

<b>Código:</b>	P-CAM-050
<b>Versión:</b>	1
<b>Fecha:</b>	15 Oct 15

## 1 OBJETIVO

Establecer en la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) los parámetros para realizar las evaluaciones de Material Particulado Ambiental para partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>).

## 2 ALCANCE

Este procedimiento define los pasos para las evaluaciones de PM<sub>10</sub> realizadas por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). y aplica desde la visita de reconocimiento hasta el reporte e interpretación de resultados.

## 3 DEFINICIONES

- CFM: Pies cúbicos por minuto.
- CFR: Código federal de Regulaciones de los Estados Unidos de América.
- EQUIPO MASICO: Equipo que permite ajustar la potencia del motor para trabajar a un caudal requerido por el sistema de separación de partículas.
- HI-VOL: Equipo que utiliza un motor de alto flujo, el cual succiona aire del ambiente y está dispuesto de tal manera que las partículas menores a 10 µm de diámetro sean dirigidas y retenidas en un filtro.
- MATERIAL PARTICULADO: Con el término genérico de material particulado, en el campo de la contaminación ambiental, se designa a las sustancias en estado sólido o líquido, excepto agua no combinada, dispersas en un gas, con tamaños mayores que el de las moléculas pero menores de 50 (µm).
- MICROMETRO (µm): Es la millonésima parte de un metro (1µm = 10<sup>-6</sup> m).
- PM<sub>10</sub>: Partículas menores a 10 micras.
- SEPARADOR PM<sub>10</sub>: Equipo que utiliza un motor de flujo alto, el cual succiona la corriente de aire del ambiente y está dispuesto de tal manera que las partículas menores o iguales de 10 µm de diámetro sean separadas, dirigidas y retenidas en un filtro.

## 4 ASPECTOS GENERALES

### 4.1 RESPONSABILIDADES

Es responsabilidad del personal técnico de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). aplicar este procedimiento en todas las evaluaciones de material particulado ambiental que la organización realice.

	<b>EVALUACIÓN AMBIENTAL DE MATERIAL PARTICULADO</b>	<b>Código:</b>	P-CAM-050
		<b>Versión:</b>	1
		<b>Fecha:</b>	15 Oct 15

## 4.2 GENERALIDADES DEL MUESTREO

Se deberá tomar en cuenta, al seleccionar los sitios de ubicación de los equipos de muestreo algunas consideraciones prácticas para estos sitios, como las siguientes:

- Fácil acceso
- Seguridad contra vandalismo
- Infraestructura
- Libre de obstáculos.

Se requiere que el sitio tenga fácil acceso debido a que se tendrán que recolectar muestras, inspeccionar el equipo de muestreo, calibrarlo o realizar mantenimiento.

De igual manera, deberá estar protegido de posibles actos de vandalismo u otros que alteren la toma de muestras. Se recomienda que el sitio cuente con la infraestructura necesaria como electricidad.

Como las mediciones se llevarán a cabo en sitios donde la calidad del aire es representativa de la zona que está sujeta a investigación, no podrán haber obstáculos que afecten el movimiento del aire en el sitio, ni fuentes de emisión que puedan invalidar las muestras por el arrastre a la toma del muestreador de las emisiones de partículas alguna fuente cercana. Es decir, el movimiento del aire alrededor de la entrada de la toma de muestra deberá estar libre de restricciones que afecten el flujo del aire en las cercanías de los equipos, por lo que se recomienda ubicarlos algunos cuantos metros alejados de edificios, balcones, árboles, etc. Algunas de las recomendaciones son las siguientes:

- Para asegurar un flujo lo más libre posible, se deben evitar árboles y edificios en un área de 10 m alrededor del sitio de muestreo y no tomar muestras en las superficies laterales de los edificios.
- Para minimizar los efectos de las fuentes locales, se recomienda instalar los equipos de muestreo a una distancia de por lo menos 20 metros de cualquier fuente industrial, doméstica o de carreteras con alto tráfico vehicular.
- La entrada de aire a los equipos de muestreo debe estar entre 1.5 m y 4 m sobre el nivel del piso. Una altura de 1.5 m se utiliza para estimar exposiciones potenciales del ser humano a situaciones de gran carga de tráfico vehicular. Sin embargo, para evitar el vandalismo en algunos sitios de monitoreo, se prefiere instalar la toma de muestra a una altura de 2.5 m.
- La entrada al muestreador no debe localizarse cerca de fuentes de contaminación, como se mencionó anteriormente para evitar arrastres de partículas de chimeneas domésticas o industriales cercanas.
- Si los estudios de partículas, van acompañados de parámetros meteorológicos, se recomienda instalar los instrumentos a una altura mínima de 10 m sobre el nivel del suelo.

