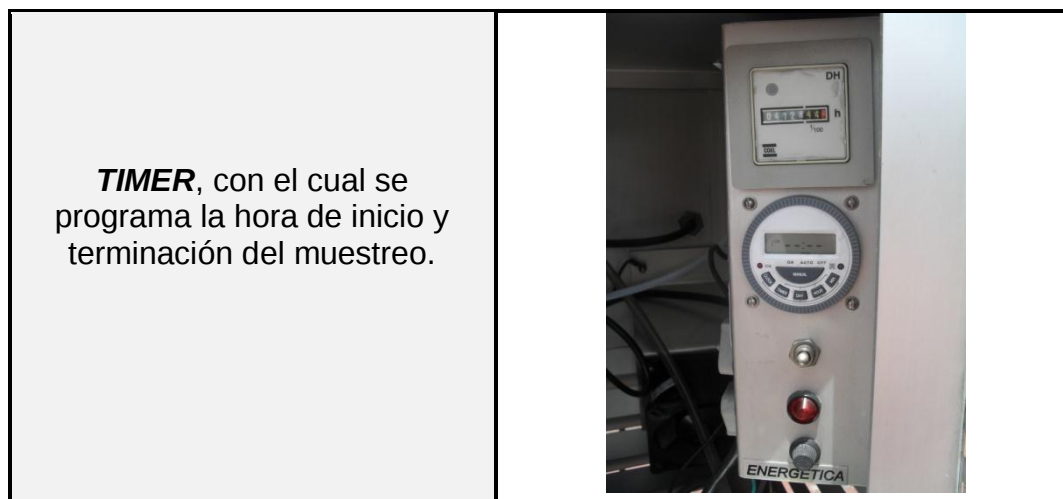


FUENTE: Felipe Sanabria

Algunas partes de los equipos importantes son:

Figura No. 6 Accesorios y Partes del equipo Trigas

Tren de Muestreo, SO₂, NO₂ y Agua	
Gasómetro, que mide el volumen de agua que ha pasado por el equipo.	
Vacuometro, mide la presión de succión interna del aire del equipo, la cual debe ser constante durante el muestreo.	



FUENTE: Felipe Sanabria

3.1.5. Antecedentes

No todos los equipos que se encuentran ubicados en la estación de monitoreo de Calidad de Aire del IDEAM están instalados desde la misma época, es decir, cada uno fue instalado en orden que se fuera adquiriendo o puesto a disposición por el MAVDT para el IDEAM:

- Equipo Hi-Vol PM₁₀ Serial No. A29817: Después de permanecer 1 año en el Laboratorio Ambiental del IDEAM este equipo fue instalado en la estación de calidad de aire los primeros días de Diciembre del 2011 para luego ser alternado cada 15 días con el otro equipo de esta categoría.
- Equipo Hi-Vol PM₁₀ Serial No. A29816: Este equipo lleva en el IDEAM aproximadamente 5 años en funcionamiento en la estación.
- Equipo PM_{2.5} (Partisol 2000) Serial No. A29979: Este equipo lleva en el IDEAM aproximadamente 5 años en funcionamiento en la estación.
- Equipo PM_{2.5} (Partisol 2000) Serial No. A29980: Después de permanecer 1 año aproximadamente en el Laboratorio Ambiental del IDEAM este equipo fue instalado en la estación de calidad de aire los primeros días de Diciembre del 2011 para luego empezar luego con el monitoreo continuo.

- **Equipo TGP 0193:** Este equipo lleva en la estación del IDEAM aproximadamente 1 año, puesto que antes de ser instalado allí, hacia parte de una estación móvil.

3.2. MARCO CONCEPTUAL

Carta Registradora de Eventos: Es un accesorio de papel que lleva el Equipo Hi-Vol PM₁₀ para registrar el numero de horas muestreadas y el flujo de aire del equipo.

Equipo Hi-Vol PM₁₀: Equipo muestreador de alto volumen encargado de monitorear partículas de diámetro igual o inferior a 10 μm . Pueden estar compuestas por aerosoles, polvos, metales, productos de combustión, etc.

Equipo PM_{2.5} (Partisol 2000): Equipo muestreador encargado de monitorear partículas de diámetro igual o inferior a 2,5 μm . El quipo en su funcionamiento simula el sistema respiratorio de un ser humano para determinar el daño que esta partícula genera.

Equipo Trigas: Es un equipo es un muestreador de tres gases (Dióxido de Nitrógeno - NO₂ y Dióxido de Azufre – SO₂) los cuales son absorbidos por unos químicos húmedos seleccionados para su debida técnica de análisis.

Filtro: Existen dos tipos de filtros, para el Equipo Hi-Vol PM₁₀ es un filtro PN G3000 en fibra de cuarzo PN GQMA y para el Equipo PM_{2.5} (Partisol 2000) es un filtro en teflón de 45mm. Estos filtros se instalan en los equipos y en el momento que termine el monitoreo se realiza análisis de gravimetría.

Gasómetro: es un accesorio de los equipos el cual mide el volumen de gas succionado por el equipo.

Inlet: Parte superior o cabezal de los equipos de Monitoreo de calidad de aire el cual lleva consigo orificios por donde entra el aire a analizar.

MAVDT: Abreviatura del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

TIMER: Es diferente para equipos Automáticos, Semi-automáticos y manuales pero cumple la misma función, encendido y apagado del equipo.

Prueba de Fugas: Es un procedimiento que se realiza en cada uno de los equipos para que el flujo de aire que entra al equipo sea el establecido y no presente irregularidades.

SISAIRE: Sistema de Información de Calidad de Aire.

Sonda de Muestreo: Solo en el Equipo PM_{2.5} (Partisol 2000) por donde circunda el aire al llegar al filtro.

3.3. MARCO TEORICO

3.3.1. PROTOCOLO DE MONITOREO, FUNCIONAMIENTO Y USOS:

Para empezar un monitoreo de Calidad del Aire se debe llevar a cabo un protocolo exigido por el MAVDT para que el Pre-Muestreo, Muestreo y Post-Muestreo sea válido y cumpla con los requisitos que exige la norma, el cual incluye las siguientes actividades:

3.3.1.1. Equipos Hi-Vol PM₁₀ (Manual):

Para el Pre-Muestreo:

- Verificar los cables de conexión y líneas de medición de presión no tengan roturas, fracturas, u otros defectos.
- Enchufe con conexión polo a tierra y voltaje compatible (110V).
- Realizar calibración de flujo y posteriormente procedimiento de calibración (se realiza cada vez que se haga cambio de escobillas al motor o cambio de motor) y realizar prueba de fugas.

Para el Muestreo:

- Preparar: Cartucho para el filtro (PN G3000), Filtro de fibra de cuarzo (PN GQMA), Carta registradora de eventos (en la cual se registra el serial del equipo, localización, hora y fecha de inicio y terminación) y hoja de campo.

- Inspeccionar si el filtro presenta agujeros o irregularidades (si las presenta desechar el filtro e Identificar cada uno de los mismos).
- Cargar el Cartucho con el Filtro de Cuarzo, es te paso se aflojan las cuatro tuercas de la cubierta, se inspecciona si hay depósitos de material extraño (si es el caso limpiar), depositar el filtro en la malla del cartucho por el lado “rugoso” (donde se deposita el material particulado), este proceso de cambio de filtro se realiza en un lugar donde no se encuentren corrientes de aire para evitar que se dañe el filtro.
- Transportar al sitio de muestreo
- Elevar el inlet y depositar el cartucho (inspeccionar si tiene irregularidades la malla del inlet, si esta comprimida o dañada)
- Remover el protector del cartucho y centrarlo en el tamiz del equipo, ajustar tornillos del cartucho.
- Después de instalar el filtro, abrir la puerta del equipo y colocar la carta registradora de eventos levantando el brazo de la pluma y colocándola a la hora que empezara el muestro (la EPA recomienda que el muestreo inicie a las doce de la medianoche) con la plumilla en ceros.
- Asegurarse que la carta registradora de eventos esté conectada a la línea de medición de presión de la carcasa del motor.
- Asegurarse que la pluma tenga tinta para la verificación de flujo.
- Apagar equipo y cerrar la puerta de la carta registradora de eventos y del equipo, bajar el inlet y asegurarlo.
- Encender equipo o utilizar el Timer.

Para el Post-Muestreo²:

- Registrar las condiciones del muestreo en la hoja de campo.
- Apagar equipo.

²COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM Procedimientos de Calibración de Equipos Destinados a las Mediciones de Calidad de Aire. Calibración y Manejo de Equipo PM₁₀ Hi-Vol CFV. Bogotá, D.C., 2008, p 7-8.

- Regresar al sitio de muestreo, librar las clavijas, elevar el inlet y retirar el cartucho con el filtro (si tiene instalar el protector del cartucho).
- Abrir la puerta del equipo y de la puerta registradora de eventos y retirarla.
- Completar hoja de campo.
- Determinar la tasa de operación del equipo
- Determinar la tasa de flujo del equipo.
- Determinar el tiempo (recomendado 24 ± 1 hora)
- Preparar el quipo para el monitoreo del día siguiente.

3.3.1.2. Equipos PM_{2,5} (Partisol 2000-Semi-automaticos):

Para el Pre-Muestreo:

- Preparación del filtro previa al muestreo (Ver Anexo A).
- Verificar que el equipo siempre este encendido en modo STOP.
- Determinar que no contenga humedad en el recipiente cercano al inlet.
- Verificar las conexiones eléctricas.

Para el Muestreo:

- Se realiza chequeo automáticos de fugas externas (Ver Anexo B)
- Se realiza chequeo manual de fugas externas (Ver Anexo C)
- Se realiza la verificación de flujo del equipo (Ver Anexo D)
- Se Realiza Chequeo de Fugas internas (Ver Anexo E, Todos los procedimientos anteriores se realizan cada 14 días según lo recomienda el fabricante del equipo.)
- Abrir el equipo, mover la manilla de intercambio hacia atrás para insertar el Filtro-Cassete en la plataforma. Después de introducir el Filtro-Cassete moverlo hacia adelante junto con la plataforma de tal manera que quede ajustado con la sonda de muestreo.
- El Filtro debe estar debidamente identificado con un código específico.

- Determinar en el display del equipo la hora de comienzo y final, fecha de comienzo y final, código del Filtro.

Para el Post-Muestreo³:

- Para el día siguiente después del monitoreo y para realizar el cambio del Filtro (Ver Anexo F).
- Para la Preparación del filtro posterior al muestre, (Ver Anexo G).
- Para el pesado del filtro posterior al muestreo, (Ver Anexo G)

3.3.1.3. Equipo Trigas (NO₂ y SO₂- Equipo Manual)

Para el Pre-Muestreo:

- Limpiar los tres impactadores, preferiblemente con detergente.
- Purgar los tres impactadores con las soluciones respectivas (TCM para SO₂ y Arsenito de Sodio para NO₂ e identificar cada uno de los mismos).
- A un impactador se le adiciona TCM para NO₂, al otro Arsenito de Sodio para SO₂ y al último agua destilada o ultra pura (se adicionan 50ml de solución para cada uno respectivamente midiéndolos con probetas diferentes e identificadas).
- Instalar cada uno de los impactadores con sus respectivas mangueras de entrada y salida libre.
- Fijar los tres impactadores con el fijador de resorte
- Prender manualmente el equipo y verificar si hay burbujeo, en caso de que no halla revisar las conexiones del equipo.
- Asegurar que haya contacto térmico de los tres impactadores, determinar la protección contra lluvia para evitar problemas.
- Programar el TIMER para un periodo de 24 ± 1 hora.

³COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM Procedimientos de Calibración de Equipos Destinados a las Mediciones de Calidad de Aire. Calibración y Manejo de Equipo Partisol M2000. Bogotá D.C., 2008, p. 4-6, 13-17.

- Registrar la fecha, hora de inicio en las respectivas hojas de campo del equipo.

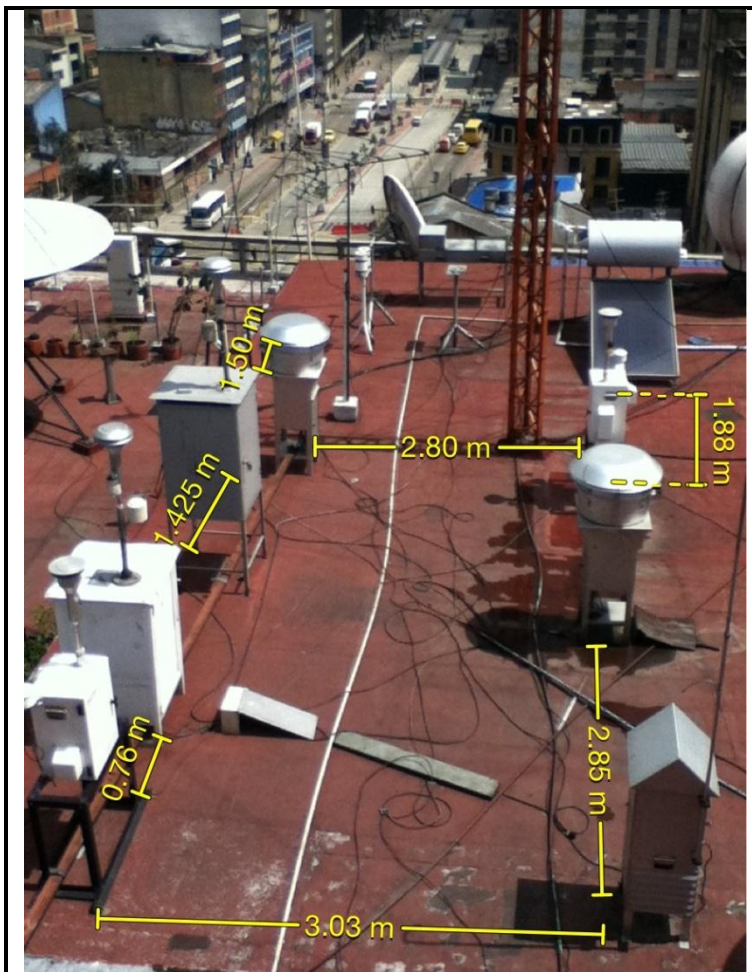
Para el Muestreo⁴:

- Retirar cada uno de los impactadores (mientras este apagado), evitando la luz directa del sol durante la toma de muestras.
- Revisar si el equipo tiene perdidas por evaporación; si el equipo presenta un volumen menor a 35ml, la muestra es descartada.
- Si las muestras, muestrearon más de 25 horas o menos de 23, la muestra se descarta.
- Se retiran los sujetadores de los tres impactadores.
- Se llevan a un lugar donde no esté la luz del sol.
- Se trasvasan las muestras a recipientes limpios.
- Se fijan los tres impactadores de nuevo al equipo y se lavan de nuevo con detergente y se purgan con las soluciones respectivas.
- Se marcan los recipientes con las fechas, gas contaminante y lugar (el transporte en neveras portátiles).
- Se recomienda que la cadena de frio que se hace con las neveras no superen 5°C así sea en el laboratorio para su posterior análisis.

⁴ RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE AIRE. Protocolo para el Muestreo de Dióxido de Azufre (SO₂) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂) utilizando el Equipo Tres Gases. Páginas 3-5

3.3.2. CLASIFICACION SEGÚN EL TIPO DE ESTACIÓN Y CRITERIOS PARA UNA DEBIDA UBICACIÓN E INSTALACIÓN:

Imagen No. 1 Estación del IDEAM, ubicada en la Cra. 10 No. 20-30



FUENTE: Felipe Sanabria

Para diferenciar y caracterizar el tipo al que pertenece una estación de monitoreo de calidad de aire, se conocen niveles y clases de estaciones que facilitan en el entendimiento para el diseño de las mismas:

3.3.2.1. Nivel 1: Clasificación de estaciones según el tipo de área

Tabla No. 1. Tipos de áreas relativas a la clasificación de estaciones

TIPO DE AREA	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.

FUENTE: Resolución 2154 de 2010 – MAVDT

3.3.2.2. Nivel 2: Según el Tipo de Muestreo

Tabla No. 2. Tipos de estaciones de acuerdo a su representatividad temporal

TIEMPO	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.

FUENTE: Resolución 2154 de 2010 – MAVDT

3.3.2.3. Nivel 3: Clasificación de estaciones según las emisiones donantes

Tabla No. 3. Tipos de estaciones según las emisiones donantes

TIPO DE AREA	DESCRIPCIÓN
De Tráfico	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido está determinado principalmente por las emisiones del tráfico cercano.
Punto Crítico	Estaciones ubicadas a nivel de suelo de apoyo a estudios epidemiológicos.
Industrial	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido está influenciado significativamente por las emisiones cercanas de fuentes industriales.

De Fondo	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido no está significativamente influenciado por Por ejemplo, estaciones ubicadas en un centro urbano que están bajo la influencia de fuentes que influyen en estas estaciones debido al régimen de vientos. fuente o calle alguna, pero sí por la contribución de las indirecta del tráfico o procesos de combustión debido a la dirección del viento, o estaciones ubicadas en áreas rurales influenciadas por centros urbanos o áreas industriales debido al régimen de vientos. También serán consideradas de fondo, estaciones que se encuentran vientos arriba de la fuente evaluada.
-----------------	---

FUENTE: Resolución 2154 de 2010 – MAVDT

3.3.2.4. Nivel 4: Información adicional

Tabla No. 4. Especificaciones adicionales de la caracterización de estaciones

TIPO DE AREA	DESCRIPCIÓN
Urbana y suburbana	Población
Tráfico	Distancia (m) al sardinel y ancho de la calle o carretera, entre sardineles. 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 o tráfico promedio diario (vehículos/día), en ambas direcciones, como promedio anual diario (AADT) Velocidad del tráfico típico (Km/h), indicando la franja horaria. Fracción de vehículos pesados (%), promedio diario a lo largo del año.
Industrial	Tipo de industria, distancia a las fuentes (Km) y dirección a las fuentes (en grados) en Azimut
Punto Crítico	Altura sobre el suelo, tipo de fuente evaluada, calle encajonada y/o calle libre
Indicativas	Tiempo de monitoreo y condiciones meteorológicas de la medición (seco, húmedo)
Rurales de Fondo	Cercanas a centros urbanos o clasificadas como regionales
En todas las Estaciones	Representatividad espacial de la estación. Objetivos de la medición y tecnología de medición

FUENTE: Resolución 2154 de 2010 – MAVDT

3.3.2.5. Contaminantes de interés según el tipo de estación

Tabla No. 5. Contaminantes de interés según el tipo de estación de medición fija

TIPO DE AREA	TIPO DE ESTACION	CONTAMINANTES DE MAYOR INTERES	
Urbana	Tráfico	NO2, PM10, PM2.5, CO y VOCs	
	Industrial	NO2, PM10, PM2.5, SO2 y VOCs, metales pesados y contaminantes específicos de las emisiones de las industrias en cuestión.	
	Punto Crítico	PM10, PM2.5, CO, O3	
	Fondo	NO2, PM10, PM2.5, SO2, CO, VOCs y O3	
Suburbana	Tráfico	NO2, PM10, PM2.5, CO y VOCs	
	Industrial	NO2, PM10, PM2.5, SO2 y VOCs, metales pesados y contaminantes específicos de las emisiones de las industrias en cuestión.	
	Fondo	NO2, VOCs, O3 ,PM10 y PM2.5	
Rural	Tráfico	NO2, NOX y VOCs	
	Industrial	NO2, PM10, PM2.5, SO2 y VOCs, metales pesados y contaminantes específicos de las emisiones de las industrias en cuestión.	
	Fondo	Cerca A Centros Urbanos	Sin determinar
		Regional	NO2, SO2, O3, NH3, deposición ácida, SO4, NO3 y PM2.5
		Remota	O3, CFCs, compuestos de S y N relacionados con la deposición ácida, y también niveles de fondo de Material Particulado y VOCs

FUENTE: Resolución 2154 de 2010 – MAVDT

Adicionalmente, para la ubicación de todos y cada uno de los equipos el IDEAM se aplican de los parámetros establecidos por la EPA CFR 40, y los estipulados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT los cuales determinan alturas, distancias entre equipos, distancias de obstáculos y demás parámetros que se necesitan cumplir para determinar un monitoreo real y con muestras representativas. Para esto se toma primera referencia la siguiente tabla:

Tabla No. 6. Criterios para ubicar toma muestras y caminos de medición

Contaminante	Escala de Vigilancia (Longitud máxima del camino de medición en metros)	Altura desde el piso al toma muestra horizontal o vertical, u 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* (metros)	Distancia desde el toma muestra o desde el camino de medición^a a los árboles cercanos (metros)
CO_{d e g}	Micro, media (300) Vecindario (1000)	3 ± 0.5 (micro, cerca de vías) 3 – 15 (otras escalas)	>1	>10
O_{3 c d e}	Media (300) Vecindario, urbana y regional (1000)	3 -- 15	>1	>10
Precursores de O_{3 c d e}	Vecindario y urbana - 1000	3 -- 15	>1	>10

NO₂ ^{c d e}	Media (300) Vecindario y urbana - 1000	3 -- 15	>1	>10
PM₁₀ ^{c d e f H y} PM_{2,5} ^{c d e f H i}	Micro, Media, Vecindario, Urbana y Regional	2 – 7 (micro) 2 – 15 (otras)	>2 (todas las escalas, solo distancia horizontal)	>10 a todas las escalas

FUENTE: Resolución 2154 de 2010 – MAVDT

Donde:

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.

Para determinar la representatividad de la estación de monitoreo de Calidad de Aire del IDEAM en cuanto a su ubicación e instalación en base a los resultados obtenidos en los cuatro meses de pasantías, se realizaran análisis estadísticos en determinando el comportamiento o distribución de cada uno de los contaminantes que se tuvieron en cuenta en el trabajo de grado.

3.3.3. Análisis Estadístico

Se realiza un análisis estadístico para determinar la representatividad de la estación en cuanto al cumplimiento de los protocolos monitoreo y de ubicación e instalación y los debidos resultados de las muestras de cada uno de los

contaminantes analizados, se optó por realizar un análisis estadístico detallado determinando las medidas de tendencia central (media, mediana y moda) junto con las medidas de dispersión de (desviación estándar, varianza y Cp), y por medio de las cartas de control de Shewharth determinar si las muestras analizadas se encuentran bajo control estadístico y guardan un comportamiento definido siendo así la estación representativa. Para entender mejor este análisis, algunas definiciones básicas serán expuestas a continuación:

3.3.3.1. Media:

Es el valor que ocupa el lugar central de todos los datos cuando están ordenados de menor a mayor.⁵

3.3.3.2. Mediana:

La mediana es el punto central de una serie de datos ordenados de forma ascendente o descendente.⁶

3.3.3.3. Moda:

La moda de un conjunto de datos numéricos, es el valor que más se repite, es decir, el que tiene el mayor número de frecuencias. La moda puede ser no única e inclusive no existir.⁷

⁵ COLOMBIA. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE. SANTIAGO DE CALI. Consulta deficnion Media [En Linea] <http://www.vitutor.com/estadistica/descriptiva/a_9.html> [Consultado el 05 de Julio de 2011]

⁶ MEXICO. FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION. UNAM. Consulta de definiciones de Estadística Descriptiva [En Linea] <http://www.fca.unam.mx/docs/apuntes_matematicas/34.%20Estadistica%20Descriptiva.pdf> [Consultado el 05 de Julio de 2012]

⁷ MEXICO. FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION. UNAM. Consulta de definiciones de Estadística Descriptiva [En Linea] <http://www.fca.unam.mx/docs/apuntes_matematicas/34.%20Estadistica%20Descriptiva.pdf> [Consultado el 05 de Julio de 2012]

3.3.3.4. Rango:

El rango de una distribución es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la variable estadística.⁸

3.3.3.5. Desviación Típica o Estándar:

Es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores puntuales del promedio en una distribución. De hecho, específicamente, la desviación típica es "el promedio de la distancia de cada punto respecto del promedio".⁹

3.3.3.6. Varianza:

La varianza mide la mayor o menor dispersión de los valores de la variable respecto a la media. Cuanto mayor sea la varianza mayor dispersión existirá y por tanto, menor representatividad tendrá la media aritmética. La varianza se expresa en las mismas unidades que la variable analizada, pero elevadas al cuadrado.¹⁰

3.3.3.7. Asimetría:

Esta medida permite identificar si los datos se distribuyen de forma uniforme alrededor de la Media. La asimetría presenta tres estados diferentes, cada uno de los cuales define de forma concisa como están distribuidos los datos respecto al

⁸MEXICO. FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION. UNAM. Consulta de definiciones de Estadística Descriptiva [En Línea]

<http://www.fca.unam.mx/docs/apuntes_matematicas/34.%20Estadistica%20Descriptiva.pdf>

[Consultado el 05 de Julio de 2012]

⁹UNIVERSIDAD DEL ORIENTE NUCLEO SUCRE, VENEZUELA. Consultata definiciones de la estadística descriptiva [En Línea] <[http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/593/1/TESIS_MRyNR--%5B00530%5D--\(tc\).pdf](http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/593/1/TESIS_MRyNR--%5B00530%5D--(tc).pdf)> [Consultado el 05 de 2012]

¹⁰MEXICO. FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION. UNAM. Consulta de definiciones de Estadística Descriptiva [En Línea]

<http://www.fca.unam.mx/docs/apuntes_matematicas/34.%20Estadistica%20Descriptiva.pdf>

[Consultado el 05 de Julio de 2012]

eje de asimetría. Se dice que la asimetría es positiva cuando la mayoría de los datos se encuentran por encima del valor de la media aritmética, la curva es Simétrica cuando se distribuyen aproximadamente la misma cantidad de valores en ambos lados de la media y se conoce como asimetría negativa cuando la mayor cantidad de datos se aglomeran en los valores menores que la media.¹¹

3.3.3.8. Curtosis:

Esta medida determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución. Por medio del *Coeficiente de Curtosis*, se puede identificar si existe una gran concentración de valores (*Leptocúrtica*), una concentración normal (*Mesocúrtica*) ó una baja concentración (*Platicúrtica*).

3.3.3.9. Control Estadístico

Se dice que un sistema o proceso se encuentra bajo control estadístico si las variaciones de un parámetro están dentro del rango de espera determinando así, de acuerdo con diferentes características conocidas, si en un determinado sitio o lugar se encuentra en mal estado o se han realizado procedimientos no satisfactorios para alguna industria y poder determinar su respectiva solución o reparación. El control estadístico en un sistema implica el cumplimiento de tres condiciones básicas:

- 1) La variabilidad de los resultados en la medición de una característica del proceso o sistema, se debe sólo a un conjunto de causas aleatorias, que es inherente a cada proceso o sistema en particular.
- 2) El sistema de causas aleatorias que actúa sobre el proceso o sistema genera un universo de observaciones (mediciones) que tiene una distribución conocida, que en la mayoría de los casos corresponde a la distribución normal.

¹¹SPSS COLOMBIA. Consulta de Definiciones Asimetría y curtosis. [En Línea] <<http://www.spssfree.com/spss/analisis3.html>> [Consultado el 05 de Julio de 2012]

3) Las alteraciones del proceso o sistema, por fuera de su comportamiento típico, se deben exclusivamente a causas asignables.

La determinación del estado de control estadístico de un proceso o sistema se puede determinar a partir de una observación del comportamiento del mismo en las cartas de control o Cartas de Shewhart.

3.4. MARCO LEGAL

- Resolución 2154 de 2010 del MAVDT, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire – manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.
- Resolución 1732 de 2007 del MAVDT, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

4. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

Evaluar en términos de funcionalidad y operación, el monitoreo de Calidad del aire en la estación del IDEAM ubicada en la Carrera 10 con Calle 20-30, piso 9.

4.2. ESPECIFICOS

- Evaluar el funcionamiento y estado de los equipos de la estación del IDEAM.
- Analizar la representatividad que presenta la estación de calidad de aire del IDEAM para monitorear en el área de influencia directa.
- Verificar el cumplimiento de los mínimos requisitos aplicables al monitoreo de la Calidad del Aire por medio de formatos.

5. JUSTIFICACION

El monitoreo de la Calidad del Aire en una ciudad como Bogotá es de vital importancia no sólo para el Estado, sino también para los sectores productivos y la comunidad en general. El conocer el estado de la calidad del Aire, la contaminación presente, los efectos adversos que se provocan, las consecuencias del parque automotor que transita y demás problemas que se generan donde se encuentra ubicada la estación del IDEAM (Carrera 10 No. 20-30, Piso 9) son esenciales para la determinación de acciones que propendan por el mejoramiento de la calidad del recurso Aire.

Además, por medio de este trabajo de grado se podrán determinar diferentes parámetros importantes antes de realizar el monitoreo como los requisitos mínimos de ubicación y localización de los equipos como el Hi-Vol PM₁₀; a partir del desarrollo del trabajo de grado se realizarán los formatos para determinar una validación correspondiente según los Protocolos establecidos. De esta manera, también se realizará monitoreo con equipos tres gases, y PM_{2.5}, para determinar el estado de calidad del aire y posteriormente verificar el cumplimiento normativo en cuanto a emisiones por parte de las actividades cercanas.

6. METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO

El monitoreo en la estación de calidad de aire del IDEAM, ubicada en la Carrera 10 no. 20-30, se llevó a cabo durante cuatro meses, los cuales están estipulados en el convenio de la Pasantía entre la Universidad Santo Tomas de Aquino y el IDEAM.

6.1. CAPACITACIÓN:

En Primera instancia se realizó la debida inducción, para conocer todos y cada uno de los equipos que fueron utilizados (Dos equipos Partisol 2000 de $PM_{2.5}$, Dos Equipos Hi-Vol PM_{10} y un Equipo Trigas) sus partes, su debido funcionamiento, su calibración, el mantenimiento requerido, su idónea manipulación y su respectivos accesorios para uso diario.

6.2. LABORATORIO:

Después de conocer el funcionamiento y demás adecuaciones de los equipos, el paso a seguir fue el acondicionamiento de filtros, reactivos necesarios (que se utilizan solo para el Equipo Trigas), cuidados respectivos con lo manipulado en el laboratorio y su debido transporte hasta la Estación.

6.3. MONITOREO:

El convenio de Pasantía con el IDEAM se firmó el 1 de Diciembre de 2011 con una duración de cuatro meses, es decir hasta el 31 de Marzo del 2012. Por las diferentes adecuaciones anteriormente mencionadas de cada uno de los equipos el monitoreo empezó en diferentes fechas pero en un rango de hora entre 08:00am y 10:00am domingo a domingo:

- Calibración de los Muestreadores de alto volumen Hi-Vol de Material Particulado menor a 10 micras, P5552 y P5555 (con serial del Ministerio de Medio Ambiente A29817 y a29816 respectivamente) se realizaron el día 21 de Diciembre y empezó el monitoreo el día 22 de Diciembre de 2011.
- Los dos equipos Partisol 2000 (con serial del Ministerio del Medio Ambiente A29980 y A29979) encargados de la medición de Material Particulado Menor a 2,5 micras empezaron su el monitoreo el día 13 de Diciembre de 2011.
- El equipo Trigas, encargado de la medición de Dióxidos de Azufre (SO₂) y Dióxidos de Nitrógeno (NO₂) empezaron el día 14 de Diciembre de 2011

6.4. **ANÁLISIS:**

Para el transporte y debido análisis de las muestras colectadas semanalmente en la estación por cada uno de los equipos, se determinó que todos los días lunes se llevaran todas las muestras al Laboratorio del IDEAM ubicado en la Carrera 129 No. 22B-57 Int 17-18 Barrio Fontibón HB. Por último, todos los resultados obtenidos, análisis de laboratorio y justificaciones específicas del estado del aire en el lugar directo (Cra 10 No. 20-30) fueron plasmados en los informes mensuales entregados al IDEAM, donde se expusieron todos los procesos realizados día a día y mes por mes y en concentraciones reales.

6.5. **VALIDACIÓN:**

La validación en cuanto a la ubicación de cada uno de los equipos se realizó por medio de formatos los cuales se expondrán en los RESULTADOS DE LA PASANTIA.

6.6. RESULTADOS:

Según los protocolos de monitoreo de calidad del aire y los criterios de ubicación e instalación determinados por el MAVDT y por los cuales en el transcurso de la pasantía fueron vitales para un excelente monitoreo, registrando cada uno de los eventos para cada uno de los equipos y conociendo el estado actual de los mismos fue evidenciado en cada uno de los puntos expuestos en el trabajo de grado.

De ese modo, para determinar que la estación lleva consigo una representatividad vital para el IDEAM se realizó un análisis estadístico determinando en primera instancia las medidas de tendencia central (media, mediana y moda), junto con las medidas de dispersión (desviación típica o estándar y varianza) y las medidas asimetría y Curtosis, para posteriormente por medio de las del proceso de control estadístico determinando por medio de la variable de la Concentración si las variaciones en las mediciones se encuentran en el rango de acuerdo a las características establecidas o que llevan un comportamiento específico y para este caso determinar si en la estación se es representativa.

7. DESARROLLO DE LA PASANTIA

Cada uno de los equipos presenta una diferencia en sus calibraciones, adecuaciones, verificaciones y demás, por tal motivo se describirán a continuación en detalle lo realizado en la pasantía equipo por equipo:

7.1. EQUIPOS HI-VOL PM₁₀ (MANUAL):

Antes de empezar el con el monitoreo para este tipo de equipos, el primer paso es el acondicionamiento de filtros en Fibra de Cuarzo, con su debido pesaje antes del muestreo. El debido proceso de acondicionamiento de Filtros es el siguiente:

1. Los filtros deben llevar mínimo veinticuatro horas en un desecador con silica gel para retirar la humedad presente.
2. Encender la Balanza (para este caso fue una Balanza de Marca Sartorius ME 235 S y Serial A29784 DEL MAVDT) y esperar Diez minutos aproximadamente.
3. Realizar el control de la balanza exigido por las normas de Calidad del Laboratorio del IDEAM el cual consiste en pesar dos Clips de diferente tamaño y registrar el valor del peso el cual debe estar en el rango determinado por ellos mismos (Ver Anexo H).
4. Pesar cada uno de los filtros que se encuentran en el desecador tres veces y registrar del mismo modo humedad relativa y temperatura con sus respectivos promedios, para esto se utilizó un formato en el cual se evidencia este evento, (Ver Anexo I).
5. Después de conocer el peso de cada uno de los filtros, estos son identificados en la hoja de identificación de muestras (Ver Anexo M) y empacados en bolsas tipo “Ziploc” para evitar daños, rompimientos y adherencia de otro tipo de partículas.

Los dos equipos Hi-Vol PM₁₀ que se encontraban en la estación del IDEAM no se podían utilizar simultáneamente ya que por el alto voltaje que requerían la red eléctrica no alcanzaba a cubrir todo, de este modo se utilizaban los equipos cada quince días, es decir se utilizaba el equipo P5552 quince días y luego el equipo P5555 (con serial del Ministerio de Medio Ambiente A29817 y a29816 respectivamente). En el momento de conocer los equipos y después de saber que los equipos llevaban aproximadamente un año sin uso, lo primero que se hizo fue su debido mantenimiento y limpieza, posteriormente las calibraciones de cada uno de los equipos. (Ver Anexo J).

Después de realizar las calibraciones respectivas antes de empezar el monitoreo en el mes de Diciembre, se procede a realizar el monitoreo, el cual tiene los siguientes pasos:

1. Se determina la hora la cual se va a realizar el monitoreo (para este caso todos los equipos realizarían monitoreo entre las 08:00am – 10:00am)
2. Levantar el Inlet y retirar el cartucho de las cuatro clavijas y en un lugar donde no hallan corrientes de viento poner en el cartucho el Filtro y cubrir con el protector para ser puesto en el equipo (este procedimiento se realizó con Guantes de cirugía para evitar el daño o alteración del filtro).
3. Volver al lugar donde se encontraba el equipo e instalar el cartucho en el equipo, quitar el protector, ajustar las cuatro clavijas, bajar el inlet y ajustar sus debidos seguros.
4. Abrir la puerta de la carta registradora de eventos, instalar una nueva día a día debidamente identificada.
5. Prender el equipo (la utilización del TIMER del equipo no es necesaria, como se realizó el monitoreo continuo, el equipo se encendía y apagaba de forma manual) y registrar la fecha, hora,

temperatura, presión, etc. en las hojas de campo del equipo. (Ver Anexo K)

6. Al día siguiente, cuando se ha cumplido el tiempo requerido de monitoreo según la EPA, se registran los datos finales de la en la hoja de campo.
7. Retirar del equipo el cartucho, retirar el filtro del cartucho el filtro, empacarlo en una bolsa tipo “Ziploc”, para luego ser transportado al laboratorio para su debido análisis de gravimetría.
8. Repetir los pasos 2, 3, 4 y 5.

