

**INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS PRINCIPALES  
FUENTES FIJAS UBICADAS EN LA ZONA INDUSTRIAL DE CHIMITÁ A LO  
LARGO DE LA VÍA ENTRE EL PALENQUE Y CAFÉ MADRID**

**SONIA PATRICIA RANGEL ORTÍZ  
LEIDY MAGALY TAMI PIMIENTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELAS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2010**

**INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS PRINCIPALES  
FUENTES FIJAS UBICADAS EN LA ZONA INDUSTRIAL DE CHIMITÁ A LO  
LARGO DE LA VÍA ENTRE EL PALENQUE Y CAFÉ MADRID**

**SONIA PATRICIA RANGEL ORTÍZ  
LEIDY MAGALY TAMI PIMIENTO**

Proyecto de grado como requisito parcial para optar al título de Ingeniería  
Ambiental

**Director**  
**Ing. Consuelo Castillo Pérez**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELAS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2010**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Piedecuesta, \_\_\_\_\_ de 2010**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo y todos los días de mi vida van dedicados a Dios y a la Virgen, por acompañarme y protegerme a lo largo de este sendero, darme la salud y la sabiduría para conseguir mi sueño.

A mis padres, Ramiro Tami y Carmen Pimiento, por su inmenso amor, apoyo, fraternidad y compañía, al igual, por darme la oportunidad de realizarme como profesional.

A mis hermanas y tías por su apoyo incondicional.

Leidy Magaly Tami Pimiento

Gracias a mis Padres, Álvaro Rangel y Carmen Ortíz, por ser el motor de mi vida, por cada una de las enseñanzas brindadas durante mi trayecto, por la paciencia confianza y apoyo incondicional que me han llevado hoy a ser una profesional en el campo ambiental.

Gracias a mi Hermano, Germán Rangel, por sus conocimientos brindados, compañía y paciencia durante mi trayecto.

Sonia Patricia Ortíz Rangel

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser nuestro guía espiritual y permitirnos culminar con éxito este proyecto.

A nuestros Padres y Hermanos por su apoyo incondicional, comprensión e impulso hacia el desarrollo de nuestra vida profesional.

A la Ingeniera Consuelo Castillo, directora del proyecto, por su apoyo, dedicación y conocimientos brindados durante el desarrollo del inventario.

Al Ingeniero Henry Castro, Coordinador de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire del Área Metropolitana de Bucaramanga, por sus aportes técnicos, apoyo y colaboración durante la ejecución del Inventario.

Al grupo de Seguimiento y Control, adscrito a la subdirección de Control Ambiental al Desarrollo Territorial por proporcionarnos la información de los muestreos isocinéticos necesarios para el desarrollo del proyecto.

A la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga- CDMB por su colaboración durante la ejecución del proyecto.

A las empresas incluidas en el inventario, por proporcionarnos la información necesaria para el desarrollo del proyecto.

## CONTENIDO

|                                                                                         | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| INTRODUCCIÓN                                                                            | 1    |
| 1. JUSTIFICACIÓN                                                                        | 3    |
| 2. OBJETIVOS                                                                            | 5    |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL                                                                    | 5    |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS                                                               | 5    |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                                           | 6    |
| 4. MARCO CONCEPTUAL                                                                     | 8    |
| 4.1. MARCO TEÓRICO                                                                      | 8    |
| 4.1.1 Estimacion De Emisiones                                                           | 16   |
| 4.1.2 Contaminantes Incluidos en el Inventario de Emisiones Atmosféricas                | 23   |
| 4.1.3 Equipos De Control                                                                | 27   |
| 4.2 MARCO HISTORICO                                                                     | 34   |
| 4.3 MARCO LEGAL                                                                         | 38   |
| 5. METODOLOGÍA                                                                          | 42   |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN                                                               | 46   |
| 6.1 REVISIÓN DE LOS MANUALES DE FUNDAMENTOS Y PLANEACIÓN<br>DE INVENTARIO DE EMISIONES. | 46   |
| 6.2 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NECESARIAS PARA LA<br>REALIZACIÓN DEL INVENTARIO  | 46   |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.3 PLANEACIÓN                                                           | 47 |
| 6.4 DETERMINACIÓN DE LAS FUENTES DE DATOS PARA EL INVENTARIO.            | 49 |
| 6.5 SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS Y MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES. | 52 |
| 6.6 RECOPIACIÓN DE DATOS                                                 | 53 |
| 6.7 ANÁLISIS DE DATOS                                                    | 54 |
| 6.8. INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS                            | 58 |
| 6.8.1 Cálculo Tipo para Factores de Emisión                              | 58 |
| 6.8.2 Comparación Con Normas                                             | 59 |
| 6.9 ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR EL MAVDT                    | 75 |
| 6.10 ESTABLECIMIENTO DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL                 | 76 |
| 7. CONCLUSIONES                                                          | 81 |
| 8. RECOMENDACIONES                                                       | 83 |
| BIBLIOGRAFIA                                                             | 84 |
| ANEXO                                                                    | 87 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                           | <b>Pág.</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1. Índice de Calidad del Aire en el Área Metropolitana de Bucaramanga (IBUCA)                                       | 11          |
| Tabla 2. Niveles de clasificación epidemiológica utilizados por el IBUCA                                                  | 11          |
| Tabla 3. Generalidades del Material Particulado.                                                                          | 24          |
| Tabla 4. Generalidades del Monóxido de Carbono.                                                                           | 25          |
| Tabla 5. Generalidades de Óxidos de Nitrógeno.                                                                            | 26          |
| Tabla 6. Generalidades de Óxidos de Azufre.                                                                               | 27          |
| Tabla 7. Eficiencias de control típicas de un incinerador térmico                                                         | 30          |
| Tabla 8. Recopilación de la información preliminar de las empresas ubicadas a lo largo entre la vía Palenque-Café Madrid. | 47          |
| Tabla 9. Sistemas de control atmosféricos                                                                                 | 78          |



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                           | <b>Pág.</b> |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1. Contaminación Primaria y Secundaria                             | 9           |
| Figura 2. Estructura general del protocolo                                | 14          |
| Figura 3. Pasos técnicos para el desarrollo de un inventario de emisiones | 15          |
| Figura 4. Algoritmo para el cálculo de emisiones por combustión           | 21          |
| Figura 5. Algoritmo de cálculo de emisiones por proceso                   | 22          |
| Figura 6. Diagrama de un Ciclón                                           | 28          |
| Figura 7. Diagrama de Filtro                                              | 29          |
| Figura 8. Diagrama de un Precipitador Electrostático                      | 33          |
| Figura 9. Lavador Venturi                                                 | 34          |
| Figura 10. Metodología                                                    | 42          |

## LISTA DE GRAFICAS

|                                                                                   | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Gráfica 1. Porcentaje de Empresas con expediente en la CDMB.                      | 49          |
| Gráfica 2. Medios de respuesta a la encuesta                                      | 50          |
| Gráfica 3. Porcentaje Visitas Realizadas                                          | 52          |
| Gráfica 4. Tipo de Dispositivo                                                    | 54          |
| Gráfica 5. Capacidad Instalada de la Caldera                                      | 55          |
| Gráfica 6. Permiso de Emisión Atmosférica Vigente                                 | 56          |
| Gráfica 7. Tipo de Combustible Utilizado                                          | 57          |
| Gráfica 8. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles.  | 59          |
| Gráfica 9. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles.  | 60          |
| Gráfica 10. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles. | 60          |
| Gráfica 11. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles. | 61          |
| Gráfica 12. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles. | 62          |
| Gráfica 13. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles. | 62          |
| Gráfica 14. Emisión de NOx.                                                       | 63          |
| Gráfica 15. Emisión de SOx.                                                       | 64          |
| Gráfica 16. Emisión de CO.                                                        | 65          |
| Gráfica 17. Concentración de PST                                                  | 66          |
| Gráfica 18. Concentración de PST                                                  | 67          |
| Gráfica 19. Concentración de NOx                                                  | 667         |
| Gráfica 20. Concentración de SOx                                                  | 68          |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 21. Concentración de CO                                | 69 |
| Gráfica 22. Concentración del contaminante PST en la empresa D | 70 |
| Gráfica 23. Concentración del contaminante NOx en la empresa D | 71 |
| Gráfica 24. Concentración del contaminante SOx en la empresa D | 71 |
| Gráfica 25. Concentración del contaminante CO en la empresa D  | 72 |
| Gráfica 26. Emisión de NOx                                     | 73 |
| Gráfica 27. Emisión de CO                                      | 73 |
| Gráfica 28. Emisión total de contaminantes criterio            | 74 |
| Gráfica 28. Sistemas de control                                | 77 |

## LISTA DE ANEXOS

|                                                                                                                                                                 | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| ANEXO 1. Ubicación de las empresas                                                                                                                              | 87          |
| ANEXO 2. Encuesta                                                                                                                                               | 88          |
| ANEXO 3. Factores De Emisión Para Óxidos De Nitrógeno (Nox) Y Monóxido De Carbono (Co) Para La Combustión De Gas Natural                                        | 91          |
| ANEXO 4. Formato DI- 1. F 001-Formato de Verificación de Revisión de Expedientes.                                                                               | 91          |
| ANEXO 5. Formato DI-2. F 002-Formato de Revisión De Expedientes                                                                                                 | 91          |
| ANEXO 6. Formato DI-4. F003-Formato De Visitas De Campo                                                                                                         | 91          |
| ANEXO 7. Formato DI-5. F004-Formato De Registro De Seguimiento De Encuestas                                                                                     | 91          |
| ANEXO 8. Formato DI-6. F005-Formato De Chequeo De Las Actividades De Recopilación De Información, De Estimación De Emisiones Y Alimentación De La Base De Datos | 91          |
| ANEXO 9. Formato DI-7. F006-Formato De Encuesta De Fuentes Puntuales                                                                                            | 91          |
| ANEXO 10. Formato DI-8. F007-Formato De Encuesta De Fuentes Puntuales                                                                                           | 92          |
| ANEXO 11. Formato DI-9. F008-Formato De Encuesta De Fuentes Puntuales                                                                                           | 92          |
| ANEXO 12. Formato DI-10. F009-Formato De Encuesta De Fuentes Puntuales (Incineradores)                                                                          | 92          |
| ANEXO 13. Formato DI-11. F010-Formato De Encuesta De Fuentes Puntuales-Datos De Muestreos Isocinéticos                                                          | 92          |
| ANEXO 14. Formato DI-12.F011-Formato De Hojas De Cálculo-Factores De Emisión                                                                                    | 92          |

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS PRINCIPALES FUENTES FIJAS UBICADAS EN LA ZONA INDUSTRIAL DE CHIMITÁ A LO LARGO DE LA VÍA ENTRE EL PALENQUE Y CAFÉ MADRID.

**AUTOR(ES):** Sonia Patricia Rangel Ortiz  
Leidy Magaly Tami Pimiento

**FACULTAD:** Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR:** Consuelo Castillo Pérez

La zona industrial de la ciudad de Bucaramanga –Chimitá, se encuentra ubicada a lo largo de la vía entre el Palenque y Café Madrid, esta zona se caracteriza por presentar industrias tales como fábricas de concentrados para aves, metalmecánicas, derivados del petróleo, industrias manufactureras, entre otras. Debido a la falta de información de las emisiones atmosféricas generadas en esta zona, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga –CDMB, ha visto la necesidad de realizar un inventario de emisiones para fuentes fijas, en el cual se realiza una cuantificación de los contaminantes atmosféricos más representativos generados por las principales empresas, instaladas en la zona de interés.

Realizado este proyecto, donde se cuantifican los contaminantes atmosféricos, se obtiene que el mayor contaminante emitido a la atmósfera es el SO<sub>x</sub> con un valor de 19.7 kg/h, debido a la utilización de combustibles con alto contenido de azufre. Como aporte adicional, este proyecto establece medidas preventivas y de control para las emisiones generadas en la zona de estudio.

**PALABRAS CLAVE:** Zona Industrial, Inventario de emisiones, emisiones atmosféricas, CDMB.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** ATMOSPHERIC EMISSION INVENTORY OF MAJOR STATIONARY SOURCES, LOCATED IN THE INDUSTRIAL ZONE OF CHIMITÁ ALONG THE ROUTE BETWEEN PALENQUE AND CAFÉ MADRID.

**AUTHORS:** Sonia Patricia Rangel Ortiz  
Leidy Magaly Tami Pimiento

**FACULTY:** Environmental Engineering

**DIRECTOR:** Consuelo Castillo Pérez

Chimitá, the industrial zone near Bucaramanga is located along the road between Palenque and Café Madrid. It is mainly known because it concentrates important factories involving metalworking, poultry food and manufacturing among others. The Autonomous Regional Corporation for the Defense of the Meseta de Bucaramanga, CDMB, has considered the importance of doing an atmospheric emission inventory for stationary sources because of the missing information about polluted air emission generated in the mentioned area.

Done this project, where air pollutants are quantified, it follows that the greatest pollutant emitted to the atmosphere is Sox, this has a value of 19,7 Kg/h, due to the use of fuels with high sulfur content. As additional contribution this project provides preventive and control measures for emissions generated in the study area.

**KEYWORDS:** industrial zone, emissions inventories, air emissions, CDMB.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas ambientales que se ha ido incrementando a través de los años es el aumento de las emisiones de contaminantes a la atmósfera como resultado de actividades humanas e industriales causando efectos adversos al ambiente y a la salud humana. El incremento de las emisiones no sólo depende de las operaciones diarias del sector sino también de los factores meteorológicos incidentes.

Una de las principales fuentes generadoras de emisiones son las fuentes fijas constituidas por el sector industrial, pues sus emisiones se presentan desde puntos estacionarios como las chimeneas. Por medio de éstas, se generan algunos de los contaminantes influyentes en el calentamiento global, que en la actualidad se está viendo reflejado por medio de los cambios de temperaturas, afectaciones sobre la salud humana, sequías, agotamiento del recurso hídrico, entre otros.

En Colombia, se ha incrementado la preocupación relacionada con esta problemática, como consecuencia a esto, se han implementado normas que permiten controlar las emisiones a la atmósfera y así contribuir al mejoramiento de la calidad ambiental. Para cuantificar los contaminantes emitidos a la atmósfera por las diferentes industrias, se han realizado inventarios de emisiones en las principales ciudades del país, lo que ha permitido emitir un concepto de la concentración de los contaminantes presentes en dichas áreas.

En la ciudad de Bucaramanga existen pocos estudios relacionados con la calidad del aire, aunque se cuentan con siete (7) estaciones de monitoreo que miden la concentración de contaminantes y factores meteorológicos, teniendo una caracterización de las emisiones atmosféricas que permitan determinar el grado



de afectación ocasionado al ambiente. Sin embargo no se cuenta con un inventario de emisiones de fuentes fijas, para obtener información acerca de las fuentes de emisión y su relación con los contaminantes emitidos a la atmosfera.

Para la ejecución de este inventario se seleccionó la zona industrial de Chimitá, Vía entre el Palenque y Café Madrid, pues allí se encuentra el mayor número de industrias de Bucaramanga y se estima que haya un alto grado de contaminación. La elaboración de este inventario para fuentes fijas, permite estimar las emisiones totales de los contaminantes atmosféricos que se encuentran en la zona de interés, a su vez suministra información general de las empresas existentes en el área de estudio, a la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga -CDMB- debido a que no se cuenta con inventario de emisiones para esta zona y siendo esto una exigencia de la legislación ambiental colombiana.

Al igual, por medio de este inventario se evalúa el Protocolo Nacional de Inventarios de Emisiones propuesto por el MAVDT emitiendo un concepto sobre su viabilidad en la realización de posteriores inventarios.

## **1. JUSTIFICACIÓN**

En los últimos años, la emisión de contaminantes a la atmósfera se ha ido incrementando drásticamente como consecuencia de la expansión de las industrias, del crecimiento poblacional, del número de vehículos, entre otros, trayendo como consecuencias el deterioro de la calidad del aire y problemas a la Salud Humana.

Tomando como base la normatividad vigente estipulada por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT-, se ha creado herramientas para la realización de Inventario de Emisiones Atmosféricas de Fuentes Fijas, siendo este un componente clave en los programas de control de la contaminación atmosférica. Antes de desarrollar las estrategias para el control de emisiones, las entidades encargadas del medio ambiente deben recopilar datos sobre descarga de emisiones para determinar los tipos de fuentes de emisión, cantidades, características temporales y espaciales de los emisores y sus procesos y prácticas de control.

La Autoridad Ambiental de la región, Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga-CDMB, requiere métodos detallados para recopilar información tendiente a realizar análisis completos del estado de la calidad del aire a nivel metropolitano, o hacer predicciones sobre la dispersión de contaminantes empleando herramientas como modelos de simulación. Actualmente se desconoce, con precisión, el aporte de contaminantes atmosféricos generados por el sector industrial del área metropolitana, lo cual impide determinar en forma precisa su impacto en el deterioro de la calidad del aire.

Teniendo presente que la CDMB no cuenta aún con inventarios realizados en Bucaramanga y su área metropolitana, con la realización de este proyecto se suministrará información necesaria a esta entidad sobre las industrias generadoras de contaminantes atmosféricos en la zona industrial de Chimitá, lo cual servirá para estimar cuantitativamente sus emisiones, identificar las principales fuentes de contaminación dentro de la zona de estudio y de esta forma diseñar y priorizar las estrategias de control más adecuadas que permitan un mejoramiento de la calidad del aire en esta zona.

Así mismo, la realización de este inventario de emisiones atmosféricas en la zona industrial de Chimita servirá de Línea Base para la realización de posteriores inventarios en la ciudad y que sean de interés para la CDMB; además, le proporciona información elemental para la base de datos de la Subdirección, Control Ambiental y Desarrollo Territorial, debido a que actualmente ésta desconoce este tipo de información. En esta zona se encuentran localizadas un número significativo de industrias del municipio Bucaramanga, las cuales manejan diferentes tipos de materias primas como aceite crudo de palma, palmiste, bases lubricantes, solventes, aditivos, colorantes, etc., y algunos productos como alimentos concentrados para aves, concentrados para animales, bandejas de huevos, membranas impermeabilizantes, entre otros; por tanto, esta área se encuentra expuesta a diversos niveles de contaminación atmosférica.

Finalmente, el presente proyecto pretende analizar la aplicación del Protocolo Nacional de Inventarios de Emisiones, diseñado por el MAVDT, el cual cuenta con diez (10) manuales, actualmente en revisión, y de esta manera evaluar la metodología propuesta por este ministerio para el desarrollo de inventario de emisiones atmosféricas de fuentes fijas, emitiendo un concepto sobre la viabilidad de su posterior aplicación en otros inventarios.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Realizar el inventario de emisiones atmosféricas, para fuentes fijas de los principales contaminantes generados por las industrias ubicadas en la zona industrial de Chimitá a lo largo de la vía entre el Palenque y Café Madrid.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Estimar cuantitativamente las emisiones totales de los principales contaminantes atmosféricos, de las fuentes fijas que se encuentran en la zona de interés.
- ✓ Evaluar la metodología propuesta por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, para el desarrollo de inventario de emisiones en el Territorio Nacional.
- ✓ Analizar los datos obtenidos de las emisiones generadas en las fuentes fijas ubicadas en la zona de estudio.
- ✓ Establecer medidas preventivas y de control para las emisiones atmosféricas, según los resultados obtenidos

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creciente problemática por la contaminación del ambiente ha generado diversas preocupaciones debido a las causas directas e indirectas que se tienen sobre este y sobre la salud humana, es por esto que se ha venido implementando leyes, resoluciones las cuales buscan establecer los parámetros mínimos de emisiones que se pueden generar al ambiente.

En Bucaramanga, en el año 1996, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga –CDMB planteó ante Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MADVT la necesidad de medir en tiempo real y de manera confiable los contaminantes atmosféricos que generan las Fuentes Fijas y Móviles que se encuentran en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

De esta forma, se logró instalar en el año 2001 una Red de Monitoreo de Calidad del Aire conformada por 7 Estaciones ubicadas estratégicamente en el Área Metropolitana de Bucaramanga, la cual mide parámetros de calidad del aire tales como: material particulado  $PM_{10}$ , Monóxido de Carbono CO, Óxidos de Nitrógeno  $NO_x$ , Dióxido de Azufre  $SO_2$ , Ozono ( $O_3$ ), y parámetros meteorológicos: velocidad del viento, dirección del viento, humedad, temperatura ambiente, radiación solar, precipitación y radiación solar.

Una de las Estaciones de Monitoreo se instaló en la zona de Chimita, exactamente en la empresa de combustibles TERPEL; sin embargo, el área de influencia de la Estación no permite conocer el estado global de la calidad del aire de la zona, debido a su gran extensión geográfica. En este sentido, la CDMB ha visto la necesidad de realizar un inventario de emisiones atmosféricas para fuentes fijas, el cual, permita cuantificar los contaminantes generados por las principales

empresas que se encuentran en el área y de esta forma obtener información más completa del estado de la calidad del aire que respiran los habitantes o trabajadores de la zona, e identificar las fuentes de contaminación más importantes para realizar control ambiental eficiente sobre ellas; para la realización de este proyecto se emplearan los manuales propuestos por el MAVDT, pues estos son una guía para su implementación y desarrollo, de esta manera se pretende evaluar su viabilidad en la aplicación para posteriores inventarios.

## 4. MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se presentan conceptos básicos necesarios para el desarrollo de la metodología empleada en la ejecución de este proyecto. Al igual se menciona la normativa vigente que rige los lineamientos relacionados con la calidad de aire en Colombia.

### 4.1. MARCO TEÓRICO

Se considera contaminación atmosférica la presencia de sustancias en la atmósfera en altas concentraciones en un tiempo determinado como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que pueden ocasionar daños a la salud de las personas o al ambiente.<sup>1</sup> Estas sustancias reciben el nombre de Contaminantes los cuales se definen como fenómenos físicos, sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, que causan efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.<sup>2</sup>

Estos contaminantes son clasificados como primarios y secundarios; cuando se habla de primarios son aquellos contaminantes que son emitidos a la atmósfera directamente y proceden de diversas fuentes, como por ejemplo:

1. Óxidos de azufre,  $\text{SO}_x$ .
2. Monóxido de carbono,  $\text{CO}$ .
3. Óxidos de nitrógeno,  $\text{NO}_x$ .

---

<sup>1</sup>IUPAC Compendium of Chemical Terminology. Segunda edición 1997.

