

Revisión y Elaboración de Planes de Monitoreo de Calidad del Aire en Plantas de Generación de Electricidad a partir de Biomasa - Proyecto PROBIO URU 10G31

INFORME II

- Propuesta de plan de monitoreo de calidad de aire para las empresas generadoras de energía a partir de biomasa

MONTEVIDEO, AGOSTO 2014

AUTOR: José Eduardo Pereira Neto, Ing.Agr.

“Revisión y Elaboración de Planes de Monitoreo de Calidad del Aire en Plantas de Generación de Electricidad a partir de Biomasa”. Proyecto PROBIO URU 10G31.

Contenidos del presente informe:

2.1 – Introducción.....	3
2.2 - Propuesta de plan de monitoreo de calidad del aire para las empresas generadoras de energía a partir de biomasa, en términos al material particulado.....	5
2.2.1 - Parámetros a monitorear.....	7
2.2.2 - Criterios para localización de los puntos de monitoreo.....	7
2.2.3 - Frecuencia de monitoreo.....	10
2.2.4 - Equipos de muestreo y metodología de medición.....	11
2.2.5 - Materiales para muestreo y sus metodologías.....	16
2.2.6 - Metodologías para Análisis y Determinaciones.....	17
2.2.7 – Repeticiones.....	20
2.2.8 - Planes de mantenimiento y calibración de los equipamientos.....	20
2.2.9 - Formatos de registro de reportes de monitoreos.....	30
2.2.10 - Formato de presentación de los planes de monitoreo al órgano de Regulación.....	31
2.2.11 - Empaque, Conservación y Transporte de Muestras.....	32
2.3 - Información derivada de la rosa-de-los-vientos de las empresas.....	34
2.4 - Información derivada de imágenes satelitales de las empresas.....	34
2.5 - Información derivada del promedio de biomasa quemada por unidad de energía producida y estimación a través de los factores de emisión	39
2.6 – Consideraciones sobre Material Particulado Sedimentable.....	42
2.7 – Bases de Información	45

ANEXOS

I - Ejemplo de hoja de vida / Sugerencia de planilla para el mantenimiento de un equipo Hi-Vol

II - Procedimientos y cálculos para calibración de muestreadores

III - Sugerencia de Procedimientos Generales para Muestreo

IV - Informaciones básicas sobre material particulado, estándares, composición y análisis químicos

2.1 –INTRODUCCIÓN Y REFERENCIAS

2.1.1 - Introducción

La caracterización y cuantificación de los contaminantes presentes en aire es de fundamental importancia para el conocimiento de sus efectos en la población y en el ambiente. Esto puede conducir a la necesidad de reducir emisiones por parte de las fuentes existentes.

Las clasificaciones de la calidad del aire, que se presentan en normativas ambientales de la mayoría de los países del mundo, involucran los contaminantes considerados “criterio” y en ellos está siempre presente el material particulado – MP, principalmente como PTS – Partículas Totales en Suspensión y el MP₁₀ – Partículas Inhalables Totales (diámetro hasta 10 micrómetros). Actualmente se introducen en algunas agencias reguladoras regionales y en algunos países, estándares para PM_{2.5}, como es el caso de la Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental del estado de São Paulo, Brasil, con aplicación a partir de 2014. La US EPA a través del NAAQS (78 FR 3086, January 15, 2013), revisó los estándares de PM_{2.5} anual para 12,0 µg/m³ y 35,0 µg/m³ para 24 horas(para estándar primario).

El material particulado sedimentable corresponde a las partículas con diámetro superior a 30µm. Sus efectos son más acusados en las proximidades de sus fuentes de emisión. Su muestreo lleva en cuenta la cantidad acumulada en un rango de tiempo determinado, por ejemplo, durante 30 días, que es lo más usual. Una de las metodologías empleadas para ello es la normativa 1739-98 (2004) de la American Society of Testing Materials, mismo que se tengan otras tantas correspondientes. El material particulado sedimentable se compone por partículas que no permanecen en suspensión y de esa manera se considera que su probabilidad de contaminación está conducida a la superficie y sus componentes.

De manera general, las clasificaciones de la calidad del aire con respecto al material particulado, se presentan solamente en términos de la cantidad de partículas sólidas presentes en el aire, pero se debe considerar que la composición química de esos materiales es una información importante en cuanto a su potencial toxicidad. Aunque se tengan normativas con respecto a la presencia y cantidad de

elementos tóxicos en el aire que se puedan presentar como material particulado, esa información no está incluida en los índices de calidad del aire, obtenidos por las clasificaciones existentes.

El MP₁₀ incluye una cantidad de clasificaciones, y entre ellas las partículas inhalables, representadas por el material particulado MP_{2.5}. El MP_{2.5} es de relevancia médica por sus perjuicios causados a la salud, independientemente de su composición química, ya que una vez aspiradas, estas partículas se adhieren al tracto respiratorio y se quedan en los alvéolos pulmonares.

Se debe considerar que actualmente, aún teniendo en cuenta la relevancia de la cuantificación del PM_{2.5}, las condiciones técnicas para llevar a cabo su muestreo (principalmente a través de equipamientos tradicionales, no electrónicos), son limitadas, principalmente en términos de disponibilidad y costo de equipamientos para esa finalidad.

La propuesta de plan de monitoreo presentada en este informe, que se enfoca en las empresas involucradas en generación de energía a través de la quema de biomasa, presenta informaciones y sugerencias principales para PTS y PM₁₀ y una breve discusión acerca del PM_{2.5} y sobre el material particulado sedimentable incluyendo sus formas de muestreo y relevancia de su monitoreo.

2.1.2 - Referencias US EPA

La Agencia de Protección Ambiental (US EPA) de los Estados Unidos, a través del Acto del Aire Puro (Clean Air Act) y sus enmiendas, presentó los estándares primarios y secundarios nacionales de calidad del aire ambiental (National Ambient Air Quality Standards - NAAQS). Los estándares primarios tienen por objetivo proporcionar protección inmediata a la salud pública y los estándares secundarios se encargan del bienestar público.

La información del monitoreo de la calidad del aire en los Estados Unidos se utiliza para determinar si un área cuenta con los estándares NAAQS y evaluar las estrategias de control de contaminación del aire. Los estándares NAAQS y sus redes de monitoreo del aire ambiente, se presentan como un medio para evaluar y analizar el cumplimiento de los límites normativos dentro de un área geográfica

definida. Se recomiendan métodos de referencia para monitorear los estándares NAAQS de los contaminantes utilizando muestreos y técnicas analíticas uniformes.

La selección del lugar apropiado es una de las tareas más importantes asociadas al diseño del monitoreo, una vez que la ubicación debe ser lo más representativa posible, para monitorear las condiciones de la calidad del aire. Los requerimientos generales de ubicación se presentan en el Anexo D del Código Federal de Regulaciones de los EE.UU. (U.S. Code of Federal Regulations - 40 CFR 58). Los requerimientos ayudan a clasificar los lugares de acuerdo al objetivo propuesto y a la escala espacial de representatividad.

Las pautas más específicas se mencionan en los siguientes documentos publicados por la US EPA:

- Guía para el monitoreo ambiental y la prevención del deterioro significativo (PDS) (Ambient Monitoring Guidelines for Prevention of Significant Deterioration) (PSD), US EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, EPA-450/2-77-010;
- Diseño de redes y criterios de exposición de sitios óptimos para material particulado (Network Design and Optimum Site Exposure Criteria for Particulate Matter), US EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, 1983;
- 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix L (para $PM_{2.5}$);
- 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix M (para PM_{10}).

2.2 – Sugerencia de Plan de Monitoreo de Calidad del Aire para las empresas generadoras de energía a partir de biomasa, en términos de material particulado

Con la finalidad de protección de la salud de la población y preservación de los ecosistemas que pueden ser afectados por actividades antropogénicas, el control de la calidad del aire es una herramienta de relevancia fundamental en la conservación ambiental.

El establecimiento y ejecución de planes de monitoreo de la calidad del aire es fundamental para conocimiento y gestión del ambiente, de esa manera, un Plan de Monitoreo de Calidad del Aire debe establecer los parámetros para el seguimiento de sus componentes que pueden ser afectados por actividades antropogénicas, permitiendo su evaluación periódica con la finalidad de determinar los cambios que se puedan generar durante la operación de un emprendimiento.

El Plan de monitoreo se encargará de describir las variaciones en la concentración de material particulado que compone la calidad del ambiente físico, lo que es de vital importancia ya que el ambiente es el soporte de vida tanto animal como vegetal. Además, a lo largo del tiempo, los resultados de los muestreos que componen un Plan, en conjunto con las informaciones detalladas de las actividades, procesos, operaciones e informaciones meteorológicas durante su realización, permitirán establecer un perfil de la calidad del aire en términos de material particulado, para el sitio.

Se debe tener en cuenta que un Plan de Monitoreo debe estar adecuado a las características de producción de las empresas, considerando los períodos de zafra y entre zafra, presentados en el Informe I. Las características de producción tienen que ver con las actividades específicas desarrolladas en la planta industrial, así como las operaciones que caracterizan los procesos involucrados en la producción, como aquellos que generan emisiones fugitivas (transporte de materias primas, operaciones en depósitos de materias primas, etc.). En conjunto con esa consideración, para la proposición de un plan de muestreo, se debe involucrar las cuestiones climáticas locales.

La inclusión en un Plan, de muestreos en períodos de parada de procesos – por mantenimiento o por otras finalidades, se presenta como una posibilidad de obtener una evaluación de la calidad del aire afectada por otras fuentes existentes en el entorno del emprendimiento.

Los muestreos realizados en periodos post paradas por mantenimiento u otras causas, se presentan importantes para evaluar sus resultados en la calidad del aire.

Los resultados de un Plan de Monitoreo se pueden presentar a las empresas involucradas, como una herramienta de gestión para el mantenimiento de la calidad

del aire en acuerdo con los estándares existentes, considerando también los temas involucrados con exposición laboral y ausentismo por motivos de salud.

2.2.1 - Parámetros a Monitorear

En acuerdo con lo que fue establecido en reuniones previas con DINAMA y PROBIO, se establecieron los parámetros fueron PTS, PM₁₀ y que se presentara información acerca de material particulado inhalable PM_{2.5}.

Es importante reafirmar que, además del monitoreo de los parámetros aquí presentados, que se refieren a la calidad del aire, el monitoreo meteorológico durante los muestreos en calidad del aire es de gran importancia para la obtención de los resultados finales de los muestreos (sus cálculos involucran entre otros, los valores de presión atmosférica y temperatura del aire) y la comparación de resultados obtenidos en diferentes días. Grandes cambios en las condiciones de dispersión generados por los cambios en los parámetros meteorológicos, conducen a la obtención de diferentes resultados en concentraciones de los contaminantes atmosféricos para una misma tasa de emisión.

Teniendo en cuenta que la presión atmosférica, la velocidad y la dirección del viento, la temperatura del aire y su humedad relativa son de extrema importancia para los resultados de muestreos de PTS y PM₁₀ e imprescindibles a la comparación entre diferentes muestreos, se indica que el monitoreo meteorológico sea de inclusión obligatoria en los informes. Considerando que las precipitaciones atmosféricas tienen como resultado un “lavado” de la atmósfera, se debe indicar que no se ejecuten actividades de muestreo en calidad del aire durante o inmediatamente después de su ocurrencia, dado que los resultados no serían representativos.

2.2.2 - Criterios para Localización de los Puntos de Muestreo

Los criterios para localización de los puntos de muestreo se deben establecer de manera que los puntos sean al mismo tiempo representativos y libres de barreras que puedan comprometer el funcionamiento de los equipamientos. A continuación se especifican algunas recomendaciones:

- a) Distancia mínima a caminos, carreteras y estacionamientos, considerando el promedio del tráfico diario: 10,0 metros;
- b) Distancia mínima entre equipamientos de muestreo, entre equipamientos y construcciones (paredes): 2,0 metros. No se debe localizar equipamientos cerca de paredes con gran altura por su influencia en el flujo de aire;
- c) Altura de la toma de muestras: para los equipamientos de muestreo, se debe considerar como mínimo el promedio de la altura del oído humano, que es lo mismo que la altura de las narinas, establecido en 1,5 metros. La US EPA 40 CFR PART 58 establece la altura entre 2,0 y 7,0 metros por encima del nivel del suelo;
- d) Distancia a obstrucciones: la distancia entre cualquier obstáculo y la entrada del equipamiento deberá ser equivalente a dos veces la diferencia de altura entre el obstáculo y el muestreador. Por lo menos el 90 % del flujo de aire debe ser garantizado junto a la toma de muestra;
- e) Distancia a los árboles: considerando que los árboles son superficies de absorción y/o reacción y pueden afectar los estándares normales de circulación del viento, para limitar estos efectos, se deben localizar la toma de muestras a por lo menos 20 metros de la línea de goteo de los árboles.

Para los casos que sea imposible cumplir el criterio de distancias a paredes y edificios, el equipamiento deberá estar localizado a barlovento de la edificación con respecto a la dirección predominante del viento en el sitio.

Se debe considerar que los equipamientos deben estar localizados de manera que permitan una corriente de aire ilimitada en un arco de por lo menos 270° alrededor de la toma de muestra. Si la localización es en una pared lateral de un edificio, se necesita espacio libre de 180°.

Además de las consideraciones de elección de los puntos de muestreo en términos de garantizar la representatividad de la obtención de las muestras, se debe considerar aspectos que hacen a la representatividad de ellos en términos de las contribuciones de las fuentes de emisión existentes. Para esa elección, se debe considerar:

- los vientos predominantes en la región del muestreo;
- los receptores de mayor vulnerabilidad en términos humanos y ambientales;
- la posibilidad de elección de dos puntos de muestreo de manera concomitante, uno “aguas abajo” de las principales fuentes de emisión, en relación a la dirección predominante del viento y otro “aguas arriba”;
- el ajuste de la localización considerando lo que está presentado anteriormente en términos de condiciones de muestreo para la obtención de muestras sin interferencias;

En cuanto a la localización geográfica de los puntos de muestreo en un sitio, la mejor manera de elegirlos es a través de la generación de modelación de dispersión de las fuentes que puedan comprometer la calidad del aire. La modelación llevada a cabo con modelos con salidas graficas, como el Aermid View, permiten la inclusión de los aspectos de rugosidad del terreno (construcciones, topografía, etc.) que influyen en la concentración de los contaminantes en sus receptores. Esos modelos generan isolíneas de concentraciones de los contaminantes en los receptores de las emisiones. Se puede realizar la modelación con tanto solo los resultados de las emisiones de fuentes difusas, de las emisiones a través de chimeneas y se puede juntar todas las emisiones generando una modelación del tipo “box”. De esa manera, se puede elegir puntos de muestreo en acuerdo con la localización geográfica de las mayores concentraciones del contaminante.

Las estaciones para el monitoreo meteorológico deben localizarse de manera que los datos de medición representen las condiciones que afectan el transporte y la dispersión de los contaminantes dentro del área de monitoreo. Las estaciones meteorológicas deben satisfacer los mismos criterios de localización que los monitores de contaminantes y deben colocarse lejos de la influencia de árboles, edificios, pendientes, cerros y depresiones. Preferiblemente el suelo donde se localicen las estaciones meteorológicas deberá presentar cobertura vegetal, ya que la cobertura del suelo influye en los parámetros monitoreados, principalmente en la temperatura. Además, si se puede seguir las indicaciones de la Organización Meteorológica Mundial, la altura de la toma de temperatura del aire deberá estar a

1,5 m del suelo, lo que se preconiza para los bulbos de los termómetros usados para esa finalidad.

2.2.3 - Frecuencia de Monitoreo

El establecimiento de la frecuencia de monitoreo involucra temas que incluyen el clima, la fragilidad ambiental del entorno y las características temporales de operación. También se puede incluir en el establecimiento de la frecuencia de monitoreo, necesidades del propio emprendimiento en cuanto a sus planes de gestión ambiental y aquellas vislumbradas por el órgano de regulación ambiental.

De manera general, sin considerar necesidades específicas operacionales de las empresas, planes de gestión ambiental y eventos no regulares, hay que considerar que el clima de Uruguay está caracterizado por cambios meteorológicos estacionales relevantes, particularmente entre invierno y verano. Estos últimos conllevan a grandes diferencias entre las condiciones de dispersión entre las dos estaciones, con una gran reducción a la dispersión de contaminantes atmosféricos en el invierno, lo que lleva a su mayor concentración en esa estación. Por otro lado, la estación de verano caracterizada por temperaturas más altas del aire, permite una mayor dispersión de los contaminantes en la atmósfera.

El tema anteriormente tratado sobre períodos de zafra y entre zafra, también debe ser considerado en la frecuencia de monitoreo. Es importante tener en cuenta la existencia de períodos de entre zafra e incluir muestreos de PTS y MP₁₀ en ellos. La mayoría de las empresas involucradas en la producción de electricidad a través de la quema de biomasa en Uruguay también desarrollan procesos relacionados a otros productos, por lo cual hay que considerar su zafralidad.

Una manera de establecer la frecuencia de muestreo es hacerlo en conjunto con el establecimiento de los puntos de muestreo: en acuerdo con lo que indiquen los resultados de modelación de emisiones a través de modelos del tipo “view”, que son aquellos que permiten la visualización de los resultados sobrepuesta a imágenes satelitales.

En conclusión, teniendo en cuenta lo que se indicó anteriormente y considerando los casos generales, se puede establecer el monitoreo por lo menos

dos veces al año, teniendo en cuenta las estaciones de invierno y verano, con su adaptación referente a la existencia de períodos de zafra y entre zafra.

Se indica que algunos casos excepcionales deberán contemplar:

- monitoreo durante paradas, para obtención de base de información sobre contribuciones de otras fuentes;
- monitoreo post paradas, para evaluar cambios en la calidad del aire que puedan ser originados por los motivos de las paradas.

Hay que considerar la posible necesidad de establecer promedios anuales de calidad del aire, para lo cual se propone que la frecuencia de muestreos sea de por lo menos una vez a la semana. En estos casos es preferible realizar los muestreos en días distintos: por ejemplo empezar un lunes, la semana siguiente un martes, la tercera un miércoles y así sucesivamente o hacer muestreos a cada 6 días.

2.2.4 - Equipos de Muestreo y Metodologías de Medición

2.2.4.1 – Equipos de Muestreo

Los métodos de referencia para la determinación puntual de la concentración de partículas en aire ambiente es el de muestreo de alto volumen, combinado con el método gravimétrico en laboratorio.

El muestreo puntual de partículas es utilizado para la determinación de la concentración de partículas suspendidas totales en aire ambiente. Muchas veces el filtro con la muestra se aprovecha para determinar la concentración de otros elementos como: metales tóxicos, nitratos, sulfatos, entre otros, por medio de análisis en laboratorio.