Después de realizar el monitoreo de calidad de aire respectivo para este contaminante durante los cuatro meses de pasantía, los datos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla No. 7. Consolidado muestras PM_{10}

CONSOLIDADO PM_{10}		
No.	FECHA	CONCENTRACIÓN
1	22-dic-11	34,441
2	23-dic-11	18,222
3	24-dic-11	-
4	25-dic-11	-
5	26-dic-11	-
6	27-dic-11	27,723
7	28-dic-11	26,666
8	29-dic-11	28,245
9	30-dic-11	23,666
10	31-dic-11	-
11	1-ene-12	-
12	2-ene-12	46,536
13	3-ene-12	47,207
14	4-ene-12	51,453
15	5-ene-12	69,621
16	6-ene-12	43,454
17	7-ene-12	43,010

18	8-ene-12	30,822
19	9-ene-12	29,097
20	10-ene-12	37,743
21	11-ene-12	78,180
22	12-ene-12	28,060
23	13-ene-12	24,617
24	14-ene-12	13,989
25	15-ene-12	24,963
26	16-ene-12	34,985
27	17-ene-12	59,442
28	18-ene-12	68,805
29	19-ene-12	58,541
30	20-ene-12	-
31	21-ene-12	-
32	22-ene-12	42,103
33	23-ene-12	40,057
34	24-ene-12	60,130
35	25-ene-12	52,729
36	26-ene-12	56,821
37	27-ene-12	43,323
38	28-ene-12	31,937
39	29-ene-12	32,219
40	30-ene-12	36,212
41	31-ene-12	29,826
42	1-feb-12	35,326
43	2-feb-12	45,557
44	3-feb-12	15,708
45	4-feb-12	57,150
46	5-feb-12	32,601
47	6-feb-12	40,619
48	7-feb-12	33,464
49	8-feb-12	-
50	9-feb-12	48,348
51	10-feb-12	68,064
52	11-feb-12	-
53	12-feb-12	-
54	13-feb-12	41,732
55	14-feb-12	47,929
56	15-feb-12	60,396

57	16-feb-12	73,850
58	17-feb-12	80,534
59	18-feb-12	61,005
60	19-feb-12	28,459
61	20-feb-12	48,911
62	21-feb-12	59,698
63	22-feb-12	28,673
64	23-feb-12	43,642
65	24-feb-12	-
66	25-feb-12	78,500
67	26-feb-12	71,339
68	27-feb-12	35,012
69	28-feb-12	40,773
70	29-feb-12	58,257
71	1-mar-12	29,418
72	2-mar-12	25,422
73	3-mar-12	15,330
74	4-mar-12	24,833
75	5-mar-12	26,701
76	6-mar-12	30,929
77	7-mar-12	23,417
78	8-mar-12	26,716
79	9-mar-12	51,367
80	10-mar-12	27,064
81	11-mar-12	13,148
82	12-mar-12	20,412
83	13-mar-12	28,513
84	14-mar-12	27,753
85	15-mar-12	22,874
86	16-mar-12	26,867
87	17-mar-12	31,443
88	18-mar-12	29,991
89	19-mar-12	39,912
90	20-mar-12	66,178
91	21-mar-12	49,032
92	22-mar-12	60,092
93	23-mar-12	-
94	24-mar-12	-
95	25-mar-12	42,015

96	26-mar-12	57,461
97	27-mar-12	80,490
98	28-mar-12	37,204
99	29-mar-12	25,440
100	30-mar-12	39,492
101	31-mar-12	15,217
CONCENTRACIÓN ANUAL		40,967

FUENTE: Felipe Sanabria

7.2. EQUIPOS PM_{2.5} (PARTISOL 2000 SEMIAUTOMÁTICOS):

Antes de realizar el monitoreo con los equipos de PM_{2.5} Partisol 2000, se deben acondicionar los filtros de Teflon de 45mm de la siguiente manera:

1. Cada uno de los filtros de teflón se introducen en cajas Petri, luego se introducen en los desecadores respectivos, identificándolos en las hojas de campo de identificación de filtros (Ver Anexo M) y separando las bolsas Ziploc para cada uno de los filtros. Este procedimiento de acondicionarlos dura 24 horas.
2. Al día siguiente se realiza el pesaje de cada uno de los filtros cumpliendo con el protocolo de la balanza Sartorius ME 235 S con serial A29784 del MAVDT. El pesaje se realiza tres veces como en los filtros en Fibra de Cuarzo del Equipo PM₁₀ (Ver Anexo I). Cuando son pesados, se empacan en las bolsas previamente identificadas con el código de cada filtro y listas para llevar a campo.

Los filtros, los Cassetes, el verificador de flujo Bios 118982 y demás accesorios son trasladados a la estación para empezar el monitoreo. Los equipos tenían un periodo relativamente largo sin utilizarse pero se encontraban en buen estado, sin necesidad de hacer unas pruebas que se realizan al momento de adquirir y/o

cuando los equipos tienen mucho tiempo de funcionamiento. De esta manera para empezar el monitoreo respectivo se realizarán las siguientes operaciones:

1. Se determina la hora a la cual se va a realizar el monitoreo (para este caso todos los equipos realizarían monitoreo entre las 08:00am – 10:00am).
2. Se abre la puerta del equipo y se verifica que el display esté en modo STOP, para empezar con el procedimiento.
3. Antes de introducir el filtro en la plataforma del equipo se realiza el chequeo automático de fugas externas como se describe detalladamente en, (Ver Anexo B). Este proceso se realizó cada 14 días.
4. Se realiza chequeo manual de fugas externas, (Ver Anexo C). Este proceso se realizó cada 14 días.
5. Se realiza la verificación de flujo del equipo, (Ver Anexo D). Este proceso se realizó cada 14 días.
6. Se Realiza Chequeo de Fugas internas, (Ver Anexo E). Este proceso se realizó cada 14 días.
7. Abrir el equipo, mover la manilla de intercambio hacia atrás para insertar el Filtro-Cassete en la plataforma. Introducir el Filtro-Cassete moverlo hacia adelante junto con la plataforma de tal manera que quede ajustado con la sonda de muestreo.
8. Fijar en el display del equipo la hora de comienzo y final, fecha de comienzo y final, código del Filtro.
9. Escribir en el formato de campo del equipo PM_{2,5} y registrar todos los eventos necesarios. Cerrar el equipo y dejar monitoreando.

Después de terminar el proceso para adecuar el muestreo, los equipos se dejan las 24 ± 1 hora que es establecido por la EPA para determinar una muestra real. Al día siguiente se realiza el mismo procedimiento de los pasos 2, 7, 8 y 9.

Con el filtro que se recoge diariamente se vuelve a su caja Petri de origen previamente identificado desde el laboratorio y se realizan los pasos anteriores con un nuevo filtro.

Posteriormente de realizar el monitoreo de calidad de aire respectivo para este contaminante durante los cuatro meses de pasantía, los datos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla No. 8. Consolidado muestras PM_{2.5}

CONSOLIDADO PM _{2.5}		
No.	FECHA	CONCENTRACIÓN
1	13-dic-11	25,339
2	14-dic-11	30,366
3	15-dic-11	25,542
4	16-dic-11	26,021
5	17-dic-11	21,599
6	18-dic-11	19,528
7	19-dic-11	12,612
8	20-dic-11	10,579
9	21-dic-11	7,875
10	22-dic-11	
11	23-dic-11	7,966
12	24-dic-11	10,574
13	25-dic-11	
14	26-dic-11	10,427
15	27-dic-11	11,151
16	28-dic-11	7,954
17	29-dic-11	9,247
18	30-dic-11	8,311
19	31-dic-11	4,243
20	1-ene-12	-
21	2-ene-12	13,834
22	3-ene-12	17,483
23	4-ene-12	17,365

24	5-ene-12	22,894
25	6-ene-12	17,631
26	7-ene-12	16,883
27	8-ene-12	22,660
28	9-ene-12	10,532
29	10-ene-12	25,823
30	11-ene-12	-
31	12-ene-12	8,501
32	13-ene-12	7,929
33	14-ene-12	4,369
34	15-ene-12	7,519
35	16-ene-12	14,887
36	17-ene-12	21,395
37	18-ene-12	22,367
38	19-ene-12	15,457
39	20-ene-12	-
40	21-ene-12	14,458
41	22-ene-12	19,574
42	23-ene-12	13,980
43	24-ene-12	18,327
44	25-ene-12	21,275
45	26-ene-12	19,747
46	27-ene-12	15,168
47	28-ene-12	-
48	29-ene-12	12,316
49	30-ene-12	11,043
50	31-ene-12	8,400
51	1-feb-12	11,381
52	2-feb-12	16,082
53	3-feb-12	6,844
54	4-feb-12	9,152
55	5-feb-12	11,444
56	6-feb-12	14,818
57	7-feb-12	11,100
58	8-feb-12	18,756
59	9-feb-12	16,662
60	10-feb-12	27,668
61	11-feb-12	19,105
62	12-feb-12	

63	13-feb-12	17,337
64	14-feb-12	19,581
65	15-feb-12	22,790
66	16-feb-12	
67	17-feb-12	32,486
68	18-feb-12	23,753
69	19-feb-12	17,430
70	20-feb-12	18,119
71	21-feb-12	20,131
72	22-feb-12	10,848
73	23-feb-12	10,392
74	24-feb-12	16,423
75	25-feb-12	26,035
76	26-feb-12	17,111
77	27-feb-12	12,620
78	28-feb-12	26,939
79	29-feb-12	23,933
80	1-mar-12	14,769
81	2-mar-12	8,500
82	3-mar-12	8,737
83	4-mar-12	12,183
84	5-mar-12	11,795
85	6-mar-12	13,060
86	7-mar-12	10,162
87	8-mar-12	12,927
88	9-mar-12	18,994
89	10-mar-12	12,812
90	11-mar-12	6,683
91	12-mar-12	7,934
92	13-mar-12	9,925
93	14-mar-12	9,345
94	15-mar-12	8,382
95	16-mar-12	11,415
96	17-mar-12	13,904
97	18-mar-12	10,950
98	19-mar-12	12,456
99	20-mar-12	14,539
100	21-mar-12	18,696
101	22-mar-12	20,797

102	23-mar-12	25,449
103	24-mar-12	-
104	25-mar-12	13,785
105	26-mar-12	19,022
106	27-mar-12	27,686
107	28-mar-12	12,121
108	29-mar-12	9,318
109	30-mar-12	13,963
110	31-mar-12	6,444
CONCENTRACIÓN ANUAL		15,315

FUENTE: Felipe Sanabria

7.3. EQUIPO TRIGAS (NO₂ Y SO₂- EQUIPO MANUAL):

Antes de empezar con el monitoreo para este equipo, el primer paso es preparar las soluciones absorbentes de contaminantes que llevarán los impactadores del equipo, estas soluciones fueron Tetracloro Mercurato de Potasio (TCM) para el caso de SO₂ y Trietanolamina para el caso de NO₂. Se validó un método para la preparación de las soluciones absorbentes de contaminantes por el grupo del Laboratorio del IDEAM (Ver Anexos O & P).

El Equipo Trigas TGP-0193 hacía parte de una estación móvil antes de hacer parte de la estación del piso noveno del IDEAM centro, llevaba un año aproximadamente sin uso y tenía más de cinco años de ser adquirido por el Ministerio de Medio Ambiente. Después de conocer cada una de las partes del equipo, su funcionamiento, principio y sus debidas calibraciones se hizo mantenimiento y limpieza.

La calibración de este equipo consiste en verificar si por los orificios críticos de cada uno de los impactadores entra el flujo de aire necesario para que la muestra sea representativa y real (el Rango de flujo de aire necesario para que el equipo

cumpla es de 0,18 – 0,21 L/min) y posteriormente chequear si el equipo presenta fugas. El monitoreo con este equipo consta de los siguientes pasos:

1. Se determina la hora la cual se va a realizar el monitoreo (para este caso todos los equipos realizarían monitoreo entre las 08:00am – 10:00am)
2. Se abre el equipo y se levanta el cabezal asegurándolo del lado izquierdo con la pata de fijación.
3. Se quitan los tres impactadores desconectándolos de las mangueras respectivas que se encuentran en el tren de muestreo y se lavan con agua ultrapura o destilada y jabón en polvo preferiblemente después devolver los tres impactadores al tren de muestreo del equipo. Realizar prueba de fugas nuevamente.
4. Realizar verificación de la entrada de flujo de aire en los orificios críticos (este procedimiento se realiza con un verificador de flujo de burbuja o como en este caso se realizó con un verificador de flujo electrónico de marca BIOS 118982) y registrar los datos obtenidos en la hoja de campo (Ver Anexo N), (si hay irregularidades o algún orificio no se encuentra en el rango, calibrar con unas pinzas hasta obtener el óptimo).
5. Retirar nuevamente los impactadores soltándolos de las mangueras respectivas del tren de muestreo del equipo para adicionar los reactivos (50ml en cada uno de los impactadores como se especifica en la validación de los métodos para determinar SO_2 y NO_2 en la atmosfera, y sus correspondientes reactivos, Ver Anexos O & P para SO_2 y NO_2 respectivamente) con el siguiente orden: Primer impactador Tetracloro Mercurato de Potasio (TCM) para SO_2 , segundo impactador Trietanolamina para NO_2 y por ultimo agua ultrapura (UP) para el ultimo impactador (este proceso se realiza con probetas debidamente identificadas para cada reactivo, haciendo purga para el impactador y para la probeta con el reactivo, utilizar guantes de cirugía, careta y en un lugar donde no de

luz solar directa). Volver a instalar los impactadores en el tren de muestreo del equipo.

6. Programar el TIMER del equipo en hora de encendido y apagado, cumpliendo el tiempo establecido por la EPA (24 ± 1 hora)
7. Una vez halla prendido el equipo, registrar todos las variables necesarias para el análisis tales como hora de comienzo del monitoreo, temperatura, presión barométrica, horometro, etc. En la hoja de campo del equipo (Ver Anexo Q). Cerrar el cabezal y la puerta del equipo.
8. Al día siguiente, cuando el tiempo se ha cumplido el tiempo requerido de monitoreo y el equipo se ha apagado. Levantar el cabezal del equipo, retirar los dos impactadores principales soltándolos de las mangueras.
9. Aforar cada una de las muestras respectivas con cada una des us probetas y en la hoja de campo de muestras (Ver Anexo Ñ), registrar el volumen de reactivo resultante.

Posteriormente de realizar el monitoreo de calidad de aire respectivo para este contaminante durante los cuatro meses de pasantía, los datos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla No. 9. Consolidado muestras NO₂

CONSOLIDADO NO₂		
No.	FECHA	CONCENTRACIÓN
1	14/12/2011	47,941
2	15/12/2011	58,930
3	16/12/2011	40,876
4	17/12/2011	41,622
5	18/12/2011	50,009
6	19/12/2011	15,660
7	20/12/2011	23,133
8	21/12/2011	18,706

9	22/12/2011	-
10	23/12/2011	22,752
11	24/12/2011	-
12	25/12/2011	-
13	26/12/2011	27,067
14	27/12/2011	21,571
15	28/12/2011	9,973
16	29/12/2011	13,326
17	30/12/2011	9,495
18	31/12/2011	6,898
19	01/01/2012	-
20	02/01/2012	18,493
21	03/01/2012	21,174
22	04/01/2012	28,285
23	05/01/2012	28,293
24	06/01/2012	37,097
25	07/01/2012	-
26	08/01/2012	-
27	09/01/2012	-
28	10/01/2012	45,155
29	11/01/2012	20,921
30	12/01/2012	13,508
31	13/01/2012	18,988
32	14/01/2012	-
33	15/01/2012	-
34	16/01/2012	22,594
35	17/01/2012	31,656
36	18/01/2012	36,089
37	19/01/2012	38,915
38	20/01/2012	-
39	21/01/2012	-
40	22/01/2012	-
41	23/01/2012	-
42	24/01/2012	-
43	25/01/2012	44,103
44	26/01/2012	31,128
45	27/01/2012	27,626
46	28/01/2012	14,612
47	29/01/2012	17,926

48	30/01/2012	12,344
49	31/01/2012	13,208
50	01/02/2012	20,827
51	02/02/2012	21,991
52	03/02/2012	15,487
53	04/02/2012	20,883
54	05/02/2012	12,779
55	06/02/2012	32,650
56	07/02/2012	-
57	08/02/2012	24,633
58	09/02/2012	18,076
59	10/02/2012	33,948
60	11/02/2012	-
61	12/02/2012	-
62	13/02/2012	31,459
63	14/02/2012	38,088
64	15/02/2012	41,653
65	16/02/2012	33,678
66	17/02/2012	45,955
67	18/02/2012	22,368
68	19/02/2012	20,217
69	20/02/2012	25,388
70	21/02/2012	38,741
71	22/02/2012	41,479
72	23/02/2012	30,248
73	24/02/2012	23,192
74	25/02/2012	22,737
75	26/02/2012	45,651
76	27/02/2012	-
77	28/02/2012	51,582
78	29/02/2012	44,847
79	01/03/2012	44,847
80	02/03/2012	14,044
81	03/03/2012	12,735
82	04/03/2012	24,637
83	05/03/2012	20,395
84	06/03/2012	11,247
85	07/03/2012	18,154
86	08/03/2012	33,416

87	09/03/2012	29,081
88	10/03/2012	23,453
89	11/03/2012	15,170
90	12/03/2012	22,349
91	13/03/2012	17,393
92	14/03/2012	10,841
93	15/03/2012	7,613
94	16/03/2012	20,342
95	17/03/2012	-
96	18/03/2012	20,929
97	19/03/2012	31,492
98	20/03/2012	30,838
99	21/03/2012	33,893
100	22/03/2012	32,120
101	23/03/2012	-
102	24/03/2012	-
103	25/03/2012	56,315
104	26/03/2012	37,411
105	27/03/2012	61,084
106	28/03/2012	48,900
107	29/03/2012	27,365
108	30/03/2012	27,761
109	31/03/2012	44,497
CONCENTRACIÓN		28,034

FUENTE: Felipe Sanabria

Tabla No. 10. Consolidado muestras SO₂

CONSOLIDADO SO₂		
	FECHA	CONCENTRACIÓN
1	14/12/2011	47,941
2	15/12/2011	20,424
3	16/12/2011	20,232
4	17/12/2011	16,568
5	18/12/2011	20,554
6	19/12/2011	19,828
7	20/12/2011	14,836
8	21/12/2011	19,866
9	22/12/2011	-

10	23/12/2011	16,765
11	24/12/2011	-
12	25/12/2011	-
13	26/12/2011	14,061
14	27/12/2011	17,921
15	28/12/2011	23,390
16	29/12/2011	18,593
17	30/12/2011	18,916
18	31/12/2011	24,015
19	01/01/2012	-
20	02/01/2012	18,244
21	03/01/2012	19,003
22	04/01/2012	21,411
23	05/01/2012	25,731
24	06/01/2012	19,836
25	07/01/2012	-
26	08/01/2012	-
27	09/01/2012	-
28	10/01/2012	22,764
29	11/01/2012	15,791
30	12/01/2012	11,038
31	13/01/2012	18,246
32	14/01/2012	-
33	15/01/2012	-
34	16/01/2012	19,054
35	17/01/2012	18,675
36	18/01/2012	19,111
37	19/01/2012	20,833
38	20/01/2012	-
39	21/01/2012	-
40	22/01/2012	-
41	23/01/2012	-
42	24/01/2012	-
43	25/01/2012	11,273
44	26/01/2012	14,575
45	27/01/2012	20,102
46	28/01/2012	26,861
47	29/01/2012	39,312
48	30/01/2012	63,167

49	31/01/2012	56,387
50	01/02/2012	465,139
51	02/02/2012	154,646
52	03/02/2012	92,030
53	04/02/2012	78,655
54	05/02/2012	116,945
55	06/02/2012	13,934
56	07/02/2012	13,238
57	08/02/2012	13,511
58	09/02/2012	11,262
59	10/02/2012	13,792
60	11/02/2012	-
61	12/02/2012	-
62	13/02/2012	10,371
63	14/02/2012	10,763
64	15/02/2012	12,033
65	16/02/2012	9,540
66	17/02/2012	9,138
67	18/02/2012	9,879
68	19/02/2012	10,270
69	20/02/2012	6,459
70	21/02/2012	6,038
71	22/02/2012	4,424
72	23/02/2012	5,263
73	24/02/2012	4,894
74	25/02/2012	4,539
75	26/02/2012	5,085
76	27/02/2012	-
77	28/02/2012	5,383
78	29/02/2012	5,640
79	01/03/2012	5,640
80	02/03/2012	5,598
81	03/03/2012	5,832
82	04/03/2012	6,203
83	05/03/2012	10,122
84	06/03/2012	5,738
85	07/03/2012	5,173
86	08/03/2012	8,365
87	09/03/2012	8,355

88	10/03/2012	3,908
89	11/03/2012	6,824
90	12/03/2012	8,104
91	13/03/2012	10,051
92	14/03/2012	10,822
93	15/03/2012	9,863
94	16/03/2012	7,764
95	17/03/2012	-
96	18/03/2012	12,394
97	19/03/2012	8,222
98	20/03/2012	7,992
99	21/03/2012	7,251
100	22/03/2012	8,156
101	23/03/2012	-
102	24/03/2012	-
103	25/03/2012	7,493
104	26/03/2012	-
105	27/03/2012	-
106	28/03/2012	-
107	29/03/2012	-
108	30/03/2012	-
109	31/03/2012	-
CONCENTRACIÓN		24,796

FUENTE: Felipe Sanabria

8. BENEFICIO ECONOMICO

Los equipos para el monitoreo de Calidad de Aire en el IDEAM pertenecen a un convenio interadministrativo con COMODATO (No 154/2008, numeración IDEAM) con el MAVDT, por tal motivo el Instituto debe cumplir con informes cada seis meses a COMODANTE sobre los bienes con que cuentan, novedades del mismo y alimentar el Sistema de Información de Calidad de Aire - SISAIRE con la información recolectada por todos y cada uno de los equipos.

Con lo anterior se entiende que el monitoreo debe ser continuo ya que el IDEAM debe cumplir con unas responsabilidades adquiridas, por ende el Instituto se ve en la obligación de contar con el personal idóneo para realizar el respectivo monitoreo y cumplir con los compromisos fijados en el citado convenio.

Para obtener un valor aproximado de los costos que genera el monitoreo se realizó un presupuesto, teniendo en cuenta dos aspectos principales: los insumos que brinda el IDEAM y los gastos personales requeridos para poder realizar las mediciones y los respectivos análisis de laboratorio de las muestras. Para los insumos brindados por el IDEAM se consideran los siguientes aspectos:

8.1. CONSUMO ELÉCTRICO:

Los equipos cuentan con motores de 110V, además tienen que estar funcionando las 24 horas, por lo tanto se estimó un consumo de 35,52 kWh/día para cada equipo y un consumo de 142,08 kWh/día para los equipos en la estación. El precio referencia de la energía eléctrica es de \$227,67 por kWh, tomado de las tarifas de energía eléctrica de CODENSA del año 2012.

8.2. FILTROS PARA MUESTREADOR HIGH-VOL:

Con base en información del documento "Adquisición de materiales necesarios para la ejecución de los programas de monitoreo de la calidad del aire incluidos en los procesos corporativos relacionados en anexo no. 1 con veintinueve (29) ítems de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC)", se tomó el precio unitario del papel de filtro de fibra micro-cuarzo de vidrio 8" - 10", correspondiente a \$48.539,62.

8.3. FILTROS PARA MUESTREADORES PARTISOL:

Tomando como referencia el documento "Adquisición de materiales necesarios para la ejecución de los programas de monitoreo de la calidad del aire incluidos en los procesos corporativos relacionados en anexo no. 1 con veintinueve (29) ítems de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC)", se tomó el precio unitario del filtro de teflón de 47mm, correspondiente a \$12.470.

8.4. REACTIVOS PARA SO₂:

Los precios para el reactivo TCM se tomaron de la página web de QualiChem Technologies, se encontró que el precio de 50 ml de TCM necesario para realizar una medición de SO₂ corresponde a \$3.220,09, cabe aclarar que este precio se realizó con la tasa de cambio de dólar del día 17 de mayo de 2012 correspondiente a \$1793,61.

8.5. REACTIVOS PARA NO₂:

El precio del reactivo Arsenito de Sodio se obtuvo de la página web de QualiChem Technologies, se encontró que el precio de 50 ml de Arsenito de Sodio necesario para realizar una medición de NO₂ corresponde a \$3.599,15, cabe aclarar que este precio se determinó sobre la base de la tasa de cambio de dólar del día 17 de mayo de 2012 correspondiente a \$1793,61.

8.6. FORMATOS DE CAMPO:

Los datos de monitoreo de cada equipo deben ser registrados diariamente en formatos de campo, se estimaron en total unos 210 formatos de campo al mes para registrar toda la información, el precio de una fotocopia en promedio es de \$50.

En los gastos personales se incluyeron en el presupuesto del proyecto los aspectos que a continuación se relacionan:

8.7. TRANSPORTE:

Usar un medio de transporte es indispensable para poder cumplir las actividades propuestas, por lo tanto se tomó como precio de referencia el valor de un pasaje de Transmilenio en el año 2012 que corresponde a \$1.750.

8.8. ALIMENTACIÓN:

Para este ítem se tomó como referencia un precio medio de un almuerzo corriente en la ciudad de Bogotá que equivale a \$7.000.

La siguiente tabla muestra el presupuesto estimado mensual para el presente proyecto, éste se realizó para los meses correspondientes a las mediciones, sin tener en cuenta el tiempo de consolidación de la información, elaboración y presentación del proyecto a la Universidad Santo Tomás de Aquino.

Tabla No. 11. Presupuesto estimado mensual para el monitoreo de calidad de aire en el IDEAM

ÍTEM	COSTO UNITARIO	NÚMERO DE UNIDADES MES	COSTO MENSUAL
INSUMOS IDEAM			
Electricidad	\$ 227,67	4262,4	\$ 970.401,85
Filtros para High Vol	\$ 48.539,62	30	\$ 1.456.188,46
Filtros para Partisol	\$ 12.470,00	60	\$ 748.200,00
Reactivos para NO ₂	\$ 3.599,15	30	\$ 107.974,50
Reactivos para SO ₂	\$ 3.220,09	30	\$ 96.602,70
Formatos de campo	\$ 50,00	210	\$ 10.500,00
Total Insumos	\$ 3.389.867,51		
GASTOS PERSONALES			
Transporte	\$ 1.750,00	60	\$ 105.000,00
Alimentación	\$ 7.000,00	30	\$ 210.000,00
Total Gastos Personales	\$ 315.000,00		
TOTAL PRESUPUESTO (Mes)	\$ 3.704.867,51		

FUENTE: Felipe Sanabria

9. RESULTADOS OBTENIDOS

Después de realizar cuatro meses de pasantía, utilizando todos y cada uno de los equipos indicados para el monitoreo de Calidad de Aire y por medio del estudio realizado se determinaron ciertas conclusiones que sirven para los siguientes trabajos y/o monitoreos que se presenten en un futuro en la estación de calidad de aire del IDEAM.

- En cuanto a lo concerniente con el desempeño y cumplimiento con los protocolos de monitoreo por cada equipo, se evidenció por medio de anexos y resultados reales que el cumplimiento de protocolos de monitoreo fue el adecuado. Los equipos utilizados en la pasantía requerían cierto número de verificaciones, calibraciones, mantenimientos y demás operaciones que se fueron especificando a lo largo del presente trabajo para determinar y realizar un monitoreo continuo el cual proyectara datos confiables, representativos y óptimos para la toma de cualquier decisión frente al impacto principalmente por el servicio de transporte público de Bogotá.
- Para realizar la validación y determinar si los equipos de la estación de monitoreo de Calidad de Aire del IDEAM cumplían o no con cada uno de los requisitos mínimos de instalación y ubicación, se crearon por medio del presente trabajo unos formatos donde se evidencia el cumplimiento que exigen los proveedores de cada equipo regidos por la EPA y el MAVDT. Los cuales fueron los siguientes:

9.1. FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO HI-VOL (PM₁₀), SERIAL A29816

Tabla No. 12.Formato de Ubicación equipo Hi-VolPM₁₀-Serial A29816

	IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales						
	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia						
	Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental						
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL						
Ubicación de Estación de Monitoreo:				Estación de Calidad de Aire - IDEAM Centro			
Tipo de Estación-Clasificación							
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Contaminantes de Mayor interes según el Tipo de Estación			
Tipo de Área	Tiempo	Tipo de Área	Tipo de Área	Tipo de Área:		URBANA	
URBANA	FIJA	DE TRÁFICO	PUNTO CRITICO	Tipo de Estación:		FONDO	
				Contaminantes de Mayor interes:			
				NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ , CO, VOCs Y O ₃			
Ciudad:	Bogotá D.C.						
Equipo:	HI-VOL	Marca:	THERMO	Serial:	A29816	De:	MAVDT
Contaminante:	PM ₁₀						
Criterios de Instalación y Ubicación							
Altura del Edificio donde se Ubican los Equipos:				35 (m)			
Altura del Equipo (Inlet)				1,61 (m)			
Altura del Obstaculo más Cercano:				4 (m)			
Distancia del Equipo al Obstaculo (Vertical):		7,19	(m)	Altura desde el Inlet (Horizontal):	2,39 (m)	Cumple:	SI
Recomendación (10 m de Radio)						Cumple:	NO
Distancia al equipo de la misma Clase (2-4metros)				3 (m)		Cumple:	SI
Cercanía a Chimeneas (20metros):						Cumple:	SI
Distancia a Carreteras (2-10metros):						Cumple:	SI
Criterios para el Sitio de Muestreo							
Facil Acceso:							
Seguridad contra Vandalismo:							
Infraestructura:							



Comentario:

La Recomendación en este caso no se cumple por el poco espacio en donde se encuentra en la estación.

9.2. FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO HI-VOL (PM₁₀), SERIAL A29817

Tabla No. 13.Formato de Ubicación equipo Hi-VolPM₁₀-Serial A29817

	IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales						
	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia						
	Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental						
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL						
Ubicación de Estación de Monitoreo:		Estación de Calidad de Aire - IDEAM Centro					
Tipo de Estación-Clasificación							
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Contaminantes de Mayor interes según el Tipo de Estación			
Tipo de Área	Tiempo	Tipo de Área	Tipo de Área	Tipo de Área:			
				Tipo de Estación:			
				Contaminantes de Mayor interes:			
Ciudad:	Bogotá D.C.						
Equipo:	HI-VOL	Marca:	THERMO	Serial:	A29817	De:	MAVDT
Contaminante:	PM10						
Criterios de Instalación y Ubicación							
Altura del Edificio donde se Ubican los Equipos:				35 (m)			
Altura del Equipo				1,61 (m)			
Altura del Obstaculo más Cercano:				4 (m)			
Distancia del Equipo al Obstaculo (Vertical):		9,93 (m)		Altura desde el Inlet (Horizontal):		2,39 (m)	
						Cumple:	SI
Recomendación (10 m de Radio)						Cumple:	NO
Distancia al equipo de la misma Clase (2-4metros)				3 (m)		Cumple:	SI
Cercania a Chimeneas (20metros):						Cumple:	SI
Distancia a Carreteras (2-10metros):						Cumple:	SI
Criterios para el Sitio de Muestreo							
Facil Acceso:		SI					
Seguridad contra Vandalismo:		SI					
Infraestructura:		SI					
Energia Electrica Continua:		SI					



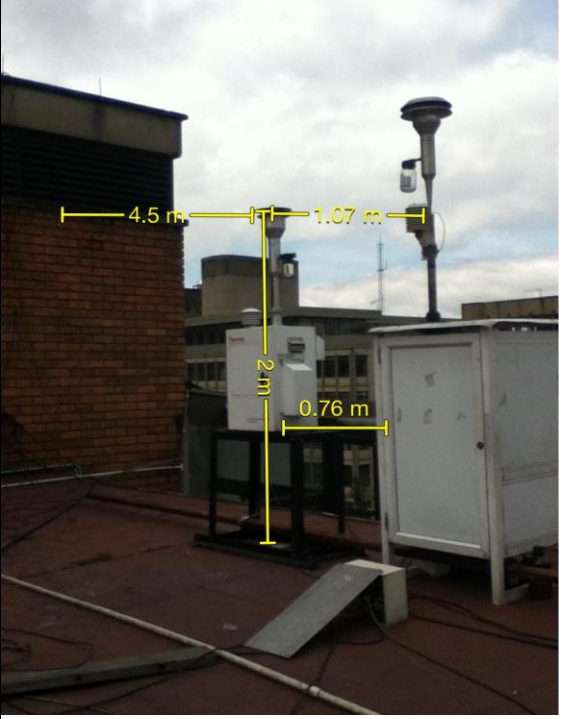
Comentario:

La Recomendación en este caso no se cumple por el poco espacio en donde se encuentra en la estación.

9.3. FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO PM_{2.5} – PARTISOL 2000, SERIAL A29979

Tabla No. 14. Formato de Ubicación equipo Partisol 2000 PM_{2.5} - Serial A29979

		IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales					
		Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia					
		Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental					
		SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL					
Ubicación de Estación de Monitoreo:		Estación de Calidad de Aire - IDEAM Centro					
Tipo de Estación-Clasificación							
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Contaminantes de Mayor Interés según el Tipo de Estación			
Tipo de Área	Tiempo	Tipo de Área	Tipo de Área	Tipo de Área:	URBANA		
URBANA	FIJA	DE TRÁFICO	PUNTO CRÍTICO	Tipo de Estación:	FONDO		
				Contaminantes de Mayor Interés:			
				NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ , CO, VOCs Y O ₃			
Ciudad:	Bogotá D.C.						
Equipo:	PARTISOL 2000	Marca:	THERMO	Serial:	A29979	De:	MAVDT
Contaminante:	PM _{2.5}						
Criterios de Instalación y Ubicación							
Altura del Edificio donde se Ubican los Equipos:				35 (m)			
Altura del Equipo (Inlet)				2 (m)			
Altura del Obstáculo más cercano:				4 (m)			
Distancia del Equipo al Obstáculo (Vertical):		4,5 (m)	Altura desde el Inlet (Horizontal):	2 (m)	Cumple:	SI	
Recomendación (10 m de Radio)				Cumple: NO			
Distancia al equipo de la misma Clase (1-4 metros)				(m) Cumple: SI			
Cercanía a Chimeneas (20 metros):				Cumple: SI			
Distancia a Carreteras (2-10 metros):				Cumple: SI			
Criterios para el Sitio de Muestreo							
Facil Acceso:		SI					
Seguridad contra Vandalismo:		SI					
Infraestructura:		SI					
Energía Eléctrica Continua:		SI					



Comentario:

La Recomendación en este caso no se cumple por el poco espacio en donde se encuentra en la estación.

