

**INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS FUENTES FIJAS  
UBICADAS EN LA VÍA GIRÓN - BUCARAMANGA DESDE EL PUENTE EL  
PALENQUE HASTA EL COLEGIO LA SALLE**

JORGE ARMANDO NÚÑEZ HERRERA  
DIANA SOFÍA SARMIENTO GARCÉS

UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2011

**INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS FUENTES FIJAS  
UBICADAS EN LA VÍA GIRÓN - BUCARAMANGA DESDE EL PUENTE EL  
PALENQUE HASTA EL COLEGIO LA SALLE**

JORGE ARMANDO NÚÑEZ HERRERA  
DIANA SOFÍA SARMIENTO GARCÉS

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

**DIRECTOR DE TESIS:**  
ING. HENRY CASTRO ORTIZ

UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2011

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**PRESIDENTE DE JURADO**

---

**JURADO**

---

**JURADO**

**Piedecuesta, \_\_\_\_\_ de 2011**

## **DEDICATORIA**

Este nuevo triunfo de mi vida se lo dedico a alma de mi querido padre Rodrigo Núñez Hernández, que con su enseñanza aprendí a ser una persona responsable en todos los momentos de la vida y a ser siempre un luchador por las metas que me propongo. Al amor de madre de Celina Herrera de Núñez por ser ella el motor de mi vida, que con sus enseñanzas, apoyo, animo y lucha ha permitido que yo sea un profesional en el medio ambiente, para así poder comenzar a compartir mis ideas y poner mi granito de arena en la construcción de un mundo mejor.

A una mujer especial y maravillosa, que con sus sentimientos de amor, belleza, inteligencia y apoyo incondicional, siempre encontraba la manera de animarme en todos los momentos buenos y malos de la vida universitaria. Ella me ayudo a crecer como persona y alcanzar este triunfo juntos. Gracias mi niña preciosa Sofía Sarmiento Garcés.

Gracias a mi querida prima Leidy Núñez Rincón, que la considero como una hermana por su enorme apoyo y confianza en mí durante el proceso de formación académica y ser un profesional.

***JORGE ARMANDO NUÑEZ HERRERA***

Quiero dedicar este nuevo logro de mi vida a mis padres Ofelia Garcés de Sarmiento y Orlando Sarmiento, por su gran apoyo en mis decisiones, su confianza en mis capacidades, su leal amor y por su compañía en el desarrollo de mi vida. Estos dos maravillosos seres son mi ejemplo a seguir, son mi inspiración para lograr mis metas. A ellos gracias por estar siempre a mi lado y motivarme a seguir siendo cada vez una mejor hija, persona, mujer, amiga y profesional. A mis padres un gran te amo y gracias.

Este triunfo no es solo mío, es también de un hombre que siempre estuvo conmigo, que me acompañó desde el inicio de mi carrera hasta la culminación de esta, un hombre que creyó y depositó su confianza en mis capacidades intelectuales, que nunca permitió que me rindiera, sino al contrario, me brindo ánimo para poder hoy lograr esta meta. A Jorge Núñez por ser mi mejor amigo, compañero, aliado y amor, gracias.

No dejando a un lado a mis hermanos Carlos, Silvia y Edna porque ellos también contribuyeron con este triunfo de alguna u otra manera. Gracias a toda mi familia en general, a todos ustedes hoy les dedico este logro.

***DIANA SOFÍA SARMIENTO GARCÉS***

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros queridos padres por su gran apoyo y confianza permanente en nuestras capacidades mentales y físicas, las cuales han sido engendradas por ellos y hoy hacen parte de este triunfo profesional.

A Dios por ser nuestra luz y guía en la construcción de este nuevo logro personal y profesional.

A nuestro director de tesis el Ingeniero Henry Castro, por su paciencia, ayuda, conocimiento, aportes técnicos y profesionales, durante el desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero Gustavo Oviedo por su ayuda, conocimiento y experiencia en el proceso de las visitas a campo a las empresas.

A la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), por brindarnos la oportunidad de realizar nuestro proyecto de grado y el acompañamiento permanente en la recopilación de información a las empresas.

A las empresas que hicieron parte de este proyecto por su paciencia y ayuda en la obtención de datos para la realización del inventario de emisiones.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. JUSTIFICACIÓN	3
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GENERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
4. MARCO CONCEPTUAL	7
4.1 GENERALIDADES	7
4.1.1 Métodos de estimación de cálculos de emisiones atmosféricas	20
4.1.2 Sistemas de control de contaminación atmosférica	27
4.2 ANTECEDENTES	40
4.3 NORMATIVIDAD	42
5. METODOLOGÍA	44
5.1 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL IE	45
5.2 DETERMINACIÓN DE FUENTES DE DATOS	45
5.3 RECOPIACIÓN DE DATOS	47
5.4 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES	47
5.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	47
5.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
5.7 ESTRATEGIAS DE CONTROL Y PREVENCIÓN	50
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
6.1 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS	51
6.2 RECOPIACIÓN DE DATOS POR FUENTES DE EMISIÓN	53
6.3 COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LOS MUESTREOS ISOCINÉTICOS CON LA NORMATIVIDAD VIGENTE	56
6.4 EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS INDUSTRIAS EN EL ÁREA	

DE ESTUDIO	58
6.5 COMPARACIONES DE EMISIONES POR GAS NATURAL VS CARBÓN MINERAL	62
6.6 EMISIONES TOTALES DE LOS CONTAMINANTES EVALUADOS	63
6.7 ESTRATEGIAS DE CONTROL Y PREVENCIÓN	64
6.8 PLANTEAMIENTO DE METODOLOGÍA PARA EL SEGUIMIENTO DE INVENTARIO DE EMISIONES	68
6.8.1 Almacenamientos de resultados	69
6.8.2 Aseguramiento de la calidad de datos	70
6.8.3 Actualización de del inventario de emisión en la Vía Girón- Bucaramanga	72
6.8.4 Documentación de la información actualizada	72
6.9 COMPARACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS DE LA VÍA GIRÓN A BUCARAMANGA DEL PUENTE PALENQUE AL COLEGIO LA SALLE CON EL REALIZADO EN LA ZONA INDUSTRIAL CHIMITÁ	73
7. CONCLUSIONES	75
8. RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXO	82

## LISTAS DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Información recopilada en visita de reconocimiento	51
Tabla 2. Resultados de las características de una fuente de emisión	53
Tabla 3. Comparación de los resultados de los muestreos a la fuente con los valores de la norma vigente.	57
Tabla 4. Emisiones significativas	58
Tabla 5. Comparaciones de emisiones por combustible	62
Tabla 6. Sistemas de control para material particulado	65
Tabla 7. Sistemas de control para óxidos de azufre	66
Tabla 8. Sistemas de control para PM	67
Tabla 9. Formato de visita de campo	71
Tabla 10. Comparación de las emisiones atmosféricas	73

## LISTAS DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Tipos de fuentes antropogénicas	8
Figura 2. Contaminantes Primarios y Secundarios	17
Figura 3. Etapas para el desarrollo de un Inventario de Emisiones	19
Figura 4. Estructura general del protocolo	20
Figura 5. Estructura de muestreador isocinético	22
Figura 6. Algoritmo para el calculo de emisiones por combustión	24
Figura 7. Algoritmo para el calculo de emisiones por procesos	25
Figura 8. Diagrama de balance de masa	26
Figura 9. Diagrama de un Ciclón	27
Figura 10. Estructura de un Filtro	29
Figura 11. Esquema de un Incinerador Termal	30
Figura 12. Estructura de un Incinerador Catalítico	31
Figura 13. Sistema de Absorción con Columna de Relleno	32
Figura 14. Estructura de un Condensador de Contacto	34
Figura 15. Estructura de un Condensador de Superficie	34
Figura 16. Diagrama de un Precipitador Electroestático	35
Figura 17. Sistema de Adsorción Regenerador de Carbón	36
Figura 18. Sistema de Adsorción No Regenerador de Carbón	37
Figura 19. Diagrama de operación para la reducción Selectiva catalítica	38
Figura 20. Diagrama de un Lavador Venturi	40
Figura 21. Desarrollo de la metodología	44
Figura 22. Metodología para la actualización	69

## LISTAS DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Emisiones de material particulado	59
Gráfica 2. Emisiones de óxido de azufre	60
Gráfica 3. Emisiones de óxido de nitrógeno	61
Gráfica 4. Emisiones de monóxido de carbono	62
Gráfica 5. Emisiones totales de las fuentes fijas en la zona	63

## LISTAS DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. F-001. Formato de revisión de expedientes CDMB	82
ANEXO 2. F-002. Formato de visita de campo a las empresas	82
ANEXO 3. Formato de Encuesta	83
ANEXO 4. F-003. Formato de seguimientos de las encuestas	85
ANEXO 5. F-004. Formato de encuesta de fuentes puntuales " información de las empresas"	85
ANEXO 6. F-005. Formato de base de datos de procesos productivos de las empresas	85
ANEXO 7. F-006. Formato de bases de datos de información sobre las fuentes fijas	85
ANEXO 8. F-007. Formato de bases de datos de muestreos isocinéticos	85
ANEXO 9. F-008. Formato de bases de datos de factores de emisión	85
ANEXO 10. Factores de emisión para Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) y Monóxido de Carbono (CO) para combustible de gas natural	86
ANEXO 11. Factores de emisión para Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ), Óxidos de Azufre (SO <sub>x</sub> ) y Monóxido de Carbono (CO) para combustible de carbón bituminoso y sub-bituminoso	87
ANEXO 12. Factores de emisión para partículas de instalaciones de procesamiento de grano	91

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

**TITULO:** INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS FUENTES FIJAS UBICADAS EN LA VÍA GIRÓN - BUCARAMANGA DESDE EL PUENTE EL PALENQUE HASTA EL COLEGIO LA SALLE.

**AUTORES:** Jorge Armando Núñez Herrera.  
Diana Sofía Sarmiento Garcés.

**FACULTAD:** Ingeniería Ambiental.

**DIRECTOR:** Henry Castro Ortiz.

El área seleccionada para la realización del inventario de emisiones está ubicada en la vía Girón-Bucaramanga desde el puente el Palenque hasta el Colegio la Salle, la cual en los últimos años por estimaciones visuales ha presentando un incremento a nivel industrial, presentándose diversos tipo de industrias entre las que se encuentran metalúrgica, plásticos, textiles, concentrados, bebidas, entre otras. Por esta razón la Autoridad Ambiental Local (CDMB) ha mostrado interés por cuantificar las Emisiones de contaminantes atmosféricos y determinar el impacto sobre el recurso aire que podría afectar a la población en su área de influencia, información con la cual no cuenta actualmente para su seguimiento y control. Para el desarrollo del inventario se siguió la metodología propuesta por el Manual de Fundamentos y Planeación de Inventarios de emisiones, por medio de la cual se identificó que de las 61 industrias presentes, 13 son fuentes fijas de contaminación atmosférica, siendo la emisión más alta la de Material Particulado (PM) con una tasa de emisión de 11,85 Kg/h, debido a procesos de producción como la molienda de trigo de la empresa que genera la mayor emisión de este contaminante y la emisión más baja la de Monóxido de Carbono con un valor de 0,03 Kg/h, caracterizándola así como una zona de baja contaminación al ser comparada con el inventario de emisiones en la zona industrial Chimitá, igualmente se plantearon estrategias de control para reducir las emisiones y se sugirió a la Autoridad Ambiental una metodología de seguimiento y actualización de inventarios en esta zona.

**PALABRAS CLAVE:** Inventario de emisiones, CDMB, fuentes fijas, contaminación atmosférica.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** ATMOSPHERIC EMISSIONS INVENTORY OF THE STATIONARY SOURCES LOCATED IN THE GIRÓN-BUCARAMANGA ROUTE FROM THE BRIDGE EL PALENQUE TO COLLEGE LA SALLE

**AUTHORS:** Jorge Armando Núñez Herrera.  
Diana Sofía Sarmiento Garcés.

**FACULTY:** Environmental Engineering.

**DIRECTOR:** Henry Castro Ortiz.

The selected area for the emissions inventory execution is located in the Girón-Bucaramanga route from the bridge El Palenque to school La Salle, which in the past few years by visual estimates have presented an increase at the industrial level presenting various types of industries that are metallurgical, plastics, textiles, concentrated, drinks and some others. Because of this, the local environmental authority (CDMB) has shown interest on the quantification of the atmospheric contaminants emissions and to determinate the impact on the air resource that might affect the population on its influence area, because this information is not currently under monitoring and control. The inventory development followed the methodology proposed on the "Manual de fundamentos y planeación de inventarios de emisiones", through which it was found that out of the 61 present industries, 13 were identified as stationary sources of atmospheric pollution, being the highest emission produced by the particulate material (PM) with an emission rate of 11,85 Kg/h, due to the company production process like wheat grinding, which generates the highest emission of this pollution agent and the lowest carbon monoxide emission of 0,03 Kg/h. Characterizing it as a low pollution area when compared to the emissions inventory on the Chimitá zone, control strategies were proposed to reduce the emissions and zone inventories monitoring and updating methodology was suggested to the environmental authority.

**KEY WORDS:** Emissions inventories, CDMB, stationary sources, air pollution.

## INTRODUCCIÓN

Un recurso que ha venido tomando mayor fuerza e interés en el desarrollo de las sociedades es el Aire, siendo este un componente esencial para los seres vivos, pero que en los últimos años ha sufrido impactos negativos debido a las altas emisiones de contaminantes en la atmósfera, generadas por las actividades antropogénicas y el crecimiento de las actividades industriales. Por tal motivo las naciones y organizaciones se han unido para implementar proyectos, programas, políticas y protocolos para mejorar la calidad del aire.

La contaminación atmosférica no es algo que se esté presentando ahora, es un problema que proviene desde principios del siglo XIX, con la llegada de la revolución industrial, la cual produjo cambios en los procesos de producción y dejó a un lado el trabajo manual por el desarrollo industrial. Esta época fue el punto clave para la estandarización de las fuentes fijas puntuales, las cuales hoy en día son importantes generadoras de emisiones y se diferencian de los otros tipos de fuentes, porque son inamovibles y cuentan con un ducto o chimenea, por el cual se emiten las concentraciones de contaminantes al aire.

Entre las consecuencias más importantes que ha generado la contaminación atmosférica es el calentamiento global, el cual ha traído consigo desastres naturales, derretimiento de los glaciares, aumento de las regiones desérticas y de la temperatura, por tal motivo nace el interés de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de los países, de crear alternativas de solución, como programas de muestreos de contaminación atmosférica, modelación de la calidad de aire e inventario de emisiones, entre otros. Este último es una de las soluciones más útil y más completas para determinar, reducir y realizar seguimiento de emisiones, además son el punto de partida para los planes de gestión ambiental y mejoramiento de la calidad del aire.

Colombia no se ha quedado atrás en las soluciones para mejorar la calidad del aire. Por eso, bajo el liderazgo del Ministerio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) se han implementado normas para la reducción y control de las emisiones atmosféricas y la creación del Protocolo para la elaboración de Inventario emisiones (IE) como guía técnica y de fundamentos, para la realización correcta de inventarios de emisiones, dirigidos a las autoridades ambientales, industrias, empresas y a todos los actores que participan en esta problemática.

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), como Autoridad Ambiental del área metropolitana de

Bucaramanga tiene la obligación de entregar un informe sobre la calidad de aire, por esta razón surge la realización de inventarios de emisiones de fuentes fijas para las diferentes zonas industriales, con el fin de cuantificar las emisiones generadas. Por tal interés en el año 2009 se realizó un inventario de emisiones de las fuentes fijas en la vía Chimitá a lo largo de la vía entre el Palenque y Café Madrid.