Los equipos utilizados para la medición puntual de material particulado succionan una cantidad medible de aire ambiente hacia una caja de muestreo a través de un filtro, durante un periodo de tiempo conocido, generalmente 24 horas. El filtro es pesado antes y después para determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestreo. La concentración total de partículas en el aire ambiente se

calcula como la masa recolectada dividida por el volumen de aire muestreado, ajustado a las condiciones de referencia. Existen dos muestreadores de este tipo que se diferencian en su controlador de flujo, el que puede ser de sistema MFC (controlador de flujo de tipo másico) o VFC (controlador de flujo de tipo volumétrico) (MAVDT, 2010).

Para la medición de las concentraciones de material particulado inhalables en suspensión, se pueden emplear equipos específicos para las partículas respirables o medidores de alto volumen PM_{10} , que miden exclusivamente todo el material respirable establecido con tamaño de partícula menor que $10\mu m$. Una separación inercial se promueve en la cabeza del equipamiento, y se recolectan en un filtro solamente las partículas hasta $10\mu m$.

Para el muestreo puntual de PTS y PM_{10} , teniendo en cuenta los equipamientos tradicionales, hay una serie de fabricantes que presentan unas cuantas configuraciones de los equipamientos, todos con base en la metodología US EPA 5.

Los muestreos continuados en calidad del aire se pueden llevar a cabo a través de estaciones automáticas de muestreo de calidad del aire. Algunas de ellas sólo realizan el monitoreo del material particulado (PTS y/o PM_{10} y/o $PM_{2.5}$); mientras que otras también monitorean otros parámetros.

Entre los monitores de partículas (algunos modelos utilizan el método de atenuación beta y de microbalanza oscilatoria), hay aquellos que reportan resultados en tiempo real. No llevan a cabo un análisis de la muestra, únicamente determinan la concentración de partículas a través de sus propiedades físicas. Gran parte de ellos son utilizados para monitorear partículas suspendidas en aire ambiente, de diámetros menores a 10 y 2.5 micrómetros. En general son diseñados de tal manera que cumplen con las especificaciones técnicas que se encuentran en el Apéndice J del Código Federal de Regulaciones (CFR, por sus siglas en inglés) 40, parte 50, de los EEUU y son evaluados y aprobados por la US EPA y otras agencias internacionales.

Los principios de operación comúnmente utilizados para el monitoreo de partículas son: el de Microbalanza de Elemento Oscilante y el de Atenuación de Radiación Beta. El tamaño de partículas a monitorear depende de los fraccionadores

de cada equipo, colocados en la entrada de muestra. Éstos aprovechan la dinámica de las partículas para que a cierta velocidad de flujo, las partículas de mayor tamaño sean impactadas en algún sistema de retención y no lleguen hasta el filtro.

El muestreador TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) mide la cantidad de masa recolectada de una muestra de aire a una velocidad casi continua. Las partículas se recolectan en un filtro colocado en el extremo de un elemento puntiagudo oscilante, que tiene su otro extremo fijo. La frecuencia de oscilación del elemento cambia en proporción directa a la masa a medida que esta se acumula en el filtro. La cantidad de masa en la muestra recolectada se calcula a partir del cambio en la frecuencia del elemento en un período de tiempo fijo. El control de la tasa de flujo se hace mediante dos controladores de flujo másico: uno para el flujo de la muestra, de uno a tres litros estándar por minuto y el otro para un flujo auxiliar, para cumplir con las especificaciones de diseño de la entrada de muestra (16.7 L/min.). La concentración de partículas se determina a partir de la masa recolectada, la tasa de flujo de la muestra y el tiempo de recolección de muestra. Ésta se expresa como concentración a las condiciones estándar de 25°C y 760 mmHg. La tecnología de microbalanza de elemento oscilante permite hacer determinaciones de masa muy precisas, con mayor resolución que las microbalanzas convencionales.

La atenuación de radiación beta incluye la introducción del aire al sistema mediante una bomba de succión, depositando las partículas en el filtro (una cinta carrete de fibra de vidrio) de manera intermitente. Esto es, que el impacto de la masa de partículas en el medio filtrante se realiza en periodos de tiempo previamente establecidos por el usuario, que pueden ir desde una hasta veinticuatro horas o inclusive cuando el filtro se sature. Se hace pasar radiación beta de bajo nivel a través de la cinta y las partículas depositadas. La capa de partículas, que va en aumento, reduce la intensidad del haz de radiación beta en la sección, la cual es medida por una cámara de ionización como detector. La señal eléctrica de salida es proporcional a la masa real muestreada. La concentración se calcula a partir del aumento temporal de la masa de partículas. Algunos de estos monitores usan ciclos de medición, en los cuales el filtro con la muestra se transporta automáticamente para ser medida. Cada ciclo comienza cuando se coloca una sección limpia de cinta en la posición de muestreo. Otros monitores son capaces de medir la masa y la

concentración de las partículas en el filtro de manera continua, ya que la recolección y la medición se hacen simultáneamente en el mismo segmento del filtro.

Los equipamientos denominados mini-vol, utilizados por algunas de las empresas, permiten la obtención de muestras de PTS, PM₁₀ y PM_{2.5}, pero no están en acuerdo total con los métodos de referencia para esas finalidades. Asimismo suelen presentar resultados muy próximos a los obtenidos a través de equipamientos que sí están en acuerdo con los métodos oficiales. De manera general, en ellos se procesa el pasaje de 5 litros por minuto de aire hacia un separador de tamaño de partículas, y luego a un filtro de 47mm. La separación de las partículas en 10 y 2,5 micrones se procede por el separador de tamaño por impacto o se puede proceder a la obtención de muestras de PTS a través de la remoción del separador.

Algunos de los equipamientos existentes en el mercado para monitoreo continuado en calidad del aire y que adjuntan posibilidades de monitoreo meteorológico, no incluyen algunos parámetros meteorológicos importantes como por ejemplo, la presión atmosférica. En esos tipos de equipamientos, hay que tener en cuenta las posibilidades de calibración de los sensores de los parámetros meteorológicos. Muchos de ellos permiten conexión remota, de manera que se puede acceder a sus informaciones a través de la web.

De manera general, para proceder a la adquisición de equipamientos de monitoreo continuado de material particulado, se debe contemplar la posible necesidad futura de análisis químico del material particulado, una vez que muchos de ellos no permiten la obtención física de muestras.

Los muestreadores Dicotómicos colectan partículas de dos tamaños: menores que 10 μm y mayores de 2,5 μm (denominadas gruesas) y menores de 2,5 μm (denominadas finas). La concentración es la suma de las fracciones gruesas y finas. El sistema dicotómico de toma de muestra más común tiene un caudal de entrada de 16,7 L/min. Las partículas con diámetro mayor de 10 μm son separadas inercialmente. El cabezal separa las partículas con tamaño hasta 10 μm . El aire conteniendo el resto del material particulado es forzado a través de un acelerador de tipo boquilla o pistón pasando luego a un impactador virtual donde se expande, dividiéndose el flujo de aire. Las partículas finas hacen un giro brusco hacia afuera

para seguir la velocidad elevada del flujo inicial, pasando a través del filtro de partículas finas. A causa de su mayor inercia, las partículas gruesas continúan su recorrido por el tubo receptor del impactador virtual y son colectados en el filtro de partículas gruesas. Una pequeña porción de partículas finas son también colectadas en el filtro de partículas gruesas por lo que hay que realizar una corrección en el cálculo.

Las partículas sedimentables se componen por materiales con diámetro mayor a 100 micras. No pueden mantenerse en suspensión y se depositan (de allí su nombre). Son aquellas partículas presentes en la atmósfera que son susceptibles de ser depositadas por gravedad o arrastradas por la lluvia. Las partículas que se mantienen en suspensión de manera más o menos permanente, son aquellas que alteran la calidad del aire.

El método de recolección de las partículas sedimentables consiste en un depósito colector con un área superficial establecida. Las partículas recolectadas se determinan por gravimetría. El muestreo de material particulado sedimentable se realiza con equipamientos existentes en el mercado o a través de su construcción. De manera general se colectan las muestras manualmente. En los equipos para esa finalidad, la muestra se deposita por gravimetría y es recogida sobre un embudo de características apropiadas, en el que posteriormente se recogen y se lleva a cabo la valoración gravimétrica de las partículas retenidas. Está construido sobre una estructura rígida de dimensiones estandarizadas, fácilmente transportable por su poco peso y de material totalmente resistente a la intemperie. El equipo puede trabajar sin ningún tipo de protección especial. El elemento de recogida está formado por un embudo de fibra, de suficiente resistencia para trabajar dentro de ambientes hostiles y de escaso mantenimiento. El portafiltros, según la normativa de aplicación está adecuadamente construido para lograr un muestreo correcto.

2.2.4.2 – Número de Puntos de Muestreo

El número de puntos de muestreo puntual no está establecido en las normativas de muestreo de material particulado. De cualquier manera, cuestiones lógicas y de buenas prácticas conducen a la interpretación que un único punto de

muestreo puede no ser representativo de la calidad del aire del entorno del emprendimiento. Hay que tener en cuenta que:

- de manera general se debe elegir los lugares que puedan tener la calidad del aire comprometida por las emisiones para establecer los puntos de muestreo;
- los lugares que estén “aguas abajo” de las fuentes de emisión teniendo en cuenta la dirección predominante del viento, son los que presentarán mayor posibilidad de deterioro de la calidad del aire;
- en ambientes abiertos, se puede tener en cualquier punto, contribuciones de innumerables fuentes de emisión, naturales o antropogénicas, a través de la circulación atmosférica.

De esa manera, establecer un segundo punto de muestreo localizado “aguas arriba” de las principales fuentes de contribución en relación a la dirección predominante del viento, aseguraría la posibilidad de comparar los resultados de las concentraciones obtenidas en los dos puntos. Esa información sería relevante en términos de conocimiento de las contribuciones relativas de otras fuentes de emisión al punto de interés.

Es posible que durante la realización de los muestreos el viento no provenga de la dirección predominante en el sitio. Si se tiene el monitoreo de las condiciones meteorológicas durante los muestreos, la dirección del viento indicará el comportamiento de los puntos muestreados en relación a las principales fuentes de emisión.

En días diferentes, tendremos diferentes condiciones meteorológicas, lo que imposibilita la comparación de resultados de muestreos obtenidos en diferentes días. Por lo tanto, los muestreos en los puntos localizados “aguas abajo” y “aguas arriba” de las principales fuentes de emisión del sitio considerado deben realizarse de forma concomitante (en simultáneo).

2.2.5 – Materiales para Muestreo y sus Metodologías

Para el muestreo de material particulado el material utilizado se compone por filtros que pueden ser principalmente de fibra de vidrio, cuarzo y celulosa. Los de mejor calidad, y al mismo tiempo de mayor precio, son los de cuarzo. La elección del

material de composición de los filtros está asociada a necesidades inminentes de análisis químico de la composición de los materiales muestreado, de manera que no se tenga interacción de la composición del filtro con los elementos que puedan estar presentes en el material particulado. Así, por ejemplo, cuando se presenta la posibilidad de analizar sílice, los filtros de cuarzo no serán aquellos indicados para la obtención de las muestras.

Además de los materiales utilizados para el muestreo, se debe prestar atención a las cartas para registro de flujo y a los calibradores.

2.2.6 – Metodologías para Análisis y Determinaciones

En términos generales, las muestras del material particulado obtenidas se obtienen para cuantificar el material particulado recolectado, sea PTS y/o PM₁₀. Posteriormente se puede analizar la composición química de los materiales retenidos en los filtros en términos cualitativos y/o cuantitativos.

Los filtros a utilizarse en los muestreadores son llevados a estufas para reducción de su humedad a aproximadamente 40° C y pesados en balanza analítica después de un equilibrio de humedad con el ambiente, que en general se hace en desecadores. El filtro es pesado antes y después de ser usado para determinar el peso neto ganado (masa) (siempre después del equilibrio de humedad). El volumen total de aire muestreado, corregido a condiciones estándares (25 °C, 760 mm Hg), es determinado por la tasa de flujo de la medición y el tiempo de muestreo. La concentración de material particulado suspendido total (PTS) en el aire ambiente es calculada como la masa de partículas recolectadas dividida por el volumen de aire muestreado, corregida a condiciones estándares y expresada en microgramos por metro cúbico a condiciones estándares ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ std). Para muestras recolectadas a temperatura y presión significativamente diferentes a las condiciones estándares (particularmente a altas elevaciones sobre el nivel del mar), estas concentraciones corregidas pueden diferir substancialmente de las concentraciones reales (microgramos por metro cúbico actual).

Las determinaciones que se llevan a cabo, para cuantificar el material particulado muestreado se proceden en acuerdo con las siguientes referencias:

- U.S. Environmental Protection Agency. 1997. Code of Federal Regulations, Title 40, Part 50, Appendix B. Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High -Volume Method);
- U.S. Environmental Protection Agency. 1997. Code of Federal Regulations, Title 40, Part 50, Appendix M. Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere;
- U.S. Environmental Protection Agency. 1997. Quality Assurance Guidance Document 2.11, Monitoring PM₁₀ in Ambient Air Using a High - Volume sampler Method;
- U.S. EPA EPA/625/R-96/010a Compendium Method IO-2.1

Se presentan a continuación los procedimientos para los muestreos:

- a) Enumerar cada filtro cerca del borde, con un número único de identificación;
- b) Inspeccionar a contraluz cada filtro para detectar huecos, partículas y otras imperfecciones; no se deben usar filtros con imperfecciones visibles;
- c) Equilibrar cada filtro a las condiciones ambientales por lo menos durante 24 h en ambiente de pesaje;
- d) Pesar cada filtro en balanza analítica debidamente calibrada y proceder al registro en acuerdo con la codificación (a), fecha y nombre del responsable;
- e) No inclinar o doblar el filtro;
- f) Preferentemente guardar el filtro codificado en un sobre adecuado que contenga las informaciones de la codificación, fecha, responsable y peso;
- g) Abrir la cubierta del muestreador, sacar el filtro del empaque e instalar el filtro prepesado y numerado en el muestreador, siguiendo las instrucciones del fabricante;
- h) Todo el manejo de los filtros se debe hacer preferentemente con guantes quirúrgicos para no añadir ningún otro material a ellos; es importante considerar el uso de pinzas cuando sea necesario;
- i) Cerrar la cubierta del muestreador y ponerlo a funcionar al menos por 5 minutos para estabilizar las condiciones de temperatura en el equipo;
- j) Ajustar el reloj para iniciar y detener el muestreo de manera que transcurra un tiempo de 24 horas;
- l) Cuando se termine el muestreo, remover cuidadosamente los filtros, siguiendo las instrucciones del fabricante, los procedimientos (h) y proceder a su empaque en el sobre original;

- m) Proceder a la continuación de los registros de informaciones en la planilla de campo;
- n) El periodo de muestreo debe ser 1440 ± 60 minutos para una muestra válida, bajo necesidad de eliminación de la muestra para periodos diferentes*;
- o) Las informaciones sobre factores que puedan comprometer los resultados se deben registrar en las planillas de campo, como precipitación pluviométrica durante alguna parte del muestreo, actividades de construcción, fuego, tormentas de polvo, etc.
- p) Equilibrar la humedad el filtro de las muestras a las condiciones ambientales al menos durante 24 horas, lo que se hace en general a través de desecadores;
- q) Proceder al nuevo pesaje en balanza analítica, registrando el peso y el nombre del responsable, teniendo en cuenta la inclusión de esas informaciones juntamente con las informaciones anteriores acerca del muestreo y de los filtros;

Observaciones:

- los equipamientos de muestreo deberán estar previamente calibrados y la calibración se debe proceder en el lugar / punto del muestreo;
- la calibración deberá presentar su registro en el disco registrador del equipamiento **;
- las calibraciones se deberán realizar con calibradores debidamente calibrados por empresa/órgano que pueda certificarlo;
- para cada nuevo muestreo, se deberá cambiar el disco de registro; el disco que contenga el registro de un muestreo deberá guardarse en el sobre, junto con las muestras;
- generar y llenar una planilla de campo para cada muestreo puntual, cuyas informaciones serán utilizadas para obtención de los resultados finales en unidad de peso por metro cúbico de aire;
- las informaciones de los parámetros meteorológicos necesarios para los cálculos finales de la concentración de material particulado y para componer los informes generados se obtendrán preferiblemente de estaciones meteorológicas móviles instaladas en los locales de muestreo o de aquellas existentes en la región;

- los manómetros existentes en los equipamientos o en sus kits de calibración se utilizarán para las calibraciones de los equipamientos.
- * Norma Técnica Ecológica NTE-CCAM-002/91, Instituto Nacional de Ecología, México; IDEAM, Colombia; US EPA, Compendium Method IO-2 (9.1.6);
- * Los equipamientos tradicionales no electrónicos, como los muestreadores de altos volúmenes, presentan un registrador analógico de flujo de aire, en lo que se procede ese registro a través de una pluma sobre una carta gráfica.

2.2.7 - Repeticiones

Cuanto al número de repeticiones de los muestreos puntuales, se debe considerar que un único muestreo no es representativo de las condiciones que pueden comprometer la calidad del aire: las emisiones de las fuentes, en términos cuantitativos, las condiciones meteorológicas - que presentan cambios permanentes, aún en un período de 24 horas, el tiempo establecido para la obtención de las muestras y, entre otras, las condiciones de operación y de emisión de las fuentes de generación de material particulado que pueda contribuir para la deterioración de la calidad del aire en el local de estudio.

Por los motivos presentados, las consideraciones de buenas prácticas indican la ejecución de más de un muestreo en un mismo punto. Para ello hay que considerar la disponibilidad de equipamientos y la cuestión económica. La indicación es que se realicen por lo menos dos muestreos en un mismo punto para que se tenga la posibilidad de comparación de al menos dos resultados para el punto muestreado, durante una misma campaña de muestreo.

2.2.8 - Planes de Mantenimiento y Calibración de los Equipos

La adquisición de equipamientos para monitoreo puntual y para monitoreo continuado debe considerar algunas cuestiones de extrema importancia para la calidad de la información obtenida y su continuidad:

- a) sustitución de partes que tengan tiempo definido de duración o que se puedan desgastar o romper durante su uso;

- b) necesidades y posibilidad de calibración;
- c) límites de detección;
- d) decrecimiento de la confiabilidad de datos en cuanto a límites de operación en términos de humedad relativa, temperatura del aire y/o otros parámetros meteorológicos;
- e) posibilidades, actualización y sistemas operacionales de los softwares de equipamientos electrónicos;
- f) adquisición, almacenamiento y transferencia de datos de los equipamientos electrónicos;
- g) necesidad y posibilidad de asistencia técnica.

Las partes de los equipamientos en general poseen un tiempo determinado de duración, como por ejemplo las celdas electroquímicas, los carbones y las escobas de los motores, los sistemas de generación de ejes luminosos, las microbalanzas y sus partes, etc. De esa manera es importante considerar la necesidad de obtener información del fabricante sobre la disponibilidad y precio de las partes que se tengan que sustituir, su durabilidad y las frecuencias de sustitución.