- Criterios adicionales para la ubicación de las tomas de muestra requeridas para llevar a cabo monitoreos de calidad de aire se presentan en “*The Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR), Título 40, Parte 50*”, documento soporte de este procedimiento.
- Para el cálculo de las concentraciones de material particulado, es indispensable la masa recolectada de material durante el tiempo de evaluación.

## 5 DESCRIPCIÓN

### 5.1 PRINCIPIO DEL MÉTODO

#### 5.1.1 Principio del método PM<sub>10</sub>

La evaluación de partículas PM<sub>10</sub> se realiza mediante un equipo denominado muestreador de Alto Volumen PM<sub>10</sub>, el cual se basa en el principio de impactación inercial para clasificar las partículas según el tamaño deseado. El equipo consiste en un conjunto de tubos inyectoros circulares que se colocan en un plato de impactación. Las dimensiones del impactador permiten que las partículas de diámetro menor a igual a 10 micrómetros sigan las líneas de la corriente del flujo de aire dirigiéndose a los tubos inyectoros, mientras que las partículas mayores, con suficiente inercia, se salgan de las líneas de corriente y se impacten contra el plato. Las partículas menores de 10 micrómetros son depositadas en un filtro a un caudal entre 1.02 m<sup>3</sup>/min a 1.24 m<sup>3</sup>/min, durante un periodo de 24 horas +/- 1 hora.

---

<sup>1</sup> Code of Federal Regulations, Protection of Environment Parts 50 to 51 (Washington DC, 2013)

<b>Código:</b>	P-CAM-050
<b>Versión:</b>	1
<b>Fecha:</b>	15 Oct 15

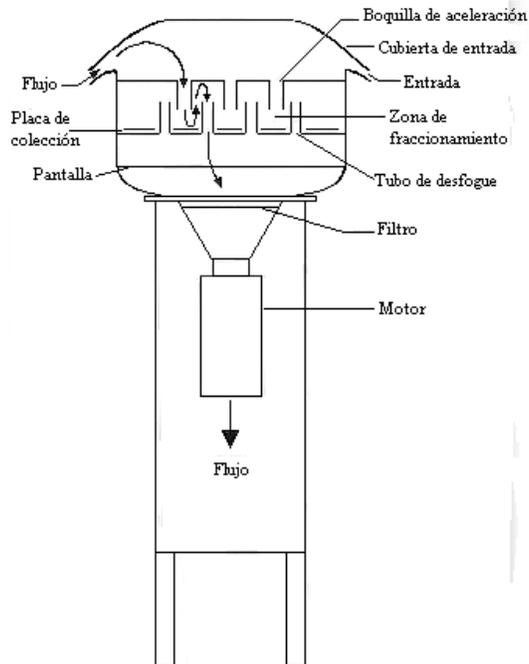


Ilustración 1. Muestreador de Alto Volumen PM<sub>10</sub>

## 5.2 RANGO DE TRABAJO

### 5.2.1 Rango de trabajo PM<sub>10</sub>

El intervalo de concentraciones para la aplicación del método es de 5 µg/m<sup>3</sup> a 300 µg/m<sup>3</sup> corregidos a condiciones de referencia.

El límite superior está determinado por el punto en el cual el muestreador no puede mantener la velocidad de flujo especificado, debido al incremento en la caída de presión a través del filtro. Este punto se ve afectado por otros factores como la distribución del tamaño de las partículas, el contenido de humedad de las mismas y la variabilidad de un filtro a otro.

