



ARTÍCULO ORIGINAL
ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO Y DE LA PRODUCCIÓN

Propuesta de procedimiento para el Control de Emisiones Atmosféricas en ambientes urbanos

Procedure proposal to Control atmospheric emissions in urban environments

Ibis Cruz-Virosa^I, Juan José-Cabello Eras^{II}, Luis Sorinas-González^{III}, Ana del Rosario Varela-Haro^{IV}, Inocente Costa-Pérez^V

I Universidad de Cienfuegos. MES

E-mail: icvirosa@ucf.edu.cu,

II Universidad de la Costa. Colombia.

E-mail: jjcabe2013@gmail.com

III Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. MES.

E-mail: sorinas@instec.cu

IV Unidad Territorial de Normalización (UTN). Cienfuegos. CITMA.

E-mail: ana@otncfg.cu

V Dirección Provincial de Economía y Planificación. MEP

E-mail: inocente@enet.cu

Recibido: 10/05/2012

Aprobado: 18/07/2012

RESUMEN

El presente trabajo propone un procedimiento para implementar el proceso de control de emisiones de contaminantes atmosféricos criterios desde fuentes fijas a escala local. Se utilizan los métodos: tormenta de ideas, gestión por procesos, ciclo PHVA, diagnóstico, diagrama de Pareto y mejora continua; así como el trabajo en equipo y la cooperación entre los actores claves. Su aplicación permite: elaborar el Inventario de Emisiones de fuentes fijas, realizar mediciones y los cálculos al 80% de las fuentes seleccionadas (Calderas), en este trabajo se analizó la ciudad de Cienfuegos. Se obtuvo el volumen total de gases secos y húmedos, el flujo y la concentración de cada contaminante emitido. Los métodos utilizados para la cuantificación de las emisiones de los contaminantes primarios del aire, pueden ser generalizables en el entorno urbano cubano, para controlar las emisiones de fuentes fijas de combustión que representan el mayor porcentaje en las ciudades.

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN AMBIENTES URBANOS

Palabras Claves: control de emisiones, emisiones de contaminantes atmosféricos, fuentes fijas de contaminantes.

ABSTRACT

The present work proposes a procedure for implementing the control of primary atmospheric contaminant emissions process from fixed sources at a local scale, using: brainstorming, management procedure, cycle PHVA, diagnoses, diagram of Pareto and continuous improvement, the team work and the cooperation between all the interested parts. The application of this process allows: to create an inventory of the pollutants emissions from fixed sources, realizing measurement and calculations at 80% at the selected Boilers, in this work is analyzed Cienfuegos city. Obtain: the total volume of gases, dry and wet, the flow and concentration of just one pollutant emission. The method for quantification of the common air pollutant emissions can be generalizing in Cuban urban environment for control of emissions from fixed sources combustion that represent the most percent in the city.

Key Words: emissions control, atmospheric contaminant emissions, contaminant fixed sources.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas ambientales que enfrenta la humanidad, particularmente en zonas urbanas cobra cada vez mayor importancia, por la marcada tendencia al incremento de la población residente en las ciudades [1].

La relación entre la contaminación atmosférica y la salud humana es reconocida internacionalmente por lo que su monitoreo y control en lugares de alta concentración poblacional es de vital importancia [2]. La Estrategia Ambiental Nacional establece explícitamente en uno de sus objetivos: "Reducir la tasa de mortalidad atribuible a enfermedades respiratorias" [3].

La gestión de la calidad del aire es una tarea complicada y costosa ya que el fenómeno de la dispersión de la contaminación atmosférica depende de factores como:

- la variabilidad climática, la orografía
- la escala a que se produce, la naturaleza de la fuente de emisión (fijas y móviles)
- los fenómenos sinérgicos que se analizan al combinarse determinado tipo de contaminación y de los equipos utilizados en el monitoreo tanto de las emisiones como de las inmisiones¹.

En los países desarrollados la Calidad del Aire Urbano se asegura a través de un Sistema Integrado de Gestión que se materializa en ^{2,3} [4; 5] :

¹ López, M, *Introducción a la Gestión de la calidad del aire* [en línea], Instituto de Meteorología. Centro de química y contaminación atmosférica, 2006

1. Regulaciones vinculantes que establecen los límites a las emisiones de contaminantes atmosféricos para las actividades productivas y de servicios.
2. Inventarios de Emisiones y monitoreo sistemático de estas.
3. Sistemas de monitoreo de inmisiones en zonas críticas.
4. Soporte Informático para la interconexión en tiempo real a la red de monitoreo para el almacenamiento y procesamiento de la información.
5. Base legal que establece la Evaluación de Impacto Ambiental y permite la elaboración de estrategias para minimizar efectos de contaminación en nuevas actividades de producción y servicios.
6. Sistemas de Alarma ante situaciones puntuales de riesgos de aumento de la concentración de contaminantes que afecten la salud humana o los ecosistemas.

En los países en desarrollo como Brasil, Argentina y Chile, se han implementado iniciativas para la Gestión de la Calidad del Aire Urbano con el patrocinio de Instituciones y Agencias Internacionales de países desarrollados, que han realizado investigaciones en ciudades [5; 6]. Particularmente en Ciudad de México, Tijuana y Cali se han instalado redes de control conformadas por numerosas estaciones fijas, sofisticadas y costosas que permiten la acumulación de datos y la toma de decisiones en tiempo real [6].