Las informaciones sobre calibración de equipamientos y de sus sensores las presentan el fabricante o en normativas de muestreo. Algunos equipamientos electrónicos presentan posibilidad de auto calibración; debe estar claro cómo ejecutarla y comprobarla. Otros equipamientos, como los muestreadores de gran volumen, necesitan de calibración en cada uno de los puntos de muestreo y de sus informaciones para los cálculos finales de los resultados del muestreo. Esto deberá ser presentado en los informes (copia de las planillas de calibración y de los discos gráficos utilizados durante la calibración). Se debe adquirir estos equipamientos acompañados de los calibradores, pero aún así hay que considerar la necesidad anual de calibración de los calibradores y su certificación, de la cual también se deberá presentar una copia en los informes generados.

Los equipamientos, de manera general, presentan límites de muestreo y de detección, los cuales deberían por lo menos ser informados por los fabricantes en la presentación de los presupuestos. En el caso de no se presente información sobre

los límites de los equipamientos, se la debe exigir antes de cualquier adquisición de equipamientos de muestreo o detección.

Los límites de operación de los equipamientos actualmente están en acuerdo con las condiciones extremas de humedad y de temperatura del aire que se suceden en el sur de Sudamérica. Asimismo es importante conocer esos límites, además de conocer la posibilidad de disminución de confiabilidad en los datos generados por los equipamientos, especialmente los electrónicos, cuando se presentan condiciones meteorológicas extremas.

Los equipamientos electrónicos de manera general incluyen softwares para adquisición de datos, posibilidad de almacenamiento de informaciones y posibilidad de presentar informaciones online. Se debe conocer con anticipación esas posibilidades y el mantenimiento y actualización necesarios, además de su disponibilidad por el fabricante. Es importante conocer los sistemas operacionales necesarios para los softwares y asegurarse de los tipos y calidad de productos generados por ellos.

También es importante considerar la necesidad y la posibilidad de asistencia técnica, teniendo en cuenta la infraestructura para su ejecución. La capacitación de personal para uso y gerenciamiento de los equipamientos es de gran relevancia, así como la capacitación en asistencia técnica cuando la estructura para aquella realizada a través de los fabricantes o de sus representantes no es adecuada a las necesidades que se puedan presentar.

2.2.8.1 – Plan de Mantenimiento de Equipamientos

De manera general, las necesidades de mantenimiento de los equipamientos están presentadas en sus manuales, y en acuerdo con ellas se debe proceder a un plan de mantenimiento que incluya la periodicidad de inspección y de sustitución de las partes necesarias. Para eso es importante mantener un stock de las partes cambiables, además de las herramientas correctas para ello, para las inspecciones y ajustes que se presenten necesarios. Es importante la elaboración de un "paso a paso" del mantenimiento necesario y de una planilla / hoja de vida que sea llenada en cada inspección realizada para el mantenimiento preventivo de los equipamientos. En el ANEXO I se presenta un ejemplo de hoja de vida de la

Universidad Nacional de Colombia, como sugerencia de planilla para el mantenimiento de un equipo Hi-Vol.

La ejecución de mantenimiento preventivo aumenta la captura de datos, mejora la confianza del sistema, asiste en la identificación de algún problema potencial que puede solucionarse antes de una falla, además de prevenir el desgaste acelerado y reparaciones o adquisiciones extras, que generan un costo adicional.

La frecuencia mínima establecida para el mantenimiento preventivo debe ser tres veces al año para los equipos e instrumentos cuyo uso pueda afectar la calidad de los datos. La frecuencia puede aumentarse de acuerdo con las condiciones de contaminación que se presenten en el sitio de monitoreo y gran continuidad de uso. En atmósferas muy severas el mantenimiento preventivo debe programarse con una frecuencia de 4 a 6 veces por año. Se debe tener en cuenta conjuntamente lo que sea presentado por el fabricante.

Los informes de planes de mantenimiento deberán incluir:

- Inventario de los equipos con codificación de cada uno de ellos;
- Número de horas de uso de los equipos y localización del uso;
- Lista de partes y sus proveedores;
- Stock de partes y consumibles;
- Frecuencia de inspecciones y mantenimientos preventivos;
- Programación de calibración;
- Ejecución de calibración y sus responsables;
- Registros de las actividades de prueba, inspección y mantenimiento;
- Registros de uso de consumibles y partes;
- Registros de cada una de las localizaciones de los equipos y el tiempo de permanencia;
- Mantenimientos correctivos con detalles de su ejecución;
- Programa de sustitución de equipos y partes;
- Lugares y responsables por reparaciones;

- Registro y detalles de actividades no programadas;
- Inclusión de revisión de cableado y partes eléctricas;
- Para el caso de equipamientos con moto aspiradores, proceder a los cambios de carbones y escobas en acuerdo con el número de horas de uso propuestos por los fabricantes;
- Disponibilidad de equipos y/o sensores de reposición.

Es importante prestar especial atención a la acumulación de polvo, perturbaciones electromagnéticas, radiación, humedad, estabilidad y continuidad del suministro eléctrico y vibraciones y variaciones de temperatura. Las mediciones y las calibraciones deben suspenderse cuando se presenten condiciones ambientales que puedan comprometer la calidad de los resultados.

Los procedimientos operativos de los equipos deben incluir los aspectos básicos del mantenimiento preventivo con base en los manuales de operación de cada analizador o instrumento. Es importante evitar problemas que lleven a afectaciones en la calidad de los datos y la discontinuidad de operación de los equipos e instrumentos, manteniéndolos en el nivel más alto posible. Tanto los equipos como sus respectivas partes y accesorios tienen una determinada vida útil, la cual puede variar en función de las horas efectivas de operación, la localización y la temporada. A modo de ejemplo, en épocas secas la necesidad de cambios de los filtros para eliminar partículas en los analizadores es mayor.

El mantenimiento preventivo de los equipos de la estación meteorológica (dirección y velocidad del viento, sensores de radiación solar, de temperatura y humedad relativa) consiste básicamente en operaciones de limpieza, lubricación y sustitución de partes dañadas de piezas que puedan presentar depósitos de polvo. En caso de anomalías en las lecturas se deben seguir las instrucciones específicas de los manuales de los equipos o consultar directamente a los fabricantes.

Cuando se realiza un mantenimiento mayor de los instrumentos meteorológicos se deberá verificar la calibración después del mantenimiento. Todas las actividades de mantenimiento se deben registrar.

Rutinas y frecuencias de mantenimiento recomendadas para equipos Hi-Vol

- Verificar el nivel del flujo antes y después de la toma de la muestra;
- Verificar el contador de tiempo antes y después de la toma de la muestra;
- Revisar los empaques de la placa de fijación y observar si existe algún desgaste.

Mensualmente:

- Llevar a cabo la calibración del muestreador cuando esté de manera permanente en un mismo punto;
- Limpiar todo polvo el área del cabezote (inlet) de muestreo.
- Verificar el número de horas de operación desde el último cambio de escobas. Por lo regular las escobas del motor deben reponerse después de 500 horas de operación o 25 muestreos de 24 horas (recomendación presentada por el fabricante Energética: http://www.energetica.ind.br/pdf/Manual_PTS_Rev_06.pdf / tabla 9.1), cuando la operación es con un voltaje normal de línea; hay recomendaciones de fabricantes sobre el cambio de las escobas siempre que el grafito se reduzca a menos de 3 mm;
- una vez cambiadas las escobas, debe recalibrarse el muestreador después de un período inicial de asentamiento para asegurar el acoplamiento adecuado de las escobas contra la armadura del motor
- Inspeccionar la armadura y cambiar el motor si la armadura muestra un desgaste excesivo.
- Inspeccionar el cableado en busca de alambres quemados.
- Limpiar el polvo del motor.
- Inspeccionar el estado de todos los empaques, reponer si se encuentran con desgastes excesivos.
- Inspeccionar la operación del registrador de flujo, asegurándose que la pluma pueda moverse libremente.
- Revisar el registrador.
- Si la impresión es ilegible, verificar que la pluma no se encuentre seca; reponerla si necesario.
- Una vez cambiada la pluma, encender el muestreador brevemente, con un filtro en su lugar, para confirmar que está funcionando correctamente.

- Realizar el procedimiento de calibración de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo y con los procedimientos de los métodos de medición de contaminantes.
- Revisar el controlador de flujo por ausencia de registro de flujo o si se registran valores bajos, excesivos o erráticos.

2.2.8.2 – Calibración de Equipos

La calibración de los equipos es de fundamental importancia para la obtención de datos y de resultados confiables, tanto en términos de muestreo como de monitoreo de material particulado y de los parámetros meteorológicos.

Algunos equipos de muestreo presentan posibilidades de auto calibración, pero no es el caso de los equipos para muestreos puntuales de metodologías tradicionales para el material particulado, como el Hi-Vol (tanto para PTS como para PM₁₀).

Las calibraciones de los equipos electrónicos se deberán hacer en acuerdo con las especificaciones técnicas de los fabricantes, tanto en términos de frecuencia como en términos de metodologías. Se debe considerar la existencia de sectores debidamente habilitados para su ejecución y principalmente capaces de emitir certificaciones de las calibraciones.

Los equipos y sistemas de monitoreo de la calidad del aire requieren programas consistentes de calibración tanto para aquellos de muestreo como para los analizadores. Los datos y cálculos incluidos en la calibración se deben registrar en planillas individuales para cada equipo / analizador. Los equipos de medición continuada presentan una reducción de eficiencia en las mediciones por causa de las desgastes de partes y/o de interferencias acumuladas como suciedad, por lo que es necesario revisar la sensibilidad en la medición y corregirla, en caso de ser necesario.

La calibración establece una relación cuantitativa entre la concentración real del contaminante y la respuesta del analizador, permitiendo la trazabilidad. La trazabilidad se define como la propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, tal que pueda ser relacionada con referencias determinadas,

generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena interrumpida de comparaciones teniendo todas incertidumbres determinadas.

Se deben calibrar los analizadores teniendo en cuenta las condiciones de operación, en acuerdo con procedimientos basados en las instrucciones específicas del manual de operación del equipo y en las directrices generales provistas por las normas de referencia utilizadas, que contienen criterios detallados de calibración.

Para el establecimiento de linealidad de los analizadores nuevos o los que fueron sujetos a alguna reparación mayor, se debe hacer una calibración multipunto. En todos los analizadores se debe hacer una calibración multipunto al menos dos veces por año. Se pueden hacer calibraciones de dos puntos y cero (aunque una calibración multipunto siempre puede sustituir a una calibración de dos puntos):

- Durante la instalación inicial;
- Después de una relocalización;
- Después de cualquier reparación o servicio;
- Después de una interrupción de varios días en la operación;
- Cuando aparezca alguna indicación de mal funcionamiento o cambio en la calibración.

Los programas de calibración incluyen diferentes tipos de calibraciones cuya complejidad y aplicación puede variar en función de las circunstancias y los objetivos de calidad establecidos. Es importante tener en cuenta que las calibraciones en este campo deben incluir los siguientes elementos:

- Trazabilidad de los materiales de referencia o entradas conocidas;
- Procedimientos establecidos y validados;
- Programación;
- Documentación de los resultados.

Se sugieren algunos criterios mínimos para la calibración de analizadores de gases, considerando que los fabricantes deberán presentar esas informaciones en los manuales de los equipamientos:

- Después de la instalación del analizador y antes de coleccionar datos;
- Calibración multipunto a cada 3 meses para todos los analizadores;
- Cuando el corrimiento de span y/o cero exceden $\pm 15\%$, o cuando se utilizan gráficas de control, el corrimiento es 3 veces la desviación estándar del valor de control;

- En analizadores nuevos, se recomienda una calibración multipunto en un periodo menor a 3 meses;
- Después de una reparación mayor.

Para el caso específico de los muestreadores de alto volumen hay que hacer la calibración de los equipos en cada lugar donde se realicen muestreos con ellos. Además, sus calibradores deberán estar debidamente calibrados para esta finalidad, preferiblemente con certificación de la calibración. Hay que considerar que en la adquisición de un equipo Hi-Vol tradicional, como los fabricados por Energética y por Thermo Scientific, hay que añadir la adquisición de un calibrador. La calibración de este tipo de muestreadores se realiza usando un estándar de transferencia de masa. Este equipo se compone de un adaptador para la base del filtro, un cilindro con orificio, cinco placas con 18, 13, 10, 7 y 5 orificios respectivamente, empaques y un manómetro de agua y manguera para conectarlo al cilindro. Actualmente son utilizados equipos que en vez de placas, tienen una adaptación en el cilindro que permite variar el tamaño de apertura de los orificios. Estos equipos son utilizados de la misma manera que los de placas, la única diferencia es que sustituye el uso de las placas. Cualquiera de los dos tipos de equipos se conoce también como “kits de calibración para muestreadores de alto volumen”. El principio de la calibración es la transferencia de un volumen conocido de aire mediante la caída de presión que ejercen las placas del calibrador al momento de la succión del aire por la acción del moto-aspirador en funcionamiento. El estándar de transferencia de masa (calibrador) debe ser calibrado cada año contra un patrón de volumen.

Los procedimientos de calibración presentados a seguir se aplican para un estándar de transferencia de flujo tipo orificio convencional y un indicador de flujo tipo orificio en el muestreador (los tipos más comunes). Otros tipos de estándares de transferencia pueden ser usados si el fabricante o usuario proveen un procedimiento de calibración modificado que sea apropiado y haya sido aprobado por la autoridad ambiental competente.

Para la certificación de los estándares de transferencia de flujo se requiere un medidor de volumen estándar de desplazamiento positivo, trazable a patrones nacionales o internacionales, cronómetro, manómetro, termómetro y barómetro.

La calibración de equipos muestreadores de partículas de alto volumen, que están provisto de un dispositivo de control de flujo, cuya acción sobre el circuito eléctrico conectado al motor regula su velocidad y por lo tanto, su capacidad de succión. La calibración se fundamenta en la posición del dispositivo de control de flujo que permite una aspiración de aire en el rango deseado, de 1,1 a 1,7 m³ /min. para PTS y 1,017 – 1,243 para PM₁₀.

En resumen, la calibración del equipo consiste básicamente en una verificación del flujo y debe ser calibrado en los siguientes casos:

- Una vez que sea instalado;
- Después del cambio del motor;
- Después de cambio de las escobas;
- Cuando se cambia el sitio de muestreo;
- Periódicamente, por lo menos a cada tres meses;
- Después de 360 horas de medición.

La calibración del equipo se realiza con la ayuda de un kit de calibración, el cual puede ser un juego de platos o un sistema con una resistencia de flujo variable. El juego de platos consiste en un tubo metálico y cinco platos intercambiables, con diferentes orificios que permiten varios tipos de flujo. 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. Cada uno de estos kits de calibración posee una 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, denominado Rotámetro. Por lo anterior, la calibración del equipo depende del tipo: si es volumétrico o másico. Los procedimientos de calibración y los respectivos formatos deben desarrollarse de acuerdo con el documento de referencia Quality Assurance Handbook Vol II, Part II de la EPA. También el Code of Federal Regulations Appendix B to Part 50, 1997, que se puede acceder a través del link: <<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title40-vol2/pdf/CFR-2012-title40-vol2-part50-appB.pdf>>, presenta informaciones sobre este tema.

En el ANEXO II de este informe se presentan los procedimientos y cálculos necesarios para la calibración.

2.2.9 - Formatos de Registro de Reportes de Monitoreos

Los reportes y registros de monitoreos en calidad del aire pueden estar asociados a monitoreos puntuales que se ejecutan en una periodicidad presentada por las empresas y aprobada por el órgano de regulación ambiental, o exigida por el órgano regulador. También pueden estar asociados a monitoreo continuado, que podrá presentar la posibilidad de consulta online de los parámetros monitoreados.

Los informes presentados por las empresas, deberán contener todas las informaciones pertenecientes al plan de monitoreo, además de:

- planilla de cálculo de calibraciones y curva de calibración;
- disco de registro de flujo de la calibración o una manera de comprobarla;
- disco de flujo durante los muestreos o una manera de comprobarla;
- certificación de calibración de calibradores y equipamientos para muestreos y determinaciones;
- resultados calculados para 24 horas, mensual y anual;
- comparación de resultados con estándares para el contaminante muestreado;
- planilla de calculo de los resultados;
- informaciones meteorológicas durante el muestreo y la interpretación del comportamiento de la dirección del viento durante los muestreos en cuanto a los puntos muestreados;
- identificación y origen de los equipamientos utilizados;
- tipos de filtros utilizados;
- descripción del manejo de los filtros;
- hora inicial y hora final de los muestreos;
- descripción de altura de toma de muestra y del medio físico en los puntos de muestreo;

- coordenadas geográficas de los puntos de muestreo;
- estándares de calibración.

2.2.10 - Formato de Presentación de los Planes de Monitoreo al Órgano de Regulación

Se propone que los Planes de Monitoreo se presenten en acuerdo con lo que sigue:

PLAN DE MONITOREO AMBIENTAL – Calidad del Aire

I – Objetivos

- Descripción de los objetivos del monitoreo / muestreo de los parámetros.

II - Parámetros de Muestreo / Monitoreo

- Descripción de los contaminantes a monitorear.

III - Metodologías

- para los materiales necesarios para el muestreo;
- para el muestreo;
- para obtención de los resultados;
- para comparación de resultados con estándares existentes;
- para la elección de los puntos de muestreo;
- para calibración de equipamientos.

IV - Frecuencia

- periodicidad de muestreo;
- muestreos extraordinarios;
- presentación de resultados al órgano de regulación ambiental;
- calibración de equipamientos;
- fecha para inicio de implementación del Plan.

V - Puntos de Muestreo

- metodología utilizada para la localización de los puntos de muestreo – si es posible, a través de la modelación de dispersión de las principales fuentes de emisión;
- justificativa acerca de la elección de los puntos de muestreo;
- coordenadas geográficas e identificación de los puntos en imágenes satelitales;
- número de puntos de muestreo;
- número de repeticiones de muestreo por punto muestreado;

VI - Meteorología

- Rosa-de-los-vientos de la región;
- Datos e informaciones meteorológicas durante los muestreos;

VII - Actividades, Operaciones y Procesos Industriales

- Descripción de las Actividades, Operaciones y Procesos Industriales durante los muestreos

VII – Actividades, Operaciones y Procesos para Reducción del Comprometimiento de la Calidad del Aire

- Descripción de Mecanismos y Contingencias.

VIII - Responsable Técnico

- responsabilidad técnica.