Para el desarrollo de este inventario de emisiones de fuentes fijas, se seleccionó la Vía Girón - Bucaramanga desde el puente el Palenque hasta el Colegio la Salle, debido al crecimiento industrial que se ha evidenciado en los últimos años. La realización de este proyecto permitirá cuantificar las emisiones atmosféricas totales que generan las industrias encontradas en el área de estudio y proveerá información a la CDMB sobre los procesos productivos de las industrias encontradas e identificar las principales empresas que afectan el recurso aire y el impacto que generan sobre la calidad de aire en este sitio, información con la cual la Autoridad Ambiental podrá evaluar y hacer seguimientos de control sobre las emisiones de las industrias.

La metodología empleada para la ejecución del proyecto es la sugerida en el Manual de Fundamentos y planeación de inventarios de emisiones, que va desde la planeación, recopilación de datos y un análisis respectivo.

## 1. JUSTIFICACIÓN

Con el paso del tiempo, las emisiones a la atmósfera se han hecho más evidentes y en mayor cantidad, lo cual ha producido preocupaciones entre los países, ONG's y la sociedad, ya que la contaminación no solo afecta al ambiente, sino también a la salud humana, trayendo consigo una disminución de la calidad de vida y desarrollo de la comunidad.

Como medida de solución el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), ha desarrollado el manual de inventario de fuentes fijas, el cual tiene como objetivo brindarle a las Autoridades Ambientales una herramienta para que estas puedan tomar medidas de planeación y control de seguimiento, de las emisiones generadas por las fuentes fijas sobre la calidad del aire, dentro de su área de jurisdicción.

El desarrollo del inventario de emisiones sobre las fuentes fijas ubicadas sobre la vía Girón - Bucaramanga desde el puente el Palenque hasta el Colegio la Salle, surge por el interés de la CDMB en identificar y cuantificar los contaminantes que se emiten en mayor proporción y las industrias que generan mayor afectación al ambiente, para así poder desarrollar estrategias de prevención y control que mejoren la calidad de aire de la zona.

Cabe resaltar que esta área ha presentado una gran expansión de industrias en los últimos años y no se cuenta con información actualizada y precisa sobre como es la calidad de aire actual que pueda afectar a un receptor cercano.

Este inventario permitirá desarrollar estrategias de control y prevención para disminuir las emisiones generadas por las industrias. Igualmente, los resultados que se obtengan serán un aporte para la Autoridad Ambiental en la elaboración del informe de la Calidad ambiental de 2010-2011 del área metropolitana de Bucaramanga, cumpliendo con la normatividad exigida por el MAVDT.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar un inventario de emisiones atmosféricas de las fuentes fijas, teniendo en cuenta los principales contaminantes emitidos por las industrias ubicadas en el trayecto del puente el Palenque al colegio la Salle por la vía Girón – Bucaramanga

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los tipos de industrias y el tipo de emisión de las empresas ubicadas en la zona a estudiar a través de herramientas de información o visitas de campo
- Estimar las emisiones totales de los contaminantes principales como NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, PM generadas por las industrias ubicadas en el sitio de interés.
- Analizar los resultados obtenidos por las emisiones generadas por las fuentes fijas ubicadas en el trayecto de estudio, verificando si las emisiones producidas por las industrias cumplen con la normatividad vigente para fuentes fijas.
- Proponer estrategias de control y prevención eficientes dirigidos a los establecimientos industriales que afecten en mayor medida la calidad del aire del sector, con base en los resultados obtenidos.
- Plantear una metodología de seguimiento a la Autoridad Ambiental para actualizar este inventario anualmente.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el planeta presenta grandes problemas ambientales, tales como calentamiento global, afectación en la calidad de aire, agua, suelos, fauna y flora, todo esto debido al crecimiento de la población, la expansión económica, el daño a los recursos naturales; esta última generada por actividades antropogénicas, industriales, tecnológicas y naturales. Estas causas no solo producen perjuicios de tipo ambiental, si no, disminución de la calidad de vida, en los que se encuentra afectación a la salud humana y desarrollo de las sociedades.

La actividad industrial es la causante principal de los problemas ambientales que se están presentando a nivel mundial, debido a la gran cantidad de emisiones contaminantes a la atmosfera por sus procesos productivos. Entre las actividades industriales encontramos: químicas, petroleras, petroquímicas, de pinturas y tintas de automóviles, de la celulosa y papel, del hierro y el acero, del vidrio, de la generación de electricidad, del asbesto, del cemento y la cal así como del tratamiento de residuos peligrosos.<sup>1</sup>

A partir de estos hechos se han buscado soluciones para compartir estos problemas a nivel mundial y nacional como protocolos, leyes, proyectos, planes y programas cuyo objetivo es planear e implementar soluciones limpias en diferentes etapas de los procesos de producción en las actividades de los sectores industriales.

A nivel nacional, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), ha creado el Manual de Inventario de Fuentes Puntuales como una herramienta de planeación, control y prevención de las emisiones generadas, el cual debe ser implementado por las corporaciones autónomas dentro de su área de jurisdicción y por terceros.

El área metropolitana de Bucaramanga ha crecido económica e industrialmente en los últimos años, según la última Encuesta de Opinión Conjunta de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, ANDI<sup>2</sup>. La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) no cuenta con información sobre la calidad de aire de la zona del puente Palenque hasta el colegio la Salle por la vía Girón – Bucaramanga, por tanto es de gran importancia

---

<sup>1</sup> MAVDT, Manual de inventario de fuente puntuales.Pág.12.

<sup>2</sup> CELEDÓN, Nahora. Producción industrial en Santander creció 8,2%: Andi [en línea]. En: Vanguardia Liberal, Bucaramanga, 2010 [citado 15 octubre. 2010]. Disponible en: <<http://www.vanguardia.com/historico/73216-produccion-industrial-en-santander-crecio-82-andi>>

la ejecución del inventario de emisiones, ya que permitirá determinar cómo y de qué tipo son las emisiones de las industrias ubicadas sobre el área de estudio y así poder cuantificarlas. El crecimiento industrial en esta área durante los últimos 5 años ha sido muy representativo, contando con empresas de tipo avícola, concentrado para animales, harineras, textiles, manufacturas, metalúrgicas, productos de bebidas comerciales, entre otras. Por eso mismo es importante conocer el impacto sobre la atmósfera y la salud de los trabajadores presente en la zona.

## 4. MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se presentan todos los conceptos fundamentales y teóricos para plantear, desarrollar y entender el proyecto. Así mismo, se presentan hechos históricos y la normatividad vigente, relacionados con la calidad del aire.

### 4.1 GENERALIDADES

El aire es una mezcla fluida de gases que forman la atmosfera de la tierra, la cual está conformada por los siguientes compuestos:<sup>3</sup>

- Nitrógeno (N<sub>2</sub>) : 78,084%
- Oxígeno (O<sub>2</sub>) : 20,940%
- Argón (Ar): 0,934 %
- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>):0,032%

Se entiende por Contaminación atmosférica al cambio de las propiedades físicas y químicas de la atmosfera, generados por las altas concentraciones de contaminantes en un tiempo determinado, las cuales son producto de actividades humanas y naturales que producen efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.

Los contaminantes son fenómenos físicos o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, que solos, en combinación o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, causas naturales, o de una combinación de éstas.<sup>4</sup>

Las principales fuentes de origen de la contaminación atmosférica que se presentan actualmente son:

- Fuentes Naturales: Son procesos de la naturaleza como, erupciones volcánicas, incendios forestales, descomposición de la vegetación, tormentas de polvo, fenómenos climáticos, pulverización de las aguas marinas, entre otros.
- Fuentes antropogénicas: Son aquellas que se generan por actividad del hombre como se muestra en la siguiente figura.

---

<sup>3</sup>ÁREA DE GOBIERNO DE MEDIO AMBIENTE Y SERVICIOS A LA CIUDAD. Contaminación Atmosférica [en línea]. Madrid, 2005. [citado 25 Marzo. 2011]. pág. 3. Disponible en: <<http://www.sca.com.co/bajar/Libros/contamiweb.pdf>>

<sup>4</sup> Disponible: En la Resolución 610 de 2010

**Figura 1. Tipos de fuentes antropogénicas**

	<b>FUENTES FIJAS PUNTUALES</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Son todas aquellas que emiten los contaminantes a la atmósfera por un ducto o una chimena.</li></ul>
	<b>FUENTES FIJAS DISPERSAS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Son aquellas en el cual los focos de emisión de una fuente fija se dispersa en un área, por el desplazamiento de la acción del causante de la emisión</li><li>• Ejemplos: Explotación minera a cielo abierto ó quemas abiertas controladas en zonas rurales</li></ul>
	<b>FUENTES MÓVILES</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza.</li></ul>

Fuente: MAVDT. Manual de fundamentos y planeación de inventarios de emisiones. Pág.35

## **IMPACTO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

El impacto que generan los efectos de la contaminación atmosféricas en los humanos y en los recursos naturales, depende de varios factores, como lo son: la concentración de los contaminantes, el tipo de contaminantes presentes, el tiempo de exposición, las fluctuaciones temporales en las concentraciones de contaminantes y los sinergismos entre contaminantes.<sup>5</sup> Las principales consecuencias de la contaminación atmosférica a nivel global y local son:

A nivel Global:

- Efecto Invernadero
- Adelgazamiento de la capa de ozono.
- Cambios en patrones climáticos.
- Variaciones en los glaciares.
- Desertización de los ecosistemas.

<sup>5</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE DE ESPAÑA. Efectos producidos por la contaminación atmosférica. [en línea]. Madrid. [citado 28 Diciembre. 2010]. Pág. 1. Disponible en: <[http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calaire/Anexos/Efectos\\_de\\_la\\_Contaminacion.pdf](http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calaire/Anexos/Efectos_de_la_Contaminacion.pdf)>

- Cambios en los regímenes de las cosechas.
- Lluvia ácida.

A nivel local:

- Contaminación urbana: Se presentan por la influencia de los siguientes factores: características geográficas, topografía de la zona, régimen de vientos, difusión atmosféricas y los focos de emisión de contaminación dentro de una ciudad. A continuación se presentan los fenómenos atmosféricos que se producen en las ciudades
  - Variación de la composición del aire: La aportación de contaminantes por fuentes móviles y fijas.
  - Producción de smog: Se forma a partir de concentración de humo y hollín en el cual se mezcla con el efecto de la niebla.
  - Isla térmica urbana: Se produce por la acumulación del calor por las edificaciones, aceras y asfaltos de las calles.<sup>6</sup>
- Enfermedades crónicas: Son aquellas de larga duración que se desarrollan poco a poco y no presentan síntomas en las primeras etapas de formación. Entre algunas enfermedades crónicas generadas por la contaminación atmosférica se encuentran:
  - Procesos asmáticos.
  - Bronquitis crónicas.
  - Bronquiectasias.
  - Cardiorespiratorios.
- Deterioro de estructuras
- Brotes y epidemias.

## CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINATES

Los contaminantes atmosféricos se clasifican en:

- **CONTAMINANTES PRIMARIOS:** Son aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisiones, tales como:

---

<sup>6</sup> MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE. Cuaderno de Contaminación de contaminación atmosférica. Madrid; 1994, p 28.

## **MONÓXIDO DE CARBONO (CO)<sup>7</sup>**

Es un gas incoloro, tóxico e inflamable que es producido cuando las moléculas de carbono en el combustible como gas, gasolina, carbón, petróleo o madera tienen una reacción incompleta.

Las principales fuentes de emisión de CO son las descargas de los medios de transporte, procesos industriales, minas de carbono, metabolismo de los seres vivos y fuentes naturales (Quema de bosques, gases volcánicos).

Los efectos perjudiciales en la salud humana son:

- Reducción de la cantidad de oxígeno en la sangre y cerebro por la reacción de la hemoglobina de la sangre trayendo como consecuencia la muerte. A esta circunstancia se le conoce como la muerte dulce.
- Efectos cardiovasculares como enfermedades al corazón, arterias obstruidas, o insuficiencia cardíaca congestiva.
- Efectos en el sistema nervioso central como el desarrollo de problemas de visión, disminución de la capacidad para trabajar o aprender y las dificultades para realizar tareas complejas.

Mientras en el medio ambiente contribuye a la formación de smog del ozono troposférico.

## **ÓXIDOS DE AZUFRE (SO<sub>x</sub>)**

El principal componente de esta familia es el Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) debido a que se presentan con mayor cantidad en la atmósfera.

El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro y con fuerte olor, se origina a partir de procesos de combustión que contenga azufre y de la fundición de minerales ricos en sulfatos durante procesos industriales y producción de cobre. El SO<sub>2</sub> es un componente peligroso, que al reaccionar con agua resulta el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) el cual puede originar lluvia ácida y junto con los rayos solares forman sulfatos. Las altas

---

<sup>7</sup> EPA. Carbon monoxide [en línea]. Estados Unidos de América. [citado 8 Enero. 2011]. Disponible en: <<http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/>>

concentraciones de SO<sub>2</sub> en el aire producen problemas respiratorios a la salud humana.

Las principales fuentes de emisión de este contaminante son: artículos eléctricos, calderas industriales, fundiciones de cobre, refinerías de petróleo, fuentes de automóviles, calentadores residenciales y comerciales.<sup>8</sup>

Los efectos perjudiciales a la salud humana son:

- Enfermedades respiratorias como Bronquitis y Enfisema.
- Problemas respiratorios como síntomas de asma, toz crónica y secreción en las mucosas.
- Enfermedades graves en el corazón.
- Muertes prematuras.

La lluvia ácida genera efectos perjudiciales en medio ambiente, más específicamente en el ciclo de vida de las plantas, el funcionamiento de los ecosistemas y la producción de fenómenos de visibilidad.

## ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO<sub>x</sub>).<sup>9</sup>

Es uno de los grupos de gases que reaccionan rápidamente con otras sustancias presentes en el aire. Se forma a partir de la oxidación de Nitrógeno atmosférico durante los procesos de combustión con alta temperaturas. En este grupo se encuentra el ácido nitroso, ácido nítrico y el dióxido de nitrógeno.

El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un gas de alto interés por ser muy reactivo y toxico. El NO<sub>2</sub> reacciona con 2 moléculas de óxido de nitrógeno y oxígeno como se muestra en la siguiente reacción  $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$  emitido por fuentes de medios de transporte, fabricación de sustancias químicas y fuentes naturales (Volcánicas).

Las principales fuentes de emisión de este contaminante son: la utilización de carbón y aceites pesados, plantas de generación de energía eléctrica, calderas industriales, motores de combustión interna y plantas de producción de ácido nítrico.

Los efectos en la salud humana son los siguientes:

---

<sup>8</sup> MAVDT. Manual De Fundamentos y Planeación de Inventario de emisiones Pág.58

<sup>9</sup> EPA. Nitrogen oxides [en línea]. Estados Unidos de América. [citado 8 Enero. 2011]. Disponible en: <<http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/>>

- Irritación en ojos, nariz y pulmones.
- Enfermedades respiratorias como Bronquitis, Enfisema, Neumonía, Pulmonía y generación de asma en los niños y en los ancianos.

Efectos en el medio ambiente como:

- La formación del ozono (O<sub>3</sub>) en la troposfera.
- La producción de la lluvia ácida.
- La acidificación de las tierras y los cuerpos de agua.