De forma general la gestión de la calidad del aire en los países en desarrollo es deficitaria y se caracteriza por:

- Carencia de equipamiento mínimo para el monitoreo de parámetros.
- Incumplimientos u obsolescencia de las regulaciones que establecen los límites de emisiones de contaminantes.
- Inexistencia de procedimientos para la gestión.

La importancia de desarrollar modelos de gestión para la Calidad del Aire en ambientes urbanos es destacada por varios autores, al igual que las barreras para su implementación en países con pocos recursos financieros: Vilalta, Jayaratne, Parshall, Hatzopoulou y Miller, Godowitch, Zhang y Batterman, Hu, Zheng y Moussiopoulos [7].

En Cuba los **Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Nacionales** se elaboran con las metodologías recomendadas, para estos fines, por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y sus resultados se publican en la página Web del Instituto de Meteorología INSMET [8]. Sin embargo, estas metodologías pueden ser utilizadas para estudios globales, no así para regionales o locales que deben tener mayor precisión. Existe una metodología para elaborar los inventarios a nivel local, pero estos no se realizan debido a la dificultad para reportar la cuantificación de las emisiones [9]. Por lo cual, no aparecen los inventarios como dato ambiental en los Anuarios Estadísticos Provinciales, publicados por la Oficina Nacional de Estadística ONE. Esta situación se reconoce en la literalmente en la Estrategia Ambiental Nacional, la cual plantea: "No existe un sistema adecuado para el monitoreo de la calidad de agua fresca y salada, de las emisiones a la atmósfera y su información a los decisores para la mejora de la calidad de vida de la población"

Los centros como Cubaenergía, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INSHEM) enfocan sus trabajos en el estudio de la calidad del aire, pero no se reportan trabajos dirigidos a su gestión. En la NC 39 Anexo 1 se establece una metodología para la elaboración de inventarios puntuales de contaminantes atmosféricos de fuentes fijas [10]. Su principal barrera de

² EPA. Agencia de Protección Ambiental, U,S, «Datos Calidad del Aire». Enero 2011. [en línea], 2011

³ Redes de Control AMIGO, L. España: 2002.

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN AMBIENTES URBANOS

implementación es la carencia de instrumentos de medición confiables y disponibles para la labor. Esta norma puede ser actualizada porque data de hace 30 años.

El Control de Emisiones en general se basa en la caracterización cuantitativa de las emisiones y sus efectos mediante las siguientes acciones:

- Elaboración de Inventarios de Emisiones.

Elaboración y aplicación de regulaciones y normativas que establecen los límites máximos de emisiones para los procesos de producción y servicios.

Estudio de la Línea Base Ambiental y seguimiento del comportamiento de los parámetros en el tiempo.

Estudios epidemiológicos para conocer el comportamiento de enfermedades relacionadas con la mala calidad del aire.

Investigaciones científicas para conocer afectaciones provocadas por la contaminación atmosférica a la fauna, flora, los ecosistemas y las construcciones.

El presente trabajo tiene por **Objetivo**: Proponer un procedimiento que permita organizar como proceso el Control de Emisiones Atmosféricas, a través de un Reporte cuantificado de las emisiones de fuentes fijas (Inventario a escala local), salvando la barrera que representa la baja disponibilidad de equipos de medición.

2. El proceso de Control de Emisiones Atmosféricas

En el Control de las emisiones atmosféricas se busca información para la cuantificación de los contaminantes atmosféricos primarios liberados directamente de los focos fijos o móviles y se calculan los secundarios producidos por reacciones químicas; a este proceso se le conoce como:

Inventario de Emisiones Atmosféricas

2.1 Inventario de Emisiones Atmosféricas (IEA)

Se identifica y caracteriza cuantitativamente las emisiones de contaminantes atmosféricos de los focos fijos presentes en el perímetro urbano y suburbano y la estimación de las emisiones de los focos móviles en las zonas más críticas de la ciudad. Es importante destacar que internacionalmente el grupo de documentos normativos aprobados por la ISO, garantizan la uniformidad de la información del **Inventario [11; 12; 13]**. El procesamiento de la misma con un nivel de exactitud aceptable, por lo que su adopción en el país puede introducir cambios en los métodos de trabajo y servir de base para futuros estudios.

2.2 Monitoreo de Emisiones Atmosféricas

El monitoreo de emisiones de fuentes fijas consiste en la medición y registro de los parámetros que influyen en las emisiones de contaminantes atmosféricos de un foco particular. Esta actividad se realiza con equipos sofisticados y costosos que deben tener un aseguramiento metrológico adecuado.

2.3 Cuantificación del Inventario de Emisiones Atmosféricas de Fuentes fijas

La estimación de emisiones de fuentes fijas se realiza a través de los siguientes métodos [14]:

- Monitoreo sistemático de las emisiones mediante mediciones directas:

- Estimación de las emisiones a partir de modelos matemáticos basados en las ecuaciones que rigen los procesos de combustión.
- Estimación de emisiones mediante factores de emisión, calculados según las características de las tecnologías y de la operación.
- Balances de masa.

