

Evaluación de la medición de emisiones con fines regulatorios en Colombia: dos estudios de caso

Assessment of Regulatory Emission Measurements in Colombia: Two Case Studies

Recibido 5 de octubre de 2009, modificado 9 de diciembre de 2009, aprobado 23 de diciembre de 2009.

Néstor Y. Rojas

PhD. Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.

nyrojasr@unal.edu.co ✉

Freddy Abel Vargas

MSc. Profesional de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire, Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá D.C., Colombia.

favargasc@gmail.com ✉

Andrés Mauricio Rodríguez

Estudiante de Maestría en Ingeniería Mecánica, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.

andmrodriguezr@unal.edu.co ✉

PALABRAS CLAVES

Acreditación, auditoría, medición de emisiones, muestreo isocinético, opacidad.

KEY WORDS

Accreditation, audit, emissions measurement, isokinetic sampling, opacity.

RESUMEN

Este artículo muestra una evaluación de los métodos de medición de emisiones de contaminantes del aire requeridos con fines regulatorios por el IDEAM y las autoridades ambientales en Colombia, en particular el muestreo de emisiones de material particulado en chimeneas y la medición de opacidad en tubos de escape de motores

ABSTRACT

This paper shows an assessment exercise of the air pollutant emissions measurement methods required by the IDEAM and environmental authorities, particularly the stack particulate matter isokinetic sampling and the diésel exhaust opacity measurement. The assessment methodology included the identification



Archivo, Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR).
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes.

diésel. La metodología de evaluación incluyó la identificación y valoración de factores críticos, la revisión de los controles actualmente existentes y un ejercicio práctico de evaluación de desempeño. Se detectaron deficiencias serias de entrenamiento del personal involucrado en los muestreos de chimenea, lo cual implica la necesidad de implantar un esquema de entrenamiento y certificación. Por otro lado, existe una falta de conocimiento particular de los equipos de medición de opacidad y sobre cómo cumplir la norma técnica aplicable,; esto indica que se necesita establecer un mejor procedimiento técnico de acreditación para los equipos de medición de opacidad en tubos de escape de motores diésel.

and assessment of critical factors, a review of currently applied controls and a practical performance assessment exercise. Serious training of the personnel in charge of isokinetic sampling resulted in misinterpretation of sampling methods, which means that a training and certification scheme is needed. On the other hand, the individual characteristics of the opacity meters and the appropriate design of the software to comply with the technical standards are not well known by suppliers. Therefore, better accreditation procedures for the technologies being imported are needed.

INTRODUCCIÓN

El seguimiento al cumplimiento de las normas y estándares de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes fijas y móviles —establecidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)— recae en las autoridades municipales como las Secretarías de Ambiente y en las Corporaciones Autónomas Regionales. A su vez, éstas dependen de la ejecución de mediciones de dichas emisiones por parte de terceros autorizados. En el caso de fuentes fijas, firmas de consultoría ambiental o laboratorios ambientales llevan a cabo los muestreos de emisiones de chimenea, mientras que las mediciones de gases de escape por fuentes móviles son realizadas por los Centros de Diagnóstico Automotor (CDAs). Aunque existen algunos procedimientos de aval y de control del desempeño de consultores, laboratorios ambientales y CDAs, no ha existido certeza por parte de las autoridades ambientales sobre la exactitud de los resultados generados, a pesar de sus implicaciones: sanciones, cierres de plantas, inmovilización de vehículos, etc.

Este artículo presenta una evaluación de la medición de dos tipos de mediciones de emisiones de contaminantes atmosféricos: i) el muestreo de emisiones de chimenea y ii) las mediciones de opacidad de las emisiones de los motores diésel. Las dos mediciones juegan un papel importante en los esfuerzos por controlar las emisiones del contaminante más crítico de los principales centros urbanos e industriales del país: el material particulado.

GENERALIDADES

MUESTREO DE EMISIONES DE CHIMENEA

El muestreo de emisiones de chimeneas industriales se ha hecho por más de dos décadas en Colombia siguiendo, fundamentalmente, los métodos de muestreo establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas

en inglés) [1], adoptados con simplificaciones en las normas colombianas, desde el Decreto 02 de 1982 [2], posteriormente derogado por el Decreto 948 de 1995 [3] y luego la Resolución 909 de 2008 [4], actualmente vigente. Ésta última establece la adopción del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas [5], el cual incorpora la mayoría de los componentes de los métodos de la US EPA.