## 5.3 CONDICIONES GENERALES

Es importante resaltar, que este procedimiento es extraído y ajustado a las condiciones y equipos de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). del “Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire” del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por lo tanto, podrán encontrarse en él, apartes extraídos textualmente del manual. Se realiza esta aclaración con el fin de respetar los derechos de autor.

	<b>EVALUACIÓN AMBIENTAL DE MATERIAL PARTICULADO</b>	<b>Código:</b>	P-CAM-050
		<b>Versión:</b>	1
		<b>Fecha:</b>	15 Oct 15

Para un correcto desarrollo de los métodos de muestreo, es indispensable realizar calibración a los equipos de medida, esta calibración se realiza con un kit de resistencia de calibración de flujo variable, registrando los datos en el F-CAM-220 Verificación de Equipos de Alto Volumen. El sistema de resistencia de flujo variable es un tubo metálico con un par de discos que permiten obtener varias aberturas al girar uno de los discos. El kit de calibración posee su ecuación de calibración con su respectiva curva, la cual se obtiene a través de un patrón primario o medidor de volumen estándar de desplazamiento positivo, Rootsmeter.

El equipo debe ser calibrado en los siguientes casos o eventos:

- Una vez sea instalado y también cuando se cambia el sitio de muestreo.
- Después de cambio de motor o de cambio de escobillas.
- Periódicamente, por lo menos cada tres meses.
- Cuando un chequeo de flujo en campo o una auditoría de desempeño indique que el muestreador está fuera del rango de flujo aceptable para la entrada de flujo según el tipo de monitoreo que se esté realizando.

El procedimiento de operación de un muestreador de alto volumen consiste en el retiro y custodia de los filtros expuestos y en la instalación de los nuevos filtros que recolectarán las muestras para el siguiente período de medición. La información relativa a la identificación del filtro, del sitio de exposición, la fecha del monitoreo, así como también aquellas observaciones que estiman ser razones por las cuales el filtro extraído debe ser desechado, deben ser registradas en el formato de campo.

### **5.3.1 Equipos, Reactivos, Materiales y Elementos de Protección**

En las evaluaciones de material particulado, se utilizarán los siguientes insumos:

- Equipo de Alto Volumen (PM<sub>10</sub>)
- Soporte para filtros
- Contador de tiempo
- Controlador de flujo
- Dispositivo para medición de flujo
- Motor
- Kit de calibración
- Indicador de presión (manómetro)
- Filtros
- Portafiltros
- Guantes de látex
- Pinzas para filtros
- Computador portátil.
- Conexiones eléctricas.

- Cartas de flujo
- Marcadores cartas de flujo
- Empaques
- Escobillas para motores
- Formatos de campo
- Brocha de limpieza
- Silicona en espray
- Bolsas sellables

### 5.3.2 Puntos de Control

La correcta implementación de este procedimiento se garantiza a partir de:

- Verificación de la curva de calibración
- Cartas de registro de caudal
- Limpieza del impactador de cascada
- Caudal en el rango respectivo de acuerdo al tipo de evaluación que se realicé.
- Los muestreadores deben funcionar entre 23 horas y 25 horas.
- Registro de los datos requeridos en el formato de campo F-CAM-219 “Evaluación de Material Particulado Equipos de Alto Volumen”. La documentación debe incluir la identificación del sitio de monitoreo, número de identificación de filtro, la fecha de la muestra, el tiempo transcurrido, nombre del operador, comentarios respecto al estado del filtro de exposición y todo lo que se solicite en dicho formato.

## 5.4 DESARROLLO DEL MÉTODO

Con el fin de garantizar que el muestreo de las partículas sea representativo, se requiere que el equipo muestreador trabaje siempre bajo unas mismas condiciones, para lo cual es necesario antes de iniciar el monitoreo realizar un proceso de calibración del equipo.

