

SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN DE MONITOREO ATMOSFÉRICO
SUBDIRECCIÓN DE MONITOREO

REPORTE TÉCNICO 02-05/06

**Reporte de la auditoría interna 2006-1 al
desempeño de los monitores continuos de
partículas suspendidas (PM₁₀ y PM_{2.5}) y de los
muestreadores FRM PM_{2.5}.**

Preparado por: Olivia Rivera Hernández
Alejandro Campos Díaz

Revisado por: Armando Retama Hernández



Reporte No.: 02-05/06
8 de junio de 2006

RESUMEN

Durante los meses de enero a mayo la Subdirección de Monitoreo, a través del Área de Control de Calidad, realizó una auditoría interna del desempeño de los instrumentos automáticos empleados en la medición de $PM_{2.5}$ y PM_{10} , así como de los equipos manuales empleados para la recolección de muestras de $PM_{2.5}$. La auditoría se desarrolló en conformidad con los procedimientos y requisitos descritos en el manual del fabricante, los procedimientos operativos de la Subdirección y las referencias de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (U. S. EPA por sus siglas en inglés).

El reporte refiere los resultados obtenidos de 22 monitores continuos y 8 muestreadores de $PM_{2.5}$ operados por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). A pesar del avance que se tiene en el desarrollo de procedimientos y registros, se aplicó únicamente una auditoría de desempeño a los instrumentos. Los aspectos operativos evaluados fueron el flujo, masa, temperatura, presión y estado operativo.

Los resultados de la auditoría indican un buen desempeño de los instrumentos en campo, no se encontraron desviaciones importantes en el flujo, temperatura, presión ni masa (este último parámetro evaluado únicamente en los monitores de atenuación de radiación beta). En el caso de los muestreadores manuales tampoco se reportó una desviación significativa. Los resultados confirman una operación adecuada de los monitores continuos y manuales. En algunos casos se detectó una limpieza deficiente de los instrumentos continuos así como la falta de información de la última calibración.

Los avances demostrados en las áreas que operan los equipos continuos y manuales permiten en el mediano plazo la aplicación de una auditoría de sistema, por lo tanto se recomienda realizar los preparativos entre las áreas operativa y la de Control de Calidad, para la aplicación de una auditoría que incorpore aspectos como documentación, registros, calibración y mantenimientos.

1. INTRODUCCIÓN

El monitoreo de PM_{10} en la Ciudad de México se realiza desde 1986 empleando muestreadores de Alto Volumen con entrada selectiva. En 1995 se inició la medición con equipo continuo. A partir del 2001 el SIMAT implementó algunas acciones para mejorar la calidad en la operación de los equipos automáticos de PM_{10} , dentro de ellas destaca la reducción en la temperatura de operación de 50 a 35°C para minimizar la pérdida de material volátil presente en la muestra de partículas suspendidas.

En el año 2002 se agregó al SIMAT una red para el monitoreo de la fracción fina de las partículas suspendidas, la red de $PM_{2.5}$ inició su operación en agosto de 2003 empleando equipo manual y continuo.

Actualmente el SIMAT realiza el monitoreo continuo de la concentración de PM_{10} en 15 sitios, empleando monitores TEOM 1400 (Rupprecht & Patashnick, Inc). En ocho sitios se realiza el monitoreo continuo de $PM_{2.5}$ con monitores automáticos TEOM-FDMS 8500 (Rupprecht & Patashnick, Inc.) y de atenuación beta (Thermo Andersen) y en siete sitios se obtienen muestras de $PM_{2.5}$ cada seis días empleando un muestreador manual Partisol FRM 2000 (Rupprecht & Patashnick, Inc.).

Durante el año 2005, como parte de las actividades de control y aseguramiento de la calidad se integró y capacitó a un grupo de técnicos para la aplicación de auditorías internas en la Subdirección de Monitoreo. El propósito de este grupo es realizar el seguimiento de las mejoras instrumentadas en el Sistema de Monitoreo. La aplicación de auditorías internas es una actividad relativamente nueva de aseguramiento de la calidad y se pretende como una herramienta administrativa y técnica para evaluar la efectividad de las actividades realizadas para la operación de los instrumentos y equipos. De igual manera provee las bases para establecer acciones correctivas cuando se descubren deficiencias en cualquiera de las etapas del monitoreo.

El presente documento muestra los resultados de la auditoría interna aplicada durante los meses de enero y abril del presente año.

2. OBJETIVO

Evaluar el desempeño de los muestreadores automáticos continuos de PM_{10} y $PM_{2.5}$, así como de los equipos manuales para $PM_{2.5}$.