2.2.11 – Empaque, Conservación y Transporte de Muestras

En acuerdo con lo que está presentado en puntos anteriores, que involucran el manejo y procedimientos con las muestras y los materiales para el muestreo puntual de material particulado, cualquier material que se pueda añadir a los filtros a través de su manejo, transporte y almacenamiento contribuye a obtener un resultado erróneo. De la misma manera, la absorción de humedad a través de la exposición de las muestras a ambientes con alta humedad puede, por higroscopicidad de los

materiales, conducir a errores. Las pérdidas de los materiales muestreados en los filtros también pueden llevar a resultados que no estén de acuerdo con la realidad. Así, se apuntan prácticas con la intención de eliminar al máximo esos posibles errores:

- hacer todo el manejo de preparación de los filtros con guantes quirúrgicos, en ambientes con humedad controlada y con el uso de pinzas de materiales adecuados al no rompimiento de los filtros;
- acondicionar los filtros preparados para los muestreos, en sobres / bolsas de PVC, sin uso;
- acondicionar los filtros en las bolsas de PVC en sobres de papel de tamaño tal que no se tenga necesidad de doblar los filtros;
- los sobres de papel para acondicionamiento de los filtros deberán contener los códigos de los filtros en ellos acondicionados, y podrán al mismo tiempo tener adjuntadas las planillas de información sobre el muestreo;
- los filtros solamente deberán ser extraídos de su acondicionamiento, junto a los portafiltros de los equipamientos de muestreo, y si hay necesidad, usar guantes quirúrgicos y pinzas de materiales adecuados al no rompimiento de los filtros, para ajustarlos en los portafiltros;
- cuando se termine un muestreo, se debe sacar los filtros también con guantes quirúrgicos y auxilio de pinzas de materiales adecuados al no rompimiento de los filtros, para reemplazarlos en los sobres;
- si hay viento con gran velocidad que pueda perjudicar la colocación y/o la retirada de los filtros en los muestreadores, se puede arrollarlos suavemente, tanto al sacarlos de los sobres, como al reemplazarlos después de los muestreos (el operador se debe poner en posición de protección de la acción del viento en el porta-filtro);
- los filtros deberán ser conducidos preferiblemente a un desecador para que se saque la humedad adquirida durante el muestreo;

- para el caso que sea necesario almacenarlos por un periodo o transportarlos para ejecución del pesaje final, se debe asegurar que no absorban humedad del ambiente.

2.3 - Rosa-de-los-Vientos en los Sitios de las Empresas

La rosa-de-los vientos de los sitios en donde se localizan las empresas involucradas es importante en términos de su asociación con la elección de la localización geográfica de los puntos para muestreo de material particulado, una vez que no se dispone de otras herramientas más adecuadas para su elección, como la modelación gráfica de dispersión.

La indicación de los vientos predominantes se puede añadir a imágenes del Google Earth y de esa manera mejorar la evaluación de la localización de los puntos de los muestreadores. También se pueden usar otras informaciones importantes, como aquellas que se refieren a la exposición adecuada de la toma de muestras de los equipos.

2.4- Imágenes Satelitales de los Sitios de las Empresas

La posibilidad de acceso a las imágenes satelitales de Google Earth puede conducir al conocimiento de informaciones básicas cuanto a las primeras consideraciones para la elección de los puntos de muestreo y sobre la existencia de otras fuentes de emisión de material particulado que puedan contribuir al punto elegido. Al mismo tiempo puede permitir la obtención de las coordenadas geográficas de los puntos elegidos en muestreos anteriores y aquellos futuros, dato que deberá estar incluido en los informes de muestreo.

Teniendo en cuenta las informaciones repasadas por ALUR sobre la dirección del viento y la rosa-de-los vientos obtenida de la estación meteorológica electrónica localizada en su planta industrial, se indican como principales receptores de las emisiones generadas a través de los procesos industriales, aquellos localizados a W y SW de la planta. En términos generales se indica no haber contribuciones para lugares localizados al S / SSE / E de la planta. Se presenta la imagen 01 (satelital) de la planta con las indicaciones de las direcciones de los vientos:

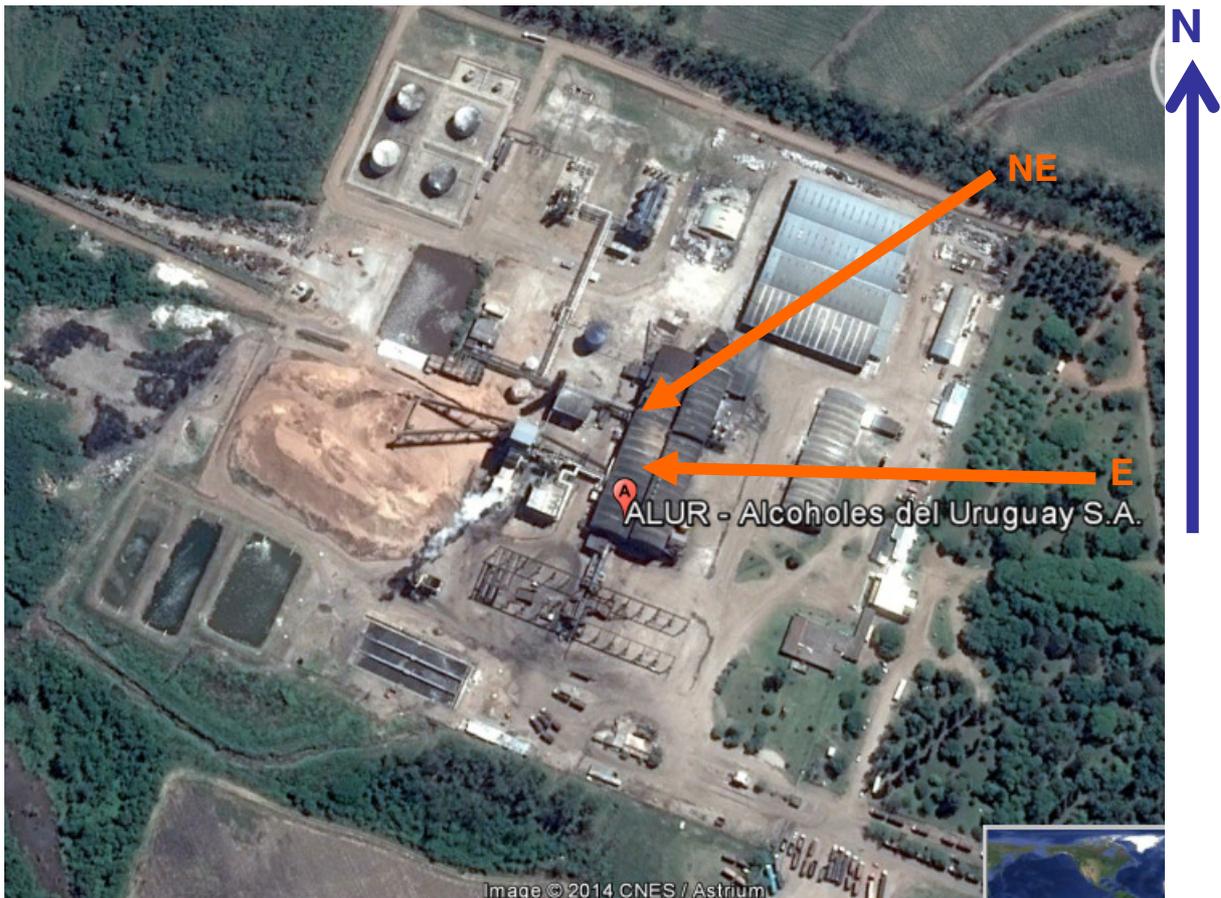


Imagen 01 – Planta Industrial ALUR con indicación de los vientos predominantes
Fuente: Google Earth

Observación: se indica el Norte Geográfico.

Teniendo en cuenta la información del Departamento Nacional de Meteorología, que indica la predominancia de vientos de NE en el territorio, se indican como principales receptores de las emisiones generadas a través de los procesos industriales de las plantas de BIOENER, GALOFER, WEYERHAEUSER, LIDERDAT, FENIROL y PONLAR, aquellos localizados a W de las plantas. En términos generales se indica no haber contribuciones para lugares localizados al S / SSE / E de las plantas. Se presentan a continuación imágenes satelitales (02, 03, 04, 05, 06 y 06), de las plantas industriales de las empresas con la indicación del viento predominante.

Se indica en las imágenes el Norte Geográfico.

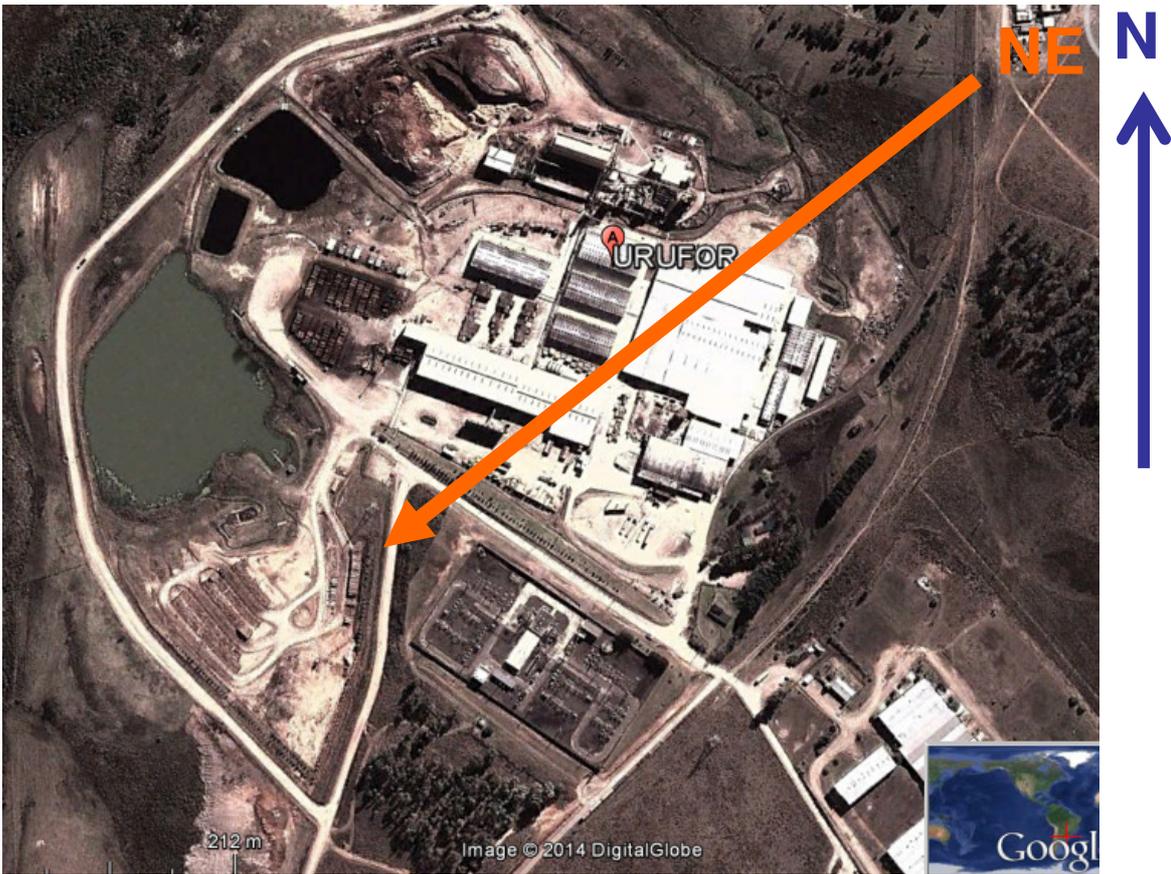


Imagen 02 – Planta Industrial BIOENER con indicación de los vientos predominantes
Fuente: Google Earth



Imagen 03 – Planta Industrial GALOFER con indicación de los vientos predominantes
Fuente: Google Earth

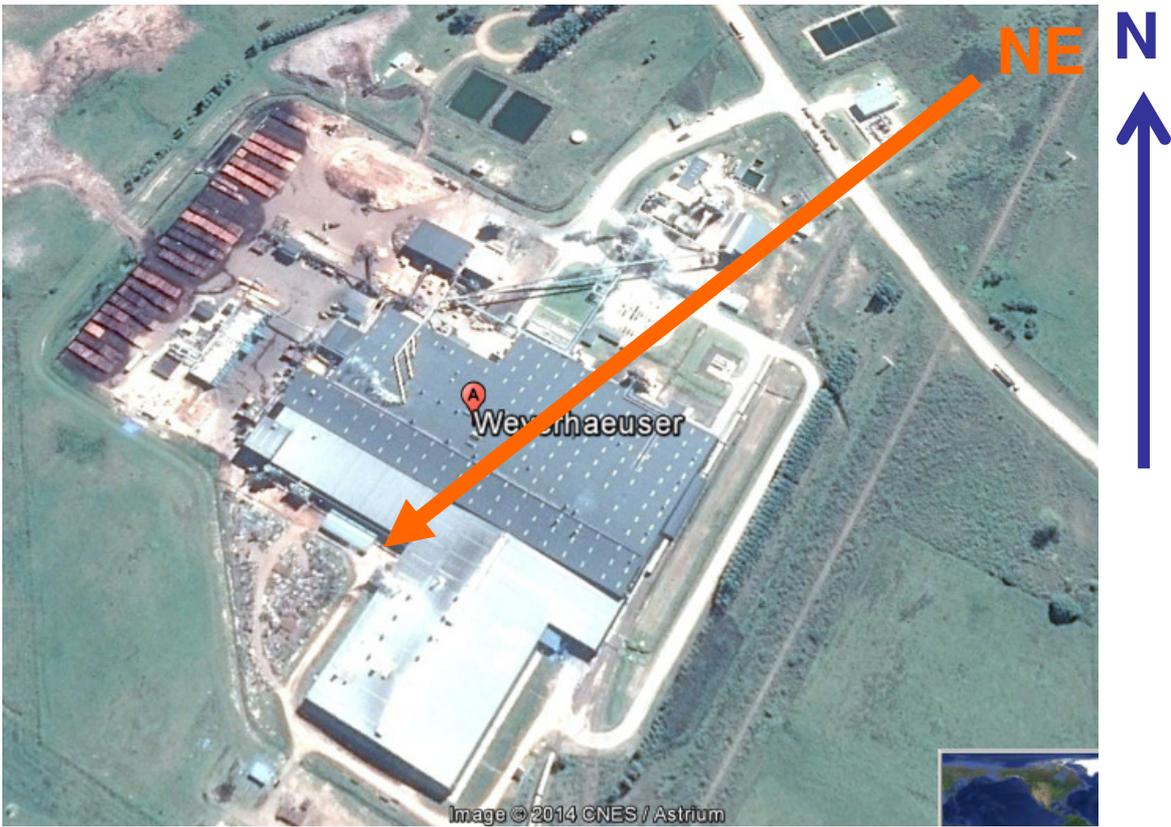


Imagen 04 – Planta Industrial WEYERHAEUSER con indicación de los vientos predominantes
Fuente: Google Earth



Imagen 05 – Planta Industrial LIDERDAT con indicación de los vientos predominantes
Fuente: Google Earth



Imagen 06 – Planta Industrial FENIROL con indicación de los vientos predominantes
Fuente: Google Earth



Imagen 07 – Planta Industrial PONLAR con indicación de los vientos predominantes
Fuente: Google Earth

2.5- Promedio de Biomasa quemada por unidad de energía producida de cada una de las empresas involucradas

A través del promedio de biomasa quemada por MWh producido por las empresas, agregando informaciones de los sistemas de abatimiento y sus eficiencias, se pueden estimar las emisiones de material particulado para aquellas empresas que no hacen y / o no hicieron todavía muestreos de ese contaminante en las chimeneas.

Con la estimación de emisiones a través de los factores de emisión de la US EPA AP 42 y los datos meteorológicos triangulados para las coordenadas geográficas de las chimeneas de las empresas, se pueden generar modelaciones de dispersión del material particulado generado con salidas gráficas y obtener la indicación de los puntos más adecuados para muestreo de material particulado. Además se pueden obtener los sitios donde se tiene la mayor concentración de esos contaminantes, siempre considerando las posibilidades técnicas y de disponibilidad de energía eléctrica en los sitios a considerar.

La estimación de las emisiones de PTS y de MP₁₀ se puede llevar a cabo a través de la US EPA AP 42, la que considera por un lado la cantidad de energía producida y por otro lado la cantidad de materias primas para producción de unidad de energía. En general, las estimaciones de emisiones se aplican a los inventarios de emisiones y se consideran los factores de emisiones más cerca de aquellos propuestos para la realidad del emprendimiento, principalmente en cuanto a su seguimiento y materias primas. La estimación a través de los factores de emisión permite un conocimiento aproximado de las emisiones de un emprendimiento que todavía no ha ejecutado los muestreos para esa finalidad. Al mismo tiempo se utilizan para estudios preliminares de las emisiones, antes de la efectiva implantación y operación del emprendimiento.

La estimación de las emisiones, considerando lo que está presentado anteriormente, permite una idea de la cantidad de contaminantes lanzados a la atmósfera y que son capaces de comprometer la calidad del aire. También, como fue presentado anteriormente, es un medio de generar informaciones para realizar la modelación de dispersión.

Los factores de emisión presentan una clasificación en acuerdo con un puntaje, lo que se presenta a seguir:

A – Excelente. Los factores de emisión del tipo A tienen como base un gran número de datos experimentales de buena confiabilidad;

B – Arriba del promedio. Aunque no sean tan exactos los factores del tipo A, los factores del tipo B presentan buena confiabilidad y tienen como base un número razonable de datos;

C – Mediana. No tan exactos como los factores A y B, los factores del tipo C presentan buena confiabilidad, y tienen como base un número suficiente de datos de fuentes industriales;

D – Abajo del promedio. Tienen como base un número de muestras menores que los factores A, B y C, o en datos de menor confiabilidad, presentando más incertidumbre en su valor;

E – Pobre. Con base en un pequeño número de muestras o datos de baja confiabilidad.

Se presentan a continuación, como ejemplo, algunas estimaciones para emisiones de material particulado total, con base en la US EPA AP 42, teniendo en cuenta la cantidad de energía producida, la existencia o no de equipos para control de las emisiones, y el / los tipos de equipamientos. Se asume que la eficiencia de los equipos de abatimiento esta en el máximo nivel para sus capacidades:

a) Sin Control de Emisiones (cáscaras y madera húmeda)

- Cantidad de energía producida: 1MWh

- Emisión estimada de 866g de PTS

Clasificación del factor de emisión: C

b) Control Mecánico (cáscaras y madera húmeda)

- Cantidad de energía producida: 1MWh

- Emisión. estimada: 541,25 g de PTS

Clasificación del factor de emisión: C

c) Control a través Lavadores de Gases

- Cantidad de energía producida: 1 MWh

- Emisión estimada: 102,04g de PTS

Clasificación del factor de emisión: A

d) Control a través de Precipitadores Electrostáticos

- Cantidad de energía producida: 1 MW

- Emisión estimada: 83,51g de PTS

Clasificación del factor de emisión: B

e) Control a través de Filtros Fabricados

- Cantidad de energía producida: 1 MWh

- Emisión estimada: 154,65g de PTS

Clasificación del factor de emisión: C

f) Control a través de todos los Mecanismos de control

- Cantidad de energía producida: 1MWh

- Emisión estimada: 26,29g de PTS

Clasificación del factor de emisión: A

Considerando informaciones obtenidas de algunas de las empresas involucradas en esta consultoría, en términos de promedio de materia prima para la generación de 1 MWh y la estimación presentada arriba, tendríamos lo que está presentado en la tabla que sigue:

Empresa	Promedio de materia prima para producción de 1 MWh
A	0,9-0,95 BDMT
B	1,7 t
C	1,66 t
D	3,0 t
E	2-2,25 t

Promedio de materia prima / generación de 1 MWh

Se debe tener en cuenta la posibilidad de estimación del material particulado a través de los materiales utilizados por las empresas y su cantidad para el promedio de producción de energía generada.