### 5.4.1 Procedimiento Calibración

- Registre en el F-CAM-220 Verificación de equipos de alto volumen, el lugar de calibración, la fecha, el responsable de la calibración, la identificación del equipo, la temperatura ambiente promedio en la cercanía del equipo muestreador y la presión barométrica promedio del sitio de calibración.
- Desconecte el motor del controlador de flujo y conéctelo directamente a una fuente de energía.
- Coloque el kit de calibración.
- Encienda el equipo y asegúrese de que no existan fugas en el sistema. Esto se logra tapando totalmente la entrada de aire del calibrador y conectando el manómetro a la salida del motor. Si no hay caída de presión, se comprueba que no hay fugas en el equipo. Evite mantener encendido el equipo con la entrada de aire bloqueada por más

<b>Código:</b>	P-CAM-050
<b>Versión:</b>	1
<b>Fecha:</b>	15 Oct 15

de 30 segundos, ya que puede dañar el motor. Antes de realizar esta operación cerciőrese que no est3 conectado el man3metro diferencial al calibrador.

- Opere el equipo durante 5 minutos para establecer equilibrio t3rmico antes de la calibraci3n.
- Conecte el man3metro diferencial a la toma de presi3n del kit de calibraci3n ( $\Delta H$ ), lea y registre en el F-CAM-220 la ca3da de presi3n a trav3s del orificio est3ndar de transferencia ( $\Delta H$ ) en  $\ln H_2O$ .
- Conecte el registrador de flujo con una carta limpia a la parte inferior de la carcasa del motor, lea y registre en el F-CAM-220 el caudal en pies c3bicos por minutos (CFM), el cual lo denominar3 IC.
- Repita los dos pasos anteriores para cinco posiciones, desde una m3xima hasta una m3nima abertura.
- Apague el equipo, retire el kit de calibraci3n y conecte nuevamente el motor al controlador de flujo.
- Calcule la rata de flujo a condiciones reales a trav3s del calibrador para cada punto utilizando la siguiente ecuaci3n:

$$Q_a(\text{orificio}) = \left[ \left[ \Delta H \left( \frac{T_a}{P_a} \right)^{0.5} \right] - b \right] / m$$

Donde:

- $Q_a$  (orificio): Caudal real a trav3s del calibrador,  $m^3/\text{min}$ .
- $\Delta H$ : Ca3da de presi3n a trav3s del calibrador,  $\ln H_2O$ .
- $P_a$ : Presi3n barom3trica, mmHg.
- $T_a$ : Temperatura ambiente, K.
- $m$ : Pendiente de la relaci3n de calibraci3n del orificio.
- $b$ : Intercepto de la relaci3n de calibraci3n del orificio.

Nota:  $m$  y  $b$  son a condiciones reales para el caso de  $PM_{10}$

- Calcule el valor del caudal transformado ( $IC_t$ ) para cada punto utilizando las siguientes ecuaciones:

Para  $PM_{10}$ :

$$IC_t = IC * \left( \frac{T_a}{P_a} \right)^{0.5}$$

<b>Código:</b>	P-CAM-050
<b>Versión:</b>	1
<b>Fecha:</b>	15 Oct 15

Donde:

- IC<sub>t</sub>: Lectura transformada de la carta, CFM.
- IC: Lectura caudal de la carta, CFM.
- P<sub>a</sub>: Presión barométrica, mmHg.
- T<sub>a</sub>: Temperatura ambiente, K.

- Construir la curva de calibración del equipo graficando el caudal a condiciones reales (Q<sub>a</sub> (orificio)) en el eje x, contra el caudal transformado IC<sub>t</sub> en el eje y. Calcular la pendiente, el intercepto y el coeficiente de correlación de la curva.
- El coeficiente de correlación nunca debe ser menor a 0.990 y ningún punto puede desviarse más de ± 0.04 m<sup>3</sup>/min del valor pronosticado por la ecuación de regresión.
- Para períodos de muestreo subsiguientes, la tasa de flujo operativa real promedio del muestreador, Q<sub>a</sub> media se calcula con la pendiente y el intercepto de la calibración usando las siguientes ecuaciones:

Para PM<sub>10</sub>:

$$Q_a(\text{media}) = \left[ IC_m * \left( \frac{T_a}{P_a} \right)^{0.5} - b \right] / m$$

Dónde:

- Q<sub>a</sub>(media): Tasa de flujo real promedio del muestreador a condiciones normales, m<sup>3</sup>/min.
- IC<sub>m</sub>: Promedio de la lectura de la carta del registrador de flujo, CFM.
- T<sub>a</sub>: Temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo, K.
- P<sub>a</sub>: Presión ambiente promedio durante el período de muestreo, mm Hg.
- m: Pendiente de la relación de calibración del muestreador.
- b: Intercepto de la relación de calibración del muestreador.