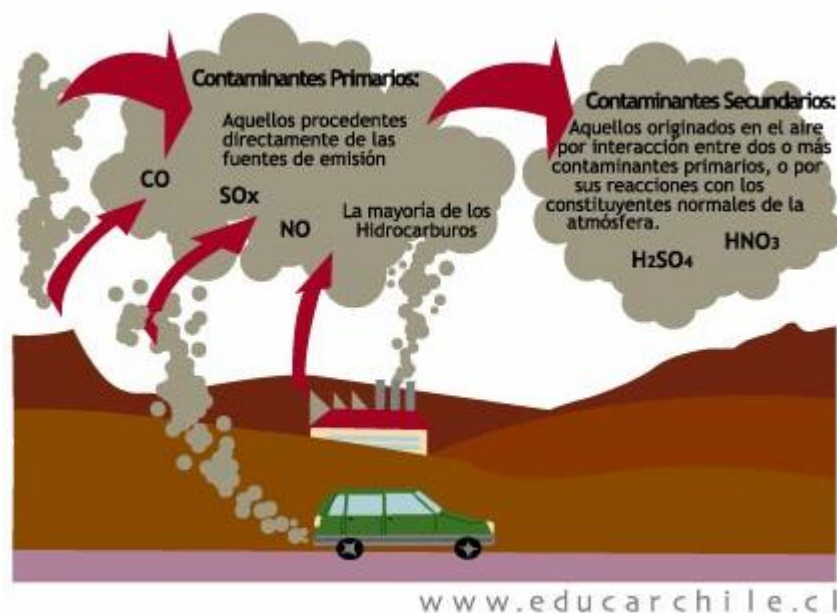
<sup>2</sup> República de Colombia, Definiciones. Decreto 948 de 2005. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT.

4. Hidrocarburos
5. Ozono,  $O_3$ .
6. Anhídrido carbónico,  $CO_2$ .
7. Aerosoles

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, existe otro tipo de contaminante el cual no se emite directamente a la atmósfera, sino que es causado por reacciones químicas de dos o más contaminantes primarios, este es llamado secundario.

Entre los ejemplos de contaminantes secundarios se encuentra: el ozono, que se forma cuando los hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) se combinan en presencia de luz solar; el  $NO_2$ , que se forma cuando se combina  $NO$  con oxígeno en el aire; y la lluvia ácida, que se forma cuando el dióxido de azufre o los óxidos de nitrógeno reaccionan con el agua.

**Figura 1. Contaminación Primaria y Secundaria**



Fuente: EL PORTAL DE LA EDUCACIÓN. Disponible en:

<http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?GUID=123.456.789.000&ID=13635>



Al tratar la contaminación atmosférica, como una problemática ambiental reflejada en los efectos de salud y ambiente, se puede resaltar la afectación a millones de personas en todo el mundo, especialmente a aquellas que viven en los grandes núcleos urbanos y en áreas fuertemente industrializadas, con denso tráfico de vehículos. Las emanaciones de polvos y gases corrosivos deterioran el medio ambiente dando lugar a olores desagradables, pérdida de la visibilidad, daños para la salud humana, cultivos, otras formas de vegetación y sobre los materiales de construcción.

La contaminación atmosférica apareció primero como una molestia grave, pero posteriormente, se ha convertido en una amenaza para la calidad de la vida, ya que una contaminación excesiva puede poner en peligro la salud y llegar a convertir algunas zonas en lugares no aptos para ser normalmente habitados.

Los efectos producidos por la contaminación atmosférica dependen principalmente de la concentración de contaminantes, del tipo de contaminantes presentes, de tiempo de exposición y de las fluctuaciones temporales en las concentraciones de contaminantes, así como de la sensibilidad de los receptores y los sinergismos entre contaminantes. Hay que tener muy en cuenta la graduación del efecto a medida que aumentan la concentración y el tiempo de exposición'.<sup>3</sup>

Para determinar el grado de afectación de los contaminantes criterio (PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>), se ha creado un índice de calidad de aire para cada región el cual indica su nivel de concentración que se respira y su relación con la salud.

---

<sup>3</sup> Efectos producidos por la contaminación atmosférica. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf6.html>.

La siguiente tabla muestra el índice de calidad de aire de la ciudad de Bucaramanga.

**Tabla 1. Índice de Calidad del Aire en el Área Metropolitana de Bucaramanga (IBUCA)**

| RANGO                | DESCRIPTOR | COLOR |
|----------------------|------------|-------|
| 0 – 1.25             | BUENO      |       |
| 1.26 – 2.5           | MODERADO   |       |
| 2.51 – 7.5           | REGULAR    |       |
| 7.6 – 10             | MALO       |       |
| > 10 Supera la Norma | PELIGROSO  |       |

Fuente: CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Disponible en: <http://www.cdm.gov.co/web/index.php/monitoreo-ambiental-infomenu3-456/red-de-monitoreo-del-aire-infomenu3-459/338-ibuca.html>

Para cada rango establecido fueron utilizados cinco colores relacionados con la clasificación epidemiológica. En la siguiente tabla se relaciona la clasificación epidemiológica con los índices de calidad de aire contemplados en el IBUCA.

**Tabla 2. Niveles de clasificación epidemiológica utilizados por el IBUCA**

| IBUCA      | DESCRIPTOR | CLASIFICACIÓN EPIDEMIOLÓGICA                                                                                                                                  | COLOR    |
|------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 0 - 1.25   | Bueno      | La calidad de aire es considerada como satisfactoria y la afectación en la contaminación del aire es pequeña y no evidencia ningún efecto en la salud humana. | Verde    |
| 1.26 - 2.5 | Moderado   | La calidad de aire es aceptable y no tiene ningún efecto sobre la población en general.                                                                       | Amarillo |
| 2.51 - 7.5 | Regular    | Aumento de molestias en personas con padecimientos respiratorios y cardiovascular;                                                                            | Naranja  |

| IBUCA     | DESCRIPTOR | CLASIFICACIÓN EPIDEMIOLÓGICA                                                                                                        | COLOR   |
|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|           |            | aparición de ligeras molestias en la población en general.                                                                          |         |
| 7.51 - 10 | Malo       | Agravamiento significativo de la salud en las personas con enfermedades cardíacas o respiratorias. Afectación de la población sana. | Rojo    |
| > 10      | Peligroso  | Alto riesgo para la salud de la población. Aparición de efectos al nivel de daño.                                                   | Violeta |

Fuente: CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Disponible en [http://www.cdmb.gov.co/cai/cai/call\\_graph\\_02.php](http://www.cdmb.gov.co/cai/cai/call_graph_02.php)

El índice de calidad de aire en Bucaramanga representa una de las herramientas más efectivas para la interpretación del estado en que se encuentra la atmósfera previamente monitoreada.

Por medio de un monitoreo se puede estimar la cantidad de contaminantes emitidos en una determinada zona y en un intervalo de tiempo establecido. Para esto es necesario la creación de un inventario de emisiones (IE), el cual caracteriza y consolida, mediante sumatoria, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente, tipo de contaminante y cantidad de contaminantes emitidos.

El inventario de emisiones es una colección de tasas de emisiones para diferentes tipos de fuentes ubicadas en una región geográfica específica. Las tasas de emisiones se expresan en términos de masa de emisiones por unidad de tiempo (como kilogramos de contaminante por día) y se calculan empleando varias técnicas. Los tipos de fuentes en la región pueden incluir fuentes puntuales grandes, vehículos automotores, fuentes de área y fuentes naturales. Las tasas de emisiones en el inventario se pueden exhibir en hojas de trabajo y se pueden almacenar en bases de datos electrónicas.

El inventario de emisiones debe estar completo, para que sea útil para las personas que planean la calidad atmosférica, es decir, debe incluir toda la masa de contaminantes descargados de todas las fuentes del área. También debe identificar las fuentes específicas o categorías de fuente que emiten contaminantes. El inventario de emisiones también debe demostrar la importancia comparativa de emisiones para cada categoría, para así poder desarrollar estrategias de control apropiadas. En los casos en que el número de fuentes individuales es grande, el inventario de emisiones reportará emisiones de estas fuentes por categoría en lugar de por fuente individual.

Los inventarios de emisiones son instrumentos indispensables en los procesos de gestión de calidad del aire y toma de decisiones, pues son el punto de partida para la implementación, evaluación, ajuste de programas y medidas de control tendientes a mejorar la calidad del aire.<sup>4</sup>

Dependiendo del propósito, los IE, pueden abarcar desde un simple resumen de emisiones estimadas procedentes de datos previamente publicados, hasta un extenso y profundo inventario, empleando datos específicos obtenidos de sus fuentes. El propósito de Colombia para su realización, puede estar enmarcado en los siguientes parámetros:

- Identificación de fuentes
- Diseño de Sistemas de Monitoreo y Vigilancia de la Calidad del Aire.
- Inventario general de emisiones
- Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y calentamiento global
- Gestión de la calidad del aire a nivel industrial
- Modelación de la calidad del aire<sup>5</sup>

---

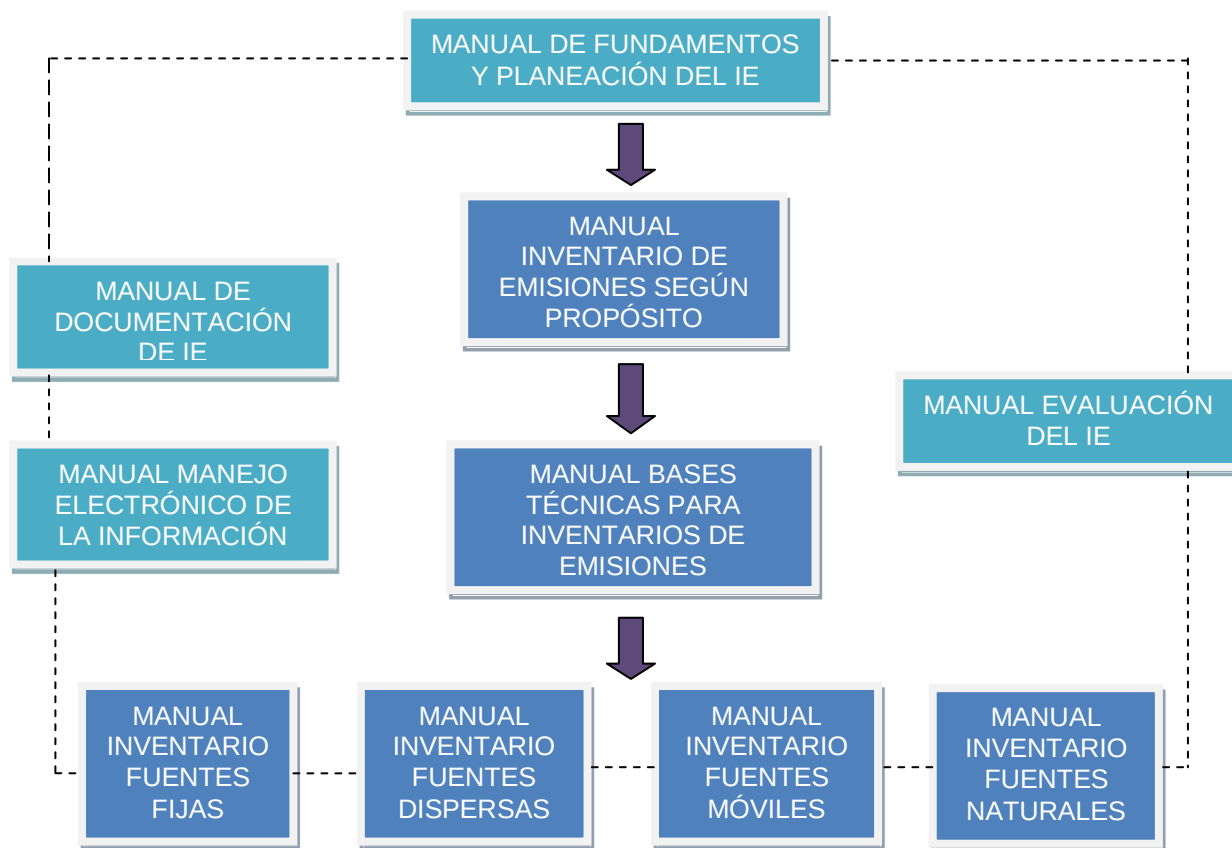
<sup>4</sup> Tomado de MANUAL DE FUNDAMENTOS Y PLANEACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES. K2 INGENIERIA LTDA. Pág.15.

<sup>5</sup> Tomado de MANUAL DE FUNDAMENTOS Y PLANEACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES. K2 INGENIERIA LTDA. Pág.21.

El inventario de emisiones cuenta con un protocolo, el cual está constituido por una serie de manuales conformados por lineamientos, fundamentos y procedimientos para su desarrollo.

En la siguiente figura se muestra la estructura general que comprende el protocolo establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial para la creación de Inventarios de Emisiones.

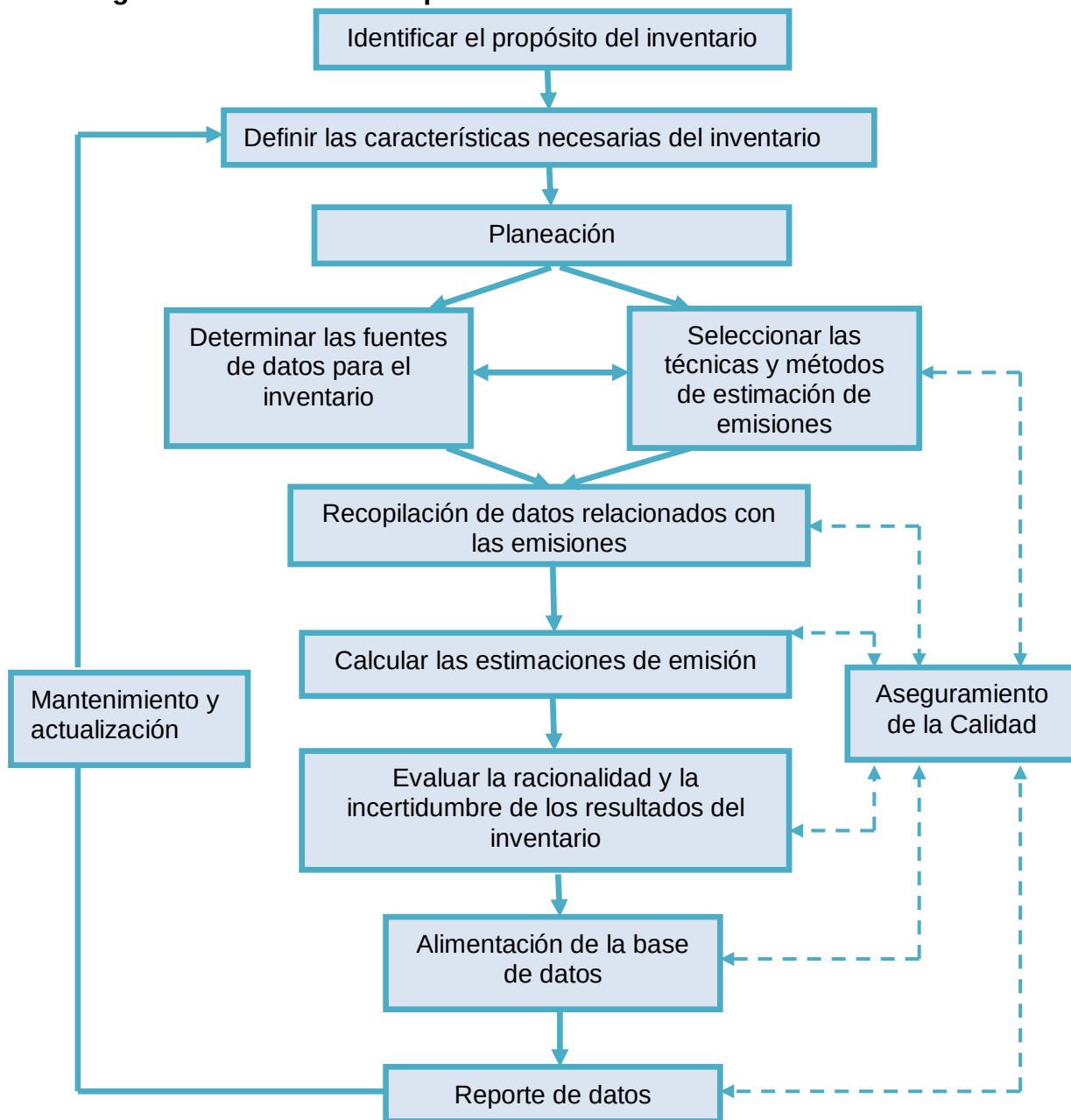
**Figura 2. Estructura general del protocolo**



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Disponible: K2 INGENIERIA, Manual de fundamentos y planeación del Inventario de Emisiones, Pág. 13

Para la realización del Inventario de Emisiones se deben seguir una serie de pasos establecidos por el Manual de Inventario de fuentes fijas, presentados en la siguiente figura.

**Figura 3. Pasos técnicos para el desarrollo de un inventario de emisiones**



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Disponible: K2 INGENIERIA, Manual de fundamentos y planeación del Inventario de Emisiones, Pág. 20

Los pasos que se muestran en la figura 3 permiten estimar las emisiones atmosféricas estableciendo claramente el propósito del inventario, determinando las fuentes de datos y seleccionando la metodología adecuada para su estimación y de esta manera cumplir los objetivos planteados.

En Colombia, este protocolo debe ser empleado por Autoridades Ambientales, empresas e industrias generadoras de emisiones, cubiertas bajo el Decreto 2107 de 1995 y la Resolución 619 de 1997, o por cualquier entidad generadora de emisiones.

#### **4.1.1 Estimación De Emisiones**

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) estableció una serie de métodos para la determinación de emisiones contaminantes a la atmosfera, entre los cuales se encuentran muestreo en la fuente y factores de emisión.

- **Muestreo en la Fuente:** permite hallar la concentración del contaminante en una corriente de gas o la tasa de emisión del contaminante de una chimenea o del escape de un proceso; midiendo la concentración del contaminante en un volumen establecido de gas y determinando la tasa del flujo del gas en una chimenea.<sup>6</sup>

El uso de datos de muestreo en la fuente disminuye el número de supuestos relacionadas con la aplicabilidad de factores de emisión, las eficiencias del equipo de control de contaminación atmosférica, las variaciones del equipo o las características del combustible que son aplicadas a tipos similares de fuentes de emisión.

---

<sup>6</sup> Tomado de MANUAL DE INVENTARIO DE FUENTES PUNTUALES. K2 INGENIERIA LTDA. Pág.14-15

Los datos de un muestreo en la fuente deben usarse para estimar emisiones, solo si los datos se obtuvieron en condiciones representativas de la operación normal de proceso; además estos datos de emisión pueden extrapolarse para estimar las emisiones anuales de una fuente si la operación del proceso no varía de forma significativa.

En general, después de que se ha concluido un muestreo, los datos, incluyendo las concentraciones del contaminante y la tasa de flujo volumétrico del gas de escape, son presentados en un informe.

La mayor parte de los reportes de muestreo en la fuente resumen las emisiones de cada contaminante expresándolas como una tasa de carga de masa o una tasa de emisión, ó un factor de emisión.

La técnica de monitoreo isocinético permite evaluar las emisiones por chimenea y determinar el flujo de los gases de la misma, como también recoger emisiones de material particulado en el equipo de muestreo. La muestra recogida es enviada al laboratorio para analizarla y cuantificar la concentración de partículas, dióxido de azufre y dióxidos de nitrógeno emitidos.

En esencia, el muestreo isocinético permite determinar la masa de contaminante por unidad de tiempo, de material emitido a través de un ducto o chimenea hacia la atmósfera.

Para determinar la concentración de material emitido se hace pasar una muestra del gas efluente a través de un tren de muestreo durante un tiempo determinado. El contaminante es recolectado en un filtro (para material particulado) o absorbido en una sustancia apropiada (para contaminantes gaseosos como el SO<sub>2</sub>.) La cantidad de material emitido se determina por peso, para el material particulado o por métodos químicos o instrumentales, para el



caso de los gases. El volumen de gas muestreado en función de su velocidad de salida y el diámetro de la chimenea. Durante el monitoreo se busca que la muestra de gas sea tomada a una velocidad aproximadamente igual a la de los gases de salida por chimenea, con una variación permisible de de mas o menos 5%. Este criterio, que es un indicador de la buena calidad de un muestreo, debe cumplirse, y es lo que se denomina como Porcentaje de Isocinetismo. <sup>7</sup>

- **Factores de Emisión:** un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una unidad de actividad asociada a dicha emisión, como por ejemplo la cantidad de material procesado o la cantidad de combustible usado. <sup>8</sup>

En este caso la emisión se obtiene multiplicando el factor de emisión dado por la cantidad de material o combustible procesado:

Ecuación 1:

$$E = A \times F$$

Donde:

E = Estimado de emisión para la fuente (a nivel de proceso)

A = Nivel de actividad (por ejemplo material producido)

F = Factor de emisiones controladas (por ejemplo, Kg de contaminantes emitidos/t de material procesado)

Si el factor de emisión fue desarrollado sin considerar la operación de un equipo de control, entonces se incorpora el término de efectividad del sistema de control (1-ER/100); por lo tanto, la ecuación queda así:

---

<sup>7</sup> Tomado de MANUAL DE BASES TECNICAS PARA EL PROGRAMA DE INVENTARIO DE EMISIONES. K2 INGENIERIA LTDA. PágS.17-18

<sup>8</sup> Tomado de MANUAL DE INVENTARIO DE FUENTES PUNTUALES. K2 INGENIERIA LTDA. Pág.17-19

Ecuación 2:

$$E = A \times F \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

Donde:

E = Estimado de emisión para la fuente (a nivel de proceso)

A = Nivel de actividad (por ejemplo, material producido)

F = Factor de emisiones no controladas (por ejemplo lb de contaminantes emitidas/t de material procesado)

ER = Eficiencia general en la reducción de emisiones totales, expresada en porcentaje, que es igual a la eficiencia del equipo de captura, multiplicada por la eficiencia del equipo de control. Si no hay un equipo de control, entonces, ER=0.

La EPA realizó una recopilación de factores de emisión para contaminantes criterio denominada AP-42. En Colombia también se han realizado estudios que suministran algunos factores de emisión.

La EPA clasificó los factores de emisión en A, B, C, D, E – “A” se considera el más confiable para un tipo dado de fuente - probablemente se basa en mediciones en la fuente; y “E” es considerado el de más baja precisión y está dado por la falta de análisis a un número significativo de fuentes con esas características. Los parámetros para la evaluación de factores de emisión<sup>9</sup> son: identificación de las fuentes de emisión, nivel de actividad y la estimación de las emisiones.

---

<sup>9</sup> Tomado de MANUAL DE INVENTARIO DE FUENTES PUNTUALES. K2 INGENIERIA LTDA. Pág. 18-20

La identificación de las fuentes de emisión consiste en la descripción de las fuentes de emisión teniendo en cuenta las variables que afectan la emisión.