2.6 – Consideraciones sobre Material Particulado Sedimentable

La deposición de material particulado es una manera de la “devolución” de la atmosfera a la superficie del planeta, de los materiales resultantes de las emisiones atmosféricas, en el lavado de los contaminantes a través de la circulación atmosférica y de la lluvia. De manera general, en algún lugar del planeta, y de acuerdo conjunto con la circulación atmosférica, gravedad, propiedades físico química de los materiales y otros procesos involucrados, el material particulado emitido vuelve a la superficie del planeta. La deposición se procesa por dos vías: seca y húmeda. La diferencia básica entre esas formas de deposición es que la deposición húmeda tiene participación del agua, y así, de la lluvia.

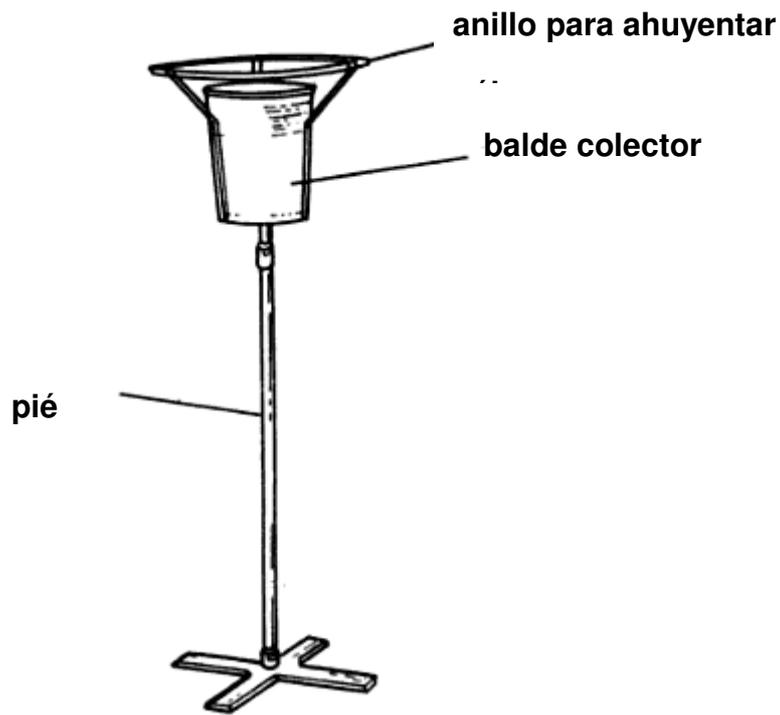
De manera más específica, en material particulado *sedimentable*, mismo teniendo en cuenta la posibilidad de sedimentación de gran parte del material particulado emitido, se refiere a las partículas con tamaño superior a 20µm, y capaces de depositarse muy cerca de su fuente de emisión. De esa manera, no contribuyen o poco contribuyen a comprometimiento de la calidad del aire.

El D.S. N° 185/91, del Ministerio de Minería de Chile, presenta la siguiente definición para material particulado sedimentable: “es el material particulado, cualquiera sea su tamaño, captado sobre una unidad de superficie en una unidad de tiempo”.

En acuerdo con el Method 502, Methods of Air Sampling and Analysis - Particles Fall Out Container Measurement of Dustfall from the Atmosphere (Lodge Jr, J.P., 1988) se utiliza un envase, de 15 centímetros de diámetro o mayor, y con altura dos o tres veces el diámetro. La altura del envase, sobre el nivel de suelo, será de al menos 1,2 metros. Las partículas colectadas serán clasificadas en solubles e insolubles. Las partículas insolubles se determinarán mediante diferencia de peso ganado por un filtro de 47 mm, y que retenga aquellas partículas contenidas en el líquido de lavado del contenido del envase. En cambio, las partículas solubles se determinarán mediante la diferencia de peso ganado por un crisol, en el cual se evaporará el líquido de lavado del envase. La concentración total de partículas sedimentables será la suma de partículas solubles e insolubles, normalizadas con respecto al área total de captación del envase. Se presenta adelante como ejemplo, una ilustración del colector de partículas sedimentables.

La eficiencia de este método se presenta como del 100% para vientos de hasta 7m/s y 60% para viento de 1m/s para partículas del orden de 100µg. Detalles para los procedimientos están disponibles en The American Society for Testing and Materials – ASTM D 1739-82 / ASTM D1739/ 98.

La aplicación del método de obtención de muestras para material particulado sedimentable puede conllevar a obtención de informaciones para evaluar la acción potencial de contaminantes depositados en los medios existentes en la superficie receptora. Este método fue el precursor de los muestreadores de material particulado y se presenta como una opción a la inexistencia de otras posibilidades, teniendo en cuenta la existencia de metodologías actuales propias, apropiadas y estandarizadas para material particulado en términos de muestreos en calidad del aire.



Colector de partículas sedimentables

Una comparación entre los métodos y equipamientos actuales para muestreos de material particulado y el muestreo de material particulado sedimentable, para ambientes externos, se puede hacer teniendo en cuenta el muestreo de material biológico en suspensión en ambientes internos:

De manera general, tradicionalmente se usaron de placas de petri con solución nutritiva, dispuestas por el ambiente. Después de un determinado tiempo de exposición de las placas con las soluciones, las mismas eran conducidas para ambientes propicios a la multiplicación de los materiales biológicos que habían impactado sobre dichas placas.

En ese tipo de muestreo de material biológico, aquellos que no estaban presentes en los locales de disposición de las placas, no eran recolectados. Tampoco aquellos que pudieran permanecer en suspensión en la atmosfera del ambiente muestreado.

Para corrección y mejor forma de muestreo, se cambió la placa de petri simplemente dispuesta, por equipamientos con capacidad de generar impactación a través de aspiración, en las placas de petri, que no más se

disponen sobre superficies del ambiente, sino están adentro del equipamiento de aspiración y el muestro con ese equipamiento se hace en varios puntos del ambiente y se puede conocer la velocidad de aspiración y la cantidad de aire impactado sobre las placas.

Bases de Información

Ahuja, M.S., Paskind, J., Houck, J.E., Chow, J.C., (1989). Design of a Study for the Chemical and Size Characterization of Particulate Matter Emissions from Selected Sources in California. in Transactions: Receptor Models in Air Resources Management, J.G. Watson, Ed., Air & Waste Management Assoc., Pittsburgh, PA.

Air Quality Criteria for Lead. Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC EPA-600/8-83-028 aF-dF, 1986, and supplements EPA-600/8-89/049F, August 1990. (NTIS document numbers PB87-142378 and PB91-138420).

Annual Meeting of Air Pollution Control Association, Chicago, IL. June 24-28, 1973. APCA 73-161). Annual Meeting of Air Pollution Control Association, Chicago, IL. June 24-28, 1973. APCA 73-161.)

Annual Meeting of Air Pollution Control Association, Toronto, Canada. June 20-24, 1977. APCA 77-13.4).

Annual Meeting of Air Pollution Control Association, Chicago, IL. June 24-28, 1973. APCA 73-161.)

Artiñano, B., Salvador, P., Alonso, D., Querol, X., y Alastuey, A. (2003). Anthropogenic and natural influence on the PM₁₀ and PM_{2.5} aerosol in Madrid (Spain). Analysis of high concentration episodes. *Environmental Pollution*.

Baltrėnas, P., y Morkūnienė, J. (2006). Investigation of particulate matter concentration in the air of Žvėrynas district in Vilnius. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, XIV(1), 23-30.

Bedoya, J. y Martinez, E. (2009). calidad del aire en el valle de aburrá Antioquia – Colombia., Dyna, Vol. 76, Núm. 158, pp. 7-15. Universidad Nacional de Colombia

Bell, M., Samet, J., y Dominici, F., (2004). Time-series studies of particulate matter. Annual Review of Public Health Palo Alto., Vol. 25; p. 247-280.

Billet, S., Garc-on, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F., Courcot, D. Aboukais, A., y Pirouz, S.P. (2007). Ambient Particulate Matter (PM2.5): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549). *Environmental Research*, 105, 212-223.

Botero, S., Tróchez, A., y Olaya, J. (2004). Contaminación por Partículas Suspendidas Totales en las comunas 6 y 7 de Cali, Colombia. Un modelo estadístico para la evaluación de la calidad del aire. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 1(2), 17-21.

Bradway, R.M., F.A. Record, and W.E. Belanger. Monitoring and Modeling of Resuspended Roadway Dust Near Urban Arterials. GCA Technology Division, Bedford, MA. (Presented at 1978 Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, DC. January 1978.)

Bryan, R.J., R.J. Gordon, and H. Menck. Comparison of High Volume Air Filter Samples at Varying Distances from Los Angeles Freeway. University of Southern California, School of Medicine, Los Angeles, CA. (Presented at 66th Annual Meeting of Air Pollution Control Association. Chicago, IL. June 24-28, 1973. APCA 73-158)

Builtjes, P.J.H. (2001). Major twentieth century milestones in air pollution modeling and its application. Gryning and Schiermeier, Kluwer Academic/Plenium Publishers.

Burton, R.M. and J.C. Suggs. Philadelphia Roadway Study. Environmental Monitoring Systems Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C. EPA-600/4-84-070 September 1984.

Bustos, C. (2004). Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: Análisis del proceso. Tesis de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental, Universidad de Chile.

Chow, J., y Watson, J. (1998). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards (MD-14). Guideline on Speciated Particulate Monitoring.

US EPA, EPA-456/R-98-002 - Plan De Red De Monitores Del Aire Ambiental Para Ciudad Acuña y Piedras Negras, Coahuila, México, U.S.-México Border Information Center on Air Pollution, Enero 1998. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir2/ambmon_s.pdf>

DETERMINACIÓN DE MATERIA PARTICULADA (FRACCIONES INHALABLE, TORÁCICA Y RESPIRABLE) EN AIRE - MÉTODO GRAVIMÉTRICO - MTA / MA – 014/A11

Echeverri, C. (2000). Determinación de las concentraciones de fondo de material particulado en suspensión en la ciudad de Medellín. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 20, 7-19.

_____. (2006). Diseño óptimo de ciclones. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 5(9).

_____. (2008). Diseño de filtros de talegas. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 7(12), 43-60.

Elfers, L.A. Field Operating Guide for Automated Air Monitoring Equipment. U.S. NTIS. p. 202, 249, 1971.

Hughes, E.E. Development of Standard Reference Material for Air Quality Measurement. ISA Transactions, 14:281-291, 1975.

EPA -Environmental Protection Agency-. (1996). Air Quality Criteria for Particulate Matter. EPA. Vol. 1.

_____. (2000). Guía del usuario para los modelos de dispersión de la fuente industrial compleja (ISC3). Volumen 1- instrucciones para el usuario. EPA-454/B-95-003a.

_____. (2004). Air Quality Criteria for Particulate Matter. Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division. Volume I of II. EPA/600/P-99/002Af.

Fang, G.C., Chang, C.N., Chu, C.C., Wu, Y.S., Fu, P., Yang, I.L., y Chen, M.H. (2003). Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM_{2.5} and PM_{2.5-10} aerosols at a farm sampling site in Taiwan Taichung. The Science of the Total Environment, 308, 157-166.

Fang, G.C, Wu, Y.S., Chang, S.Y., Rau, J.Y., Huang, S.H., y Lin, C.K. (2006). Characteristic study of ionic species in nano, ultrafine, fine and coarse particle size mode at a traffic sampling site. Toxicology and Industrial Health, 22, 2-37.

Gao, Y., Nelson, E.D., Field, M.P., Ding, Q., Li, H., Sherrell, R.M., Gigliotti, C.L., Van Ry, D.A., Glenn, T.R., y Eisenreich, S.J. (2002). Characterization of atmospheric trace elements on PM_{2.5} particulate matter over the New York–New Jersey harbor estuary. Atmospheric Environment, 36, 1077-1086.

García, F.F. (2002). Determinación de la Concentración de Fondo y Distribución Espacial de PST en Santa Marta. Grupo de Control de la Contaminación Ambiental. Universidad del Magdalena, Colombia.

García, F.F., Agudelo, R., y Jiménez, K. (2006). Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 24(2), 73-82.

García, M., y Carreras, H. (2008). Análisis de la genotoxicidad de material particulado recolectado en dos ciudades de la Provincia de Córdoba, Argentina, mediante el ensayo de micronucleus. Theoria, 17(1), 33-40.

- Harrison, P.R. Considerations for Siting Air Quality Monitors in Urban Areas. City of Chicago, Department of Environmental Control, Chicago, IL. (Presented at 66th
- Ho, K.F., Lee, S.C., Chan, C., Yu, J., Chow, J., y Yao, X.H. (2003). Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 37, 31-39.
- Houck, J. E., Chow, J. C., Watson, J. G., Simons, C. A., Pritchett, L. C., Goulet, J. M., Frazier, C. A. (1989). Determination of particle size distribution and chemical composition of particulate matter from selected sources in California: volume I and executive summary (final report). Sacramento, CA: California Air Resources Board.
- Houck, J. E., Goulet, J. M., Chow, J. C., Watson, J. G., Pritchett, L. C. (1990). Chemical characterization of emission sources contributing to light extinction. In: Mathai, C. V., ed. *Visibility and fine particles: an A&WMA/EPA international specialty conference*; October 1989; Estes Park, CO. Pittsburgh, PA: Air & Waste Management Association; pp. 437-446. (A&WMA transactions series no. TR-17).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM–. (2005). *Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental*. Bogotá.
- Juárez, A., Gay, C., y Flores, Y. (2005). Impact of the Popocatepetl's volcanic activity on the air quality of Puebla City, México. *Atmósfera*, 18(1), 57-69.
- Koch, R.C. and H.E. Rector. Optimum Network Design and Site Exposure Criteria for Particulate Matter, GEOMET Technologies, Inc., Rockville, MD. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. EPA Contract No. 68-02-3584. EPA 450/4-87-009. May 1987.
- Lodge Jr, J.P., *Methods of Air Sampling and Analysis*, 3rd edition, ed. CRC Press, Lewis Publisher, 230p., USA, 1988,
- Ludwig, F.L., J.H. Kealoha, and E. Shelar. *Selecting Sites for Monitoring Total Suspended Particulates*. Stanford Research Institute, Menlo Park, CA. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. EPA Publication No. EPA-450/3-77-018. June 1977, revised December 1977.
- Lynn, D.A. *et al.* National Assessment of the Urban Particulate Problem: Volume 1, National Assessment. GCA Technology Division, Bedford, MA. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. EPA Publication No. EPA-450/3-75-024. June 1976.
- Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Akadémiai Kiado.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT–. (2010). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.

_____. (2010). Resolución 610.

Ministério de Minería, Gobierno de Chile, D.S. N° 185/91

Moldanova, J., Fridell, E., Popovicheva, O., Demirdjian, B., Tishkova, V., Faccinnetto, A., y Focsa, C. (2009). Characterisation of particulate matter and gaseous emissions from a large ship diesel engine. *Atmospheric Environment*, 43, 2632-2641.

Motallebi, N., Tran, H., Croes, B.E., y Larsen, L.C. (2003). Day-of-Week Patterns of Particulate Matter and Its Chemical Components at Selected Sites in California. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53, 876-888.

On-Site Meteorological Program Guidance for Regulatory Modeling Applications. Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711. EPA 450/4-87-013. June 1987F.

Pace, T.G., W.P. Freas, and E.M. Afify. Quantification of Relationship Between Monitor Height and Measured Particulate Levels in Seven U.S. Urban Areas. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

Pace, T.G. Impact of Vehicle-Related Particulates on TSP Concentrations and Rationale for Siting Hi-Vols in the Vicinity of Roadways. OAQPS, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. April 1978.

Perrone, M.R., Turnone, A., Buccolierib, A., y Buccolierib, G. (2005). Particulate matter characterization at a coastal site in south-eastern Italy. *Journal of Environmental Monitoring*. First published as an advance article on the web 6th December. DOI: 10.1039/b513306h.

Perrone, M.R., Turnone, A., Buccolierib, A., y Buccolierib, G. (2005). Particulate matter characterization at a coastal site in south-eastern Italy. *Journal of Environmental Monitoring*. First published as an advance article on the web 6th December. DOI: 10.1039/b513306h.

Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., y Thurston, G.D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 287(9), 1132-1141.

Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: Volume IV. Meteorological Measurements. Atmospheric Research and Exposure Assessment Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711. EPA 600/4-90-0003. August 1989.

Quijano, A. (2004). Promedios geométricos de material particulado fracción respirable PM10 y detección de metales en el aire de Bucaramanga (Colombia). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 2(002), 21-32.

Quijano, A., y Orozco, J. (2005). Monitoreo de material particulado-fracción respirable (PM2.5) en Pamplona (Colombia). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 3(2), 1-11.

Quijano, A., Quijano, M., y Henao, J. (2010). Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable PM2.5 en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 8(1), 1-20.

Red de Vigilancia de la Calidad del Aire –Redaire–. (2005). Protocolo para el muestreo de partículas suspendidas totales (PST) utilizando el equipo muestreador de alto volumen hi-vol para PST. Obtenido el 15 de julio de 2011, desde <<http://www.unalmed.edu.co/redaire/Protocolos/Protocolo%20Hi-Vol.pdf>>

Richmond-Bryant, J., Saganich, C., Bukiewicz, L., y Kalin, R. (2009). Associations of PM2.5 and black carbon concentrations with traffic, idling, background pollution, and meteorology during school dismissals. *Science of the Total Environment*, 407, 3357-3364.

Rodes, C.E. and G.F. Evans. Summary of LACS Integrated Pollutant Data. In: Los Angeles Catalyst Study Symposium. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. EPA Publication No. EPA-600/4-77-034. June 1977.

Sahu, S., Gelfand, A., y Holland, D. (2006). Spatio-Temporal Modeling of Fine Particulate Matter American Statistical Association and the International Biometric Society *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 11(1), 61-86.

Saldarriaga, J., Echeverri, C., y Molina, F. (2004). Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM10) en el Valle de Aburrá, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería*, 32, 7-16.

Seinfeld, J., y Pandis, S. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1323p.

Sternbeck, J., Sjödin, A., y Andréasson, K. (2002). Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension-results from two tunnel studies. *Atmospheric Environment*, 36, 4735-4744.

Study of Suspended Particulate Measurements at Varying Heights Above Ground. Texas State Department of Health, Air Control Section, Austin, TX. 1970. p.7.

Suárez, C. A., **DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10**

Torno, S. (2008). Emisiones de material particulado en almacenamiento de minerales a la intemperie. Colección Tesis Doctoral-TDR nº 49. ISBN: 978-84-692-1368-1.