9.4. FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO PM_{2.5} – PARTISOL 2000, SERIAL A29980

Tabla No. 15. Formato de Ubicación equipo Partisol 2000 PM_{2.5} - Serial A29980

	IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales						
	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia						
	Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental						
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL						
Ubicación de Estación de Monitoreo:		Estación de Monitoreo de Calidad de Aire - IDEAM Centro					
Tipo de Estación-Clasificación							
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Contaminantes de Mayor interés según el Tipo de Estación			
Tipo de Área	Tiempo	Tipo de Área	Tipo de Área	Tipo de Área:	URBANA		
URBANA	FIJA	DE TRÁFICO	PUNTO CRITICO	Tipo de Estación:	FONDO		
				Contaminantes de Mayor interés:			
				NO ₂ , PM10, PM2.5, SO ₂ , CO, VOCs Y O ₃			
Ciudad:	Bogotá D.C.						
Equipo:	PARTISOL 2000	Marca:	THERMO	Serial:	A29980	De:	MAVDT
Contaminante: PM2.5							
Criterios de Instalación y Ubicación							
Altura del Edificio donde se Ubican los Equipos:				35 (m)			
Altura del Equipo (Inlet)				2 (m)			
Alura del Obstaculo más Cercano:				4 (m)			
Distancia del Equipo al Obstaculo (Vertical):		9,49 (m)		Altura desde el Inlet (Horizontal):	2 (m)	Cumple:	SI
Recomendación (10 m de Radio)						Cumple:	NO
Distancia al equipo de la misma Clase (1-4metros)						Cumple:	SI
Cercanía a Chimeneas (20metros):						Cumple:	SI
Distancia a Carreteras (2-10metros):						Cumple:	SI
Criterios para el Sitio de Muestreo							
Facil Acceso:			SI				
Seguridad contra Vandalismo:			SI				
Infraestructura:			SI				
Energía Eléctrica Continua:			SI				



Comentario:

La Recomendación en este caso no se cumple por el poco espacio en donde se encuentra en la estación.

9.5. FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO TRIGAS, MEDICIONES DE SO₂

Tabla No. 16. Formato de Ubicación Equipo Trigás Mediciones de SO₂

		IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales					
		Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia					
		Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental					
		SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL					
Ubicación de Estación de Monitoreo:		Estación de Monitoreo de Calidad de Aire - IDEAM Centro					
Tipo de Estación-Clasificación							
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Contaminantes de Mayor interés según el Tipo de Estación			
Tipo de Área	Tiempo	Tipo de Área	Tipo de Área	Tipo de Área:	URBANA		
URBANA	FIJA	DE TRÁFICO	PUNTO CRITICO	Tipo de Estación:	FONDO		
				Contaminantes de Mayor interés:			
				NO ₂ , PM10, PM2.5, SO ₂ , CO, VOCs Y O ₃			
Ciudad:	Bogotá D.C.						
Equipo:	TRIGAS	Marca:	ENERGÉTICA	Serial:		De:	MAVDT
Contaminante:	SO ₂						
Criterios de Instalación y Ubicación							
Altura del Edificio donde se Ubican los Equipos:				35 (m)			
Altura del Equipo (Inlet):				2 (m)			
Altura del Obstáculo más cercano:				4 (m)			
Distancia del Equipo al Obstáculo (Vertical):		3,23 (m)		Altura desde el Inlet (Horizontal):		0,98 (m) Cumple: SI	
Distancia al Arbol más Cercano:		No registra					
Distancia a estructuras en Azoteaz (> 1 m):						Cumple: SI	
Recomendación (10 m de Radio):						Cumple: NO	
Distancia al equipo de la misma Clase:		No Registra					
Cercanía a Chimeneas y Hornos (20metros):				Cumple: SI			
Distancia a Carreteras (2-10metros):				Cumple: SI			
Criterios para el Sitio de Muestreo							
Facil Acceso:		SI					
Seguridad contra Vandalismo:		SI					
Infraestructura:		SI					
Energía Eléctrica Continua:		SI					



Comentario:

La Recomendación en este caso no se cumple por el poco espacio en donde se encuentra en la estación.

9.6. FORMATO DE UBICACIÓN EQUIPO TRIGAS, MEDICIONES DE NO₂

Tabla No. 17. Formato de Ubicación Equipo Trigas Mediciones de NO₂

		IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales					
		Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia					
		Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental					
		SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL					
Ubicación de Estación de Monitoreo:		Estación de Monitoreo de Calidad de Aire - IDEAM Centro					
Tipo de Estación-Clasificación							
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Contaminantes de Mayor interés según el Tipo de Estación			
Tipo de Área	Tiempo	Tipo de Área	Tipo de Área	Tipo de Área:	URBANA		
URBANA	FIJA	DE TRÁFICO	PUNTO CRITICO	Tipo de Estación:	FONDO		
				Contaminantes de Mayor interés:			
				NO ₂ , PM10, PM2.5, SO ₂ , CO, VOCs Y O ₃			
Ciudad:	Bogotá D.C.						
Equipo:	TRIGAS	Marca:	ENERGÉTICA	Serial:		De:	MAVDT
Contaminante:	NO ₂						
Criterios de Instalación y Ubicación							
Altura del Edificio donde se Ubican los Equipos:				35 (m)			
Altura del Equipo (Inlet):				2 (m)			
Altura del Obstaculo más cercano:				4 (m)			
Distancia del Equipo al Obstaculo (Vertical):		3,23 (m)	Altura desde el Inlet (Horizontal):	0,98 (m)	Cumple:	SI	
Distancia al Arbol más Cercano:		No registra					
Recomendación (10 m de Radio):					Cumple:	NO	
Distancia al equipo de la misma Clase:		No Registra					
Cercanía a Chimeneas (20metros):						Cumple:	SI
Distancia a Carreteras (2-10metros):						Cumple:	SI
Criterios para el Sitio de Muestreo							
Facil Acceso:		SI					
Seguridad contra Vandalismo:		SI					
Infraestructura:		SI					
Energia Electrica Continua:		SI					



Comentario:

La Recomendación en este caso no se cumple por el poco espacio en donde se encuentra en la estación.

Por medio de los formatos anteriores se determinó que los equipos de la estación cumplen con cada uno de los criterios de instalación y ubicación establecidos por el MAVDT para que las muestras sean reales y representativas. Existe una recomendación especial para la instalación de los equipos la cual es que los equipos estén ubicados en una altura a sobre el nivel del suelo (esta recomendación no se cumple en la estación de calidad de aire del IDEAM ya que el espacio, vigilancia y altura del edificio imposibilitan este efecto) que se especificaran a continuación:

- Para los equipos de Hi-Vol PM_{10} , la altura está entre 3-15 metros altura, (Recomendación optima 13.5 metros).
- Para Equipos de medición de NO_2 y SO_2 la altura máxima es de 3 – 15 metros de altura.
- Para los equipos de $PM_{2.5}$ la altura está entre estos equipos están entre 2 – 15 metros.

En cuanto a la metodología aplicada por medio de los procesos de control estadístico para determinar la representatividad de la estación, tomando como variable principal de estudio la media ($\bar{X}$, ya que es la principal variable que se mide y se tiene en cuenta para una verificación de cumplimiento normativo) y la desviación estándar (s) de cada uno de los contaminantes durante los cuatro meses de pasantía. Para lo anterior se realizó lo siguiente:

9.7. ANALISIS ESTADISTICO PARA PM₁₀

Para el análisis de medidas de tendencia central y medidas de dispersión se realizo un análisis de datos agrupados de los resultados de las muestras que se encuentran anteriormente; y los cálculos realizados fueron los siguientes:

$$R = (X_i \text{ mayor} - X_i \text{ menor}) = 67,386^{12}$$

$$\text{No. De Clases} = 15$$

$$\text{Amplitud de Intervalo de Clase} = \frac{R}{\text{No. de Clases}} = 4,49$$

Tabla No. 18. Análisis estadístico para PM₁₀

No. Clases	Intervalos de Clase		Marca de Clase X _i	Frecuencia f _i	Frecuencia Acumulada F _i	Frecuencia Relativa f _{rel}	Frecuencia Relativa Acumulada F _{rel}
1	13,1	17,6	15,3	5	5	5,68%	5,68%
2	17,6	22,1	19,8	2	7	2,27%	7,95%
3	22,1	26,6	24,3	8	15	9,09%	17,05%
4	26,6	31,1	28,8	18	33	20,45%	37,50%
5	31,1	35,6	33,3	9	42	10,23%	47,73%
6	35,6	40,1	37,8	6	48	6,82%	54,55%
7	40,1	44,5	42,3	9	57	10,23%	64,77%
8	44,5	49,0	46,8	7	64	7,95%	72,73%
9	49,0	53,5	51,3	3	67	3,41%	76,14%
10	53,5	58,0	55,8	3	70	3,41%	79,55%
11	58,0	62,5	60,3	8	78	9,09%	88,64%
12	62,5	67,0	64,8	1	79	1,14%	89,77%
13	67,0	71,5	69,3	4	83	4,55%	94,32%
14	71,5	76,0	73,7	1	84	1,14%	95,45%
15	76,0	80,5	78,2	4	88	4,55%	100,00%
TOTAL				88		100,00%	

FUENTE: Felipe Sanabria

Dando como resultados para las medidas de tendencia central y de dispersión:

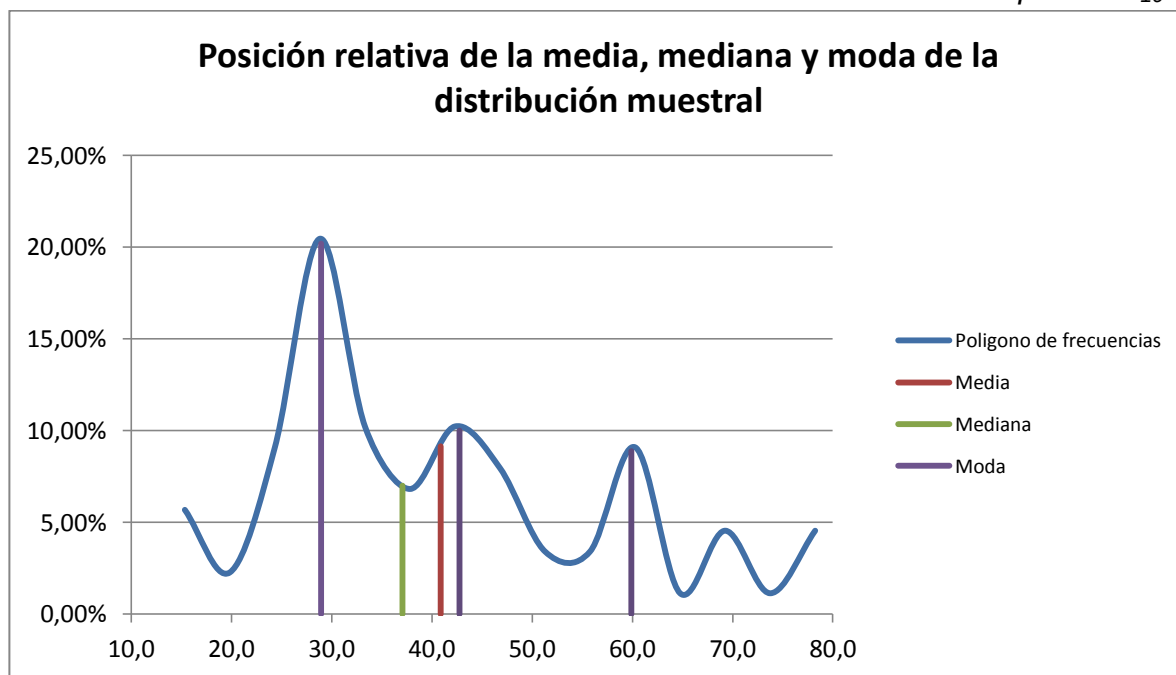
¹²Se determina a partir de la concentración del contaminante

Tabla No. 19 Resultados de Medidas de tendencia central y de dispersión para PM_{10}

Media (x)	40,87		
Mediana	37,06		
Moda (Multimodal)	28,94	42,7496	59,90
s²	275,45		
s (Desviación Estándar)	16,60		
Asimetría	0,27	Asimétrica a la IZQUIERDA	
Curtosis	-2,2921	Platicúrtica	

FUENTE: Felipe Sanabria

Grafica No. 1. Distribución muestral de las medidas de tendencia para PM_{10}

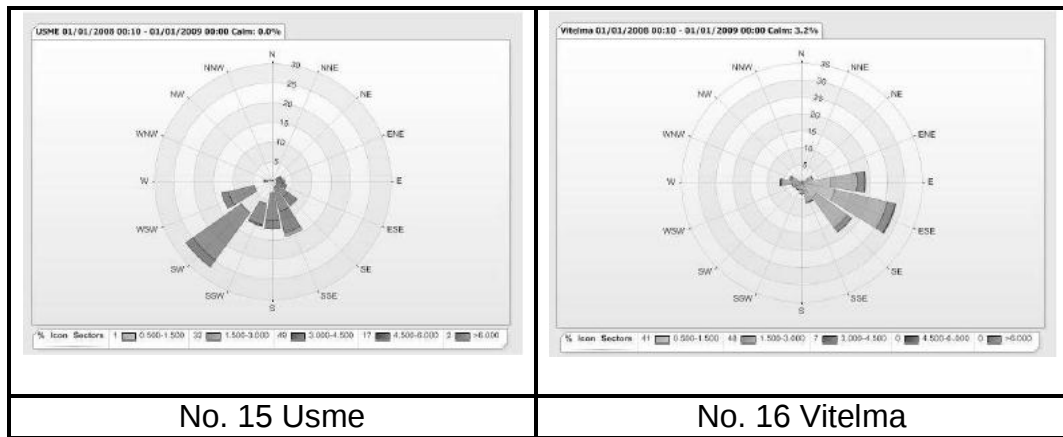


FUENTE: Felipe Sanabria

Se observa en los resultados de la Tabla No. 19 que la media muestral tiene un valor de $40,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ligeramente inferior a la Norma Anual para PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$); esto guarda concordancia con el hecho de que las medidas como el Pico y Placa, restricciones específicas para las motos de combustión incompleta (2 tiempos), revisiones Tecno mecánicas para automóviles privados y de servicio público han servido para disminuir la contaminación del aire al compararla con una norma que se ha vuelto más estricta año tras año. La Mediana, con un valor $37,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se aleja un poco más de la Media muestral hacia la izquierda confirmando que las medidas correctivas en la ciudad han sido efectivas dado que la mayoría de las mediciones tienden a agruparse por debajo de la media, aunque a futuro y con el funcionamiento del Transmilenio en la Cra 10 se esperaría las concentraciones pueden bajar de forma significativa.

Se encuentra además que las muestras monitoreadas para los cuatro meses exhiben una distribución multimodal; en la Grafica No. 1 se observan 3 modas: los valores que tienen mayor frecuencia son los asociados a $28,94 \text{ mg}/\text{m}^3$ los cuales están muy por debajo de la norma, pero también se encontró que aproximadamente el 9% de los datos sobrepasaron la Norma Anual con valores cercanos a $59,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y que ocurren entre los días lunes y jueves, relacionándose quizá con el ingreso de vehículos pesados al centro para la distribución de mercancías y/o el arrastre de material particulado proveniente de sectores erosionados de los Cerros Orientales y canteras al Sur de Bogotá o la zona industrial al occidente. Estas suposiciones se encuentran basadas en el comportamiento de las Rosas de Vientos de las estaciones meteorológicas No. 15 Usme y No. 16 Vitelma de la Red de Monitoreo De Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB) al sur de la ciudad de promedios ponderados de la dirección del viento para el año 2008.

Figura No. 7. Rosas de Vientos para las estaciones No. 15 Usme y No. 16 Vitelma de la RMCAB

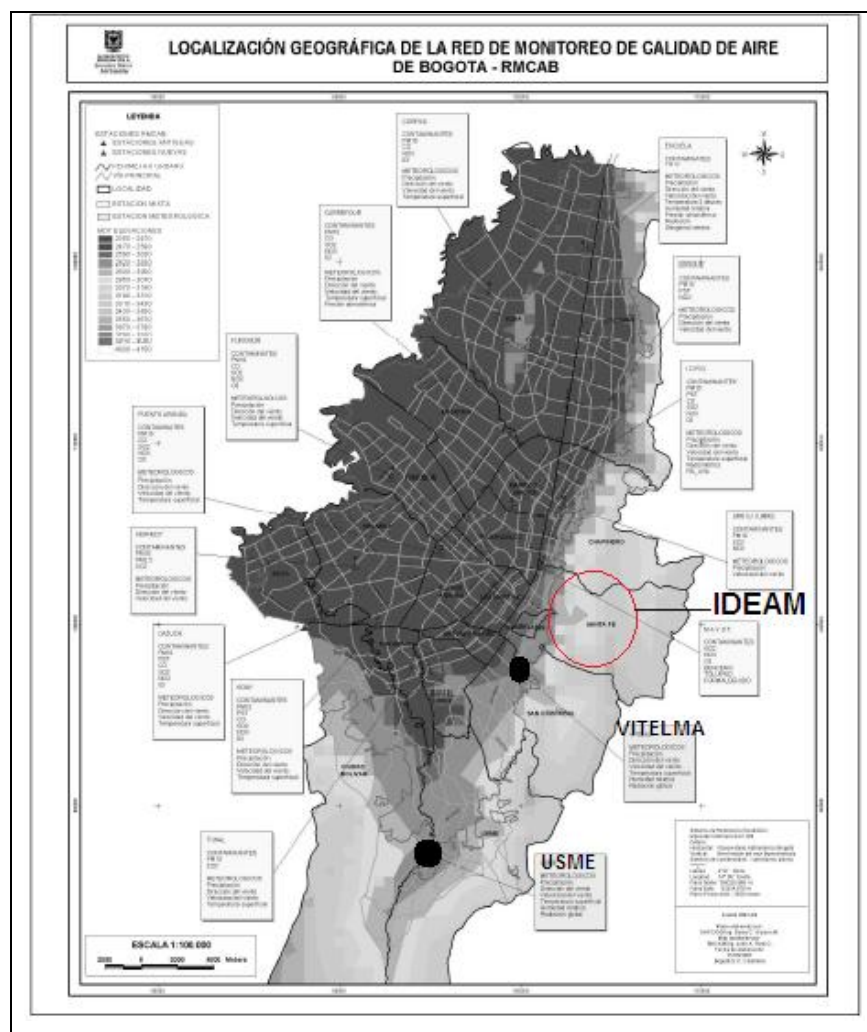


Fuente: Informe Anual de Calidad de Aire de Bogotá - 2008

Con la Figura No. 7 de las Rosas de vientos podemos notar que los vientos predominantes y con mayor velocidad provienen en dirección Sur-Oeste registrada en la estación Meteorológica No. 15 Usme; por el contrario los vientos registrados por la estación No. 16. Vitelma provienen de la dirección Este-Sur-Este con menor velocidad y vienen de los cerros de Bogotá, ayudando a dispersar los contaminantes hacia el occidente pero que posiblemente tengan menor incidencia en el aporte de material particulado.

Para entender mejor el panorama de la ubicación de la estación del IDEAM y la dirección de los vientos por parte de las estaciones Meteorológicas utilizadas, se utilizo la siguiente imagen:

Imagen No. 2. Ubicación geográfica de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá.



Fuente: Informe Anual de Calidad de Aire de Bogotá - 2008

Teniendo mayor predominancia de vientos del Sur-Oeste de la estación No. 15 Usme y otros considerables de la el Sur-Este de la estación No. 16 Vitelma se explicaría que las concentraciones registradas para PM_{10} sean notorias por arrastre de polvos, humos, hollín, entre otros.

A partir de la Desviación Estándar (s), se encuentra que los datos muestrales pueden ubicarse con suficiente certidumbre por debajo de $90.67 \mu g/m^3$ valor que

es bastante inferior a la norma diaria ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), concluyendo que la frecuencia de monitoreo es la adecuada para este contaminante en la zona a efectos de prevenir incidentes de salud, ocupacionales o ambientales por exposición a PM_{10} .

Ahora, a partir de los valores anteriores se realizaron las cartas de control para determinar el estado de control estadístico del sistema:

1. Gráfico x-trazo. Para éste se hallan las amplitudes de los intervalos de control que corresponden a:

$$2 * s = 33,2$$

$$3 * s = 49,8$$

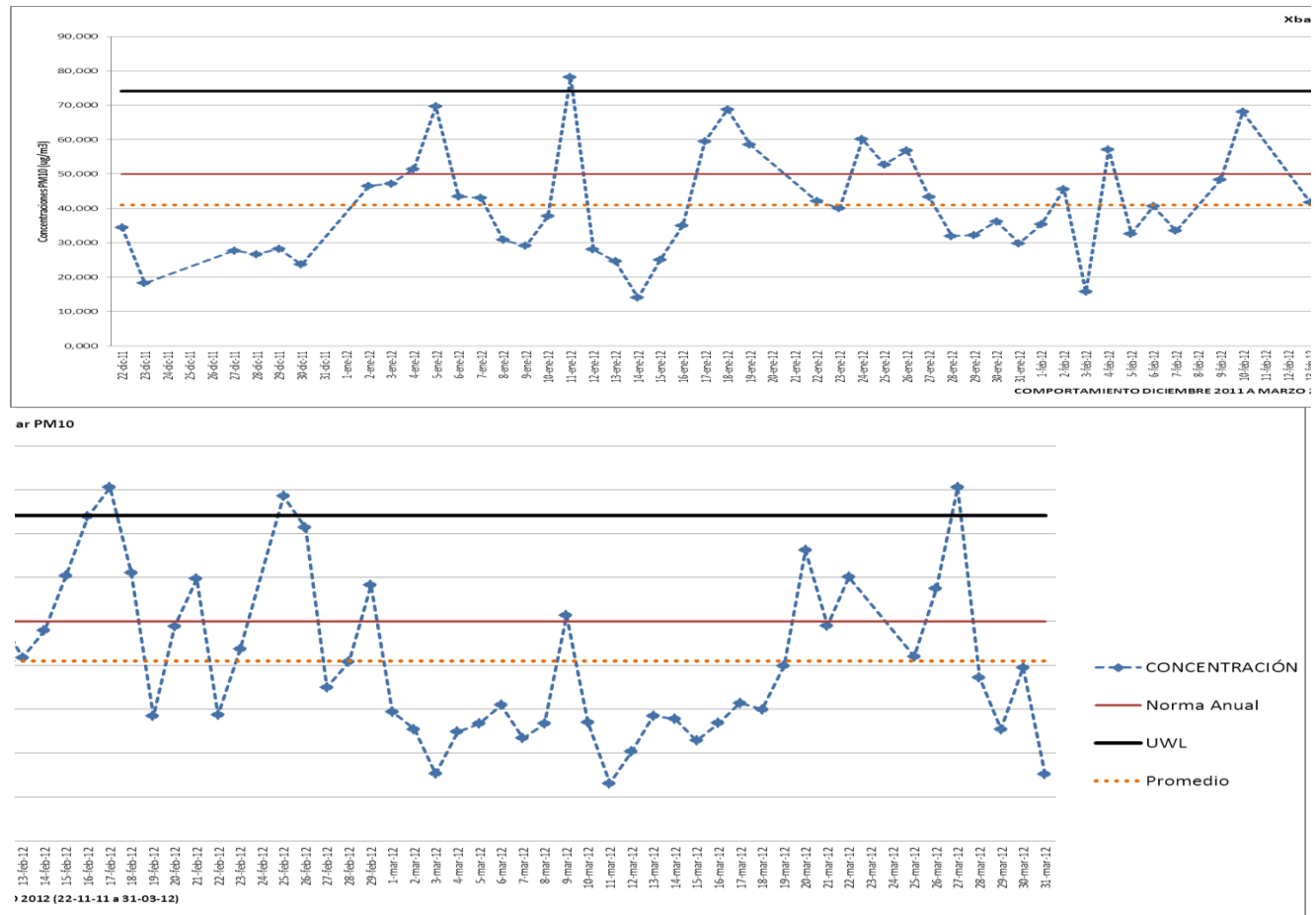
Donde s = Desviación estándar

Se determinan, entonces, los límites en los cuales la muestra debe incurrir para que se encuentre en control estadístico:

$$\text{UWL} = 40,87 + 33,2 = 74,07; \text{LWL} = 40,87 - 33,2 = 7,67$$

$$\text{UAL} = 40,87 + 49,8 = 90,67; \text{LAL} = 40,87 - 49,8 = -8,93$$

Grafica No. 2. X Bar PM_{10}



FUENTE: Felipe Sanabria

A partir de la Grafica No. 2 podemos concluir que 4 de los datos se encuentran por encima del límite UWL, estas muestras que sobrepasan el nivel son apenas el 3,52 % del total de las muestras por tanto se considera que el sistema mantiene un comportamiento relativamente estable considerando un Nivel de confianza en el análisis del 95%. No obstante se observan muchos datos que tienden a acercarse al UWL y que pudieran estar asociados a humos provenientes de los autos o polvos arrastrados por el viento (probablemente provenientes de las construcción de la Estación Bicentenario en la Cra 10 con ClI 6), al incremento de la actividad económica entre los días lunes y jueves o a eventos meteorológicos que alteren las muestras como tal vez un día muy seco que hace que la dispersión de contaminantes en el aire sea menor.

Por otro lado para este contaminante no se evidencian tendencias ni trenes en su evolución a lo largo del tiempo lo cual confirma que la variabilidad de las mediciones se relaciona con la naturaleza misma del sistema y no a causas externas que pudieran estar perturbándolo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que, desde la perspectiva de la distribución de las medias muestrales, el proceso muestra un grado adecuado de control estadístico, y la estación de monitoreo es representativa en cuanto a que logra representar las variaciones aleatorias de la contaminación del aire en la zona.

2. Gráfico CUSUM (Desviación Acumulada)

Para este método no se agruparon los resultados de concentración del contaminante, solo se realizó una sumatoria acumulada con respecto de la media de los datos.

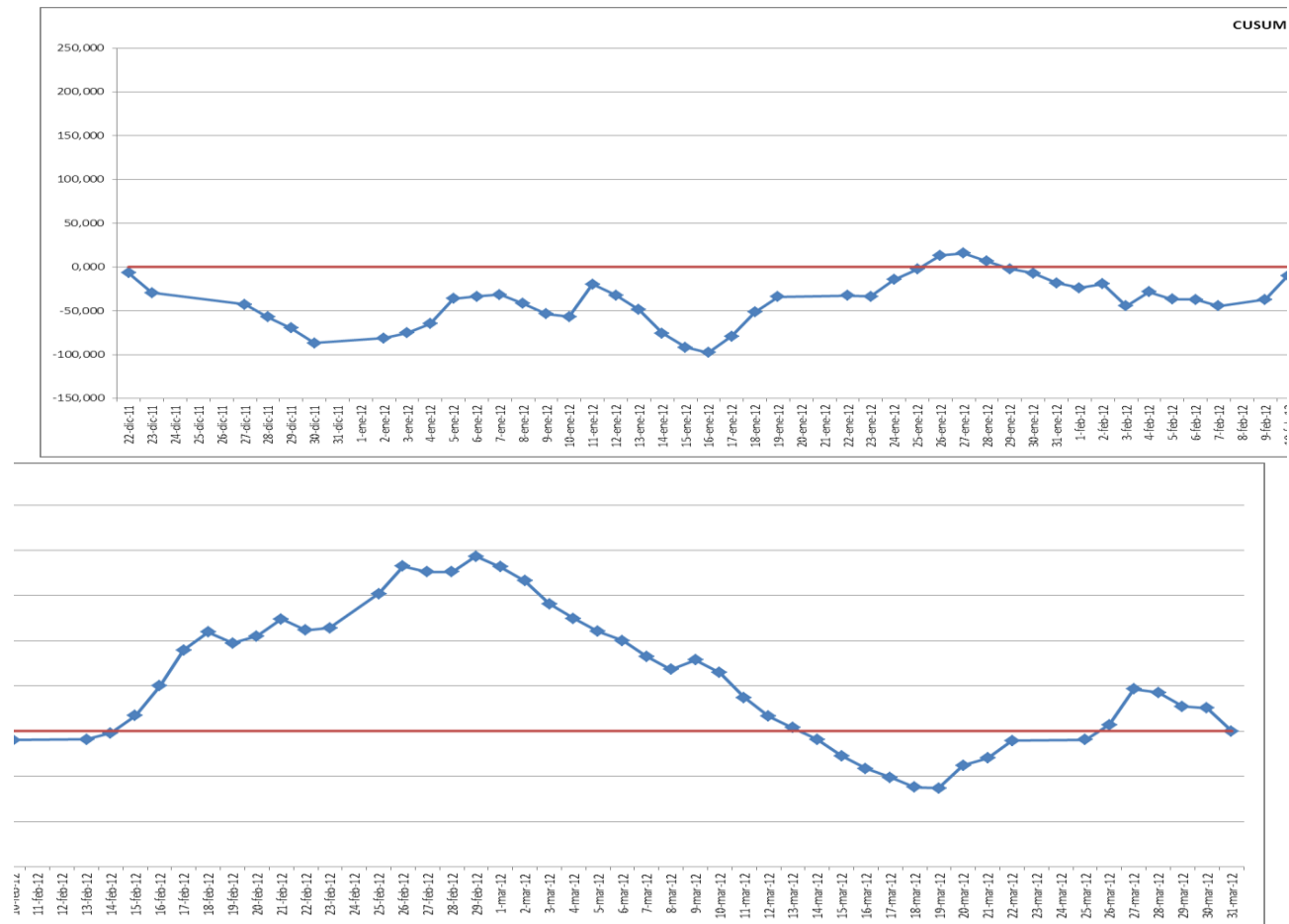
Tabla No. 20. Resultados CUSUM para PM₁₀

FECHA	CONCENTRACIÓN	d_i	CUSUM = $\sum d_i$	FECHA	CONCENTRACIÓN	d_i	CUSUM = $\sum d_i$
22-dic-11	34,441	-6,526	-6,526	27-ene-12	43,323	2,355	15,631
23-dic-11	18,222	-22,745	-29,271	28-ene-12	31,937	-9,030	6,601
27-dic-11	27,723	-13,244	-42,515	29-ene-12	32,219	-8,748	-2,148
28-dic-11	26,666	-14,302	-56,817	30-ene-12	36,212	-4,755	-6,903
29-dic-11	28,245	-12,722	-69,539	31-ene-12	29,826	-11,141	-18,044
30-dic-11	23,666	-17,301	-86,841	1-feb-12	35,326	-5,641	-23,685
2-ene-12	46,536	5,568	-81,272	2-feb-12	45,557	4,589	-19,096
3-ene-12	47,207	6,240	-75,033	3-feb-12	15,708	-25,259	-44,355
4-ene-12	51,453	10,486	-64,547	4-feb-12	57,150	16,182	-28,172
5-ene-12	69,621	28,654	-35,893	5-feb-12	32,601	-8,366	-36,538
6-ene-12	43,454	2,487	-33,406	6-feb-12	40,619	-0,348	-36,886
7-ene-12	43,010	2,043	-31,363	7-feb-12	33,464	-7,503	-44,389
8-ene-12	30,822	-10,146	-41,509	9-feb-12	48,348	7,381	-37,009
9-ene-12	29,097	-11,870	-53,379	10-feb-12	68,064	27,097	-9,912
10-ene-12	37,743	-3,225	-56,604	13-feb-12	41,732	0,764	-9,148
11-ene-12	78,180	37,212	-19,391	14-feb-12	47,929	6,961	-2,186
12-ene-12	28,060	-12,908	-32,299	15-feb-12	60,396	19,429	17,242
13-ene-12	24,617	-16,350	-48,649	16-feb-12	73,850	32,883	50,125
14-ene-12	13,989	-26,978	-75,627	17-feb-12	80,534	39,566	89,691
15-ene-12	24,963	-16,005	-91,632	18-feb-12	61,005	20,038	109,729
16-ene-12	34,985	-5,982	-97,614	19-feb-12	28,459	-12,509	97,220
17-ene-12	59,442	18,475	-79,139	20-feb-12	48,911	7,944	105,164
18-ene-12	68,805	27,837	-51,301	21-feb-12	59,698	18,731	123,895
19-ene-12	58,541	17,574	-33,727	22-feb-12	28,673	-12,294	111,601
22-ene-12	42,103	1,136	-32,592	23-feb-12	43,642	2,674	114,275
23-ene-12	40,057	-0,910	-33,502	25-feb-12	78,500	37,532	151,808
24-ene-12	60,130	19,162	-14,340	26-feb-12	71,339	30,372	182,179

FECHA	CONCENTRACIÓN	d_i	CUSUM = Σd_i
25-ene-12	52,729	11,761	-2,578
26-ene-12	56,821	15,854	13,276
27-feb-12	35,012	-5,955	176,224
28-feb-12	40,773	-0,195	176,030
29-feb-12	58,257	17,289	193,319
1-mar-12	29,418	-11,549	181,770
2-mar-12	25,422	-15,545	166,224
3-mar-12	15,330	-25,637	140,587
4-mar-12	24,833	-16,134	124,453
5-mar-12	26,701	-14,266	110,187
6-mar-12	30,929	-10,038	100,150
7-mar-12	23,417	-17,550	82,600
8-mar-12	26,716	-14,251	68,348
9-mar-12	51,367	10,400	78,748
10-mar-12	27,064	-13,904	64,844
11-mar-12	13,148	-27,819	37,025
12-mar-12	20,412	-20,555	16,470
13-mar-12	28,513	-12,454	4,016
14-mar-12	27,753	-13,214	-9,198
15-mar-12	22,874	-18,093	-27,292
16-mar-12	26,867	-14,100	-41,392
17-mar-12	31,443	-9,525	-50,917
18-mar-12	29,991	-10,976	-61,893
19-mar-12	39,912	-1,056	-62,948
20-mar-12	66,178	25,211	-37,738
21-mar-12	49,032	8,065	-29,673
22-mar-12	60,092	19,125	-10,548
25-mar-12	42,015	1,048	-9,500
26-mar-12	57,461	16,494	6,994
27-mar-12	80,490	39,522	46,516
28-mar-12	37,204	-3,763	42,753
29-mar-12	25,440	-15,528	27,226
30-mar-12	39,492	-1,475	25,751
31-mar-12	15,217	-25,751	0,000
Promedio	40,967		

FUENTE: Felipe Sanabria

Grafica No. 3. Gráfico CUSUM PM_{10}



FUENTE: Felipe Sanabria

A lo largo de los cuatro meses en que se realizó el monitoreo, desde el 1 de Diciembre de 2011, la grafica exhibe valores negativos de desviación acumulada ya que la mayor parte del PM_{10} presente en el aire de la zona fue arrastrado por las lluvias que duraron hasta Noviembre, reduciendo la concentración del contaminante por debajo de la media; este comportamiento se mantuvo gracias a algunas precipitaciones de baja intensidad que se extendieron hasta inicios del mes de Febrero. Posteriormente con el inicio de la época Seca la desviación acumulada comienza a aumentar llegando a un punto máximo para este contaminante. Este comportamiento es el resultado de la combinación entre una escasa precipitación, el aporte de material particulado por vientos de media y alta intensidad, y las emisiones de los automóviles que se incrementan con el inicio de actividades escolares principalmente. Por último, a partir de Marzo la desviación acumulada desciende nuevamente ya que es la primera época de lluvia del año teniendo un comportamiento similar al de comienzos de Diciembre de 2012.

Se observa entonces que las mediciones de la estación, en cuanto a PM_{10} logran reflejar adecuadamente no sólo las variaciones en la generación de este contaminante por el flujo vehicular y procesos de erosión, sino la incidencia de las condiciones meteorológicas locales, siendo representativa para un análisis de calidad de aire para el centro de Bogotá.