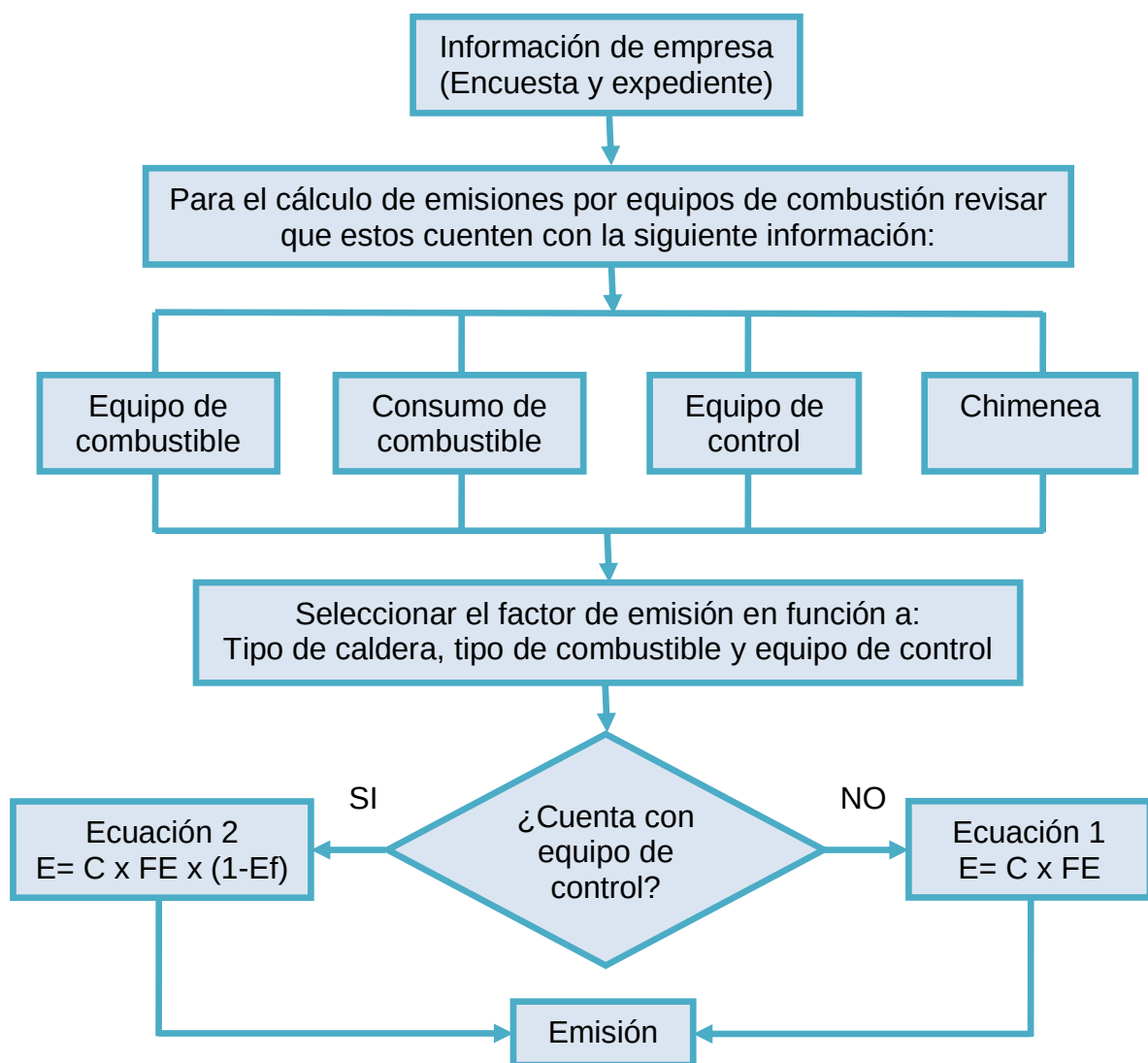
El nivel de actividad es una medida del nivel real del tamaño o nivel real del establecimiento industrial, que se utiliza para afectar el factor de emisión para fuentes que no están controladas. Para fuentes de emisión de procesos industriales, corresponde a la tasa de producción (por ejemplo: masa de producto por unidad de tiempo). En fuentes de área que involucran procesos continuos o por lotes o cochadas, es la cantidad de material transferido.

Para otras categorías puede ser el área superficial que se puede alterar por fuerzas mecánicas o el viento. Si se tiene un sistema de control de emisión, el factor de emisión debe afectarse por el término adicional que refleja la fracción de control.

La estimación de las emisiones es la descripción del factor de emisión utilizado, la fuente, y los requerimientos del mismo para su utilización. Los cálculos por factores de emisión se dividen en dos tipos: por combustión y por proceso.

Para el cálculo de emisiones por combustión, la información para estimar las emisiones por combustión de una industria en particular consiste en determinar la capacidad del equipo de combustión, el consumo y tipo de combustible utilizado, sistema de control de emisiones y horarios de operación. Para los equipos de control, se analiza lo siguiente: si el equipo se encuentra relacionado al punto de generación del contaminante, el tipo de equipo, contaminante que controla y eficiencia del equipo. El algoritmo presentado en la figura 4 resume la metodología a seguir para el cálculo de las emisiones.

**Figura 4. Algoritmo para el cálculo de emisiones por combustión**



Donde:

E: emisión

FE: factor de emisión

C: cantidad de combustible

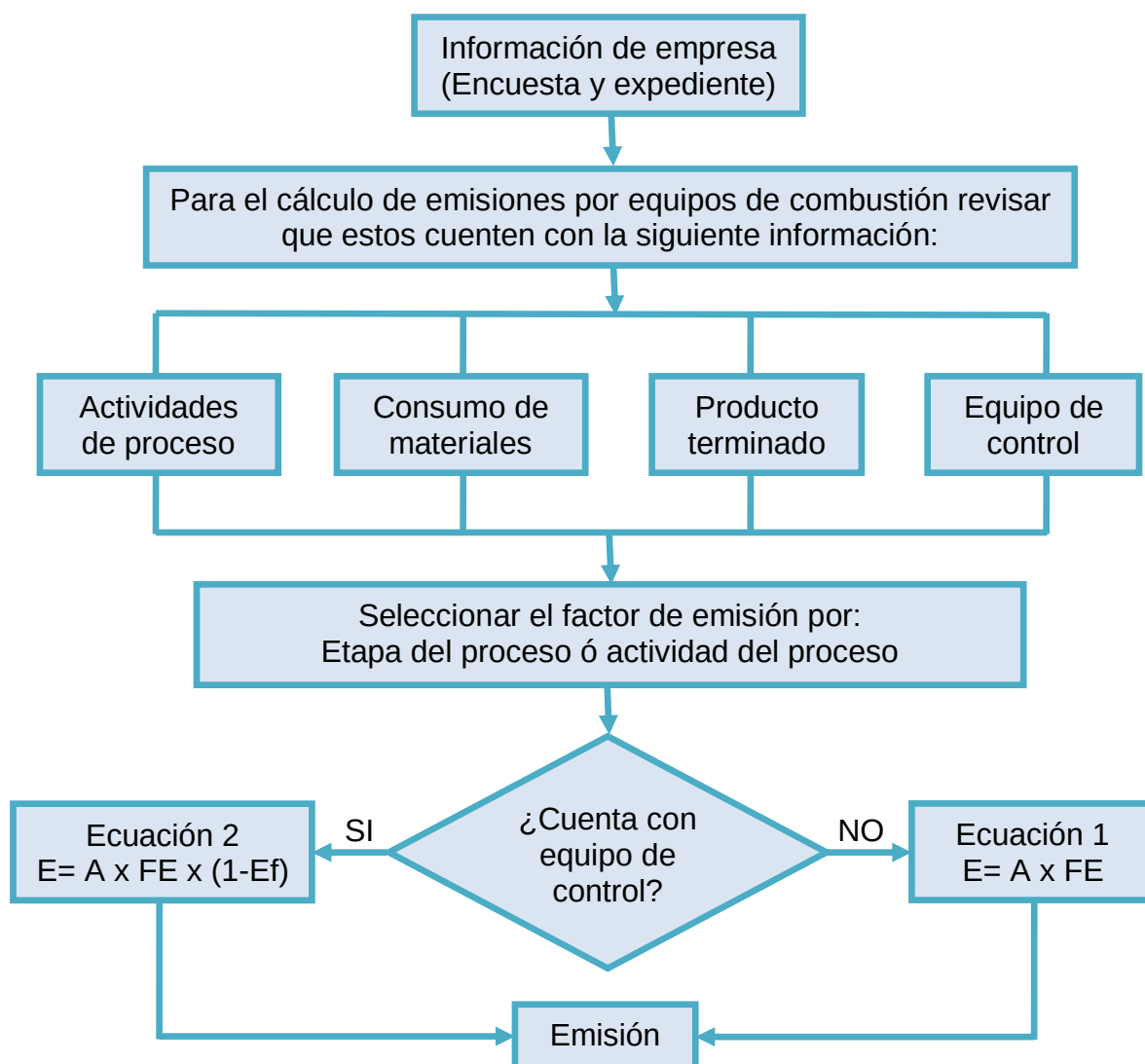
Ef: eficiencia del equipo de control

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Disponible en: K2

INGENIERÍA, Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág. 19

Para el cálculo de emisiones por proceso, se debe analizar cada equipo u operación para cada etapa del proceso e identificar los factores de emisión adecuados por medio de una revisión de la información proporcionada por la empresa y el tipo de actividad de la misma también si cuenta con equipos de control, y en este caso tener información de su grado de eficiencia.

**Figura 5. Algoritmo de cálculo de emisiones por proceso**



Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág. 20

Donde:

E: emisión

FE: factor de emisión

A: actividad industrial

Ef: eficiencia del equipo de control

Una de las desventajas que presenta el cálculo con factores de emisión, es que al requerir información limitada es posible que las emisiones no sean representadas con confianza.

Estos métodos son utilizados para la realización de inventario de emisiones, el cual, constituye una de las principales herramientas del Plan de Gestión de Calidad de Aire (PGCA) constituido por procesos, procedimientos y normas, cuyo propósito es reducir el impacto que ocasionan al ambiente atmosférico y la salud pública diferentes tipos de fuentes, dentro de un marco de mejoramiento continuo. La aplicación del PGCA involucra el estudio de la relación fuente-receptor y sus implicaciones en la calidad del aire, mediante la utilización de diferentes metodologías de investigación.<sup>10</sup>

#### **4.1.2 Contaminantes Incluidos en el Inventario de Emisiones Atmosféricas**

Los contaminantes que se van a evaluar en el inventario de emisiones de fuentes fijas en la zona industrial de Bucaramanga son:

- Material Particulado (PM10)
- Óxidos de nitrógeno,
- Óxidos de azufre y
- Monóxido de carbono.

---

<sup>10</sup> MANUAL DE INVENTARIO DE FUENTES PUNTUALES. K2 INGENIERIA LTDA

Estos son contaminantes son los más representativos en las emisiones de esta zona y al igual se denominan contaminantes criterio de acuerdo a la legislación (Resolución 601 de 2006 -MAVDT)

- **Material particulado**

El material particulado se presenta de diversas formas, tamaño y propiedades, desde pequeñas gotas de líquido hasta partículas microscópicas de polvo. Las partículas también dependen del tipo de fuente, entre los cuales se cuentan las fuentes fijas (construcción, combustión minería), fuentes móviles y las fuentes naturales (incendios forestales, y volcanes).

**Tabla 3. Generalidades del Material Particulado.**

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DEFINICIÓN:</b>  | Cualquier material sólido o líquido dividido finamente, diferente al agua no combinada, según medición por los métodos federales de referencia (40 C F R 53).                                                                                     |
| <b>FUENTES:</b>     | Hornos, trituradoras, molinos, afiladores, estufas, calcinadores, calderas, incineradores, cintas transportadoras, acabados textiles, mezcladores y tolvas, cubilotes, equipo procesador, cabinas de aspersión, digestores, incendios forestales. |
| <b>EFFECTOS:</b>    | Efectos en la respiración y el sistema respiratorio, agravamiento de afecciones respiratorias y cardiovasculares ya existentes, daños en el tejido pulmonar, carcinogénesis y mortalidad prematura.                                               |
| <b>LEGISLACIÓN:</b> | Resolución 601 del 4 de abril de 2006 MAVDT                                                                                                                                                                                                       |
| <b>VARIOS:</b>      | Ejemplos: polvo, humo, gotitas de petróleo, berilio, asbesto.                                                                                                                                                                                     |

Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Fundamentos y Planeación de Inventario de emisiones

Pág.55 Inventario De Fuentes

- **Monóxido de carbono**

El CO se produce por la combustión incompleta de materiales combustibles como gas, gasolina, queroseno, carbón, petróleo o madera. Las chimeneas, las

calderas, los calentadores de agua y los aparatos domésticos que queman combustibles fósiles o derivados del petróleo, como las estufas u hornillas de la cocina o los calentadores de queroseno, también pueden producir CO si no están funcionando bien.

**Tabla 4. Generalidades del Monóxido de Carbono.**

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DEFINICIÓN:</b>  | Gas inflamable, incoloro e insípido que se produce por la combustión de combustibles fósiles.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>FUENTES:</b>     | Fuentes estacionarias y móviles que queman combustibles (motores de combustión interna, principalmente motores a gasolina). Es producido en cantidades mucho menores en fuentes domésticas, gases volcánicos, gases emanados de los pantanos, minas de carbón, las tormentas eléctricas, la fotodisociación del CO <sub>2</sub> en la atmósfera superior, incendios, metabolismo de plantas y animales acuáticos y terrestres, incendios forestales entre otras. |
| <b>EFFECTOS:</b>    | Pueden ser mortales en corto tiempo en áreas cerradas: reacciona con la Hemoglobina de la sangre, evitando la transferencia de oxígeno.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>LEGISLACIÓN:</b> | Resolución 601 del 4 de abril de 2006 MAVDT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>VARIOS:</b>      | Se encuentra en la atmósfera en concentraciones promedio de 0.1 ppm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Fundamentos y Planeación de inventario de Emisiones, Pág.

57

- **Óxidos de nitrógeno**

Los óxidos de nitrógeno son degradados rápidamente en la atmósfera al reaccionar con otras sustancias comúnmente presentes en el aire. La reacción del dióxido de nitrógeno con sustancias químicas producidas por la luz solar lleva a la formación de ácido nítrico, el principal constituyente de la lluvia ácida. El dióxido de nitrógeno reacciona con la luz solar, lo cual lleva a la formación de ozono y smog en el aire que respiramos.



La mayor parte de los óxidos de nitrógeno se forman por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante los procesos de combustión a temperaturas elevadas. El oxígeno y el nitrógeno del aire reaccionan para formar NO, oxidándose este posteriormente a NO<sub>2</sub>. La mayor parte de los NOX emitidos a la atmósfera lo son en la forma NO.

**Tabla 5. Generalidades de óxidos de nitrógeno.**

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DEFINICIÓN:</b>  | Gas de color pardo rojizo, fuertemente tóxico, cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas <sup>43</sup> . Se identifican siete óxidos de nitrógeno: NO, NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . A nivel de contaminación del aire se refiere a NO Y NO <sub>2</sub> (gases incoloros). |
| <b>FUENTES:</b>     | Producidos al quemar combustible a temperaturas muy altas a partir del nitrógeno del aire, también son producidos a partir del nitrógeno del carbón y los aceites pesados: grandes generadores de energía eléctrica, grandes calderas industriales, motores de combustión interna, plantas de ácido nítrico.                                                                                                                                                                                                       |
| <b>EFFECTOS:</b>    | Visibilidad reducida, irritación de la nariz y los ojos, edema pulmonar, bronquitis y neumonía; reaccionan con los VOCs bajo la influencia de la luz para formar ozono, NOX. Los óxidos de nitrógeno son importantes contribuyentes potenciales de fenómenos nocivos como la lluvia ácida y la eutroficación en las zonas costeras                                                                                                                                                                                 |
| <b>LEGISLACIÓN:</b> | Resolución 601 del 4 de abril de 2006 MAVDT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>VARIOS:</b>      | Concentraciones excesivas en el aire de NO y NO <sub>2</sub> ocasionan un color parduzco debido a la absorción de la luz en el área azul-verde del espectro.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Fundamentos y Planeación de inventario de Emisiones, Pág.

- **Óxidos de azufre**

En la siguiente tabla se relaciona especialmente el SO<sub>2</sub>

**Tabla 6. Generalidades de óxidos de azufre.**

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DEFINICIÓN:</b> | Acre, corrosivo, gases tóxicos cuando se quema combustible que contiene azufre.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>FUENTES:</b>    | Artículos eléctricos, calderas industriales, fundiciones de cobre, refinerías de petróleo, fuentes de automóviles, calentadores residenciales y comerciales.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>EFFECTOS:</b>   | Dificultad para respirar cuando se disuelven en la nariz y en las vías superiores; tos crónica y secreción en las mucosas. Contribuye a la lluvia ácida y a fenómenos de visibilidad disminuida (de acuerdo a su concentración).                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>LEGISLACIÓN</b> | Resolución 601 del 4 de abril de 2006 MAVDT<br>Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>VARIOS:</b>     | El SO <sub>2</sub> pertenece a la familia de los gases de óxidos de azufre (SOX), que se producen principalmente de la combustión de compuestos que contienen azufre -carbón y aceite- durante ciertos procesos industriales y en la producción de acero. Es percibido por el olfato en concentraciones hasta de 3 ppm (0.003%) a 5 ppm (0.005%). Cuando se encuentra en niveles de 1 a 10 ppm induce al aumento de la frecuencia respiratoria y el pulso. |

Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Fundamentos y Planeación de inventario de Emisiones, Pág.

#### 4.1.3 Equipos De Control

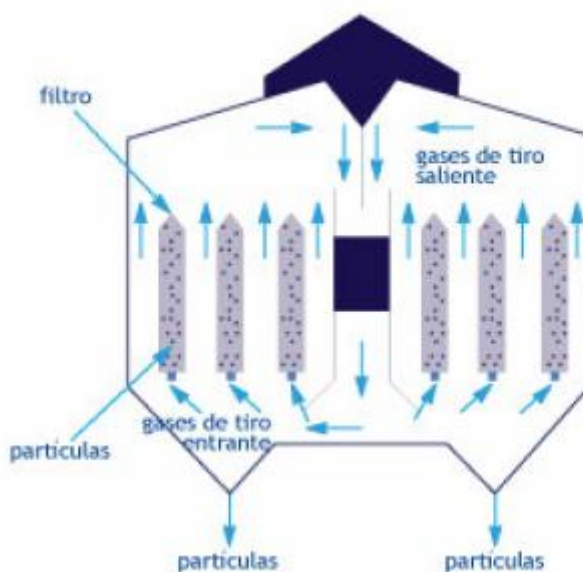
Para el control de las emisiones generadas por las fuentes fijas existen una serie de equipos diseñados para mitigar las emisiones atmosfera, entre estos equipos se encuentran:

- **Ciclones:** emplean el principio de la fuerza centrífuga para remover el material particulado; el flujo contaminante es forzado a un movimiento circular. Este movimiento ejerce fuerza centrífuga sobre las partículas y las dirige a las paredes exteriores del ciclón. Las paredes del ciclón se angostan en la parte

inferior de la unidad, lo que permite que las partículas sean recolectadas en una tolva. El aire limpio sale del ciclón por la parte superior de la cámara, pasando por un espiral de flujo ascendente o vórtice formado por una espiral que se mueve hacia abajo.<sup>11</sup>

Los ciclones se utilizan ampliamente después de operaciones de secado por aspersión en las industrias química y de alimentos y después de las operaciones de trituración, molienda y calcinación en las industrias química y de minerales para recolectar material útil o vendible.

**Figura 6. Diagrama de un Ciclón**



Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág. 99

- Filtros: Estructura porosa compuesta de material granular o fibroso por la cual retiene partículas del gas que lo transporta, a través de sus espacios. Tiene

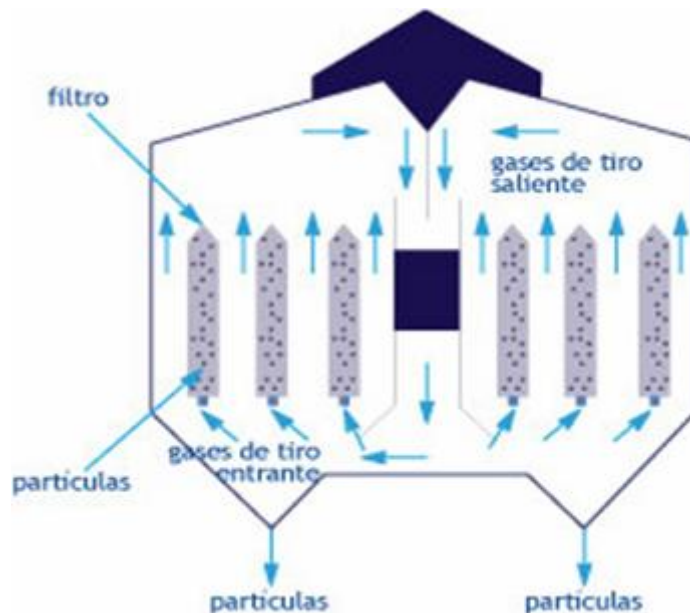
<sup>11</sup> Tomado de MANUAL DE INVENTARIO DE FUENTES PUNTUALES. K2 INGENIERIA LTDA. Págs.98-99

una eficiencia del 99%, cuando colecta partículas del 0.5 micrómetros, es decir partículas finas.<sup>12</sup>

El filtro de tela trabaja bajo el mismo principio que una aspiradora de uso doméstico. El flujo de gas pasa por el material del filtro que retira las partículas.

Durante la filtración por tela, el gas es aspirado a través de la tela por ventiladores de tiro forzado. La tela es responsable de parte de la filtración, aunque también la capa de polvo que se acumula. La capa de polvo, también conocida como pasta de polvo, es un filtro altamente eficiente, aún para partículas sub-micrónicas.

**Figura 7. Diagrama de Filtro**



Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág. 100

- Incineradores Termale: se utilizan para controlar emisiones continuas de compuestos orgánicos volátiles combustibles. Este equipo destruye gases y desechos sólidos por medio de quema controlada a altas temperaturas.

<sup>12</sup> WARK K, WARNER C., Contaminación del aire Origen y control, Pág. 270

Para la incineración termal es importante que el flujo de vapor del incinerador termal tenga una tasa de flujo y concentración constantes del gas combustible. Estos dispositivos no son adecuados para flujos fluctuantes de vapor, debido a que su eficiencia depende de la mezcla apropiada de los vapores y un tiempo específico de permanencia en la cámara de combustión.