3. METODOLOGÍA

La auditoría se realizó entre el 25 de enero y el 12 de abril del 2006, se auditaron 14 equipos continuos para PM_{10} de un total de 15, 8 equipos continuos para $PM_{2.5}$ y 8 equipos manuales para $PM_{2.5}$. El instrumento de PM_{10} de la estación de Tultitlán (TLI) está fuera de operación desde el día 9 de Marzo de 2004, debido a los constantes actos de vandalismo que ha sufrido la estación. La distribución de las estaciones auditadas se presenta en la Figura 1 y en la Tabla 1 se presentan la distribución de la instrumentación.

Durante la auditoría se evaluaron la limpieza del instrumento, los parámetros de operación, el flujo volumétrico y la respuesta del detector de masa en los equipos de atenuación beta. Para el flujo volumétrico, temperatura y presión se empleó el estándar del Laboratorio de Estándares de la Subdirección de Monitoreo modelo DeltaCal n/s 351 y para la prueba de masa de los monitores de atenuación beta se empleó un juego de placas de calibración marca ThermoESMAnderden n/s 530.

Para cada instrumento se registraron los parámetros de operación y se realizó una inspección del estado físico. En los monitores continuos TEOM se midió el flujo volumétrico total con el calibrador de auditoría, posteriormente se desconectó el flujo principal para obtener el caudal del flujo auxiliar. El valor del flujo principal se calculó de la diferencia entre el flujo total menos el flujo auxiliar. Todas las lecturas de flujo se realizaron en la toma de muestra retirando la entrada selectiva. Simultáneamente se tomaron las lecturas para los flujos total, principal y auxiliar reportados por el instrumento. Adicionalmente se registraron los valores de temperatura ambiente y presión atmosférica y se compararon con los reportados por el calibrador de referencia. En cada lectura de flujo se permitió un tiempo mínimo de 5 minutos para la estabilización del flujo antes de realizarla. En los monitores de atenuación beta se auditaron el flujo total, la temperatura y presión con el calibrador de auditoría. Las lecturas del flujo total se realizaron directamente en la toma de muestra retirando el cabezal, permitiendo un tiempo mínimo de 5 minutos para la estabilización del flujo. A fin de auditar la lectura de masa se emplearon dos placas previamente calibradas a una lectura de 0 y 1360 μg , respectivamente. En el caso del muestreador Partisol se auditaron el flujo, la presión y la temperatura con el calibrador de auditoría. Las lecturas del flujo se realizaron retirando el cabezal de PM_{10} de la toma de muestra, con el impactor de $PM_{2.5}$ instalado, se colocó un filtro limpio para evitar invalidar las muestras colocadas en el muestreador. Al concluir la prueba se colocó el filtro original y se verificó la programación del instrumento.

Previo al inicio de la auditoría de los instrumentos automáticos se informó al Centro de Control del SIMAT que el instrumento iba a ser auditado y que los valores no se consideran para los reportes de calidad del aire. Al concluir la auditoría y después de un periodo de estabilización se reportaba al Centro de Control la conclusión de la prueba.

Figura 1. Ubicación actual de las estaciones para el monitoreo de PM₁₀ y PM_{2.5}