La descripción de los métodos más importantes, conocidos como los métodos 1 al 5 pueden encontrarse en la página web de la US EPA [1]. Los métodos se basan en un equipo de gran tamaño y peso, que debe ser usado en plataformas alrededor de la chimenea, normalmente en condiciones incómodas. El equipo tiene un alto número de componentes que deben ensamblarse manualmente asegurando que se elimine cualquier posible fuga en las conexiones, lo que evita a la vez la rotura de partes de vidrio. Sus partes incluyen varios sensores de temperatura y un manómetro con tubo de Pitot que debe quedar correctamente orientado con respecto al flujo de los gases de chimenea. La caída de presión medida por el Pitot se utiliza para determinar la velocidad de salida de los gases de chimenea; por tanto, esta velocidad debe ser la misma en la boquilla de muestreo para determinar la concentración real de material particulado, lo cual define la condición de isocinetismo. En consecuencia, debe controlarse la tasa de flujo de succión de la muestra de gases de chimenea; esto se consigue mediante dos válvulas manuales y la aplicación de cálculos de mediana complejidad que deben realizarse *in situ*. El material particulado se recolecta en un filtro de fibra de vidrio o cuarzo previamente pesado, que debe instalarse con el mayor cuidado para evitar pérdidas o ganancias de material ajeno al que debe muestrearse y, posteriormente al muestreo, volver a pesarse en una balanza con buen nivel de exactitud y precisión. Adicionalmente, se utilizan reactivos químicos para mediciones simultáneas de gases de combustión.

MEDICIÓN DE OPACIDAD DE MOTORES DIÉSEL

El procedimiento de medición de opacidad de motores diésel ha sido incluido en la normatividad ambiental colombiana desde la década de 1980 y continúa presente en la Resolución 910 de 2008, vigente en la actualidad.

Para la medición de opacidad de las emisiones de motores diésel, los equipos y procedimientos seguidos son mucho más sencillos que los de medición de emisiones de chimenea y están consignados en normas técnicas como la SAE J1667 [6]. En Colombia, la Norma Técnica emitida por el ICONTEC para establecer las características del equipo y el procedimiento de medición de la opacidad es la NTC 4231 [7]. El equipo de medición de opacidad es un equipo pequeño y liviano, con pocos componentes, pocos requerimientos de conexiones manuales y sin mayores problemas de fugas. La medición es directa, basada en la señal generada por un fotorreceptor en respuesta a la cantidad de luz originada por un diodo emisor de luz (*led*, por sus siglas en inglés) y permite pasar el humo generado en el tubo de escape del vehículo. En los opacímetros de flujo parcial, el humo de escape del vehículo es transportado por una sonda hacia una cámara en la cual se expone a la luz del *led*, cuya longitud constituye uno de los parámetros más importantes en la relación entre la extinción de luz producida por el humo y la definición de la escala de opacidad. La señal producida por el fotorreceptor es amplificada y analizada por un programa de software para determinar el nivel de opacidad máximo en el transcurso de una aceleración libre.

ACREDITACIÓN DE MEDICIONES AMBIENTALES

Las experiencias internacionales han mostrado que la acreditación de laboratorios y firmas de consultoría es una de las herramientas más efectivas para asegurar la confiabilidad y calidad de las mediciones ambientales, entre ellas las utilizadas con fines normativos. En Colombia, la reglamentación define la acreditación de laboratorios ambientales como el reconocimiento formal de la competencia técnica y la

idoneidad de un laboratorio ambiental para que lleve a cabo funciones específicas, de acuerdo con los criterios establecidos [8]. En general, cada país tiene un esquema de acreditación propio, ya sea mediante una entidad acreditadora única o varias de ellas. En este último caso, cada país expide o adopta los requisitos que el organismo de evaluación debe cumplir y una entidad nacional acredita que éste los cumple. Los requisitos generales estándar para los organismos de acreditación de laboratorios se encuentran en la ISO/IEC 17011 [9], adoptada en Colombia como Norma Técnica NTC – ISO/IEC 17011 [10], y la ISO/IEC 17025 [11], adoptada como Norma Técnica NTC-ISO/IEC 17025 [12].