U.S. EPA EPA/625/R-96/010a Compendium Method IO-2.1, SAMPLING OF AMBIENT AIR FOR TOTAL SUSPENDED PARTICULATE MATTER (SPM) AND PM10 USING HIGH VOLUME (HV) SAMPLER, Center for Environmental Research Information Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268, June 1999. Disponible en: <<http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/inorganic/mthd-2-1.pdf>>

Vargas, F., y Rojas, N. (2010). Chemical composition and mass closure for airborne particulate matter in Bogotá. *Ingeniería e Investigación*, 30(2), 105-115.

Viana, M. (2003). Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona.

Viana, M., Querol, X., y Alastuey, A. (2006). Chemical characterisation of PM episodes in NE Spain. *Chemosphere*, 62, 947-956.

Watson, J., y Chow, J. (2000). Reconciling Urban Fugitive Dust Emissions Inventory and Ambient Source Contribution Estimates: Summary of Current Knowledge and Needed Research. DRI Document No 6110.4F. Desert Research Institute. Energy and Environmental Engineering Center.

Warneck, P. (1988). Chemistry of the natural atmosphere. International Geophysics Series. Vol. 41. Wiley & Sons. Academy Press. 757p.

Wu, Z., Hu M., Lin P., Liu S., Wehner B., Alfred Wiedensohler A., (2008) Particle number size distribution in the urban atmosphere of Beijing, China. *Atmospheric Environment* 42, 7967–7980.

Yamada, V.M. and R.J. Charlson. Proper Sizing of the Sampling Inlet Line for a Continuous Air Monitoring Station. *Environ. Sci. and Technol.*, 3:483, 1969.

40 CFR Part 58, Appendix E to Part 58 - Probe and Monitoring Path Siting Criteria for Ambient Air Quality Monitoring

www.breeze-software.com/aermodepa/

www.epa.gov/ttn/catc/dir2/fventurs.pdf

www.epa.gov/ttn/catc/dir2/c_allchs-s.pdf

www.epa.gov/ttn/scram/aqmindex.htm

Zhang, W., Sun, Y., Zhuang, G. y Xu, D.,(2006). Characteristics and Seasonal Variations of PM_{2.5}, PM₁₀, and TSP Aerosol in Beijing. *Biomedical and Environmental Sciences* 19, 461-468.

ANEXO I

Ejemplo de hoja de vida

Sugerencia de planilla para el mantenimiento de un equipo Hi-Vol

Ejemplo para Mantenimiento Preventivo de Instrumentos Meteorológicos

Puntos a controlar		Criterios de revisión/ contenido	Frecuencia del control				Método de ejecución	Observ.
Objeto	Concepto		1 mes	3 meses	6 meses	1 año		
Velocidad y dirección de viento	Torre meteorológica. Transmisor.	Que no tuviera anomalías en su forma.	<input type="radio"/>				Inspección visual.	Punto cero. Cada 45° Cada 5m/s
	Estado de registro.	Que no tuviera anomalías en su forma.	<input type="radio"/>				Inspección visual.	
	Prueba de precisión para la dirección del viento.	Que no tuviera anomalías como indicaciones en línea recta. Menor a 10m/s es menor a 0.3m/s	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	Detener la hélice. Separar el cable. Utilizar el disco de orientación de dirección de viento.	
	Prueba de precisión para la velocidad del viento.	Mayor a 10m/s es menor a 0.3%	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	Utilizar el aparato de prueba rotación para medición de la velocidad del viento.	
Temperatura	Transmisor.	Que no tuviera anomalías en su forma.	<input type="radio"/>				Inspección visual.	N° de veces. Cada 10°C
	Estado de registro.	Que haga un registro fluido.	<input type="radio"/>				Inspección visual.	
	Ventilador.	Que esté girando y que esté ventilando.	<input type="radio"/>				Inspección visual.	
	Radiación. Shield.	Que no tenga polvo o telaraña.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
	Prueba de comparación Assman.	Que sea menor de ±5%.	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	Utilizar el desecador de humedad Assman.	
	Prueba de eficiencia del convertidor.	Que sea menor de ±5°C				<input type="radio"/>	Utilizar la resistencia falsa o alterna.	
	Prueba de comparación con el aparato de transferencia de estándar.	Que sea menor de ±3%.				<input type="radio"/>	Comparar con el aparato de transferencia de estándar.	

Ejemplo para Mantenimiento Preventivo de Instrumentos Meteorológicos

Humedad	<p>Transmisor. Estado de registro. Prueba de comparación Assman. Prueba de calibración para la humedad. Prueba de comparación del aparato de transferencia de estándar.</p>	<p>Que no haya anomalías en su forma. Que haga un registro fluido. Que sea menor de $\pm 5\%$. Que sea menor de $\pm 3\%$. Que sea menor de $\pm 3\%$.</p>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<p>Inspección visual. Inspección visual Utilizar el desecador de humedad Assman. Utilizar el Kit de calibración para la humedad. Comparar el aparatado de referencia</p>	N° veces.
Medidor de radiación	<p>Transmisor. Estado de registro. Prueba de precisión. Calibración.</p>	<p>Que no haya anomalías en el domo de vidrio. Que los datos picos se ubique Que sea menor de $\pm 3\%$. Prueba de comparación con el medidor de radiación patrón.</p>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<p>Insertar al convertidor de presión falsa o alterno, y observar el proceso</p>	Después de 10, 20, 30, 60 min.
Medidor de radiación neta	<p>Transmisor. Estado de registro. Prueba de precisión. Calibración.</p>	<p>Que no haya anomalías en el domo de polietileno. Verificar la relatividad con la radiación. Que esté haciendo el cambio de registro diurno y nocturno. Solicitar la calibración del incinerador de cuerpo negro.</p>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<p>Inspección visual, reemplazo. Inspección visual. Inspección visual.</p>	
Medidor de lluvia	<p>Transmisor. Estado de registro. Prueba de precisión.</p>	<p>Que la forma esté normal y sin suciedad. En el caso de la válvula de inversión, que el cambio de los valores indicados sea progresiva Que sea menor de $\pm 3\%$.</p>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<p>Inspección visual y limpieza. Inspección visual. Aplicar pulsos falsos o alternos.</p>	Cada 10mm

(continuación)

Ejemplo para Mantenimiento Preventivo de Muestreadores de Material Particulado – Método Atenuación Beta

Aspectos a Revisar		Criterios de revisión/Descripción	Activación	Frecuencia de Revisión						Método de ejecución
Objeto	Concepto			1 semana	2 semanas	1 mes	3 meses	6 meses	1 año	
Toma de muestra	Tubo para la toma de muestra de aire	Suciedad de la pared interna				o	o			Inspección visual y reemplazo
		Doblez	o			o	o			Inspección visual
		Succión de objetos extraños				o	o			Inspección visual
Cuerpo principal	Separador	Limpieza de la pared interna del impactador y aplicación de la grasa					o	o		Inspección visual y limpieza del interior
	Medidores de flujo	Funcionamiento	o			o	o			Inspección visual
		Lavado						o	o	Lavado
Estabilizador del flujo	Verificación del flujo	Verificar y regular el flujo real de acuerdo con el valor preestablecido.	o			o				Se verifica y se regula el flujo real utilizando el medidor de flujo de área tipo flotador previamente calibrado.
	Verificación del funcionamiento	Que se pueda regular el flujo sin mayores problemas.	o	o						

Ejemplo para Mantenimiento Preventivo de Muestreadores de Material Particulado – Método Atenuación Beta (continuación)

	Bomba de succión para la muestra de aire	Funcionamiento o Desarme y revisión	Que no haya ruidos ni vibraciones extraños. Que la temperatura de escape no esté alta. Que no haya desgaste en la placa.		o					<input type="checkbox"/>	De acuerdo con la necesidad, se desarma y se hace la limpieza de la bomba, el reemplazo del componente o de la bomba.
	Tubería del paso de gas	Suciedad en la pared interna Doblez o desvío	Que no sea evidente la suciedad. Que no haya doblez ni desvío.					o		<input type="checkbox"/>	Inspección visual y limpieza o reemplazo Inspección visual
	Sección para recolectar la muestra	Adhesividad	Que el contorno del spot esté claro.	o	o						Inspección visual
	Filtro	Cantidad restante del filtro Estado de enrollado Spot	Que tenga la cantidad suficiente del filtro. Que se pueda enrollar sin mayores problemas. Que el intervalo del spot esté estable.		o				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Inspección visual y reemplazo Inspección visual Inspección visual
	Fuente lineal	Suciedad	Que no haya suciedad en la superficie de la capa protectora de la fuente lineal.							o	Inspección visual y limpieza
	Detector	Suciedad	Que no haya suciedad en la superficie de la capa protectora del detector.							o	Inspección visual y limpieza
	Controlador	Funcionamiento	Que no haya anomalía	o				o			Verificación del funcionamiento
Impresora	Impresión	Falta de la tinta o cartucho	Que no haya falta de tinta. Que la impresión esté clara y legible.	o				o			Se lava con el dispositivo especial para este fin.
	Papel para el registro	Falta del papel	Verificación de la cantidad restante del papel.	o						<input type="checkbox"/>	Inspección visual y reemplazo
Funcionamiento general	Verificación de cero	Cero Prueba de vacío	Estado en el momento de suspender la succión del aire de muestra. Estado de succión del aire de muestra.	o				o			Se verifica colocando el filtro cero en la parte interna.
	Calibración de Span	Prueba de capa equivalente	Que se pueda hacer la calibración Span	o				o	o		Prueba estática utilizando la capa equivalente

Ejemplo para Mantenimiento Preventivo de Muestreadores de Material Particulado – Método Atenuación Beta (continuación)

	Control del flujo	Verificación del flujo real	Verificación y regulación del flujo real de acuerdo con el valor programado.	o			o					
		Prueba del flujo real	Verificar si el flujo real mantiene al programado inmediatamente antes de la presión diferencial límite.	o					o	o		

ANEXO II

Ejemplo de Procedimientos y cálculos para calibración de muestreadores

CALIBRACIÓN

La calibración del indicador de flujo del muestreador de alto volumen o del sistema de control es necesaria para establecer la trazabilidad de las mediciones de campo a un estándar primario mediante un estándar de transferencia de velocidad de flujo. La figura 3a muestra la certificación del estándar de transferencia de velocidad de flujo y la figura 3b muestra su uso en la calibración del indicador de flujo del muestreador. La determinación de las velocidades de flujo corregidas a partir del indicador de flujo del muestreador, ilustrado en la figura 3c, será tratada en el numeral 4.9.1.

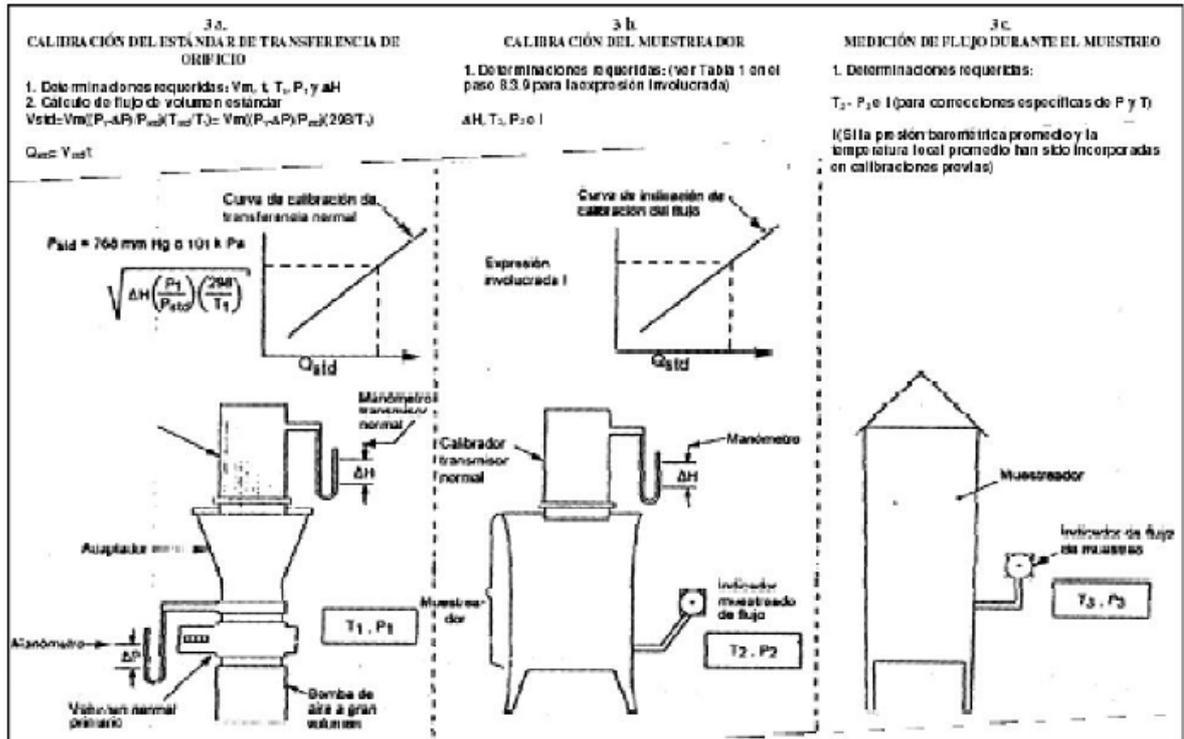
Nota: El siguiente procedimiento de calibración aplica para un estándar de transferencia de flujo tipo orificio convencional y un indicador de flujo tipo orificio en el muestreador (los tipos más comunes). Otros tipos de estándares de transferencia pueden ser usados si el fabricante o usuario proveen un procedimiento de calibración modificado que sea apropiado y haya sido aprobado por la autoridad ambiental competente.

Certificación de los estándares de transferencia de flujo

- Equipo requerido: Medidor de volumen estándar de desplazamiento positivo, trazable a patrones nacionales o internacionales, cronómetro, manómetro, termómetro y barómetro.
- Conectar el estándar de transferencia de flujo a la entrada del medidor de volumen estándar. Conectar el manómetro para medición de presión a la entrada del medidor de volumen estándar. Conectar el manómetro de orificio a la llave de presión sobre el estándar de transferencia. Conectar una bomba de aire de alto volumen (tal como el ventilador del muestreador de alto volumen) a la salida del medidor de volumen estándar. (Véase la figura 3a).
- Chequear las fugas apretando temporalmente las dos líneas del manómetro (para evitar pérdida de fluido) y bloqueando el orificio con un tapón de caucho de diámetro grande, cinta ancha de celofán u otros medios adecuados. Encender la bomba de aire de alto volumen y notar cualquier cambio en la lectura del medidor de volumen estándar. La lectura debería permanecer constante pero si cambia, se debe localizar cualquier fuga, escuchando un silbido o sonido muy suave y/o apretando todas las conexiones, asegurando que todos los acoples estén correctamente instalados.
- Después de comprobar que no hay fugas, como se describió anteriormente, se aflojan las abrazaderas en ambas líneas del manómetro y se ponen en cero ambos manómetros.
- Obtener la velocidad de flujo adecuada a través del sistema, bien sea por medio de la resistencia del flujo variable en el estándar de transferencia o por variación del voltaje de la bomba de aire. (El uso de platos de resistencia, como se muestra en la figura 2a, no es muy aconsejable porque el chequeo debe repetirse cada vez que se instala un nuevo plato). Se requieren al menos cinco velocidades de flujo, diferentes pero constantes, igualmente distribuidas, con al menos tres en el intervalo de velocidad de flujo especificado (1,1 a 1,7 m³/min).

Ilustración de los tres pasos en el proceso de medición de flujo

3 a. CALIBRACIÓN DEL ESTÁNDAR DE TRANSFERENCIA DE ORIFICIO	3 b. CALIBRACIÓN DEL MUESTREADOR	3 c. MEDICIÓN DE FLUJO DURANTE EL MUESTREO
1. Determinaciones requeridas: V_m , t , T_1 , P_1 y ΔH 2. Cálculo de flujo de volumen estándar $V_{ref} = V_m \left(\frac{P_1 - \Delta P}{P_{ref}} \right) \left(\frac{T_{std}}{T_1} \right) = V_m \left(\frac{P_1 - \Delta P}{P_{ref}} \right) \left(\frac{298}{T_1} \right)$ $Q_{ref} = V_{ref}/t$	1. Determinaciones requeridas: (ver Tabla 1 en el paso 4.8.3.9 para la expresión involucrada) ΔH , T_3 , P_3 e I	1. Determinaciones requeridas: $T_3 - P_3$ e I (para correcciones específicas de P y T) I (Si la presión barométrica promedio y la temperatura local promedio han sido incorporadas en calibraciones previas)



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. IDEAM. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del modulo aire del sistema de información ambiental. Bogotá D.C: 2005

- Medir y registrar los datos de certificación
- Observar la presión barométrica y registrarla como P1
- Leer la temperatura ambiente en los alrededores del medidor de volumen estándar y registrarla como T1
- Encender el motor del ventilador, ajustar el flujo y dejar correr el sistema por lo menos 1 minuto hasta conseguir que la velocidad del motor sea constante.
- Observar la lectura del medidor de volumen estándar y simultáneamente dar arranque al cronómetro. Registrar la lectura inicial del medidor (Vi)
- Mantener esta velocidad de flujo constante hasta que al menos 3,0 m³ de aire hayan pasado a través del medidor de volumen estándar.
Registrar la lectura de presión del manómetro de la entrada del medidor de volumen estándar como ΔP y la lectura del manómetro de orificio como ΔH
Se debe asegurar que se indiquen las unidades correctas de medición.
- Después de que al menos 3,0 m³ de aire hayan pasado a través del sistema, observar la lectura del medidor de volumen estándar y simultáneamente detener el cronómetro. Registrar la lectura final del medidor (Vf) y el tiempo transcurrido (t)
- Calcular el volumen medido por el medidor de volumen estándar a las condiciones de temperatura y presión como Vm = Vf-Vi.
- Corregir este volumen al volumen de referencia (m³ referencia) como sigue:

$$V_{ref} = V_m \left[\frac{P1 * \Delta P}{P_{ref}} \right] * \left(\frac{T_{ref}}{T1} \right)$$

Donde:

V_{ref} = volumen referencia, m³ referencia

V_m = volumen local medido por el medidor de volumen

$P1$ = presión barométrica durante la calibración, kPa o mm Hg

ΔP = presión diferencial a la entrada del medidor de volumen, kPa o mm Hg

P_{ref} = 101 kPa o 760 mm Hg

T_{ref} = 298 K

$T1$ = temperatura ambiente durante la calibración, K

Calcular la caudal de referencia como sigue:

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

Donde:

Q_{ref} = flujo volumétrico de referencia, m³ referencia /min

t = tiempo transcurrido, minutos

Registrar el valor de Q_{ref} al 0.01 m³ referencia /min más cercano

- Repetir los pasos 4.8.2.9 a 4.8.2.14 para al menos cuatro velocidades de flujo constantes adicionales, igualmente espaciadas en un intervalo aproximado de 1,0 a 1,8 m³ referencia /min.
- Calcular para cada flujo

$$\sqrt{\Delta H(P1/P_{ref})(298/T1)}$$

dibujar estos

valores contra Q_{ref} como se muestra en la figura 3a. Se debe asegurar el uso de unidades consistentes (kPa o mm Hg) para presión barométrica. Se debe dibujar la curva de certificación del estándar de transferencia del orificio o calcular la pendiente (m) y el intercepto (b) de la curva de certificación, por el método de mínimos cuadrados:

$$\sqrt{\Delta H(P1/P_{ref})(298/T1)} = m * Q_{ref} + b$$

El gráfico de certificación debe ser legible a 0,02 m³ referencia/min.