Aunque el método deseado sea el basado en las mediciones directas, la selección de uno u otro toma en cuenta aspectos trascendentales como: la disponibilidad de datos, el uso que se le dará al Inventario, el riesgo que representa la emisión y muy especialmente los recursos económicos de que se dispone para la adquisición del equipamiento de medición.

Una representación del Proceso **Control de Emisiones**, con sus entradas, salidas, controles y recursos se presenta a continuación en la Figura 1.

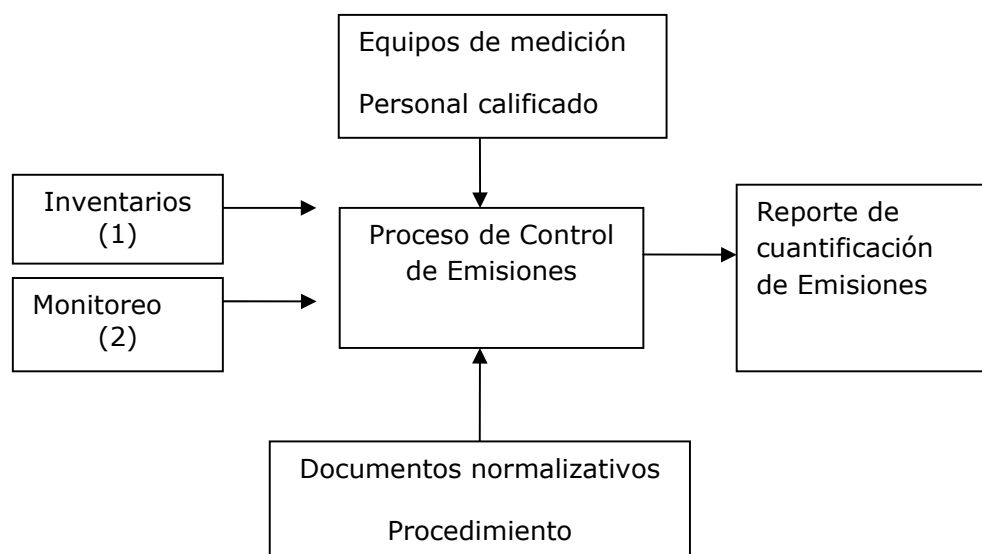


Figura 1. Proceso de Control de Emisiones.

2.4 Proceso de Control de Emisiones en Cuba

En nuestro país hay grandes dificultades para la adquisición, mantenimiento y operación de equipos para medir emisiones, lo que hace prácticamente imposible establecer un programa de monitoreo continuo en todas las fuentes emisoras. Obstante, en algunos de los grandes emisores se realizan EIA y monitoreo sistemático de las emisiones, a pesar de no existir regulaciones vinculantes para ello.

Una alternativa a la situación descrita en el párrafo anterior puede ser aprovechar los instrumentos disponibles en los territorios con un monitoreo periódico (ciclo de un año) y realizar un inventario tomando los resultados de las mediciones para la estimación de las emisiones su validación y corrección.

Un estudio realizado en la ciudad de Cienfuegos permitió determinar los equipos aptos para este monitoreo y la disposición de las entidades a facilitar su utilización. Los resultados se muestran en la tabla 1.

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN AMBIENTES URBANOS

Tabla 1. Resultados de la Encuesta sobre Existencia de Equipos de medición. Ciudad de Cienfuegos.

| Equipo | Método | Principio | Localización |
|--------------|---------------------|--|--|
| Equipo Orsat | Análisis Químico | Absorción del contaminante mediante una reacción con diferentes compuestos químicos | ALFICSA. |
| TESTOS | Análisis Automático | El elemento de medición es un sensor electroquímico que contiene un electrodo de trabajo (ánodo), un contra-electrodo (cátodo) y un electrodo de referencia en un electrolito ácido. | Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes. Fabrica de Cemento. Universidad de Cienfuegos. Grupo de Generación Distribuida. Empresa Eléctrica. ALASTOR. |

Tomando estos resultados como base, para el caso de las emisiones de focos fijos, se establece un Plan de estimación de las mismas a partir de datos recogidos en el Sistema Estadístico de la entidad productiva o de servicio en cuestión y se elabora un Plan de monitoreo periódico (una vez al año) con equipos de medición obtenidos a partir de la aplicación de mecanismos de cooperación ampliamente reconocidos en nuestro territorio. Esto contribuye también al cumplimiento de uno de los dos objetivos de la Estrategia Ambiental Nacional cuando establece: "La emisión de material particulado (PST-PM₁₀), sulfatos, nitratos, calcio, SO₂, CO₂, NH₃, H₂S, O₃ y óxidos de nitrógeno serán monitoreadas".

II. MÉTODOS

Como primer paso en la propuesta de Procedimiento para el Control de Emisiones Atmosféricas se realizó un Diagnóstico con el personal de las instituciones responsables del tema, se aplicaron diferentes encuestas con 5 criterios para la evaluación, donde los aspectos evaluados con puntuación de: 1 son el menor porcentaje o no existencia del criterio y 5 mayor porcentaje o existencia del criterio. El método para obtener los resultados consiste en tomar la cantidad de aspectos evaluados con un criterio y multiplicarlo por la cantidad de encuestados que emitieron el criterio. **Ejemplo:**

Encuesta para Especialistas de entidades.