De acuerdo con el Decreto 1600 de 1994 [13], el IDEAM es la entidad competente para establecer sistemas de referencia para la acreditación de laboratorios y consultores que generan la información ambiental en Colombia, siguiendo los procedimientos establecidos en la Resolución 176 de 2003 [8]. Por su parte, la Resolución 292 de 2006 [14] establece los criterios específicos para la aceptación y acreditación de laboratorios que ejecuten mediciones relacionados con calidad del aire, entre ellos las mediciones de emisiones de chimenea y las mediciones de emisiones de fuentes móviles. En dichos criterios se incluyen las instalaciones físicas, equipos, personal, cadena de custodia e informes, entre otros, para llevar a cabo las actividades de toma de muestra, análisis y medición directa en campo. El procedimiento de verificación del cumplimiento de dichos criterios se desarrolla en el estudio de la solicitud del laboratorio interesado y una visita a sus instalaciones por el IDEAM.

COMPLEMENTOS A LA ACREDITACIÓN

Además de la acreditación, existen varias alternativas y complementos que varían de un país a otro para la fijación de estándares de medición de emisiones. En el caso de mediciones de emisiones de chimenea, se destaca el esquema *MCERTS* [15], establecido conjuntamente por el servicio de acreditación del Reino Unido (*UKAS*, por sus siglas en inglés) [16] y la

agencia ambiental del mismo país. Proporciona una red de estándares de soporte para el monitoreo de aspectos que influyen el medio ambiente y cobija los siguientes ítems:

- Estándar de desempeño que deben alcanzar los equipos de monitoreo.
- El nivel de formación que debe tener el personal de una empresa.
- Laboratorios y sitios de inspección acreditados con los lineamientos de estándar europeos e internacionales.

En Estados Unidos, los estándares de *The NELAP Institute (TNI)* han desarrollado requerimientos para pruebas de desempeño (17), en los que se reconocen dos categorías aplicables para evaluar la conformidad relacionada a la medición de campo de una muestra de emisiones: 1) Pruebas de desempeño basadas en calibración aplicadas para instrumentos de campo, para los cuales no es práctica la entrega de una muestra de representativa y controlada para llevar a cabo una prueba de aptitud. Por ejemplo, el Método 5 de la US EPA es usado para recolectar material particulado de fuentes fijas de emisión. El equipo de la caja de medición y la sonda son calibrados por un método previo y luego cuando se vuelve de campo, después de que el muestreo se completa. Durante su uso en el campo no hay ningún medio práctico con el fin de introducir una muestra de referencia adecuada para prueba de aptitud. 2) Pruebas de desempeño para instrumentos de campo para los cuales es posible la entrega de una muestra representativa y de calidad controlada, idónea para una prueba de aptitud.

Para las mediciones de campo en las que no es posible entregar una muestra con características necesarias para pruebas de aptitud (categoría 1), se deben tener esquemas de calibración y mantenimiento acordes con los estándares TNI. En este campo, caen todas las medidas que se realizan con muestreos isocinéticos de material particulado en chimenea [18].

Tanto en el Reino Unido como en los Estados Unidos de América, existen grandes asociaciones de empresas consultoras relacionadas con la medición de emisiones de chimenea. Estas asociaciones cumplen un papel fundamental en el aseguramiento de la calidad de las mediciones, los protocolos a seguir durante los muestreos, la formación del personal técnico a cargo de las mediciones y su evaluación de competencias. En el Reino Unido, la *Source Testing Association (STA)* está comprometida con el avance de la ciencia y la práctica del monitoreo de emisiones y con el desarrollo y mantenimiento de un servicio de alta calidad para los clientes de este sector [19]. Sus líneas de acción incluyen el apoyo al desarrollo del esquema MCERTS para aire, entrenamiento y capacitación para personas interesadas, eventos sobre temáticas del sector y la discusión sobre temas de seguridad en los muestreos. En Estados Unidos, la *Source Evaluation Society (SES)* cumple un papel equivalente, al desarrollar esfuerzos para asegurar altos estándares profesionales para sus miembros [20]. Su papel fue muy relevante en la producción de la norma ASTM D7036-04: Protocolo estándar para equipos de medición de emisión de chimenea [21], en la cual se especifican los criterios generales para un sistema de calidad que ayuda a asegurar la calidad de los datos tomados por las organizaciones encargadas de muestrear emisiones al aire.