**Tabla 7. Eficiencias de control típicas de un incinerador térmico**

| INDUSTRIA/TIPO DE FUENTES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | EFICIENCIA DE CONTROL PM10 (%) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <p><b>Productos de Petróleo y Carbón</b></p> <p>Procesos de techado de asfalto (soplado, saturación de fieltro); calcinación de minerales; procesos de refinamiento de petróleo (soplado de asfalto, descomposición térmica catalítica, calcinación de coque, convertidor de sedimento fangoso); manufactura de azufre</p>                                                                                                                                                       | 25 – 99.9                      |
| <p><b>Productos Químicos y Aliados</b></p> <p>Manufactura de carbón negro; manufactura de carbón; desecho de residuos líquidos; procesos químicos misceláneos; manufactura de pesticidas; manufactura de anhídrido ftálico (oxidación de xileno); manufactura de plásticos/fibra orgánica y sintética; incineración de residuos sólidos (industriales).</p>                                                                                                                      | 50 – 99.9                      |
| <p><b>Industria de Metales Primarios</b></p> <p>Procesos de derivados del coque (descarga del carbón, cargamento y empuje del horno, enfriamiento); cúpula de hierro gris y otros procesos misceláneos; procesos secundarios del aluminio (quemado/secado, horno de fundición); procesos secundarios del cobre (secado de chatarra, cúpula de chatarra y procesos misceláneos); procesos misceláneos de la fundición de acero; horno para los recubrimientos de superficies.</p> | 70 – 99.9                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Equipo Electrónico y Otros Eléctricos</b><br><br>Procesos misceláneos de la manufactura química; horno para cocimiento de equipo eléctrico; tanque de techo fijo; procesos misceláneos de la producción de minerales; enrollado/estirado secundario de aluminio por extrusión; incineración de residuos sólidos (industrial) | 70 – 99.9 |
| <b>Servicios Eléctricos, de Gas y Sanitarios</b><br>Motores de combustión interna, incineración de residuos sólidos (industrial, comercial/institucional)                                                                                                                                                                       | 90 – 98   |
| <b>Productos de Piedra, Arcilla y Vidrio</b><br>Horno procesador de bario; secador termal para la limpieza del carbón, maquinaria para plásticos fabricados, manufactura de lana de fibra de vidrio.                                                                                                                            | 50 – 95   |
| <b>Alimentos y Productos Afines</b><br>Procesamiento de carbón, misceláneos; procesamiento de maíz, misceláneos; procesamiento de soya, misceláneos.                                                                                                                                                                            | 70 – 98   |
| <b>Minería</b><br>Secadora rotatoria para concreto de asfalto, unidades de oxidación por aire para químicos orgánicos, producción de azufre                                                                                                                                                                                     | 70 – 99.6 |
| <b>Seguridad Nacional y Asuntos Internacionales</b><br>Incineración de residuos sólidos (comercial/institucional y municipal)                                                                                                                                                                                                   | 70        |
| <b>Productos de Molino Textil</b><br>Plásticos/fibra orgánica y sintética (procesos misceláneos)                                                                                                                                                                                                                                | 88 – 95   |
| <b>Maquinaria y Equipo Industrial</b><br>Procesos secundarios del aluminio (quemado/secado, horno de fundición)                                                                                                                                                                                                                 | 88 – 98   |
| <b>Maderos y Productos de Madera</b><br>Incineración (industrial) de desechos sólidos                                                                                                                                                                                                                                           | 70        |
| <b>Equipo de Transporte</b><br>Incineración (industrial) de desechos sólidos                                                                                                                                                                                                                                                    | 70 – 95   |

Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág. 100-101

Los incineradores catalíticos son similares a los termales e incluyen un catalizador para evaluar el proceso de combustión. Un catalizador es una sustancia que acelera una reacción química sin que la reacción cambie o consuma dicha sustancia. Los catalizadores permiten que el proceso de combustión ocurra con temperaturas más bajas, lo que reduce el costo del combustible. Cuando se usa un incinerador catalítico se obtiene una eficiencia de destrucción mayor de 95%. Si se emplea un volumen mayor de catalizadores o temperaturas más altas es posible alcanzar una mayor eficiencia. Los incineradores catalíticos son más convenientes para las emisiones con bajo contenido de VOC.

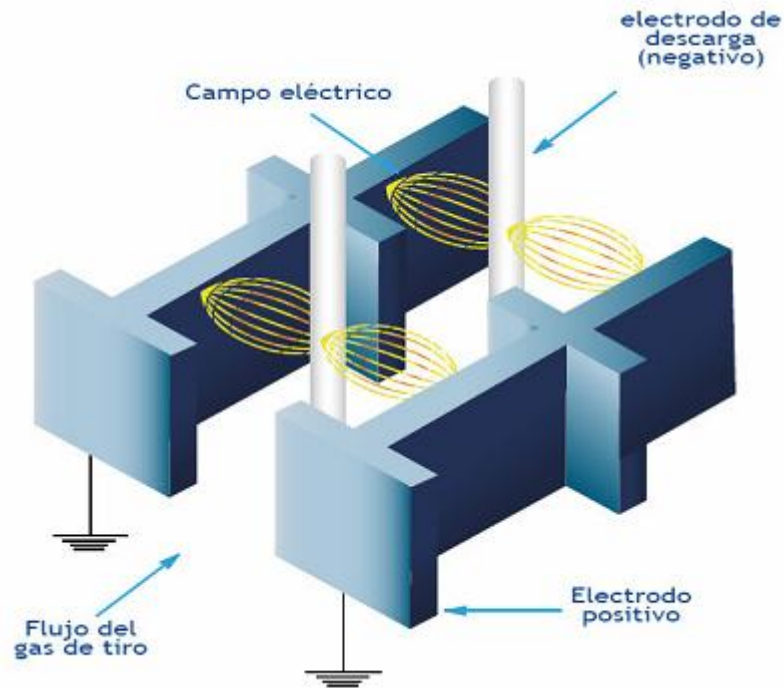
- Precipitador electrostático: es un sedimentador por gravedad o un separador centrífugo; atrapa las partículas sólidas en un flujo de gas por medio de electricidad, estos cargan de energía a las partículas atrayéndolas con cargas opuestas ubicadas en el precipitador, para posteriormente retirarse de las placas mediante golpes secos y se recolectan en una tolva ubicada en la parte inferior de la unidad.<sup>13</sup>

Los precipitadores electrostáticos (ESP) del tipo con tubería se utilizan en ocasiones en la industria textil, papelera y procesadora de pulpa de madera, metalúrgica (incluyendo los hornos de coque), en los incineradores de residuos peligrosos, y en la producción de ácido sulfúrico, entre otros, aunque también son empleados otros tipos de precipitadores. Los ESP húmedos del tipo tubo-alambre se utilizan mucho más frecuentemente que los ESP tipo tubo-alambre, los cuales son usados sólo en casos en donde la limpieza en húmedo no es recomendable, tales como en corrientes a temperaturas altas o cuando existen restricciones sobre las aguas residuales.

---

<sup>13</sup> NOEL DE NEVERS, Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire, Pág. 238

**Figura 8. Diagrama de un Precipitador Electrostático**

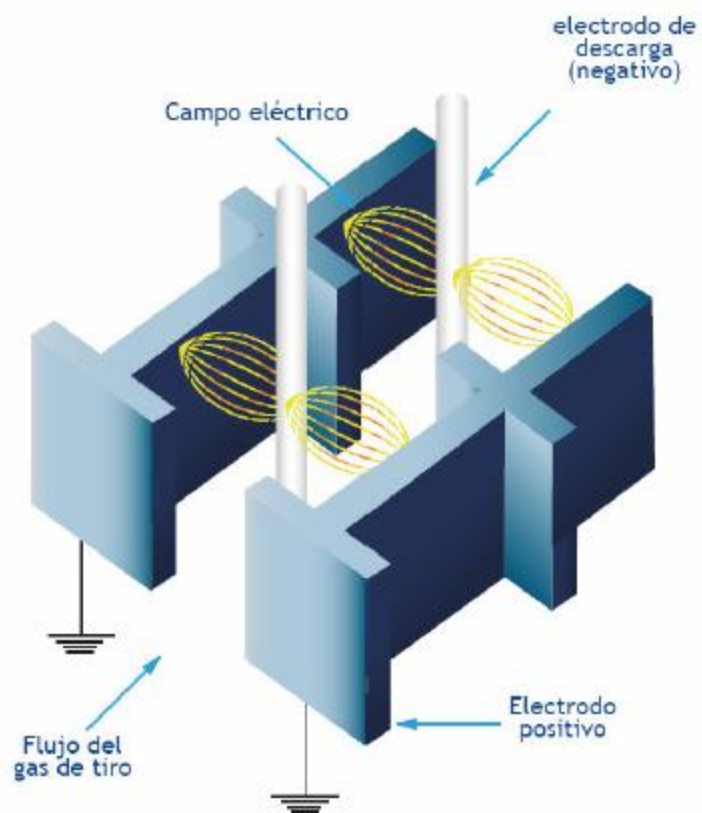


Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág. 103

- Lavador: los lavadores Venturi usan un flujo líquido para remover partículas sólidas. En el lavador Venturi, el gas cargado con material particulado pasa por un tubo corto con extremos anchos y una sección estrecha. Esta constricción hace que el flujo de gas se acelere cuando aumenta la presión. El flujo de gas recibe un rocío de agua antes o durante la constricción en el tubo. La diferencia de velocidad y presión que resulta de la constricción hace que las partículas y el agua se mezclen y combinen. La reducción de la velocidad en la sección expandida del cuello permite que las gotas de agua con partículas caigan del flujo de gas. Los lavadores Venturi pueden alcanzar 99 por ciento de eficiencia en la remoción de partículas pequeñas. Sin embargo, una desventaja de este dispositivo es la producción de aguas residuales.



**Figura 9. Lavador Venturi**



Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág. 105

## 4.2 MARCO HISTÓRICO

La creación de inventarios de emisiones a nivel mundial surge de la Agenda 21 de la Conferencia de Río de Janeiro (1992) en la cual se recomendaba a los países a proteger, controlar las emisiones de contaminantes al ambiente.

“En España se ratificó el Convenio de Ginebra sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga distancia en 1982 y, desde entonces, con una firme voluntad de adherirse a los principios que rigen el mismo, ha ratificado los siguientes Protocolos:

- El Protocolo de Oslo, de 1994, sobre reducciones adicionales de las emisiones de dióxido de azufre.
- El Protocolo de Génova, de 1991, referente al control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles o de sus flujos transfronterizos.
- El Protocolo de Sofía, de 1988, referente al control de los óxidos del nitrógeno o de sus flujos transfronterizos.
- El Protocolo de Ginebra, de 1984, relativo a la financiación a largo plazo del programa de cooperación para la vigilancia y la valuación del transporte a larga distancia de los agentes contaminantes atmosféricos en Europa (EMEP).

Los compromisos establecidos en el Protocolo de Helsinki de 1985 sobre óxidos de azufre fueron alcanzados, a pesar de que nuestro país no llegó a ratificar dicho Protocolo. Actualmente, España cumple los objetivos contemplados en el Protocolo de Oslo sobre reducciones adicionales de las emisiones de dióxido de azufre, Protocolo que fue ratificado en 1997".<sup>14</sup>

A nivel mundial se han desarrollado infinidad de inventarios de emisiones. En Latinoamérica se han desarrollado inventarios en países como: México, Estados Unidos, Chile, Colombia, entre otros países mostrando así el compromiso en cuanto a la reducción y a la prevención de la contaminación del aire.

En los últimos tiempos, el ser humano ha venido realizando estudios que han permitido profundizar y tomar medidas preventivas con respecto a la contaminación atmosférica, ya que las múltiples actividades humanas y el incremento de las industrias están generando gases del efecto invernadero, lo que conlleva a un deterioro notable de la calidad del aire.

---

<sup>14</sup> MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Declaración Ministerial Relativa al Convenio de Ginebra sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia. <http://www.unece.org/env/documents/2004/eb/Ministerial%20Statements/Spain.S.pdf>.

En Santa Margarida i els Monjos (Barcelona) se realizó una investigación de una planta cementera, en la cual se recopilaban un importante volumen de datos sobre las emisiones atmosféricas y concentraciones para los agentes contaminantes del aire, a través del tratamiento térmico realizado a los residuos.

Anteriormente, en Colombia existía poca información sobre la calidad del aire, lo que conllevó a que las diferentes corporaciones del país implementaran estudios para determinar la calidad del recurso aire. Uno de los principales problemas que se manifestó en la ciudad de Montería, fue la falta de conocimiento por parte de las autoridades ambientales acerca de los niveles de contaminación allí presentes. Este estudio se basó en evaluar la concentración de las partículas suspendidas totales y respirables, lo que permitió implementar medidas preventivas y de control de la calidad de aire.

Otra de las investigaciones realizadas en Montería tomó como base la estimación de los gases de efecto invernadero, a través de la creación del inventario de emisiones generadas por vehículos automotores, rellenos sanitarios y fuentes biogénicas, mostrando que el parque automotor constituye más de la mitad de estos contaminantes lo que representa un problema serio para salud humana; por el contrario las concentraciones de contaminantes como partículas suspendidas totales, partículas respirables, óxidos de nitrógeno y metales no representan problemas graves a ésta.

Algunos investigadores han determinado que la emisión de contaminantes a la atmósfera, generados por vehículos, es una de las grandes causas del deterioro de la calidad del aire.

En cuanto a los efectos producidos en la salud, se estima que la contaminación del aire es una amenaza aguda, acumulativa y crónica, según lo demuestra el estudio de las series de tiempo de contaminantes atmosféricos y sus efectos en la

salud humana, realizado en el Valle Aburrá. Este demuestra que el principal contaminante atmosférico que afecta la salud humana es el material particulado.

Dependiendo del tipo de proceso que se realice en la industria, se pueden establecer medidas que estén dirigidas a la reducción y mitigación de emisiones de gases contaminantes; entre estas medidas se pueden mencionar la optimización de los procesos o la reducción del consumo de energía, entre otras.

Como trabajo de grado en la Universidad Pontificia Bolivariana se realizó un inventario de emisiones en la zona minera del Cesar teniendo como objetivo evaluar sus principales contaminantes generados, planteando estrategias de control que permitan contribuir al mejoramiento de la problemática ambiental y de la salud pública; a su vez busca establecer una base para el desarrollo de un diagnóstico de calidad de aire en esta área.

Bogotá cuenta con una red de monitoreo ambiental continuo, con 15 estaciones de medición y disponibilidad de datos meteorológicos y de contaminación del aire, el cual busca obtener y procesar información de su calidad, de forma confiable, para evaluar el cumplimiento de los estándares y corroborar la tendencia de la concentración de los contaminantes.

El valle de Aburrá cuenta con un convenio para el estudio y seguimiento de la calidad del aire, el cual está conformado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el IDEAM, Corantioquia, Universidad de Antioquia, Universidad de Medellín, la Universidad Pontificia Bolivariana, entre otros. Esta red de monitoreo está conformada por estaciones que miden partículas suspendidas totales, material particulado, ozono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, estación meteorológica, monóxido de carbono y una estación ubicada en la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB).

### 4.3 MARCO LEGAL

En la siguiente normativa se describe los principales requerimientos para el cumplimiento de calidad del aire y los estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por las diversas fuentes. Esta legislación es promulgada por la autoridad ambiental

**Ley 9 de 1979:** por la cual se definen normas de protección del medio ambiente destinadas a preservar y mejorar la salud humana.

Para la protección del Medio Ambiente la presente Ley establece:

- a. Las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana;
- b. Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.

**Decreto 1697 de 1997:** modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, en el cual por medio del artículo 24 se establecen los casos en los cuales se permite el uso de lubricantes de desecho en hornos o calderas, comerciales o industriales como combustible.

**Decreto 948 de 1995:** por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto-ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9ª de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

El presente Decreto contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, de alcance general y aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, las directrices y competencias para la fijación de las normas de calidad del aire o niveles de inmisión, las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera, las de emisión de ruido y olores ofensivos, se regulan el otorgamiento de permisos de emisión, los instrumentos y medios de control y vigilancia, el régimen de sanciones por la comisión de infracciones y la participación ciudadana en el control de la contaminación atmosférica.

Al igual este decreto tiene por objeto definir el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire; evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire; a fin de mejorar la calidad de vida de la población y procurar su bienestar bajo el principio del Desarrollo Sostenible

**Decreto 02 de 1982:** por el cual se reglamentan parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas. Derogado por el decreto 948 de 1995.

**Resolución 909 de 2008:** por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, determina las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general aplicables a todas las

actividades que puedan producir de manera directa o indirecta daños ambientales y dictar regulaciones de carácter general para controlar y reducir la contaminación atmosférica en el territorio nacional y establecer los límites máximos permisibles de emisión, descarga, transporte o depósito de sustancias, productos, compuestos o cualquier otra materia que pueda afectar el medio ambiente o los recursos naturales renovables.

En el capítulo II se encuentran los estándares admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas puntuales de actividades industriales.

**Resolución 601 de 2006:** por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.

En esta resolución establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia, en la cual se desarrollan los niveles máximos permisibles de contaminantes en la atmósfera; los procedimientos para la medición de la calidad del aire, los programas de reducción de la contaminación del aire y los niveles de prevención, alerta y emergencia y las medidas generales para su mitigación, norma aplicable a todo el territorio nacional.

**Resolución 0058 de Enero 21 de 2002:** por la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.

**Resolución 619 de 1997:** por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas. El Ministerio del Medio Ambiente consagra los casos que requieren permiso previo de emisión atmosférica para regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente y el uso, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales con el fin de mitigar o eliminar el impacto de actividades

contaminantes del entorno, determinar las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general aplicables a todas las actividades que puedan generar directa o indirectamente daños ambientales.

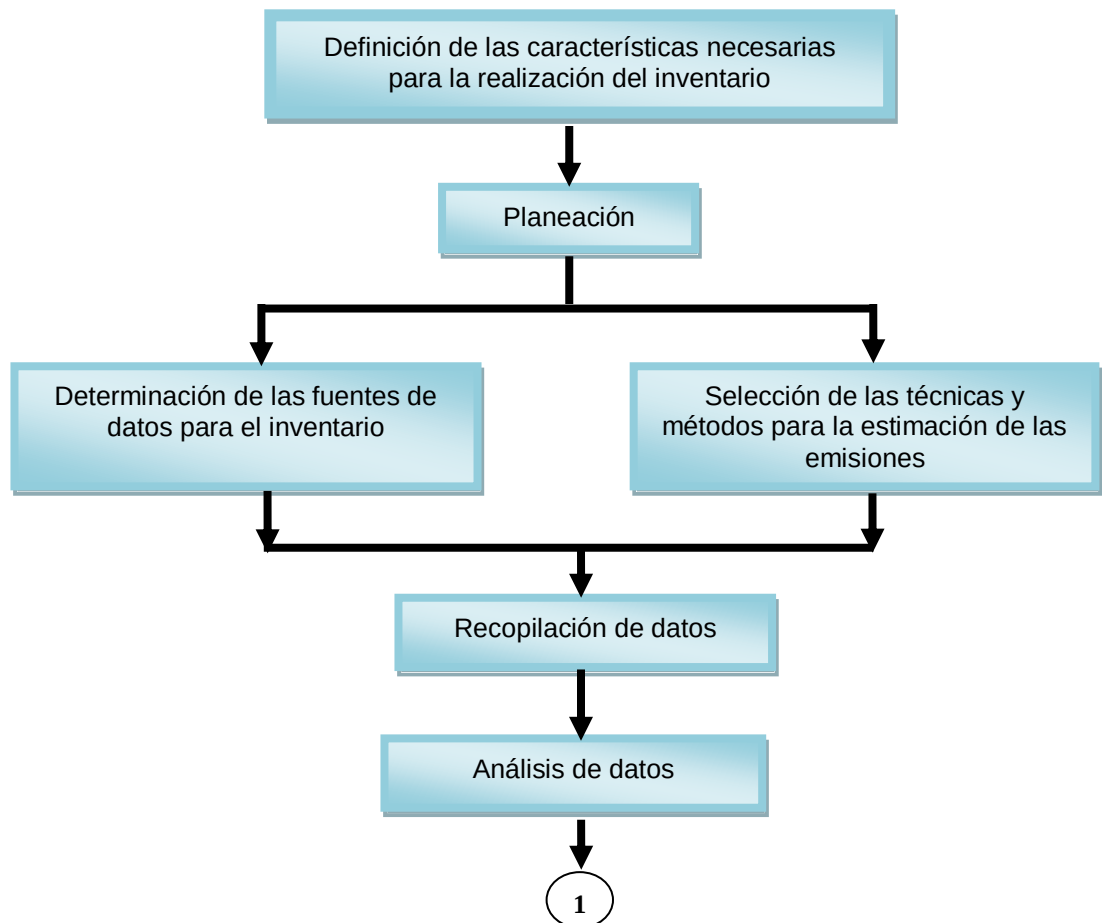
**Resolución 886 del 2004:** por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 0058 del 21 de enero de 2002, donde se establecen los límites máximos permisibles y los requisitos de operación para incineradores de residuos sólidos y líquidos.



## 5. METODOLOGÍA

Para la realización de inventario de emisiones de la zona industrial de Chimitá a lo largo de la Vía entre el Palenque y Café Madrid, se plantea la metodología descrita en la Figura 10. Inicialmente se efectúa una revisión bibliográfica de los Manuales de Fundamentos y Planeación de Inventario de Emisiones elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), para ello se consulta en la página web del MAVDT, en el link Desarrollo Sectorial Sostenible, Política, Normativa y Calidad Ambiental (Aire); el estudio de estos manuales suministra el reconocimiento de la metodología para la realización de Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas.

**Figura 10. Metodología**





Fuente: Modificación del Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Para la definición de características necesarias del inventario, se selecciona el área teniendo en cuenta la zona donde se estima el mayor grado de contaminación atmosférica, para el caso del estudio, la Zona Industrial de Chimitá, comprendida a lo largo de la vía Palenque-Café Madrid, pues allí se encuentran ubicadas un gran número de industrias de Bucaramanga.

Se realizan visitas de campo a la zona, para el reconocimiento preliminar del área donde se realiza el Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas. Para ello, se registra el número de empresas con su respectivo nombre y dirección, con el fin de alimentar esta información en la base de datos de la autoridad ambiental. Posteriormente, se realizaron otras visitas para el reconocimiento de los procesos productivos de las empresas y así determinar si se constituían como fuentes emisoras de contaminantes.

Para el diligenciamiento de la base de datos se toma la información recopilada por medio de los expedientes, las encuestas enviadas a las empresas y en algunos casos las visitas realizadas.

Después de seleccionar las empresas, se determinan las fuentes de datos del inventario, a través de la revisión de expedientes existentes en la Subdirección de Control Ambiental y Desarrollo Territorial de la CDMB, obteniendo la información para el diligenciamiento de la base de datos del proyecto.

Junto con la CDMB se envía una encuesta a cada empresa, recopilando información para completar la base de datos, donde se registra la información general de la empresa y datos específicos del proceso productivo.

Para la definición de los parámetros a emplear en la realización de la base de datos, se utilizan los formatos estipulados en el Manual de Documentación de Inventario de Emisiones propuesto por el MAVDT, a los cuales se le realizaron algunas modificaciones a medida que estos se fueron diligenciando. Ver anexo. Base de datos desde Anexo 4 al Anexo 14.

De acuerdo al proceso productivo de cada empresa, ubicada en la zona de Chimitá, se selecciona el método más adecuado para la estimación de emisiones, en caso de que la empresa no emita contaminantes a la atmósfera, formará parte del inventario y no se le calculará ninguna emisión.

Luego de tener diligenciada la base de datos se seleccionará la información que permitirá resaltar las empresas contaminantes para posteriormente realizar su respectivo análisis, al igual, a partir de esta información se llevará a cabo la realización del inventario de emisiones de fuentes fijas de los principales contaminantes atmosféricos.

Con la ejecución de este proyecto se evaluará la aplicabilidad de la metodología estipulada en los manuales propuestos por el MAVDT para la ejecución de posteriores inventarios, tomando en cuenta la experiencia adquirida durante su

realización, debido a que esta metodología no ha sido llevada a cabo en otros inventarios.