## **HIDROCARBUROS**

Son compuestos formados por cadenas de carbono e hidrogeno, se presentan cuando hay una mala combustión de derivados del petróleo. Dentro del los compuestos se encuentran el metano, acetileno, benceno, tolueno, etc.<sup>10</sup>

Las principales fuentes de emisión son: vehículos a motor, transporte de hidrocarburos, industrias petroquímicas, combustión de materia orgánica y residuos.<sup>11</sup>

Los efectos en la salud humana son los siguientes:

- Irritación en la membrana mucosa.
- Problemas respiratorios
- Cancerígenos (Hidrocarburos aromáticos)

Los efectos en el medio ambiente son la formación de smog fotoquímico y el efecto invernadero a partir de la reacción con NO<sub>x</sub> y rayos UV.

## **DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>).**

Es un gas incoloro y no tóxico que se forma a partir de la combustión completa del combustible por la oxidación de los átomos de carbono. Se encuentra de manera natural en la atmósfera y es de mayor importancia en la fotosíntesis, el problema

<sup>10</sup> MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE. Cuaderno de Contaminación de contaminación atmosférica. Madrid; 1994, p 15.

<sup>11</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE DE ESPAÑA. Efectos producidos por la contaminación atmosférica. [en línea]. Madrid. [citado 26 Marzo. 2010]. Pág. 10. Disponible en: <[http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calaire/Anexos/Efectos\\_de\\_la\\_Contaminacion.pdf](http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calaire/Anexos/Efectos_de_la_Contaminacion.pdf)>

es que el CO<sub>2</sub> está presentando un incremento en sus emisiones convirtiéndose así, en un contaminante el cual el medio ambiente no tiene la capacidad de absorber.<sup>12</sup>

Las principales fuentes de emisión son:

- Fuentes Naturales: Respiración de las plantas, animales y del hombre; el producto final de la oxidación de azúcares y compuestos orgánicos que contenga carbono.
- Fuente Antropogénicas: Quemadas de combustibles fósiles, calefacciones domésticas, incineración incontrolada de residuos o basuras.  
El 73 % de CO<sub>2</sub> es emitido por las quemadas de combustible fósiles para el medio de transporte mientras el 25% de este gas es generado por la deforestación.

El principal efecto del dióxido de carbono en el ambiente es su presencia en un 50% y 60% en el efecto invernadero, alterando los cambios climáticos de la tierra.<sup>13</sup>

## **PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST)**

Son partículas de cualquier material sólido o líquido con diámetros mayores de 10 micras, estas partículas no se sedimentan en períodos cortos sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad.<sup>14</sup>

Las principales fuentes de emisión de este contaminante son:

- Fuentes Naturales: Erosión de suelo, incendios forestales, erupciones volcánicas entre otras.
- Fuente antropogénicas: Procesos industriales, quemadas agrícolas y combustión de combustibles derivados del petróleo.

Las PST son retenidas básicamente en las vías respiratorias superiores y eliminadas en su mayor parte por el sistema de limpieza natural del tracto respiratorio, por lo que no son consideradas significativamente dañinas para la salud, sin embargo la exposición continua a altas concentraciones puede causar irritación de garganta y mucosas.<sup>15</sup>

---

<sup>12</sup> GOBIERNO DE NAVARRA. Contaminantes. Dióxido de carbono [en línea]. Navarra, España. [citado 26 Marzo. 2010]. Disponible en: <[http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Calidad+del+aire/Informacion/Contaminantes/CO2.htm](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Calidad+del+aire/Informacion/Contaminantes/CO2.htm)>

<sup>13</sup> ECOPIBES. Problemas y relaciones. Dióxido de carbono [en línea]. Ecopibes.com. [citado 26 Marzo. 2010]. Disponible en: <<http://www.ecopibes.com/problemas/contaminacion/contaminantes/co2.html>>

<sup>14</sup> Disponible: En la Resolución 610 de 2010

<sup>15</sup> SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO. Partículas [en línea]. México. [citado 8 Enero 2010]. Disponible en: <<http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnparticulas.htm>>

En el medio ambiente presenta efectos como:

- Contribución en la formación de smog produciendo pérdida de visibilidad.
- Disminución de la temperatura, debido a que adsorben la energía solar.
- Contribuye en la formación de los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno.
- Interviene en la formación de la lluvia ácida.

## **MATERIAL PARTICULADO (PM)<sup>16</sup>**

Es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas suspendidas como nitratos, sulfatos, químicos orgánicos, metales, tierra y partículas del polvo en el aire.

Los problemas que pueden generar las partículas de PM, dependen del tamaño de esta. Aquellas partículas que se encuentran en un rango de diámetro de 10 a 2.5 micrómetros, producen efectos perjudiciales para la salud, como, problemas de corazón y pulmones, dado que dichas partículas atraviesan la garganta, nariz y pulmones

Otro tamaño de partícula importante es el PM<sub>2.5</sub> conocida como partículas finas, debido a su diámetro inferior o igual a las 2.5 micrómetros, son fáciles de respirar, lo que permite un fácil acceso al aparato respiratorio, concentrándose en los alveolos pulmonares y al torrente sanguíneo, generando enfermedades respiratorias y enfermedades cardiovasculares.

Las fuentes principales de emisión son: Hornos, trituradoras, molinos, estufas, calcinadores, calderas, incineradores, cintas transportadoras, acabados textiles, mezcladores y tolvas, equipo procesador, cabinas de aspersion, digestores, incendios forestales.<sup>17</sup>

Los principales efectos que traen a la salud humana son:

- Problemas respiratorios como aumento de tos, agravamiento de asma, dificultades respiratorias e inflamación.
- Enfermedades respiratorias (Neumonía, Bronquitis y daño pulmonar permanente).
- Daños cardiovasculares y tejido pulmonar.
- Carcinogénesis.
- Mortalidad prematura.

---

<sup>16</sup> EPA. Particle pollution [en línea]. Estados Unidos de América. [citado 8 Enero. 2011]. Disponible en: <<http://www.epa.gov/air/particlepollution/>>

<sup>17</sup> MAVDT, Manual De Fundamentos y Planeación de Inventario de emisiones Pág.55

- **CONTAMINANTES SECUNDARIO:** Son originados a partir de la interacción o producto de reacciones químicas de dos o más contaminantes primarios en la atmosfera. Ejemplos como:

### **ACIDO SULFÚRICO (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) Y ACIDO NÍTRICO (HNO<sub>3</sub>)**

Se forma a partir de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, agua y presencia de rayos solares. Es un gas corrosivo e irritante que afecta a la piel, ojos, vías respiratorias y el tubo digestivo. En cuanto sus efectos en el medio ambiente se encuentran en la formación de la lluvia ácida.<sup>18</sup>

### **OZONO (O<sub>3</sub>)<sup>19</sup>**

Es un gas inestable que esta conformado por tres moléculas de oxígeno, es formado por la destrucción de los dos átomos que componen el O<sub>2</sub>, cada átomo de oxígeno es liberado se une a otra molécula de oxígeno formando las tres moléculas de ozono permitiendo una reacción rápida con diversos compuestos químicos.

El ozono hace parte de muchos gases en la atmósfera, el cual juega un papel importante en la estratosfera y se encuentra a 35km o 50 km de la superficie de la tierra, formando ahí la Capa de Ozono que permite una protección de la vida en la tierra de los rayos ultravioletas del sol.

En la parte baja de la atmósfera, más exactamente en la Troposfera, el ozono es dañino para la vida de la tierra ya que se presentan por la reacciones fotoquímicas de las moléculas de NO<sub>x</sub>, con los compuestos orgánicos volátiles (VOC) procedente de los hidrocarburos proveniente de medios de transporte, solventes químicos, fuentes naturales, y emisiones industriales y más la presencia de los rayos del sol forma este tipo contaminante.

---

<sup>18</sup> AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES & DISEASE REGISTRY. Anhídrido sulfúrico y ácido sulfúrico (sulfur trioxide and sulfuric acid). [citado 28 Marzo. 2011] Disponible en <<http://www.epa.gov/air/ozonepollution/basic.html>>

<sup>19</sup> EPA. Ozone pollution. Estados Unidos de América. [citado 8 Enero. 2011] Disponible en: <<http://www.epa.gov/air/ozonepollution/basic.html>>

El ozono troposférico se le conoce contaminante de verano porque en esta época del año es donde hay más presencia de sol que ayudan a la formación del ozono dañino.

Los efectos en la salud humana son:

- Irritación de las vías respiratorias.
- Agravamiento del asma, producción de tos.
- Dificultad y dolor durante la respiración.
- Mayor susceptibilidad a enfermedades respiratorias como neumonía y bronquitis.
- Daño pulmonar permanente.

## **SMOG FOTOQUÍMICO**

Es producido por la reacción de oxidantes de los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), compuestos orgánicos volátiles (COVs), ozono troposférico ( $\text{O}_3$ ) y los rayos solares.

Los efectos en la salud humana son los siguientes:<sup>20</sup>

- Irritación en los ojos y el sistema respiratorio.
- Agravaciones del asma.
- Afectación a enfermedades respiratorias y cardiacas a personas de tercera edad y a los niños
- Crecimiento de la mortalidad en personas débiles

Los efectos en las plantas y animales:

- En los animales el efecto es el mismo que el de los humanos, produciendo problemas respiratorios.
- A las plantas genera daños en sus tejidos el cual disminuye la velocidad de la fotosíntesis y el crecimiento.

---

<sup>20</sup> MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE. Cuaderno de Contaminación de contaminación atmosférica. Madrid; 1994, p 29.

## COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs)

Son aquellos hidrocarburos que se evaporan a la temperatura y a la presión del ambiente, que al reaccionar con óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y rayos solares forman el ozono troposférico.<sup>21</sup>

Las principales fuentes de los COVs provienen de hidrocarburos (Gasolina), pinturas y lacas, disolventes de pintura, productos de limpieza, pesticidas, materiales de construcción y mobiliarios, equipos de oficina, materiales de manualidades como el pegamento y marcadores.

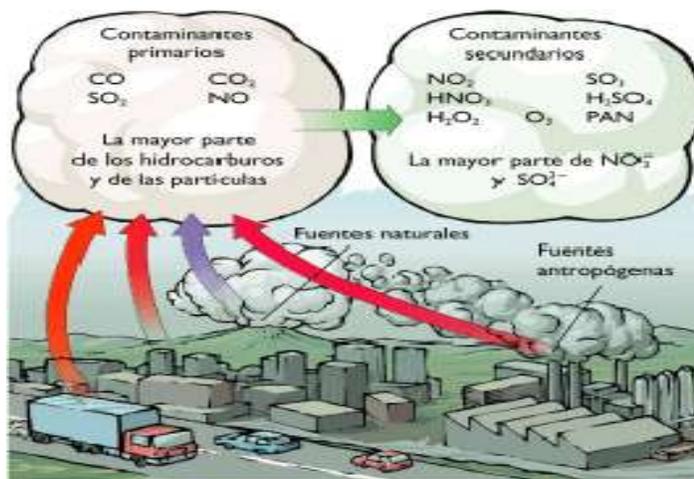
Los efectos en la salud humana son:

- Problemas en el sistema respiratorio.
- Irritaciones de la piel y en la mucosa.
- Efectos carcinógenos

Los efectos en el medio ambiente son:

- La formación del smog fotoquímico y el efecto invernadero.
- Interfiere en la fotosíntesis, metabolismo y crecimiento de las plantas.

Figura 2. Contaminantes Primarios y Secundarios



Fuente: Tomado de KALIPEDIA. Contaminantes atmosféricos. Tipos de contaminantes según su procedencia [en línea]. [Citado 27 Diciembre.2010]. Disponible en: [http://co.kalipedia.com/popup/popupWindow.html?anchor=klpartmsc&tipo=imprimir&titulo=Imprimir%20Art%EDculo&xref=20070418klpcnaecl\\_164.Kes](http://co.kalipedia.com/popup/popupWindow.html?anchor=klpartmsc&tipo=imprimir&titulo=Imprimir%20Art%EDculo&xref=20070418klpcnaecl_164.Kes)

<sup>21</sup> MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE. Cuaderno de Contaminación de contaminación atmosférica. Madrid; 1994, p 15.

## INVENTARIO DE EMISIONES (IE)

La elaboración de inventarios de emisiones nace en la conferencia de La Cumbre de la Tierra en 1992 en Rio de Janeiro, Brasil, como una alternativa de solución a los problemas de contaminación atmosférica, con el objetivo de reducir las emisiones y realizar un seguimiento periódico de estas. Igualmente, los inventarios son instrumentos importantes para la gestión de calidad del aire, puesto que son el punto de partida para la implementación de programas de monitoreo y modelación de las tendencias de las emisiones atmosféricas, la evaluación, medidas de control y vigilancia para el mejoramiento de la calidad del aire.

Los inventarios de emisiones son un conjunto de datos que mediante una sumatoria, permiten determinar las tasas de emisión de los contaminantes que se incorporan a la atmósfera, de acuerdo al tipo de fuente y el tipo contaminante en un intervalo de tiempo determinado sobre un área geográfica establecida.<sup>22</sup>

Los IE deben ser completos y precisos, ya que estos deben proporcionar información precisa sobre las características de las fuentes de emisiones atmosféricas como su localización, magnitud, la frecuencia y las concentraciones de estas emisiones. La información que se obtenga, se convierte en la base para determinar estrategias de control y normas nacionales, por tanto cualquier error puede generar pérdidas económicas. Para mejorar la información disponible en los inventarios es necesario realizar actualizaciones periódicas (anual), ya que en ocasiones se pueden presentar cambios físicos (aparición de nuevas fuentes) en la zona o área donde se realizó.

Los propósitos de los IE, varían dependiendo de las necesidades y circunstancias específicas. Por ejemplo, el propósito de un inventario de emisiones de un establecimiento industrial difiere significativamente con respecto al de otro inventario de modelación regional a gran escala.<sup>23</sup> En Colombia se ha establecido propósitos comunes definidos por el MAVDT en el Manual de Inventario de Fuentes Según el Propósito como:

- Identificación de fuentes: Consiste en recopilar en listas las principales fuentes asociadas a un área específica.
- Diseños SVCA<sup>24</sup>: Es un IE preliminar, teniendo en cuenta los contaminantes criterios y fuentes que requieran atención.

---

<sup>22</sup> MAVDT. Manual de fundamentos y planeación de inventarios de emisiones. Pág.15

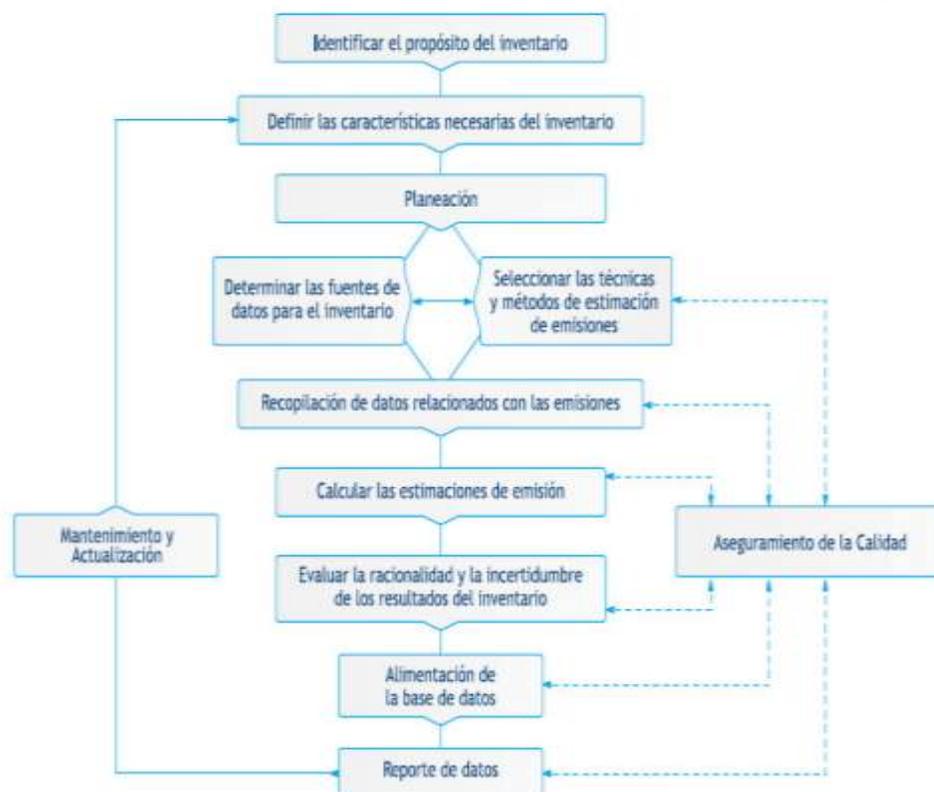
<sup>23</sup> PROPÓSITO Y PLANEACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES [en línea]. [citado 28 Diciembre 2010]. Disponible en: <<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/457/proposito.pdf>>

<sup>24</sup> SVCA: Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire.