METODOLOGÍA

Se definieron tres fases de trabajo para cada uno de los tipos de medición: i) la identificación de los componentes que puedan considerarse como críticos en el desempeño de la medición; ii) la revisión de las medidas actuales para controlar dichos componentes; y iii) evaluación en campo de los componentes críticos.

- i. Identificación de los componentes críticos en el desempeño de la medición: se llevó a cabo un análisis cualitativo del nivel de complejidad del equipo de medición, la preparación requerida del personal que ejecuta la medición, la cantidad de información por ser procesada, el tiempo de la medición y

su costo. Se otorgó una calificación en una escala de 1 a 5, en la cual 1 significa que el criterio es poco influyente y 5 que es un criterio crítico.

- ii. Revisión de las medidas actuales: se tuvieron en cuenta las normas técnicas y procedimientos de auditoría y acreditación que realizan el IDEAM y las autoridades ambientales, y se identificaron deficiencias de estas medidas.
- iii. Evaluación en campo de los componentes críticos: el procedimiento fue diferente para los dos tipos de medición. En el caso de los muestreos de chimenea, se invitó en 2008 a 15 consultores que ofrecen este servicio a un ejercicio de auditoría, realizado por un consultor internacional que está certificado por la Source Evaluation Society (SES). Esta auditoría incluyó la revisión del estado de los equipos y el desempeño del personal a cargo de las mediciones. En el caso de las mediciones de opacidad en motores diésel, se invitó a un conjunto de importadores / proveedores de opacímetros para permitir una confrontación detallada de la conformidad de los equipos con la NTC 4231, que incluyó la verificación de la longitud de onda de la luz emitida por el *led*, la tolerancia máxima a la paralelidad del haz de luz del fotorreceptor, la longitud de la trayectoria óptica efectiva (LTOE), la opacidad de los filtros de verificación de la linealidad, los tiempos de respuesta del conjunto, la transformación de una señal de prueba por parte del software asociada al equipo y el funcionamiento general del software que guía al operario, teniendo en cuenta el procedimiento de validación de la linealidad, cero y máxima opacidad.

RESULTADOS

- i) Identificación de componentes críticos en el desempeño de la medición

Los equipos utilizados por la gran mayoría de los consultores para realizar el muestreo isocinético son de

muy pocas marcas y responden a un alto grado de estandarización por sus fabricantes. El equipo es muy flexible, pues permite trabajar en muy diversas condiciones de operación. La posibilidad de manejo de la tecnología es buena, ya que responde a medición de parámetros básicos (temperatura, presión y caudal) y su relación con velocidades de gas. El equipo está sometido a condiciones de trabajo difíciles, que pueden desencadenar la deformación o descalibración de algunos de sus componentes. La complejidad de los métodos exige un alto nivel de formación y entrenamiento, tanto para quien maneja el equipo en la chimenea como para quien maneja la caja de control y quien procesa la información. El tiempo de preparación y ejecución de la medición es largo, pues implica un mínimo de tres días de trabajo e involucra múltiples etapas para completar el proceso. El costo es alto, dada la complejidad del método, el tiempo de ejecución, el costo de compra y mantenimiento de la tecnología y la formación del personal. La Tabla 1 muestra la calificación otorgada del grado de criticidad de los componentes de los muestreos de chimenea, de acuerdo con las observaciones anteriores.

| Criterio | Grado de criticidad (1: poco influyente – 5: crítico) |
|--|--|
| Número de componentes del equipo | 2 |
| Calibración / estado de componentes del equipo | 5 |
| Dominio / manejo de la tecnología | 1 |
| Formación del personal | 5 |
| Tiempo de ejecución / Número de etapas | 3 |
| Costo del muestreo | 3 |

Tabla 1. Identificación de componentes críticos para el muestreo de chimeneas.