#### 5.4.2 Procedimiento de Ajuste de Controlador de Flujo

- Calcule y registre en el formato de calibración F-CAM-220 el valor del Set Point de la lectura de la carta del registrador de caudal utilizando las siguientes ecuaciones:

Para PM<sub>10</sub>

	<b>EVALUACIÓN AMBIENTAL DE MATERIAL PARTICULADO</b>	<b>Código:</b>	P-CAM-050
		<b>Versión:</b>	1
		<b>Fecha:</b>	15 Oct 15

$$SSP = (1.13 * m + b) \left( \frac{P_a}{T_a} \right)^{0.5}$$

Dónde:

SSP: lectura del set point de la carta del registrador, CFM.

P<sub>a</sub>: Presión barométrica, mm Hg.

T<sub>a</sub>: Temperatura ambiente, K.

m: Pendiente de la relación de calibración del orificio.

b: Intercepto de la relación de calibración del orificio.

- Verifique que el motor se encuentre conectado al controlador de flujo y que se encuentre conectado el manómetro diferencial al puerto de presión de la carcasa del motor.
- Instale un filtro limpio y una carta record limpia, verificando que el registrador esté en cero, es decir que el lapicero permanezca en el círculo más interno de la carta.
- Encienda el equipo y permita que se caliente durante 3 a 5 minutos hasta que esté a la temperatura de operación.
- Ajuste el controlador de flujo hasta que la lectura en la carta indique el valor calculado del SSP.
- Verifique que el controlador de flujo mantenga la rata de flujo por al menos 10 minutos.
- El equipo quedará listo para realizar la evaluación.

#### 5.4.3 Procedimiento de monitoreo de material particulado

El procedimiento que se describe a continuación se utilizará para el monitoreo de material particulado con diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 µm (PM<sub>10</sub>) mediante el uso de equipos Hi-Vol con controlador de flujo másico.

- Al iniciar el proceso de muestreo, registre en el formato de campo F-CAM-219, el nombre y código de la estación, número serial del equipo, temperatura ambiente, presión barométrica y nombre del operador a cargo.
- Afloje las tuercas que aseguran la entrada a la base y suavemente incline hacia atrás la entrada para permitir acceso a la pantalla que da apoyo al filtro. Limpie la pantalla.
- Para el muestreo de PM<sub>10</sub> debe verificarse que el impactador esté limpio y se debe colocar una sustancia grasosa en la base de los tubos impactadores, se recomienda sea la especificada en el catálogo del equipo de medición o una que se le asemeje.
- Usando guantes tome un filtro numerado, teniendo cuidado de no doblarlo. Verifique que se encuentre en buen estado y que no presente partículas u otras imperfecciones. No debe utilizarse un filtro con imperfecciones visibles. Debe tenerse mucho cuidado de no dañar o ensuciar los filtros pesados, antes de su instalación en el muestreador

de alto volumen. A fin de reducir a un mínimo los daños al filtro, podrán usarse porta-filtros que puedan montarse o desmontarse en el laboratorio.