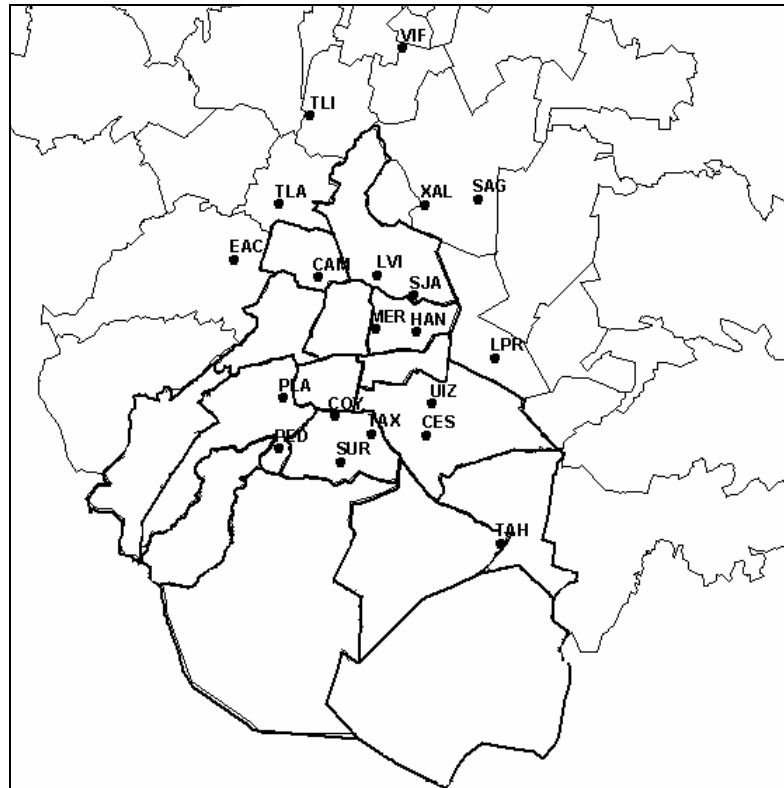


Tabla 1. Distribución de la instrumentación de PM₁₀ y PM_{2.5}

ZONA	ESTACIÓN	CLAVE	PM ₁₀ Equipo continuo	PM _{2.5} Equipo continuo	PM _{2.5} Equipo Manual
NOROESTE	ENEP Acatlán	EAC	TEOM		
	Tultitlán*	TLI	TEOM		
	Tlalnepantla	TLA	TEOM	TEOM	Partisol
	Camarones	CAM		Beta	
	La Villa	LVI	TEOM		
NORESTE	San Agustín	SAG	TEOM	Beta	Partisol
	Xalostoc	XAL	TEOM		Partisol
	San Juan de Aragón	SJA		Beta	Partisol
	Perla Reforma	PER		Beta	
	Villa de las Flores	VIF	TEOM		
CENTRO	Merced	MER	TEOM	TEOM	Partisol
	Hangares	HAN	TEOM		
SUROESTE	Santa Ursula	SUR	TEOM		
	Pedregal	PED	TEOM		Partisol
	Plateros	PLA	TEOM		
	Coyoacán	COY		TEOM	Partisol
SURESTE	Cerro de la Estrella	CES	TEOM		
	UAM Iztapalapa	UIZ		Beta	Partisol
	Tlahuac	THA	TEOM		
	Taxqueña	TAX	TEOM		

* Estación fuera de operación durante la auditoría

Para cada instrumento se calculó la diferencia entre el valor actual del equipo y el valor reportado por el equipo de referencia. En la tabla 2 se presentan los criterios empleados para evaluar los resultados de la auditoría.

Tabla 2. Criterios utilizados durante la auditoría.

Parámetro	Tolerancia
Flujo principal del TEOM y TEOM-FDMS	±0.2 L/min
Flujo auxiliar del TEOM y TEOM-FDMS	±0.8 L/min
Flujo total del TEOM y TEOM-FDMS	±1.0 L/min
Flujo total del Beta	±0.8 L/min
Flujo nominal (U.S. EPA)	16.7 L/min
Masa de la placa de rango del Beta	±68 µg
Temperatura ambiente y del filtro	±2 °C
Presión ambiente	±10 mmHg

4. RESULTADOS

4.1. Limpieza

Se encontró falta de limpieza en los instrumentos continuos de las estaciones UIZ, CAM, SJA y PER. El área de Operación de Redes comentó que existe un calendario mensual para la limpieza de éstos, sin embargo de los reportes revisados se observa que la limpieza no se había realizado en los últimos dos meses. Cabe mencionar la importancia del mantenimiento periódico, ya que se pueden presentar interferencias en los instrumentos por este motivo. En el caso de los instrumentos manuales estos se encontraron en condiciones adecuadas.

4.2. Parámetros de operación.

Se evaluó la respuesta de los sensores de presión y de temperatura de los 22 equipos continuos y los ocho manuales. En ningún equipo se excedieron los intervalos de tolerancia, la diferencia más alta se observó en la estación de SUR (PM₁₀).

Tabla 3. Resultados de la auditoría a los parámetros de los instrumentos TEOM y TEOM-FDMS

Sitio	Parámetro	Temperatura ambiente (°C)			Presión ambiente (mmHg)		
		TEOM	Estándar	Diferencia	TEOM	Estándar	Diferencia
CES	PM ₁₀	17.1	17.2	-0.1	589	589	0
EAC	PM ₁₀	18.1	18.9	-0.8	581	583	-2
HAN	PM ₁₀	23.1	22.3	0.8	584	587	-3
LVI	PM ₁₀	15.4	15.5	-0.1	589	589	0
MER	PM ₁₀	21.8	19.2	2.6	584	587	-3
PED	PM ₁₀	18.2	20.3	-2.1	581	581	0
PLA	PM ₁₀	22.4	22.7	-0.3	582	582	0
SAG	PM ₁₀	23.0	22.7	0.3	583	585	-2
SUR	PM ₁₀	19.8	21.9	-2.1	575	584	-9
TAX	PM ₁₀	23.0	20.3	2.7	589	589	0
THA	PM ₁₀	25.4	23.5	1.9	584	584	0
TLA	PM ₁₀	16.7	17.7	-1	583	583	0
VIF	PM ₁₀	16.8	17.6	-0.8	588	587	1
XAL	PM ₁₀	13.8	14.7	-0.9	585	590	-5
MER	PM _{2.5}	19.3	19.6	-0.3	584	587	-3
TLA	PM _{2.5}	18.6	18.9	-0.3	583	583	0
COY	PM _{2.5}	17.1	19.4	-2.3	587	587	0