9.8. ANALISIS ESTADISTICO PARA PM_{2.5}

Para el análisis de las medidas de tendencia central y medidas de dispersión se realizó el agrupamiento de los resultados de las muestras que se relacionaron anteriormente. En este sentido, los cálculos respectivos que fueron:

$$R = (X_i \text{ mayor} - X_i \text{ menor}) = 28,242^{13}$$

$$\text{No. De Clases} = 15$$

$$\text{Amplitud de Intervalo de Clase} = \frac{R}{\text{No. de Clases}} = 1,9$$

Tabla No. 21. Análisis estadístico para PM_{2.5}

No. Clases	Intervalos de Clase		Marca de Clase X _i	Frecuencia f _i	Frecuencia Acumulada F _i	Frecuencia Relativa f _{rel}	Frecuencia Relativa Acumulada F _{rel}
1	4,2	6,1	5,1	2	2	1,98%	1,98%
2	6,1	8,0	7,0	9	11	8,91%	10,89%
3	8,0	9,8	8,9	10	21	9,90%	20,79%
4	9,8	11,7	10,8	15	36	14,85%	35,64%
5	11,7	13,6	12,7	10	46	9,90%	45,54%
6	13,6	15,5	14,6	12	58	11,88%	57,43%
7	15,5	17,4	16,4	8	66	7,92%	65,35%
8	17,4	19,3	18,3	9	75	8,91%	74,26%
9	19,3	21,1	20,2	6	81	5,94%	80,20%
10	21,1	23,0	22,1	7	88	6,93%	87,13%
11	23,0	24,9	24,0	2	90	1,98%	89,11%
12	24,9	26,8	25,9	6	96	5,94%	95,05%
13	26,8	28,7	27,7	3	99	2,97%	98,02%
14	28,7	30,6	29,6	1	100	0,99%	99,01%
15	30,6	32,4	31,5	1	101	0,99%	100,00%
TOTAL				101		100,00%	

FUENTE: Felipe Sanabria

¹³Se determina a partir de las concentraciones mínima y máxima del contaminante

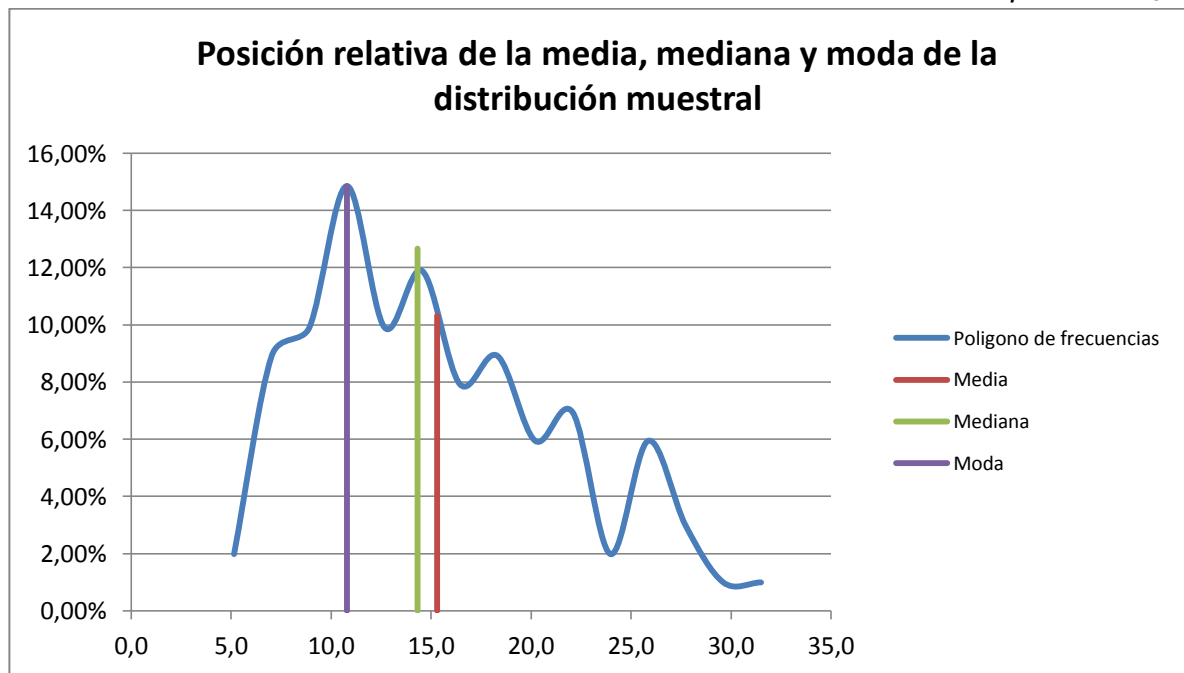
Dando como resultados para las medidas de tendencia central y de dispersión:

Tabla No. 22 Resultados de Medidas de tendencia central y de dispersión para $PM_{2.5}$

Media (X)	15,30	
Mediana	14,32	
Moda	10,79	
s²	38,82	
s (Desviación Estándar)	6,23	
Asimetría	0,40	Asimetría a la IZQUIERDA
Curtosis	-1,87284903	Platicurtica

FUENTE: Felipe Sanabria

Grafica No. 4. Distribución muestral de las medidas de tendencia para $PM_{2.5}$



FUENTE: Felipe Sanabria

A partir de los resultados de la Tabla No. 23 se tiene que la Media Muestral tiene un valor de $15,30 \text{ mg/m}^3$, la cual está ligeramente por encima de la Norma Anual para $\text{PM}_{2.5}$ ($15 \text{ } \mu\text{g/m}^3$); esto está relacionado a que si bien la Revisión Técnico-mecánica de los autos de servicio publico se han hecho efectivos y que también día a día Colombia esta produciendo un mejor combustible Diesel (el mayor generador de material particulado $\text{PM}_{2.5}$) para los del uso del parque automotor, aún se observan en la zona señales de niveles importantes de contaminación por humo en las edificaciones de la zona. Lo anterior aplica no sólo al centro de Bogotá sino a otras localidades como el Sur Occidente de Bogotá, Localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón en donde, según estadísticas de la Secretaría Distrital de Salud el índice de morbilidad infantil por enfermedades respiratorias aumentó de 23 para el 2011 a 32 niños en lo que va de 2012¹⁴. La mediana con un valor de $14,32 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ alejándose sólo un poco hacia la izquierda de la Media muestral y ligeramente de la Norma Anual permite suponer que la media calculada es bastante representativa de los valores muestrales puesto que la probabilidad acumulada es cercana al 50%. En cuanto a la repetitividad de los datos, las muestras monitoreadas para este contaminante fueron unimodales, presentando mayores frecuencias en valores cercanos a $10,79 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ que se encuentran muy por debajo de Norma Anual y Norma Diaria ($65 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

La Desviación Estándar (s), es un valor sumamente importante para el análisis, ya que los datos que se encuentran en el intervalo de hasta 3 desviaciones por encima de la media, con inferiores o iguales $27,76 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ estando este valor a su vez muy por debajo de la Norma Diaria ($65 \text{ } \mu\text{g/m}^3$); con esto se puede concluir que la frecuencia con que se realiza el monitoreo es la adecuada para este contaminante en la zona, y que la probabilidad de ocurrencia de incidentes diarios que comprometan la salud humana es muy baja. En cuanto a la asimetría, se

¹⁴PERIODICO EL ESPECTADOR. BOGOTÁ D.C. Consulta enfermedades respiratorias en niños. [En Línea] <<http://www.elspectador.com/noticias/bogota/articulo-337258-mortalidad-enfermedad-respiratoria-ninos-ha-aumentado-un-30>> [Consultado el 1 de agosto de 2012]

encontró que la distribución presenta una Asimetría a la Izquierda (por ende no es una distribución normal), es decir, que se corrobora la tendencia de los datos a agruparse a la izquierda de la media, lo cual es representativo de los controles que se han impuesto en materia de contaminación por fuentes móviles (donde se tiende a generar el $PM_{2.5}$).

La Curtosis dio con un valor negativo, implicando una distribución Platicúrtica y, por tanto, los valores muestrales están muy dispersos entre todos los intervalos de clase. Lo anterior tiene unas implicaciones importantes a futuro ya que, si se toma en consideración el valor actual de la norma anual

Para complementar el análisis de los estadísticos descriptivos, a partir de los valores anteriores se realizaron las cartas de control para verificar la condición de control estadístico del sistema:

1. Gráfico x-trazo. Para este gráfico se hallan las amplitudes de los intervalos de control que corresponden a:

$$2 * s = 12,46$$

$$3 * s = 18,69$$

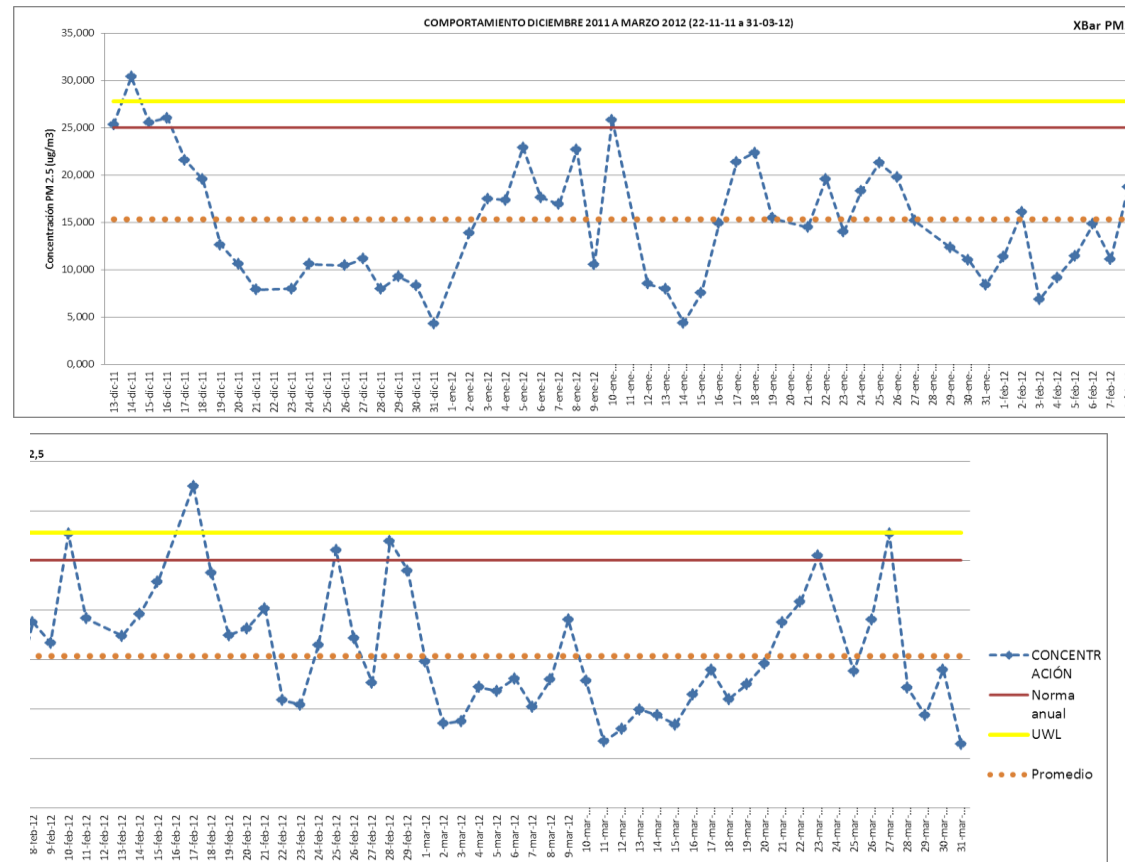
Donde s = Desviación estándar

Se determinan los límites en los cuales la muestra debe incurrir para que se encuentre en control estadístico:

$$UWL = 15,30 + 12,46 = 27,76; LWL = 15,30 - 12,46 = 2,84$$

$$UAL = 15,30 + 18,69 = 33,99; LAL = 15,30 - 18,69 = -3,39$$

Grafica No. 5. X Bar $PM_{2.5}$



FUENTE: Felipe Sanabria

A partir de la Grafica No. 5 podemos concluir que solo 2 datos se encuentra por encima del límite UWL, estas muestras que sobrepasan el nivel son apenas el 2,06% del total de las muestras por tanto se toman como representativas teniendo en cuenta un nivel de confianza en el análisis del 95%. Esto hace referencia a que hay varios días en los cuales el trafico y la actividad económica en el centro de la ciudad que pueden aumentar las concentraciones para este contaminante, como por ejemplo; el primer puente del mes de Enero y algunos días Diciembre las concentraciones son elevadas ya que la actividad económica en el centro de la ciudad aumenta, después de los primeros días de Enero disminuye ya que no se cuenta con muchas personas en la Ciudad. Por otro lado para este contaminante no se observan ni tendencias ni trenes en su evolución a lo largo del tiempo, lo cual indica que la variabilidad en las medidas no se debe a causas asignables sino a la misma naturaleza de la generación y dispersión de este contaminante en la zona.

2. Gráfico CUSUM (Desviación Acumulada)

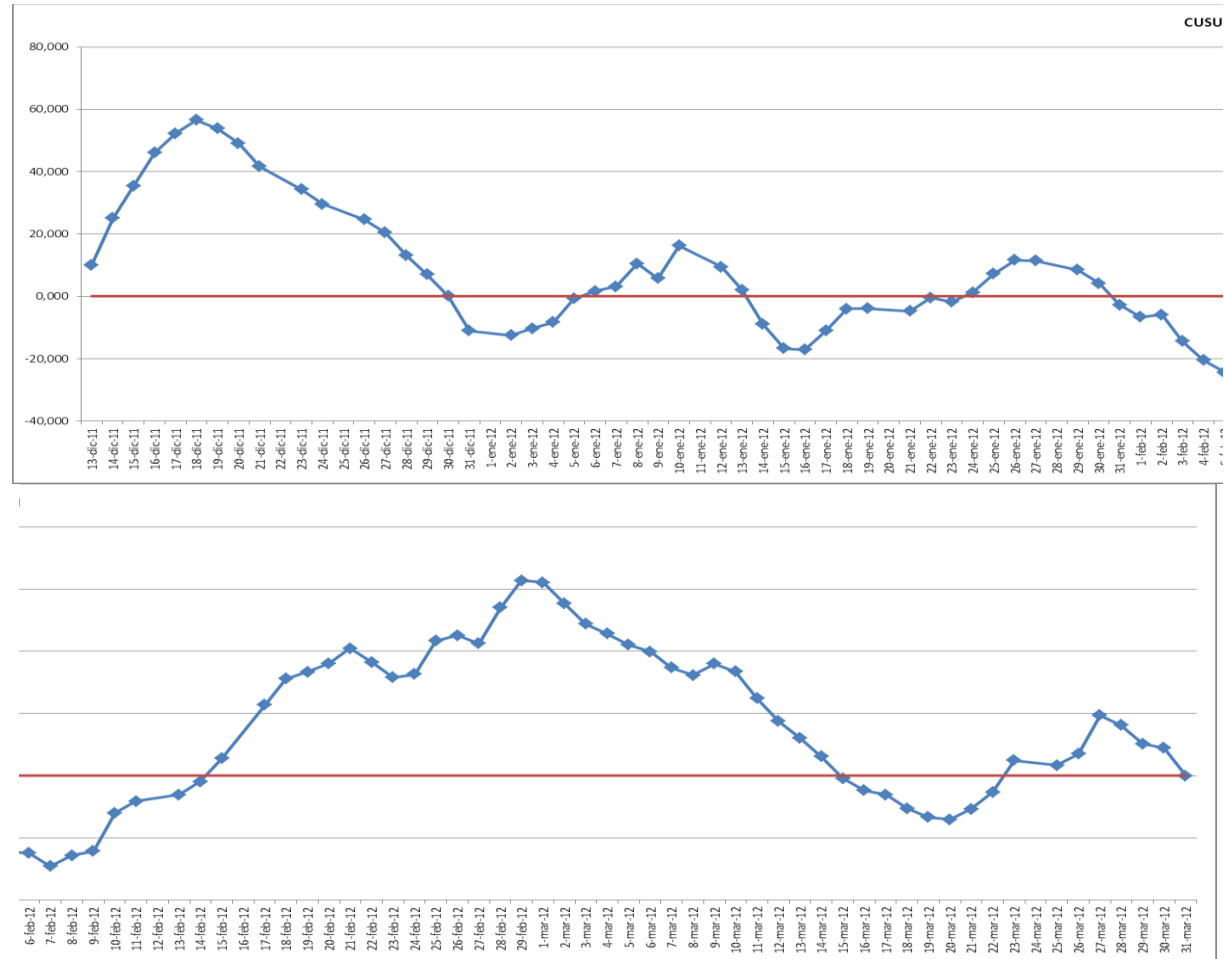
Para este método no se agruparon los resultados de concentración del contaminante, solo se realizó una sumatoria acumulada con respecto de la media de los datos.

Tabla No. 23. Resultados CUSUM para PM_{2.5}

FECHA	CONCENTRACIÓN	d_i	CUSUM = $\sum d_i$	FECHA	CONCENTRACIÓN	d_i	CUSUM = $\sum d_i$
13-dic-11	25,339	10,024	10,024	14-ene-12	4,369	10,947	-8,907
14-dic-11	30,366	15,050	25,074	15-ene-12	7,519	-7,796	-16,703
15-dic-11	25,542	10,227	35,301	16-ene-12	14,887	-0,429	-17,131
16-dic-11	26,021	10,705	46,007	17-ene-12	21,395	6,079	-11,052
17-dic-11	21,599	6,284	52,291	18-ene-12	22,367	7,052	-4,000
18-dic-11	19,528	4,213	56,504	19-ene-12	15,457	0,142	-3,857
19-dic-11	12,612	-2,703	53,801	21-ene-12	14,458	-0,857	-4,715
20-dic-11	10,579	-4,736	49,064	22-ene-12	19,574	4,259	-0,456
21-dic-11	7,875	-7,440	41,624	23-ene-12	13,980	-1,336	-1,791
23-dic-11	7,966	-7,350	34,275	24-ene-12	18,327	3,011	1,220
24-dic-11	10,574	-4,741	29,534	25-ene-12	21,275	5,960	7,180
26-dic-11	10,427	-4,889	24,645	26-ene-12	19,747	4,432	11,612
27-dic-11	11,151	-4,165	20,480	27-ene-12	15,168	-0,147	11,465
28-dic-11	7,954	-7,361	13,119	29-ene-12	12,316	-3,000	8,465
29-dic-11	9,247	-6,068	7,051	30-ene-12	11,043	-4,273	4,193
30-dic-11	8,311	-7,004	0,047	31-ene-12	8,400	-6,915	-2,722
31-dic-11	4,243	-11,072	-11,025	1-feb-12	11,381	-3,935	-6,657
2-ene-12	13,834	-1,482	-12,507	2-feb-12	16,082	0,767	-5,890
3-ene-12	17,483	2,168	-10,339	3-feb-12	6,844	-8,471	-14,362
4-ene-12	17,365	2,050	-8,289	4-feb-12	9,152	-6,163	-20,525
5-ene-12	22,894	7,579	-0,710	5-feb-12	11,444	-3,871	-24,396
6-ene-12	17,631	2,315	1,605	6-feb-12	14,818	-0,497	-24,893
7-ene-12	16,883	1,567	3,172	7-feb-12	11,100	-4,215	-29,108
8-ene-12	22,660	7,344	10,517	8-feb-12	18,756	3,441	-25,668
9-ene-12	10,532	-4,783	5,733	9-feb-12	16,662	1,347	-24,321
10-ene-12	25,823	10,507	16,241	10-feb-12	27,668	12,353	-11,968
12-ene-12	8,501	-6,814	9,427	11-feb-12	19,105	3,790	-8,179
13-ene-12	7,929	-7,386	2,040	13-feb-12	17,337	2,022	-6,157
14-feb-12	19,581	4,266	-1,891	25-mar-12	13,785	-1,530	3,338

FECHA	CONCENTRACIÓN	d_i	CUSUM = Σd_i	FECHA	CONCENTRACIÓN	d_i	CUSUM = Σd_i
15-feb-12	22,790	7,475	5,584	26-mar-12	19,022	3,706	7,044
17-feb-12	32,486	17,170	22,754	27-mar-12	27,686	12,371	19,415
18-feb-12	23,753	8,438	31,191	28-mar-12	12,121	-3,195	16,220
19-feb-12	17,430	2,115	33,306	29-mar-12	9,318	-5,997	10,223
20-feb-12	18,119	2,803	36,109	30-mar-12	13,963	-1,353	8,871
21-feb-12	20,131	4,815	40,925	31-mar-12	6,444	-8,871	0,000
22-feb-12	10,848	-4,467	36,458	Promedio	15,315		
23-feb-12	10,392	-4,924	31,534				
24-feb-12	16,423	1,108	32,642				
25-feb-12	26,035	10,719	43,361				
26-feb-12	17,111	1,796	45,157				
27-feb-12	12,620	-2,695	42,462				
28-feb-12	26,939	11,624	54,085				
29-feb-12	23,933	8,618	62,703				
1-mar-12	14,769	-0,546	62,157				
2-mar-12	8,500	-6,816	55,341				
3-mar-12	8,737	-6,578	48,763				
4-mar-12	12,183	-3,132	45,631				
5-mar-12	11,795	-3,521	42,111				
6-mar-12	13,060	-2,255	39,856				
7-mar-12	10,162	-5,153	34,703				
8-mar-12	12,927	-2,388	32,314				
9-mar-12	18,994	3,679	35,993				
10-mar-12	12,812	-2,503	33,490				
11-mar-12	6,683	-8,632	24,858				
12-mar-12	7,934	-7,382	17,476				
13-mar-12	9,925	-5,390	12,086				
14-mar-12	9,345	-5,970	6,116				
15-mar-12	8,382	-6,934	-0,817				
16-mar-12	11,415	-3,900	-4,717				
17-mar-12	13,904	-1,411	-6,128				
18-mar-12	10,950	-4,365	-10,493				
19-mar-12	12,456	-2,859	-13,352				
20-mar-12	14,539	-0,776	-14,129				
21-mar-12	18,696	3,381	-10,748				
22-mar-12	20,797	5,482	-5,266				
23-mar-12	25,449	10,134	4,868				

Grafica No. 6. Gráfico CUSUM para $PM_{2.5}$



FUENTE: Felipe Sanabria

A lo largo de los cuatro meses en que se realizó el monitoreo, desde el 13 de Diciembre de 2011, la grafica representa valores de desviación acumulada positiva ya que en este mes la actividad económica en la zona aumenta por que se acercan fechas como Navidad y va decreciendo para la fecha de Fin de Año. Para el mes de Enero de 2012 que, a pesar de ser seco presentó un alto régimen de vientos, la desviación acumulada desciende por el transporte del Material Particulado ($PM_{2.5}$) en el aire y también porque se evidenció un nivel bajo de transito vehicular por el centro de la ciudad puesto que la mayor parte de las personas salen de la Ciudad de Bogotá. Para los primeros días del mes de Febrero que las Instituciones Educativas, Trabajos, oficinas, etc. vuelven a sus actividades normales, la desviación acumulada vuelve a aumentar gracias a la combinación de la Temporada seca con menor cantidad de vientos y el aumento de las emisiones de los automóviles con combustible Diesel. Por ultimo para el mes de Marzo la desviación viene con una tendencia decreciente asociado a los inicios de la época de lluvia del año, siendo arrastrado este contaminante por la precipitación. Se ve entonces que las medidas de la estación permiten capturar de manera suficientemente representativa las variaciones no sólo en la generación del contaminante sino en las condiciones meteorológicas que influyen en su dispersión.

9.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA SO₂

Para el análisis de medidas de tendencia central y medidas de dispersión se realizó un análisis de datos agrupados de los resultados de las muestras que se encuentran anteriormente; y los cálculos realizados fueron los siguientes:

$$R = (X_i \text{ mayor} - X_i \text{ menor}) = 44,033^{15}$$

$$\text{No. De Clases} = 15$$

$$\text{Amplitud de intervalo de Clase} = R / \text{No. de Clases} = 2,94$$

Tabla No. 24. Análisis estadístico para SO₂

No. Clases	Intervalos de Clase		Marca de Clase X_i	Frecuencia f_i	Frecuencia Acumulada F_i	Frecuencia Relativa f_{rel}	Frecuencia Relativa Acumulada F_{rel}
1	3,9	6,8	5,4	17	17	22,08%	22,08%
2	6,8	9,8	8,3	12	29	15,58%	37,66%
3	9,8	12,7	11,2	13	42	16,88%	54,55%
4	12,7	15,6	14,2	7	49	9,09%	63,64%
5	15,6	18,6	17,1	7	56	9,09%	72,73%
6	18,6	21,5	20,0	14	70	18,18%	90,91%
7	21,5	24,4	23,0	3	73	3,90%	94,81%
8	24,4	27,4	25,9	2	75	2,60%	97,40%
9	27,4	30,3	28,9	0	75	0,00%	97,40%
10	30,3	33,3	31,8	0	75	0,00%	97,40%
11	33,3	36,2	34,7	0	75	0,00%	97,40%
12	36,2	39,1	37,7	0	75	0,00%	97,40%
13	39,1	42,1	40,6	1	76	1,30%	98,70%
14	42,1	45,0	43,5	0	76	0,00%	98,70%
15	45,0	47,9	46,5	1	77	1,30%	100,00%
TOTAL				77		100,00%	

FUENTE: Felipe Sanabria

¹⁵Se determina a partir de la concentración del contaminante

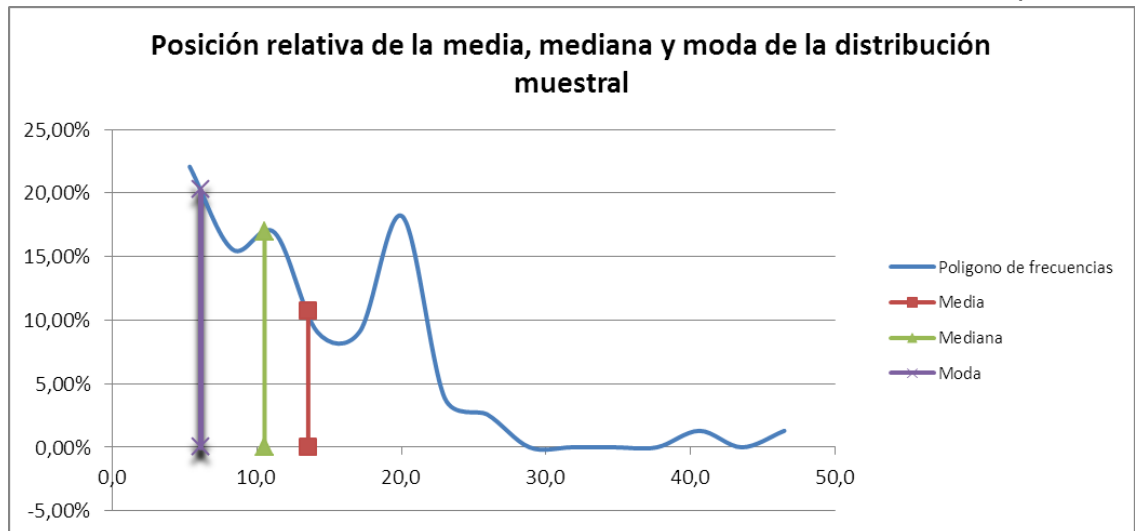
Dando como resultados para las medidas de tendencia central y de dispersión:

Tabla No. 25. Resultados de Medidas de tendencia central y de dispersión para SO₂

Media (X)	13,56	
Mediana	10,55	
Moda	6,17	
s²	59,84	
s (Desviación Estándar)	7,74	
Asimetría	3,43	Asimetría a la IZQUIERDA
Curtosis	9,81233397	Leptocurtica

FUENTE: Felipe Sanabria

Grafica No. 7. Distribución muestral de las medidas de tendencia para SO₂



FUENTE: Felipe Sanabria

Se observa en los resultados de la Tabla No. 26 que la media muestral tiene un valor de 13,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la cual se encuentra muy por debajo de la Norma Anual para SO₂ (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); esto hace referencia a que los combustibles que se utilizan en la ciudad, específicamente en la Cra 10 no contienen compuestos de Azufre en su composición así generando niveles bajos de este contaminante en la zona, y

también que no existen industrias que utilicen en sus procesos de combustión Carbón, Diesel, Gas natural, etc. La mediana, con un valor de $10,55\mu\text{g}/\text{m}^3$ se aleja un poco más de la media muestral y la Norma Anual hacia la izquierda confirmando así que todas las medidas correctivas implementadas para disminuir gases por parte de los servicios de transporte publico han sido efectivas y lo cual a futuro y con el funcionamiento del Transmilenio en la Cra 10 se esperaría que las concentraciones puedan bajar de forma significativa. Se encuentra además que las muestras monitoreadas para los cuatros meses exhiben una distribución unimodal, presentando mayores valores cercanos a $6,17\mu\text{g}/\text{m}^3$ que se encuentran muy por debajo de la Norma Anual y Norma Diaria ($250\mu\text{g}/\text{m}^3$) determinando así que para este gas contaminante no se registra mayor influencia de contaminación en la Zona.

La Desviación Estándar (s), es un valor sumamente importante para el análisis, ya que los datos que se encuentran en el intervalo de hasta 3 desviaciones por encima de la media, con inferiores o iguales a $29,04\mu\text{g}/\text{m}^3$ estando este valor muy por debajo de la Norma Diaria ($250\mu\text{g}/\text{m}^3$); con esto se puede concluir que la frecuencia con que se realiza el monitoreo es la adecuada para este contaminante en la zona, y que la probabilidad de ocurrencia de incidentes diarios que comprometan la salud humana es muy baja. En cuanto a la asimetría, se encontró que la distribución presenta una Asimetría a la Izquierda (por ende no es una distribución normal), es decir, que se corrobora la tendencia de los datos a agruparse a la izquierda de la media, lo cual es representativo de los controles que se han impuesto en materia de contaminación por fuentes móviles (donde se tiende a generar el $\text{PM}_{2.5}$, y gases de SO_2 y NO_2).

La Curtosis dio como resultado un valor positivo, implicando una distribución Leptocúrtica y, por tanto, los valores muestrales están menos dispersos entre todos los intervalos de clase. Lo anterior tiene unas implicaciones importantes a

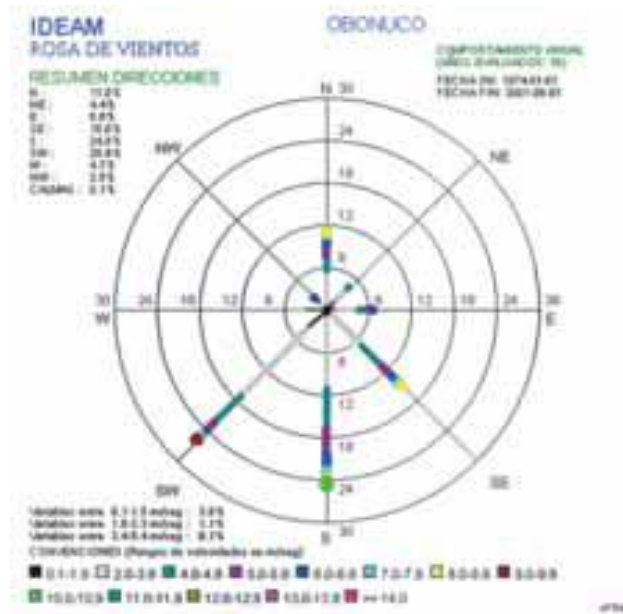
futuro ya que, si se toman mayores restricciones, la zona cumple con toda la Normativa vigente y el estado de contaminación por este contaminante es bajo.

Por otro lado, para este contaminante se encontraron en los resultados de las mediciones valores muy altos, por encima de la Norma Anual y Norma Diaria, esto fue para los últimos días del mes de Enero y los primeros días del mes de Febrero. Estos valores fueron eliminados del estudio para obtener valores más acertados y que las muestras no generaran sesgos significativos y/o erróneos. Para explicar un poco los niveles tan altos como el día 1 de Febrero con una concentración de $465,139 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se encontró que; el Volcán Galeras estuvo en nivel de alerta amarilla para el día 24 de Enero de 2012, continuando con actividad volcánica asociada a movimientos de fluidos, liberación de gases a la atmosfera, con un incremento a lo registrado en semanas anteriores. El seguimiento de la actividad superficial evidencia que se mantienen los procesos de emisión permanente de gases, principalmente vapor de agua, tanto desde el cráter principal como desde otros cráteres secundarios y campos fumarólicos del cono y que se registra un incremento notable en las emisiones, coincidente con el aumento de las lluvias de los últimos días. A través de cámaras instaladas en la región del volcán y debido a condiciones climáticas favorables, se evidenció emisión de gases todos los días de esta semana.¹⁶

Con respecto a lo anterior, para complementar la información y determinar que el arrastre de vientos desde el Departamento del Nariño hasta el centro de Colombia fueron los posibles causantes de que se hallan registrado valores tan altos de SO_2 en la zona, aunque se registran valores bajos, junto con los niveles de azufre desde otros puntos del país se tomo en cuenta la dirección de los vientos para el departamento del Nariño.

¹⁶SEGUIMIENTO GEOLOGICO COLOMBIANO, OBSERVATORIO PASTO "VOLCAN GALERAS". Consulta actividad volcánica volcán Galeras [En Línea] <<http://www.ingeo Minas.gov.co/Pasto/Publicaciones/Reportes-de-actividad/Reportes-semanales/2012/Enero/Boletin-semanal-de-actividad-volcan-Galeras---24-d.aspx>> [Consultado el 1 de Agosto de 2012]

Figura No. 8. Rosa de Vientos para el departamento del Nariño



FUENTE: Atlas de viento y energía eólica en Colombia

Para complementar el análisis de los estadísticos descriptivos, a partir de los valores anteriores se realizaron las cartas de control para verificar la condición de control estadístico del sistema:

1. Gráfico x-trazo. Para este se hallan las amplitudes de los intervalos de control que corresponden a:

$$2 * s = 15,48$$

$$3 * s = 23,22$$

Donde s = Desviación estándar

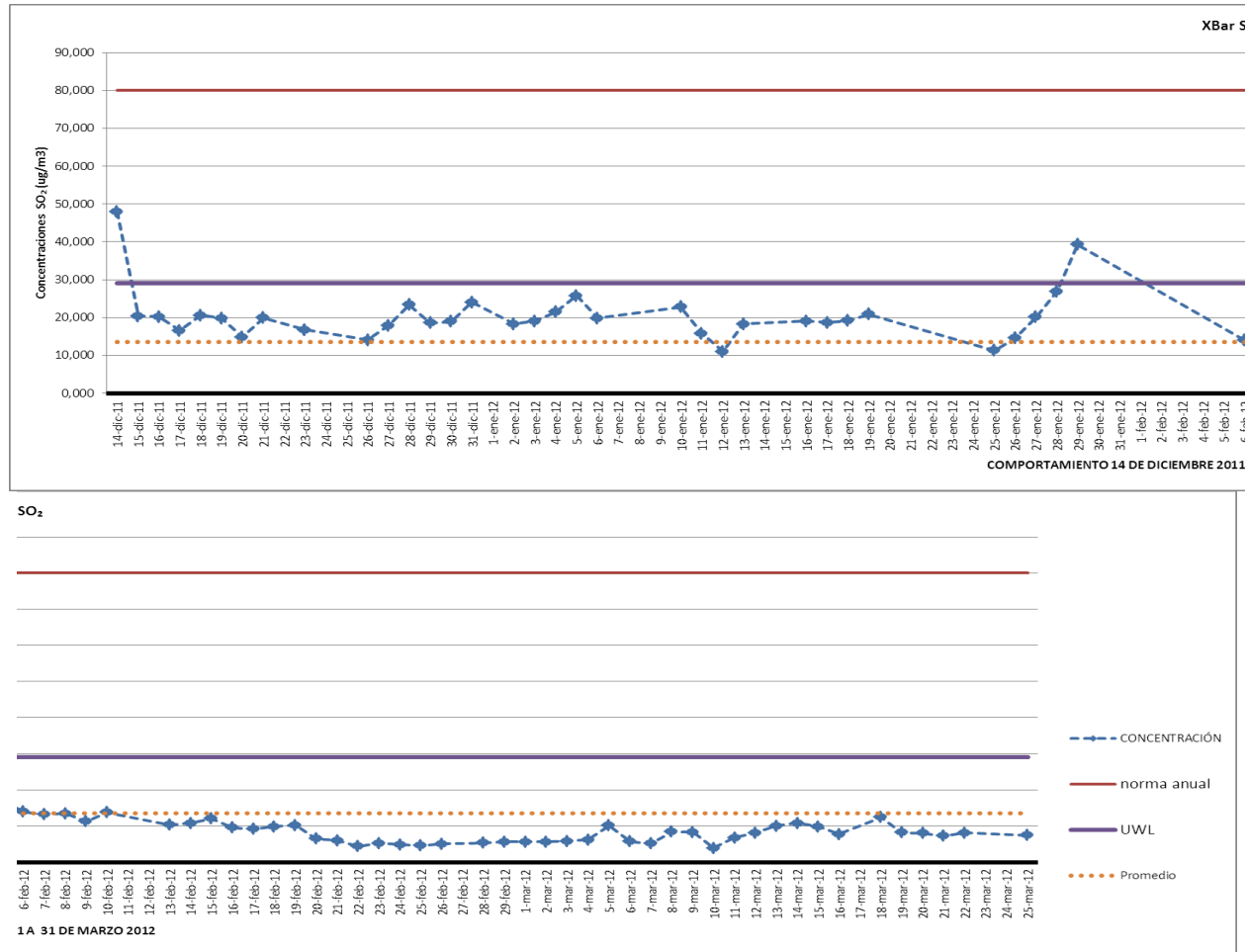
Se determinan los límites en los cuales la muestra debe incurrir para que se encuentre en control estadístico:

$$UWL = 13,56 + 15,48 = 29,04; LWL = 13,56 - 15,48 = - 1,92$$

$$UAL = 13,56 + 23,22 = 36,78; LAL = 13,56 - 23,22 = - 9,66$$

Como los límites interiores LWL y LAL dieron valores negativos, estos se ignoran y se presumen iguales a 0 ya que no existen emisiones negativas.