- Coloque en el muestreador el filtro previamente pesado y numerado. Coloque el filtro directamente en la pantalla, con el lado numerado hacia abajo. Siempre use guantes al manejar un filtro sin protector. Asegúrese en todo momento que el filtro quede debidamente alineado. O bien si utiliza cartucho porta-filtros, instale el cartucho con el nuevo filtro en su interior.
- Apriete las cuatro tuercas en el muestreador de alto volumen apenas lo suficiente para impedir una fuga. Las tuercas deben ser aseguradas uniformemente en esquinas alternas para alinear y asentar el empaque correctamente. El filtro podría atorarse o el empaque podría sufrir un daño permanente si se aprietan demasiado.
- Instale con cuidado una nueva carta de registro de flujo, registre el número del muestreador, el número de identificación del filtro, localización del sitio y fecha de muestreo al reverso de la carta nueva. Remueva cualquier humedad dentro limpiando con un paño limpio. Mientras instale la carta, no doble el brazo del lapicero más allá de sus límites de extensión. Levante la tapa del lapicero.
- Asegúrese que la etiqueta de la carta esté centrada en la unidad perforada para permitir una rotación completa de 360° en 24 horas. Asegúrese que los límites de la carta estén situados apropiadamente debajo de los retenedores. Baje el brazo del lapicero y golpee suavemente hacia el lado del registrador para asegurarse que el lapicero esté libre.
- Usando una moneda o un destornillador, adelante la carta y chequee para ver que el lapicero permanece en cero (diámetro del círculo más pequeño). Si es necesario, ajuste el tornillo puesto en cero mientras golpea suavemente a un lado del registrador de flujo. Si usa una carta con escala de función lineal puede ser deseable algún desplazamiento hacia el lado positivo de cero para permitir variaciones normales en las lecturas de puesta a cero.
- Encienda el equipo y déjelo funcionar durante cinco minutos con el fin de establecer equilibrio térmico, verifique que el registrador del flujo esté operando.
- Ajuste con el regulador de flujo el SSP de muestreo de acuerdo a los cálculos realizados en la calibración del equipo.
- Registre en el F-CAM-219 el código del filtro instalado, la hora de inicio del muestreo, el valor del registrador de tiempo del equipo "timer" del equipo.
- Inicie el muestreo durante 24 horas +/- 1 hora. Tenga en cuenta que el equipo puede ser programado para que inicie el muestreo automáticamente a una hora específica y así mismo lo termine, para eso seleccione el día y hora en el registrador de horas de trabajo del equipo.
- Registre el tiempo total de monitoreo en el formato de campo F-CAM-219, así como la temperatura ambiente y la presión barométrica del lugar al final del monitoreo. Las lecturas de tiempo se utilizarán posteriormente en calcular la concentración de partículas muestreadas por lo que estos registros deben ser lo más exactos posibles.
- Remueva la carta de registro de flujo y examínela por posibles anomalías. Verifique cualquier cambio en los valores de flujo registrados. Registre en el formato

de campo F-CAM-219 cualquier cambio abrupto en el flujo de aire. Investigue el origen de estas fallas y regístrelas.

- Retire cuidadosamente el filtro en exposición. Use guantes de látex para retirar el filtro. Verifique si existe alguna fuga de aire. Una fuga podría ser el resultado de un empaque desgastado o de un filtro mal instalado. Si nota alguna fuga, anule la muestra, determine la causa de la fuga y tome las medidas correctivas necesarias antes de iniciar otro período de muestreo.
- Revise el filtro expuesto en busca de daño físico que pudo haber ocurrido durante o después del muestreo. Daños físicos después del muestreo no invalidan la muestra si todas las piezas del filtro se recuperan y pesan. Sin embargo, pérdidas atribuibles a fugas durante el período de muestreo o la pérdida de partículas después del muestreo invalidan la muestra.
- Verifique la apariencia de las partículas, cualquier cambio de su color normal podría indicar una nueva fuente de emisión en el área y tal hecho debe registrarse en el formato de campo.
- Registre en el formato de campo cualquier observación que pueda sugerir que la muestra obtenida en el proceso no es representativa del área muestreada (por ejemplo, presencia de quemas y/o construcciones cercanas), así como cualquier otra información que indique que la muestra no es válida.
- Introduzca la carta de registro, el filtro expuesto y el formato de campo dentro de un sobre y almacénelos para su posterior análisis. Si las muestras no serán analizadas en periodos cortos de tiempo, se debe almacenar el filtro dentro de un revestimiento protector para reducir al mínimo la pérdida de partículas volátiles. Se recomienda el uso de una carpeta y de un sobre protector de tamaño proporcional al del filtro.
- Instale el nuevo filtro así como la carta de registro de flujo para un nuevo periodo de monitoreo siguiendo las indicaciones mencionadas anteriormente