Promedio
Desviación estándar

-0.2
1.5

-1.5
2.5

Tabla 4 . Resultados de la auditoría a los parámetros principales de los instrumentos de atenuación beta.

Sitio	Temperatura ambiente (°C)			Presión ambiente (mmHg)		
	Beta	Estándar	Diferencia	Beta	Estándar	Diferencia
SJA	15.0	16.0	-1.0	584	590	-6
CAM	21.0	21.0	0.0	587	585	2
UIZ	18.0	17.0	1.0	588	588	0
LPR	22.0	20.5	1.5	589	588	1
SAG	23.0	20.8	2.2	586	585	1

Promedio

0.7

-0.4

Desviación estándar

1.3

3.2

Tabla 5 . Resultados de la auditoría a los parámetros principales del equipo Partisol FRM.

Sitio	Temperatura ambiente (°C)			Temperatura del filtro (°C)			Presión ambiente (mmHg)		
	Equipo	Estándar	Diferencia	Equipo	Estándar	Diferencia	Equipo	Estándar	Diferencia
COY	16.1	15.2	0.9	15.7	16.6	-0.9	590	590	0
MER	15.2	15.4	-0.2	16.9	16.4	0.5	590	589	1
PED	17.1	17.5	-0.4	17.1	18.3	-1.2	583	583	0
SAG	20.4	19.2	1.2	20.6	20.3	0.3	586	588	-2
SJA	20.6	20.1	0.5	18.9	22.0	-3.1	589	588	1
TLA	19.6	19.3	0.3	24.0	23.0	1.0	582	581	1
UIZ	23.0	24.6	-1.6	25.6	26.9	-1.3	584	585	-1
XAL	18.7	17.5	1.2	22.1	21.1	1.0	588	589	-1