Finalmente, con base a los resultados obtenidos en este proyecto, se recomendará sistemas de control atmosféricos a las empresas que lo requieran para minimizar las emisiones generadas al ambiente, y a la vez, permita cumplir con la legislación ambiental vigente.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para la realización del Inventario de Emisiones Atmosféricas para fuentes fijas de los principales contaminantes generados por las industrias ubicadas en la zona industrial de Chimitá, a lo largo de la vía entre el Palenque y Café Madrid, se tuvo en cuenta la metodología propuesta por MAVDT, para estimar cuantitativamente los contaminantes generados a la atmósfera, permitiendo evaluar su aplicabilidad en la realización de posteriores inventarios.

### **6.1 REVISIÓN DE LOS MANUALES DE FUNDAMENTOS Y PLANEACIÓN DE INVENTARIO DE EMISIONES**

Inicialmente, se hizo una revisión bibliográfica de los manuales de Fundamentos y Planeación de Inventario de Emisiones propuestos por el MAVDT, donde se estipula la información necesaria para la realización de inventario de emisiones de fuentes fijas, como es el propósito del inventario, información técnica de los inventarios, metodología según propósito, formatos de recopilación de información, entre otros aspectos, para ello se consulta en la página web del MAVDT, en el link Desarrollo Sectorial Sostenible, Política, Normativa y Calidad Ambiental (Aire).

### **6.2 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NECESARIAS PARA LA REALIZACIÓN DEL INVENTARIO**

Se seleccionó el área comprendida a lo largo entre la vía Palenque- Café Madrid teniendo en cuenta que esta zona representa la zona industrial de Bucaramanga, debido a esto, se estimó la presencia de un elevado grado de contaminación

atmosférica. Otra razón por la cual se escogió esta zona, fue por el interés de la CDMB para la recopilación de información acerca del aporte de contaminantes atmosféricos generados por la zona industrial, pues en esta zona no se han realizado estudios que permitan tener claridad sobre las empresas allí existentes, por esta razón fue necesaria realizar visitas domiciliarias para tener un registro de las empresas allí presentes.

### 6.3 PLANEACIÓN

Inicialmente, se realizó un reconocimiento de la zona por medio de visitas de campo en las cuáles se cuantificaron las empresas existentes en el área de estudio y se obtuvo un total de 29 empresas, objeto de estudio. Ver anexo 1. En la siguiente tabla se muestra la información preliminar recopilada en las visitas.

**Tabla 8. Recopilación de la información preliminar de las empresas ubicadas a lo largo entre la vía Palenque-Café Madrid.**

| NO. | EMPRESA            | DIRECCIÓN                                                 |
|-----|--------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1   | Saceites S.A       | Km 1 Vía Chimitá - Zona Industrial                        |
| 2   | Industrias Wonder  | Vía Girón Variante Chimitá El Palenque<br>Zona Industrial |
| 3   | Gasán S.A          | Zona Industrial Chimitá Km 2                              |
| 4   | Fiber- Glass       | Km 1 Vía Palenque Café Madrid                             |
| 5   | Icoharinas Ltda    | Km 1 Vía Chimitá                                          |
| 6   | Furgoriente S.A    | Cra 17 # 4-67 Vía Chimitá Girón                           |
| 7   | Norgas S.A E.S.P   | Km 2 Zona Industrial Chimitá                              |
| 8   | Sandesol S.A E.S.P | Km 6.5 parque Industrial II etapa                         |
| 9   | Terpel             | Km4 zona Industrial Chimitá -vía Girón                    |

|    |                                                                      |                                                     |
|----|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 10 | Tesicol S.A                                                          | Km 1 zona Industrial vía Chimitá                    |
| 11 | Solla                                                                | Km 1 Vía palenque Café Madrid                       |
| 12 | Harinagro                                                            | Km 6.5 parque Industrial II Etapa                   |
| 13 | Cooperativa Agroindustrial de Avicultores de Santander Ltda-Coavisan | Km 4 Zona Industrial Girón                          |
| 14 | Agencia Fumisan                                                      | Cra 3 # 1-49 Bodega 16 Zona Industrial              |
| 15 | Incubadora Santander S.A                                             | Km 5 vía Palenque Café Madrid                       |
| 16 | Avícola Sinain Ltda-Avisin                                           | Km 4 vía Palenque café Madrid                       |
| 17 | Campollo S.A                                                         | Km 2, Sector Occidental Vía Chimitá-Palenque        |
| 18 | ndumetalicas Archila                                                 | Cra 0 # 3-45 Km2 vía Chimitá                        |
| 19 | Avidesa Macpollo                                                     | Km 6,5 vía chimita-café Madrid                      |
| 20 | Centro de Diagnóstico Automotriz (Revitec)                           | Km 1 Vía Palenque Café Madrid                       |
| 21 | Industrias Falcon                                                    | Km 4.5 Vía Palenque Café Madrid                     |
| 22 | Finca                                                                | Km 3 vía Palenque- Café Madrid rivera del río Girón |
| 23 | Ricardo Rueda Pinilla-Delihuevo                                      | Cra 17 # 4-21 Km. 1 Vía Chimitá-Giron               |
| 24 | C.I Alimentos Naturales del Campo S.A                                | Cra 17 # 4-86 Vía Chimitá-Girón                     |
| 25 | Thermo Cold                                                          | Cr 1 # 3-59 Vía Chimitá- Girón                      |
| 26 | Corplisan                                                            | Cr 17 # 2A-55 Autop. Palenque Vía Café Madrid       |
| 27 | Indagro Ltda.                                                        | Vía Palenque Café Madrid Km 1 Zona Industrial Girón |
| 28 | Procomer                                                             | Cr 174 # 51-01 Km 1 Vía Chimita                     |
| 29 | Electrificadora de Santander S.A                                     | Cra 19 # 24-56                                      |

Fuente: Autor

La recopilación de esta información permitió dimensionar el área de estudio desde el puente del palenque hasta el parque industrial 2, y a su vez, tener claridad de las empresas que hacían parte del proyecto. Ver anexo 1.

#### **6.4 DETERMINACIÓN DE LAS FUENTES DE DATOS PARA EL INVENTARIO.**

Para la recopilación de la información se utilizaron tres fuentes de datos entre los cuales se encuentran: revisión de expedientes existentes en la CDMB, Encuestas y Visitas de campo.

- **Revisión de Expedientes**

La revisión de expedientes se llevó a cabo en la CDMB, en la Subdirección de Control Ambiental al Desarrollo Territorial, al interior del Grupo de Seguimiento y Control Ambiental Fuentes Fijas – Emisiones Atmosféricas. En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje de empresas que cuentan con expedientes en la CDMB.

**Gráfica 1. Porcentaje de Empresas con expediente en la CDMB.**



Fuente: Autor

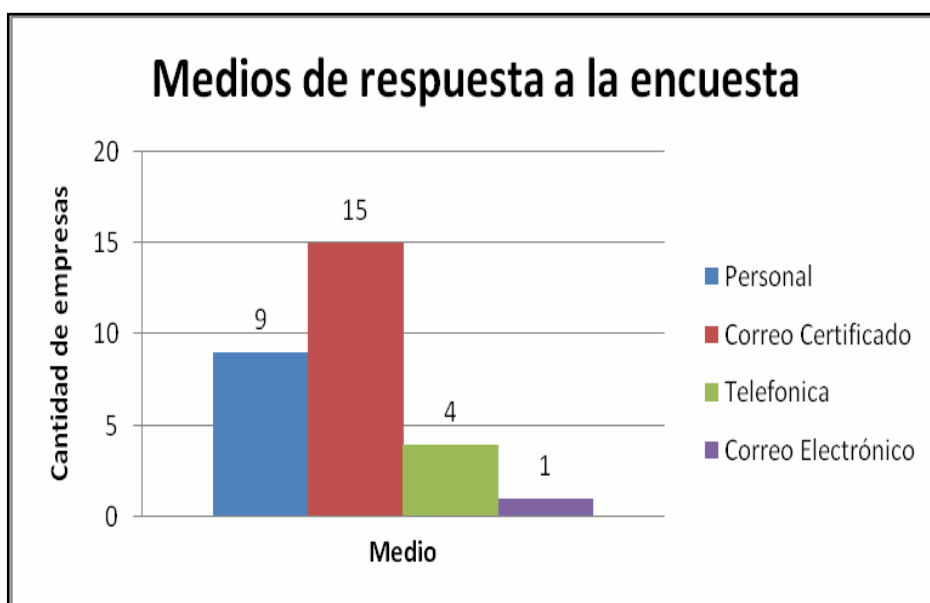


En la gráfica 1, se observa que el 79% de las empresas no cuentan con expedientes de Emisiones Atmosféricas en la CDMB, debido a que éstas no emiten contaminantes a la atmósfera, por lo tanto, no son de interés para la autoridad ambiental.

- **Encuestas**

Para la realización de la encuesta se tuvo en cuenta los formatos existentes en el Manual de Documentación de Inventario de Emisiones, en las páginas 52 a la 72, propuesto por el MAVDT, donde se estipula información general y específica del proceso de la empresa; para llevar acabo esto, la CDMB expidió una comunicación formal dirigido a cada empresa en donde se explican las preguntas requeridas para la realización del proyecto (Ver anexo 2). El diligenciamiento de la encuesta se llevó a cabo por diferentes medios, los cuales son mostrados en la gráfica 2.

**Gráfica 2. Medios de respuesta a la encuesta**



Fuente: Autor

De las 29 empresas, 15 respondieron la encuesta por correo certificado de la Corporación Autónoma Regional-CAR, nueve de forma personal, cuatro, telefónicamente y una por correo electrónico. Esta diferencia de medios empleados para el diligenciamiento de la encuesta se presentó, debido a que algunas de estas hicieron caso omiso al radicado enviado por la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga -CDMB. La información recopilada por estas empresas como nombre completo, dirección, teléfono, representante legal, proceso productivo, entre otras, se muestra en la base de datos. Ver anexo 4 al 14.

- **Visitas de campo**

La realización de las visitas de campo tuvo como finalidad recopilar información general y hacer un reconocimiento de la actividad industrial de cada empresa, la cual se registra en el Anexo 9, Formato DI-7. F006-Formato de encuesta de Fuentes Puntuales de la base de datos. Esta información se recopiló con el fin de determinar si generaban o no emisiones a la atmósfera, dado que en empresas donde se presenten procesos de combustión, hay emisiones. La mayoría de las visitas se realizaron en conjunto con una funcionaria de la CDMB, la cual nos orientó en la ejecución de las mismas. La siguiente gráfica muestra el porcentaje de visitas que se llevaron a cabo en la realización del proyecto.

**Gráfica 3. Porcentaje Visitas Realizadas**



Fuente: Autor

Como se indica en la gráfica al 79% de las empresas se les realizó visita para la recopilación de información requerida en el diligenciamiento de la base de datos; al 21% restante no fue necesario practicarla, dado que algunas de estas empresas cuentan con expedientes en la CDMB, el cual, proporcionó la información completa para la realización del proyecto y en las otras empresas se precisó la información necesaria por medio de encuestas. Esta información está incluida en la base datos del proyecto. Ver Anexo 4.

## **6.5 SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS Y MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES.**

De acuerdo al proceso productivo de cada empresa, se seleccionó el método más adecuado para la determinación de sus emisiones atmosféricas, teniendo en cuenta la complejidad de sus procesos, tipo de combustible, cantidad procesada, frecuencia de producción, pues de esto depende que se cuente con estudios

previos a la fuente generadora de contaminación, es decir, **muestreos directos (isocinéticos)**, de lo contrario la estimación de las emisiones se calculó por medio de **factores de emisión**, debido a que este cálculo no requiere de información compleja de campo. En algunas empresas no tenían claridad con respecto a la información, por lo tanto su recolección se dificultó. Los resultados obtenidos mediante estos métodos están registrados en el anexo 13, DI-11.F010-Formato de encuesta de fuentes puntuales - datos de muestreos isocinéticos y en el anexo 14, DI-12.F011-Formato de hojas de cálculo - factores de emisión, presentes en la base de datos del proyecto.

Por otra parte, con las empresas que no generan emisiones a la atmósfera sólo se tiene en cuenta la información general para registrarlas en la base de datos del inventario de emisiones de fuentes fijas.

## **6.6 RECOPIACIÓN DE DATOS**

La información obtenida se recopiló en una base de datos, la cual fue diseñada teniendo en cuenta los formatos estipulados en el Manual de Documentación de Inventario de Emisiones propuesto por el MAVDT, a estos formatos se le realizaron algunos ajustes acordes con las características del proyecto. Ver Anexo. Base de datos, del Anexo 4 al 14.

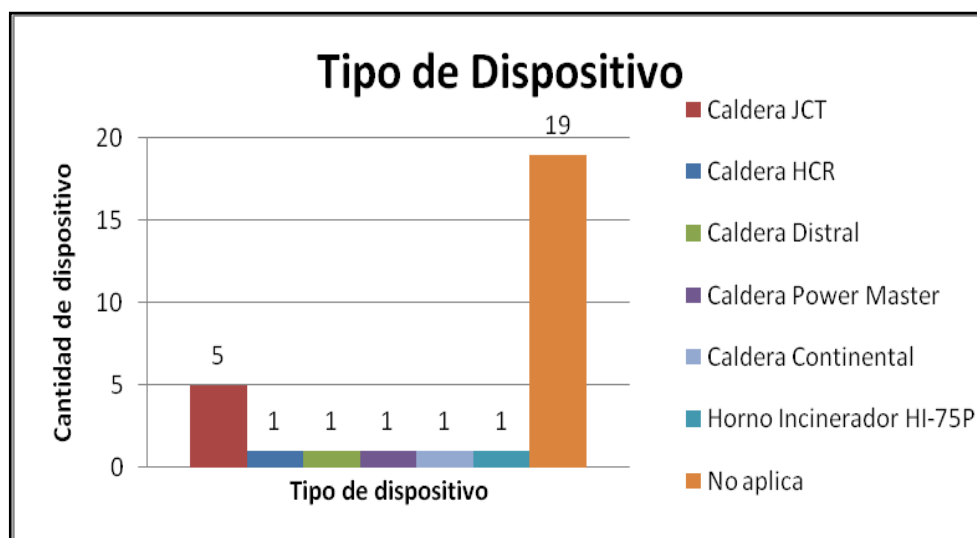
De esta manera se consolida el diligenciamiento de la base de datos, la cual, se establece como un instrumento útil y necesario para la Autoridad Ambiental, pues allí se encuentra un registro completo de las empresas existentes entre la vía Palenque-Café Madrid.

## 6.7 ANÁLISIS DE DATOS

Una vez diligenciada la base de datos se empezó a hacer el análisis relacionado con las empresas que eran foco de contaminación, para ello se tuvo en cuenta parámetros relacionados con la contaminación atmosférica.

En las gráficas 4 a la 7 se muestran los parámetros que permitieron establecer si existía algún punto de emisión.

**Gráfica 4. Tipo de Dispositivo**

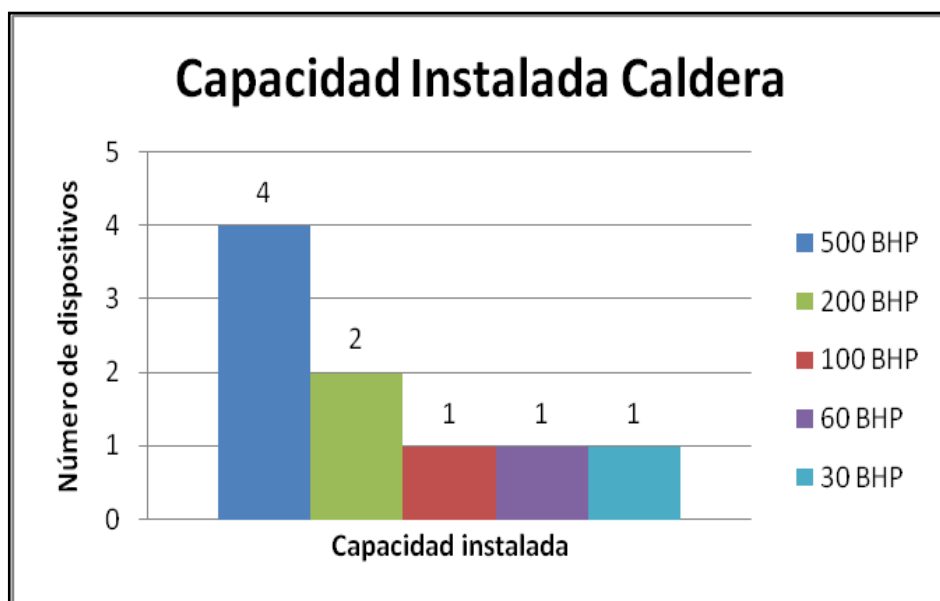


Fuente: Autor

En la gráfica anterior, se muestra que 10 de las 29 empresas presentan algún tipo de equipo generador de emisiones atmosféricas, siendo la caldera, el equipo que se registra con mayor frecuencia; entre los diferentes tipos, la marca de caldera más común es JCT debido a su gran reconocimiento a nivel nacional por su amplia experiencia en el diseño y funcionamiento de estas. Las otras marcas de calderas como Power Master, HCR, Distral y Continental únicamente difieren en el tipo de fabricante más no en su eficiencia y tecnología. Por otra parte, sólo se

presentó una empresa que utiliza horno incinerador debido a la actividad económica de incineración de residuos. Cada empresa realiza mantenimiento periódico de su caldera para obtener mejor eficiencia en su funcionamiento, de esta manera minimizar la cantidad de combustible utilizado y por ende las emisiones generadas a la atmósfera.

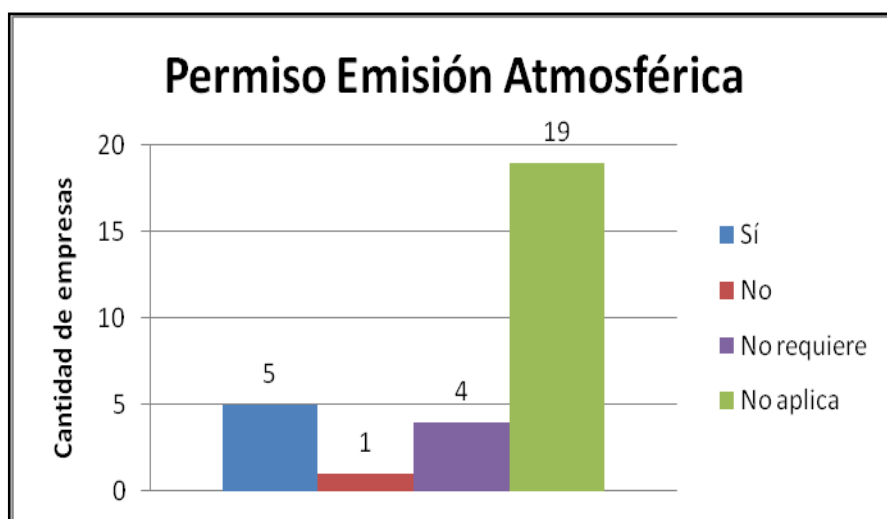
**Gráfica 5. Capacidad Instalada de la Caldera**



Fuente: Autor

Se observa que la capacidad instalada de las calderas va desde 500 BHP hasta 30 BHP (caballos de fuerza); las calderas con mayor potencia requieren de mayor cantidad de combustible, situación que se asocia, aunque no únicamente, a las emisiones de gases y material particulado, dependiendo del combustible utilizado, la cantidad de vapor requerido en la planta, de los dispositivo de control con que cuenta el equipo, la operación de la caldera y la conservación de calor en la línea de vapor.

**Gráfica 6. Permiso de Emisión Atmosférica Vigente**



Fuente: Autor

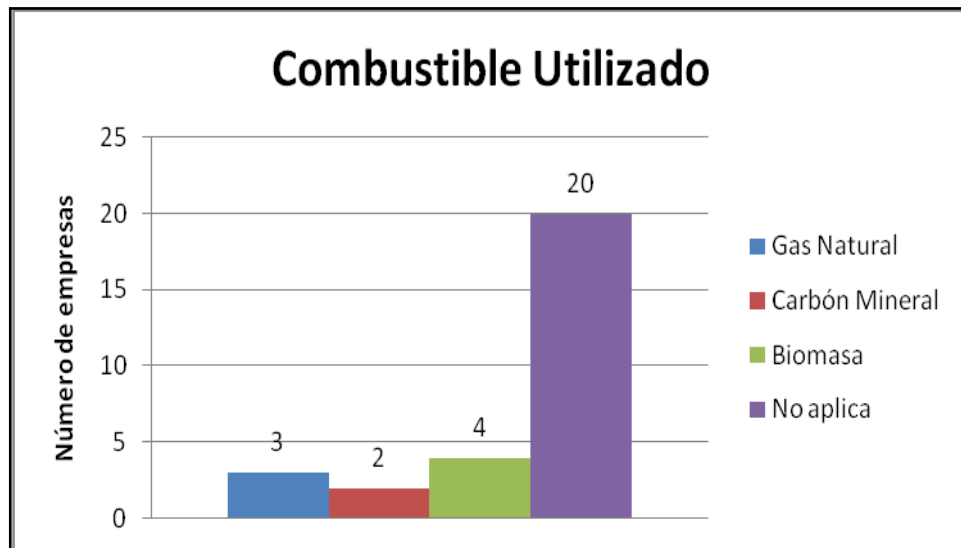
Con respecto al permiso de emisiones atmosféricas de las empresas estudiadas, cinco de ellas cuentan con permiso de emisión vigente. Todas las empresas que requieran o no permiso de emisiones, deben cumplir con la norma que rige en esa materia, es decir, el Decreto 02 de 1982 y la Resolución 909 de 2008.

No aplican para permiso de emisión 19 empresas, pues en procesos productivos como manufactura en polipropileno y polietileno de alta densidad de telas tejidas planas, telas tejidas de punto tipo raschel, sogas y cordeles, almacenamiento y llenado de cilindros de gas, pasteurización y pulverización de huevo, entre otras, no existe generación de contaminantes a la atmósfera dado que en sus procesos no generan ningún tipo de contaminante a la atmósfera.

No requieren permiso de emisión atmosférica 4 de las empresas estudiadas, dado que operan con gas natural y según el Decreto 948 de 1995 en el parágrafo 5 del artículo 73 establece: "Que las calderas u hornos que utilicen como combustible gas natural o gas licuado del petróleo, en un establecimiento industrial o comercial

o para la operación de plantas termoeléctricas con calderas, turbinas y motores, no requerirán permiso de emisión atmosférica”.

**Gráfica 7. Tipo de Combustible Utilizado**



Fuente: Autor

Como se indica en la gráfica 7, 20 empresas no utilizan ningún tipo de combustible, debido a que en su proceso productivo no utilizan equipos generadores de emisiones y algunas realizan sus actividades electrónicamente; tres utilizan gas natural, siendo este un combustible limpio para el ambiente; cuatro de ellas emplean biomasa generando bajas emisiones de contaminantes a la atmósfera, pues según los muestreos isocinéticos de estas empresas reportados a la CDMB, se demuestra sus bajos niveles de contaminantes emitidos a la atmósfera; por último, dos empresas utilizan carbón mineral, siendo este un combustible eficiente y económico, cabe indicar que su gran desventaja al emplearlo es la generación de impurezas, altos contenido de cenizas y azufre que hacen que los niveles de contaminación atmosférica sean elevados.