## 5.5 CÁLCULO Y REPORTE DE RESULTADOS

La metodología de cálculo que se presenta a continuación asume que los muestreadores han sido calibrados oportunamente, siguiendo las pautas establecidas anteriormente y que los valores de temperatura y presión barométrica promedios son determinados para cada período de muestreo. Se debe recordar que las medidas de concentración de material particulado en la atmósfera se deben expresar en unidades de microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 5.5.1 Metodología de cálculo de los niveles de concentración de $\text{PM}_{10}$

- **Cálculo del caudal o rata de flujo a condiciones reales.** El caudal real promedio para el período de muestreo es determinado mediante la siguiente expresión:

$$Q_a(\text{media}) = \left[ IC_m * \left( \frac{T_a}{P_a} \right)^{0.5} - b \right] / m$$

Dónde:

$IC_m$ : Promedio en las lecturas de la carta del registrador, CFM.

$P_a$ : Presión barométrica ambiente para el día de muestreo, mmHg.

$T_a$ : Temperatura ambiente promedio para el día de muestreo, K.

$m$ : Pendiente de la relación de calibración del muestreador (a condiciones reales).

$b$ : Intercepto de la relación de calibración del muestreador (a condiciones reales).

- **Cálculo del caudal o rata de flujo a condiciones de referencia.** Para calcular el caudal de aire a condiciones estándar para el periodo de muestreo utilice la siguiente fórmula:

$$Q_{ref} = Q_m * \left( \frac{P_a}{P_{ref}} \right) * \left( \frac{T_{ref}}{T_a} \right)$$

Dónde:

$Q_{ref}$ : Caudal de aire muestreado a condiciones de referencia, m<sup>3</sup>/min

$Q_a$ : Caudal de aire muestreado a condiciones reales, m<sup>3</sup>/min.

$P_a$ : Presión barométrica promedio durante el periodo de muestreo, mmHg.

$T_a$ : Temperatura ambiente promedio durante el periodo de muestreo, K.

$P_{ref}$ : Presión referencia, 760 mmHg.

$T_{ref}$ : Temperatura referencia, 298.15 K.

- **Cálculo del volumen de aire muestreado a condiciones estándar.** El volumen de aire muestreado se calcula mediante el producto del caudal de aire muestreado con el tiempo total de muestreo así:

$$V_{ref} = Q_{ref} * t$$

Dónde:

$V_{ref}$ : Volumen total de aire muestreado a condiciones de referencia en m<sup>3</sup>

$Q_{ref}$ : Caudal de aire muestreado a condiciones de referencia, m<sup>3</sup>/min.

$t$ : Tiempo total de muestreo, min.

	<b>EVALUACIÓN AMBIENTAL DE MATERIAL PARTICULADO</b>	<b>Código:</b>	P-CAM-050
		<b>Versión:</b>	1
		<b>Fecha:</b>	15 Oct 15

- Cálculo de la concentración de PM<sub>10</sub>

$$C_{PM10} = \frac{(W_f - W_i) \pm (B_f - B_i)}{V_{ref}}$$

Dónde:

- C<sub>PM10</sub>: Concentración de PM<sub>10</sub>, µg/m<sup>3</sup>.  
 W<sub>f</sub>, W<sub>i</sub>: Masa final e inicial del filtro de muestra, g.  
 B<sub>f</sub>, B<sub>i</sub>: Masa final e inicial del filtro utilizado como blanco, g.  
 V<sub>ref</sub>: Volumen total de aire muestreado a condiciones de referencia en m<sup>3</sup>.

## 5.6 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La interpretación de resultados se realiza de acuerdo a las Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o cualquiera que le adicione o sustituya.

## 6 DOCUMENTOS DE APOYO

- Decreto 948 de 1995, Ministerio del Medio Ambiente.
- Resolución 601 de 2006, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Resolución 610 de 2010, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- The Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR), Título 40, Parte 50 Apéndice J para PM<sub>10</sub>.
- Manual de operación de sistemas de vigilancia de calidad del aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

## 7 FLUJOGRAMA

No aplica

## 8 REGISTROS

- F-CAM-219 Evaluación de Material Particulado Equipos de Alto Volumen
- F-CAM-220 Verificación de Equipos de Alto Volumen.

## 9 ANEXOS

No aplica