Promedio

0.2

-0.5

-0.1

Desviación estándar

1.0

1.4

1.1

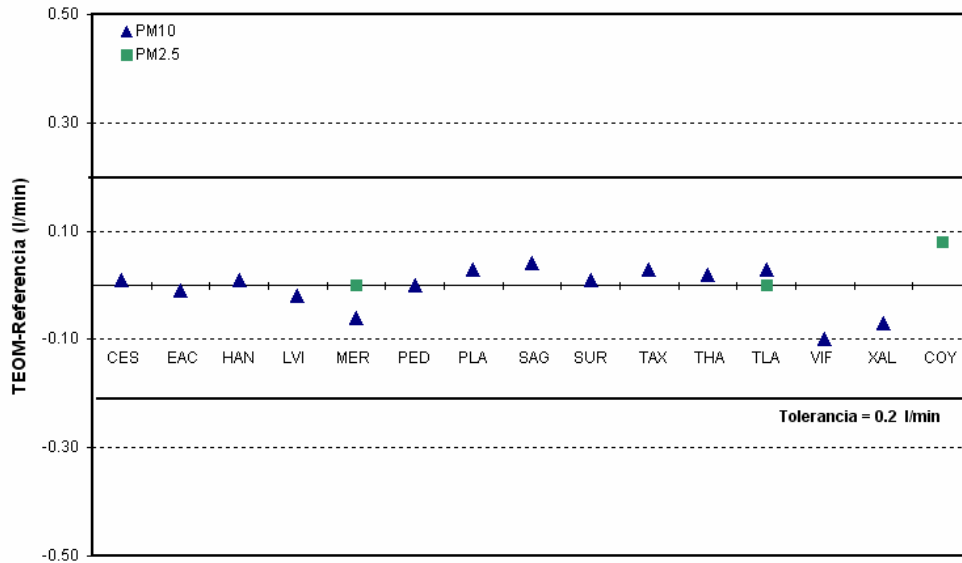
4.3. Flujo volumétrico

4.3.1. Equipos TEOM

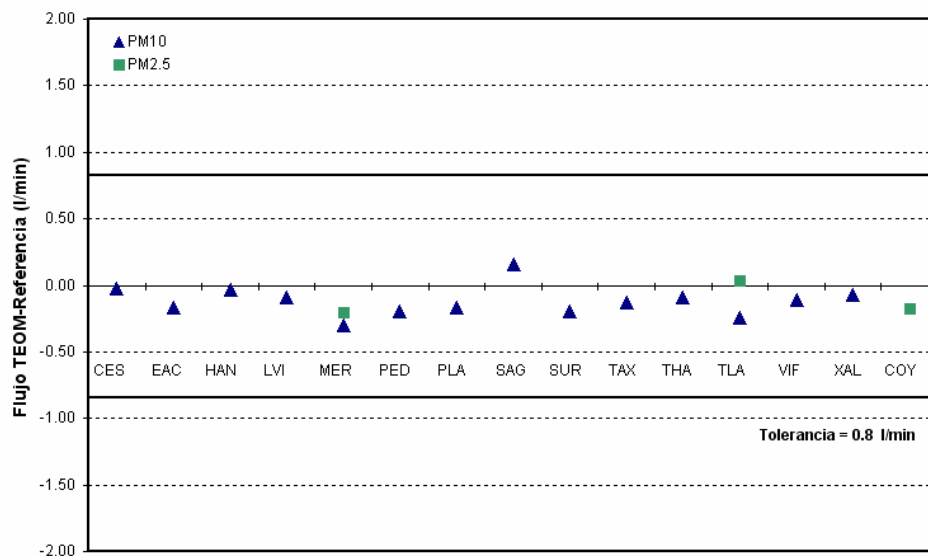
Se auditaron 14 instrumentos de PM₁₀ TEOM y 3 monitores continuos de PM_{2.5} TEOM-FDMS, para cada instrumento se evaluaron el flujo total, el flujo principal y el flujo auxiliar. En ningún caso se excedieron los intervalos de tolerancia. La gráfica 1 presenta las desviaciones registradas en el flujo principal de los equipos TEOM y TEOM-FDMS. Todos los sitios de muestreo se encuentran dentro de la tolerancia permitida de ± 0.2 L/min, el intervalo intercuartil fue de 0.04 L/min, la mayor diferencia se registró en la estación VIF (PM₁₀) con -0.1 L/min. La gráfica 2 presenta las desviaciones en el flujo auxiliar, los resultados estuvieron dentro del intervalo de tolerancia de ± 0.8 L/min, el intervalo intercuartil fue de 0.13 L/min, las mayores diferencias se

obtuvieron en los equipos de MER (PM_{2.5}), VIF (PM₁₀) y XAL (PM₁₀). En la gráfica 3 se presenta la desviación obtenida en el flujo principal donde todos los sitios se encontraron dentro del intervalo de tolerancia de ± 1.0 L/min, el intervalo intercuartil fue de 0.2 L/min, la máxima desviación se registró en el equipo de MER (PM₁₀).

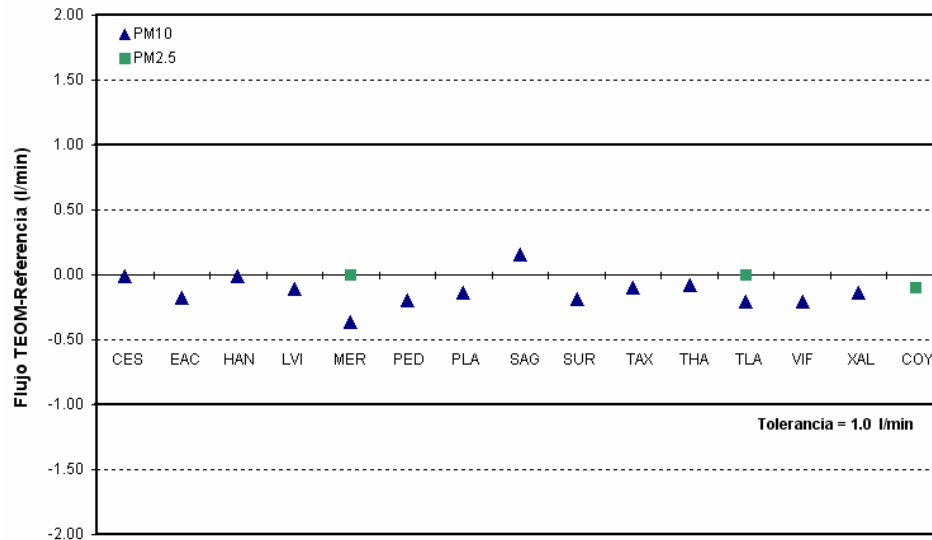
Gráfica 1. Resultados de la auditoría de flujo principal para los Instrumentos TEOM de PM₁₀ y TEOM-FDMS de PM_{2.5}