## 6.8. INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS

### 6.8.1 Cálculo Tipo para Factores de Emisión

El cálculo de factores de emisión se realiza con el fin de determinar las emisiones de contaminantes de las empresas que no tienen muestreos directos, debido a que el combustible que utilizan es gas natural, y en la legislación colombiana no se exige la realización de muestreos para este tipo de combustible.

En el siguiente cálculo se relaciona la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera por la empresa Terpel, con su unidad de actividad asociada a dicha emisión y cantidad de combustible utilizado. Esta empresa usa como combustible gas natural, con una cantidad de 111.5 m<sup>3</sup>/h.

Se realizó una revisión en el AP-42, en el cual la EPA hace una recopilación de factores de emisión para contaminantes criterio. En este caso, se centro en el capítulo 1 (External Combustion Sources), link Natural Gas Combustion en donde se encuentran los factores de emisión para óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO). Ver Anexo 3.

$$\text{NO}_x = 280 \text{ lb}/10^6 \text{ pie}^3 = 4.49 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{CO} = 84 \text{ lb}/10^6 \text{ pie}^3 = 1.35 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/\text{m}^3$$

Tomando en cuenta los valores anteriores, el cálculo para hallar el factor de emisión en kg/h, según Ecuación 1.

Contaminante NO<sub>x</sub>:

$$E = 4.49 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/\text{m}^3 * 111.5 \text{ m}^3/\text{h} = 0.50 \text{ kg}/\text{h}$$

Contaminante CO:

$$E = 1.35 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/\text{m}^3 * 111.5 \text{ m}^3/\text{h} = 0.15 \text{ kg}/\text{h}$$

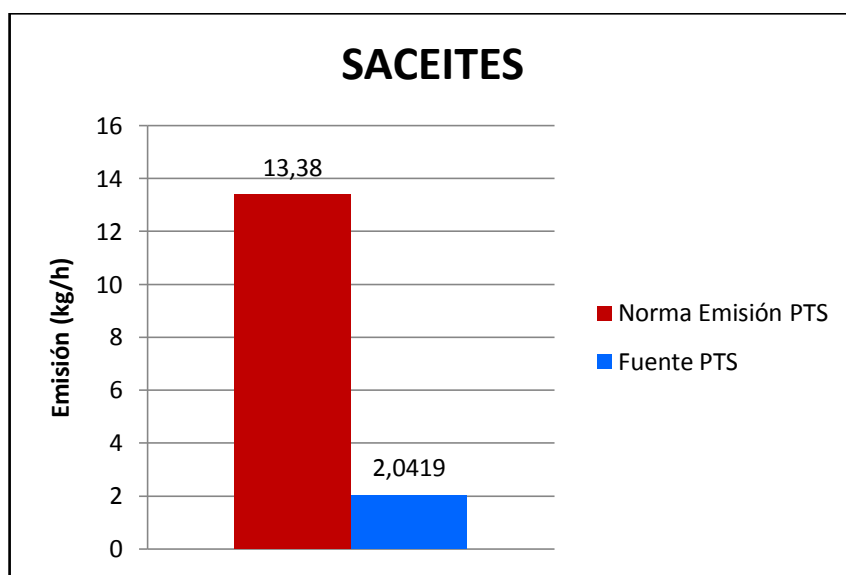
Para los demás contaminantes no se realiza el cálculo de emisión, debido que la EPA sólo establece factores de emisión para NO<sub>x</sub> y CO.

### 6.8.2 Comparación con Normas

- **Respecto al Decreto 02 de 1982**

En las gráficas 8 a la 13, se compara las emisiones atmosféricas generadas por las empresas en estudio, con el Decreto 02 de 1982, teniendo en cuenta el artículo 70 “Normas de emisión para otras industrias”. Los valores de estas emisiones se tomaron de los muestreos isocinéticos presentes en la CDMB. En la gráfica 8, la emisión de PTS de la empresa Saceites no supera el valor permisible establecido en la norma.

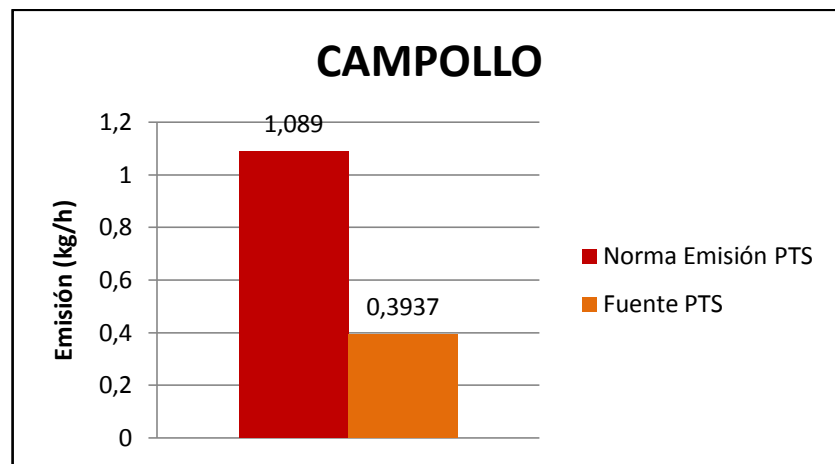
**Gráfica 8. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles.**



Fuente: Autor

En la gráfica 9, se muestra que la Empresa Campollo, no supera el límite permisible, donde se deduce que el área no se encuentra impactada por material particulado.

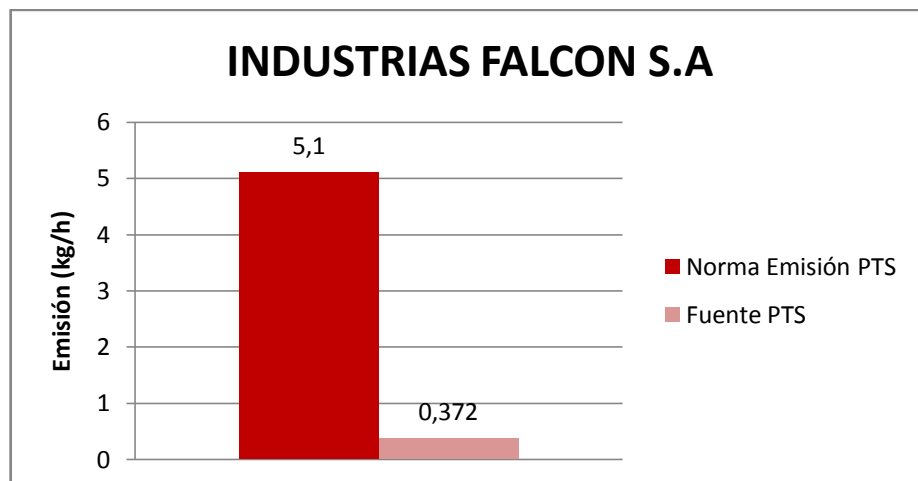
**Gráfica 9. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles.**



Fuente: Autor

En la gráfica 10, se observa que la empresa Industrias Falcon se encuentra por debajo de los niveles permisibles establecidos en el Decreto 02 de 1982.

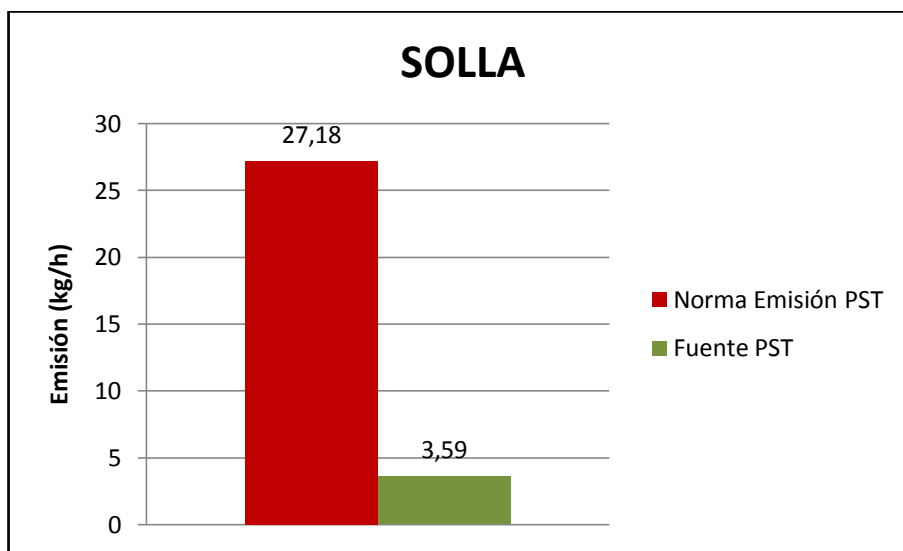
**Gráfica 10. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles.**



Fuente: Autor

En la gráfica 11, se muestra que la emisión de PST de la empresa Solla no supera los niveles permisibles establecidos.

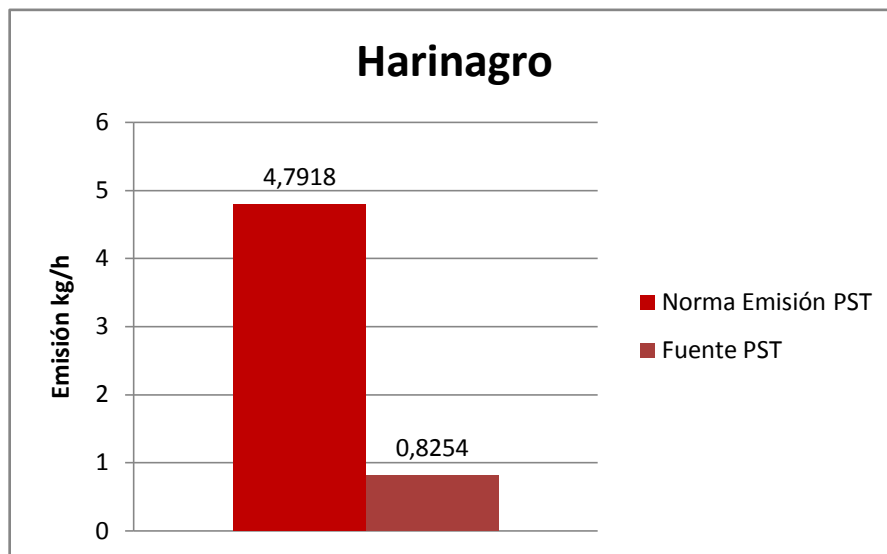
**Gráfica 11. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles.**



Fuente: Autor

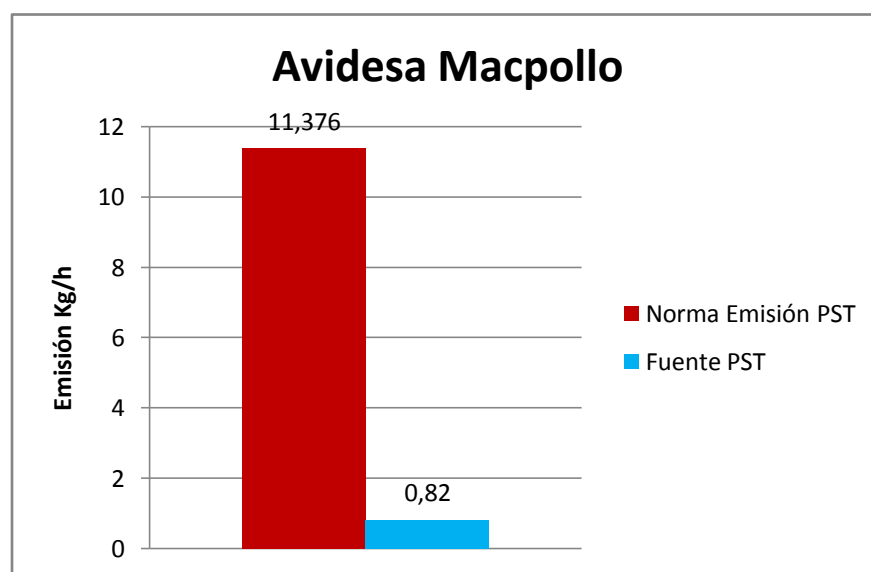
Las empresas Harinagro y Avidesa Macpollo emplean calderas a base de carbón; para comparar sus emisiones de PST, se aplica el artículo 48 del Decreto 02 de 1982, el cual, es específico para calderas a base de carbón y muestra una tabla con los valores permisibles de emisión, con base en el consumo de calor por hora.

**Gráfica 12. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles.**



Fuente: Autor

**Gráfica 13. Comparación de la emisión de PST con los valores límites permisibles.**

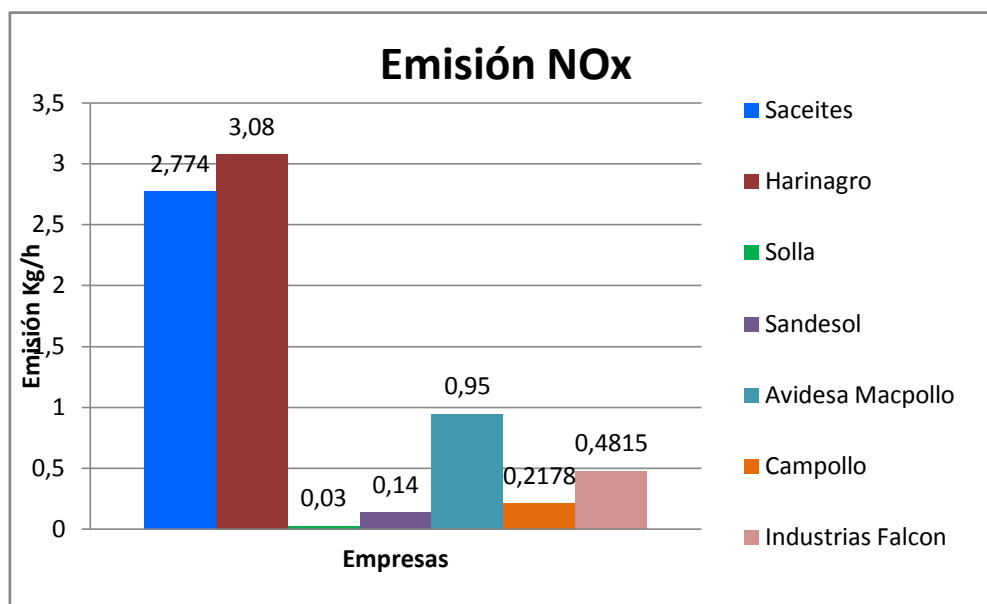


Fuente: Autor

En las gráficas de la 8 a la 13, se muestra la comparación de los resultados obtenidos de la emisión de material particulado por las fuentes evaluadas, con respecto a los valores establecidos en el Decreto 02 de 1982, lo que indica su cumplimiento debido a que sus emisiones se encuentran por debajo de los niveles máximos permisibles.

El decreto 02 del 1982 no estipula normas de emisión para óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono, por lo tanto los valores obtenidos de los muestreos isocinéticos, presentes en la CDMB, sólo se muestran cuantitativamente en las gráficas 14 a la 16.

**Gráfica 14. Emisión de NOx.**

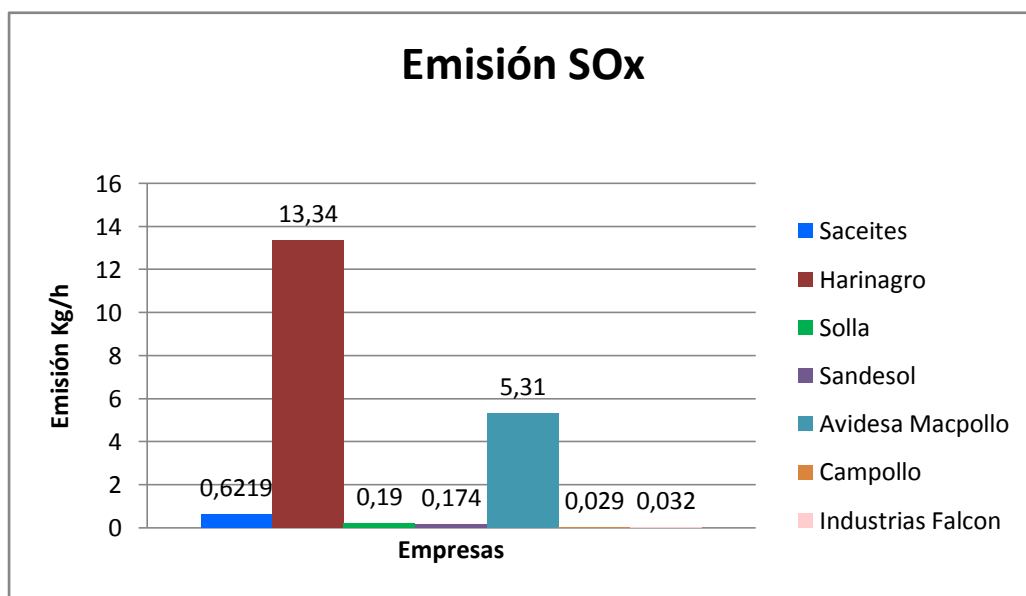


Fuente: Autor

Según la gráfica anterior la empresa que presenta la mayor emisión de NOx es la empresa B, con un valor de 3,08 kg/h; y la empresa de menor emisión de este contaminante es la empresa C con valor de 0,03 kg/h. Lo anterior está

relacionado con el tipo de combustible utilizado en sus procesos, pues la empresa que emplea carbón mineral como combustible es la que genera mayor emisión.

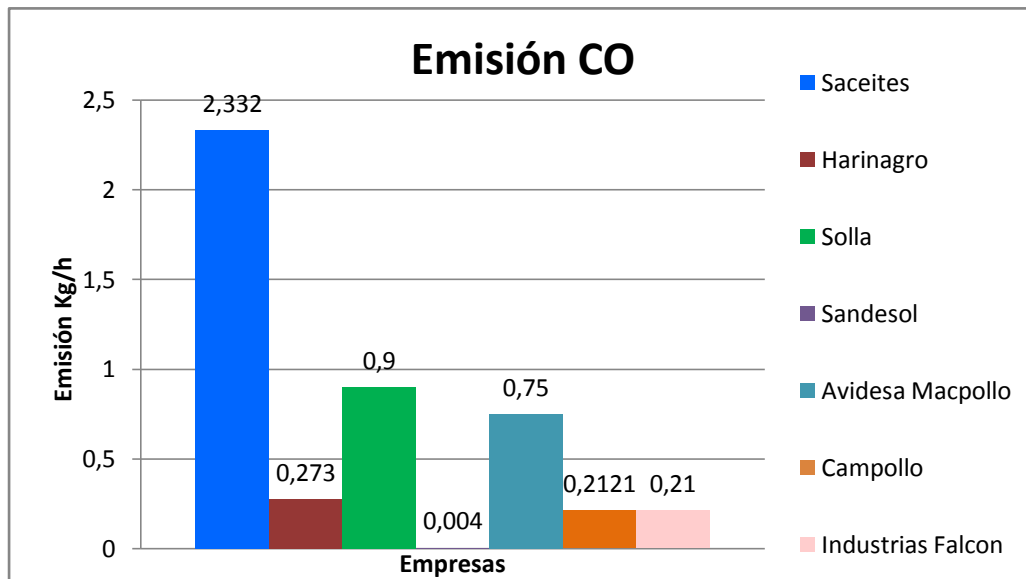
**Gráfica 15. Emisión de SOx.**



Fuente: Autor

En la gráfica 15 se observa que la empresa Harinagro genera la mayor emisión de SOx, con un valor de 13,34 kg/h, seguida de la empresa Avides Mac Pollo con un valor de 5,31 kg/h, demostrando de esta manera la incidencia que tiene el tipo de combustible utilizado en la generación de las emisiones.

**Gráfica 16. Emisión de CO.**



Fuente: Autor

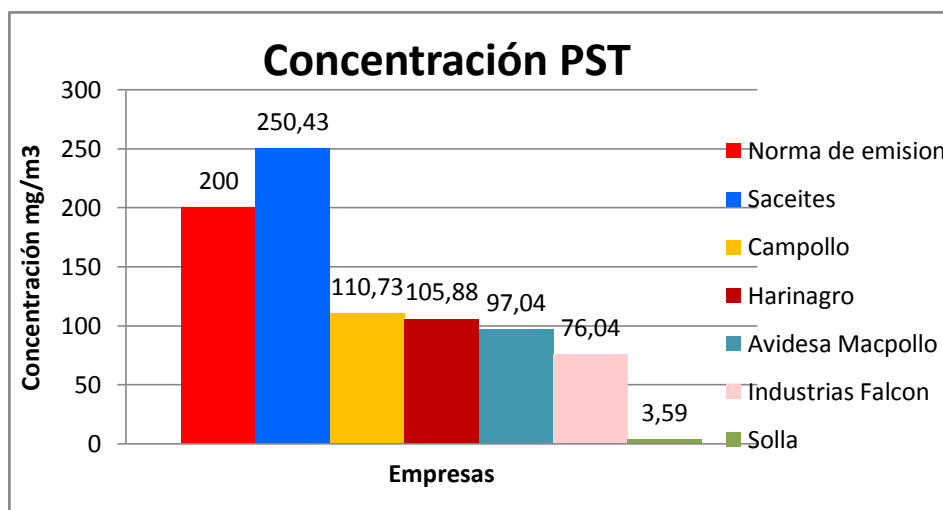
En la gráfica 16 se muestra que la mayor emisión de CO es la generada por la empresa Saceites, con un valor de 2,332 kg/h, debido probablemente, a que la combustión en su proceso es incompleta. La empresa que presentó la menor emisión fue la empresa Sandesol, con un valor de 0,004 kg/h, dado que en su proceso no hay ningún tipo de combustión al ser está, una empresa incineradora de residuos.

- Respecto a la Resolución 909 de 2008

En las gráficas 17 a la 19, se realiza un análisis de la concentración de los contaminantes PST, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, comparándolos con el artículo 7 de la Resolución 909 de 2008, en el cual se establece los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes. Los valores fueron obtenidos de los muestreos isocinéticos presentes en la CDMB.



**Gráfica 17. Concentración de PST**

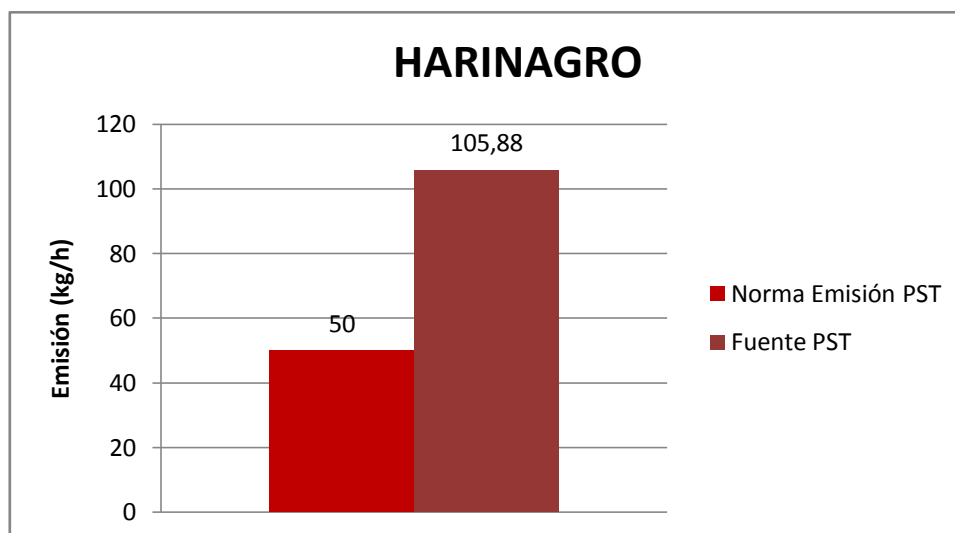


Fuente: Autor

Al establecer una comparación del artículo 7 estipulado en la Resolución 909 de 2008 con los valores de concentración de PST, de la gráfica anterior se puede observar que la empresa Saceites sobrepasa los niveles máximos permisibles, dado que presenta una emisión de 250,43 mg/m<sup>3</sup> y el límite es de 200 mg/m<sup>3</sup>, debido probablemente a fallas en su sistema de control implementado.