- Inventario General de emisiones: Es un inventario detallado, contemplando todos los tipos de fuentes y contaminantes criterios.
- Inventario de emisiones de GEI<sup>25</sup> y calentamiento global: Cuantifica estos gases para cumplir el protocolo de Kyoto o para negociar certificados de emisión.
- Modelación de la calidad de aire: Los inventarios se convierten en instrumentos técnicos para la modelación.

Para la realización del inventario de emisiones se debe seguir una serie de etapas las cuales están propuestas por el Manual de Fundamentos y Planeación de Inventario de Emisiones, creado por el MAVDT. A continuación se muestra la figura con el planteamiento de las etapas del IE.

**Figura 3. Etapas para el desarrollo de un Inventario de Emisiones**



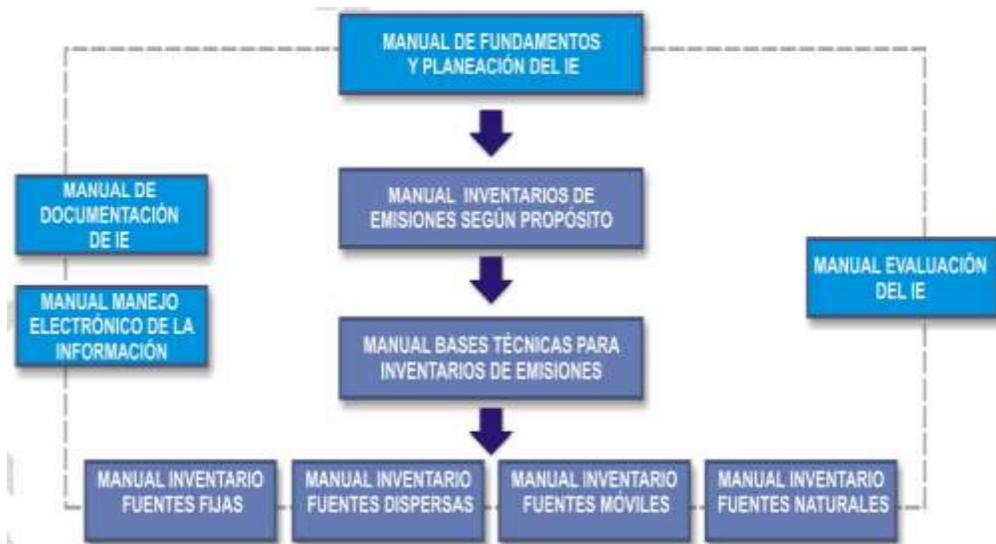
Fuente: Tomado de MAVDT. Manual de fundamentos y planeación de inventarios de emisiones. Pág.20

<sup>25</sup> GEI: Gases Efectos Invernadero

En Colombia, encabezado por el Ministerio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Ambiental (MAVDT), crea el Protocolo para la elaboración de Inventario emisiones como guía técnica y de fundamentos, el cual está constituido por una serie de manuales para la realización correcta de inventarios de emisiones, los cuales están dirigidos a las autoridades ambientales, industrias, empresas y a todos aquellos que generen emisiones atmosféricas.

Este protocolo como anteriormente se dijo está estructurado por una serie de manuales, lo cuales se puede observar en la Figura 4.

**Figura 4. Estructura general del protocolo**



Fuente: Tomado de: MAVDT. Manual de fundamentos y planeación de inventarios de emisiones. Pág.13

#### **4.1.1 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE CÁLCULOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS**

##### **MUESTREO EN LA FUENTE**

Consiste en determinar las concentraciones de contaminantes de una corriente de gas o la tasa de emisión de contaminante de una chimenea, para medir en volumen de gas las concentraciones del contaminante y determinar la tasa de flujo del gas en una chimenea, con esto se puede calcular la tasa de emisión en masa del contaminante.

Este método proporciona estimaciones de emisiones de fuentes más exactas que los factores de emisión o balance de masa, pero son muestreos muy complejos, por tanto requieren de equipos especializados y de tiempo. Los datos obtenidos en el muestreo de fuentes se deben usar para estimar emisiones, solo si son obtenidos en condiciones representativas de operación normal del proceso; los cuales pueden ser usados para estimaciones de emisiones anuales, siempre en cuando no varíe el proceso.

Las emisiones de cada muestreo se pueden expresar de la siguiente manera:

- Tasa de emisión (masa del contaminante emitida por unidad de tiempo).
- Factor de emisión (masa del contaminante emitida por unidad de proceso).

El muestreo en la fuente presenta una alternativa de monitoreo continuo de emisiones, permitiendo evaluar la variación del proceso en un tiempo, esto puede ser en un tiempo de 24 horas o un tiempo determinado de muestreo. Este monitoreo consiste en extraer una muestra gaseosa de la fuente para analizar un contaminante específico en el gas y de un sistema de datos para registrar la información.<sup>26</sup>

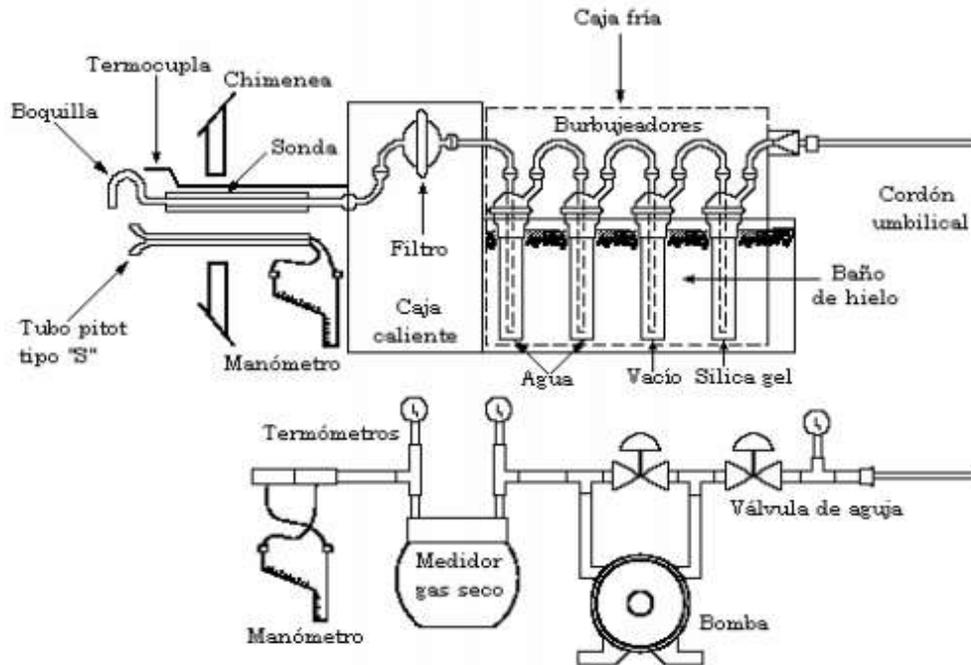
Un ejemplo de muestreo en la fuente es el muestreo isocinético. El cual consiste en tomar una muestra de la emisión, determinando la concentración del contaminante y el flujo del gas, para calcular el flujo másico del contaminante. Este muestreo se realiza con un muestreador de chimenea como lo muestra la siguiente figura.<sup>27</sup>

---

<sup>26</sup> MAVDT. Manual de Inventario de Fuentes puntuales. Pág. 14

<sup>27</sup> ECHEVERRY LONDOÑO, Carlos Alberto. Determinación de la emisión de material particulado en fuentes fijas [en línea]. Medellín.2006. [citado 28 Diciembre 2010]. Pág. 2. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/determinacion.pdf>

**Figura 5. Estructura de muestreador isocinético**



Fuente: Tomado de ECHEVERRY LONDOÑO, Carlos Alberto. Determinación de la emisión de material particulado en fuentes fijas [en línea]. Medellín.2006. [citado 28 Diciembre 2010]. Pág. 3. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/determinacion.pdf>

Para que exista un muestreo isocinético, la toma de la muestra debe ser a la misma velocidad en que los contaminantes sean transmitidos en el ducto de muestreo. El porcentaje de isocinetismo se da por la siguiente ecuación:

**Ecuación 1:**

$$\% \text{ isocinetismo} = 100 \frac{V_n}{V_s}$$

Donde:

- $V_n$  = Velocidad de toma de muestra.
- $V_s$  = Velocidad de gases en chimenea

## FACTORES DE EMISIÓN

Es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmosfera y la actividad que genere esa emisión. Para calcular la emisión de la fuente, considerando la operación de un equipo de control se utiliza la siguiente fórmula:

### ***Ecuación 2:***

$$E = A * F$$

Donde:

- E= Estimado de emisión para la fuente.
- A= Nivel de actividad.
- F= Factor de emisión controlada.

Si se considera la operación de un equipo de control, entonces se tiene en cuenta en el cálculo de efectividad del sistema de control  $(1-ER/100)$  y se utiliza la siguiente fórmula:

### ***Ecuación 3:***

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

Donde:

- E= Estimado de emisión para la fuente.
- A= Nivel de actividad.
- F= Factor de emisión no controlada.
- ER= Eficiencia general en la reducción de emisiones totales, expresada en porcentajes, que es igual a la eficiencia del equipo de captura por la eficiencia del equipo de control, si no hay equipo de control ER=0.

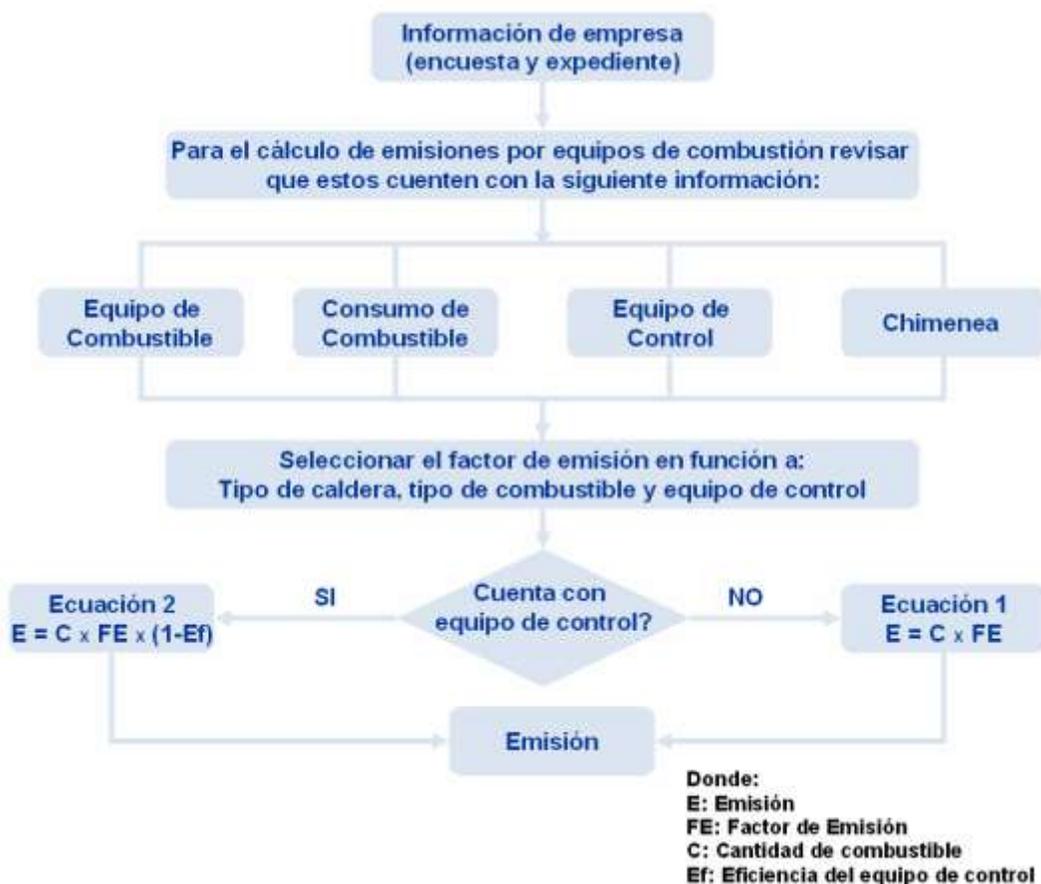
Para algunos contaminantes criterios la EPA realizó una estimación de factores de emisiones denominadas AP-42, clasificadas en A, B, C, D Y E. Donde: A, es el más confiable para un tipo de fuente y E, es el menos confiable y de más baja precisión.

Este factor de emisión dado por la EPA, es muy limitado y puede que no represente emisiones de los procesos productivos de nuestra región con fidelidad.

Para calcular los factores de emisión se dividen en dos tipos:

- ✓ **POR COMBUSTIÓN:** Se determina la capacidad del equipo de combustión, el consumo y tipo de combustible, los sistemas de control y los horarios de operación. Si hay sistemas de control se deben tener en cuenta los siguientes parámetros: que el equipo esté conectado a la fuente de contaminación, el tipo de sistema, las características del equipo, que contaminante controla y la eficiencia del sistema. A continuación se demuestra la metodología a seguir.

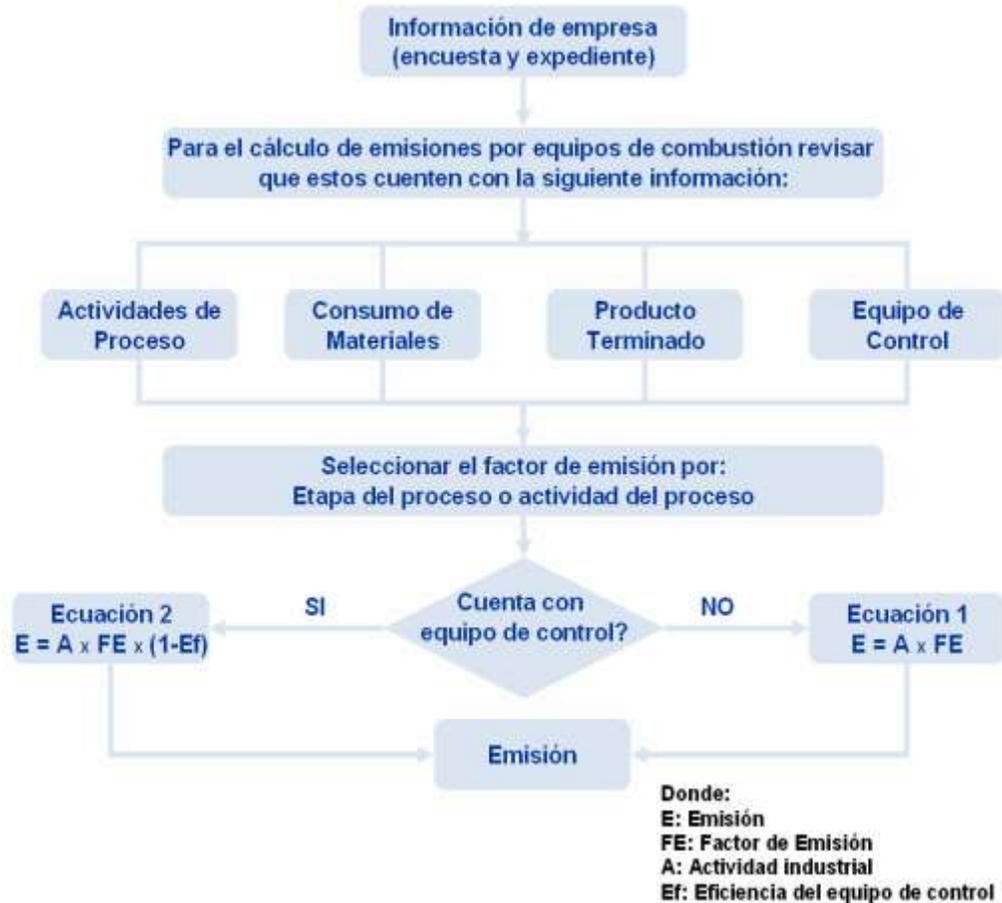
Figura 6. Algoritmo para el calculo de emisiones por combustión



Fuente: Tomado de MAVDT. Manual inventarios de fuentes puntuales. Pág.19.