Grafica No. 8. X Bar para SO₂



FUENTE: Felipe Sanabria

A partir de la Grafica No. 7 podemos concluir que 2 de los datos se encuentran por encima del Limite UWL, estas muestras que sobrepasan el nivel son apenas el 2,59% del total de las muestras por tanto se considera que el sistema mantiene un comportamiento relativamente estable considerando un nivel de confianza en el análisis del 95%. Algunos valores se acercan al Limita UWL pero ninguno de alguna forma representativa, ya que la muestra presenta un comportamiento relativamente constante y con Trenes por debajo del Promedio de los datos. También se encuentra un pico (para el 30 de Enero) en la grafica con una tendencia creciente y es la que hace relación a lo anteriormente expuesto de la posible influencia de los vientos y la actividad volcánica para esa época en el país especialmente en el Volcán Galeras.

2. Método CUSUM (Desviación Acumulada)

Para este método no se agruparon los resultados de concentración del contaminante, solo se realizó una sumatoria acumulada con respecto de la media de los datos.

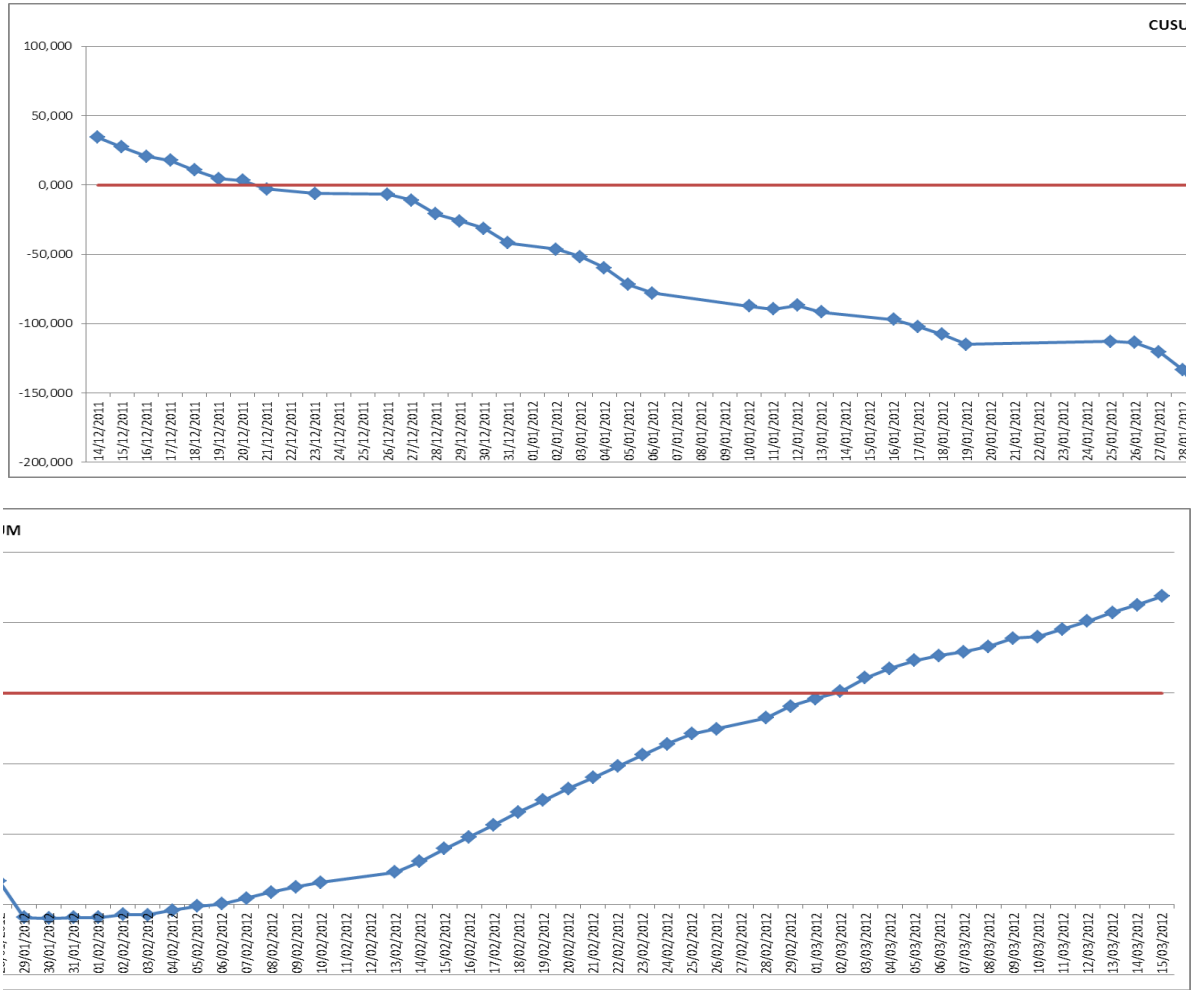
Tabla No. 26. Resultados CUSUM para SO₂

FECHA	Concentración	di	CUSUM = Σd_i	FECHA	Concentración	di	CUSUM = Σd_i
14/12/2011	47,941	23,145	23,145	26/01/2012	14,575	-10,221	-154,385
15/12/2011	20,424	-4,371	18,773	27/01/2012	20,102	-4,694	-159,079
16/12/2011	20,232	-4,564	14,209	28/01/2012	26,861	2,066	-157,014
17/12/2011	16,568	-8,228	5,981	29/01/2012	39,312	14,516	-142,497
18/12/2011	20,554	-4,242	1,739	30/01/2012	63,167	38,371	-104,127
19/12/2011	19,828	-4,968	-3,229	31/01/2012	56,387	31,591	-72,535
20/12/2011	14,836	-9,960	-13,188	01/02/2012	465,139	440,343	367,807
21/12/2011	19,866	-4,930	-18,119	02/02/2012	154,646	129,850	497,657
23/12/2011	16,765	-8,031	-26,150	03/02/2012	92,030	67,235	564,892
26/12/2011	14,061	-10,735	-36,885	04/02/2012	78,655	53,859	618,750
27/12/2011	17,921	-6,875	-43,760	05/02/2012	116,945	92,149	710,900
28/12/2011	23,390	-1,406	-45,166	06/02/2012	13,934	-10,862	700,037
29/12/2011	18,593	-6,203	-51,370	07/02/2012	13,238	-11,558	688,479
30/12/2011	18,916	-5,880	-57,250	08/02/2012	13,511	-11,285	677,194
31/12/2011	24,015	-0,781	-58,031	09/02/2012	11,262	-13,534	663,660
02/01/2012	18,244	-6,552	-64,583	10/02/2012	13,792	-11,004	652,656
03/01/2012	19,003	-5,793	-70,376	13/02/2012	10,371	-14,425	638,231
04/01/2012	21,411	-3,385	-73,761	14/02/2012	10,763	-14,033	624,198
05/01/2012	25,731	0,935	-72,826	15/02/2012	12,033	-12,762	611,435
06/01/2012	19,836	-4,960	-77,786	16/02/2012	9,540	-15,256	596,179
10/01/2012	22,764	-2,032	-79,818	17/02/2012	9,138	-15,658	580,521
11/01/2012	15,791	-9,005	-88,823	18/02/2012	9,879	-14,917	565,604
12/01/2012	11,038	-13,758	-102,581	19/02/2012	10,270	-14,526	551,078
13/01/2012	18,246	-6,549	-109,130	20/02/2012	6,459	-18,337	532,742
16/01/2012	19,054	-5,742	-114,872	21/02/2012	6,038	-18,758	513,983
17/01/2012	18,675	-6,121	-120,993	22/02/2012	4,424	-20,372	493,611
18/01/2012	19,111	-5,685	-126,678	23/02/2012	5,263	-19,533	474,079
19/01/2012	20,833	-3,963	-130,641	24/02/2012	4,894	-19,902	454,177
25/01/2012	11,273	-13,523	-144,164	25/02/2012	4,539	-20,257	433,920

FECHA	Concentración	di	CUSUM = Σd_i
26/02/2012	5,085	-19,711	414,210
28/02/2012	5,383	-19,412	394,797
29/02/2012	5,640	-19,156	375,641
01/03/2012	5,640	-19,156	356,485
02/03/2012	5,598	-19,198	337,287
03/03/2012	5,832	-18,964	318,323
04/03/2012	6,203	-18,593	299,730
05/03/2012	10,122	-14,673	285,057
06/03/2012	5,738	-19,058	265,999
07/03/2012	5,173	-19,623	246,376
08/03/2012	8,365	-16,431	229,945
09/03/2012	8,355	-16,441	213,505
10/03/2012	3,908	-20,888	192,616
11/03/2012	6,824	-17,972	174,644
12/03/2012	8,104	-16,692	157,952
13/03/2012	10,051	-14,745	143,207
14/03/2012	10,822	-13,974	129,233
15/03/2012	9,863	-14,933	114,300
16/03/2012	7,764	-17,032	97,268
18/03/2012	12,394	-12,402	84,865
19/03/2012	8,222	-16,574	68,291
20/03/2012	7,992	-16,803	51,488
21/03/2012	7,251	-17,545	33,943
22/03/2012	8,156	-16,640	17,303
25/03/2012	7,493	-17,303	0,000

FUENTE: Felipe Sanabria

Grafica No. 9. Grafico CUSUM para SO₂



FUENTE: Felipe Sanabria

A lo largo de los cuatro meses en que se realizó el monitoreo, desde el 14 de Diciembre que iniciaron las mediciones para este contaminante se presentan valores de desviación positiva ya que algunos días del mes de Diciembre las actividades Económicas e industriales aumentando así el flujo vehicular en la Zona. La grafica presenta un comportamiento decreciente desde el 1 de Enero considerado tiempo seco y el cual alguno volcanes como el Galeras en el departamento de Nariño presentaron actividad por eso el comportamiento vuelve con una tendencia creciente como en el inicio del monitoreo.

Se observa entonces que las mediciones de la estación, en cuanto a SO_2 logran reflejar adecuadamente no sólo las variaciones en la generación de este contaminante por el flujo vehicular y procesos de erosión, actividad volcánica si no la incidencia de las condiciones meteorológicas locales, siendo representativa para un análisis de calidad de aire para el centro de Bogotá.

9.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA NO₂

Para el análisis de medidas de tendencia central y medidas de dispersión se realizó un análisis de datos agrupados con los resultados de las muestras que se encuentran anteriormente; y los cálculos realizados fueron los siguientes

$$R = (X_i \text{ mayor} - X_i \text{ menor}) = 54,186$$

$$\text{No. De Clases} = 15$$

$$\text{Amplitud de Intervalo de Clase} = \frac{R}{\text{No. de Clases}} = 3,61$$

Tabla No. 27. Análisis estadístico para NO₂

No. Clases	Intervalos de Clase		Marca de Clase X _i	Frecuencia f _i	Frecuencia Acumulada F _i	Frecuencia Relativa f _{rel}	Frecuencia Relativa Acumulada F _{rel}
1	6,9	10,5	8,7	4	4	4,55%	4,55%
2	10,5	14,1	12,3	9	13	10,23%	14,77%
3	14,1	17,7	15,9	4	17	4,55%	19,32%
4	17,7	21,3	19,5	15	32	17,05%	36,36%
5	21,3	25,0	23,2	12	44	13,64%	50,00%
6	25,0	28,6	26,8	7	51	7,95%	57,95%
7	28,6	32,2	30,4	8	59	9,09%	67,05%
8	32,2	35,8	34,0	5	64	5,68%	72,73%
9	35,8	39,4	37,6	6	70	6,82%	79,55%
10	39,4	43,0	41,2	4	74	4,55%	84,09%
11	43,0	46,6	44,8	7	81	7,95%	92,05%
12	46,6	50,2	48,4	3	84	3,41%	95,45%
13	50,2	53,9	52,1	1	85	1,14%	96,59%
14	53,9	57,5	55,7	1	86	1,14%	97,73%
15	57,5	61,1	59,3	2	88	2,27%	100,00%
TOTAL				88		100,00%	

FUENTE: Felipe Sanabria

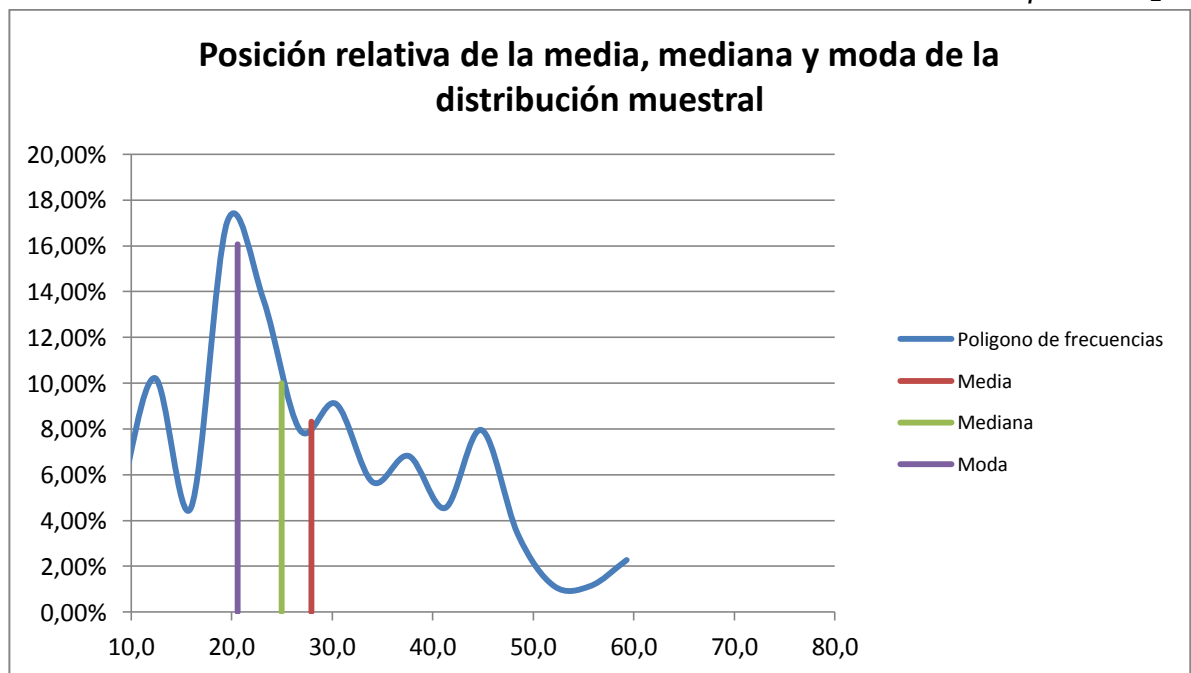
Dando como resultados para las medidas de tendencia central y de dispersión:

Tabla No. 28. Resultados de Medidas de tendencia central y de dispersión para NO₂

Media (X)	27,92	
Mediana	24,96	
Moda	20,58	
s²	155,27	
s (Desviación Estándar)	12,46	
Asimetría	0,43	Asimetría a la IZQUIERDA
Curtosis	-1,869059588	Platicurtica

FUENTE: Felipe Sanabria

Grafica No. 10. Distribución muestral de las medidas de tendencia para NO₂



FUENTE: Felipe Sanabria

A partir de los resultados de la Tabla No. 29 se tiene que la Media muestral tiene un valor de $27,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la cual esta muy por debajo de la Normal Anual para mediciones de NO_2 ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), valores que corresponden con la dinámica de la zona ya que los óxidos de nitrógeno son producidos por procesos de combustión, como los de los automóviles, cuando estos no han alcanzado su temperatura óptima; lo anterior puede corroborarse en la similitud del polígono de frecuencias de este contaminante y el de $\text{PM}_{2.5}$ analizado anteriormente, los cuales provienen de la misma fuente (emisiones del parque automotor). Puede asociarse, entonces, la presencia de este contaminante (NO_2) con la combustión ineficiente de algunos servicios de transporte público que emplean vehículos con más de 15 o 20 años en funcionamiento cuyos motores no se encuentran diseñados para los nuevos requerimientos. La Mediana, con un valor de $24,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se aleja un poco mas de la Media muestral hacia la izquierda confirmando que las medidas correctivas en la ciudad han sido efectivas dado que la mayoría de las mediciones tienden a agruparse por debajo de la media, aunque a futuro y con el funcionamiento del Transmilenio (servicios transporte de ultima generación y utilizando un Diesel mas eficiente) en la Cra 10 se esperaría las concentraciones pueden bajar de forma significativa. En cuanto a la repetitividad de los datos, las muestras monitoreadas para este contaminante fueron unimodales, presentando mayores frecuencias en valores cercanos a $20,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo aún más baja su relación con la Norma Anual y Norma Diaria ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que la de la media muestral.

A partir de la Desviación Estándar (s), se encuentra que los datos muestrales pueden ubicarse con suficiente certidumbre por debajo de $65,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ valor que es bastante inferior a la Norma Diaria ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), concluyendo que la frecuencia de monitoreo es la adecuada para este contaminante en la zona a efectos de la prevención de daños futuros en la salud.

En cuanto a la asimetría, se encontró que la distribución es asimétrica a la Izquierda (por ende no es una distribución normal), es decir, la estación refleja en

buena medida el efecto de las acciones implementadas para la reducción de la contaminación en la zona. De otra parte, el índice de Curtosis presenta un valor negativo, clasificando a la distribución como Platicúrtica lo que indica que la contaminación por NO₂ es baja pero muy variable en la zona de estudio, ya sea debido a cambios en el flujo automotor o por fenómenos meteorológicos, como era de esperarse.

Para complementar el análisis de los estadísticos descriptivos, a partir de los valores anteriores se realizaron las cartas de control para verificar la condición de control estadístico del sistema:

1. Gráfico x-trazo. Para este se hallan las amplitudes de los intervalos de control que corresponden a: $2 * s = 24,92$

$$3 * s = 37,38$$

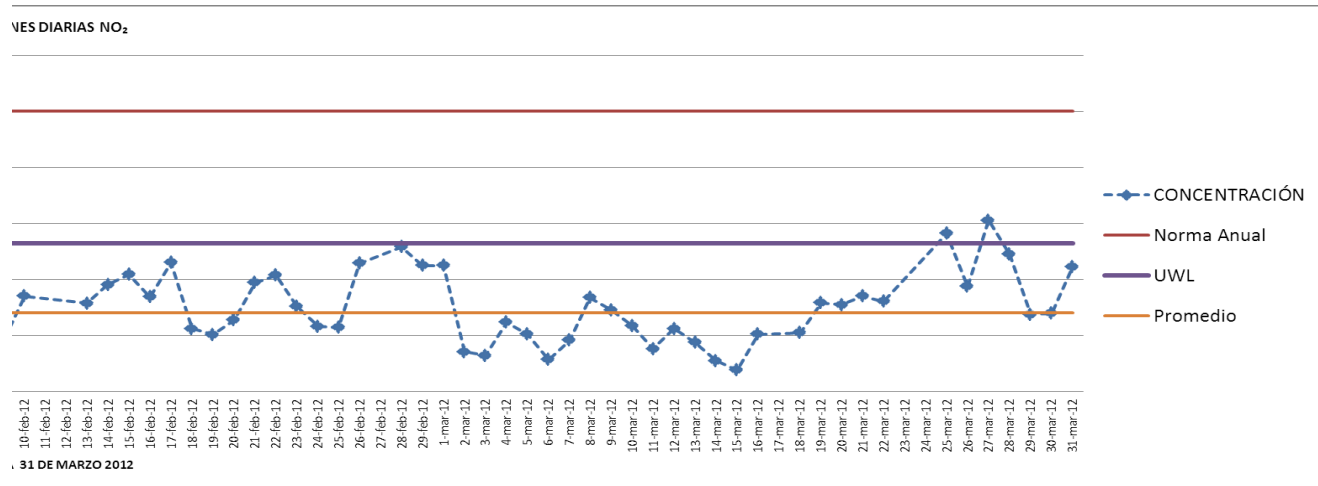
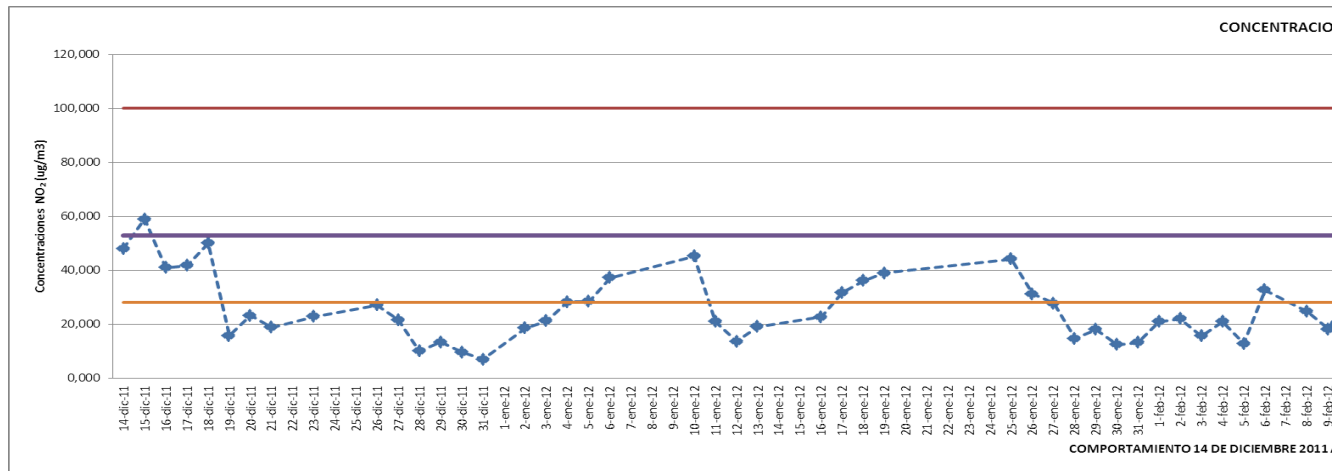
Donde s = Desviación estándar

Se determinan los límites en los cuales la muestra debe incurrir para que se encuentre en control estadístico:

$$UWL = 27,92 + 24,92 = 52,84; LWL = 27,92 - 24,92 = 3$$

$$UAL = 27,92 + 37,38 = 65,3; LAL = 27,92 - 37,38 = - 9,46$$

Grafica No.11. X Bar NO₂



FUENTE: Felipe Sanabria

A partir de la Grafica No. 10 podemos concluir que apenas 3 datos se encuentran por encima del límite UWL, estas muestras que sobrepasan el nivel son apenas el 2,06% del total de las muestras por tanto se toman como representativas teniendo en cuenta un nivel de confianza en el análisis del 95%. No obstante existen muchos valores que se acercan al Limite UWL los cuales pudieran estar asociados a los trancones en la zona ya que la reducción de la velocidad en los vehículos ocasiona el descenso de la temperatura del motor y, por ende, el aumento en la probabilidad de emisión de NO₂. Se observan algunos períodos con tendencias crecientes, que podrían asociarse a un mayor ingreso de vehículos en la zona por razones comerciales y/o turísticas

2. Gráfico CUSUM (Desviación Acumulada)

Para este método no se agruparon los resultados de concentración del contaminante, solo se realizó una sumatoria acumulada con respecto de la media de los datos.

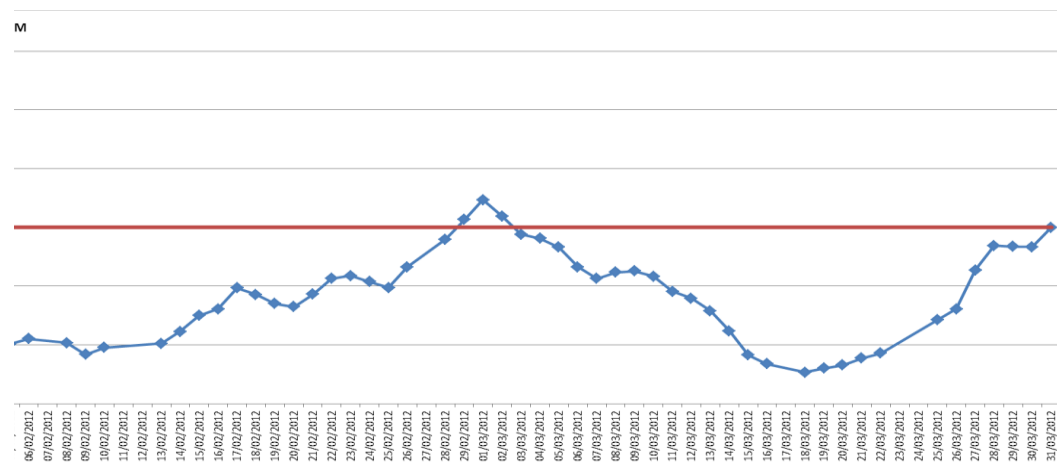
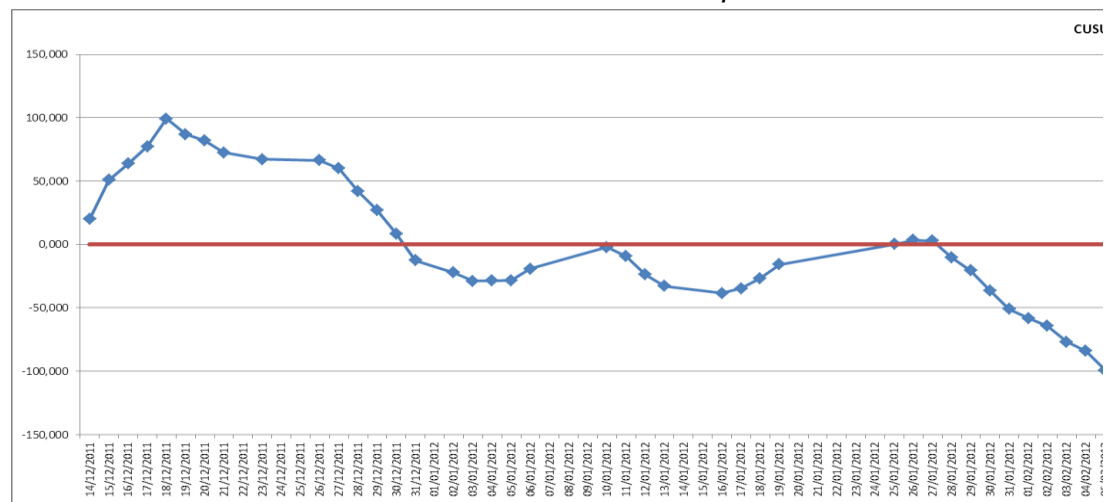
Tabla No. 29. Resultados CUSUM para NO₂

FECHA	CONCENTRACIÓN	di	CUSUM = $\sum d_i$	FECHA	CONCENTRACIÓN	di	CUSUM = $\sum d_i$
14/12/2011	47,941	19,907	19,907	27/01/2012	27,626	-0,408	2,942
15/12/2011	58,930	30,896	50,803	28/01/2012	14,612	-13,421	-10,479
16/12/2011	40,876	12,843	63,646	29/01/2012	17,926	-10,107	-20,586
17/12/2011	41,622	13,588	77,234	30/01/2012	12,344	-15,690	-36,276
18/12/2011	50,009	21,976	99,210	31/01/2012	13,208	-14,825	-51,101
19/12/2011	15,660	-12,374	86,836	01/02/2012	20,827	-7,207	-58,308
20/12/2011	23,133	-4,900	81,936	02/02/2012	21,991	-6,042	-64,350
21/12/2011	18,706	-9,328	72,608	03/02/2012	15,487	-12,546	-76,896
23/12/2011	22,752	-5,281	67,327	04/02/2012	20,883	-7,151	-84,047
26/12/2011	27,067	-0,967	66,360	05/02/2012	12,779	-15,255	-99,302
27/12/2011	21,571	-6,462	59,898	06/02/2012	32,650	4,617	-94,685
28/12/2011	9,973	-18,061	41,837	08/02/2012	24,633	-3,400	-98,086
29/12/2011	13,326	-14,708	27,129	09/02/2012	18,076	-9,957	-108,043
30/12/2011	9,495	-18,539	8,590	10/02/2012	33,948	5,914	-102,129
31/12/2011	6,898	-21,136	-12,546	13/02/2012	31,459	3,425	-98,704
02/01/2012	18,493	-9,540	-22,086	14/02/2012	38,088	10,054	-88,649
03/01/2012	21,174	-6,859	-28,945	15/02/2012	41,653	13,619	-75,030
04/01/2012	28,285	0,251	-28,694	16/02/2012	33,678	5,645	-69,385
05/01/2012	28,293	0,259	-28,435	17/02/2012	45,955	17,921	-51,463
06/01/2012	37,097	9,064	-19,371	18/02/2012	22,368	-5,665	-57,129
10/01/2012	45,155	17,122	-2,249	19/02/2012	20,217	-7,817	-64,946
11/01/2012	20,921	-7,112	-9,362	20/02/2012	25,388	-2,646	-67,591
12/01/2012	13,508	-14,526	-23,888	21/02/2012	38,741	10,707	-56,884
13/01/2012	18,988	-9,046	-32,933	22/02/2012	41,479	13,445	-43,438
16/01/2012	22,594	-5,440	-38,373	23/02/2012	30,248	2,215	-41,224
17/01/2012	31,656	3,622	-34,751	24/02/2012	23,192	-4,841	-46,065
18/01/2012	36,089	8,056	-26,695	25/02/2012	22,737	-5,296	-51,361
19/01/2012	38,915	10,881	-15,814	26/02/2012	45,651	17,617	-33,744
25/01/2012	44,103	16,070	0,256	28/02/2012	51,582	23,548	-10,196
26/01/2012	31,128	3,095	3,350	29/02/2012	44,847	16,814	6,618

FECHA	CONCENTRACIÓN	di	CUSUM = Σd_i
01/03/2012	44,847	16,814	23,431
02/03/2012	14,044	-13,990	9,442
03/03/2012	12,735	-15,299	-5,857
04/03/2012	24,637	-3,396	-9,254
05/03/2012	20,395	-7,639	-16,893
06/03/2012	11,247	-16,787	-33,679
07/03/2012	18,154	-9,880	-43,559
08/03/2012	33,416	5,382	-38,176
09/03/2012	29,081	1,048	-37,129
10/03/2012	23,453	-4,580	-41,709
11/03/2012	15,170	-12,864	-54,573
12/03/2012	22,349	-5,684	-60,257
13/03/2012	17,393	-10,641	-70,898
14/03/2012	10,841	-17,192	-88,090
15/03/2012	7,613	-20,421	-108,511
16/03/2012	20,342	-7,691	-116,202
18/03/2012	20,929	-7,105	-123,307
19/03/2012	31,492	3,458	-119,848
20/03/2012	30,838	2,804	-117,044
21/03/2012	33,893	5,859	-111,185
22/03/2012	32,120	4,086	-107,099
25/03/2012	56,315	28,282	-78,817
26/03/2012	37,411	9,378	-69,439
27/03/2012	61,084	33,050	-36,389
28/03/2012	48,900	20,867	-15,522
29/03/2012	27,365	-0,669	-16,191
30/03/2012	27,761	-0,272	-16,464
31/03/2012	44,497	16,464	0,000
Promedio	28,034		

FUENTE: Felipe Sanabria

Grafica No. 12. Método CUSUM para NO₂



FUENTE: Felipe Sanabria

A lo largo de los cuatro meses en que se realizó el monitoreo, desde el 14 de Diciembre de 2011, la grafica presenta una Desviación acumulada positiva ya que en este mes la actividad económica, entrada de carga pesada para distribución de mercancía, entrada del turismo a la Ciudad en la zona aumenta acercándose fechas como Navidad y va decreciendo para la fecha de Año debido al éxodo que experimenta la ciudad en las festividades decembrinas. Para los meses de Enero e inicios de Febrero, la tendencia decreciente continúa debido al efecto combinado de un menor flujo vehicular con la temporada seca, lo cual permite que el NO_2 producido en la zona tenga una mayor facilidad para dispersarse en la atmósfera. Ya hacia la segunda mitad del mes de Febrero, la desviación comienza a aumentar debido al aumento en el flujo vehicular por el inicio de actividades escolares y laborales, pero vuelve a descender con el inicio de la temporada de lluvias en el mes de marzo gracias al efecto de lavado de la precipitación en el aire.

Se ve entonces que las medidas de la estación permiten capturar de manera suficientemente representativa las variaciones no sólo en la generación del contaminante sino en las condiciones meteorológicas que influyen en su dispersión.

9.11. CONCLUSION

- Con respecto a los análisis realizados durante cuatro meses para el desarrollo de este Trabajo de Grado para los contaminantes de PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ y NO₂; los resultados fueron óptimos y se determinó que la Estación de Calidad de Aire del IDEAM cumple con los requisitos mínimos que exige los Protocolos de Monitoreo y Seguimiento de Calidad de Aire apoyados de los anexos y hojas de campo que fueron utilizadas para realizar un idóneo monitoreo.
- En cuanto al estado actual de los equipos, cada uno cumple con los criterios de funcionamiento, buen estado y desempeño mediante el tiempo estipulado para un monitoreo de calidad de aire.
- La instalación y ubicación de los equipos fue determinada por medio de los formatos anteriormente expuestos donde todos cumplen las distancias óptimas entre equipos y obstáculos cercanos a la estación. Algunas recomendaciones que hace el MAVDT no se cumplen en la estación ya que el IDEAM no cuenta con lugar específico ni vigilancia adecuada en donde se pudieran ubicar los equipos a la altura a la cual están diseñados por los fabricantes. La ubicación e instalación logran representar adecuadamente las condiciones meteorológicas y de calidad de aire y se corroboran en los días los cuales los valores de SO₂ fueron tan elevados si se contara con la altura de ubicación exacta de los equipos hubiese sido una evacuación inmediata del lugar para evitar problemas pulmonares por ácido en la salud de las personas.
- El monitoreo de calidad de aire con cada uno de los equipos fue satisfactorio ya que la estación no solo determinó la representatividad de la estación para comprobar el estado actual de la contaminación en la Carrera 10 No. 20-30 el cual demostró que las acciones correctivas hechas por el Distrito para los combustibles y Automóviles han sido satisfactorias y vienen

reduciéndose año tras año y se demostraron también los efectos meteorológicos a los cuales se encuentra sometida la estación de calidad de aire del IDEAM.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la Calidad de Aire. Bogotá: MAVDT; 2007. p. 63-63

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad de Aire. Bogotá: MAVDT; 2010. p. 58-64

RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE. Protocolo para el Muestreo de Dióxido de Azufre (SO_2) y Dióxido de Nitrógeno (NO_2) Utilizando el Equipo de Tres Gases. Bogotá: REDAIRE. p. 2-5.

RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE. Protocolo para muestreo de partículas respirables (PM_{10}) utilizando el equipo de muestreador de alto volumen PM_{10} de flujo constante. Bogotá: REDAIRE. p. 3-13

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Calibración y manejo de equipo PM_{10} hi-Vil CFV. Bogotá: 2008; IDEAM. p. 6-9.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Calibración y manejo de equipo partisol M2000. Bogotá: 2008; IDEAM. p. 5-10, 19-22.

BANGO DE BOGOTÁ. Indicadores Económicos.[en línea]
<https://www.bancodebogota.com/portal/page?_pageid=1773,163943027&_dad=portal&_schema=PORTAL> [Consultado el 17 de mayo de 2012.]

CODENSA. Tarifas de energía eléctrica (\$/kWh) reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) Enero de 2012. Bogotá: CODENSA; 2012. p. 1-2

QUALICHEM TECHNOLOGIES. Potassium Reagents[en línea]
<<http://www.boilerandcoolingwater.com/SearchResults.asp?searching=Y&sort=13&search=potassium&show=10&page=3>> [Consultado el 17 de mayo de 2012.]

QUALICHEM TECHNOLOGIES. Sodium Arsenite[en línea]
<http://www.boilerandcoolingwater.com/Sodium_Arsenite_s/718.htm> [Consultado el 17 de mayo de 2012.]

ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN PREVIA AL MUESTREO Y PESADO INICIAL DEL FILTRO- EQUIPO PM_{2.5} PARTISOL 2000

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO PROGRAMA DE FISICOQUÍMICA AMBIENTAL		
	Código: 5	Fecha:	Versión: 01
CALIBRACIÓN Y MANEJO DE EQUIPO PARTISOL M2000			

Antes de realizar el tarado del filtro inspeccione la integridad física del filtro observando las siguientes anomalías:

- Agujeros
- Gránulos o desmenuzado de la superficie
- Pérdida de material
- Decoloración
- Falta de uniformidad

2.6 Preparación del filtro previo al muestreo

Realice este procedimiento para equilibrar el filtro. Asegúrese de utilizar cajas petri para el almacenamiento en laboratorio. Realice el siguiente procedimiento para equilibrar los filtros:

- 1) Etiquete cada caja petri y enumérela
- 2) Ponga la parte superior de la caja petri debajo de la otra mitad inferior
- 3) Ponga cada filtro (previamente inspeccionado) en una caja petri
- 4) Registre el número, humedad relativa, temperatura, fecha y hora del inicio del procedimiento
- 5) Equilibre el filtro por al menos 24-h bajo las siguientes condiciones
 - a. El cuarto de equilibrio se debe mantener a humedad relativa constante, entre 30 a 40%, con una variabilidad de no más de $\pm 5\%$
 - b. El cuarto se debe mantener igualmente a temperatura constante, entre 20 a 23°C, con una variabilidad no mayor a $\pm 2^\circ\text{C}$

2.7 Pesado inicial del filtro

- 1) Cada filtro debe haber sido equilibrado por un periodo de 24-h, antes del pesado
- 2) Emplee una microbalanza con una resolución de al menos $1\mu\text{g}$ (0.001mg). Tener en cuenta que la balanza debe haber sido puesta en funcionamiento (calentamiento) antes de su uso.
- 3) Pese el filtro al menos una vez (sin embargo, se recomiendan tres repeticiones), registre la masa en gramos. Se pueden presentar cargas electrostáticas, por ello se recomienda emplear los medios apropiados para neutralizar las cargas en el filtro. Se recomienda realice el pesado 30 días antes del muestreo (EPA 2.12 Quality Assurance Handbook, section 7)
- 4) Ponga cada filtro previamente pesado en el cassette (R&P 59-004648) y cierre el cassette. Asegurarse de hacer un cierre sea hermético.
- 5) Ponga el cassette con su filtro instalado (filtro-cassette) dentro del transportador de cassettes (cassette-transportador) (R&P 55-004847), y ponga el transportador en el contenedor metálico (EPA 2.12 Quality Assurance Handbook, section 7). El contenedor deberá estar identificado y tener en su interior compartimentos en espuma para fijar los transportadores de cassettes.
- 6) Registre la humedad relativa, temperatura, fecha y hora del pesaje inicial

Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Autorizado por: Fecha:
--------------------------	-------------------------	---------------------------

ANEXO B: CHEQUEO AUTOMÁTICO DE FUGAS EXTERNAS-EQUIPO PM_{2.5}

PARTISOL 2000

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO PROGRAMA DE FISCOQUÍMICA AMBIENTAL		
	Código: 5	Fecha:	Versión: 01
	CALIBRACIÓN Y MANEJO DE EQUIPO PARTISOL M2000		
Página 19 de 19			

- 3) Verifique que la temperatura que aparece en la pantalla es **"Filter Temp"**. La temperatura debe ser de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ de la temperatura medida. Si este no es el caso, realice el procedimiento de calibración del medidor de temperatura del filtro

5.3 Auditoría al medidor de presión barométrica

- Desde el menú **Setup**, presione **<F5: Audit>** para ingresar **Audit**.
- Determine la presión barométrica actual en mm Hg (absoluta, no corregida al nivel del mar), utilice los siguientes factores de conversión si es necesario:
 - Para convertir desde atmósferas (a 0°C) a mm Hg, multiplicar por 760.
 - Para convertir desde milibares a mm Hg, multiplicar por 0.75012.
 - Para convertir desde inches (a 32°F) a mm Hg, multiplicar por 25.4
- Verifique que la presión que aparece en la pantalla es **"Ambient Press"**. La presión debe ser de ± 10 mm Hg de la presión barométrica medida. Si este no es el caso, realice el procedimiento de calibración del medidor de presión barométrica

5.4 Chequeo automático de fugas externas

- Desde el menú **Setup**, presione **<F5: Audit>** para ingresar **Audit**.
- Retire el Inlet PM-10 del equipo
- Instale un filtro-cassette con un filtro nuevo
- Instale el adaptador de auditoría de flujo (57-000618) al final de la sonda de muestreo. Asegúrese que la válvula del adaptador se encuentre en la posición abierto
- Presione **<F5: LeakCk>**. Si el equipo no posee la función de chequeo automático de fugas externas, mostrará el mensaje **"System does not support auto leak check"**. Si aparece el mensaje anterior, vaya al procedimiento chequeo manual de fugas.
- Presione **<ENTER>**
- Gire la válvula del adaptador de flujo a la posición **cerrado**.
- Presione **<ENTER>**
- Cierre el ingreso de flujo al controlador girando la válvula de cierre manual (válvula de control de flujo manual) que se encuentra conectado al filtro de aire ubicado al lado izquierdo del múltiple de la unidad (equipo). Esto hace referencia al **sitio A** de la figura 10-4 del manual.
- Presione **<ENTER>**. El sistema creará un vacío y comenzará el ciclo de chequeo de fugas por 30 segundos. Al final del ciclo mostrará en pantalla el mensaje **"Leak Check Pass"** o **"Leak Check Fail"**. Si falla la prueba, la unidad mostrará el vacío perdido. El criterio para pasar es un vacío de 15 pulgadas de agua (381 mm Hg) o menos. Si falla la prueba ir al paso 11, si pasa la prueba ir al paso 12
- Ponga nuevamente un filtro-cassette nuevo y repita el procedimiento de chequeo de fugas. Si falla la prueba por segunda vez vaya a la Sección 11 del Manual
- Abra la válvula de flujo que cerró en el paso 9

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:
Fecha:	Fecha:	Fecha:

ANEXO C: CHEQUEO MANUAL DE FUGAS EXTERNAS-EQUIPO PM_{2.5}

PARTISOL 2000

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO PROGRAMA DE FISICOQUÍMICA AMBIENTAL		
	Código: 5	Fecha:	Versión: 01
CALIBRACIÓN Y MANEJO DE EQUIPO PARTISOL M2000			

- 13) Abra lentamente la válvula del adaptador de auditoría
- 14) Si desea realizar después una auditoría al flujo, vaya al procedimiento de Auditoría al medidor de flujo. Si no va a realizar auditoría de flujo ir al paso 15
- 15) Remueva el adaptador de auditoría de flujo de la sonda de muestreo
- 16) Instale el Inlet PM-10 al final de la sonda de muestreo
- 17) Retire el filtro-cassette del equipo y descarte el filtro

5.5 Chequeo manual de fugas externas

- 1) Desde el menú **Setup**, presione <**F5: Audit**> para ingresar **Audit**.
- 2) Retire el Inlet PM-10 del equipo
- 3) Instale un filtro-cassette al equipo
- 4) Instale el adaptador de auditoría de flujo (57-000618) al final de la sonda de muestreo. Asegúrese que la válvula del adaptador se encuentre en la posición abierta
- 5) Presione <**F2: Valve**>
- 6) Presione <**F3: Pump**>
- 7) Gire la válvula del adaptador de flujo a la posición **cerrada**.
- 8) Cierre el flujo de la bomba al controlador (girando la válvula de cierre manual que se encuentra conectado al filtro de aire ubicado al lado izquierdo del múltiple del equipo). Esto hace referencia al **sitio A** de la figura 10-4 del manual.
- 9) Observe el vacío del manómetro y registre la lectura cuando este se encuentre estable. El manómetro deberá registrar al menos 15 pulgadas de agua (381 mm Hg) o menos.
- 10) Cierre el flujo a la bomba (girando la válvula de cierre manual localizada en el fondo del múltiple de la unidad)
- 11) Presione <**F3: Pump**>
- 12) Registre la lectura de vacío del manómetro. Esta lectura no deberá ser inferior a 8.5 pulgadas Hg en un periodo de 30 segundos. Esto corresponde a una fuga de 80 ml/min. Si la caída de presión es superior a 8.5 pulgadas Hg, hacer seguimiento interno y externo a las conexiones para identificar posibles problemas
- 13) Abra la válvula del controlador de flujo y la válvula de la bomba que se cerraron en los pasos 8 y 10
- 14) Abra lentamente la válvula del adaptador de auditoría
- 15) Presione <**F2: Valve**>
- 16) Si va a realizar auditoría al flujo del equipo, ir al procedimiento de auditoría al medidor de flujo. De lo contrario ir al paso 17
- 17) Remueva el adaptador de auditoría de flujo de la sonda de muestreo
- 18) Instale el Inlet PM-10 al final de la sonda de muestreo
- 19) Retire el filtro-cassette del equipo y deseche el filtro

5.6 Auditoría al medidor de flujo

Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Autorizado por: Fecha:
--------------------------	-------------------------	---------------------------

ANEXO D: VERIFICACIÓN DE FLUJO-EQUIPO PM_{2.5} PARTISOL 2000

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO PROGRAMA DE FÍSICOQUÍMICA AMBIENTAL		
	Código: 5	Fecha:	Versión: 01
CALIBRACIÓN Y MANEJO DE EQUIPO PARTISOL M2000			

Si va a realizar auditoría al medidor de flujo, deberá realizar antes: auditoría al medidor de temperatura ambiente, auditoría al medidor de temperatura del filtro, auditoría al medidor de presión barométrica y chequeo de fugas externas.

- 1) Desde el menú **Setup**, presione **<F5: Audit>** para ingresar **Audit**.
- 2) Instale un filtro-cassette al equipo. Debe desechar el filtro al final de esta auditoría
- 3) Retire el Inlet PM-10 de la sonda de muestreo
- 4) Si está empleando un FTS para auditar el flujo, ir al paso 5, de lo contrario ir al paso 13.
- 5) Presione **<ESC>** para ingresar a la pantalla **Setup**
- 6) Desde **Setup**, presione **<F1: EDIT>**
- 7) Presione la flecha **<↓>** hacia abajo para mostrar el campo **"FTS CONST m"**
- 8) Localice la constante **"m"** en la hoja de calibración FTS e introdúzcalo en el campo **"FTS CONST m"**
- 9) Presione la flecha **<↓>** hacia abajo para mostrar el campo **"FTS CONST b"**
- 10) Localice la constante **"b"** en la hoja de calibración FTS e introdúzcalo en el campo **"FTS CONST b"**
- 11) Presione **<ENTER>**
- 12) Presione **<F5: Audit>** para ir a la pantalla **Audit**. Ir al paso 13
- 13) Si está utilizando el FTS para auditar el flujo, instálelo al final de la sonda de muestreo con su válvula en la posición **abierta**. Si no va a utilizar el FTS, puede necesitar el adaptador de auditoría de flujo (57-000618) en la sonda de muestreo
- 14) Presione **<F3: Pump>**
- 15) Presione **<F2: Valve>**
- 16) Si está utilizando el FTS, vaya al paso 17, de lo contrario vaya al paso 19
- 17) Presione **<F1: Edit>**
- 18) Introdúzca la caída de presión (pulgadas de H₂O) en el campo **"FTS Press"**, y después **<ENTER>**. La unidad calculará automáticamente el flujo (l/min) y lo mostrará en el campo **"FTS Flow"**. Ir al paso 21
- 19) Determine el flujo en l/min actual empleando el medidor de flujo externo
- 20) Verifique este flujo sea comparable al valor mostrado en el campo **"Flow Rate"** dentro del $\pm 4\%$, si esto es cierto ir al paso 21, si lo anterior es falso realizar el procedimiento de calibración de flujo
- 21) Verifique la tasa de flujo del medidor sea comparable con el flujo de diseño del equipo (16.7 l/min) dentro del $\pm 5\%$, si es así ir al paso 22, si lo anterior es falso calibre el medidor de flujo externo.
- 22) Regrese al menú principal presionando **<ESC>** dos veces
- 23) Retire el equipo de medición de flujo
- 24) Instale el Inlet PM-10 al final de la sonda de muestreo
- 25) Retire el filtro-cassette y deseche el filtro

5.7 Chequeo de fugas interna

Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Autorizado por: Fecha:
--------------------------	-------------------------	---------------------------

ANEXO E: CHEQUEO DE FUGAS INTERNAS- EQUIPO PM_{2.5} PARTISOL 2000

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO PROGRAMA DE FISCOQUÍMICA AMBIENTAL		
	Código: 5	Fecha:	Versión: 01
CALIBRACIÓN Y MANEJO DE EQUIPO PARTISOL M2000			

- 1) Limpie el filtro-cassette con un paño limpio y alcohol para remover cualquier material extraño (ejemplo, aceite)
- 2) Inserte un disco de prueba de fugas (36-004768) en el filtro-cassette
- 3) Inserte el filtro-cassette y empuje la manija para mover el filtro-cassette a la posición de muestreo
- 4) Desde el menú **Setup**, presione **<F5: Audit>** para ingresar **Audit**.
- 5) Presione **<F2: Valve>**
- 6) Presione **<F3: Pump>**
- 7) Cierra el flujo hacia el controlador de flujo girando la válvula que está conectada al filtro de aire. Esto corresponde al sitio A
- 8) Registre la lectura del vacío de la bomba
- 9) Cierra el flujo de la bomba
- 10) Presione **<F3: Pump>**
- 11) Registre el vacío de la bomba. Esta lectura no deberá ser inferior a 8.5 pulgadas Hg en un periodo de 30 segundos. Esto corresponde a una fuga de 80 ml/min. Si la caída de presión es superior a 8.5 pulgadas Hg, haga seguimiento interno y externo a las conexiones para identificar posibles problemas
- 12) Presione **<F2: Valve>**
- 13) Abra la válvula del controlador de flujo y la válvula de la bomba que se cerraron en los pasos 7 y 9
- 14) Abra lentamente la válvula del adaptador de auditoria
- 15) Remueva el adaptador de la sonda de muestreo
- 16) Instale el Inlet PM-10 en la sonda de muestreo
- 17) Remueva el filtro-cassette
- 18) Remueva el disco de chequeo del filtro-cassette

6 MANTENIMIENTO

El mantenimiento rutinario del equipo Partisol-FRM consta de los siguientes procedimientos desarrollados en los intervalos de tiempo indicados por el U.S. EPA 2.12 Quality Assurance Handbook, section 9:

Filtro-cassette	Inspeccionar por contaminación después de cada uso. Limpiar con un paño limpio seco.
Sello superior e inferior del cassette	Inspeccionar los sellos que se apoyan al filtro-cassette cada vez que se realice el cambio de filtros. Limpiar los sellos con un paño limpio seco. Inspeccionar los sellos una vez al año, se pueden presentar cristalización y fractura, reemplazarlos si es necesario
Chequear fugas externo	Realizar un chequeo de fugas externo después 5 días de uso del Inlet.

Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Autorizado por: Fecha:
--------------------------	-------------------------	---------------------------

ANEXO F: CAMBIO DE FILTRO - EQUIPO PM_{2.5} PARTISOL 2000

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO PROGRAMA DE FISICOQUÍMICA AMBIENTAL		
	Código: 5	Fecha:	Versión: 01
CALIBRACIÓN Y MANEJO DE EQUIPO PARTISOL M2000			

7) Verifique en la microbalanza una lectura de “cero” antes del pesaje de cada filtro

2.8 Cambio de filtro

- 1) Verifique en el menú principal del equipo si la unidad está aún tomando muestra (SAMP – Sampling Operating Mode). Observe la parte superior derecha de la pantalla. La pantalla muestra la fecha y hora actual, la fecha y hora de inicio y terminación del muestreo. Si el equipo aún está en modo SAMP dejar que termine y continúe con el siguiente paso
- 2) Si el equipo está en modo **STOP** o **Error Operating Mode**, presione **<F4:Run/Stp>** en el menú principal para regresar al equipo al modo **Stop Operating Mode**. El equipo escribirá la información final en el registro actual.
- 3) Hale la manija del mecanismo de intercambio de filtro hacia la parte frontal. Esto baja la plataforma del filtro, y expone el cassette -transportador
- 4) Si se encuentra instalado un filtro, remueva el cassette-transportador, y póngalo dentro del transportador de cassettes. Cierre el transportador y manténgalo sellado hasta la llegada al laboratorio. **NOTA:** el filtro no debe permanecer en el cassette por más de 96 horas.
- 5) Realice mantenimiento a la unidad WINS PM-2.5, si es necesario.
- 6) Remueva el cassette-transportador del contenedor metálico
- 7) Inserte cuidadosamente el cassette-transportador dentro de la parte inferior del mecanismo de intercambio. El transportador posee una ranura y un agujero que se ajustan a la parte baja del mecanismo de intercambio.
- 8) Empuje la manija del mecanismo de intercambio hacia atrás para elevar la plataforma y ajustar el filtro-cassette.
- 9) Presione **<F1:FiltSet>** en el menú principal, ingrese a la pantalla **Filter Setup**. Cambie los parámetros, definiendo el programa de muestreo del filtro instalado.
- 10) Regrese al menú principal presionando **<ESC>** una o más veces.
- 11) Presione **<F4:Run/Stp>** para abandonar el **Stop Operating Mode** e ingrese al **Wait or Sampling Operating Mode**. La unidad ejecutará automáticamente el programa de muestreo definido en la pantalla **Filter Setup** del paso 9 de arriba
- 12) Si removió el filtro indicado en el paso 4, presione **<F3: Data>** del menú principal para observar los datos registrados por el equipo en **Filter Data Screen**. Presione **<F2:->**, si desea ver el registro de estos datos.
- 13) Registre la información requerida para el cálculo de datos y propósitos de aseguramiento de calidad. Cuando menos, debe incluir el volumen de muestra (**Vol**), el coeficiente de variación de la tasa de flujo (**%CV**), el tiempo de muestreo (**Tot**), la diferencia de temperatura más alta que se haya presentado entre la temperatura ambiente y el filtro (**TempDiff**), y el código de estado (**Stat**)
- 14) Cuando aparece la pantalla **Filter Screen**, presione **<F4: PwrDat>** para observar el voltaje de salida y la identificación del filtro en la pantalla **Power Outages Screen**, o presione **<F5: IntvDat>** para tener acceso a los datos promedio de temperatura y presión (5 min) en la pantalla **Interval Data Screen**. **Nota:** La información de

Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Autorizado por: Fecha:
--------------------------	-------------------------	---------------------------

ANEXO G: PREPARACIÓN DEL FILTRO Y PESADO DEL FILTRO POSTERIOR AL MUESTREO-EQUIPO PM_{2.5} PARTISOL 2000

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA- GRUPO PROGRAMA DE FÍSICOQUÍMICA AMBIENTAL		
	Código: 5	Fecha:	Versión: 01
	Página 6 de 6		
CALIBRACIÓN Y MANEJO DE EQUIPO PARTISOL M2000			

Filter Data Screen, Power Outages Screen, e Interval Data Screen se pueden descargar a una laptop PC empleando el software y el cable suministrado con el equipo.

2.9 Preparación del filtro posterior al muestreo

- 1) Remueva cuidadosamente el filtro del cassette y póngalo en la caja petri. El cassette se podrá utilizar con otros filtros después de realizar su limpieza.
- 2) Examine si el filtro posee defectos causados durante el muestreo, como también evidencias de fugas por el cassette. Las fugas se manifiestan por vetas radiales que se extienden más allá del área expuesta del filtro.
- 3) Ponga la cubierta superior de la caja petri por debajo de la otra mitad inferior.
- 4) Ponga una toalla de papel encima de la caja petri (debe estar abierta) durante el tiempo de la ecualización
- 5) Registre la identificación del filtro, humedad relativa, temperatura, fecha y hora de inicio de la ecualización posterior al muestreo
- 6) Equilibre los filtro por al menos 24 horas en las siguientes condiciones (EPA 2.12 Quality Assurance Handbook, section 7): el equilibrio se logra a humedad relativa constante, entre 30 a 40%, con una variabilidad de no más de $\pm 5\%$. El cuarto de ecualización deberá permanecer a temperatura constante entre 20 y 23°C con una variabilidad no superior a $\pm 2^\circ\text{C}$

2.10 Pesado del filtro posterior al muestreo

- 1) Asegúrese de haber equilibrado el filtro por 24 horas
- 2) El filtro debe ser pesado en una microbalanza
- 3) Remueva el filtro de la caja petri
- 4) Pese el filtro al menos una vez (se recomiendan 3 pesajes), registrando la masa en gramos. La lectura de la masa promedio es el peso final del filtro, **Wf**.
- 5) Regrese el filtro a la caja petri, ponga la tapa superior en su sitio, y guárdelo para propósitos de archivo
- 6) Documente la humedad relativa, temperatura, fecha y hora del pesaje realizado
- 7) Verifique una lectura de “cero” en la microbalanza
- 8) Determine la masa neta del filtro (**DW**) restando el peso promedio inicial (**Wi**) del peso promedio final (**Wf**). Asegúrese de emplear las cifras obtenidas del filtro y de la balanza

2.11 Cálculo de la concentración

La concentración (**MC**) de PM-2.5 durante el periodo de muestreo se realiza empleando la siguiente fórmula (EPA 2.12 Quality Assurance Handbook, section 7).

$$MC = (\Delta W / 10^6) / V$$

Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Autorizado por: Fecha:
--------------------------	-------------------------	---------------------------

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM Ho.
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
CARTA DE CONTROL BALANZA ANALÍTICA SARTORIUS ME 235 S INV. No. A29784 MAVDT

SECRET

ANO: 2011

AÑO: 2011

Fecha dd/mm	Analista
12/12	TD
15/12	DH
19/12	TD
32/12	DH
27/12	F.S
04/01	TD
06/01	TD
11/01	TD
12/01	TD
13/01	TD
18/01	DH
20/01	DH
23/01	FS
23/01	F.S
30/01	F.S
31/01	TD
02/02	TD
07/02	TD
13/02	F.S
14/02	F.S
17/02	F.S
23/02	TD
24/02	TD
29/02	DH
06-03	F.S
09-03	F.S
12-03	F.S
15-03	TD
20-03	TD
28-03	DH

Autorizado por: Adriana J. J. J.
Fecha: 12-12-11

WERNER

ANO: 2011

AÑO: 2011

Autorizado por: Cadine Tric
 Fecha: 13-12-11

ANEXO I: FORMATO DE REGISTRO DE GRAVIMETRÍA-MUESTRAS PM₁₀ Y PM_{2.5}

Tabla No. 30. Formato de Registro de Gravimetría PM₁₀ y PM_{2.5}

	IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL															
FORMATO DE GRAVIMETRÍA PARA FILTROS DE MUESTREO																
Responsable:																
FILTRO No.	Fecha	Hora	CONDICIONES PRE MUESTREO					CONDICIONES POSTMUESTREO					MASA (Wf-Wi)			
			Peso (g)	HR (%)	Temperatura (°C)	Fecha	Hora	Peso (g)	HR (%)	Temperatura (°C)						
			W1:		1		1				W1:		1		1	
			W2:		2		2					2				
			W3:		3		3					3				
			W (I):		Prom		Prom					Prom				
			W1:		1		1				W1:		1		1	
			W2:		2		2					2				
			W3:		3		3					3				
			W (I):		Prom		Prom					Prom				
			W1:		1		1				W1:		1		1	
			W2:		2		2					2				
			W3:		3		3					3				
			W (I):		Prom		Prom					Prom				
			W1:		1		1				W1:		1		1	
			W2:		2		2					2				
			W3:		3		3					3				
			W (I):		Prom		Prom					Prom				

ANEXO J: CALIBRACIONES EQUIPOS HI-VOL PM₁₀

Se utilizó en la calibración de los dos equipos el orificio de transferencia estándar (variflow) marca Thermo, modelo G28A y serial 2145, con pendiente $m = 0,9771$ e intercepto $b = -0,007582$.

El día 21 de diciembre las condiciones para la calibración fueron una temperatura ambiente de 18,8°C y una presión barométrica de 562 mmHg.

Los resultados de calibración del equipo A29816 para el 21 de diciembre de 2011 se muestran a continuación:

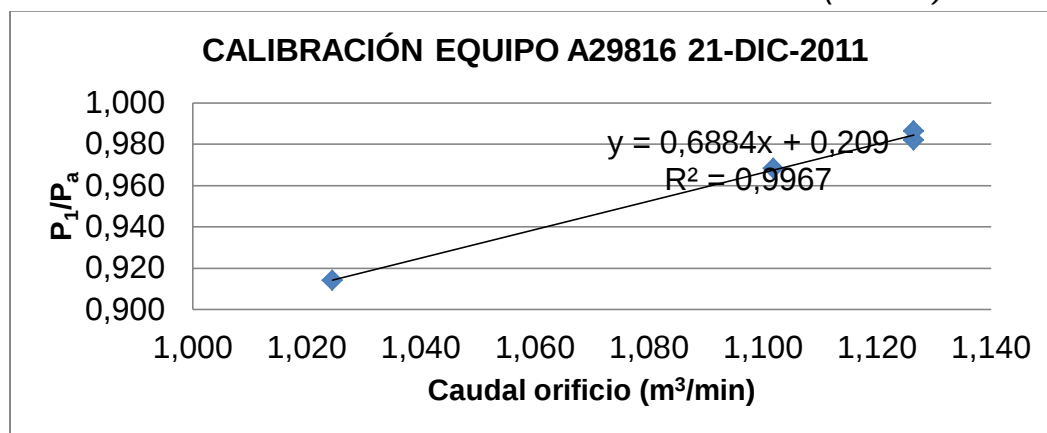
Tabla No. 31. Resultados de calibración equipo A29816 21 de diciembre de 2011

No	ΔH Estancamiento (mm Hg)	ΔH Orificio (in H ₂ O)	Q orificio (m ³ /min)	Qa Look up table (m ³ /min)	Desviación Qa (%)	Presión de estancamiento absoluta (mm Hg)	P ₁ /P _a	Qm muestreador (m ³ /min)	Desviación Qm (%)
1	99,1	1	0,708	0,938	32,60%	462,94	0,824	1,053	-6,81%
2	48,3	1,9	1,025	1,029	0,44%	513,74	0,914		
3	17,8	2,2	1,102	1,089	-1,17%	544,22	0,968		
4	10,2	2,3	1,126	1,105	-1,90%	551,84	0,982		
5	7,6	2,3	1,126	1,109	-1,55%	554,38	0,986		

Fuente: Felipe Sanabria

Para que la calibración sea válida, el caudal del orificio debe estar entre 1,02m³/min y 1,24m³/min, por lo tanto la medición del punto 1 no se toma al momento de realizar la gráfica de calibración que se muestra a continuación:

Grafica No. 13. Relación entre P1/Pa vs Caudal orificio (m³/min) 21-12-11



Fuente: Felipe Sanabria

La pendiente calculada es 0,6884 y el intercepto es 0,209; para que se considere el equipo calibrado el coeficiente de correlación debe ser mayor o igual a 0,99, el hallado corresponde a 0,9967 aprobando la calibración.

Los resultados de calibración del equipo A29817 para el día 21 de diciembre de 2011 son los siguientes:

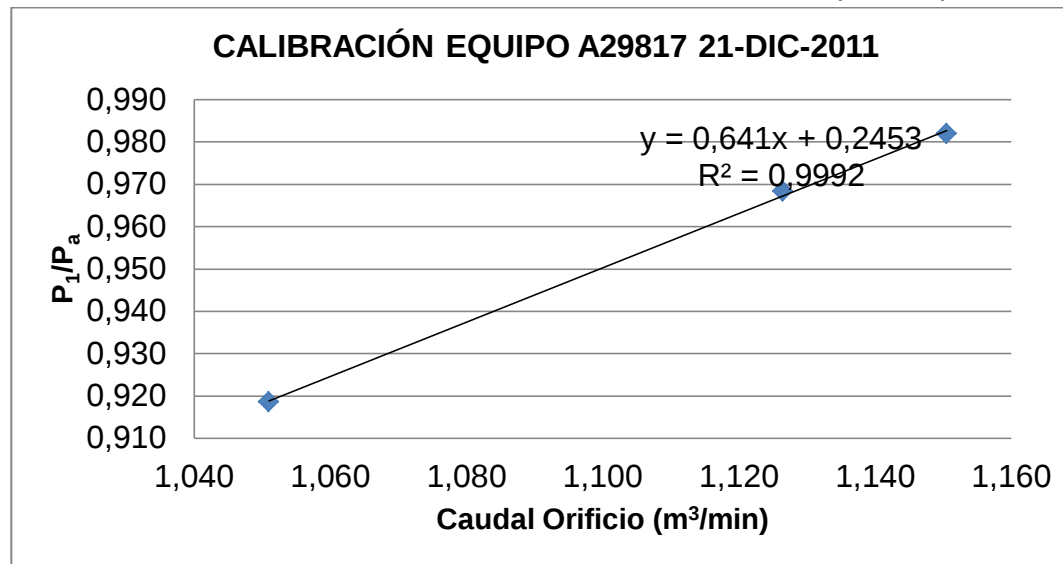
Tabla No. 32. Resultados de calibración equipo A29817 21 de diciembre de 2011

No	ΔH Estancamiento (mm Hg)	ΔH Orificio (in H ₂ O)	Q orificio (m ³ /min)	Qa Look up table (m ³ /min)	Desviación Qa (%)	Presión de estancamiento absoluta (mm Hg)	P ₁ /P _a	Qm muestreador (m ³ /min)	Desviación Qm (%)
1	104,14	1	0,745	0,934	25,30%	457,86	0,815	1,127	-0,27%
2	68,58	1,8	0,997	1,034	3,67%	493,42	0,878		
3	45,72	2	1,051	1,100	4,67%	516,28	0,919		
4	17,78	2,3	1,126	1,165	3,42%	544,22	0,968		
5	10,16	2,4	1,151	1,184	2,91%	551,84	0,982		

Fuente: Felipe Sanabria

Los puntos 1 y 2 no se encuentran en el rango correspondiente a 1,02m³/min y 1,24m³/min del caudal del orificio, por lo tanto la medición de estos puntos no se toma (la calibración es válida con 3 puntos), la gráfica de calibración se muestra a continuación:

Grafica No. 14. Relación entre P_1/P_a vs Caudal orificio (m^3/min) 21-12-11



Fuente: Felipe Sanabria.

La pendiente calculada es 0,641 y el intercepto es 0,2453; para que se considere el equipo calibrado el coeficiente de correlación debe ser mayor o igual a 0,99, el hallado corresponde a 0,9992 por lo cual se aprueba la calibración.

Para el día 21 de enero de 2012 se realizó la calibración en ambos equipos debido a un cambio de escobillas en los motores, con una temperatura ambiente de 22,7°C y una presión barométrica de 562mmHg.

Los resultados de calibración del equipo A29816 el día 21 de enero de 2012 se muestran a continuación:

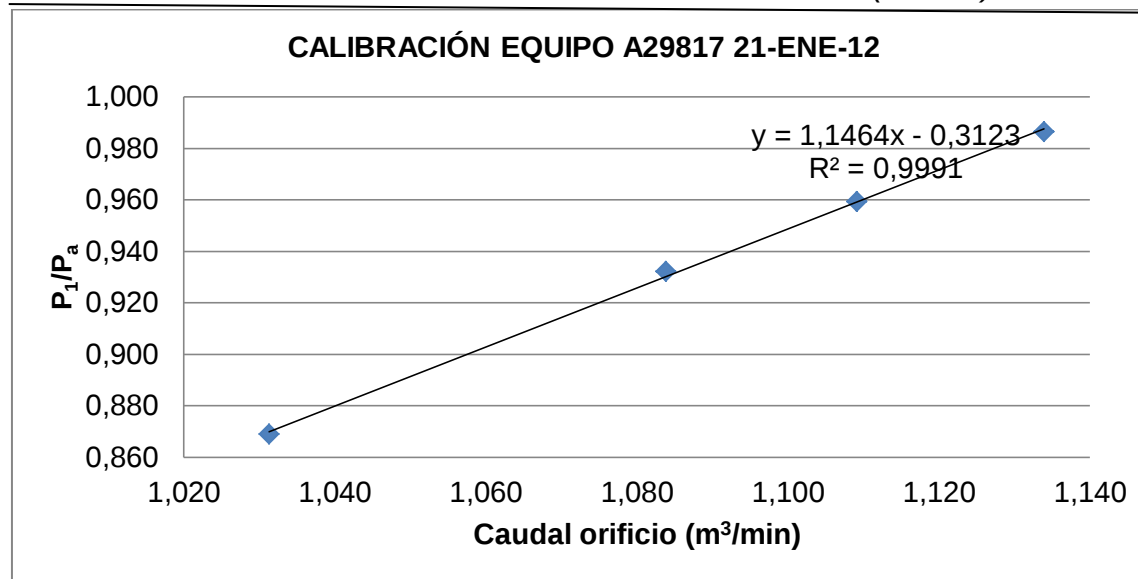
Tabla No. 33. Resultados de calibración equipo A29816 21 de enero de 2012

No	ΔH Estancamiento (mm Hg)	ΔH Orificio (in H ₂ O)	Q orificio (m ³ /min)	Qa Look up table (m ³ /min)	Desviación Qa (%)	Presión de estancamiento absoluta (mm Hg)	P ₁ /P _a	Qm muestreador (m ³ /min)	Desviación Qm (%)
1	99,1	1,1	0,787	0,907	15,31%	462,94	0,824	1,053	-6,81%
2	73,7	1,9	1,031	0,991	-3,91%	488,34	0,869		
3	38,1	2,1	1,084	1,053	-2,84%	523,90	0,932		
4	22,9	2,2	1,109	1,085	-2,18%	539,14	0,959		
5	7,6	2,3	1,134	1,116	-1,58%	554,38	0,986		

Fuente: Felipe Sanabria

Para que la calibración sea válida, el caudal del orificio debe estar entre 1,02m³/min y 1,24m³/min, por lo tanto la medición del punto 1 no se toma al momento de realizar la gráfica de calibración que se muestra a continuación:

Grafica No. 15. Relación entre P_1/P_a vs Caudal orificio (m^3/min) 21-01-12



Fuente: Felipe Sanabria

La pendiente calculada es 1,1464 y el intercepto es -0,3123; para que se considere el equipo calibrado el coeficiente de correlación debe ser mayor o igual a 0,99, el hallado corresponde a 0,9991 aprobando la calibración. Los resultados de calibración del equipo A29817 el día 21 de enero de 2012 son los siguientes:

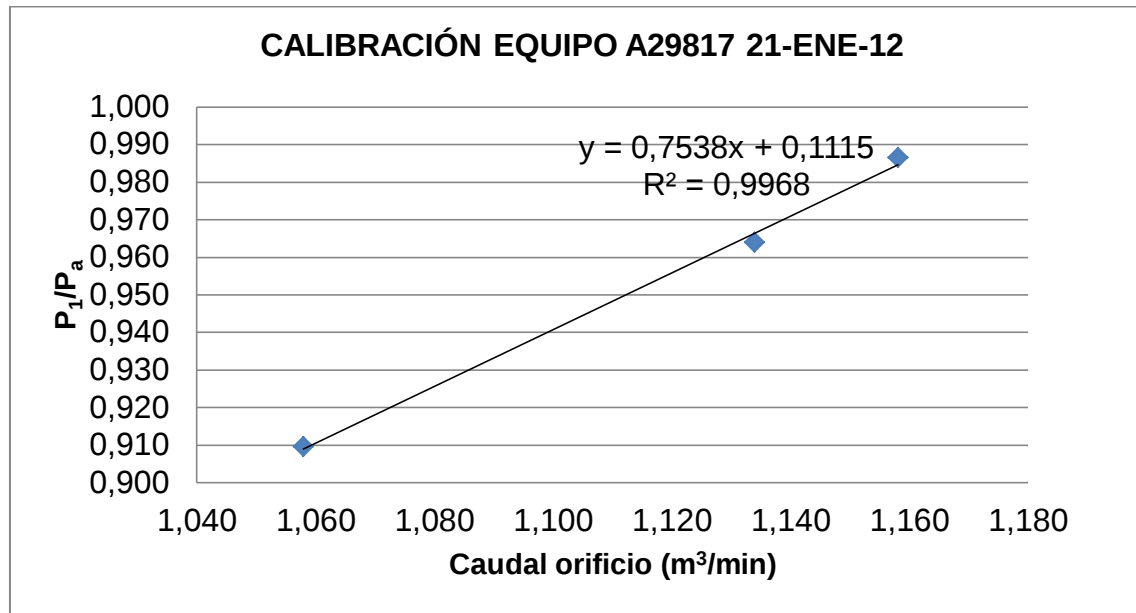
Tabla No. 34. Resultados de calibración equipo A29817 21 de enero de 2012

No	ΔH Estancamiento (mm Hg)	ΔH Orificio (in H ₂ O)	Q orificio (m ³ /min)	Qa Look up table (m ³ /min)	Desviación Qa (%)	Presión de estancamiento absoluta (mm Hg)	P ₁ /P _a	Qm muestreador (m ³ /min)	Desviación Qm (%)
1	93,98	0,9	0,712	1,027	44,20%	468,02	0,833	1,127	-0,27%
2	63,5	1,8	1,004	1,108	10,37%	498,50	0,887		
3	50,8	2,0	1,058	1,100	3,98%	511,20	0,910		
4	20,32	2,3	1,134	1,167	2,92%	541,68	0,964		
5	7,62	2,4	1,158	1,199	3,53%	554,38	0,986		

Fuente: Felipe Sanabria

Los puntos 1 y 2 no se encuentran en el rango correspondiente a 1,02m³/min y 1,24m³/min del caudal del orificio, por lo tanto la medición de estos puntos no se toma (la calibración es válida con 3 puntos), la gráfica de calibración se muestra a continuación:

Grafica No.16.Relación entre P_1/P_a vs Caudal orificio (m^3/min) 21-01-12



Fuente: Felipe Sanabria

La pendiente calculada es 0,7538 y el intercepto es 0,1115; para que se considere el equipo calibrado el coeficiente de correlación debe ser mayor o igual a 0,99, el hallado corresponde a 0,9968 por lo cual se aprueba la calibración.