Gráfica 2. Resultados de la auditoría de flujo auxiliar para los Instrumentos TEOM de PM₁₀ y TEOM-FDMS de PM_{2.5}



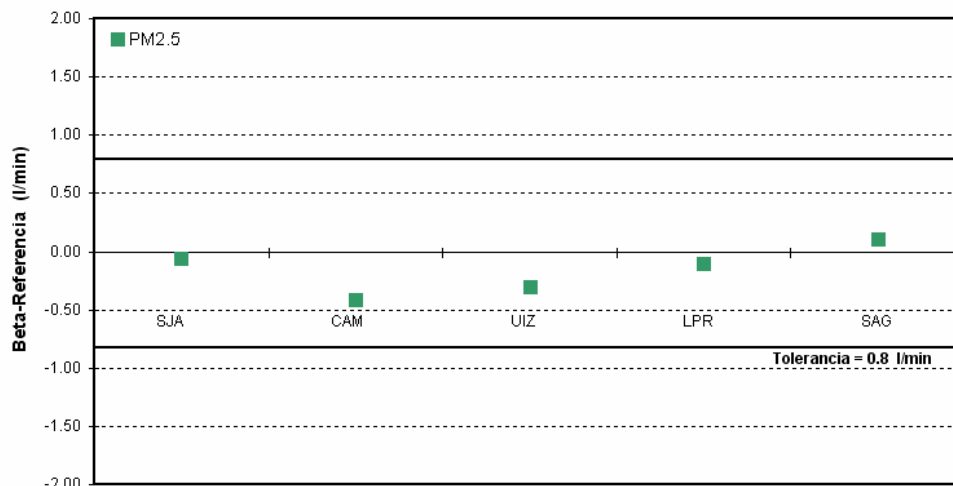
Gráfica 3. Resultados de la auditoría de flujo total para los Instrumentos TEOM de PM₁₀ y TEOM-FDMS de PM_{2.5}



4.3.2. Monitores de atenuación beta

Se auditaron 5 monitores continuos de atenuación beta para PM_{2.5}. La gráfica 4 presenta las desviaciones obtenidas del flujo total en los diferentes sitios de muestreo, los cinco instrumentos evaluados están dentro del intervalo de tolerancia establecido. El promedio de los sitios fue de 0.15 L/min, la mayor desviación se reportó en la estación CAM.

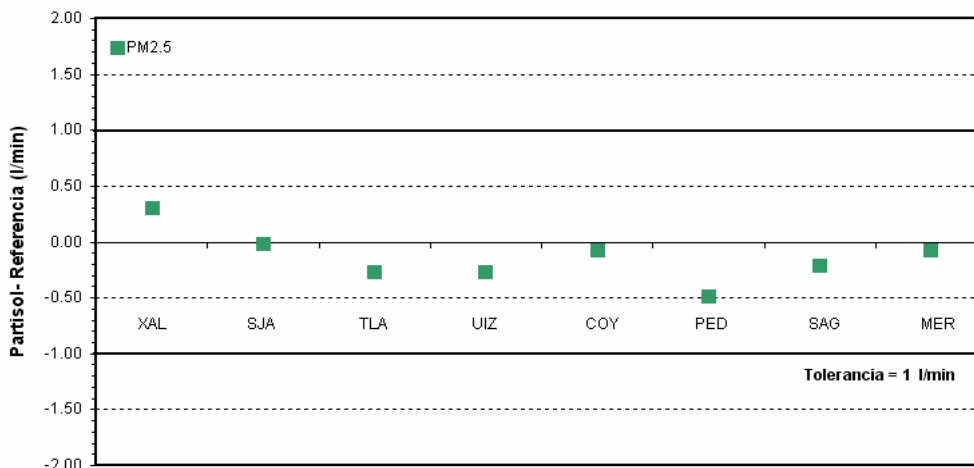
Gráfica 4. Resultado de la auditoría de flujo total para los instrumento de atenuación beta para PM_{2.5}