- ✓ **POR PROCESO:** Teniendo en cuenta la información y tipo de actividad proporcionada por la empresa, se hace un análisis para cada equipo o operación que realice una emisión. A continuación se presenta la metodología que se debe seguir y la información a tener en cuenta.

**Figura 7. Algoritmo para el calculo de emisiones por procesos**



Fuente: Tomado de MAVDT. Manual inventarios de fuentes puntuales. Pág.20.

Para la aplicación de los factores de emisión es necesario recopilar información sobre las industrias a evaluar, como lo es:

- Identificación de las fuentes de emisión: Se realiza una descripción de las fuentes de emisión.
- 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.

- Estimación de las emisiones: Es la descripción del factor de emisión utilizado y de la fuente.

## BALANCE DE MASA

Cuantifica las emisiones del flujo del material cuando entra y sale de una fuente, el cual debe ser identificado en la entrada y la salida del proceso. Este método no se puede aplicar cuando el material sufre reacciones para un producto final. Se utiliza cuando no hay información de datos sobre un muestreo a la fuente ni factor de emisión.

Para realizar un balance de masa se debe tener en cuenta los siguientes parámetros de información:

- ✓ La descripción de las actividades que se realizan en las industrias a ser estudiada.
- ✓ La descripción de los procesos productivos, operaciones y las instalaciones en que se realizan.

El principio del balance de masa es la conservación de energía, donde lo que entra debe ser igual a lo que salga, en este caso es la sumatoria de las masas que entran a un proceso como materias primas, materiales reciclados, productos químicos, agua, aire y entre otros, debe ser igual la sumatoria de la masas que salen como productos, residuos y entre otros.

### Ecuación 4:

$$\sum M_e = \sum M_s$$

La siguiente figura indica la identificación de los puntos de entrada y de salida para el desarrollo del método.

Figura 8. Diagrama de balance de masa



Fuente: Tomado de MAVDT. Manual inventarios de fuentes puntuales. Pág.23

## 4.1.2 SISTEMAS DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

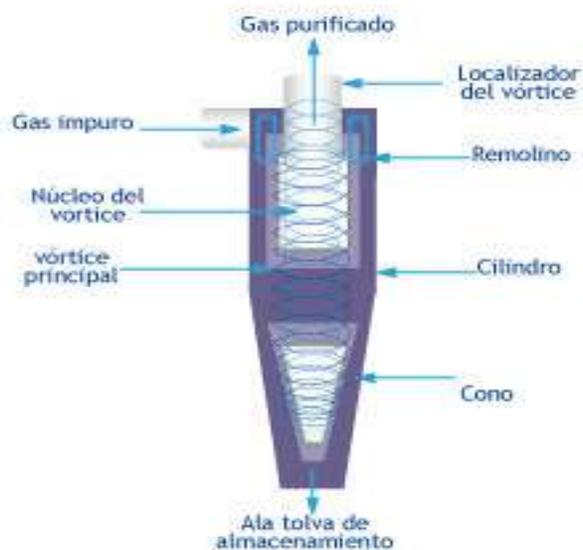
### CICLONES

Es un sistema de control atmosférico utilizado para remover material particulado del aire, utilizando la fuerza centrífuga. El aire impuro entra por un costado del ciclón y es forzado a un movimiento circular el cual ejerce una fuerza centrífuga sobre las partículas, dirigiéndolas hacia las paredes del ciclón. Dichas paredes se reducen en la parte inferior del dispositivo, permitiéndole a las partículas ser recolectadas en una tolva. El aire puro pasa por un espiral de flujo ascendente lo que le permite ser expulsado por la parte superior del ciclón.

Los ciclones son pre limpiadores, lo que quiere decir que pueden ser utilizados como primer paso para purificar el aire antes del tratamiento final, debido a que presentan baja eficiencia. La eficiencia de este sistema depende del tamaño de las partículas; para partículas de 5 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) o mayor la eficiencia es del 98%, mientras que para partículas de entre 15 y 20, la eficiencia es del 90%, siendo el tamaño un factor importante.

Se utilizan principalmente en industrias químicas y de alimento después de operaciones de secado por aspersion, en industrias minerales y químicas después de procesos de triturado, molienda y calcinación para reciclar.

Figura 9. Diagrama de un Ciclón



Fuente: Tomado de MAVDT. Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág. 99.

## VENTAJAS

- Son Económicos.
- Bajos costos de mantenimiento porque no contienen partes móviles.
- La temperatura y la presión depende solo de los materiales de construcción.
- Colección y disposición en seco.
- Requiere de espacios pequeños.

## DESVENTAJAS

- Poca eficiencia para partículas menores a 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ).
- No manejan materiales pegajosos o aglomerantes.
- La alta eficiencia puede generar altas caídas de presión.

## FILTROS

Los filtros son unos de los equipos más representativos en la separación de sólidos de una corriente de gas, haciéndola pasar por una tela la cual retiene partículas finas que rodean los rango de 2 a 30 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ).<sup>28</sup>

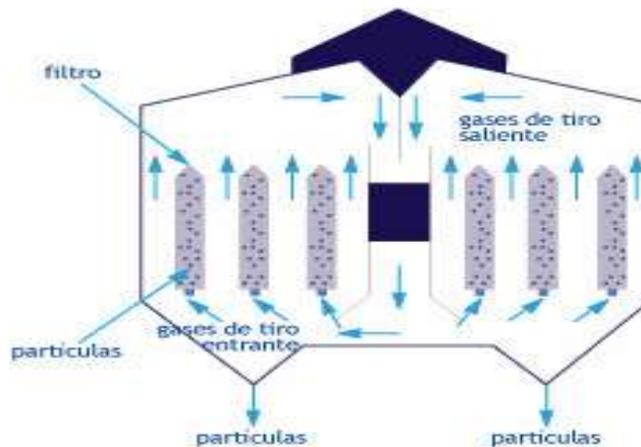
Su funcionamiento es parecido a la de una aspiradora casera. El cual consiste en aspirar el gas por medio de unos ventiladores de tiro forzado a través de la tela, reteniendo las partículas en su manto y permitiendo la salida del aire limpio por la parte superior del filtro, con una eficiencia del 99%. Para obtener y mantener estos niveles de eficacia, la responsabilidad recae sobre la tela del filtro (natural o sintética) y de la capa de polvo que se acumula.<sup>29</sup>

---

<sup>28</sup>UNIVERSIA. Filtros de mangas [en línea]. [ citado 20 Enero 2011] Disponible en: <<http://www1.universia.net/CatalogaXXI/pub/ir.asp?IdURL=127223&IDC=10010&IDP=VE&IDI=1>>

<sup>29</sup> MAVDT. Manual De Inventario De Fuentes Puntuales.Pág.99

**Figura 10. Estructura de un Filtro**



Fuente: Tomado de MAVDT. Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág. 100.

## **VENTAJAS**

- Altas eficiencias de recolección.
- Tratan diferentes tipos de polvo.
- Amplio rango de flujos volumétricos de gas.
- Operados a caídas de presión bajas.

## **DESVENTAJAS**

- Limitados a filtrar corrientes secas.
- Los gases a altas temperaturas deben ser enfriados o pueden ocasionar daños en las telas, al igual que algunas sustancias químicas.
- Alto potencial de incendio o explosión.
- Requiere de una gran superficie de instalación.
- No sirve para compuestos orgánicos volátiles (COV).

## **INCINERACIÓN<sup>30</sup>**

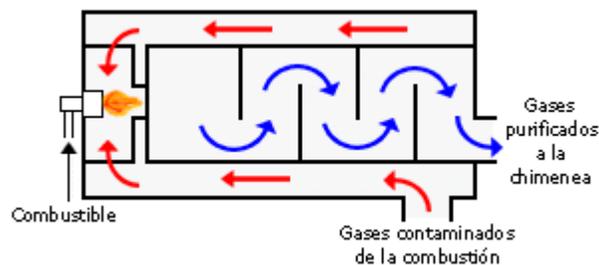
El proceso de incineración cuenta con dos tipos de incineradores, los termales y los catalíticos.

<sup>30</sup> BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea] .[citado 15 Enero 2011 ].Disponible en: [http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2a.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2a.html)

## Incineradores Termales

Son utilizados para controlar emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Consiste en destruir gases y desechos sólidos mediante la quema controlada a temperaturas alta. Este tipo de incinerador tiene la capacidad de remover el 99% de los contaminantes gaseosos. No es bueno utilizarlo para flujos variados de vapor dado que la eficiencia depende de una mezcla apropiada de vapores y de un tiempo específico de permanencia en la cámara de combustión.

Figura 11. Esquema de un Incinerador Termal



Fuente: Tomado de BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea]. [Citado 15 Enero 2011]. Disponible en: <[http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2a.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2a.html)>

## VENTAJAS

- Muy eficiente en la destrucción de COV con porcentajes de remoción del 99%.
- Costos de mantenimientos nulos.

## DESVENTAJAS

- Altos costos de operación, debido a los costos del combustible.
- No son eficientes para flujos variables, ya que no permiten una combustión completa, generando disminución en la temperatura de la cámara de combustión y en la eficiencia de destrucción del contaminante.
- No son recomendables para el control de gases con contenido de halógeno o azufre, dado que son altamente corrosivos.<sup>31</sup>

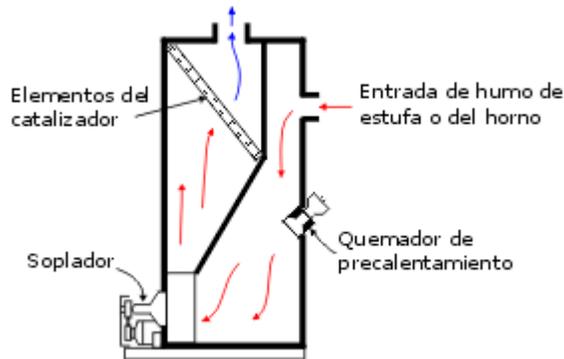
<sup>31</sup> EPA. Hojas de datos epa. Técnicas de control de contaminantes del aire incinerador termal-parte II [en línea]. Estructplan on line. [citado 20 Enero 2011]. Disponible en: <<http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=863>>

## Incineradores Catalíticos

A diferencia de los termales, estos utilizan un catalizador, que funciona como un acelerador en la reacción química, sin que esta cambie o se consuma a si misma, igualmente, permiten que haya una combustión baja, reduciendo el costo del combustible. Este dispositivo genera una eficiencia del 95%, aunque, si se emplea un mayor volumen de catalizadores o mayores temperaturas, esta eficacia puede aumentar.

Los incineradores catalíticos son utilizados para emisiones de bajo contenido de COV (Compuestos orgánicos volátiles).

Figura 12. Estructura de un Incinerador Catalítico



Fuente: Tomado de BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea] .[citado 15 Enero 2011 ]. Disponible en: <[http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2a.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2a.html)>

### VENTAJAS

- Reducción del consumo del combustible auxiliar.
- A temperaturas bajas reduce los NO<sub>x</sub> formados en la combustión.

### DESVENTAJAS

- Altos costos de operación y mantenimiento, debido a que se debe realizar una limpieza periódica y un reemplazo del catalizador.

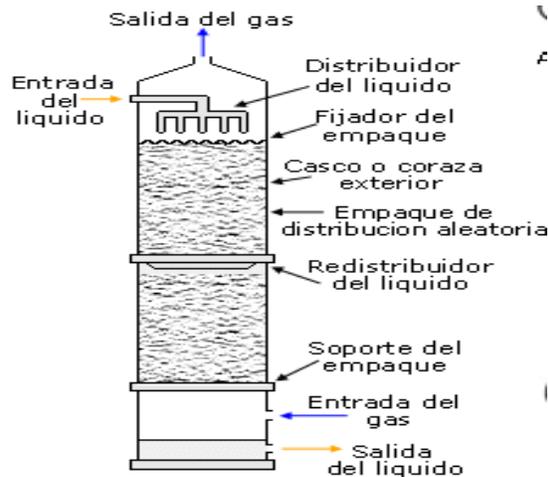
- No es eficiente para gases residuales por el contenido de material particulado que no puede ser vaporizado.<sup>32</sup>

## ABSORCIÓN<sup>33</sup>

La absorción o también conocida como lavado de gases, consiste en diluir los gases en un líquido, pasando un flujo de gas por el absorbente para si disolverlo completamente. El líquido más usado es el agua. Este sistema es utilizado principalmente para la recuperación o purificación de gases con alto contenido de compuestos orgánico y generan una eficiencia de remoción mayor de 95%.

Los lavadores de gas se dividen en varios tipos, entre cuales encontramos, el de columna de relleno, es cual es una de los más usados, dado que contiene una sustancia inerte que le permite mayor eficiencia en la absorción del gas ya que amplía el área líquida.

**Figura 13. Sistema de Absorción con Columna de Relleno**



Fuente: Tomado de BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea]. [Citado 15 Enero 2011]. Disponible en: [http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2f.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2f.html)

<sup>32</sup> LOAYZA, Jorge. Incineración Catalítica De COVs [en línea]. Lima, Perú. [citado 15 Enero 2011 ].Pág. 45 Disponible en: <http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias1998/A2-043.pdf>

<sup>33</sup> BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea]. [citado 15 Enero 2011 ].Disponible en: [http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2f.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2f.html)

## **VENTAJAS**

- Elimina partículas y gases simultáneamente.
- Remoción de partículas muy pequeñas (0.2 a 10 micras).

## **DESVENTAJAS**

- Generación de agua residual, convirtiendo un problema de contaminación atmosférica en una de agua.

## **CONDENSACIÓN**

Consiste en remover los contaminantes gaseosos mediante una reducción de su temperatura, hasta que este se condense y se recolecte en un estado líquido. Para lograr la condensación del gas se pueden realizar dos técnicas, las cuales sería: la extracción de calor o un incremento de presión. El más utilizado es la extracción de calor.