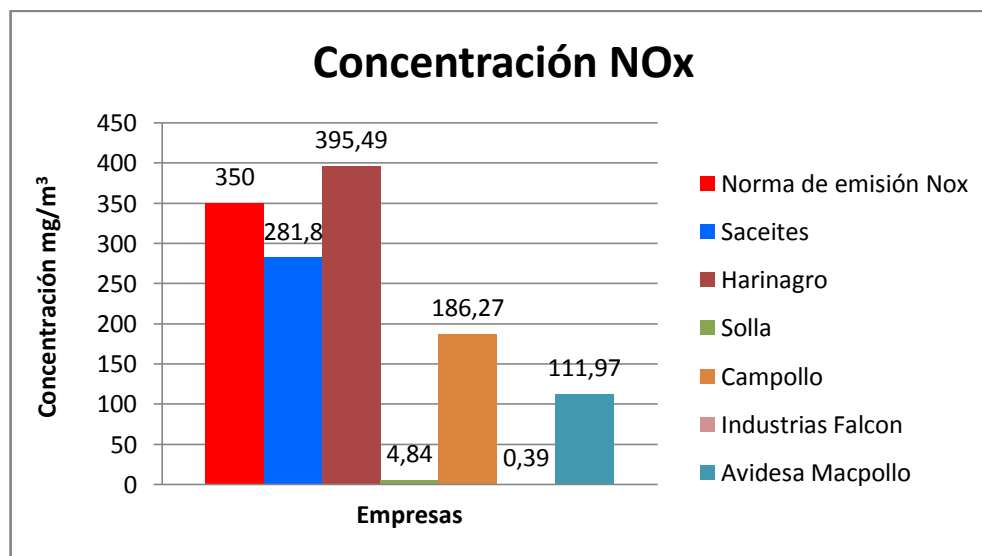
Por otra parte, si se tiene en cuenta que la empresa Harinagro cuenta con un equipo de combustión nuevo, es necesario comparar sus emisiones con el artículo 8 de la resolución mencionada, en el que se establece los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa nuevos, estipulando un límite permisible para PST de 50 mg/m<sup>3</sup> y su emisión es de 105,88 mg/m<sup>3</sup>, lo que demuestra su incumpliendo con este artículo. Lo anterior se muestra en la siguiente gráfica.

**Gráfica 18. Concentración de PST**



Fuente: Autor

**Gráfica 19. Concentración de NOx**

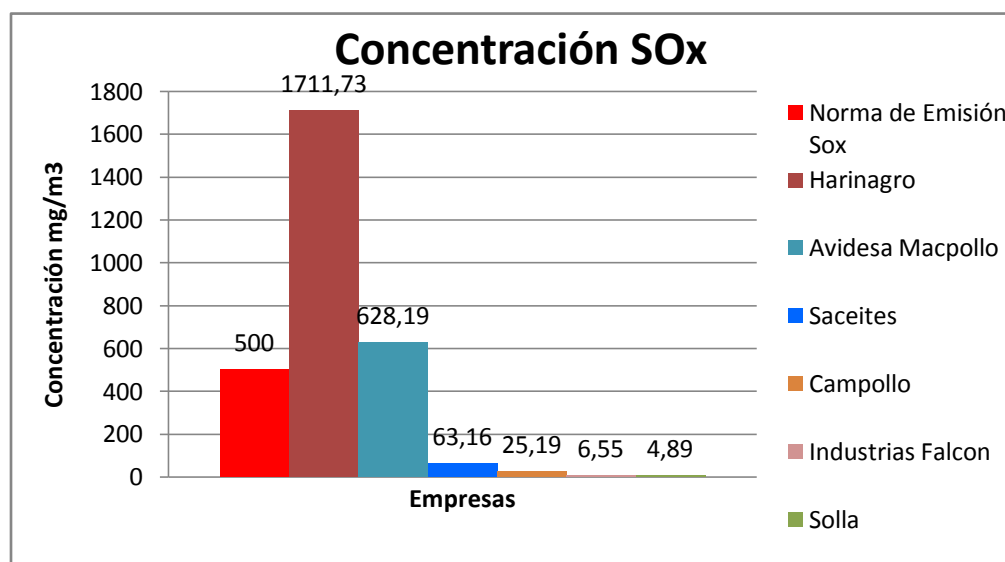


Fuente: Autor

Según el nivel permisible establecido en el artículo 7 de la Resolución 909 de 2008, la máxima emisión para óxidos de nitrógeno es de 350 mg/m<sup>3</sup>. En la gráfica

anterior, se observa que la empresa Harinagro incumple con ésta exigencia, debido a que en su proceso productivo utiliza una alta cantidad de combustible, situación que se puede asociar a las emisiones de este gas; las demás empresas se encuentran por debajo del límite permisible, sin embargo, se muestra niveles altos de este contaminante.

**Gráfica 20. Concentración de SOx**

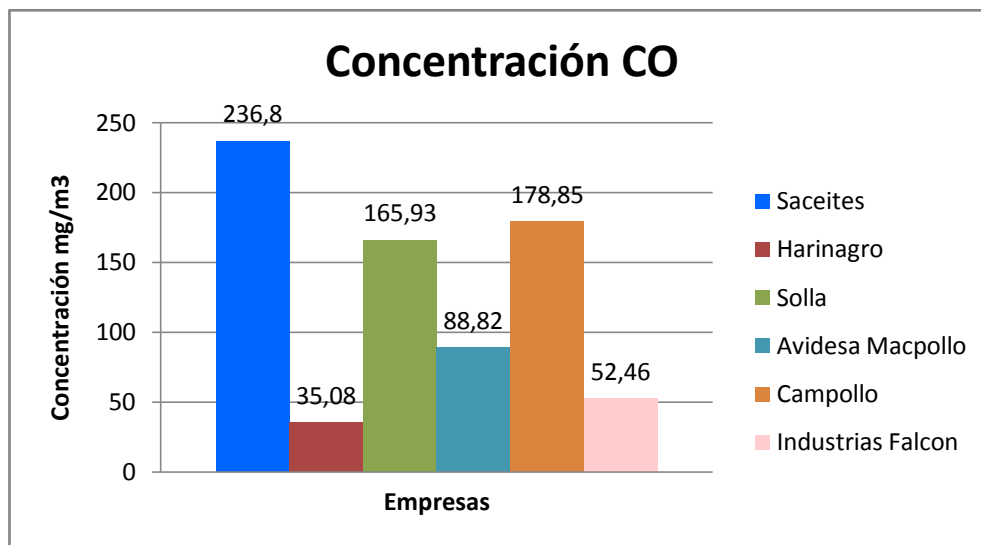


Fuente: Autor

Según la gráfica 20, se puede observar que las empresas Harinagro y Aidesa Macpollo presentan los valores mas altos de concentración de SO<sub>x</sub> de 1711,73 y 628,19 mg/m<sup>3</sup> respectivamente, en comparación con las demás empresas incluidas en el presente análisis, debido a que estas empresas son las únicas que utilizan como cumbustible carbón mineral y su contenido de azufre es mayor en comparación con el combustible (gas natural y biomasa) que utilizan otras industrias, lo que indica el incumplimiento con la resolución 909 de 2008, pues los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa que utilicen combustible sólido es de 500 mg/m<sup>3</sup>; las empresas Industrias Falcon, Campollo, Solla y Saceites emiten bajos niveles de óxidos de azufre, confirmando

así, que al utilizar biomasa como combustible, se genera menores emisiones de SOx a la atmósfera. Los valores mostrados en la gráfica 20 pertenecen a los muestreos isocinéticos realizados en cada una de las empresas mencionadas.

**Gráfica 21. Concentración de CO**



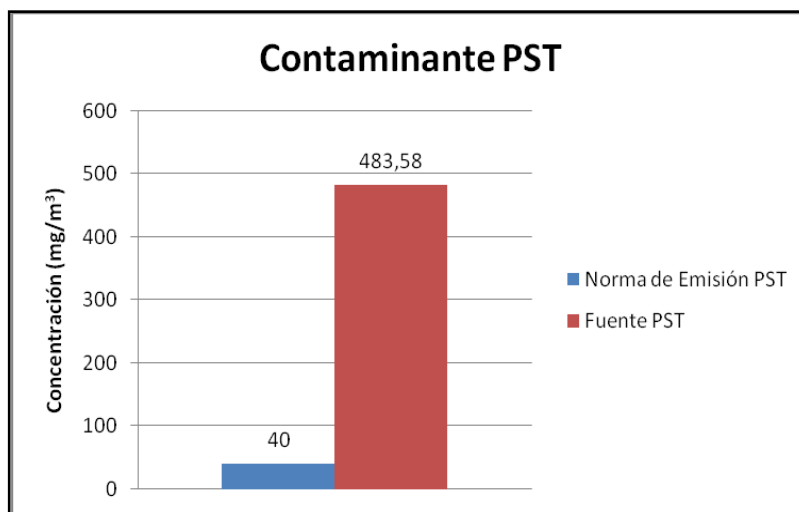
Fuente: Autor

Con respecto al contaminante monóxido de carbono (CO), la legislación colombiana no ha establecido una normatividad relacionada con la emisión del contaminante a la atmósfera, por lo tanto no se tuvo en cuenta para su análisis pero sus resultados, tomados de los muestreos isocinéticos, se muestran cuantitativamente en la gráfica 21.

Para realizar el análisis de las emisiones de la empresa Sandesol, al ser ésta una incineradora de residuos, está regida por la Resolución 886 de 2004, la cual, se establecen las normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos. En las gráficas 22 a la 25 se realiza una comparación de la concentración de los contaminantes en

estudio, obtenidos de los muestreos isocinéticos realizados en la empresa, con la Resolución 886 de 2004.

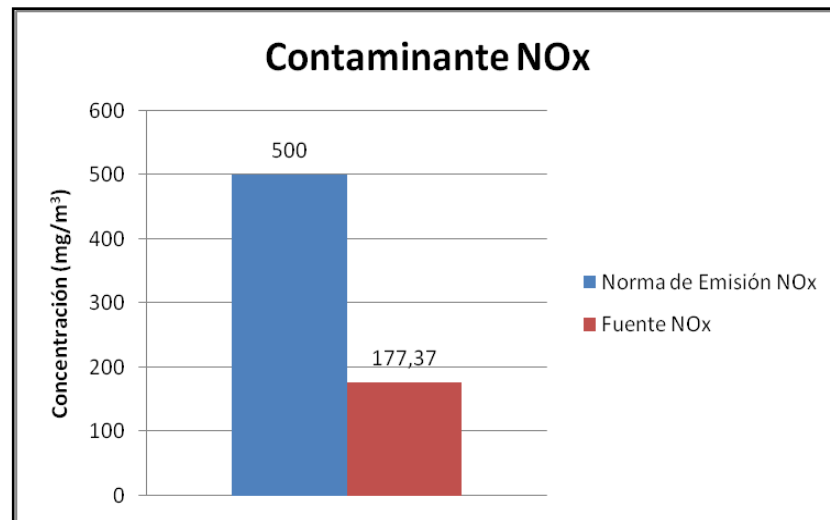
**Gráfica 22. Concentración del contaminante PST en la empresa Sandesol**



Fuente: Autor

Las emisión de material particulado en esta empresa es de 483,58 mg/m<sup>3</sup> y el nivel establecido por la Resolución 886 de 2004 es de 40 mg/m<sup>3</sup>, lo que demuestra que excede los valores permisibles por la normatividad ambiental vigente, debido probablemente, a que no cuenta con sistemas de control atmosférico que pueda minimizar las emisiones de este contaminante.

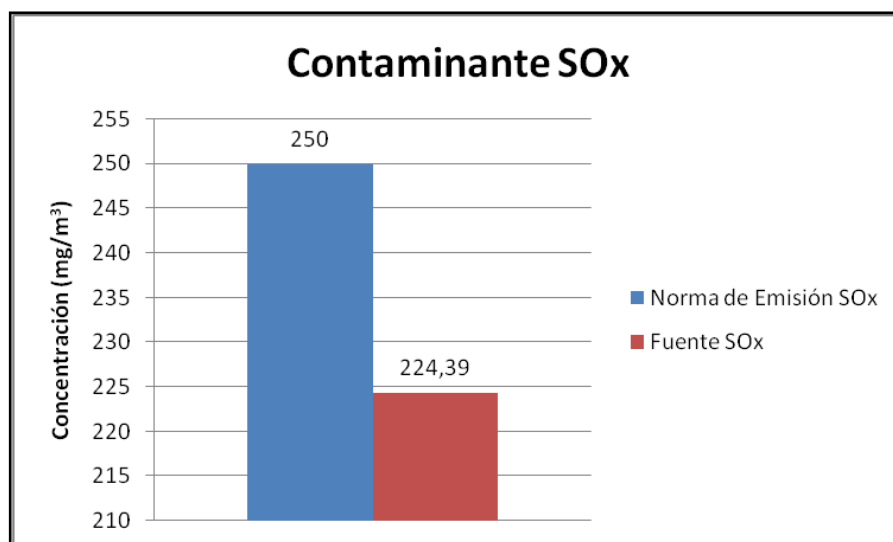
**Gráfica 23. Concentración del contaminante NO<sub>x</sub> en la empresa Sandesol**



Fuente: Autor

Con respecto al contaminante NO<sub>x</sub> cumple con los niveles permisibles por la normatividad ambiental.

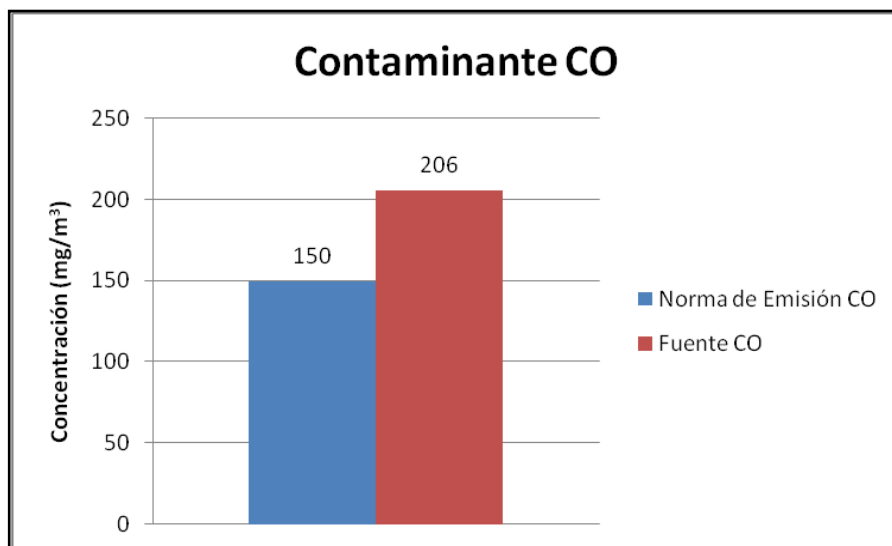
**Gráfica 24. Concentración del contaminante SO<sub>x</sub> en la empresa Sandesol**



Fuente: Autor

El nivel de emisión del contaminante SOx se encuentra por debajo de lo estipulado por la legislación ambiental vigente cumpliendo con lo exigido por la norma.

**Gráfica 25. Concentración del contaminante CO en la empresa Sandesol**

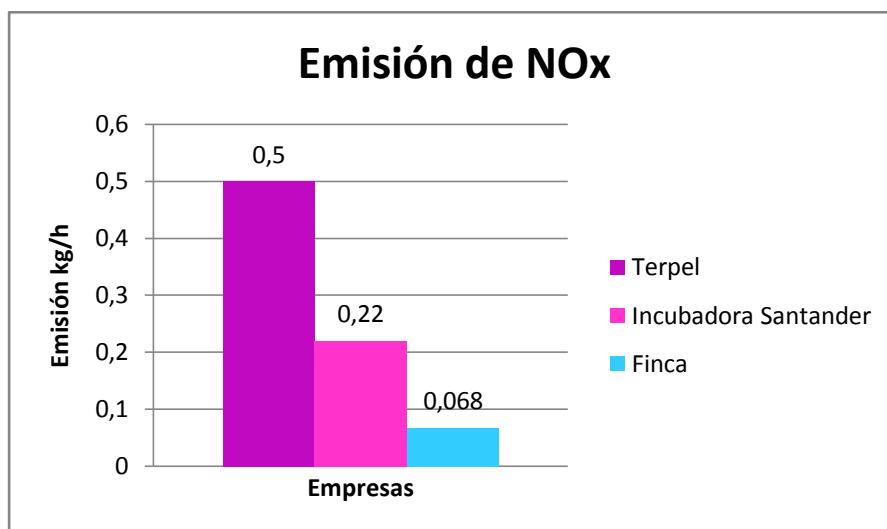


Fuente: Autor

De la gráfica anterior, se obtiene que la emisión de monóxido de carbono supera los límites permisibles establecidos por la Resolución 886 de 2004, debido posiblemente a las combustiones incompletas, ya sean de sólidos o líquidos.

Para las empresas que utilizan como combustible gas natural, se estimó cuantitativamente las emisiones de NOx y CO, debido a que la EPA sólo establece factores de emisión para estos dos contaminantes de interés. Los valores obtenidos se muestran en las gráficas 26 y 27.

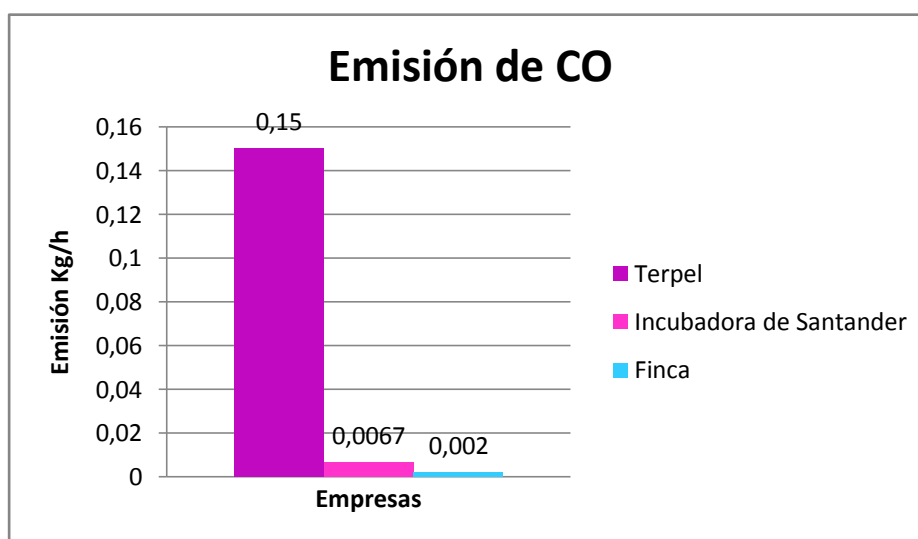
**Gráfica 26. Emisión de NO<sub>x</sub>**



Fuente: Autor

En la gráfica 26, se observa que la empresa Terpel genera la mayor emisión de NO<sub>x</sub> con un valor de 0,5 Kg/h y la empresa que presenta la menor emisión, es la empresa Finca, con un valor de 0,068 kg/h.

**Gráfica 27. Emisión de CO**



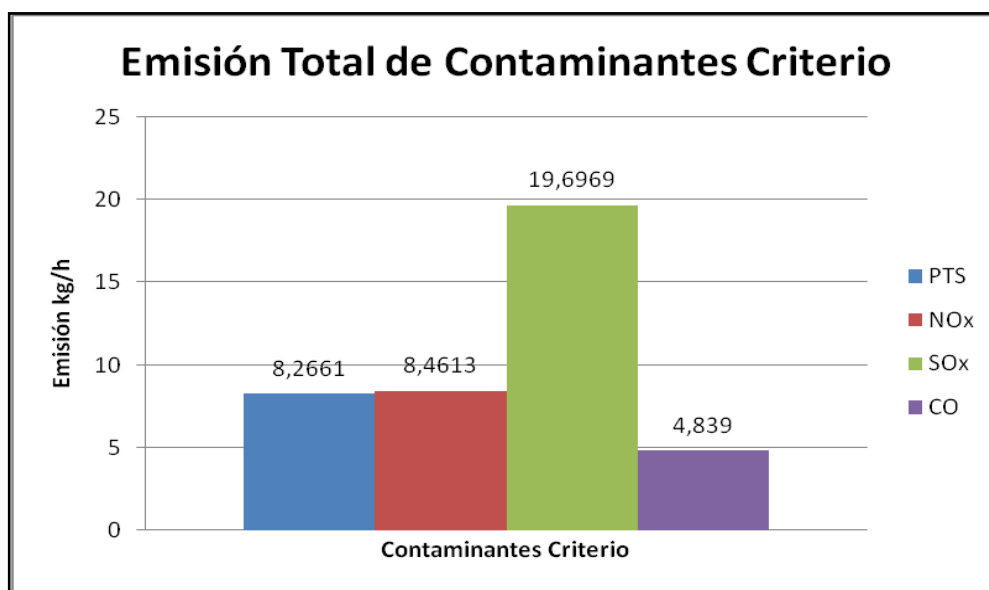
Fuente: Autor



En la anterior gráfica se observa que la mayor emisión de CO es de 0,15 kg/h, generada por la empresa Terpel, y la de menor emisión es la empresa Finca con un valor de 0,002 kg/h.

Finalmente, se muestra cuantitativamente las emisiones totales de los principales contaminantes atmosféricos, de las fuentes fijas que se encuentran en la zona de interés, en la siguiente gráfica.

**Gráfica 28. Emisión total de contaminantes criterio**



Fuente: Autor

Según la gráfica anterior, se observa que el contaminante SOx presentó mayor emisión, con una totalidad de 19.6969 kg/h; este valor se relaciona con el tipo de combustible que utilizan las empresas en sus calderas, ya que, las empresas que utilizan carbón mineral son las que mayor emisión de este contaminante generan, dado que en su composición contienen altos contenidos de azufre; la emisión de los contaminantes NOx y CO, fue de 8,4613 kg/h y 4,839 kg/h respectivamente, debido probablemente, a los procesos de combustión incompletos, a altas

temperaturas, es decir, si el proceso de combustión es deficiente se generan mayores emisiones de estos contaminantes. Por otro lado, la emisión total de PST fue de 8.2661 kg/h, lo que significa que a pesar de que en la mayoría de las empresas cuentan con sistemas de control, éstos no tienen altas eficiencias en su funcionamiento.