Para el día 25 de enero de 2012 se realizó la calibración en el equipo A29816 debido a un cambio motor en el mismo, las condiciones de ese día fueron una temperatura ambiente de 17,5°C y una presión barométrica de 562mmHg.

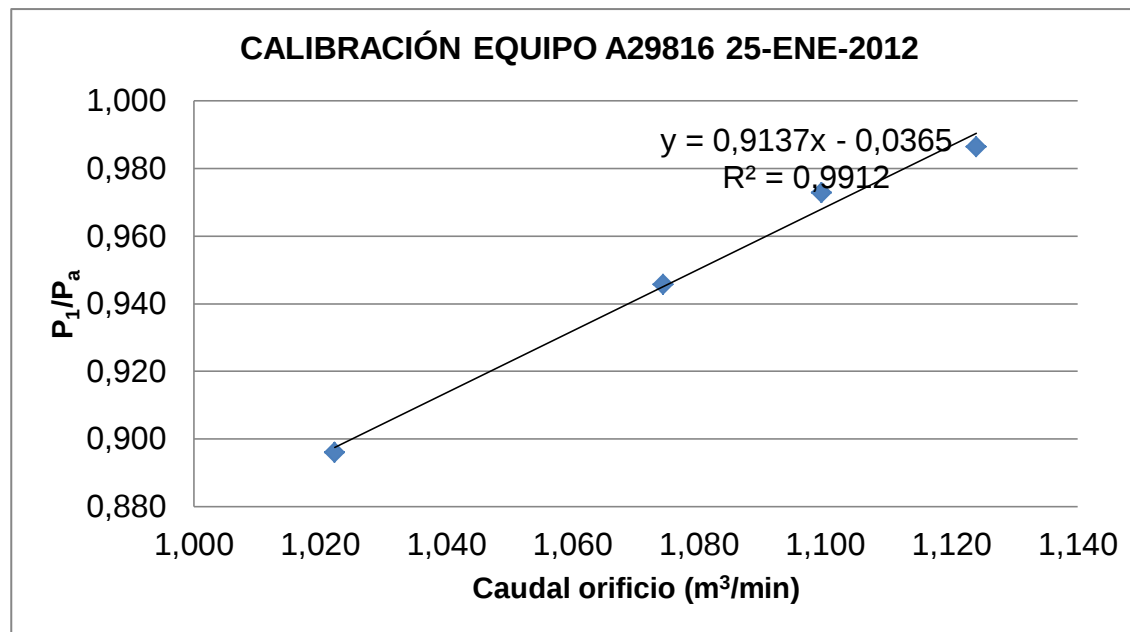
Tabla No. 35. Resultados de calibración equipo A29816 25 de enero de 2012

No	ΔH Estancamiento (mm Hg)	ΔH Orificio (in H ₂ O)	Q orificio (m ³ /min)	Qa Look up table (m ³ /min)	Desviación Qa (%)	Presión de estancamiento absoluta (mm Hg)	P ₁ /P _a	Qm muestreador (m ³ /min)	Desviación Qm (%)
1	99,1	1,1	0,780	0,936	20,05%	462,94	0,824	1,082	-4,25%
2	58,4	1,9	1,022	1,008	-1,40%	503,58	0,896		
3	30,5	2,1	1,074	1,061	-1,24%	531,52	0,946		
4	15,2	2,2	1,099	1,093	-0,58%	546,76	0,973		
5	7,6	2,3	1,124	1,102	-1,95%	554,38	0,986		

Fuente: Felipe Sanabria

Para que la calibración sea válida, el caudal del orificio debe estar entre 1,02m³/min y 1,24m³/min, por lo tanto la medición del punto 1 no se toma al momento de realizar la gráfica de calibración que se muestra a continuación:

Grafica No. 17. Relación entre P_1/P_a vs Caudal orificio (m^3/min) 25-01-12



Fuente: Felipe Sanabria

La pendiente calculada es 0,9137 y el intercepto es -0,0365; para que se considere el equipo calibrado el coeficiente de correlación debe ser mayor o igual a 0,99, el hallado corresponde a 0,9912 aprobando la calibración.

Para el día 13 de marzo de 2012 se realizó la calibración en el equipo A29817 debido a un cambio motor en el mismo, las condiciones de ese día fueron una temperatura ambiente de 21,7°C y una presión barométrica de 562mmHg.

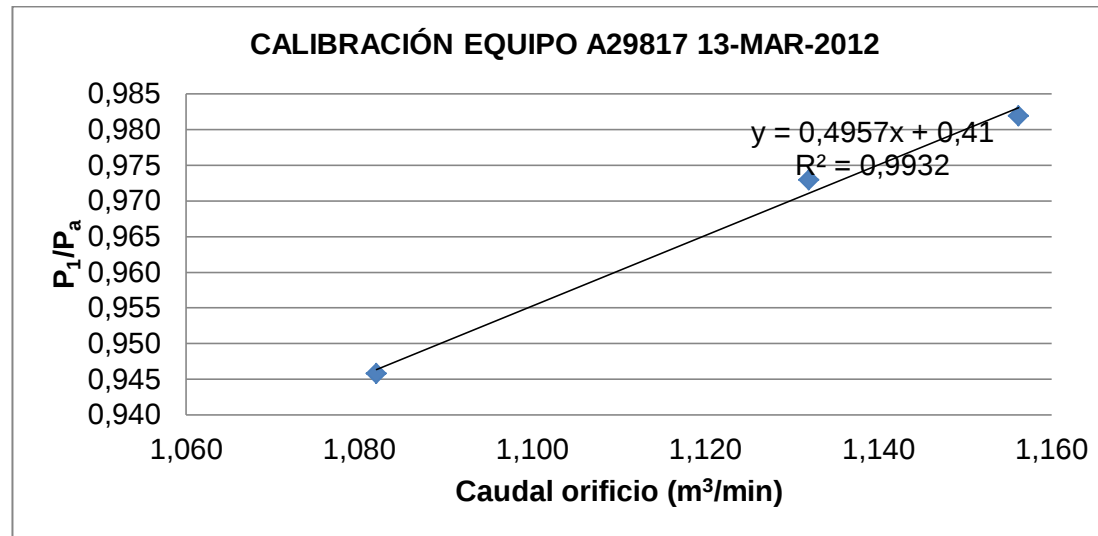
Tabla No. 36. Resultados de calibración equipo A29817 13 de marzo de 2012

No	ΔH Estancamiento (mm Hg)	ΔH Orificio (in H ₂ O)	Q orificio (m ³ /min)	Qa Look up table (m ³ /min)	Desviación Qa (%)	Presión de estancamiento absoluta (mm Hg)	P ₁ /P _a	Qm muestreador (m ³ /min)	Desviación Qm (%)
1	96,5	1,0	0,749	0,947	26,43%	465,48	0,828	1,132	0,18%
2	61,0	1,8	1,002	1,011	0,87%	501,04	0,892		
3	30,5	2,1	1,082	1,068	-1,29%	531,52	0,946		
4	15,2	2,3	1,132	1,088	-3,89%	546,76	0,973		
5	10,2	2,4	1,156	1,110	-3,99%	551,84	0,982		

Fuente: Felipe Sanabria

Para que la calibración sea válida, el caudal del orificio debe estar entre 1,02m³/min y 1,24m³/min, por lo tanto las mediciones de los puntos 1 y 2 no se toman al momento de realizar la gráfica de calibración que se muestra a continuación:

Grafica No.18. Relación entre P_1/P_a vs Caudal orificio (m^3/min) 13-03-12



Fuente: Felipe Sanabria

La pendiente calculada es 0,4957 y el intercepto es 0,41; para que se considere el equipo calibrado el coeficiente de correlación debe ser mayor o igual a 0,99, el hallado corresponde a 0,9932 aprobando la calibración.

ANEXO K: HOJA DE CAMPO DE REGISTRO EQUIPOS HI-VOL PM₁₀

Tabla No. 37. Hoja de Campo de Registro de Equipos Hi-Vol PM₁₀

		IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL	
		FORMATO DE MUESTREO PARA LOS EQUIPOS HIGH VOL	
LUGAR DE MUESTREO			
Localización :	IDEAM CENTRO	Modelo	
Estación:	IDEAM CENTRO	Operador:	
CONDICIONES DE LUGAR DE MUESTREO			
Fecha inicial:		Fecha final:	
Hora inicial:		Hora final:	
Temperatura ambiental inicial (°C):		Temperatura ambiental final (°C):	
Presión Barométrica inicial (mm Hg):		Presión Barométrica final (mm Hg):	
Horómetro inicial:		Horómetro final:	
Presión inicial (in Hg):		Presión final (in Hg):	
Número de muestra:		Número de la carta de flujo:	
OBSERVACIONES			

ANEXO L: FORMATO DE CAMPO DE REGISTRO DE EQUIPOS PM_{2.5}

Tabla No. 38. Formato de Registro de Equipos PM_{2.5}

	IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
FORMATO DE MUESTREO PARA LOS EQUIPOS PARTISOL			
LUGAR DE MUESTREO			
Localización:	IDEAM CENTRO	Modelo:	
Estación:	IDEAM CENTRO	Operador:	
CONDICIONES DE LUGAR DE MUESTREO			
Fecha inicial:		Fecha final:	
Código filtro:		Número de muestra:	
Temperatura ambiental inicial (°C):		Temperatura ambiental final (°C):	
Temperatura del filtro inicial (°C):		Temperatura del filtro final (°C):	
Presión Barométrica inicial (mm Hg):		Presión Barométrica final (mm Hg):	
Volumen muestreado (m³):		Tiempo total de muestreo (horas):	
OBESERVACIONES			

ANEXO M: FORMATO DE IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS PM₁₀ Y PM_{2.5}

Tabla No. 39. Formato de Identificación y Caracterización de Muestras PM₁₀ y PM_{2.5}

FILTRO #	Fecha Inicial		Fecha Final	
	HR %		HR%	
	Tem° C		Tem°C	
	Hora		Hora	
	P. Inicial (g)		P. final (g)	
Encargado				
FILTRO #	Fecha Inicial		Fecha Final	
	HR %		HR%	
	Tem° C		Tem°C	
	Hora		Hora	
	P. Inicial (g)		P. final (g)	
Encargado				

**ANEXO N: HOJA DE CAMPO DE REGISTRO VERIFICACIÓN DE FLUJO
EQUIPO TRIGAS**

Tabla No. 40. Hoja de Registro de Campo de Verificación de Flujo Equipo Trigas

	IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	CALIBRACIÓN DE FLUJO EQUIPO TRIGAS		
CARACTERÍSTICAS DEL CALIBRADOR DE FLUJO			
Sitio de muestreo: IDEAM CENTRO		Fecha:	
Responsable:		Hora:	
Modelo calibrador: BIOS 118982		Modelo del equipo: TGP - 0193	
Prueba de fugas equipo de calibración :			
Parámetros		Siglas	Valor
Presión Barométrica		Pb	mmHg
Temperatura Ambiente		Ta	°C
Humedad Relativa		HR	%
Medición	Lectura de flujo (Lpm)		
	SO₂	NO₂	H₂O
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Promedio			
OBSERVACIONES			
(RANGO DE VERIFICACIÓN 0,18 a 0,20 Lpm)			

ANEXO Ñ HOJA DE CAMPO DE REGISTRO DE MUESTRAS EQUIPO TRIGAS

Tabla No. 41. Formato de Registro de Muestras Equipo Trigas

M. #	Fecha Inicial		Fecha Final	
	HR %		HR%	
	Hora		Hora	
Responsable			Vol. (ml)	
M. #	Fecha Inicial		Fecha Final	
	HR %		HR%	
	Hora		Hora	
Responsable			Vol. (ml)	
M. #	Fecha Inicial		Fecha Final	
	HR %		HR%	
	Hora		Hora	
Responsable			Vol. (ml)	
M. #	Fecha Inicial		Fecha Final	
	HR %		HR%	
	Hora		Hora	
Responsable			Vol. (ml)	
M. #	Fecha Inicial		Fecha Final	
	HR %		HR%	
	Hora		Hora	
Responsable			Vol. (ml)	
M. #	Fecha Inicial		Fecha Final	
	HR %		HR%	
	Hora		Hora	
Responsable			Vol. (ml)	
M. #	Fecha Inicial		Fecha Final	
	HR %		HR%	
	Hora		Hora	
Responsable			Vol. (ml)	

**ANEXO O: DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂) EN LA
ATMOSFERA (MÉTODO PARARROSANILINA)**

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂) EN LA
ATMÓSFERA (MÉTODO PARARROSANILINA)

CÓDIGO: TP0508

VERSIÓN: 02

COPIA N°: _____

ELABORADO O
ACUALIZADO POR:

CARLOS HERNÁN RODRIGUEZ M.
TECNICO QUIMICO

REVISADO POR:

CARLOS ANDRES OCAMPO
QUIMICO

APROBADO POR:

MARTA ISABEL ALDANA
Coordinadora GLCA

* Este documento debe ser revisado por lo menos cada **dos** años.

Si a los dos años el documento no presenta cambios que afecten significativamente, complete la siguiente tabla:

NUEVA REVISIÓN	NOMBRE / CARGO	FECHA
Revisión 1		
Revisión 2		

1. INTRODUCCIÓN:

Este método proporciona una medida de la concentración de dióxido de azufre (SO_2) en el ambiente para determinar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de calidad del aire para óxidos de azufre (expresados como dióxido de azufre) establecidos en la normatividad vigente. El método es aplicable a la medición de concentraciones de SO_2 en el aire ambiente usando períodos de toma de muestra de 30 minutos a 24 horas.

Un volumen medido de aire es burbujeado por una solución de 0,04 M de tetracloromercurato de potasio (TCM). El SO_2 presente en la corriente de aire, reacciona con la solución TCM para formar el compuesto estable monoclorosulfonatomercuroso. Una vez formado, este compuesto resiste la oxidación del aire y es estable en la presencia de oxidantes fuertes como el ozono y los óxidos de nitrógeno. Durante el análisis químico subsiguiente, el compuesto reacciona con el tinte de ácido blanqueado de pararrosanilina y formaldehído para formar un ácido metilsulfónico de pararrosanilina intensamente coloreado. La densidad óptica de esta especie es determinada espectrofotométricamente a 548 nm y está directamente relacionado con la cantidad de SO_2 colectado. El volumen total de aire muestreado, corregido a condiciones de referencia (25 °C, 760 mmHg [101,325 kpa]), es determinado por la tasa de flujo medida y el tiempo de muestreo. La concentración de SO_2 en el aire ambiente es calculada y expresada en microgramos por metro cúbico estándar ($\mu\text{g}/\text{std m}^3$).

El límite inferior de detección de SO_2 en 10 mL de TCM es 0,75 μg (basado en resultados de pruebas conjuntas). Esto representa una concentración de 25 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ (0,01 ppm) en una muestra de aire de 30 litros estándar (prueba de corta duración) y una concentración de 13 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ (0,005 ppm) en una muestra de aire de 288 litros estándar (prueba de larga duración). Las concentraciones menores a 25 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ pueden ser medidas muestreando volúmenes más grandes de aire ambiente; sin embargo, la eficiencia de la recolección disminuye

rápidamente a concentraciones bajas. La Ley de Beer se mantiene hasta 34 µg de SO₂ en 25 mL de solución final. Este límite superior del rango de análisis representa una concentración de 1,130 µg SO₂/m³ (0,43 ppm) en una muestra de aire de 30 litros estándar y una concentración de 590 µg SO₂/m³ (0,23 ppm) en una muestra de aire de 288 litros estándar. Concentraciones más altas pueden ser medidas recogiendo un volumen de aire menor, aumentando el volumen de absorción de la solución, o diluyendo una parte de la muestra recolectada con solución absorbente antes del análisis.

Muestreando en un ambiente a temperatura controlada 15 ± 10 °C, más del 98,9% del compuesto SO₂-TCM es retenido al completar el muestreo. Si se mantiene a 5 °C después de terminar la toma de la muestra, esta permanecerá estable hasta por 30 días. La presencia de EDTA mejora la estabilidad de SO₂ en la solución TCM y la tasa de decaimiento es independiente de la concentración de SO₂.

2. DEFINICIONES.

Condiciones de referencia: La temperatura y presión barométrica a que se deben corregir los resultados de los muestreos y análisis de un contaminante en el aire. Estas condiciones son: temperatura 298 K (25 °C) y presión barométrica 101 kPa (760 mm Hg).

PARA	Solución de Pararrosanilina
TCM	Solución de Tetracloromercurato de Potasio
nm	Nanometros

3. ASPECTOS DE SALUD Y SEGURIDAD LABORAL

Antes de iniciar la determinación de dióxido de nitrógeno en la atmósfera se requiere la revisión del manual de higiene y seguridad MS0165 y las hojas de seguridad de los reactivos expuestos en el presente PSO.

Es necesario que el analista encargado de realizar la determinación de dióxido de azufre en la atmósfera utilice de manera obligatoria los implementos de seguridad (bata, guantes, gafas y respirador para ácidos).

La solución absorbente para óxidos de azufre, tetracloromercurato de potasio (TCM), debe manipularse con toda la precaución del caso, ya que contiene mercurio y puede afectar la salud del analista.

Los residuos de TCM deben ser desechados en el recipiente dispuesto para residuos de mercurio.

4. LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

Los efectos de las principales interferencias potenciales han sido reducidas al mínimo o eliminadas de la siguiente manera: Óxidos de nitrógeno por la adición de ácido sulfámico, metales pesados por la adición de ácidoetilendiaminotetracético (EDTA) y ácido fosfórico; y ozono por el tiempo de espera. Pueden ser tolerados en el procedimiento hasta 60 µg de Hierro Fe (III), 22 µg de Vanadio V (V), 10 µg de cobre Cu (II), 10 µg de Manganeseo Mn (II), y 10 µg de cromo Cr (III) en 10 mL del reactivo absorbente. No se ha encontrado ninguna interferencia significativa con 2,3 µg de NH₃.

5. RESULTADOS DE LA ESTANDARIZACIÓN DEL MÉTODO

Tabla No. 42. Parámetros de estandarización

NOMBRE DEL METODO:		DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂) EN LA ATMÓSFERA (MÉTODO PARARROSANILINA)	
CÓDIGO DEL PSO:		TP0508	
FECHA DEL INFORME DE ESTANDARIZACIÓN:		30/11/2011	
PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	OBSERVACION
LIMITE DE DETECCION	0,96	µg SO ₂ /mL	Corresponde al límite de cuantificación.
PRECISION EN TÉRMINOS DE %CV	7,1	%	Nivel de Concentración 0,96 µg SO ₂ /mL
	2,0	%	Nivel de Concentración 11,58 µg SO ₂ /mL
	1,9	%	Nivel de Concentración 19,3 µg SO ₂ /mL
EXACTITUD EXPRESADO COMO % DE ERROR RELATIVO	-8,2	%	Nivel de Concentración 0,96 µg SO ₂ /mL
	-1,2	%	Nivel de Concentración 11,58 µg SO ₂ /mL
	-3,0	%	Nivel de Concentración 19,3 µg SO ₂ /mL
RANGO DE TRABAJO (Lectura Directa)	0.96 - 32	µg SO ₂ /mL	Sin dilución de la muestra
INTERVALO DE APLICACIÓN DEL METODO	0.96 - 320	µg SO ₂ /mL	Con una dilución de 10 veces
RECUPERACION EXPRESADO COMO %	99,3	%	Nivel de Concentración 3,86 µg SO ₂ /mL
	96,8	%	Nivel de Concentración 11,58 µg SO ₂ /mL

Todos los valores se refieren a la concentración de SO₂ en la muestra y no en el volumen de aire muestreado.

6. TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

6.1 Condiciones generales

Los procedimientos descritos son para la toma de muestras de corta duración (30 minutos y 1 hora) y de larga duración (24 horas). Diferentes combinaciones del volumen de reactivo absorbente, tasa de toma de muestra y tiempo de toma de muestra pueden ser usadas para solucionar necesidades específicas. Para combinaciones diferentes a las descritas, las condiciones deben ser ajustadas de modo que la linealidad sea mantenida entre absorbancia y concentración sobre el rango dinámico. Volúmenes menores a 10 mL de reactivo absorbente, no son recomendados. La eficiencia de recolección está por encima del 98% para las condiciones descritas; sin embargo, la eficiencia puede ser considerablemente inferior cuando se toman muestras con concentraciones inferiores a $25 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$.

6.2 Toma de muestra de 30 minutos y 1 hora

Coloque 10 mL del reactivo absorbente TCM en un impactador mediano y selle el impactador con una película delgada de grasa de silicona (alrededor de la junta esmerilada). Inserte el impactador sellado en el tren de toma de muestra como se observa en la Figura 1, asegurando que todas las conexiones entre los diferentes componentes estén ajustadas y a prueba de fugas. Pueden ser empleados accesorios de bola sin grasa, tubería de Teflón® encogible con el calor o accesorios de la tubería de Teflón® para lograr una condición libre de fugas para las diferentes partes del tren de muestreo que entren en contacto con el aire que contiene SO_2 . Es importante proteger el reactivo absorbente de la luz solar directa cubriendo el impactador con papel aluminio o encerrando el tren en una caja a prueba de luz. Determine la tasa de flujo de acuerdo al procedimiento de determinación de la tasa de flujo en el sitio de toma de muestra descrito en el numeral 0.2 Recoja la muestra a $1 \pm 0,10 \text{ L/minuto}$ para una toma de muestra de

30 minutos ó $0,500 \pm 0,05$ L/minuto para una toma de muestra de 1 hora. Registre el tiempo exacto de toma de muestra en minutos, ya que el volumen de la muestra será determinado posteriormente usando la tasa de flujo de la muestra y el tiempo de la misma. Registre la presión y temperatura atmosférica.

6.3 Toma de muestra de 24 horas

Coloque 50 mL de la solución absorbente TCM en un absorbedor grande, cierre el tapón y de ser necesario, aplique el material encogible con el calor como lo muestra la Figura 3. Verifique que el nivel del reactivo está en la marca de 50 mL sobre el absorbedor. Inserte el absorbedor sellado en el tren de toma de muestra como se indica en la Figura 2. En este momento, verifique que la temperatura del absorbedor sea controlada a $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante la toma de la muestra, la temperatura del absorbedor debe ser controlada para evitar la descomposición del compuesto recolectado. Desde el inicio de la toma de la muestra hasta el análisis, la solución absorbente debe ser protegida de la luz solar directa. Determine la tasa de flujo, en el sitio de toma de muestra, de acuerdo al procedimiento, detallado en el numeral 0.2 consignado en este mismo documento. Recolecte la muestra durante un periodo de 24 horas (de medianoche a medianoche) a una tasa de flujo de $0,200 \pm 0,020$ L/minuto. Un temporizador es útil para iniciar y parar la toma de la muestra y un medidor de tiempo transcurrido será útil para determinar el tiempo total de toma de muestra.

6.4 Almacenamiento y envío de la muestra

Remueva el impactador o absorbedor del tren de toma de muestra y tápelo inmediatamente. Verifique que la temperatura del absorbedor no esté por encima de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Marque el nivel de la solución con una señal temporal (lápiz de grasa). Si la muestra no será analizada antes de 12 horas, se debe almacenar a $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta del análisis. El análisis debe ocurrir dentro de los 30 días siguientes. Si la

muestra es transportada o enviada durante un período superior a 12 horas, se recomienda el uso de refrigeradores térmicos con compresas de hielo eutécticas, contenedores de envío con refrigeración, etc., para períodos hasta de 48 horas. Mida la temperatura de la solución absorbente cuando se reciban las muestras. Invalide la muestra si la temperatura está por encima de 10 °C. Almacene la muestra a $5\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ hasta que sea analizada.

Recolectar la muestra en envases de vidrio ámbar, en un lugar sin exposición directa de la luz solar.

Muestreando en un ambiente de temperatura controlada $15\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, mas del 98,9 % del compuesto $\text{SO}_2\text{-TCM}$ es retenido al completar el muestreo. Si se mantiene a 5 °C después de terminar la toma de la muestra, esta permanecerá estable hasta por 30 días.

7. APARATOS, REACTIVOS Y MATERIALES

7.1. Aparatos

- Espectrofotómetro UV-VIS, es requerido para el análisis un espectrofotómetro adecuado para la medición de absorbancia a 548 nm con un ancho de banda espectral efectivo de menos de 15 nm.
- Balanza analítica.
- Horno, para secado a temperatura de 105 °C.
- Bureta digital.
- Dispositivo de control de temperatura: El cambio de color durante el análisis debe ser en un ambiente controlado que esté en el rango de $20\text{ a }30\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Tanto la calibración como el análisis de la muestra deben ser realizados en condiciones idénticas (dentro de 1 °C). El control adecuado de la temperatura

puede ser obtenido mediante baños constantes de temperatura, baños de agua con control manual de temperatura, o cuartos de temperatura controlada.

7.2. Reactivos

➤ **Agua desionizada.**

- **Solución Absorbente (Tetracloromercurato TCM):** Disuelva 10.86 g de cloruro mercuríco, 0.066 g de EDTA y 6.0 g cloruro de potasio en agua desionizada y complete a volumen en un matraz volumétrico de 1000 mL. (Precaución: esta solución contiene cloruro mercuríco, por lo tanto no se debe entrar en contacto con la piel y evitar derramarlo por el sistema de alcantarillado. De ser derramado sobre la piel, limpie con agua inmediatamente).

Nota: El pH de este reactivo debe estar entre 3.0 y 5.0. Compruebe el pH de la solución absorbente usando papel indicador de pH o un medidor de pH. Si el pH de la solución no está entre 3.0 y 5.0, elimine la solución. El reactivo absorbente es normalmente estable durante 6 meses si se mantiene refrigerado en la oscuridad. Elimine el reactivo si se forma precipitado.

- **1-Butanol:** Alcohol grado analítico.

- **Ácido Sulfámico (0.6 %):** Disuelva 0.6 g de ácido sulfámico en 100 mL de agua desionizada. Esta solución debe prepararse diariamente.

- **Formaldehído (0.2%):** Diluya 1 mL de solución de formaldehído (36 a 38%) a 200 mL con el agua desionizada. Prepárese diariamente.

- **Solución stock de Yodo (0.1 N):** Coloque 12.7 g de yodo en un vaso de 250 mL y añada 40 g de yoduro de potasio y 25 mL de agua. Agite hasta disolver totalmente el sólido, transfiera a un balón aforado de 1000 mL y complete a volumen con agua desionizada.
- **Solución de Yodo (0.01 N):** Prepare aproximadamente una solución de yodo 0.01, diluyendo 50 mL de solución de yodo de 0.1 N en 500 mL con agua desionizada.
- **Solución indicadora de Almidón:** Disuelva 0.4 g de almidón y 0.002 g de yoduro de mercurio (preservante) con abundante agua desionizada para formar una pasta. Añada la pasta lentamente a 200 mL de agua desionizada caliente y continúe calentando hasta que aclare, finalmente permita que la temperatura disminuya y transfiera la solución a una botella de vidrio con tapa.
- **Ácido Clorhídrico HCl 1 N:** Diluya lentamente 86 mL de ácido clorhídrico concentrado a 1000 mL de agua desionizada.
- **Ácido Fosfórico H_3PO_4 3 M:** Diluya lentamente 205 mL de ácido fosfórico concentrado (85%) a 1000 mL de agua desionizada
- **Solución de Yodato de Potasio:** Pese 1.5 g $\pm$ 0.1 mg de yodato de potasio previamente seco a 180°C durante al menos 3 horas. Disuelva y luego complete a volumen en un balón aforado de 500 mL con agua desionizada.
- **Solución stock de Tiosulfato de Sodio (0.1 N):** Disuelva 25 g de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en 1000 mL de agua desionizada, añada 0.1 g de carbonato de sodio a la solución. Permita que la solución repose al menos 1 día antes de la estandarización. Para la estandarización, se deben medir

exactamente 50 mL de la solución de yodato de potasio, transferirlos a un erlenmeyer de 250 mL con tapa, añadir 2,0 g de yoduro de potasio y 10 mL de HCl 1 N, tape el erlenmeyer y deje reposar por 5 minutos. Titule con la solución stock de tiosulfato de sodio 0.1 N a un color amarillo pálido. Añada 5 mL de solución de almidón y titule hasta que el color azul apenas desaparezca. Calcule la normalidad (N_s) de la solución stock de tiosulfato de sodio así:

$$N_s = \frac{W}{M} \cdot 2.8$$

Donde:

N_s = Normalidad de tiosulfato de sodio.

M = Volumen de tiosulfato requerido en mL

W = Peso de yodato de potasio en g (peso registrado en la preparación de la solución de yodato de potasio).

$$2.80 = \frac{10^3 (\text{conversión de g a mg}) \times 0.1 (\text{fracción usada de yodato})}{35.67 (\text{peso equivalente de yodato de potasio})}$$

- **Solución de Trabajo de Tiosulfato de Sodio (0.01 N):** Mida exactamente 100 mL de solución de tiosulfato de sodio de 0.1 N, transfiera esta solución a un balón aforado de 1000 mL y complete a volumen. Calcule la normalidad del titulante de trabajo de tiosulfato de sodio (N_T) así:

$$N_T = N_S \cdot 0.1$$

- **Solución Stock de Bisulfito de Sodio:** Disuelva 0.30 g de metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) o 0.40 g de bisulfito de sodio (Na_2SO_3) en 500 mL de agua desionizada. Esta solución contiene el equivalente de 320 a 400 $\mu\text{g SO}_2/\text{mL}$. Para determinar la concentración real de ésta solución es necesario valorarla. Prepare la solución de trabajo de sulfito-TCM inmediatamente. Para la valoración de la solución stock tome 50 mL de la solución de yodo 0.01 N en

dos erlenmeyer de 250 mL, a uno de ellos agregar 25 mL de agua desionizada (blanco) y el otro agregar 25 mL de solución stock de bisulfito de sodio. Tapar los erlenmeyer y dejar en reposo por 5 minutos. Titular con tiosulfato de sodio 0.01 N a un color amarillo pálido. Añada 5 mL de solución de almidón y titule hasta que el color azul apenas desaparezca.

- **Solución Intermedia de Bisulfito de Sodio - TCM:** Diluya 5 mL de la solución stock de bisulfito de sodio en un balón aforado de 250 mL y complete a volumen con TCM. Calcule la concentración de dióxido de azufre en la solución de trabajo así:

$$C_{\frac{TCM}{SO_2}} \left(\frac{\mu g SO_2}{mL} \right) = \frac{(A - B) \cdot (N_T) \cdot (32000)}{25} \cdot 0.02$$

Donde

A = Volumen de titulante de tiosulfato requerido para el blanco, mL.

B = Volumen de titulante de tiosulfato requerido para la muestra, mL.

N_T = Normalidad del tiosulfato utilizado para titular.

32000 = Constante que representa el peso miliequivalente de $\mu g SO_2$.

25 = Constante que representa el volumen de la solución stock de bisulfito de sodio.

0.02 = Constante que representa el factor de dilución.

Nota: Esta solución es estable por 30 días si se mantiene refrigerada a 5 °C, de lo contrario prepárese diariamente

- **Solución Ácido Acético – Acetato de Sodio 1 M:** Disuelva 13.61 g de acetato de sodio trihidratado en agua desionizada en un balón aforado de 100 mL. Añada 5.70 mL de ácido acético glacial y diluya a volumen con agua desionizada. (El pH óptimo de la solución es de 4.79).

➤ **Solución de Pararrosanilina (PARA) (0.2%):** Para la preparación y purificación de la solución de pararrosalinina se tienen en cuenta los siguientes pasos:

1. Coloque 300 mL 1-butanol y 300 mL de HCl 1N en un embudo de separación grande (1 L) y permita el equilibrio entre el 1-butanol y el HCl 1N agitando vigorosamente y liberando la presión. Repetir este proceso por dos veces y permita la separación de las dos fases.
2. Pese 0.2 g de pararrosanilina (PARA) en un vaso. Añada 50 mL del ácido equilibrado (fase acida del embudo de separación preparado en el paso 1) a el vaso y déjelo en reposo por varios minutos.
3. A un embudo separador de 250 mL, añada 50 mL de 1-butanol equilibrado (fase orgánica del embudo de separación preparado en el paso 1).
4. Transfiera cuantitativamente la solución ácida de pararrosalinina (paso 2) al embudo y agite con cuidado para extraer. La impureza violeta se transferirá a la fase orgánica.
5. Transfiera la fase inferior acuosa a un vaso y la fase superior orgánica a otro vaso dispuesto para residuos de 1-butanol, añada 20 mL de 1-butanol equilibrado al embudo de separación y realice una nueva extracción.
6. Repita cinco o mas veces el paso 5 con 20 mL de 1-butanol equilibrado. (En cada nueva extracción, el color violeta ira desapareciendo de la fase orgánica)
7. Después de la extracción final, filtre la fase ácida de pararrosalinina a través de un algodón, y el filtrado es recogido en un balón aforado de 100 mL y completar a volumen con HCl 1 N. Este reactivo presenta un color rojo amarillento.