Total de aspectos evaluados: 7

Cantidad de encuestados que evaluaron con el criterio 1: 18 para los aspectos (3, 5, 6 y 7) y 13 para el aspecto 4.

Realizando los cálculos obtenemos:

18 encuestados x 4 aspectos = 72

13 encuestados x 1 aspecto = 13

Resultado: 72+13=85, que corresponde al primer valor de la tabla.

En la Tabla 2 se exponen los aspectos evaluados, cantidad de encuestados según tipo de encuesta y los resultados que permiten llegar al diagnóstico de la situación en la ciudad de Cienfuegos.

Tabla 2. Encuestas sobre Control de Emisiones dirigidas a las partes interesadas.

| No | Tipo de encuesta | Aspectos evaluados | Cantidad encuestados | Resultados | | | | |
|----|--------------------------------------|--------------------|----------------------|------------|---|----|---|----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Especialistas de entidades | 7 | 18 | 85 | - | 5 | - | 36 |
| 2 | Especialistas del CITMA | 10 | 9 | 56 | 4 | 15 | 4 | 10 |
| 3 | Especialistas del Gobierno Municipal | 3 | 5 | 10 | - | 5 | - | - |

Los resultados del Diagnóstico se presentan a continuación:

- Poco conocimiento del tema a todos los niveles.
- Baja disponibilidad de Equipos.
- Pocos documentos normativos.
- Gran importancia a la contaminación atmosférica local.
- No se han trazado estrategias para el control de la contaminación atmosférica.
- Pocas acciones para el control de las emisiones puntuales.

Como existe disposición para la cooperación, en ejercicio de trabajo en grupo aplicando la Tormenta de Ideas con los participantes en las encuestas se consensuaron como imprescindibles las siguientes acciones ⁴:

1. Realizar una investigación para conocer los instrumentos de medición aptos para el monitoreo de emisiones que existen en el territorio.
2. Potenciar estrategias de cooperación interempresariales para el monitoreo de emisiones.
3. Identificar y caracterizar todos los focos emisores de fuentes fijas presentes en el territorio.

La propuesta de Procedimiento también toma en cuenta documentos normativos nacionales e internacionales [11; 12; 13]. Se utiliza en la estructura un enfoque de proceso aplicando la herramienta de calidad orientada hacia la mejora continua, conocida como Ciclo de Deming que establece las etapas a considerar en la gestión: Planificar, Hacer, Verificar, Actuar ⁵.

Los Objetivos del procedimiento son: Asegurar la realización de la estimación de contaminantes atmosféricos en las entidades generadoras y su validación para integrar en un Inventario único las fuentes de emisiones del territorio, su evaluación por el personal especializado, la comunicación del resultado a quien decide y la implementación de acciones que contribuyan a mejorar la calidad del aire en el territorio.

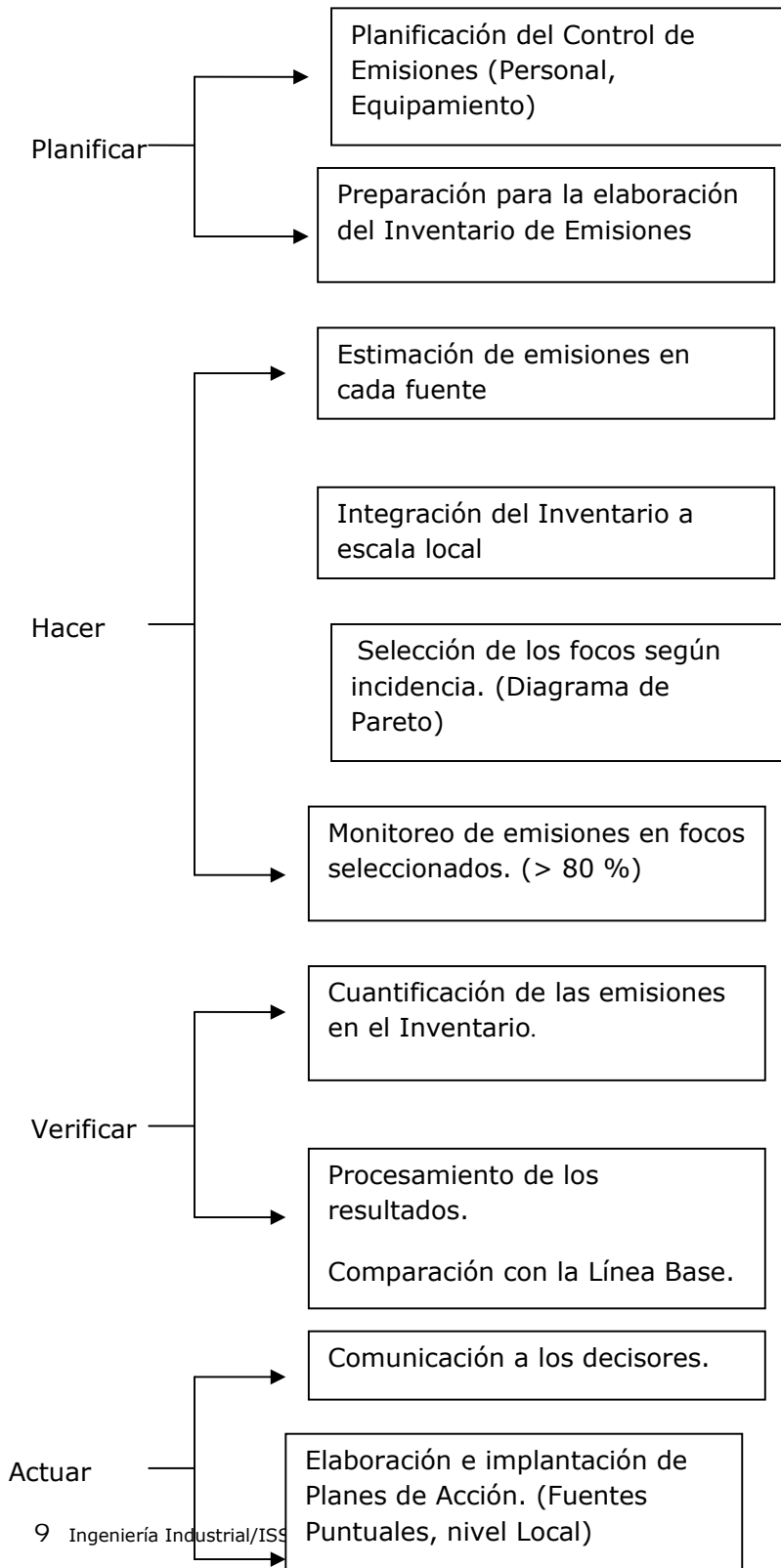
La aplicación del procedimiento propuesto debe tener una frecuencia anual como plazo mínimo para conocer el comportamiento de los contaminantes emitidos por cada entidad en ese periodo y su influencia en la calidad del aire en la ciudad; las actividades que incluye se muestran en la figura 2.