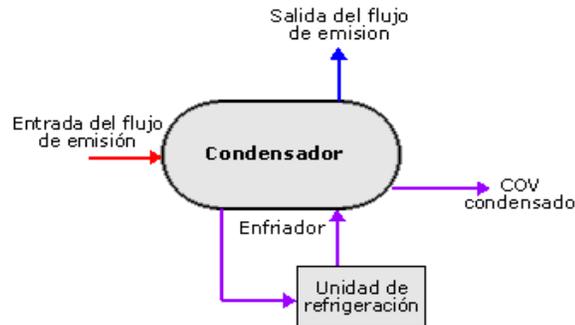
Los condensadores son utilizados junto con otro sistema de control, dado que este puede remover una sustancia gaseosa de un flujo contaminante, el gas remanente del flujo puede ser removido después por incineradores.<sup>34</sup>

Se encuentran dos tipo de condensadores los de contacto o de superficie. El primero consiste en el contacto directo del gas con un líquido frío; mientras que en el segundo los gases tienen contacto con una superficie fría, en la cual circula un líquido o gas frío. Los condensadores presentan eficiencias del 50% al 90%.

---

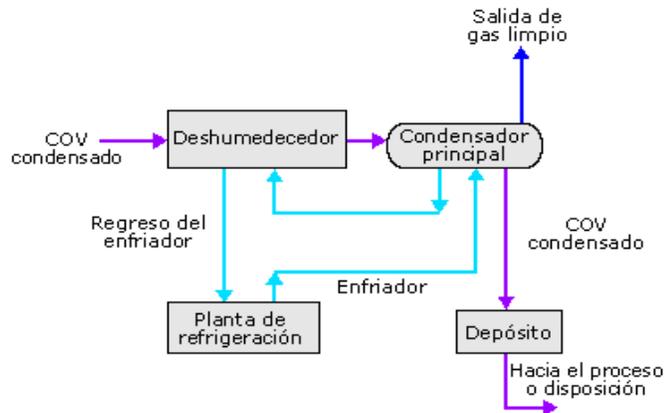
<sup>34</sup> MAVDT. Manual de Inventario de Fuentes Puntuales. Pág. 102.

**Figura 14. Estructura de un Condensador de Contacto**



Fuente: Tomado de BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea]. [citado 15 Enero 2011 ]. Disponible en: <[http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2f.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2f.html)>

**Figura 15. Estructura de un Condensador de Superficie**



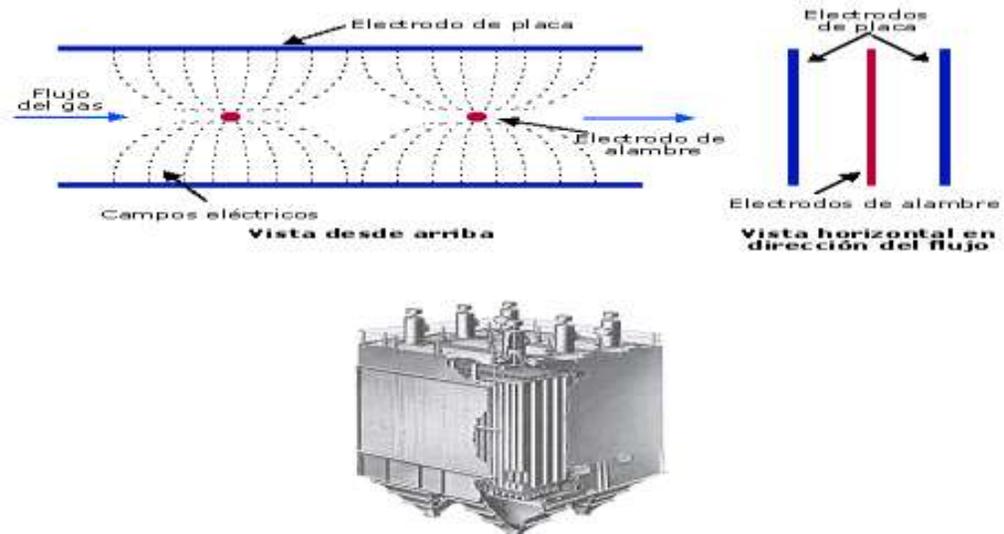
Fuente: Tomado de BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea]. [citado 15 Enero 2011 ]. Disponible en: <[http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2f.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2f.html)>

## **PRECIPITADOR ELECTROESTÁTICO (PES)**

Es un proceso en cual las partículas sólidas de un flujo de gas son capturadas a través de electricidad, el cual consiste en cargar las partículas de electricidad para atraerlas a las placas del Precipitador que se encuentran con cargas opuestas. Para retirar las partículas se le practican golpes a las placas para desprenderlas y depositarlas en una tolva que se encuentra en la parte inferior del equipo.

Los PES, como es conocido presenta eficiencia de remoción del 95% para partículas muy pequeñas, aunque su eficacia es muy variable.<sup>35</sup>

**Figura 16. Diagrama de un Precipitador Electroestático**



Fuente: Tomado de BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea]. [citado 15 Enero 2011 ]. Disponible en: <[http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2f.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2f.html)>

## **VENTAJAS**

- Altas eficiencias con partículas muy pequeñas.
- Diseñados para un amplio rango de temperaturas.
- Manipulación fácil del residuo durante la recolección y eliminación.
- Bajos costos de operación.

## **DESVENTAJAS**

- Altos costo de inversión.
- No son recomendables para partículas pegajosas o húmedas.<sup>36</sup>

<sup>35</sup> BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea]. [citado 15 Enero 2011]. Disponible en: [http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_3a.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_3a.html).

<sup>36</sup> MAVDT. Manual de Inventario de Fuentes Puntuales. Pág. 102.

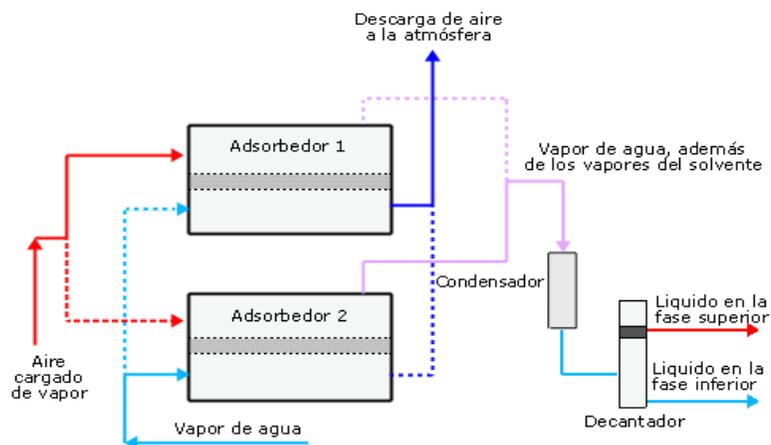
## ADSORCIÓN<sup>37</sup>

El proceso de absorción más común es el de carbón, el cual tiene como función la de controlar y recuperar emisiones de gases contaminantes por medio de partículas de carbón activado. Este proceso consiste en atraer el gas y adherirlo a la superficie porosa del carbón activado.

Entre los sistemas de adsorción se encuentran dos, los regeneradores o los no regeneradores. Los primeros consisten en tener dos o más lechos de carbón, para que mientras uno retira los contaminantes el otro se pueda regenerar para uso futuro. La extracción del contaminante del lecho de carbón activado se hace mediante el uso de vapor. Este sistema es utilizado para concentraciones de flujo de gas alto.

El segundo o los no regeneradores se utilizan para bajas concentraciones de flujo de contaminante, debido a que en este proceso no se regeneran sus lechos, pero se utilizan capas de carbón activado más delgadas, que después de ser saturadas son retiradas y desechadas.

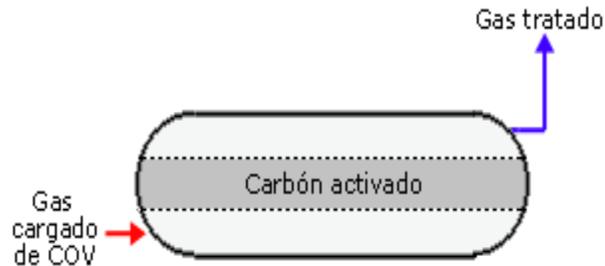
**Figura 17. Sistema de Adsorción Regenerador de Carbón**



Fuente: Tomado de BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea]. [citado 15 Enero 2011 ]. Disponible en: <[http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2f.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2f.html)>

<sup>37</sup> BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea]. [citado 15 Enero 2011 ] Disponible en: [http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2e.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2e.html)

**Figura 18: Sistema de Adsorción No Regenerador de Carbón**



Fuente: Tomado de BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos [en línea]. [citado 15 Enero 2011 ]. Disponible en: <[http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2f.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2f.html)>

## **VENTAJAS**

- Las partículas de carbón activado pueden recuperar compuestos orgánicos valiosos.
- En los sistemas regenerativos no presenta problemas de residuos sólidos dado que el lecho tiene la capacidad de regenerarse.

## **DESVENTAJAS**

- Gran generación de residuos sólidos en los sistemas no regenerativos.
- Los sistemas regenerativos solo son para concentraciones altas de contaminante.

## **REDUCCIÓN SELECTIVA**

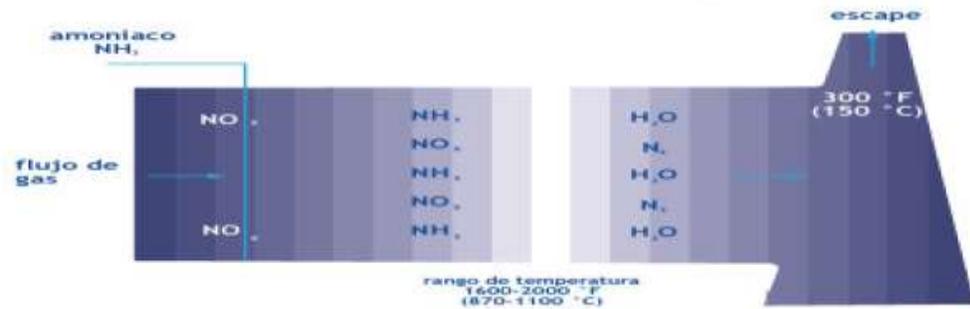
### **Reducción Selectiva Catalítica (SCR)**

Este equipo realiza una reducción química por medio de un catalizador y un agente reductor. El principal contaminante a remover es el  $\text{NO}_x$  generado en mayor proporción por industrias químicas.

Como agente reductor se utiliza el amoníaco, aunque actualmente está siendo reemplazado por gas natural o hidrocarburos, debido a su alto costo, problemas de manejo y almacenamiento.

Actualmente se está utilizando como agente reductor el gas natural, dado que es económico y se encuentra disponible en grandes cantidades.

Figura 19. Diagrama de operación para la reducción Selectiva catalítica



Fuente: Tomado de MAVDT. Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág.104.

## VENTAJAS

- Reducciones altas en NO<sub>x</sub>.
- Las reacciones ocurren a bajas y alto rango de temperatura, comparado con la Reducción Selectiva No Catalítica.
- No requiere modificaciones en la unidad de combustión.
- Es eficiente para bajas emisiones de NO<sub>x</sub>.

## DESVENTAJAS

- Altos costos en la inversión y operación del equipo.
- La reconversión en calderas industriales es difícil y costosa.
- Requiere grandes cantidades del reactor y catalizador.
- Requiere limpieza del equipo corriente abajo.<sup>38</sup>

## Reducción selectiva no Catalítica

Al igual que la Reducción selectiva catalítica, este proceso también reduce los niveles de NO<sub>x</sub> de un flujo de gas de combustión, utilizando un agente reductor

<sup>38</sup> MAVDT. Manual de Inventario de Fuentes Puntuales. Pág. 104.

(amoníaco), pero sin un catalizador. Su proceso consiste en inyectar el agente reductor en la corriente de gas para reducir las concentraciones de NO<sub>x</sub>.<sup>39</sup>

## VENTAJAS

- Bajos costos de operación e inversión.
- Admite corrientes de gas con contenido de material particulado.
- Se puede aplicar para controles de combustión para mayores reducciones de NO<sub>x</sub>.

## DESVENTAJAS

- A altas temperaturas la reducción de NO<sub>x</sub> es limitada y puede producir amoníaco, y a bajas temperaturas el amoníaco se puede oxidar en NO<sub>x</sub>.
- La Corriente de gas debe estar en un rango de temperatura específico.
- No se aplica para fuentes con bajas concentraciones de NO<sub>x</sub>.
- Reduce el NO<sub>x</sub> en menores proporciones que la reducción selectiva catalítica.
- Requiere limpieza del equipo corriente abajo.<sup>40</sup>

## LAVADOR<sup>41</sup>

A diferencia de los sistemas de absorción, los lavadores Venturi disuelven partículas sólidas en flujos líquidos. Su proceso consiste en pasar el flujo de gas con contenido de material particulado por un tubo de extremos ancho y secciones angostas, provocando una constricción, la cual hace que el gas se acelere cuando aumenta la presión. El flujo de gas recibe un rocío de agua. La diferencia de velocidad y presión que resulta de la constricción hace que las partículas solidas se mezclen con el líquido. En la parte ancha del tubo se reduce la velocidad provocando que las partículas caigan de la corriente de gas.

La ventaja que posee el lavador es que permite una eficiencia de remoción de partículas muy pequeñas a un 99%. Mientras la desventaja que tiene es la producción de aguas residuales.

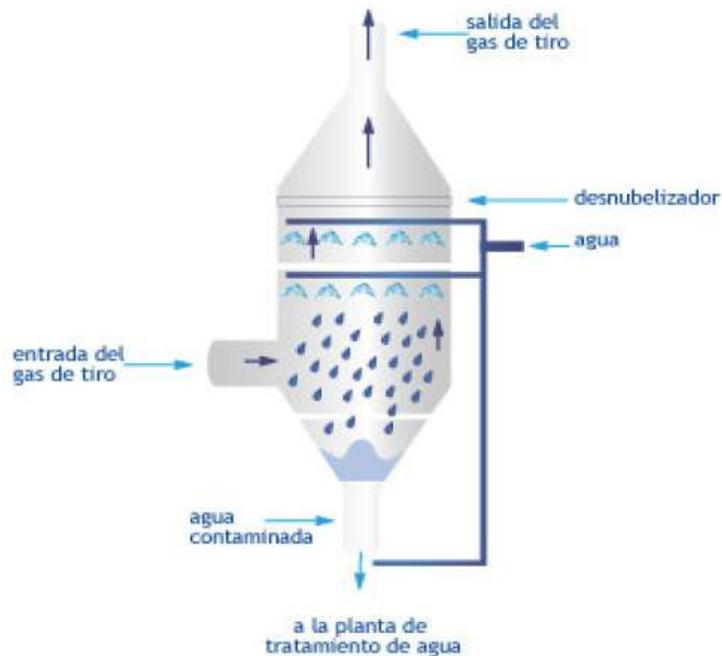
---

<sup>39</sup> REDUCCIÓN SELECTIVA NO CATALÍTICA CON UNA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE NO<sub>x</sub> > 55% [en línea]. inhobe.net. [citado en 15 Enero 2011]. Disponible en: <http://www.inhobe.net/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=4a8cf56f-97f7-4f09-9890-9fe479ed8bb1>

<sup>40</sup> MAVDT. Manual de Inventario de Fuentes Puntuales. Pág. 105.

<sup>41</sup> MAVDT. Manual de Inventario de Fuentes Puntuales. Pág. 105.

**Figura 20. Diagrama de un Lavador Venturi**



Fuente: MAVDT. Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág.105.

## 4.2 ANTECEDENTES

Con el inicio de la revolución industrial llegaron los problemas de contaminación del aire, debido a que las industrias para poder realizar sus procesos de producción necesitaban de energía, la cual era generada por combustibles fósiles, petróleo o carbón. Esto dio inicio no solo a problemas ambientales sino de salud pública.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), en 1957 en una conferencia, inicia procesos de reflexión sobre la afectación de las emisiones de las industrias al aire y en 1967 junto con el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria crean programas de muestreo de contaminación atmosférica.