4.3.3. Colectores manuales (Partisol FRM)

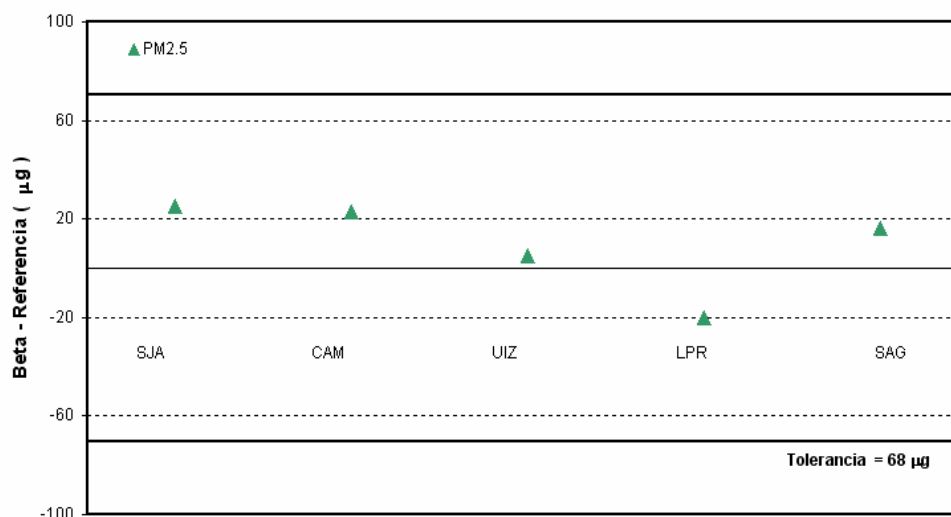
Se auditaron 8 colectores manuales para PM_{2.5}, ninguno presentó una diferencia mayor a la tolerancia permitida de 1 L/min. Cabe mencionar que el equipo de SJA se estaba empleando para propósitos de comparación con el monitor continuo y no forma parte de la Red Manual. Sin embargo, debido a la importancia de la comparación se incluyó en la auditoría. El promedio de las desviaciones fue de $-0.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La mayor desviación se registró en el sitio de PED.

Gráfica 5. Resultados de la auditoría de flujo total para los colectores Partisol FRM



4.4. Masa

Este parámetro se auditó únicamente en los monitores de atenuación beta. Se auditaron 5 monitores. Las desviaciones presentadas por los sensores de masa se encuentran dentro del intervalo de tolerancia de $68 \mu\text{g}$ ($\pm 5\%$). El promedio de las desviaciones fue de $10 \mu\text{g}$. La mayor desviación en masa se registró en el sitio de SJA.

Gráfica 6. Resultados de la auditoría a los sensores de masa de los Instrumentos beta

5. OBSERVACIONES Y COMENTARIOS

- Los resultados de la auditoría indican que los instrumentos continuos presentan un desempeño adecuado, ninguno de los parámetros evaluados se encontró fuera de los intervalos de tolerancia especificados.
- Los colectores manuales de PM_{2.5} se encuentran operando correctamente, existe un cumplimiento estricto del calendario de calibración y mantenimiento por parte del personal de la Red Manual.
- Los instrumentos automáticos de las estaciones CAM, UIZ, SAG, SJA, PER, VIF, TAX y HAN no presentan a la vista la fecha de la última calibración, ni los valores de los parámetros finales de calibración.
- La documentación del sistema de calidad para partículas suspendidas en sus diferentes fracciones no está concluida. La documentación existente consiste en procedimientos y formatos para la operación, mantenimiento y limpieza de los equipos Partisol FRM, para los instrumentos TEOM se cuenta con los formatos necesarios, sin embargo no está concluido el procedimiento. Se cuenta con formatos para los instrumentos de atenuación beta pero no existe todavía el procedimiento para su operación, calibración y mantenimiento.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la JUD de Operación de Redes el establecimiento y seguimiento de un programa adecuado de limpieza y mantenimiento preventivo de los monitores continuos.
- Se recomienda que en cada estación se destine un espacio para los manuales de operación de los instrumentos, así como para la información de la última calibración de los monitores. La información puede estar en etiquetas o en los formatos.
- En el caso de los equipos manuales se recomienda colocar a la vista la fecha y los datos de la última calibración.
- Se deben tomar las medidas de seguridad necesarias para habilitar la estación de Tultitlán (TLI) a fin de reincorporarla al monitoreo de partículas. Cabe mencionar que la zona se caracteriza por tener emisiones de partículas suspendidas por las actividades industriales y de construcción que en ella se desarrollan.
- Es importante concluir los procedimientos de operación y calibración.

- f) Deben iniciarse medidas para ampliar los alcances de la auditoría para verificar documentación, operación y análisis gravimétrico, además del desempeño.
- g) Es recomendable establecer un programa permanente para la evaluación de la precisión de las mediciones con los muestreadores FRM y en la medida de lo posible para los monitores continuos.