Figura 2. Procedimiento para el Control de Emisiones Atmosféricas en ambientes urbanos

⁴ BORROTO, A.; RUBIO, A. , *Combustión y Generación de Vapor* [en línea], Universidad de Cienfuegos, 2007

⁵ Deming, W.E. , *Calidad, Productividad y competitividad la salida de la crisis* (Díaz de Santos), MADRID, 1989.

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN AMBIENTES URBANOS



Metodología.

Entradas:

Paso 1 Identificación de fuentes fijas. Inventario de Emisiones.

En el Inventario de focos de emisión se identifican todas las fuentes fijas enclavadas en el territorio, debe actualizarse cada año al iniciar un nuevo ciclo PHVA.

En la preparación de las entidades para la estimación de emisiones es necesario realizar una capacitación al personal involucrado donde se explique la importancia del proceso y sus actividades, se verifica la disponibilidad de los datos requeridos utilizando el modelo que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Modelo Primario de recolección de datos. Referencia NC 39: 1999.

| | | | | | | |
|----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-------------|---------------------------|
| Entidad | | | | | | |
| Dirección | | | | | | Fecha |
| Equipos | | | | | | |
| Tipo de Equipo | | | | | | |
| Datos Técnicos | Altura chimenea (m) | Diámetro Chimenea (m) | Gasto por la chimenea | Temp. Salida de gases (°C) | Combustible | Tiempo de Operación (h/d) |
| | | | | | | |
| Observaciones | | | | | | |
| Especialista | | | | | | |

Paso 2 Medición de Emisiones de Fuentes Fijas. Monitoreo

La estratificación de los focos según su incidencia en las emisiones totales en una zona urbana determinada permite identificar los que mayor incidencia tienen en la contaminación lo que sirve de base para la elaboración del Plan de Monitoreo de Emisiones. Este plan consiste en la realización de mediciones in situ a la mayor cantidad posible de focos, dando prioridad a los de combustión que representen hasta el 80% o más de las emisiones totales, aplicando el Principio de Pareto [15].

Paso 3: Cálculos de Emisiones Fuentes Fijas. Software.

Los cálculos para la estimación de las emisiones de los gases de combustión se realizan a partir de la estequiométrica de la reacción de combustión según las Ecuaciones (1, 2 y 3) tomadas de, también se tomó en cuenta la **NC TS 803:2010** y los siguientes datos:

1. Tipo de combustible: Fuel Oil, Diesel, GLP.
2. Consumo de combustible por entidades. (Fuente: Datos de las organizaciones y Modelo 5073 Consumo de Portadores Energéticos anuales. Oficina Nacional de Estadística).
3. Composición del combustible ⁶.
4. Análisis de Gases en Base Seca. (Fuentes: Equipos de medición de emisiones .Ver Tabla 1)
5. Humedad del combustible ⁷.

⁶ BORROTO, A.; RUBIO, A. , *Combustión y Generación de Vapor* [en línea], Universidad de Cienfuegos, 2007

⁷ BORROTO, A.; RUBIO, A. , *Combustión y Generación de Vapor* [en línea], Universidad de Cienfuegos, 2007

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN AMBIENTES URBANOS

6. Humedad del aire ⁸.

En la integración del Inventario de emisiones a escala local se colocan los resultados de los cálculos de los gases de combustión y de las cantidades de cada contaminante primario obtenidas de las mediciones y los cálculos. El modelo para el registro así como la cuantificación de las emisiones forman parte de un *software* diseñado con ese fin que toma como base la NC TS 803: 2010 [21]. Las ecuaciones para el cálculo de las Fuentes Fijas se observan en las expresiones 1, 2 y 3.