Ya, para la época de los 90's la OMS, organiza el Sistema de Información sobre la Gestión de la Calidad del Aire, el cual es unido al programa de Sistema Mundial de Monitoreo del Medio Ambiente, y por medio de este se crean instrumentos para ejecutar inventarios de emisiones, modelos de calidad de aire, planes para mejorar la calidad del aire y estudios sobre la afectación de la contaminación atmosférica en la salud humana.

Colombia al igual que otros países también empezó a preocuparse por los problemas de las emisiones de gases al aire, lo que lo llevo a tomar medidas en este aspecto, realizando el primer inventario de emisiones de gases efecto invernadero en 1995, el cual registró que la tala de bosques es la principal emisora de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Óxido de nitrógeno (NO), Metano (CH<sub>4</sub>) y Monóxido de Carbono (CO). La realización de este inventario se llevó a cabo según la metodología aprobada por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, creado por el convenio sobre cambio climático en Brasil en 1992.<sup>42</sup>

En 1995, se crea en Colombia el decreto 948 sobre protección y control de calidad de aire, límites máximos permisibles de emisiones, permisos de emisiones, medidas para episodios de contaminación y planes de contingencia de emisiones y sanciones, todo lo anterior para fuentes fijas.<sup>43</sup>

Actualmente el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), cuanta con un protocolo para el Control y Vigilancia de la contaminación Atmosférica generada por fuentes fijas, bajo la resolución 760/10, el cual tiene como fin guiar a las Autoridades Ambientales y a terceros, sobre cómo llevar a cabo monitoreos y seguimientos de calidad del aire.

En Bucaramanga La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) en el año 2001, instaló 4 estaciones automáticas de monitoreo de la calidad de aire, para determinar los índices de emisiones del área donde se encuentra ubicada y que tipos de contaminantes se generan en mayor proporción. Actualmente cuenta con 5 estaciones de monitoreo automáticas y 3 manuales ubicadas respectivamente así: Cabecera (Parque San Pio), Centro (carrera 15 con calle 34), Ciudadela (calle de las estudiantes), Florida (Cañaveral), la Joya, Cra 17 con Diagonal 15, Norte (Hospital Local del Norte) y La Concordia.<sup>44</sup>

A finales del 2009, se realizó un inventario de emisiones de las fuentes fijas en la vía Chimitá a lo largo de la vía entre el Palenque y Café Madrid, en el cual se determinó las emisiones generadas por las industrias en esta zona en donde se obtuvo resultados como, que de las 29 empresas de la zona solo 10 emiten emisiones atmosféricas, siendo el Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) el contaminante de mayor emisión con una tasa de 19.6969 kg/h, debido principalmente al tipo de

---

<sup>42</sup> NULLVALUE. Inventario Nacional de Emisión de los Gases. En: El Tiempo.com. 11, Diciembre ,1995. [citado 5 octubre 2010]. Disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-479307>>

<sup>43</sup> MAVDT. Protocolo para el Control y Vigilancia de las Emisiones Atmosféricas generadas por Fuentes Fijas. Pág. 7

<sup>44</sup> CDMB. Datos de monitoreos [en línea]. [citado 5 octubre 2010] Disponible en: <<http://www.cdmb.gov.co/web/index.php/monitoreo-ambiental-infomenu3-456/red-de-monitoreo-del-aire-infomenu3-459/338-datos-de-monitoreo.html>>

combustible utilizado por las empresas, y la emisión más baja fue la de Monóxido de Carbono (CO) con un valor de 4,839 Kg/h.<sup>45</sup>

El área de estudio incluida en el presente trabajo, no cuenta con una estación de monitoreo, por tanto no se tiene información sobre la calidad del aire de esta zona.

### 4.3 NORMATIVIDAD

- **Decreto 2 de 1982:** Establece en el capítulo IV normas especiales de emisión de partículas para algunas fuentes fijas artificiales (calderas a base de carbón, fábrica de cemento, industrias metalúrgicas, plantas productoras de asfalto y mezclas asfálticas y otras industrias). Fue derogado en Junio de 2010.
- **Decreto 948 /1995:** Establece lo relacionado con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad de aire.

#### **ARTICULO 73. Casos que requieren permiso de emisión atmosférica.**

Requerirá permiso previo de emisión atmosférica la realización de alguna de las siguientes actividades, obras o servicios, públicos o privados:

- a. Quemadas abiertas controladas en zonas rurales.
- b. Descargas de humos, gases, vapores, polvos o partículas por ductos o chimeneas de establecimientos industriales, comerciales o de servicio.
- c. Emisiones fugitivas o dispersas de contaminantes por actividades de explotación minera a cielo abierto.
- d. Incineración de residuos sólidos, líquidos y gaseosos.
- e. Operaciones de almacenamiento, transporte, carga y descarga en puertos, susceptible de generar emisiones al aire.
- f. Operación de calderas o incineradores por un establecimiento industrial o comercial.
- g. Quema de combustibles, en operación ordinaria, de campos de explotación de petróleo y gas.
- h. Procesos o actividades susceptibles de producir emisiones de sustancias tóxicas.
- i. Producción de lubricantes y combustibles.
- j. Refinación y almacenamiento de petróleo y sus derivados; y procesos fabriles petroquímicos.
- k. Operación de plantas termoeléctricas.

---

<sup>45</sup> RANGEL, Sonia y TAMI Leidy. 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. Bucaramanga, 2009, 92 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Ambiental. Área de aire.

- l. Operación de reactores nucleares.
- m. Actividades generadoras de olores ofensivos.
- n. Las demás que el Ministerio del Medio Ambiente establezca, con base en estudios técnicos que indiquen la necesidad de controlar otras emisiones.

**Parágrafo 5.** 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.

- **Resolución 619 de 1997:** Establece parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.

**Artículo 1.** Industrias, obras, actividades o servicios que requieren permiso de emisión atmosférica.

**Numeral 4.1.** Industrias, obras, actividades o servicios que cuenten con calderas y hornos, cuyo consumo nominal de combustible sea igual o superior a: Carbón mineral: 500 kg. /hora.

- **Resolución 909/2008:** Por la cual se establecen normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas para 40 actividades industriales.

**Artículo 4.** Estándares de emisión admisibles para actividades industriales, donde se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades industriales definidas en el artículo 6° de la presente resolución.

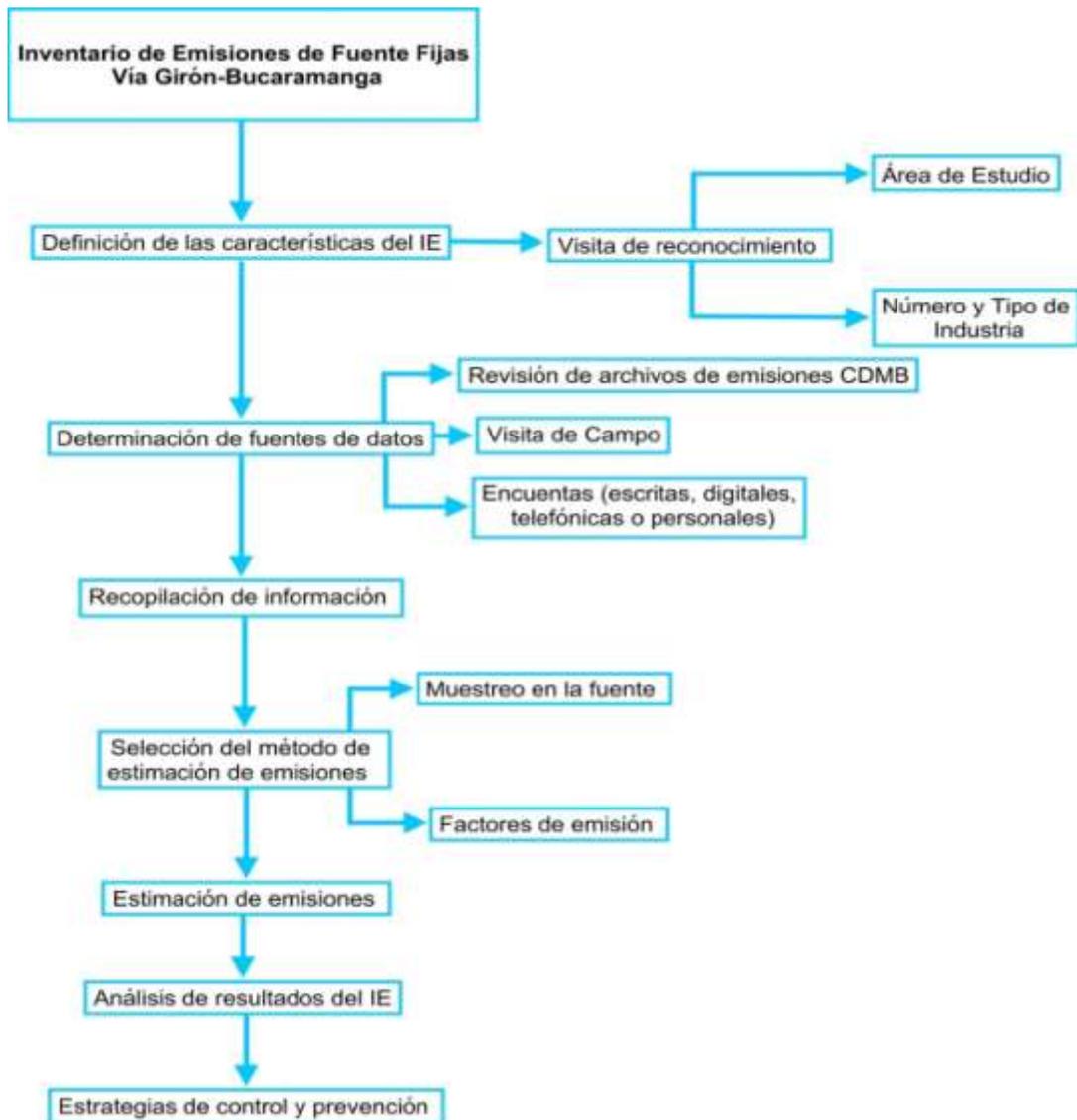
**Artículo 7.** Estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes, donde se establecen los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes a condiciones de referencia, de acuerdo al tipo de combustible y con oxígeno de referencia del 11%.

- **Resolución 760 del 20 de abril de 2010:** En el cual es adoptado el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas como un documento que estandariza los métodos de medición de referencia para fuentes fijas, los procedimientos de evaluación de emisiones, la realización de estudios de emisiones atmosféricas y vigilancia y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas.

## 5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de Inventario de Emisiones Atmosféricas de las Fuentes Fijas ubicadas en la vía Girón - Bucaramanga desde el puente El Palenque hasta El Colegio La Salle, se tuvo en cuenta la metodología planteada en la figura 21, basándose en el Manual de fundamentos y planeación de inventario de emisiones realizado por el MAVDT.

Figura 21. Desarrollo de la metodología



Fuente: Autores

El desarrollo de este inventario de emisiones en la vía Girón-Bucaramanga tiene como propósito, el poder conocer que tipos de contaminantes se están generando en la zona, cuales son las industrias que los generan y en que cantidad y como pueden influir sobre el ambiente y salud de los trabajadores. Esta importante zona industrial ha venido presentando en los últimos años por estimaciones visuales, un crecimiento industrial, la cual no cuenta con estudios o registros de emisiones de las empresas ubicadas allí. A partir de los resultados obtenidos en este estudio se podrán establecer estrategias de control y prevención para las empresas presentes, minimizando los impactos de las emisiones a la atmósfera y mejorando la calidad del aire para los trabajadores y el lugar. Cabe decir que el inventario de emisiones aportara información para el informe anual de calidad de aire 2010-2011 elaborado por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

## **5.1 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL IE**

Como primer paso para el desarrollo del inventario de emisiones se seleccionó la zona industrial de Girón ubicada entre el Puente el Palenque hasta el Colegio La Salle, dado que en este trayectos se encuentran ubicadas una gran cantidad de industrias que en los últimos años ha experimentado una expansión industrial importante, por tanto, se estima que pueda haber un gran índice contaminación atmosférica. Este lugar tiene una longitud aproximada de 6,97 Km.

Una vez seleccionada el área de estudio, se realizó una visita de reconocimiento para determinar el número y tipo de industrias presentes en la zona. Durante el reconocimiento se realizó una cuantificación de las empresas, de las cuales se tomo una información base tal como: número de empresas presentes, nombre y el tipo de industria. Como resultado de este reconocimiento se encontraron 61 industrias. .

## **5.2 DETERMINACIÓN DE FUENTES DE DATOS**

Seguido de la visita de reconocimiento se realizó una recopilación de la información obtenida para esto, se realizó una serie de pasos.

Como primer paso se hizo una **revisión de expedientes** en el en el software SINCA<sup>46</sup> de la CDMB, donde se determinó cuáles industrias contaban con expedientes de emisiones atmosféricas y de qué fecha eran dichos datos. Durante de este proceso se encontró que el 95 % equivalente a 58 empresas no cuentan

---

<sup>46</sup> SINCA: Sistema de información de Normatización y Calidad Ambiental.

con expedientes de emisiones atmosféricas en los archivos de la CDMB, ya que, la mayoría no han realizado estudios de emisiones atmosféricas o posiblemente no generan ningún impacto en la calidad de aire, lo cual se tienen con mayor claridad durante la recopilación de datos. Mientras que el 5% restante poseen expedientes, este porcentaje equivale a un número de 3 empresas de las 61 ubicadas en la zona. Sin embargo, no se tuvieron en cuenta para la recopilación de datos de emisión, puesto que la información era muy antigua. En el Anexo 1 se puede ver con detalle lo mencionado anteriormente.

Una vez ejecutada la revisión de los expedientes se procedió a realizar **visitas técnicas** a las empresas, donde se contó con el acompañamiento de un funcionario de la CDMB. Se visitaron 27 empresas de las 61 encontradas, descartando 34, puesto que, por conocimiento del funcionario esas industrias no cumplían con las características de una fuente fija<sup>47</sup> o no emitían contaminación a la atmósfera. La información recopilada se puede ver en el Anexo 2.

Seguido de la visita de campo se seleccionaron 20 industrias de las 27, dado que poseían las características de una fuente fija puntual y de las cuales no se pudo contar con suficiente información de su proceso productivo durante la visita de campo como para descartarla si generaban o no emisiones atmosféricas. A estas empresas se les elaboró una **encuesta** teniendo en cuenta la información del Manual de Inventarios de Fuentes Puntuales de la página 12 a la página 20 y de la carta elaborada para el 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. Dicha encuesta (carta) fue autorizada por la Subdirección de Control Ambiental al Desarrollo Territorial de la CDMB y entregadas personalmente por los autores a las empresas. Entre la información que se le solicitó a las empresas se encuentra: información general de la empresa, información de los procesos productivos, datos de emisiones atmosféricas y resultados de muestreos isocinéticos, si poseían (Ver Anexo 3).

Un 80%, que equivalen a 17 empresas, respondieron a la información solicitada, de las cuales el 50% enviaron la respuesta a la CDMB, el 20% la respondieron de manera personal (no tenían completa la información solicitada) y un 10% contestó la carta por medio de correo electrónico. El 20% de ellas, equivalente a 3, no contestaron a la carta, otorgándoles un plazo de dos meses después de la fecha de entrega.

---

<sup>47</sup> Características mostradas en la figura 1. Tipos de fuentes antropogénicas.