En la medición de opacidad, los equipos tienen una diversidad media en marcas y modelos, y su grado de estandarización es alto, aunque depende de la norma técnica a la cual responda su diseño, sea la norma estadounidense o europea. La operación, sin embargo,

es muy poco flexible y está controlada por un programa de software que normalmente es cerrado porque está diseñado para evitar alteraciones por parte del usuario. El tiempo de ejecución de la prueba es muy corto y su costo es bajo. El requerimiento de entrenamiento específico de personal puede considerarse poco exigente, dada la sencillez del método de prueba. El equipo y el método de medición son también sencillos. El carácter de caja negra del equipo y el software, por lo tanto, constituyen el aspecto de mayor probabilidad de generación de las diferencias entre las mediciones hechas con diferentes equipos a una misma fuente. La Tabla 2 muestra la calificación otorgada del grado de criticidad de los componentes de las mediciones de opacidad, de acuerdo con las observaciones anteriores.

| Criterio | Grado de criticidad (1: poco influyente – 5: crítico) |
|--|--|
| Número de componentes del equipo | 1 |
| Calibración / estado de componentes del equipo | 5 |
| Dominio / flexibilidad de la tecnología | 5 |
| Formación del personal | 3 |
| Tiempo de ejecución / Número de etapas | 1 |
| Costo del muestreo | 1 |

Tabla 2. Identificación de componentes críticos para la medición de opacidad en las emisiones de motores diésel.

En resumen, la calibración y el estado de los equipos, así como la formación del personal son los aspectos más críticos para el muestreo de chimeneas. En el caso de la medición de opacidad, son la calibración y el estado de los equipos, y el dominio y flexibilidad de la tecnología.

ii) Revisión de las medidas actuales para controlar los componentes críticos

Para el muestreo isocinético, el componente de calibración de los equipos se controla actualmente

mediante la exigencia de certificados de calibración emitidos por laboratorios de metrología debidamente acreditados, tanto en Colombia como en el exterior, los cuales cubren el medidor de gas seco, el tubo de Pitot, los termopares, las boquillas de muestreo, los orificios críticos y la balanza analítica. Este control se realiza en las visitas de acreditación llevadas a cabo por el IDEAM. Para las calibraciones se cuenta con los laboratorios del CDT del gas y los de la Superintendencia de Industria y Comercio. La verificación del buen estado de los equipos, tales como sondas, material de vidrio, portafiltros, entre otros, se hace mediante auditorías ejecutadas por funcionarios de las autoridades ambientales o del IDEAM. Por otra parte, la verificación de la idoneidad del personal que ejecuta los muestreos tiene un componente documental por parte del IDEAM, que coteja el perfil del personal contra los criterios definidos en la Resolución 292 de 2006 (12), y una auditoría en campo realizada por las autoridades ambientales o por el IDEAM.

Para la medición de opacidad, la verificación de la conformidad con la NTC 4231 es llevada a cabo por las autoridades ambientales, normalmente en los Centros de Diagnóstico Automotor. Sin embargo, esta verificación es limitada, dado que existen parámetros de la medición de opacidad que no son directamente comprobados por laboratorios de metrología, de manera que las autoridades sólo hacen una verificación documental, normalmente entregada por los fabricantes de los equipos. Las autoridades centran su verificación en las características del software para evitar fraudes y alteración de los parámetros que transforman la señal producida por el fotómetro.

iii) Evaluación en campo de los componentes críticos
- *Muestreo de emisiones de chimenea*