BIBLIOGRAFÍA

- Environmental Protection Agency (2006). Revisions to Ambient Air Monitoring Regulations; Proposed Rule. 40 CFR Parts 53 and 58.
- <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/frnoticejan2006.pdf>
- Rupprech & Patashnick Co., Inc. (2001). Operating Manual, Partisol[®]-FRM Model 2000
- Rupprech & Patashnick Co., Inc. (2001). Service Manual TEOM[®], Series 1400^a. Ambient Particulate (PM-10) Monitor.
- Rupprech & Patashnick Co., Inc. (2002). Operating Manual, FDMS Series 8500 Monitor.
- Subdirección de Monitoreo SMA. (2003). Procedimiento para la operación, verificación y calibración del muestreador PARTISOL[®]-FRM 2000.
- Thermo Andersen Co. (2003). PM2.5 Air Sampler. Operating Instructions, Dust Monitor FH 62 C14 online.

ANEXO 1

Datos de los Resultados de la Auditoría Interna

Tabla 1. Resultados de la auditoría de flujo de aire para los instrumentos TEOM y TEOM-FDMS.

Sitio	Parámetro	Flujo total (L/min)		Flujo principal (L/min)		Flujo auxiliar (L/min)		Diferencia de flujo (L/min)			
		TEOM	Estándar	TEOM	Estándar	TEOM	Estándar	Total	Principal	Auxiliar	Nominal
CES	PM ₁₀	16.7	16.7	1.0	1.0	15.7	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0
EAC	PM ₁₀	16.6	16.8	0.9	1.0	15.7	15.8	-0.2	0.0	-0.2	-0.1
HAN	PM ₁₀	16.7	16.7	1.0	1.0	15.7	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0
LVI	PM ₁₀	16.7	16.8	1.0	1.0	15.7	15.8	-0.1	0.0	-0.1	0.0
MER	PM ₁₀	16.7	17.0	1.0	1.1	15.7	16.0	-0.4	-0.1	-0.3	0.0
PED	PM ₁₀	16.7	16.9	1.0	1.0	15.7	15.9	-0.2	0.0	-0.2	0.0
PLA	PM ₁₀	16.7	16.8	1.0	1.0	15.7	15.9	-0.1	0.0	-0.2	0.0
SAG	PM ₁₀	16.7	16.5	1.0	1.0	15.7	15.5	0.2	0.0	0.2	0.0
SUR	PM ₁₀	16.7	16.8	1.0	1.0	15.7	15.9	-0.2	0.0	-0.2	-0.1
TAX	PM ₁₀	16.6	16.7	1.0	1.0	15.7	15.8	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
THA	PM ₁₀	16.7	16.7	1.0	1.0	15.7	15.8	-0.1	0.0	-0.1	0.0
TLA	PM ₁₀	16.7	16.9	1.0	1.0	15.7	15.9	-0.2	0.0	-0.2	0.0
VIF	PM ₁₀	16.7	16.9	1.0	1.1	15.7	15.8	-0.2	-0.1	-0.1	0.0
XAL	PM ₁₀	16.7	16.8	1.0	1.1	15.7	15.7	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
MER	PM _{2.5}	16.7	16.7	3.0	3.0	13.7	13.9	0.0	0.0	-0.2	0.0
TLA	PM _{2.5}	16.7	16.7	3.0	3.0	13.7	13.7	0.0	0.0	0.0	0.0
COY	PM _{2.5}	16.7	16.8	3.0	2.9	13.7	13.8	-0.1	0.1	-0.2	0.0

Promedio

Desviación estándar

-0.1	0.0	-0.1	0.0
0.1	0.0	0.1	0.0

Tabla 2. Resultados de la auditoría de flujo y masa del instrumento de atenuación beta.

Sitio	Flujo total (L/min)			Masa de 0 µg		Masa de 1360 µg	
	Beta	Estándar	Diferencia	Beta	Diferencia	Beta	Diferencia
SJA	16.7	16.7	-0.0	0	0	1385	25
CAM	16.7	17.1	-0.4	15	15	1383	23
UIZ	16.7	17.0	-0.3	-4	-4	1365	5
LPR	16.7	16.8	-0.1	-6	-6	1340	-20
SAG	16.7	16.6	0.1	16	16	1376	16

Promedio

Desviación estándar

-0.1
0.2

4.2
10.5

9.8
18.4

Tabla 3 . Resultados de la auditoría de flujo de colector Partisol FRM.

Sitio	Partisol	Estándar	Diferencia
COY	16.7	16.7	0.0
MER	16.7	16.8	-0.1
PED	16.7	17.2	-0.5
SAG	16.7	16.9	-0.2
SJA	16.7	16.7	0.0
TLA	16.7	16.9	-0.2
UIZ	16.7	16.9	-0.2
XAL	16.7	16.4	0.3

Promedio

-0.1

Desviación estándar

0.2