- Recalibrar el estándar de transferencia anualmente o según sea requerido por los procedimientos aplicables de control de calidad.

Calibración del indicador de flujo del muestreador

Nota: Para muestreadores equipados con un mecanismo controlador de flujo, éste debe ser inhabilitado para permitir cambios de flujo durante la calibración del indicador de flujo del muestreador, o también puede usarse la calibración alterna del controlador de flujo que se explica en 4.8.4. Para muestreadores que usan indicadores de flujo tipo orificio a la salida del motor, no se debe variar la velocidad de flujo por ajuste del voltaje o suministro de corriente al muestreador.

- Conectar el estándar de transferencia a la entrada del muestreador. Conectar el manómetro de orificio a la llave de presión del orificio. Se debe asegurar que no haya fugas entre la unidad del orificio y el muestreador.
- Operar el muestreador al menos por 5 minutos para establecer el equilibrio térmico previo a la calibración.
- Medir y registrar la temperatura ambiente, T2, y la presión barométrica, P2, durante la calibración.
- Ajustar la resistencia variable o, si es aplicable, insertar los platos de resistencia apropiados (o ningún plato) para conseguir la velocidad de flujo deseada.
- Dejar funcionar el muestreador al menos por 2 min para reestablecer las condiciones de temperatura de la corrida. Leer y registrar la caída de presión a través del orificio (ΔH) y la indicación de velocidad de flujo del muestreador (I)
- Calcular:

$$\sqrt{\Delta H (P_2 / P_{ref}) (298 / T_2)}$$

y determinar la velocidad de flujo en condiciones referencia (Qref), bien sea gráficamente a partir de la curva de certificación o mediante el cálculo de Qref a partir de la pendiente y el intercepto por el método de mínimos cuadrados de la curva de certificación transpuesta del estándar de transferencia:

$$Q_{ref} = 1 / m \sqrt{\Delta H (P_2 / P_{ref}) (298 / T_2) - b}$$

Registrar el valor de Qref

- Repetir los pasos 4.8.3.5, 4.8.3.6 y 4.8.3.7 para velocidades de flujo adicionales distribuidas en un intervalo que incluya 1,1 a 1,7 m³ referencia /min.
- Determinar la curva de calibración graficando los valores de la expresión que involucra I, seleccionada de la Tabla 1, contra Qref. La selección de la expresión de la Tabla 1 depende del mecanismo empleado para la medición de la velocidad de flujo (véase numeral 4.6.4) y si la curva de calibración incorpora el promedio de la presión barométrica del sitio geográfico (Pa) y la temperatura promedio local del sitio (Ta) para aproximar la presión y temperatura locales. Donde Pa y Ta puedan determinarse para un sitio y un periodo del año de tal forma que la presión barométrica y temperatura locales en el sitio no varíen más de 60 mm Hg (8 kPa) para Pa o $\pm 15^\circ\text{C}$ para Ta, respectivamente, pueden usarse Pa y Ta para evitar los cálculos subsecuentes de presión y temperatura al utilizar el muestreador. El promedio de la presión barométrica del sitio geográfico (Pa) puede estimarse en una tabla de presión – altitud o haciendo una corrección aproximada por elevación de -26 mm Hg (-3.46 kPa) por cada 305 m sobre el nivel del mar (760 mm Hg o 101 kPa). La temperatura promedio local

(Ta) puede estimarse a partir de estaciones meteorológicas u otros registros. Se debe asegurar el uso de unidades consistentes para la presión barométrica (mm Hg o kPa).

- Dibujar la curva de calibración o calcular por el método de mínimos cuadrados la pendiente (m), el intercepto (b) y el coeficiente de correlación de la curva de calibración:

$$\boxed{[Expresiones.de.la.Tabla.1] = mQ_{ref} + b}$$

Las curvas de calibración deben ser legibles a 0,02 m³ referencia /min.

- Para un muestreador equipado con un controlador de flujo, el mecanismo de control de flujo debe ser rehabilitado y ajustado a un flujo cercano al límite inferior para permitir máximo control del intervalo. La velocidad de flujo de la muestra debe verificarse en ese momento con un filtro limpio instalado. Luego se adicionan dos o más filtros al muestreador para ver si el controlador de flujo mantiene un flujo constante; Esto es particularmente importante para grandes altitudes donde el intervalo del controlador de flujo puede reducirse.

Calibración alterna de muestreadores de flujo controlado. Un muestreador de flujo controlado puede calibrarse solamente a su velocidad de flujo controlada, siempre y cuando la historia de operación previa del muestreador demuestre que la velocidad de flujo es estable y confiable.

En este caso, el indicador de flujo puede permanecer descalibrado pero debe usarse para indicar cualquier cambio relativo entre los flujos inicial y final, y el muestreador debe recalibrarse con mayor frecuencia para minimizar las pérdidas potenciales de muestra debido a mal funcionamiento del controlador.

- Ajustar el controlador a un flujo cercano al límite inferior del intervalo de flujo para permitir máximo control del intervalo.
- Instalar un filtro limpio en el muestreador
- Siguiendo la calibración, añadir uno o más filtros limpios adicionales al muestreador, reconectar el estándar de transferencia y operar el muestreador para verificar que el controlador mantiene la misma velocidad de flujo calibrada; esto es particularmente importante a grandes altitudes donde el intervalo del controlador de flujo puede reducirse.

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (TSP)

Determinar el promedio de la velocidad de flujo del muestreador durante el periodo de muestreo de acuerdo con lo que se presenta a continuación:

$$\boxed{Q_{ref} = 1 / m([Expresión.apropiada.de.la.Tabla.2] - b)}$$

En forma similar, determinar Qref de la lectura de flujo final, y calcular el flujo promedio Qref como la mitad de la suma de las velocidades de flujo inicial y final.

Expresiones para graficar curvas de calibración de muestreadores

TIPO DE DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE FLUJO DEL MUESTREADOR	EXPRESIONES	
	PARA CORRECCIONES LOCALES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA	PARA INCORPORACIÓN DE PRESIÓN PROMEDIO GEOGRÁFICA Y TEMPERATURA PROMEDIO LOCAL
Medidor de flujo de masa		
Indicador de orificio y presión	$\sqrt{I(P_2/P_{ref})(298/T_2)}$	$\sqrt{I(P_2/P_a)(T_a/T_2)}$
Rotámetro o registrador de orificio y presión con una escala de raíz cuadrada*	$I\sqrt{(P_2/P_{ref})(298/T_2)}$	$I\sqrt{(P_2/P_a)(T_a/T_2)}$

- Esta escala es reconocible por sus divisiones no uniformes y es la más común para muestreadores Hi-vol.

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. IDEAM. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del modulo aire del sistema de información ambiental. Bogotá D.C: 2005

Expresiones para determinar la velocidad de flujo durante la operación del muestreador

TIPO DE DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE FLUJO DEL MUESTREADOR	EXPRESIONES	
	CORRECCIONES PARA PRESIÓN Y TEMPERATURA ACTUALES	PARA USO CUANDO LA PRESIÓN PROMEDIO GEOGRÁFICA Y LA TEMPERATURA PROMEDIO LOCAL HAN SIDO INCORPORADOS DENTRO DE LA CALIBRACIÓN DEL MUESTREADOR
Medidor de flujo de masa		

Indicador de orificio y presión	$\sqrt{I(P_3/P_{ref})(298/T_3)}$	\sqrt{I}
Rotámetro o registrador de orificio y presión con una escala de raíz cuadrada*	$I\sqrt{(P_3/P_{ref})(298/T_3)}$	

*Esta escala es reconocible por sus divisiones no uniformes y es la más común para muestreadores Hi-vol

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. IDEAM. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del modulo aire del sistema de información ambiental. Bogotá D.C: 2005

- Para un muestreador con registrador de flujo continuo, determinar la lectura del mecanismo de velocidad de flujo promedio, I , para el periodo. Determinar la expresión apropiada de la tabla 2, correspondiente a la usada de la tabla 1 en el paso 4.8.3.9. Luego, usando esta expresión y la lectura de la velocidad de flujo promedio, determinar Q_{ref} a partir de la curva de calibración del muestreador, bien sea gráficamente o a partir de la ecuación de regresión transpuesta:

$$Q_{ref} = 1 / m \left([\text{Expresión apropiada de la Tabla 2}] - b \right)$$

Si la señal presenta un cambio de flujo sustancial durante el periodo de muestreo, se puede obtener mayor exactitud dividiendo el periodo de muestreo en intervalos y calculando una lectura promedio antes de determinar Q_{ref} .

Calcular el volumen total de aire muestreado, como:

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

donde:

V = volumen total de aire muestreado, en unidades de volumen estándar, m^3 referencia

Q_{ref} = velocidad de flujo referencia promedio, m^3 referencia /min

t = tiempo de muestreo, min.

Calcular y reportar la concentración de material particulado como:

$$TSP = (Wf - Wi) * 10^6 / V$$

Wi = peso inicial del filtro limpio, g

Wf = peso final del filtro expuesto, g

V = volumen de aire muestreado, convertido a condiciones referencia, m^3 referencia

10^6 = conversión de g a μg

4.9.4 Si se desea, la concentración local de material particulado puede calcularse como sigue:

$$TSP_a = TSP \left(\frac{P_3 - P_{ref}}{P_3} \right) \left(\frac{298}{T_3} \right)$$

donde:

TSP_a = concentración local a las condiciones de campo, $\mu g/m^3$

TSP = concentración a condiciones referencia, $\mu g/m^3$ referencia

P_3 = presión barométrica promedio durante el periodo de muestreo, mm Hg

P_{ref} = presión de referencia, 760 mm Hg (o 101 kPa)

T_3 = temperatura ambiente promedio durante el periodo de muestreo, K

ANEXO III

Sugerencia de Procedimientos Generales para Muestreo

PROCEDIMIENTOS GENERALES PARA MUESTREO PUNTUAL DE MATERIAL PARTICULADO

EQUIPOS Y MATERIALES

- Filtros micro fibra de alta pureza (Whatman Ò QMA, 8"x10"), pueden ser prerrotulados de fabrica para evitar la contaminación por efecto de manipulación al codificar;
- Caja o Box de luz, 16" x 18";
- Balanza analítica con un mínimo de resolución de 0.1 mg y precisión mínima de 0,5 mg (se recomienda que sea equipada con una interfase RS232 para envío de datos a un PC, mantenimiento y calibración certificada);
- Pinzas de punta lisa para el manejo de filtros;
- Bolígrafo en caso de uso de filtros no rotulados;
- Papel aluminio tipo foil para o bolsas plasticas para el resguardo de los filtros;
- PC con terminal para interfase conectado a balanza y programa adecuado para manejo de datos, como por ejemplo planillas electrónicas;
- Registrador de Humedad y Temperatura o Sensor análogo de estos parámetros para sala de balanzas;
- Patrón NIST para determinación de Humedad y Temperatura, calibrado anualmente;
- Cabina de secado automática o con uso de desecante (tipo sílica gel o drierite) con indicador de humedad, provista de suficiente cantidad de bandejas para disponer los filtros sin sobreponerlos;
- Cabinas independientes tanto para filtros sin muestrear como muestreados;

- Insumos para resguardo, traslado y manipulación de los filtros: Bolsas Plásticas con cierre hermético o equivalente (30x30cm), sobres papel kraft, cintas de rotulación, lápices indelebles, planillas de reporte de terreno, guantes antiestáticos libres de polvo, papel aluminio tipo Foil.

PROCEDIMIENTOS CON FILTROS DE MUESTREO

Los filtros seleccionados para muestreos deben ser chequeados para detección de fallas de fabricación.

- Cuando se adquiere filtros que no vienen codificados de fabrica, es necesario rotularlos con un código de identificación para el control de calidad, el código debe ser impreso mediante en esquinas contrapuestas del filtro en la superficie que no se expondrá a recibir la muestra (cara más lisa);

- Cuando se adquieren filtros que vienen codificados de fabrica, estos no se mezclan con aquellos que son foliados en las esquinas contrapuestas del filtro;

- De cada lote de filtros adquiridos es necesario retirar 1 de cada 50, como blanco de laboratorio, es obligatorio cuando se realizan análisis físico o químico posteriormente a la determinación de masa a los filtros;

- Los filtros deben tratarse para ser estandarizados, expuestos con la cara más rugosa hacia arriba en una cabina desecadora por un periodo mínimo de 24 horas;

- Debe manejarse una cabina para filtros limpios o no expuestos y otra para filtros expuestos, es recomendable forrar con papel opaco negro o papel aluminio las cabinas desecadoras que contienen los filtros muestreados para evitar reacciones de los compuestos por efectos de la luz.

PROCEDIMIENTO DE PESAJE INICIAL DE FILTROS

- Comprobar que la temperatura y la humedad relativa de la sala de balanzas se han mantenido dentro de los límites permitidos para las últimas 24 horas y que la balanza ha sido calibrada;
- El display de la balanza debe mostrar 0,0000g antes de cada peso (tarar si es necesario), los filtros deben encontrarse en un rango de entre 3,7 gramos a 4.7 g, por lo contrario descartar y devolver al fabricante (recomendación dentro de lo establecido por la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency. 1997, Quality Assurance Guidance Document 2.11, Monitoring PM10 in Ambient Air Using a High-Volume Sampler Method);
- Abrir planilla de registro actividades de laboratorio indicando nombre de analista, fecha y condiciones ambientales sala de análisis;
- Utilizar planilla de registro de pesos de filtros para anotar las masas de cada filtro;
- Al usar filtros codificados, estos tienen una serie numérica (Nº ID de filtro), este código debe ser anotado en forma correlativa en la planilla de registro de pesaje de filtros;
- Al utilizar filtros no codificados, se deben rotular correlativamente en la planilla de registro de pesaje de filtros;
- Se debe usar guantes antiestáticos, libres de polvo, durante toda la etapa de pesaje;
- Como primera actividad en cada jornada de pesaje, la balanza se saca del modo standby, debe mostrar la pantalla "0.0000g", se abre la cámara de pesaje para que se adapte a las condiciones ambientales, luego comenzar con una calibración externa utilizando una masa estándar de entre 3 y 5 g., las pesas patrón deben manejarse con pinzas de teflón utilizando guantes antiestáticos libres de polvo, el valor entregado se ingresa en el libro de control de calidad, es aceptable una diferencia de +/- 0.0005g. cuando presente valores fuera de estos rangos se debe investigar las causas;

- La balanza debe volver a 0.0000g entre cada pesaje de lo contrario volver a tarar. Cada vez que se instale una pesa estándar o un filtro en la cámara de pesaje se debe esperar algunos segundos hasta total estabilización del valor en el display;
- Luego de calibrada la balanza se inicia el pesaje de filtros en forma correlativa, se anota fecha, hora de la actividad, parámetros de humedad y temperatura, nombre del analista, y número identificador del filtro en las planillas correspondientes. Si se cuenta con interfase conectado desde la balanza a un PC, se ingresan los datos directamente desde el menú en la pantalla en planilla de cálculo;
- Se abre la cámara de pesaje y se deposita el primer filtro tomándolo desde la cabina de secado con una pinza lisa, se debe tener especial cuidado con los bordes del filtro ya que se dañan fácilmente. Debe quedar centrado en el soporte de pesaje para no alterar su peso. Cerrar la cámara y esperar a que el peso se estabilice por un período mínimo de 30 segundos antes de transferir el peso a la planilla de registro;
- Retirar el filtro de la balanza cierre la cámara y asegurarse de que el display muestre 0.0000g;
- Cada filtro es pesado como un control de calidad por duplicado. Se pesan de la misma manera, se registra el peso seguidamente al primero en el formulario. El rango aceptable de diferencia del duplicado debe ser ± 0.0028 g. Si los valores difieren, los filtros deben ser pesados nuevamente;
- Se verifica que todos los datos se transfirieron al formulario de registro como control de calidad y se anotan los parámetros ambientales finales al término de etapa de pesaje.

ACTIVIDAD N° _____

PLANILLA DE REGISTRO DE ACTIVIDADES

FECHA: _____
ANALISTA : _____

ACTIVIDAD: _____

INICIO:

HORA: _____
TMP: _____ °C
HR: _____ %

TERMINO:

HORA: _____
TMP: _____ °C
HR: _____ %

OBSERVACIONES: _____

Fecha de Muestreo	
--------------------------	--

N° de Serie Equipo _____		Codigo del Filtro _____								
Horómetro Inicial _____	Horas Muestreo	<table border="1"> <tr><td>Observaciones</td></tr> <tr><td>Levantamiento de Polvo _____</td></tr> <tr><td>Trabajos en el Sector _____</td></tr> <tr><td>Quemas _____ Precipitaciones _____</td></tr> <tr><td>Nublado _____ Despejado _____ Lluvia _____</td></tr> <tr><td>Filtro deteriorado _____</td></tr> <tr><td>Otros _____</td></tr> </table>		Observaciones	Levantamiento de Polvo _____	Trabajos en el Sector _____	Quemas _____ Precipitaciones _____	Nublado _____ Despejado _____ Lluvia _____	Filtro deteriorado _____	Otros _____
Observaciones										
Levantamiento de Polvo _____										
Trabajos en el Sector _____										
Quemas _____ Precipitaciones _____										
Nublado _____ Despejado _____ Lluvia _____										
Filtro deteriorado _____										
Otros _____										
Horómetro Final _____										
Volumen Inicial(corr.) _____	Volumen Muestreado									
Volumen Final (corr.) _____										
<table border="1"> <tr> <td>Instala</td> <td>Retira</td> </tr> <tr> <td>Operador _____</td> <td>Operador _____</td> </tr> <tr> <td>Fecha _____</td> <td>Fecha _____</td> </tr> </table>		Instala	Retira	Operador _____	Operador _____	Fecha _____	Fecha _____			
Instala	Retira									
Operador _____	Operador _____									
Fecha _____	Fecha _____									

Fecha de Muestreo	
--------------------------	--

N° de Serie Equipo _____		Codigo del Filtro _____								
Horómetro Inicial _____	Horas Muestreo	<table border="1"> <tr><td>Observaciones</td></tr> <tr><td>Levantamiento de Polvo _____</td></tr> <tr><td>Trabajos en el Sector _____</td></tr> <tr><td>Quemas _____ Precipitaciones _____</td></tr> <tr><td>Nublado _____ Despejado _____ Lluvia _____</td></tr> <tr><td>Filtro deteriorado _____</td></tr> <tr><td>Otros _____</td></tr> </table>		Observaciones	Levantamiento de Polvo _____	Trabajos en el Sector _____	Quemas _____ Precipitaciones _____	Nublado _____ Despejado _____ Lluvia _____	Filtro deteriorado _____	Otros _____
Observaciones										
Levantamiento de Polvo _____										
Trabajos en el Sector _____										
Quemas _____ Precipitaciones _____										
Nublado _____ Despejado _____ Lluvia _____										
Filtro deteriorado _____										
Otros _____										
Horómetro Final _____										
Volumen Inicial(corr.) _____	Volumen Muestreado									
Volumen Final (corr.) _____										
<table border="1"> <tr> <td>Instala</td> <td>Retira</td> </tr> <tr> <td>Operador _____</td> <td>Operador _____</td> </tr> <tr> <td>Fecha _____</td> <td>Fecha _____</td> </tr> </table>		Instala	Retira	Operador _____	Operador _____	Fecha _____	Fecha _____			
Instala	Retira									
Operador _____	Operador _____									
Fecha _____	Fecha _____									

ANEXO IV

INFORMACIONES BÁSICAS SOBRE MATERIAL PARTICULADO

ESTANDARES, COMPOSICIÓN Y ANÁLISIS QUÍMICOS

4 – Informaciones Básicas sobre Material Particulado

4.1 – Principales Elementos Potencialmente Presentes en las Emisiones

Una vez que las emisiones atmosféricas son el origen de los elementos presentes en el aire, y en esa consideración, responsables por la posibilidad de su deterioro, los principales elementos que pueden estar presentes en las emisiones de las empresas involucradas son Ca, K, Na, Mg, P, Mn, Fe, Al, Sr, Ba, Zn, B y Cu. Además, se pueden presentar los elementos Cd, Pb, V, Cr y Ni.