Volumen de gases de combustión seco (Vg).

$$Vg = Vg^\circ + (\alpha - 1) V^\circ + 0.00161 d (\alpha - 1) V^\circ \quad \text{m}^3/\text{Kg} \quad [1]$$

$$Vg = V_{\text{RO}_2} + V^\circ_{\text{N}_2} + V^\circ_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha - 1) V^\circ + 0.00161 d (\alpha - 1) V^\circ \quad \text{m}^3/\text{Kg} \quad [2]$$

Volumen de gases de combustión húmedo

$$Vg = V_{\text{RO}_2} + V^\circ_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha - 1) V^\circ \quad \text{m}^3/\text{Kg} \quad [3]$$

Paso 4: Reporte de Cuantificación de Emisiones.

Contenido:

Resultados de los cálculos: Volumen de gases secos y húmedos emitidos por fuentes m^3N , Emisión de cada contaminante en $(\text{mg}/\text{m}^3\text{N})$, comparación con las emisiones máximas admisibles para cada contaminante según **(NC 803)**, Flujo de contaminantes en $\text{Kg}/\text{año}$.

En la integración del Inventario de emisiones a escala local se colocan los resultados de los cálculos de los gases de combustión y de las cantidades de cada contaminante primario obtenidas de las mediciones de ambas fuentes, el modelo para el registro así como la cuantificación de las emisiones forman parte del *software* diseñado con ese fin.

Los resultados de las mediciones en un inicio son el punto de partida para la realización de los cálculos, pero la reiteración del proceso con una frecuencia anual permite comparar las estimaciones en este periodo de tiempo y la validación de estos datos para evaluar el margen de error. Este estudio comparativo de la Línea Base del año anterior permite el seguimiento de las medidas tomadas, el análisis de causas de avances o retrocesos en las emisiones puntuales y a escala local.

Cada entidad emisora debe proponer su Plan de Acción para la mejora atendiendo a los resultados del inventario de sus emisiones y acorde al nivel de actividad planificado. Los especialistas del CITMA

⁸ BORROTO, A.; RUBIO, A. , *Combustión y Generación de Vapor* [en línea], Universidad de Cienfuegos, 2007

confeccionan el Inventario Local utilizando la información proporcionada por cada entidad de sus inventarios y también el Plan de Mejora de la localidad, el cual es sometido a la consideración de las autoridades del gobierno municipal que fijan las metas a alcanzar a esa escala. Finalmente se implementan las acciones y se verifica su desarrollo a lo largo del año.

III. RESULTADOS

Aplicación del procedimiento en la ciudad de Cienfuegos.

Paso 1 Identificación de fuentes fijas de combustión. Inventario de Emisiones.

Tabla 4. Cantidad de Fuentes Fijas de combustión en la localidad por zonas de estudio.

| No | Entidad | Organismo | Total |
|--|---|-----------|----------|
| Zona 1 Ciudad | | | 9 |
| 1 | Hospital Pediátrico. | CAP | |
| 2 | Hospital Clínico Quirúrgico GAL | CAP | |
| 3 | Facultad de Ciencias Médicas | MES | |
| 4 | Hogar de Ancianos | MINSAP | |
| 5 | Estadio 5 de Septiembre | INDER | |
| 6 | Centro Especializado Ambulatorio. | CAP | |
| 7 | Comedor Escolar | MINED | |
| 8 | Hotel Jagua | MINTUR | |
| 9 | Pedagógico | MES | |
| Zona 2 Alrededores de la Ciudad | | | 8 |
| 10 | Fábrica de Refrescos. Rafael Espinosa | MINAL | |
| 11 | Fábrica de Refrescos. Pueblo Griffó | MINAL | |
| 12 | Grupo de Generación Distribuida. Junco Sur | MINEM | |
| 13 | Lavandería Unicornio. SERVISA | MINTUR | |
| 14 | Centro de Elaboración. SERVISA | MINTUR | |
| 15 | Fábrica de Conservas. Faro. | MINAL | |
| 16 | Universidad Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos | MES | |
| 17 | Empresa de Glucosa | MINAZ | |
| Zona 3 Industrial O´Bourke | | | 4 |
| 18 | Politécnico 5 de Septiembre | MINED | |
| 19 | Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos | MINEM | |
| 20 | Refinería de Petróleo | MINEM | |
| 21 | Empresa Productora de Piensos | MINAGRI | |

- Se aplica el **Modelo Primario de recolección de datos** en todas las entidades con Fuentes Fijas identificadas. En la Tabla 4 solo se identificaron las fuentes fijas que utilizan como combustible: Fuel-oil y Diesel por ser las que mayor porcentaje de contaminantes generan.

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN AMBIENTES URBANOS

- Se elabora el **Inventario de Fuentes Fijas** en formato EXCEL con los datos obtenidos del Modelo Primario de recolección de datos y Modelo 5073 Consumo de Portadores Energéticos anuales.