Las observaciones más importantes del ejercicio se resumen en la Tabla 3:

| Observación genérica | Observaciones Particulares |
|--|---|
| Diversas interpretaciones de los métodos | - Para medición de NOx se observó que la presión de vacío de los balones, antes de tomar la muestra, no es uniforme. |
| | - Para la medición de NOx, no existe uniformidad en el número de muestras por tomar. Se observaron mediciones de 2, 3 4, y 6 muestras. Aunque el método no lo explicita claramente, se recomienda usar 6 balones. |
| | - La purga de la línea de muestreo para NOx no se realizaba adecuadamente. En algunos casos, no se realizó. |
| Falta de dominio de los métodos: Aunque en general los métodos se conocían, se evidenció en algunos grupos falta de experticia | - En el muestreo preliminar se observó que algunos grupos no precalentaron la sonda, lo cual causó condensación de agua en el ciclón, agua que se pierde en la cuantificación final. |
| | - En general no se midió flujo ciclónico. Cuando se llevó a cabo la medición, la técnica no se ajustó a lo recomendable. |
| | - Como es natural, se presenciaron fugas. Sin embargo, no todos los equipos de trabajo tenían claro cuál era el límite aceptable para realizar la medición (0.02 cfm). |
| | - No todos los grupos de trabajo tenían experiencia manipulando los analizadores ORSAT. |
| | - Se pudo evidenciar el uso de reactivos que no estaban de acuerdo con el método para SOx, así como el uso de reactivos a diferentes concentraciones de las prescritas. |
| | - La manera de solucionar las fugas, no era ordenada ni sistemática, lo que implica pérdida de tiempo. |
| | - Se evidenció falta de conocimiento de las temperaturas que soportan los materiales como teflón o vaselina. El uso de vaselina no es recomendable por su bajo punto de fusión. |
| | - En la recuperación de la muestra, no se presenció lavado de la mitad del portafiltras expuesto al material particulado. |

Tabla 3. Observaciones del ejercicio de auditoría a las mediciones de emisiones de chimenea.

En resumen, no se observaron deficiencias serias en el estado de los equipos de muestreo, pero sólo un 20% de los consultores mostró un desempeño completamente competente en la ejecución de las mediciones de chimenea. La baja tasa de desempeño está asociada, en términos generales, con un manejo incompleto y poco profundo de los conceptos sobre los cuales se fundamenta la tecnología y los métodos de medición. Se detectó una falta de transferencia de conocimiento por parte de algunos ingenieros encargados de la medición a su personal técnico, lo cual evidencia una deficiencia en las prácticas de capacitación del personal de campo.

- Mediciones de opacidad

Sólo el 10% del conjunto de equipos puestos a prueba presentó conformidad inicial con la NTC 4231. El 50% presentó no conformidad en los valores nominales de los filtros de verificación de linealidad. El 40% de los equipos evaluados no realiza correcciones por LTOE, lo que implica que el reporte de opacidad no

corresponde con el valor real que debería reportar. El 30% de los equipos presentaron tiempos de respuesta diferentes al tiempo estipulado en la NTC 4231.

El 30% de los equipos no realizó medición durante todo el ciclo de aceleración, por lo cual se infiere que estos equipos descartan periodos del ciclo en los cuales puede estar presente el valor máximo de opacidad. Estos equipos reportan un valor de opacidad correspondiente a un máximo local, mas no el máximo absoluto, que sería el valor correcto a reportar. Sólo el 40% de los equipos tiene implementado correctamente el filtro pasabajos de segundo orden, debido principalmente a un tiempo de respuesta inapropiado.

En general, estos resultados permiten decir que existe un desconocimiento de las variables de diseño de cada equipo y del manejo de los filtros de verificación de linealidad por parte de los proveedores. Existen deficiencias en la interpretación de la NTC 4231 con respecto al método de calibración, ajuste y verifica-

ción de linealidad, al momento de programar el software para la transformación de la señal.

CONCLUSIONES

Este estudio demostró que existen serias deficiencias en la ejecución de los muestreos de emisiones de chimenea y mediciones de opacidad de las emisiones de motores diésel, las cuales justifican la inclusión de actividades complementarias en los procedimientos aplicados por las autoridades ambientales para auditar y acreditar tales mediciones.