## **6.9 ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR EL MAVDT**

Tomando en cuenta la metodología propuesta por el MAVDT para el desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas, se encontró que su diseño estructural es completo debido a la facilidad que tiene en su aplicación, pues cada etapa de la metodología está explicada claramente; presenta un fundamento teórico detallado permitiendo entender fácilmente su contenido, dado que cada uno de los manuales presenta un contenido para la realización del inventario. Esta metodología admite modificaciones según el propósito del inventario, pues de esta manera se establecen sus principales lineamientos permitiendo reducir sus costos en su ejecución. Por otro lado, no se aplicó el manual Evaluación del programa Inventario de Emisiones, donde se presentan diferentes métodos diseñados para minimizar los errores que pueden ocurrir durante el desarrollo de un inventario de emisiones, debido a la modificación que se le realizó a la metodología empleada para la realización del inventario de emisiones.

Presenta un manual de Inventario de Fuentes Puntuales, donde especifica los cálculos para las estimaciones de emisiones atmosféricas según la actividad económica de las empresas, teniendo en cuenta lo estipulado por la EPA. Además, contiene información acerca de los equipos de control de contaminación del aire, lo que permite seleccionar el más adecuado según sus requerimientos.

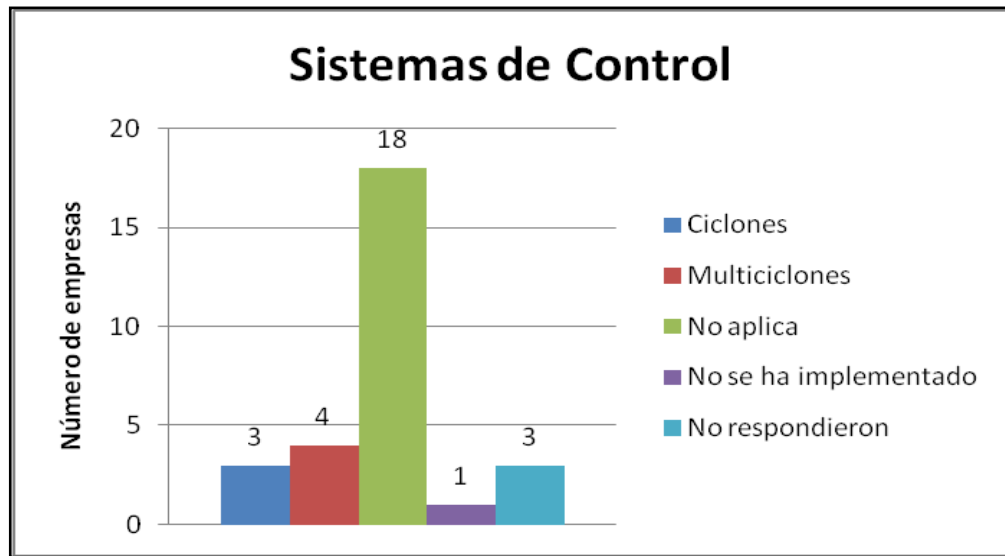
Para la recopilación de información, esta metodología propone formatos presentes en el Manual de Documentación de Inventario de Emisiones en las páginas 52 a la 72, en los cuáles se puede diligenciar información general y técnica de las empresas, a su vez, estos formatos permiten resumir en forma concisa y ordenada la información requerida para la realización de inventario de emisiones de fuentes fijas; sin embargo la información necesaria no es completa para la realización del análisis, dado que, se necesita información más detallada sobre los dispositivos presentes en cada empresa. Además, hay información repetitiva e innecesaria en algunos de los formatos, como por ejemplo dirección, municipio, vereda, entre otras. En los formatos de encuestas de fuentes puntuales y en los formatos de hojas de cálculo existen algunos items que no son explícitos, lo cual dificulta su diligenciamiento.

La utilización de esta metodología permite cumplir con el propósito para el que se desea realizar el inventario de emisiones obteniendo resultados claros, confiables y verídicos.

#### **6.10 ESTABLECIMIENTO DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL**

Basándose en la recopilación de información diligenciada en la base de datos del proyecto y en las visitas de campo realizadas a las empresas, se observó que éstas cuentan con sistemas de control de emisiones en funcionamiento. En la siguiente gráfica se muestran los sistemas de control presentes en las empresas.

**Gráfica 29. Sistemas de Control**



Fuente: Autor

Considerando la anterior gráfica, de las 29 empresas, 18 no necesitan sistemas de control en sus procesos productivos pues no hay emisiones a la atmósfera; tres no respondieron al ítem relacionado con sistemas de control implementados, debido a la falta de información acerca de estos; tres empresas cuentan con ciclones y cuatro con multiciclones, dado que en su actividad generan material particulado; según la revisión bibliográfica previa, con estos sistemas se obtiene una gran eficiencia, menores costos de operación y fácil mantenimiento; tan sólo una empresa está en proceso de implementación, pues sus emisiones superan los niveles máximos permisibles estipulados por la normatividad ambiental vigente.

Según la revisión realizada a la base de datos, se detectó que en las empresas donde se tienen implementados sistemas de control se obtienen altas remociones de partículas, pues no generan altas emisiones; sin embargo, en las empresas que utilizan carbón mineral y tienen sistemas de control, no se remueve la totalidad de las partículas, debido probablemente a la falta de mantenimientos periódicos, diseños inadecuados y a su vida útil.

Con respecto a la implementación proyectada de filtro de mangas en una de las empresas, no se considera una buena alternativa para el control de las emisiones de partículas, dado que, este sistema es susceptible a altas temperaturas y puede dañar ciertas telas.

Se recomienda implementar ciclones, debido a que esta empresa trabaja a altas temperaturas y este sistema no presenta limitaciones en cuanto a éste aspecto, pues su construcción depende únicamente de los materiales empleados. Además, tiene bajos costos de inversión, mantenimiento y operación.

Según los resultados obtenidos de la revisión de los expedientes y del cálculo de los factores de emisión, al realizar la cuantificación total de cada uno de los contaminantes se observó que el contaminante que presento mayor emisión fue el  $SO_x$ , para esto, se recomienda implementar en las empresas que generan altos niveles de este contaminante, un lavador venturi ó scrubber, para minimizar las emisiones de este gas. En la siguiente tabla se mencionan algunos sistemas de control, encontrados teóricamente, con sus respectivas ventajas y desventajas.

**Tabla 9. Sistemas de control atmosféricos**

| <b>SISTEMAS DE CONTROL</b> | <b>VENTAJAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>DESVENTAJAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CICLONES</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos costos</li> <li>• Pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación.</li> <li>• Caída de presión relativamente baja (2 a 6 pulgadas de columna de agua), comparada con la cantidad de MP removida.</li> <li>• Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.</li> <li>• Colección y disposición en</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencias de colección de MP relativamente bajas, particularmente para MP de tamaño menor a <math>10 \mu m</math></li> <li>• No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes</li> <li>• Las unidades de alta eficiencia pueden tener altas caídas de presión.</li> </ul> |

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | seco<br>• Requisitos espaciales relativamente pequeños.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>FILTROS</b>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas eficiencias de recolección.</li> <li>• Flexibilidad para tratar muchos tipos de polvos y un amplio rango de flujos volumétricos de gas.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los gases a altas temperaturas a menudo tienen que ser enfriados antes de entrar en contacto con el medio filtrante.</li> <li>• Están limitados a filtrar corrientes secas.</li> <li>• Las temperaturas altas y ciertas sustancias químicas pueden dañar ciertas telas.</li> <li>• Los filtros de tela también tienen el potencial de incendio o explosión, y pueden requerir una gran superficie para su instalación. El diseño apropiado puede minimizar o eliminar estas desventajas.</li> </ul> |
| <b>INCINERADORES TERMALES</b>      | En su operación correcta pueden destruir más de 99% de los contaminantes gaseosos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | No son adecuados para usos fluctuantes de vapor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas, aún con partículas muy pequeñas.</li> <li>• Pueden ser diseñados para un rango amplio de temperaturas de gases, y pueden manejar temperaturas altas, hasta los 700°C (1300°F).</li> <li>• La recolección y eliminación del residuo en seco permite una manipulación fácil.</li> <li>• Los costos de operación son relativamente bajos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los EP tienen costos de capital generalmente altos</li> <li>• Los ESP no son recomendables para la eliminación de partículas pegajosas o húmedas.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>LAVADOR VENTURI</b>             | • Alta eficiencia en la remoción de partículas pequeñas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | • Producción de aguas residuales.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>SCRUBBER Ó TORRES</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas eficiencias de colección para rangos amplios de partículas.</li> <li>• Fácil mantenimiento</li> </ul> <p>Mantenimiento por la</p>                                                                                                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se produce aglomeración o encostramiento en el interior del equipo.</li> <li>• Se produce vapor de agua lo que hace creer que la</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                  |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LAVADORAS</b> | <p>sencillez de operación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se pueden remover gases corrosivos.</li> </ul> | <p>pluma este más contaminada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta dificultades en la disposición de lodos.</li> <li>• La presencia de gases como HF, SOX, afecta la selección de la torre lavadora, por esto es necesario diseñarla con materiales anti corrosivos.</li> </ul> |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fuente: K2 INGENIERIA, Manual De Inventario De Fuentes Puntuales

## 7. CONCLUSIONES

- Se realizó un inventario actualizado de las emisiones atmosféricas, para fuentes fijas de los principales contaminantes generados por las industrias ubicadas en la zona industrial de Chimitá a lo largo de la vía entre el Palenque y Café Madrid, que contempla las fuentes generadoras de contaminación, la cuantificación de los contaminantes y el inventario de las empresas en la zona.
- Por medio de este proyecto, se creó una base de datos en donde se registra un inventario de las empresas presentes en la zona industrial de Chimitá a lo largo de la vía entre el Palenque y Café Madrid, el cual proporciona, a la autoridad ambiental, información general de las emisiones de estas industrias con el objeto de identificar los mayores focos de contaminación y de esta forma ejercer control sobre estas.
- Se estimó cuantitativamente las emisiones totales de los principales contaminantes, mostrando que la mayor emisión fue de  $\text{SO}_x$  con un valor de 19.6969 kg/h, debido probablemente a que dos de las empresas estudiadas utilizan como combustible carbón mineral en su proceso y estas fueron las que presentaron mayores emisiones de este contaminante.
- El contaminante de menor concentración es el CO con un valor de 4,839 Kg/h de acuerdo a revisión de los expedientes y el cálculo de los factores de emisión, lo que relaciona el tipo de combustión en el proceso de cada empresa.
- De las 29 empresas presentes en la zona de estudio, 10 de estas generan emisiones a la atmósfera, debido al tipo de combustible utilizado en sus procesos, lo que demuestra su aporte de contaminantes al ambiente.



- Se evaluó la metodología propuesta por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, considerándose una herramienta completa para su aplicabilidad en la realización de inventario de emisiones de fuentes fijas, porque es explícita en la guía y se ajusta al propósito para el que se desee realizar el inventario.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la revisión de expedientes y del cálculo de los factores de emisión, se demostró que todo tipo de combustible es un factor significativo que incide en la generación de los contaminantes a la atmosfera.
- La empresa Solla genera mayor emisión de PST con un valor de 3,59 kg/h.
- La empresa Harinagro genera mayor emisión de  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$  con valores de 3,08 kg/h y 13,34 Kg/ h respectivamente.
- La empresa Saceites genera mayor emisión de CO con un valor de 2,332 kg/h.
- Con respecto a la implementación proyectada de filtro de mangas en la empresa incineradora de residuos, según expedientes, no se considera una buena alternativa para el control de las emisiones de partículas, dado que este sistema no admite emisiones de gases caliente provocando calentamiento de las telas de las mangas.
- Para el control del contaminante  $\text{SO}_x$  se recomendó implementar en las empresas que lo requieran, un Lavador Venturi ó Scrubber para minimizar las emisiones de este gas, debido a que éstos presentan altas eficiencias en la remoción de gases corrosivos.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda crear en el software (SINCA) que posee la entidad, los expedientes digitales de Emisiones Atmosféricas, con el objeto de facilitar el seguimiento a los expedientes físicos de las empresas que se encuentran en la CDMB.
- Para la realización de posteriores inventarios, se recomienda realizar procesos de información y capacitación a los empresarios, debido a que la recolección de información necesaria para la realización del inventario de emisiones fue dispendiosa, pues algunas de las empresas no respondieron las encuestas en el tiempo establecido y esto retrasó el diligenciamiento de la base de datos.
- En cuanto a los formatos establecidos para la recolección de información, estipulados por el MAVDT, se recomienda eliminar información repetitiva, como dirección, municipio, vereda, entre otras, requerida para el diligenciamiento de la base de datos.
- Se recomienda utilizar ciclones a la empresa que tiene proyectado la implementación de filtro de mangas, dado que este sistema es susceptible a altas temperaturas y los ciclones no presentan este tipo de limitaciones, además es un sistema económico y eficiente en su operación.
- Es necesario establecer programas de mantenimiento que incluyan revisión de equipos de producción y a los sistemas de control presentes en algunas empresas para obtener mayores eficiencias.
- Se recomienda mejorar las condiciones en el proceso de combustión de cada empresa, para minimizar la generación de contaminantes a la atmosfera.

## BIBLIOGRAFIA

- BARRERA J. En la ciudad de Cúcuta proponen 39 proyectos para mejorar la calidad de vida. Regulación y sostenibilidad. Revista No 205. Junio de 2004.
- CARRILLO A., & GONZALEZ D. Inventario De Emisiones De La Zona Del Cesar. Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2008.
- CDMB. Calidad del aire. Disponible en:  
[http://www.cdm.gov.co/portal/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=66&Itemid=459](http://www.cdm.gov.co/portal/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=66&Itemid=459). Abril de 2009.
- ECHEVERRI C. Diagnóstico de la calidad de aire en el Municipio de Montería. Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Año 50.
- ECHEVERRI C. Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en Montería. Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Año 50.
- ECHEVERRI C. Diagnóstico de la calidad de aire en el Municipio de Montería. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. No 9. Volumen (V) .Julio de 2006.
- HIDALGO D., GÓMEZ M., IRUSTA R., PÉREZ O., NÚÑEZ Y., MARTÍN J. Estudio de minimización de emisiones contaminantes en empresas cerámicas. Revista Residuos. No 108. Noviembre de 2008.
- K2 INGENIERIA LTDA, Manual Bases Técnicas para el Programa Inventario de emisiones. Borrador Desarrollado para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Impresión ISBN.

- MANOTAS E., BEDOYA J., MARTÍNEZ E., Estudio de las series de tiempo de contaminantes atmosféricos y sus efectos en la salud humana en el Valle de Aburrá. Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Año 50.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL-MAVDT., Decreto 948 de junio 5 de 1995. Definiciones. República de Colombia.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL-MAVDT., Resolución número 601 04 de abril de 2006. Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia, República de Colombia, 2006.
- NORMA NTC 1486. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación.
- SANCHEZ E., & BOTERO E., Contaminación Industrial en Colombia, Primera Edición. 1994.
- SCHUHMACHER M., & DOMINGO J. Niveles ambientales de metales y dioxinas en las proximidades de una planta cementera. Residuos, No 61. Julio de 2001.
- TORO V. Cambio del índice de calidad del aire para el Valle de Aburrá. Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Año 50.
- TORO V., RAMIREZ J., QUICENO R., ZULUAGA C. Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en Medellín mediante factores de emisión corinair. Revista de Acodal. No 191. Septiembre 2001.

- WARK K., & WARNER C., Contaminación del aire, origen y control, Editorial Limusa S.A. 2004.
- YEPES L. El cambio climático en Colombia. Investigación científica y tecnológica. Revista 218. Bogotá.

## **ANEXO 1. Ubicación de las empresas**

(Ver archivo Anexo)

## ANEXO 2. Encuesta

Bucaramanga,

27 JUL 2009

08348

Ingeniera

ROSA JULIANA DÍAZ

Jefe Departamento Ambiental TERPEL

Zona Industrial Chimitá K.m 4 Vía Girón

Girón

**Asunto:** Solicitud de Información Técnica de la Empresa.

En atención a labores de Seguimiento y Control Ambiental, funcionarios adscritos a la Subdirección de Control Ambiental al Desarrollo Territorial de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, están ejecutando en convenio con la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, la implementación de un Proyecto llamado "INVENTARIO DE EMISIONES " como parte de un programa de gestión para el mejoramiento de la calidad del aire, el cual tiene como objetivo general: *Realizar el inventario de emisiones atmosféricas, para fuentes fijas de los principales contaminantes generados por las industrias ubicadas en la zona industrial de Chimitá a lo largo de la vía entre el Palenque y Café Madrid.* Un inventario de Emisiones es un conjunto de datos que caracterizan y consolidan, mediante sumatoria, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y del tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinado. Los inventarios de emisiones son instrumentos indispensables en los procesos de gestión de calidad del aire y toma de decisiones, pues son el punto de partida para la implementación, evaluación y ajuste de programas y medidas de control, tendientes a mejorar la calidad del aire.

Por lo anterior, y en el marco que se tiene de referencia para la zona en la cual se va a comenzar a realizar éste estudio, según la localización de su Empresa, es necesario allegar una información relacionada con el proceso productivo de manera que se tenga un previo reconocimiento y se establezcan las fuentes contaminantes, dependiendo del proceso que se lleve a cabo en su industria y se puedan determinar las técnicas y los métodos para la estimación de las emisiones. Posteriormente, se practicará visita de inspección ocular con la finalidad de analizar la información y así poder implementar medidas preventivas y de control:

### INFORMACIÓN PARA LA BASE DE DATOS DEL INVENTARIO DE EMISIONES

Fecha de respuesta a encuesta:

Nombre de la persona que responde la encuesta:

Cargo:



cdmb

Natural/jurídica/Pública/Privada

Nit ó C.C

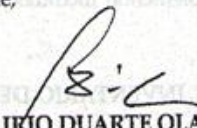
E-mail:

- Nombre completo de la empresa:
- Teléfono- Fax
- Se han realizado estudio de emisiones? Calculadas por? Nombre de la hoja de Cálculo?
- ¿Cuenta con expedientes de cálculo emisiones atmosféricas?
- Número de expediente
- Actividad Industrial de la empresa
- Código CIU
- Representante Legal C.C \_\_\_\_\_ De \_\_\_\_\_
- Nombre del Propietario del Predio
- Permiso de Emisión vigente?
- Resolución y Fecha de permiso
- Materias Primas
- Cantidad de materia prima utilizada
- Producto elaborado
- Cantidad del producto elaborado
- Frecuencia de producción
- Subproducto
- Cantidad de subproductos

Nota: 1) Si se cuenta con expedientes de cálculo de emisiones atmosféricas, por favor enviarlos. 2) Las empresas que hayan realizado estudios de muestreos isocinéticos, por favor anexar solamente los valores reportados de los contaminantes evaluados en la fecha del último monitoreo ejecutado.

La anteriormente solicitado, debe ser diligenciado y entregado en las Oficinas de la Subdirección de Normatización y Calidad Ambiental en 8 días hábiles, a partir del recibido de ésta comunicación.

Cordialmente,

  
**MARCO ALIÑO DUARTE OLARTE**

Subdirector de Control Ambiental al Desarrollo Territorial

Proyectó: Ing. Diana Carolina Rueda  
Revisó: Ing. María Carmenza Vicini



**ANEXO 3. Factores De Emisión Para Óxidos De Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) Y Monóxido De Carbono (CO) Para La Combustión De Gas Natural**

| Combustor Type<br>(MMBtu/hr Heat Input)<br>[SCC]                                | NO <sub>x</sub> <sup>b</sup>                |                           | CO                                          |                           |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|
|                                                                                 | Emission Factor<br>(lb/10 <sup>6</sup> scf) | Emission Factor<br>Rating | Emission Factor<br>(lb/10 <sup>6</sup> scf) | Emission Factor<br>Rating |
| Large Wall-Fired Boilers<br>(>100)<br>[1-01-006-01, 1-02-006-01, 1-03-006-01]   |                                             |                           |                                             |                           |
| Uncontrolled (Pre-NSPS) <sup>c</sup>                                            | 280                                         | A                         | 84                                          | B                         |
| Uncontrolled (Post-NSPS) <sup>c</sup>                                           | 190                                         | A                         | 84                                          | B                         |
| Controlled - Low NO <sub>x</sub> burners                                        | 140                                         | A                         | 84                                          | B                         |
| Controlled - Flue gas recirculation                                             | 100                                         | D                         | 84                                          | B                         |
| Small Boilers<br>(≤100)<br>[1-01-006-02, 1-02-006-02, 1-03-006-02, 1-03-006-03] |                                             |                           |                                             |                           |
| Uncontrolled                                                                    | 100                                         | B                         | 84                                          | B                         |
| Controlled - Low NO <sub>x</sub> burners                                        | 50                                          | D                         | 84                                          | B                         |
| Controlled - Low NO <sub>x</sub> burners/Flue gas recirculation                 | 32                                          | C                         | 84                                          | B                         |
| Tangential-Fired Boilers<br>(All Sizes)<br>[1-01-006-04]                        |                                             |                           |                                             |                           |
| Uncontrolled                                                                    | 170                                         | A                         | 24                                          | C                         |
| Controlled - Flue gas recirculation                                             | 76                                          | D                         | 98                                          | D                         |
| Residential Furnaces<br>(≤0.3)<br>[No SCC]                                      |                                             |                           |                                             |                           |
| Uncontrolled                                                                    | 94                                          | B                         | 40                                          | B                         |

**ANEXO 4. Formato DI- 1. F 001-Formato de Verificación de Revisión de Expedientes.**

(Ver archivo Anexo)

**ANEXO 5. Formato DI-2. F 002-Formato de Revisión De Expedientes**

(Ver archivo Anexo)

**ANEXO 6. Formato DI-4. F003-Formato De Visitas De Campo**

(Ver archivo Anexo)

**ANEXO 7. Formato DI-5. F004-Formato De Registro De Seguimiento De Encuestas**

(Ver archivo Anexo)

**ANEXO 8. Formato DI-6. F005-Formato De Chequeo De Las Actividades De Recopilación De Información, De Estimación De Emisiones Y Alimentación De La Base De Datos**

(Ver archivo Anexo)

**ANEXO 9. Formato DI-7. F006-Formato De Encuesta De Fuentes Puntuales**

(Ver archivo Anexo)

**ANEXO 10. Formato DI-8. F007-Formato De Encuesta De Fuentes Puntuales**

(Ver archivo Anexo)

**ANEXO 11. Formato DI-9. F008-Formato De Encuesta De Fuentes Puntuales**

(Ver archivo Anexo)

**ANEXO 12. Formato DI-10. F009-Formato De Encuesta De Fuentes Puntuales  
(Incineradores)**

(Ver archivo Anexo)

**ANEXO 13. Formato DI-11. F010-Formato De Encuesta De Fuentes Puntuales-  
Datos De Muestreos Isocinéticos**

(Ver archivo Anexo)

**ANEXO 14. Formato DI-12.F011-Formato De Hojas De Cálculo-Factores De  
Emisión**

(Ver archivo Anexo)