➤ **Procedimiento para verificar la pureza de la PARA:** La concentración pararrosanilina (PARA) necesita ser ensayado sólo una vez después de la purificación. También se recomienda que las soluciones comerciales de

pararrosanilina se ensayen cuando se compran por primera vez. El procedimiento de verificación es así:

1. Adicione 1 mL de la solución PARA obtenida del proceso de purificación a un balón aforado de 100 mL y complete a volumen con agua desionizada.
2. Transfiera una alícuota de 5 mL de la solución PARA diluida en el paso anterior (paso 1) dentro de un balón aforado de 50 mL. Añada 5 mL de solución ácido acético – acetato de sodio 1 M y complete a volumen con agua desionizada. Deje la mezcla en reposo por 1 hora.
3. Mida la absorbancia de la solución anterior a 540 nm con un espectrofotómetro tomando como referencia un agua desionizada. Calcule el porcentaje de concentración nominal de PARA así:

$$\%PARA = \frac{A \cdot K}{W}$$

Donde

A = Absorbancia medida de la mezcla final (unidades de absorbancia);

W = Peso en gramos de PARA

K = 21.3 para espectrofotómetros que tienen un ancho de banda espectral de menos de 15 nm y una longitud de camino de 1 cm.

- **Reactivo de coloración de Pararrosanilina:** En un balón aforado de 250 mL, añada 20 mL de la solución de pararrosalinina al 0.2%. Añada 0.2 mL adicionales de solución de pararrosalinina al 0.2% por cada unidad de porcentaje por debajo del 100% de la arrojada en el proceso de verificación de la pureza, por ejemplo, si en el proceso de verificación se arrojo un valor de 98% de pureza, el volumen adicional seria de 0.4 mL. Luego añada 25 mL de ácido fosfórico 3 M y diluya a volumen con agua desionizada. El reactivo es estable al menos 9 meses. Almacene lejos del calor y la luz.

7.3. Materiales

- Balones aforados clase “A” de 1000, 250, 100, 50 y 25 mL.
- Pipetas aforadas clase “A” de 50, 20, 10, 5, 3, 2 y 1 mL.
- Pipetas graduadas de 10, 5 y 2 mL.
- Embudos de separación de 1000, 500 y 250 mL.
- Vasos de precipitado de 500, 250, 100 y 50 mL.
- Erlenmeyer 125 mL.
- Celdas para espectrofotómetro
- Espátula.
- Frasco lavador.

8. PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DE VIDRIERÍA:

Los materiales utilizados en el análisis deben seguir el procedimiento de lavado de material TP0125 en lo concerniente al lavado con ácido clorhídrico.

Las celdas de vidrio se deben someter por dentro y fuera a un lavado completo con jabón de laboratorio y enjuagues múltiples con agua desionizada y no dejarlas secar para evitar incrustaciones. Evitar rayar las celdas.

9. PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES

- Prepare una solución diluida de trabajo, tomando 5 mL de la solución stock de bisulfito de sodio y completando a volumen con TCM en un balón aforado de 50 mL.

- Elaborar una curva de calibración tomando los volúmenes indicados en la tabla 1 y adicionándolos en balones aforados de 25 mL. Adicione solución absorbente TCM como se indica en la tabla.

Tabla No. 43. Volúmenes a emplear para la preparación de la curva de calibración

Solución de bisulfito de sodio - TCM	Volumen de solución de bisulfito de sodio - TCM	Volumen de TCM, mL	Concentración final ($\mu\text{g SO}_2$) totales *
--	0.0	10.0	0.0
Trabajo diluida	5.0	5.0	3.6
Trabajo diluida	10.0	0.0	7.2
Trabajo	2.0	8.0	14.4
Trabajo	3.0	7.0	21.6
Trabajo	4.0	6.0	28.8

* Basado en una concentración de la solución de trabajo de sulfato-TCM de $7,2 \mu\text{g SO}_2/\text{mL}$; el total real de $\mu\text{g de SO}_2$ debe ser calculado usando la ecuación de abajo.

10. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

10.1 Curva de calibración

- Adicionar a cada balón aforado 1 mL de acidósulfámico al 0.6%, y permita reacción por 10 min.
- Adicionar 2 mL de formaldehído al 0.2%.
- Adicionar 5 mL de reactivo de coloración de Pararosanilina
- Completar a volumen con agua desionizada y mezcle vigorosamente
- El color debe ser desarrollado (durante el período de 30 minutos) a una temperatura en el rango de 20 a 30 °C, controlado a ± 1 °C. Para aumentar la precisión, se recomienda un baño a temperatura constante durante la etapa de desarrollo de color.

- Después de 30 minutos, determine la absorbancia corregida de cada estándar a 548 nm contra una referencia de agua destilada. Denote esta absorbancia como (A). El agua destilada es usada en la celda de referencia en lugar del reactivo blanco debido a la sensibilidad de temperatura del reactivo blanco.
- Calcule los microgramos totales de SO₂ en cada solución:

$$\mu g \text{ SO}_2 = V_{TCM / SO_2} \cdot C_{TCM / SO_2} \cdot D$$

Donde:

V_{TCM/SO_2} = Volumen de solución de bisulfito de sodio -TCM usada, mL;

C_{TCM/SO_2} = Concentración de dióxido de azufre en la solución de trabajo de bisulfito de sodio - TCM, $\mu g \text{ SO}_2 / \text{mL}$.

D = Factor de dilución (D = 1 para la solución de trabajo de bisulfito de sodio - TCM; D = 0.1 para la solución diluida de trabajo de bisulfito de sodio - TCM).

La curva de calibración es determinada usando el método de mínimos cuadrados. Los microgramos de SO₂ contenidos en cada solución son la variable “x”, y la absorbancia de cada solución es la variable “y”.

Para que la curva calibración sea válida debe cumplir con los siguientes criterios:

1. La pendiente debe estar en el valor 0.030 ± 0.002 unidades de absorbancia.
2. El intercepto determinado por el método de mínimos cuadrados debe ser igual o menor de 0.170 unidades de absorbancia.
3. El coeficiente de correlación debe ser mayor a 0.998.

Si estos criterios no se cumplen, puede ser el resultado de la purificación de la pararrosalinina y/o una solución de bisulfito de sodio – TCM incorrectamente

estandarizada. Por lo tanto se debe revisar la preparación de cada una de las soluciones y repetir el proceso.

10.2 Procesamiento de Muestras

Preparación de la muestra

Retire las muestras del contenedor de transporte. Si el período de transporte se excede en 12 horas después de la terminación de la muestra, verifique que la temperatura esté por debajo de 10 °C. También, compare el nivel de la solución con la señal de nivel temporal sobre el absorbedor. Si la temperatura está por encima de 10 °C o hubo pérdida significativa (más de 10 mL) de la muestra durante el transporte, haga una anotación apropiada en el registro e invalide la muestra. Prepare las muestras para el análisis así:

- a. Para muestras de 30 minutos o de 1 hora: cuantitativamente transfiera una cantidad de 10 mL de solución absorbente a un matraz volumétrico de 25 mL y lave con una pequeña cantidad (<5 mL) de agua destilada.
- b. Para muestras de 24 horas: si el volumen de la muestra es menor que el volumen original de 50 mL (la señal permanente sobre el absorbedor), ajuste el volumen al volumen original con agua destilada para compensar el agua perdida por evaporación durante la toma de la muestra. Si el volumen final es mayor que el volumen original, el volumen debe ser medido usando una probeta. Para analizar, pipetee 10 mL de la solución en un matraz volumétrico 25 mL.

Análisis de la muestra:

- Medir el volumen total de la muestra y registrar el valor.

- Es recomendable dejar reposar la muestra por 20 min para permitir la eliminación de algunas moléculas de ozono.
- Tome 10 mL de cada muestra y transfíralos a un balón aforado de 25 mL.
- Para cada lote de muestras, preparar un blanco de reactivos (agregando 10 mL de solución absorbente – TCM a un balón aforado de 25 mL), y dos estándares de control que contienen aproximadamente 5 y 15 µg de SO₂, (de la misma forma que se preparan en el procedimiento de la curva de calibración).
- A cada balón aforado de 25 mL (Blanco, estándar y muestra), adicionar 1 mL de acidosulfámico al 0.6%, y permita reacción por 10 min.
- Agregar 2 mL de solución de formaldehído al 0.2%.
- Agregar 5 mL de reactivo de coloración de pararrosalinina.
- Completar a volumen con agua desionizada y mezcle vigorosamente
- El color debe ser desarrollado (durante el período de 30 minutos) a una temperatura en el rango de 20 a 30 °C, controlado a ± 1 °C. Para aumentar la precisión, se recomienda un baño a temperatura constante durante la etapa de desarrollo de color. Esta temperatura también debe mantenerse durante la calibración.
- Después de 30 minutos y antes de 60 minutos, determine las absorbancias corregidas de cada solución (blanco, estándar y muestra) a una longitud de onda de 548 nm usando celdas de pasos ópticos de 1 cm. contra una referencia de agua destilada. (El agua destilada es usada como referencia en vez del reactivo blanco debido a la sensibilidad del reactivo blanco a la temperatura).
- Los valores de la absorbancia de cada una de las muestras son interpoladas en la curva de calibración, de esta forma se obtiene la concentración en µg de SO₂.
- No permita que la solución coloreada se mantenga por mucho tiempo en las celdas porque puede formar una película. Limpie las celdas con alcohol isopropílico o HCl 1 N después del uso.

Rango de Absorbancia

Si la absorbancia de la solución está entre 1,0 y 2,0, la muestra puede ser diluida 1:1 con una parte del reactivo blanco y la absorbancia redeterminada dentro de 5 minutos. Las soluciones con absorbancias más altas pueden ser diluidas hasta un séxtuplo con el reactivo blanco para obtener lecturas de escala de menos de una unidad de absorbancia. Sin embargo, se recomienda que una pequeña parte (<10 mL) de la muestra original sea analizada de nuevo (si es posible) si la muestra requiere una dilución mayor que 1:1.

Disposición del reactivo

Todos los reactivos que contengan compuestos de mercurio deben estar almacenados y eliminados usando uno de los procedimientos descritos al final de este documento.

11. PROCESAMIENTO DE DATOS Y CÁLCULO DE RESULTADOS:

Interpole la absorbancia de las muestras en la curva de calibración elaborada previamente para hallar el contenido de SO₂ en la alícuota tomada para el análisis. Calcule el contenido de dióxido de azufre en el volumen total de la muestra de la siguiente manera:

$$SO_{2Total}(\mu g) = SO_{2Interpolado} * (V_{Total\ de\ Muestra} (mL) / V_{Alícuota} (mL))$$

El anterior cálculo se refiere a la concentración de SO₂ en la muestra y no en el volumen de aire muestreado.

Realice el cálculo del contenido de dióxido de azufre en el volumen de aire muestreado de acuerdo a la ecuación obtenida así:

$$\mu g SO_2 / m^3 = \frac{(A - A_o)(B_x)(10^3)}{V_{std}} * \frac{V_b}{V_a}$$

Donde:

A = Absorbancia de la solución de la muestra.

A_o = Absorbancia del reactivo blanco; (intercepto).

B_x = Factor de calibración, el recíproco de la pendiente de la ecuación de calibración; $\mu g SO_2$ /unidad de abs (pendiente⁻¹ = 1/~0.030 = ~33.3 $\mu g SO_2$ /unidad de abs).

10³ = Conversión de litros a m³.

V_a = Volumen de solución absorbente analizada, mL;(10 mL).

V_b = Volumen total de solución en el absorbedor, mL;(50 mL).

V_{std} = Volumen estándar de aire muestreado, L std.

De ser deseado, la concentración de dióxido de azufre a condiciones de referencia puede ser convertida a ppm SO₂ (v/v) así:

$$ppm SO_2 = \frac{\mu g SO_2}{m^3} \cdot 3.82 \cdot 10^{-4}$$

Estándares de Control

Calcule los microgramos analizados de SO₂ en cada estándar de control así:

$$C_q = (A - A_o) * B_x$$

Donde:

C_q = μg de SO₂ analizados en cada estándar de control.

A = Absorbancia corregida del estándar de control.

A_0 = Absorbancia corregida del reactivo blanco.

B_x = Factor de calibración, el recíproco de la pendiente de la ecuación de calibración;

La diferencia entre los valores verdaderos y los valores analizados de los estándares de control no debe ser mayor a 1 µg. Si la diferencia es mayor a 1 µg, la fuente de la discrepancia debe ser identificada y corregida.

12. CONTROL DE CALIDAD (CC) Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Los resultados son registrados directamente por el software del espectrofotómetro y debe ser entregado al líder del grupo de análisis fisicoquímicos. Reportar los análisis con dos cifras significativas.

En forma paralela, con cada grupo o lote de muestras, es necesario procesar en un mismo día, un estándar de 5.0 y 15.0 mg de SO_2/L . Registre los resultados en la CARTA DE CONTROL del método.

Verifique los estándares de control, si el resultado analítico cae fuera de los límites de control normales, deben revisarse los estándares de calibración, los reactivos y material de vidrio. El análisis solo se puede reanudar cuando se corrija el problema. Por cada lote de 20 muestras o menos es necesario leer un duplicado y dos estándares, uno bajo y uno alto.

Los duplicados evalúan la limpieza del material de vidrio y la replicabilidad del método. El porcentaje de la diferencia entre los duplicados no debe ser mayor al 10%, si la variación excede este límite, debe repetirse el análisis.

13. SECCIÓN DE REFERENCIA

Instituto de Hidrológica, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, Subdirección de Estudios Ambientales, Método de referencia para la determinación de dióxido de azufre (SO₂) en la Atmósfera (Método Pararosanilina). Versión No. 1.0 Noviembre de 2010

Manual de operaciones de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Febrero 2008.

Referente MethodfortheDetrmination of SulfurDioxide in theAtmosphere (PararosanilineMethod). Section 2.1. EPA. 1983

Procedimiento para el tratamiento de los residuos.

La solución de absorción TCM y cualquier reactivo que contenga compuestos de mercurio debe ser tratado y eliminada por uno de los métodos discutidos continuación. Ambos métodos remueven más del 99.99 % del mercurio.

1. Método para formar una Amalgama

Los pasos para tratar los residuos con contenido de mercurio por este procedimiento, se detallan a continuación:

1. Coloque la solución residual en un recipiente sin tapa en una campana.
2. Para cada litro de solución residual, añada aproximadamente 10 g de carbonato de sodio hasta que la neutralización haya ocurrido (NaOH puede ser usado).
3. Luego de la neutralización, añada 10 g de zinc granular o magnesio.
4. Agite la solución en una campana durante 24 horas

5. Después de 24 horas, permita a la solución reposar sin agitar para que la amalgama de mercurio (el material sólido negro) se ubique en el fondo del recipiente.
6. Deje decantar y deseche el líquido flotante.
7. Transfiera el material sólido a un contenedor y permita que se seque.
8. El material sólido puede ser enviado a la empresa encargada de recibir estos tipos de residuos peligrosos. No debe ser desechado.

2. Método que usa tiras de papel de aluminio

A través del empleo de papel aluminio se puede tratar los residuos que contienen mercurio, el proceso es el siguiente:

1. Coloque la solución residual en un recipiente destapado en una campana.
2. Para cada litro de solución residual, añada aproximadamente 10 g de tiras de papel aluminio. Si todo el aluminio es consumido y ningún gas es desarrollado, añada 10 g adicional de papel aluminio. Repita hasta que el papel aluminio no se consuma y permita que el gas se desarrolle durante 24 horas.
3. Decante el líquido flotante y deseche.
4. Transfiera el mercurio elemental que se ha colocado en el fondo del recipiente a un contenedor de almacenamiento.
5. El mercurio puede ser enviado a la empresa encargada de recibir estos tipos de residuos peligrosos. No debe ser desechado.

**ANEXO P: DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂) EN LA
ATMOSFERA (MÉTODO GRIESS SALTZMAN)**

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂) EN LA
ATMÓSFERA. MÉTODO MODIFICADO GRIESS SALTZMAN

CÓDIGO: TP0502

VERSIÓN: 02

COPIA N°: _____

ACTUALIZADO POR:

LUZ ADRIANA RUIZ ARAUJO
QUIMICA

REVISADO POR:

CARLOS ANDRES OCAMPO NARANJO
QUIMICO

APROBADO POR:

MARTHA ISABEL ALDANA
COORDINADORA GLCA

Si a los dos años el documento no presenta cambios que afecten significativamente, complete la siguiente tabla:

NUEVA REVISIÓN	NOMBRE / CARGO	FECHA
Revisión 1		
Revisión 2		

1. INTRODUCCIÓN

El dióxido de nitrógeno es absorbido del aire por una solución acuosa de trietanolamina. El análisis posterior se realiza usando un reactivo que forme un compuesto azo-colorante, la reacción producida por el ion nitrito con sulfanilamida y clorohidrato de N-(1-Naftil)-etilenodiamina forma un color rojizo cuyo color producido es medido en un espectrofotómetro a una absorbancia de 540 nm.

El rango de la concentración en el aire para el cual este método puede ser usado con confianza, está entre 10 a 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,005 a 0,50 ppm), tomando como base un periodo de muestreo de 24 horas. El comportamiento del método para niveles de NO_2 por encima de 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,5 ppm) aún no ha sido establecido.

2. DEFINICIONES

- μg = microgramos.
- $\mu \text{NO}_2 / \text{m}^3$ = microgramos de Dióxido de nitrógeno por metro cúbico.
- LDM = Límite de Detección del Método.
- S= Desviación estándar.
- CV: Coeficiente de variación.
- LSA = Límite superior de alarma.
- LSC = Límite superior de control.
- LIA = Límite inferior de alarma.
- LIC = Límite inferior de control.
- UV - VIS = Ultravioleta – Visible.
- r: tasa de muestreo en L/min.
- t: tiempo de muestreo en min.
- K: Factor de dilución.

3. ASPECTOS DE SALUD Y SEGURIDAD LABORAL

Antes de iniciar la determinación de dióxido de nitrógeno en la atmósfera, revise las Hojas de Seguridad de los reactivos y productos químicos requeridos en la

técnica. Estas hojas de seguridad se encuentran, en el PSO en el puesto de trabajo.

En el desarrollo de todo el análisis utilice de manera obligatoria los siguientes implementos de seguridad: bata, guantes, respirador para ácidos, gafas protectoras.

4. LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

- ¹⁷Las concentraciones máscas de los compuestos de monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre, sulfuro de hidrogeno, cloro, cloruro de hidrogeno, y fluor, generalmente presentes en el aire, no tienen efecto sobre la determinación máscas de dióxido de nitrógeno.
- El ozono interfiere levemente, esta interferencia se puede evitar con el uso de filtros.
- Los ácidos nítricos y nitrosos pueden estar presentes en la muestra de aire, producen un color rosado en una solución de absorción como el dióxido de nitrógeno.
- Los peroxiacilnitratos (PAN) pueden estar presentes en el aire, dando una respuesta de aproximadamente 15% a 35% de concentración equimolar de Dióxido de nitrógeno. Sin embargo, en el aire ambiente, las concentraciones masitas de los peroxiacilnitratos son demasiado bajas como para ocasionar algún error significativo.

¹⁷ Tomado ICONTEC Gestión ambiental. Aire ambiente. Determinación de la concentración máscas de dióxido de nitrógeno. Método modificado Griesssaltzman. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 6768 Bogotá. 1995-11-29. Disponible en: <http://www.sinab.unal.edu.co/ntc/NTC-ISO6768.pdf>

5. RESULTADO DE LA VALIDACIÓN DEL MÉTODO

Tabla No. 44. Parámetros de estandarización

NOMBRE DEL METODO:		Determinación de dióxido de nitrógeno (NO _x) en la atmosfera	
CÓDIGO DEL PSO:		TP0502	
FECHA DEL INFORME DE VERIFICACION DE LOS ATRIBUTOS DE ESTANDARIZACIÓN:		04/11/2011	
PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	OBSERVACION
LIMITE DE DETECCION	0,05	µg NO ₂ /mL	Corresponde al límite de cuantificación.
PRECISION EN TÉRMINOS DE %CV	6.78	%	Std bajo 0.05 µg NO ₂ /mL
	2.42	%	Std alto 1,0 µg NO ₂ /mL
EXACTITUD EXPRESADO COMO % DE ERROR RELATIVO	-6.99	%	Std bajo 0.2 µg NO ₂ /mL
	-1.47	%	Std alto 1,0 µg NO ₂ /mL
RANGO DE TRABAJO (Lectura Directa)	0.05 – 1,0	µg NO ₂ /mL	Sin dilución de la muestra.
INTERVALO DE APLICACIÓN DEL METODO	0.05 – 1,0	µg NO ₂ /mL	Sin dilución de la muestra.
RECUPERACION EXPRESADO COMO %	100	100.39 %	Adicionado bajo.
	100	100.14 %	Adicionado alto.

6. TOMA Y PRESERVACION DE LAS MUESTRAS

Recolectar la muestra en envases de vidrio ámbar, en un lugar sin exposición directa de la luz solar.

Durante el tiempo de muestreo se debe mantener la temperatura de la solución absorbente entre 10 y 25 °C. La muestra recolectada debe refrigerarse a 4°C para ser analizada en un periodo de tiempo no mayor de tres semanas.

7. APARATOS, REACTIVOS Y MATERIALES

7.1. Aparatos

- Muestreador trigas capaz de muestrear aire a través del absorbedor a la tasa requerida por 24 horas (de 0.20 a 0.40 L/min.).
- Frascos absorbedores o burbujeadores.
- Soporte metálico para sujetar los absorbedores.
- Dispositivo de control de flujo (Orificio crítico).
- Agujas hipodérmicas calibradas.
- Membrana porosa de 0.8 a 2.0 micras o filtro de fibra de vidrio. Estos filtros se pueden usar con retenedores apropiados para remover partículas de la corriente de aire, que deben ser colocados antes del dispositivo de control de flujo para protegerlo que haya alteraciones en el flujo.
- Equipo de calibración de flujo. Un medidor de burbuja o un medidor de gas húmedo o seco que permita medir un flujo de aire de 0.2 a 0.4 L/min y un reloj.
- Espectrofotómetro UV-VIS, capaz de medir la absorbancia de una solución a 540 nm. Una celda de trayectoria óptica de 1 cm es la más adecuada.
- Balanza analítica.
- Horno, para secado a temperatura de 105°C.

7.2. Reactivos

Los reactivos utilizados para este ensayo deben ser grado analítico.

- Agua Ultra Pura libre de nitritos.
- **Solución Absorbente:** Añada 14 mL de trietanolamina aproximadamente a 500 mL de agua Ultra pura; luego adicione 3 mL de N-butanol. Mezcle bien y diluya hasta 1L con agua desionizada. El N-butanol actúa como un surfactante. Si se presenta formación de mucha espuma durante el muestreo, se debe disminuir la cantidad de N-butanol. El reactivo es estable

por dos meses si se mantiene en un envase oscuro y bajo refrigeración a 4 °C.

- **Peroxido de hidrogeno:** Diluya 0,2 mL de peróxido de hidrógeno al 30% hasta 250 mL con agua Ultra pura. Consérvese en frasco oscuro y refrigerado a 4 °C.

Precaución: El peróxido de hidrógeno es un oxidante fuerte y puede causar daño en la piel y en la ropa.

- **Solución de sulfanilamida:** Disuelva 10 g de sulfanilamida en 400 mL de agua Ultra pura, luego adicione 25 mL de ácido fosfórico concentrado (85%) y complete hasta 500 mL. Esta solución es estable por varios meses si se almacena en un frasco oscuro y hasta por 1 año si se mantiene refrigerada a 4°C.
- **N-(1 NAFTIL) – EtilendiaminaDihidrocloruros (NEDA):** Disuelva 0,1 g de NEDA en 100 mL de agua Ultra pura. La solución es estable por 1 mes si se mantiene en un envase oscuro y bajo refrigeración a 4°C.
- **Solución Stock de nitrito:** Disuelva 0,152 g de nitrito de sodio (previamente seco por 2 horas a 105°C) en agua Ultra pura y complete hasta 1000mL. El nitrito de sodio debe ser de pureza conocida o analizada antes del uso. La solución contiene 100 µg de NO₂/mL. La solución debe ser preparada una vez al mes.
- **Solución intermedia de nitrito:** Transfiera 2 mL de solución stock de nitrito a un balón aforado de 100 mL y complete a volumen con solución absorbente. Esta solución de trabajo corresponde a una concentración de 2µg de NO₂/mL.

7.3 Materiales

- Balones aforados de 1000, 100 mL, 200 mL, 50 mL.
- Pipetas aforadas de 5, 25 mL.
- Probeta de 25 mL.
- Pipeta graduada de 10 mL.
- Celda de cuarzo de 1 cm.
- Espátula metálica.
- Frasco lavador.
- Erlenmeyer 125 mL.
- Beaker, agitador magnético.
- Desecador

8. Procedimiento de limpieza de vidriería

Lave toda la vidriería con jabón neutro, enjuague con agua de la llave, posteriormente déjelo en H_2SO_4 diluido al 5% y enjuague muy bien con agua destilada. Remítase al procedimiento relacionado PC0125 Lavado material de vidrio.

Utilice la vidriería a la que se le haya efectuado control de calidad y reserve esta vidriería únicamente para las determinaciones de NOX.

Los reactivos utilizados en este procedimiento pueden acabar acumulando películas en las paredes de las celdas del espectrofotómetro. Por lo tanto, **la celda deben ser muy bien lavadas con detergente** y si es el caso con acetona después de cada serie de análisis.

9. PROCEDIMIENTO

9.1 Procedimiento para el muestreo.

- Cada orificio crítico debe calibrarse antes de su uso.
- Los absorbedores deben estar completamente limpios e identificados.
- Transfiera al absorbedor la cantidad de solución absorbidora según el

Periodo de muestreo deseado. (50 ml para 24 horas).

- Conecte el absorbedor al tren de muestreo y prenda la bomba.

Nota: ver instructivo de calibración de orificio crítico TI0503.

9.2 Procedimiento al finalizar el muestreo

- Verificar la tasa de flujo y si hay desviación mayor del 10%, debe descartarse la muestra.
- Debe mantenerse registro de mediciones de flujo.
- Las muestras recolectadas deben mantenerse a 5 °C o menos antes del análisis. (Puede ser almacenada por un periodo de tres semanas).

9.3 Procedimiento de preparación de estándares:

Secar a $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ Nitrito de Sodio (NaNO_2) al 99% de pureza marca Merck durante dos horas y desecar.

Patrón de $0.05\text{ }\mu\text{g/mL}$: Se tomaron 5 mL de la solución intermedia de $2\text{ }\mu\text{g}$ de NO_2/mL se transfirió a un balón aforado clase A de 200 mL, que contenía aproximadamente 100 mL de Solución absorbente, se completó a volumen con solución absorbente.

Patrón de $0.20\text{ }\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$: Se tomaron 5 mL de la solución intermedia de $2\text{ }\mu\text{g}$ de NO_2/mL se transfirió a un balón aforado clase A de 50 mL, que contenía aproximadamente 20 mL de Solución absorbente, se completó a volumen con solución absorbente.

Patrón de $0.50\text{ }\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$: Se tomaron 25 mL de la solución intermedia de $2\text{ }\mu\text{g}$ de NO_2/mL se transfirió a un balón aforado clase A de 100 mL, que contenía aproximadamente 50 mL de Solución absorbente, se completó a volumen con solución absorbente.

Patrón de 1.0 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$: Se tomaron 25 mL de la solución intermedia de 2 μg de NO_2/mL se transfirió a un balón aforado clase A de 50 mL, que contenía aproximadamente 20 mL de Solución absorbente, se completó a volumen con solución absorbente.

9.4. Preparación de la curva de calibración.

- Elaborar una curva de calibración a partir de la solución intermedia de nitrito tomando 5, 5, 25 y 25 mL, completar con solución absorbente. como se indica en la siguiente tabla:

Tabla No. 45. Tabla para curva de calibración

Concentración teórica de la curva (μg de NO_2/mL)	Volumen a tomar de la solución intermedia de nitrito (mL)	Volumen Final (mL)
Blanco	0	10
0.05	5	200
0.20	5	50
0.50	25	100
1.0	25	50

- Transferir los estándares preparados, incluyendo el blanco de reactivos, a un erlenmeyer de 125 mL.
- Adicione los reactivos en el mismo orden en que se describen a continuación:
 - 1 mL de solución de peróxido de hidrógeno (asegúrese de mezclar).
 - 10 mL de solución de sulfanilamida. (asegúrese de mezclar).
 - 1 mL de solución de NEDA. (asegúrese de mezclar).
- Permita que se desarrolle el color durante 10 min. Mida la absorbancia a una longitud de onda 540 nm.
- Elabore una curva de calibración utilizando la absorbancia contra concentración de NO_2 .

- Recuerde que el blanco de reactivos son 10ml de la solución absorbente, y la adición de reactivos respectivos. (H_2O_2 diluido, sulfanilamida, NEDA).
- Se toman 10 mL de muestra y se procede a adicionar los respectivos reactivos en el orden sugerido.
- Verifique que los valores de pendiente, intercepto y coeficiente de correlación cumplan con los criterios de calidad estipulados.

9.5 Procedimiento para el análisis de la muestra

- Solicite las muestras mediante el formato TF0061, Llevar la muestra a temperatura de laboratorio.
- Curva de Calibración. Prepare una curva de calibración cada vez que cambie de solución de coloración (lote de reactivo), o de solución patrón de nitrito.
- Encienda el Espectrofotómetro UV-VIS con la lámpara de tungsteno, 45 minutos antes de iniciar las lecturas, tenga en cuenta el manual TM0166, para especificar los rangos de medición. La lectura de NOX debe hacerse a 540 nm. Cargue la última curva de calibración.
- Verifique que la celda de vidrio de 1cm esté perfectamente limpia, si observa manchada de color rosado déjela en jabón aproximadamente 15 minutos, hágale un lavado con H_2SO_4 al 5% y enjuáguela perfectamente con agua Ultra pura.
- Cuando vaya a iniciar la lectura de la curva de calibración, transfiera una alícuota de 10 mL del blanco y los estándares en erlenmeyer de 125 mL y adicione los reactivos respectivos, deje desarrollar color y comience la lectura después de 10 minutos.
- Mida la absorbancia a una longitud de onda de 540nm.
- Para iniciar las lecturas fotométricas, coloque el blanco de reactivos en la celda, léalo como blanco, en el rango de la longitud de onda de 540 nm, inmediatamente léalo como muestra y codifíquelo como BLANCO, continúe con los estándares de control en orden creciente desde el de más baja

concentración, léalos como muestras, y como estándares, siguiendo las instrucciones del equipo.

- Almacene los datos en la carpeta del año correspondiente. carpeta NOX. Grabe la curva, los estándares y las muestras de dicha curva de calibración, archivándola por la fecha en que se realizó, dos dígitos para día, mes y año (dd/mm/aa), en las carpetas Métodos, Estándares y Muestras respectivamente. Imprima el reporte en papel y entréguelo al Líder de análisis para su aprobación.
- Registre los resultados de los estándares con 3 cifras significativas en la carta de control, verifique que los valores se encuentren dentro del rango de 2 (S) desviaciones estándar por encima ó por debajo, respecto del valor teórico esperado.
- Reporte los resultados de las muestras con dos cifras significativas.

10. Datos y cálculos.

- Los valores de la absorbancia de cada una de las muestras son interpoladas en la curva de calibración, de esta forma se obtiene la concentración en μg de NO_2/mL .
- Para el cálculo de la concentración de NO_2 en la atmósfera se utiliza la siguiente ecuación:

$$\mu\text{gNO}_2 / \text{m}^3 = \frac{(\mu\text{gNO}_2 / \text{mL})(50)(D)}{0.82 * V}$$

$\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$	=	Concentración de NO_2 obtenida en la curva de calibración.
50	=	Volumen de absorbente usado en el muestreo.
V	=	Volumen de aire muestreado (m^3).
D	=	Factor de dilución.
0.82	=	Eficiencia de recolección.

Reporte los resultados de las muestras con dos cifras significativas.

11. Sección de control de calidad (CC) y Aseguramiento de la calidad

- Utilice únicamente el material al cual se le haya realizado control de calidad.
- Cuando realice la curva de calibración entréguela al líder de análisis para su aprobación. Verifique que la pendiente de la curva de calibración se encuentre en un valor aproximado 0.4678 ± 0.024 .
- Se debe correr un blanco y dos patrones de control por series de diez muestras.
- Las muestras que exceden la absorbancia del estándar de calibración más alto debe ser diluido con reactivo absorbente hasta que la absorbancia este dentro del rango.
- se debe procesar por lo menos un duplicado de una muestra al azar. Los duplicados evalúan la limpieza del material y la replicabilidad del método. El porcentaje de la diferencia entre los duplicados no debe ser mayor al 10%; si la variación excede este límite, debe repetirse el análisis.
- Los testigos sirven para evaluar las condiciones de transporte y monitoreo en las que tomaron las muestras y el almacenamiento de las mismas. El porcentaje de recuperación de los testigos debe estar entre 70 y 130 %.
- Las réplicas se utilizan para observar diferencias en el muestreo, se aceptan replicas con una diferencia no mayor al 10%. La máxima absorbancia permitida es la obtenida para el patrón de $1.0 \mu\text{g}$ de NO_2/mL .
- Verifique que los estándares de control de 0.05 y $0.20 \mu\text{g NO}_2 / \text{mL}$ se encuentran en la carta de control, si el resultado analítico cae fuera de los límites de control normales, deben revisarse los estándares de calibración, los reactivos, material de vidrio y los blancos. No realice más análisis hasta verificar que sucede, comuníquelo la anomalía al Líder de Análisis y revise, inicie nuevamente la marcha analítica cuando el Líder de Análisis lo ordene.

- Si los resultados de estos controles se encuentran en la carta de control, registre las concentraciones obtenidas, registre las iniciales del analista y la fecha de análisis en las casillas correspondientes y grafique el valor del estándar,
- Evite procesar la muestra después del tiempo máximo sugerido para el análisis.

9. Referencias

Manual de operaciones de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Febrero 2008.

Equivalent method for the determination of nitrogen dioxide in the atmosphere (sodium arsenite method). Section 2.4, December 30, 1981.

ICONTEC Gestión ambiental. Aire ambiente. Determinación de la concentración másica de dióxido de nitrógeno. Método modificado Griess saltzman. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 6768 Bogotá. 1995-11-29. Disponible en: <http://www.sinab.unal.edu.co/ntc/NTC-ISO6768.pdf>

[Morris Katz](#). Methods of air sampling and analysis third editions. American Public Health Association, 1977 - 984 páginas.

ANEXO Q: HOJA DE CAMPO DE REGISTRO DEL EQUIPO TRIGAS

Tabla No.46. Hoja de Registro de Campo Equipo Trigas

	IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia Universidad Santo Tomás de Aquino – Facultad de Ingeniería Ambiental SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
FORMATO DE MUESTREO PARA EL EQUIPO TRIGAS			
LUGAR DE MUESTREO			
Localización :	IDEAM CENTRO	Gas contaminante:	SO ₂ y NO ₂
Estación:	IDEAM CENTRO	Operador:	
Equipo TRIGAS:	ENERGÉTICA	Modelo:	TGP - 0193
CONDICIONES DE LUGAR DE MUESTREO			
Fecha inicial:		Fecha final:	
Temperatura ambiental inicial (°C):		Temperatura ambiental final (°C):	
Presión Barométrica inicial (mm Hg):		Presión Barométrica final (mm Hg):	
Horómetro inicial:		Horómetro final:	
Vacuómetro inicial:		Vacuómetro final:	
Lectura gasómetro inicial:		Lectura gasómetro final:	
OBSERVACIONES			