Línea Base: año 2011.

Total de Fuentes Fijas de Combustión: 21.

2 realizan el monitoreo continuo con equipos propios y consideran la información confidencial: Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y Refinería de Petróleo; los Grupos de Generación Distribuida tienen equipo de medición y preparan un Laboratorio para realizar el monitoreo.

Aplicando el principio de Pareto se planifican para el monitoreo el 80,9 % del total: 18 Calderas.

En la ejecución del Plan: 2 no tenían condiciones para realizar el monitoreo, 2 no estaban funcionando los equipos, se resaltan en verde.

Paso 2 Medición de Emisiones de Fuentes Fijas. Monitoreo

Tabla 5. Plan de Monitoreo de Emisiones de Fuentes Fijas.

| Fuente | Contaminantes | Frecuencia | Horario | Tiempo de medición |
|------------------------------------|--|------------|---|--------------------|
| Fija de Combustión (3 muestras) | CO NO _x SO ₂ | Anual | - Arrancada - Condiciones normales de Operación. | 1 hora |

Equipos:

Analizadores de Gases.

Firite, TESTO 300-I y TESTO 450.

La Tabla 6. Relación de los valores reales medidos en cada Caldera por entidad generadora. En la Tabla se destaca en verde la entidad con los valores medidos no ajustados a los normalizados (Hogar de ancianos) y en amarillo la entidad que tiene los mejores valores medidos ajustados a los normalizados (Universidad de Cienfuegos).

Tabla 6. Relación de los valores reales medidos en cada Caldera por entidad generadora.

| Entidad | (O ₂) % | (CO ₂) ppm | (SO ₂) ppm | (NO _x) ppm | Temperatura de los gases |
|---|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Hospital Pediátrico. | 1,7 | 14,6 | 1235 | 303 | 290 |
| Hospital Clínico Quirúrgico GAL | 0,3 | 15,6 | 1250 | 333 | 270 |
| Facultad de Ciencias Médicas | 5,5 | 11,7 | 1242 | 81 | 200 |
| Hogar de Ancianos | 16,1 | 3,6 | 1260 | 34 | 250 |
| Centro Especializado Ambulatorio. | 7,8 | 9,7 | 1233 | 75 | 130 |
| Comedor Escolar | | | | | |
| Fábrica de Refrescos. Rafael Espinosa | 3,8 | 12,7 | 1222 | 89 | 120 |
| Centro de Elaboración. SERVISA. | | | | | |
| Lavandería Unicornio. SERVISA | 7,5 | 10,2 | 1241 | 285 | 220 |
| Fábrica de Refrescos. Pueblo Griffo | 2,8 | 13,4 | 1232 | 79 | |
| Fabrica de Conservas. Faro | | | | | |
| Universidad Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos | 2,9 | 13,4 | 1200 | 94 | 250 |
| Empresa de Glucosa | 6,8 | 10,8 | 1235 | 214 | 250 |
| Politécnico 5 de Septiembre | 7,3 | 10,1 | 1252 | 51 | 170 |

Paso 3: Cálculos de Emisiones Fuentes Fijas. Software.

- Aplicación de las Ecuaciones (1,2 y 3) para convertir los resultados del monitoreo gases en base seca y por ciento volumen a gases en base húmeda en por ciento peso.

Paso 4: Reporte de Cuantificación de Emisiones.

Comparación de los resultados de los cálculos con las emisiones máximas admisibles para cada contaminante.

En la Tabla 7 se muestran las Concentraciones máximas admisibles según (NC TS 803: 2010) para las calderas que utilizan *Fuel-Oil* y *Diesel*.

Tabla 7. Concentraciones Máximas Admisibles según (NC TS 803: 2010).

| Tipo de combustible | SO ₂ Normalizada mg/Nm ³ | NO ₂ Normalizada mg/Nm ³ |
|---------------------|--|--|
| | Conc admisible Para 3% O ₂ | Conc admisible Para 3% O ₂ |
| Diesel | 3000 | 500 |
| Fuel-Oil | 5000 | 700 |

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN AMBIENTES URBANOS

Se toman de ejemplo las 2 Calderas que tienen los valores medidos ajustados y no ajustados a los normalizados. En la Tabla 8 se observa la Comparación de Concentraciones máximas admisibles según (NC TS 803: 2010) y concentraciones calculadas de contaminantes.

Tabla 8. Comparación de Concentraciones máximas admisibles según (NC TS 803: 2010) y concentraciones calculadas de contaminantes.

| Entidad | SO ₂ Calculada mg/Nm ³ | SO ₂ Normalizada mg/Nm ³ | NO ₂ Calculada mg/Nm ³ | NO ₂ Normalizada mg/Nm ³ |
|----------------------------|---|---|---|---|
| | Concentración Para 3% O ₂ | Conc máx. admisible Para 3% O ₂ | Concentración Para 3% O ₂ | Conc máx admisible Para 3% O ₂ |
| Universidad de Cienfuegos. | 716.8460 | 3000 | 175,897 | 500 |
| Hogar de Ancianos | 5900.0708 | 3000 | 224,549 | 500 |

IV. DISCUSIÓN

Total de Calderas monitoreadas: 14.