Dado que la principal deficiencia encontrada en el caso del muestreo de emisiones de chimenea está relacionada con la formación del personal que planea y ejecuta las mediciones, es necesario establecer complementos al proceso de acreditación y auditoría centrados en la creación de cursos de capacitación específicos y en pruebas de aptitud o certificación técnica, tanto para la ejecución de los muestreos como para su supervisión, planeación e interpretación, en los que se haga un énfasis en la comprensión de los fundamentos físico-químicos aplicados. Serán también necesarios cursos de formación y pruebas de aptitud para los auditores de las autoridades ambientales y del IDEAM. Se sugiere obtener soporte del SENA, de universidades y de instituciones internacionales como la STA o la SES, para la generación y ejecución de estos cursos de entrenamiento y pruebas de aptitud.

En el caso de las mediciones de opacidad, se hace necesario aplicar la misma metodología de verificación de conformidad con la NTC a los modelos restantes de opacímetros, aquellos que no hicieron parte de este ejercicio, y a los modelos que sean adquiridos en adelante. Se requiere también la adquisición de un filtro patrón de opacidad que se utilizará en un laboratorio nacional de mediciones ópticas, contra el cual puedan ser comparados y calibrados periódicamente los filtros de verificación de linealidad de los diferentes proveedores, CDAs y otros usuarios de opacímetros, entre ellos, las mismas autoridades ambientales. Adicional-

mente, se identificó la necesidad de hacer algunas modificaciones a la NTC 4231 y llevar a cabo mediciones de campo para determinar si es necesario sugerir nuevos niveles máximos permisibles de opacidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “CFR Promulgated Test Methods (TM)”. Environmental Protection Agency. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate.html>
- [2] “Decreto 2 de 1982”. Presidencia de la República. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=21973>
- [3] “Decreto 948 de 1995”. Presidencia de la República. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1479>
- [4] “Resolución 909 de 2008”. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31425>
- [5] *Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: http://www.ideam.gov.co/biblio/paginaabierta/Protocolos_isocineticos.PDF
- [6] *SAE J1667. Snap-Acceleration Smoke Test Procedure for Heavy-Duty Diesel Powered Vehicles, Recommended Practice*. SAE International. Enero 1 de 1996.

- [7] *Norma Técnica Colombiana NTC 4231. Calidad de aire. Procedimiento de medición y características de los equipos de flujo parcial necesarios para evaluar las emisiones de humo generadas por las fuentes móviles accionadas con diésel. Método de aceleración libre.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. Bogotá. Agosto de 2008.
- [8] *Resolución 176 de 2003.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Consultado el 15 de septiembre de 2009. Disponible: http://www.ideam.gov.co/apc-aa/img_upload/8f57051957af91be61e93e11638ff039/Resol_0176_de_2003.pdf
- [9] *ISO/IEC 17011. Conformity assessment - General requirements for accreditation bodies accrediting conformity assessment bodies.* International Organization for Standardization, 2004.
- [10] *NTC-ISO/IEC 17011. Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los organismos de acreditación que realizan la acreditación de organismos de evaluación de la conformidad.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Bogotá, 21 de septiembre de 2005.
- [11] *ISO/IEC 17025. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.* International Organization for Standardization, 2005.
- [12] *NTC-ISO/IEC 17025. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Bogotá, 8 de noviembre de 2005.
- [13] “Decreto 1600 de 1994”. Presidencia de la República. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=21606>
- [14] “Resolución 292 de 2006”. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: http://www.ideam.gov.co/apc-aa/img_upload/8f57051957af91be61e93e11638ff039/Resoluci_n_0292_de_2006___Criterios_aceptaci_n_Aire_y_Suelo.pdf
- [15] *Monitoring with isokinetic samplers.* United Kingdom Environment Agency. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.environment-agency.gov.uk/business/regulation/31843.aspx>.
- [16] *UKAS* - United Kingdom Accreditation Service. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.ukas.com/>
- [17] *The NELAC Institute.* Consultado el 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.nelac-institute.org/>
- [18] “Performance testing requirements for field air measurement”. The NELAC Institute. Revisión 17. Weatherford, TX, EEUU. Julio 12 de 2002.
- [19] *Source Testing Association (STA).* Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.s-t-a.org/>
- [20] *Source Evaluation Society.* Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.sesnews.org/>
- [21] *ASTM D7036-04 Standard Practice for Competence of Air Emission Testing Bodies.* Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2009. Disponible: <http://www.astm.org/Standards/D7036.htm>