La biomasa puede contener presencia de metales tóxicos que debería ser tenida en cuenta, principalmente cuando es empleada en plantas de combustión a pequeña escala, que no suelen estar provistas de sistemas para el control de sus emisiones.

Los residuos de biomasa de origen industrial pueden contener concentraciones significativas de algunos metales tóxicos. Los residuos agrícolas presentan concentraciones en general muy bajas de esos elementos. De cualquier manera, el contenido de metales tóxicos en las materias primas, aunque se cuente con sistemas de control de emisiones, puede generar importantes emisiones al aire. La concentración de elementos traza presenta una gran variación entre materias primas utilizadas. Los residuos de madera, por ejemplo, presentan un alto contenido en cenizas e impurezas.

En residuos de olivar, en la poda de viña y en residuos de pinar se encontraron concentraciones de As. El orujillo y la corteza de pino presentan contenidos de Sb mientras que el Se encuentra principalmente en la poda de viña y en residuos de olivar. De manera general el contenido en Hg es muy bajo. Los residuos de pinar y la paja presentan la menor concentración en metales traza (Contreras, M.L.R, 2010).

La presencia de metales tóxicos en las emisiones para el caso en estudio está relacionada directamente a: los elementos que componen los suelos, a través de las acciones de máquinas y equipamientos que generan su suspensión y por la acción del viento en sitios sin cobertura vegetal; carga y descarga de materias primas, de

productos y subproductos del procesamiento industrial. En cenizas de la combustión de biomasa vegetal se encontró la presencia en pequeña escala de los elementos Pb, Cd, Zn, V, Cr y Ni, y en escalas menores aquellos elementos naturales del suelo que componen los macro y microelementos. De esa manera, esos elementos pueden estar presentes en las emisiones y así, componiendo las contribuciones de MP a sus receptores.

4.2 - Estándares para Material Particulado

Entre los contaminantes atmosféricos, el que presenta mayor asociación a eventos de mortalidad y morbilidad en la población es el material particulado – MP (Pope y Dockery, 2006). El MP se clasifica por la intensidad de sus impactos, lo que está directamente asociado a su diámetro: comúnmente como PTS – Partículas Totales de todos los diámetros, PM_{10} partículas menores a 10 micrones y $PM_{2.5}$ partículas menores a 2,5 micrones. De esa manera el MP_{10} se compone por una fracción gruesa (entre 2,5 y 10 micrones) y la fracción fina correspondiente a la fracción igual o menor a 2,5 micrones.

El MP primario es aquel procedente directamente de las fuentes de emisión y el MP secundario se genera por la interacción entre dos o más contaminantes primarios, o por sus reacciones con los componentes naturales de la atmósfera.

Los estándares primario y secundario de MP se refieren a las concentraciones del contaminante en el aire: los primarios con respecto a la protección de la salud pública y los secundarios definen niveles de calidad de aire necesarios para proteger el bienestar público de cualquier efecto adverso anticipado o conocido de un contaminante, considerando los perjuicios causados a los componentes del ambiente.

La base de regulación del MP es su clasificación en acuerdo con el diámetro aerodinámico de las partículas que los componen, que es la variable crítica para la probabilidad de deposición en el tracto respiratorio. Una gran evolución en la regulación del MP se dió cuando en 1987, la US EPA promulgó un estándar para MP Inhalable – PM_{10} y en 1997 un estándar para las partículas de tamaño hasta 2,5

micrones -PM_{2.5}, que se refieren aquellos materiales que una vez inhalados por el hombre, permanece en el tracto respiratorio.

La OMS – Organización Mundial de la Salud, en el año 2000 presentó guías sobre el PM_{2.5} y luego en 2005 una actualización y revisión incluyendo límites para esa fracción del MP.

Algunos ejemplos sobre estándares de PM₁₀ y PM_{2.5} se presentan a continuación:

- Chile presentó en 2012 nuevos estándares: PM₁₀ primario concentración de 120 µg/m³ para 24 horas (primario);
- Puerto Rico

PM₁₀ – Promedio Aritmético Anual 50µg / m³ – corresponde a estándares primario y secundario;

Promedio de 24 horas 150µg / m³ – corresponde a estándares primario y secundario;

PM_{2.5} - Promedio Aritmético Anual 15µg / m³ – corresponde a estándares primario y secundario;

Promedio de 24 horas 65µg / m³ – corresponde a estándares primario y secundario.

La US EPA ha propuesto una revisión de los estándares primarios actuales con respecto al material particulado, adicionando dos nuevos valores límite de concentración o estándares primarios para partículas finas (PM_{2.5}):

PM_{2.5} media anual de 15 mg/m³

PM_{2.5} promedio 24 horas de 50 mg/m³.

- USA estándares primarios

PM₁₀

150µg/m³ para 24 horas (cumplimiento 98% percentil de la distribución anual, promedio sobre 3 años) y 50µg/m³ promedio anual (promedio sobre 3 años).

PM_{2.5}

65µg/m³ para 24 horas (cumplimiento 98% percentil de la distribución anual, promedio sobre 3 años) y 15 µg/m³ promedio anual (promedio sobre 3 años).

4.3 – Composición Química del Material Particulado

En acuerdo con LANDIS y YU (1995), gran parte de los particulados urbanos contiene materiales traza, potencialmente tóxicos, como Pb, Cd, Ni, Se, V, Zn, Br, Co, Mn, entre otros. Estudios recientes indican que, a pesar de que todos los particulados primarios contribuyen en una menor proporción, sirven como núcleos de condensación en los cuales los particulados secundarios residen.

El material particulado se forma durante la combustión y se compone por varios compuestos de sulfatos, nitratos, carbono, amonio, hidrógeno, componentes orgánicos, metales (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe) y partículas de vapor (FIERRO, 2000).

Según MONTOLIO *et al.* (2005), existen procesos naturales de inserción de minerales a la atmósfera como la erosión, a *resuspensión* eólica y las emisiones volcánicas. Sin embargo, en la actualidad la carga de partículas procedentes de la actividad humana es cuantitativamente más importante. La actividad en centrales térmicas genera emisiones de carbono, silicatos complejos, cenizas, metales como Fe, Cu, Zn, Cr y los halógenos F, Cl, Br, e I.

El material particulado inhalable (conjunto de partículas de las modas fina y gruesa menores que 10 µm) se constituye de sulfatos, nitratos, amonio, aerosol carbonaceo, sales marinos (NaCl), elementos del suelo (Al, Ca, Fe, Si, Ti), metales (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn y otros) y agua (QUEIROZ *et al.*, 2007).

Los análisis químicos permiten la obtención de una serie de informaciones referentes al material particulado, como la identificación de los elementos químicos presentes (análisis cualitativo) y su cuantificación (análisis cuantitativo). A través de ellos también se pueden obtener informaciones sobre el origen, características y particularidades del material analizado. Una gran variedad de análisis químicos se disponen para identificar la composición del material particulado recolectado. Esas

técnicas se utilizan principalmente para determinar entidades funcionales como grupos iónicos y metales (ALMEIDA, 1999).

El molibdeno es emitido a través de la combustión de cenizas. Su presencia genera problemas eco toxicológicos especialmente en herbívoros (DAVIS, 1991 apud NORDBERG *et al.*, 2007, p.273).

El cobre puede causar irritaciones en el tracto respiratorio y la fiebre de humos metálicos. Modificaciones en el pulmón de trabajadores de viñedos han sido atribuidas al sulfato de cobre, pero todavía no se tienen explicaciones totales y finales sobre la acción del cobre.

Para el cobre, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (OSHA) estableció un límite para sus vapores en el aire de 0.1 miligramos por metro cúbico (0.1 mg/m^3) y 1 mg/m^3 para polvos de cobre y aerosoles de cobre soluble en el aire del trabajo, durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales.

El zinc es emitido para la atmósfera por procesos de combustión y fundiciones pero también la minería puede descargarlo al medio acuático. Síntomas respiratorios y fiebre con escalofríos pueden resultar de la inhalación de humos recientes de zinc, de latón u otros óxidos metálicos originando la fiebre de humos metálicos (Hunter, 1975 apud NORDBERG *et al.*, 2007, p.372).

La US EPA recomienda que la concentración de zinc en agua potable no sobrepase 5 partes de zinc por millón de partes de agua potable (5 ppm) para evitar mal sabor. La EPA también requiere que se le notifique de liberaciones al medio ambiente de 1,000 libras (5,000 en algunos casos) o más de cinc o de sus compuestos.

La contaminación por cadmio puede conducir a su acumulación en el cerebro y los tejidos del sistema nervioso, estando relacionado con el Alzheimer. La exposición aguda al cadmio y derivados por vía respiratoria produce una importante irritación bronquial y pulmonar con disminución a largo plazo de la función pulmonar. También origina toxicidad respiratoria con bronquitis, bronquiolitis y enfisema. La exposición materna al cadmio por vía respiratoria y digestiva incrementa la posibilidad de bajo peso al nacimiento y de retraso del crecimiento intrauterino. Algunos estudios han

evidenciado un aumento del riesgo, superior al esperado, de padecer cáncer de pulmón tras su inhalación crónica.

La US EPA fijó un límite de 5 porciones de cadmio por mil millones de porciones de agua potable (5 ppb). El FDA limita la cantidad de cadmio en colorantes a 15 porciones por millón (15 ppm). La OSHA limita la concentración de Cd en el aire del lugar de trabajo a 100 microgramos por metro cúbico ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) como humos del cadmio y 200 el μg cadmio/ m^3 como polvo de cadmio.

La US EPA determinó que el manganeso no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos y estableció una norma voluntaria para el nivel de manganeso en agua potable de 0.05 miligramos por litro (0.05 mg/L).

La OSHA ha establecido un límite de 5 miligramos de manganeso por metro cúbico de aire ($5 \text{mg}/\text{m}^3$) en el aire del trabajo como promedio durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales. En el Perú, el límite permisible es de $5 \text{mg}/\text{m}^3$, el cual no debe ser excedido en ningún momento durante la jornada de 8 horas.

En cuanto al Arsénico, la OSHA estableció límites de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el trabajo durante jornadas de 8 horas diarias, 40 horas a la semana. La OMS, el Departamento de Salud y Servicios Sociales de los Estados Unidos (DHHS) y la EPA han determinado que el arsénico inorgánico es carcinógeno en seres humanos. Otros efectos que resultan de una exposición crónica al arsénico son, en orden decreciente de importancia, lesiones en la piel no cancerosas, efectos en los nervios periféricos, y cambios cardiovasculares. Un envenenamiento agudo por arsénico está caracterizado por un severo daño gastrointestinal, producto de vómitos y diarrea y un colapso vascular general que produce shock, coma e incluso la muerte. La norma de la EPA establece un nivel máximo de 0.01 ppm para arsénico en agua potable.

El límite de la presencia de plomo en el aire, en acuerdo con la US EPA es de 1.5 microgramos por cada metro cúbico de aire ($1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), promedio para un período de 3 meses.

La OSHA ha establecido límites de 0.1 miligramos de mercurio orgánico por metro cúbico de aire (0.1 mg/m^3) en el ambiente del trabajo y 0.05 mg/m^3 para vapor de mercurio metálico en jornadas de 8 horas diarias y 40 horas semanales.

Para el Cr, la OSHA estableció límites de $500 \text{ }\mu\text{g}$ de compuestos de cromo (III) solubles por metro cúbico de aire ($500 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) en el área de trabajo, $1,000 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ de cromo metálico (0), y $52 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ de compuestos de cromo (VI) durante jornadas de 8 horas diarias, 40 horas a la semana.

La OSHA estableció un límite de 1 miligramo de níquel por metro cúbico de aire (1 mg/m^3) para níquel metálico y compuestos de níquel en el aire del trabajo durante jornadas de 8 horas diarias, 40 horas a la semana.

La OSHA, el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (NIOSH) y la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) han establecido un límite de concentración máximo en el trabajo de 0.5 miligramos de compuestos solubles de bario por cada metro cúbico de aire (0.5 mg/m^3) durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales.

4.4 – Análisis Químico del Material Particulado

El conocimiento de la composición química del material particulado es de fundamental importancia para el establecimiento de su potencialidad de comprometimiento deterioro de la calidad del aire y de todos ambientes que componen sus receptores.

El análisis de más bajo costo para conocer los elementos químicos presentes en el material particulado es el barrido a través de microscopía electrónica – MEB con espectrofotometría de energía dispersiva – EDS.

Las necesidades particulares de conocimiento de la cantidad de cada uno de los elementos tóxicos presentes en una muestra de MP conducen a otras técnicas de análisis, como ejemplo, la espectrofotometría de absorción atómica, Difracción de Rayos X, Espectrometría de Masa y la Espectroscopia de Emisión de Plasma.

La Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, introduce regulaciones para nuevos contaminantes, como las partículas de

tamaño inferior a $2,5 \mu\text{m}^3$, así como nuevos requisitos en cuanto a la evaluación y los objetivos de calidad del aire, teniendo en cuenta las normas, directrices y los programas correspondientes a la OMS.

La Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo establece valores de concentración de arsénico, cadmio, níquel y benzo(a)pireno en el aire ambiente a fin de evitar, prevenir o reducir los efectos perjudiciales del arsénico, del cadmio, del níquel y de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) en la salud humana y en el medio ambiente en su conjunto.

4.5 – Metodologías de Análisis

Actualmente no hay metodologías propuestas en términos nacionales e internacionales para análisis químicos específicos de muestras de material particulado obtenido a través de los equipamientos tradicionales para muestreo de material particulado en el aire ambiente – calidad del aire, a través de los muestreadores de alto volumen. Por estos motivos se sugiere que las metodologías de análisis de elementos químicos presentes en esas muestras tengan como referencia aquellas dictadas por la US EPA para análisis del material particulado recolectado en chimeneas y ductos de exhaustión, considerando que:

- los muestreos de material particulado en chimeneas y ductos de exhaustión se conducen con la obtención de muestras en los mismos medios en que se obtienen las muestras de material particulado en calidad del aire;
- US EPA se presenta como una agencia ambiental de alta confiabilidad mundial y que sus bases de información y metodologías dictadas se emplean como referencia internacionalmente.

De esa manera, la normativa sugerida para llevar a cabo análisis en muestras de material particulado es la US EPA METHOD 29 - DETERMINATION OF METALS EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES. Ésta establece que las muestras son digeridas y una cantidad apropiada es analizada para conocer su contenido de Hg por vapor frío a través de espectroscopia de absorción atómica y para contenidos de Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, P, Se, Ag, Tl, y Zn a través de espectroscopia de plasma o de absorción atómica. El horno de grafito de

espectroscopia de absorción atómica se usa para análisis de Sb, As, Cd, Co, Pb, Se y Tl, y si se requiere una gran sensibilidad analítica se puede usar el Cromatografía de Iones. Si la elección es absorción atómica, se pueden analizar todos los metales presentados. El ICP-MS se puede usar para análisis de Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, Ag, Tl y Zn.

Hay que tener en cuenta que el Fe puede conducir a una interferencia de espectro durante el análisis de As, Cr, y Cd a través de absorción atómica y que el Al puede interferir en análisis de As y Pb. De manera general, se pueden reducir esas interferencias a través de la dilución de la muestra analítica pero eso puede comprometer los límites de detección esperados. El método 6010, referencia 2 de la sección 16 presenta consideraciones para auxilio a esas posibilidades de interferencias.

Algunas normativas para análisis en muestreos de chimenea se presentan a continuación:

- Method US EPA 0029 – Determinación de metales en emisiones de fuentes estacionarias;
- Cetesb L9.213/95 - Fluoretos en ductos y chimeneas de fuentes estacionarias - método del electrodo específico;
- Method CTM 033 – Determinación de Cianetos
- Method 23 US EPA – Determinación de Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins y Polychlorinated Dibenzofurans;
- Method US EPA 101 A – Determinación de Mercurio;

4.6 – Resultados e Informes

Los resultados de los análisis de la composición química del material particulado deberán considerar las informaciones obtenidas durante el muestreo de MP, el cumplimiento de las normativas para su realización, el formato de presentación de resultados y de informes.

Cuando se realice un análisis cualitativo del material particulado muestreado, simplemente los resultados de los análisis indicaran la presencia de los elementos químicos, preferentemente aquellos indicados para análisis. Los elementos

indicados serán aquellos cuya probabilidad de componer el material particulado esté en acuerdo con la potencialidad de sus emisiones por las fuentes consideradas, o aquellos que se quiera investigar o comprobar su presencia o ausencia.

El resultado del análisis de la cuantificación de cada elemento presente en una muestra de material particulado, preferiblemente será también en acuerdo con aquellos previamente indicados, considerando lo que está presentado en el párrafo anterior.

Se debe tener en cuenta los materiales de los filtros utilizados para los muestreos de MP, de manera que esos materiales no conduzcan a interferencias en los resultados, como por ejemplo no usar filtros de cuarzo cuando se pretenda cuantificar Si en las muestras.

Los resultados finales de la cuantificación de elementos químicos presentes no será simplemente aquellos de los análisis químicos, sino aquellos que considerarán la cantidad de MP muestreado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se deberán incluir en los informes de resultados, comparaciones con referencia a estándares existentes para aquellos elementos, resultados de investigaciones acerca de su presencia, etc.