Para NO₂: Cumplen con la norma todas las Calderas monitoreadas.

Para SO₂

Cumplen con la norma las calderas de combustible Fuel-Oil: 4.

Las calderas que utilizan combustible Diesel: cumplen con la norma: 9, incumple con la norma: 1

El resultado de las comparaciones determinó que los factores que influyen en el cumplimiento son: el control del proceso, los consumos de combustibles, el tiempo de operación.

Las concentraciones máximas admisibles normalizadas para cada combustible (Tabla 7).

Esto hace la diferencia entre el caudal de combustible, el volumen real de gases y el volumen de contaminante emitido. Los resultados de los cálculos para los ejemplos tomados se muestran a continuación:

Universidad de Cienfuegos.

Caudal: 87474,7 Kg/año

Volumen Real de Gases: 13,105686 m³N/Kg de comb

Volumen de SO₂ emitido: 1217,474 m³N/ año

Volumen de NO₂ emitido: 95,36880 m³N/ año

Hogar de Ancianos

Caudal: 48794,755 Kg/año

Volumen Real de Gases: 46,32888 m³N/Kg de comb

Volumen de SO₂ emitido: 2690,079 m³N/ año

Volumen de NO₂ emitido: 69,98579 m³N/ año

Se elabora un Plan de acción para la Caldera que incumple, con una acción, lograr la eficiencia energética de ese equipo mediante el control del proceso de combustión.

V. CONCLUSIONES

1. En Cuba no se realizan inventarios de emisiones atmosféricas a escala local lo que no es coherente con lo establecido en la Estrategia Ambiental Nacional
2. El monitoreo de emisiones a nivel de empresa solo se realiza en algunas entidades con grandes emisiones, fundamentalmente adscritas al Ministerio de Energía y Minas e Inversiones Extranjeras.
3. Se demostró que en la ciudad de Cienfuegos hay disponibilidad de instrumentos de medida para la realización del monitoreo periódico de emisiones.
4. Es posible realizar los inventarios de emisiones a escala local mediante su estimación y validación con mediciones periódicas.
5. El procedimiento propuesto es aplicable en el entorno urbano cubano y será validado en la ciudad de Cienfuegos. 🏠

VI. REFERENCIAS

1. ANTEQUERA, N. , *La urbanización creciente*, Bolivia, Centro de Documentación e Información Bolivia (CEDIB) 2005, ISBN 9995410966
2. OMS, Organización Mundial de la Salud., «Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre», [en línea], 2005, [consulta: 12-10-2012], Disponible en: <<http://www.who.sde.phe.oeh.06.02.spa.pdf>>
3. CITMA, «Resolución No. 40.Estrategia Ambiental Nacional» *Gaceta Oficial de la República de Cuba. Edición Ordinaria*, 2007, Año CV, núm. 30, p. 449-478, ISSN 1682-7511.
4. Andalucía., Consejería de Medio Ambiente. Junta de, «Bases para la Agenda 21 Andalucía», [en línea], 2008, [consulta: 15-11-2012], DepositoLegal: SE-760-2000. Disponible en: <www.juntadeandalucia.es/medioambiente.>
5. BARRON, J., «Modelado de un sistema de supervisión de la calidad del aire usando técnicas de fusión de sensores y redes neuronales.», [*tesis de doctoradp*], España, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de senales, sistemas y radiocomunicaciones., 2010.
6. SALAZAR, E, «Desarrollo de modelos predictivos de contaminantes ambientales», [*Tesis de doctorado*], España-México, Universidad Politécnica de Valencia., Departamento de Proyectos Ingeniería, Innovacion, Desarrollo y Diseño Industrial-Rural., 2008.
7. GRANADA, L., «Procedimiento para la gestión de las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas en Cali-Colombia», [*teasis de doctorado*], Cuba, Instituto Superior Politecnico Jose Antonio Echeverria. CUJAE., Facultad Ingeniería Industrial., 2010.
8. INSMET, «Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Nacionales», [en línea], 2010., 2010, [consulta: 07-02-2013], Disponible en: <www.insmet.cu.>
9. Oficina Nacional de Normalización., *Calidad del Aire*, Catalogo de Normas Cubanas., 1999.
10. ONN, *Calidad del Aire- Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor*, Catalogo 2010.
11. AENOR, *Gases de efecto invernadero. Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaración sobre gases de efecto invernadero*, AENOR, 2011.
12. AENOR, *Gases de efecto invernadero. Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento de las remociones de gases de efecto invernadero*, MADRID, 2006.
13. AENOR, *Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero*, MADRID., 2006.
14. CREMADES, V., RINCON, G., «Valoración cualitativa de la calidad de un inventario de emisiones industriales para el modelado de dispersión de contaminantes en la costa nororiental de Venezuela » *INTERCIENCIA*, N ° 2, 2011, Vol 36, 1/7, 0378-1844.

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN AMBIENTES URBANOS

15. JURAN, A., «Herramientas de Mejora de la Calidad”. », Antonio Garcia Brage., *Manual de Calidad III* (5ta Edición), Madrid, Mc Graw Hill/ Interamericana de Espana., 1999, Apéndice V ISBN 84-481-3283-1.