### **5.3 RECOPIACIÓN DE DATOS**

Para la ejecución de esta actividad se llevo a cabo primero una revisión de los expedientes en la base de datos (SINCA) de la CDMB, de la cual no se obtuvo datos de emisiones atmosféricas de ninguna empresa, por tanto se procedió a realizar las visitas de campo, la cual permitió identificar 20 industrias de las 61 presentes en la zona, puesto que se estimó que eran las que poseían las características de una fuente fija.

Como se nombro en el proceso anterior, se envió la encuesta en la cual se les solicitó información a las empresas seleccionadas. Dicha información se encuentra recopilada en el Anexo 4 al 9 de las bases de datos del Inventario de emisiones de fuentes fijas ubicadas en la Vía Girón - Bucaramanga desde el puente El Palenque hasta el Colegio La Salle.

A partir de la recopilación de datos y con base a las respuestas de las cartas enviadas se obtuvo con mayor claridad la actividad industrial de cada empresa, fuente de emisión, tipo de combustible utilizado, permisos de emisiones atmosféricas y estudios de emisiones atmosféricas. Cabe decir que para este proceso se tuvieron en cuenta 16 de las 17 industrias que contestaron la encuesta, puesto que una de ellas era una bodega y no se tuvo en cuenta su información. En la tabla 2, se muestra la información anterior.

### **5.4 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES**

Para la selección del método, se tuvo en cuenta el proceso productivo de la empresa, la fuente de emisión, la utilización de combustible y si poseía sistemas de control. Si la empresa contaban con estos parámetros, se procedió hacer un análisis sobre si habían realizado muestreo en la fuente (como los muestreos isocinético) Ver Anexo 8 y si no, se realizó la estimación por medio del método de factores emisión (Ver Anexo 9), el cual dependiendo de la información obtenida se utilizo los algoritmos de las figuras 6 y 7 presentes en el marco conceptual.

### **5.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS**

Para las estimaciones de emisiones atmosféricas se utilizó el método de Factores de Emisión, donde se tuvo en cuenta la información recopilada, como: el proceso productivo, sistemas de control, cantidad de producto elaborado, tipo y consumo de combustible.

A partir de los datos obtenidos en la recopilación de datos se clasificaron cuatro grupos, siendo estos los siguientes: caldera a gas natural, caldera con carbón mineral, horno con gas natural y por proceso, debido a que no a todas las industrias a las que se les estimó la emisión poseían las mismas características.

- **ESTIMACIÓN DE EMISIONES PARA CALDERA A GAS NATURAL**

Para el cálculo de las emisiones atmosféricas de caldera a base de gas natural, se tuvo en cuenta el consumo de combustible y si poseía o no sistema de control, dependiendo de eso se aplicó la ecuación 2 o 3.

La determinación del factor de emisión se hizo por medio de la revisión de la AP-42 de la EPA. En el capítulo 1 External Combustion Sources (Fuentes de combustión externa), en el numeral 1.4 Natural Gas Combustion (Combustible de Gas natural), donde se encuentran los factores de emisión para óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y monóxido de carbono (CO) en la Tabla 1.4-1 como se puede ver en el Anexo 10.

- **ESTIMACIÓN DE EMISIONES PARA CALDERA CON CARBÓN MINERAL**

En el cálculo de emisiones atmosféricas para caldera a base de carbón mineral se utilizó, se contó con el consumo, el tipo de carbón utilizado y su porcentaje de azufre y ceniza y la eficiencia del sistema de control si poseían. En la siguiente se observa dicha información.

La determinación de los factores de emisión para estas empresas se hizo mediante la revisión AP-42 de la EPA. En el capítulo 1 External Combustion Sources (Fuentes de combustión externa), en el numeral 1.1 Bituminous and Subbituminous Coal Combustion (Combustible de carbón bituminosos y subbituminoso), donde se encuentran los factores de emisión para óxido de azufre ( $\text{SO}_x$ ) óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM) en la Tabla 1.1-3 como se puede ver en el Anexo 11.

- **ESTIMACIÓN DE EMISIONES PARA HORNO A GAS NATURAL**

En el cálculo de las emisiones atmosféricas para hornos a gas natural se tomó el consumo de combustible utilizado y si poseían o no sistema de control teniendo en cuenta eso se selecciono la ecuación 2 o 3 para su estimación.

La determinación de los factores de emisión para estas empresas se realizó mediante la revisión del AP-42 de la EPA. En el capítulo 1 External Combustion Sources (Fuentes de combustión externa), en el numeral 1.4 Natural Gas Combustion (Combustible de Gas Natural), donde se encuentran los factores de emisión para óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO) en la Tabla 1.4-1 como se puede ver en el Anexo 10. Para la estimación de estos factores se tomó el valor del horno residencial ya que estos son los que se utilizan para actividades industriales o comerciales.

- **ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR PROCESO**

Para el cálculo de las emisiones atmosféricas por proceso, se tuvo en cuenta la cantidad y frecuencia de producción y la eficiencia del sistema de control. Para este se aplicó la ecuación 3.

La determinación del factor de emisión se realizó mediante la revisión del AP-42 de la EPA, en el Capítulo 9 Food and agricultural industries (Industrias de Alimentación y Agricultura), numeral 9.9 Graing Processing (Transformación de cereales), en Grain Elevators & Processes (Elevadores de Granos y Alimentos), donde se encuentra el factor de emisión para material particulado (PM) en la Tabla 9.9.1-2. La selección del factor de emisión que se tomo de la tabla fue el wheat flour mills (Molinos de Harina de Trigo), como se puede ver en el Anexo 12.

## **5.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Finalmente ejecutada la recopilación de datos y la estimación de emisiones se procede a realizar una análisis de los resultados, donde se analizan las características de las fuentes fijas, la comparación de las concentraciones obtenidas en los muestreos en las fuentes con la norma vigente, las emisiones atmosféricas por cada contaminante, las emisiones totales presente en la zona y una comparación de las emisiones producidas en la zona Industria Chimitá respecto a las de el área de estudio.

## **5.7 ESTRATEGIAS DE CONTROL Y PREVENCIÓN**

Una vez se haga análisis de resultados, se plantean medidas de control y prevención para las empresas que lo requieran por el no cumplimiento de la norma, porque presente altas emisiones o posiblemente presente fallas en el sistema de control.

Estas estrategias se realizan con el fin de disminuir los impactos de las emisiones sobre el ambiente y sobre la calidad de los trabajadores.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS

Durante la visita de reconocimiento En la Vía Girón-Bucaramanga del puente El Palenque al Colegio la Salle se encontró la siguiente información.

**Tabla 1. Información recopilada en visita de reconocimiento.**

Tipo de industria	Cantidad	Industria
Alimentos	13	Embosan
		Planta de incubación DISTRAVES
		Planta de concentrado DISTRAVES
		Industria Harinera de Santander
		Avimol
		Planta de incubación Pimpollo
		Nutrimax
		Pollosan
		Incubadora de Santander
		Italcol
		Hielo Monteblanco
		Hielo Nevado
		Industria Fuller Pinto S.A
Servicios	11	Baterías Faico
		Fabrica Mudiesa Oficol
		Mercagan
		Labicol
		Colaves
		Petrocasinos
		Salón de mueble
		Mueblería Serrano
		Sevicol LTDA
		Didacol
		Maderas Alcana
Metalúrgicas	10	Carrocerías OMEGA
		Metalteco
		Induande
		AGA
		Imatt
		Autobuses Super-Andes
		Metalmarket
		Forjados S.A
		Industrias Aceros
		Metálicas Fundifor
Distribuidores y bodegas	8	Disproal LTDA
		Tuvacol
		Trilladora Palonegro
		Kroil
		ASHE

Tipo de industria	Cantidad	Industria
		Provisa
		Promagro
		Colchones AO
<b>Construcción</b>	7	Arte Mármol
		Roca y minas Colombianas
		Fábrica Baldosines y Granitos
		Mármoles y lajas
		Mármoles
		Mármoles 2 Santander
		Mármoles suramericana
<b>Textil</b>	6	Kolortex
		Reata Jet – Cinturex
		Profitex
		Tintorería Industrial
		Trenzahilos
		Surtiespuma
<b>Petroquímicas</b>	3	MAO Plásticos
		Renoboy
		Riegoplast
<b>Otras</b>	3	Palacio de la Fibra
		PRAXAIR
		Abonar
<b>TOTAL</b>	61	

Fuente: Autores

Como se observa en la tabla anterior se identificaron 61 industrias producto de una visita de reconocimiento, donde la mayoría pertenecen al sector alimentos, teniendo como actividad industrias la elaboración bebidas, concentrados para animales y molienda de maíz. Según el artículo 6 de la resolución 909/08 este tipo de industria se encuentran en la categoría de otras debido a que no están dentro de los grupos establecidos por la norma, permitiendo así, observar las generación de contaminantes principales a la atmósfera tales como: material particulado (PM); óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>); óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO). En cuanto al tipo de industrias de servicios y distribuidores y bodegas que suman entre las dos 19 empresas, no van a generar ningún tipo de contaminante.

Teniendo el tipo de industrias presentes en la zona se puede tener un dimensionamiento sobre que industrias posiblemente generan emisiones y cuales simplemente no cumplen con las características de una fuente fija.

## 6.2 RECOPIACIÓN DE DATOS POR FUENTES DE INFORMACIÓN

Tabla 2. Resultados de las características de una fuente de emisión

#(*)	Actividad	Fuente de emisión	Tipo de fuente	Tipo de combustible	Permiso de emisión	Estudios de emisión	Sistema de Control
1	Producción de bebidas gaseosas y aguas envasadas	Caldera	Puntual	Gas Natural	No requiere	Si tiene	Ciclones
2	Avícola	Caldera	Puntual	Gas Natural	No requiere	Si tiene	Ciclones y Filtros
3	Tintorería de jeans	Caldera	Puntual	Carbón mineral	No requiere	No tiene	Filtros de manga
4	Industria molinera de trigo	No	Dispersa	No	No aplica	No tiene	Filtros de manga
5	Elaboración de alimentos preparados para animales	Caldera	Puntual	Gas Natural	No requiere	Si tiene	Condensación
6	Reencauche de llantas usadas	Caldera	Puntual	Gas Natural	No requiere	Si tiene	No
		Extractor de ripio					Filtros de manga
		Cementadora					No
7	Lavado y proceso de prendas de vestir	Caldera	Puntual	Carbón mineral	No requiere	No tiene	Filtros de manga
8	Producción de cuerdas, cordones, sogas y reatas de Nylon y Polipropileno	Caldera	Puntual	Gas Natural	No requiere	No tiene	No
9	Fabricación de espumas y colchones	No	No	No	No aplica	No aplica	Ciclones
10	Fabricación y venta de acumuladores de energía	No	No	No	No aplica	No aplica	Filtros de manga
11	Cría especializada en aves de corral	Horno	Puntual	Gas Natural	No requiere	No tiene	No
12	Metalmecánica	Horno	Puntual	Gas Natural	No requiere	No tiene	No
13	Elaboración y venta de alimento concentrado para animales	Caldera	Puntual	Carbón mineral	Si requiere	Si tiene	Multiciclones
14	Elaboración y venta de	Caldera	Puntual	Carbón mineral	No requiere	No tiene	Ciclones y lavador de

#(*)	Actividad	Fuente de emisión	Tipo de fuente	Tipo de combustible	Permiso de emisión	Estudios de emisión	Sistema de Control
	alimento concentrado para animales	Caldera					gases
15	Transformación de acero	Horno	Dispersa	Gas Natural	No requiere	No tiene	No
16	Comercialización de vidrio	No	No	No	No aplica	No aplica	No

(\*) Corresponde al número asignado a la empresa en estudio por los autores y se referenciarán en todo el documento.

Fuente: Autores

Como se indica en la tabla anterior la mayor fuente de emisión dentro de las empresas seleccionadas durante la recopilación de datos fue la caldera, debido a los procesos productivos que realizan, ya que las industrias que hacen uso de este tipo de emisión, lo utilizan para la generación de vapor en la cocción de alimentos y preparación de bebidas, tintorería de ropa y rencauche de chantas, siendo estos los procesos en los que se hace generalmente uso de calderas. Cabe decir que el uso de este tipo de emisión requiere de grandes cantidades de combustible, por tanto se estima que se presente emisiones considerables a la atmósfera por parte de las industrias que hacen uso de esta fuente. Por otro lado, se encontraron otros tipos de fuentes de emisión como horno, siendo este de menor uso en la zona, dado que son utilizados más que todo para fundición, tratamientos térmicos, procesos químicos, entre otros, siendo pocas las industrias en la zona las que realizan estos procesos industriales, por tanto su uso es inferior. Como otras fuentes de emisión presentes se encuentran el extractor de ripio y la cementadora, presentes en la realización de bandas de rodadura para llantas de la empresa 6.

De acuerdo a la tabla, el tipo de emisión que se encuentra mayormente en la zona es la fija puntual, donde las industrias cuentan con un ducto o chimenea lo cual favorece la dispersión de los contaminantes al aire y obtener las emisiones de una manera confiable y exacta, contrario pasa con las fuentes dispersas debido a que su foco de emisión se dispersa en el área, por las acciones de los procesos industriales que se llevan a cabo en la empresa, limitando el método de estimación de las emisiones. En el área se encontraron dos fuentes dispersas, en donde una realiza un proceso de molienda de trigo y la otra posee un horno el cual no cuenta con un ducto o chimenea, permitiendo que sus emisiones se dispersen en el área.

En cuanto a las industrias que poseen fuente de emisión, el combustible que más utilizan es el gas natural respecto al carbón mineral, puesto que es un combustible limpio por sus emisiones casi nulas de material particulado y muy bajas de  $SO_x$ , es económico y tiene mejor rendimiento en la combustión. A diferencia del gas

natural, el carbón mineral, es un combustible más sucio, pues genera grandes emisiones de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, impurezas y cenizas. Como se puede demostrar en los resultados de los muestreos en la fuente realizados por las industrias y los cálculos por factores de emisión en la base de datos del inventario de emisiones. Este resultado sobre la utilización de combustible puede dimensionar que las emisiones de los contaminantes en la zona pueden ser relativamente bajas.

De las 16 industrias, solo una posee permiso de emisión puesto que la actividad industrial que realiza requiere dicho permiso establecido en el decreto 948/1995 en el artículo 73 y la Resolución 619/97. De las 15 restantes 11 no requieren permiso de emisiones, 4 no aplican, dado que no poseen las características solicitadas por el decreto nombrado anteriormente, para permisos de emisiones. Cabe decir que dentro de las 11 que no poseen permiso de emisiones, 8 de ellas no lo requieren pues el tipo de combustible que usan es gas natural y en el Decreto 948/95 artículo 73 párrafo 5 a 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”*. Las restantes utilizan carbón mineral como combustible, pero el consumo es menor a 500 Kg/h, por tanto no requieren solicitar el trámite ante la autoridad ambiental.

El hecho de que casi todas las industrias no requieran del permiso, indica que las empresas presentes en el área no son generadoras de grandes emisiones a la atmósfera puesto que utilizan gas natural o el consumo del carbón no pasa los límites requeridos para permiso de emisiones.

De acuerdo a los datos obtenidos, 5 empresas de las 16 cuentan con estudios de emisiones por muestreos directos en la fuente (Muestreo Isocinético), obteniéndose así, valores de la concentración (mg/m<sup>3</sup>) y la emisión (Kg/h) de los contaminantes generados por cada una. De las 11 restantes, 3 de ellas no se requieren estudio de emisiones, puesto que, no generan ninguna contaminación al aire, pero su información se tuvo en cuenta para la base de datos del IE. En cuanto a las otras 8 no poseen estudios de emisión, aún cuando según en el Decreto 948/95, artículo 97 toda fuente fija que genere contaminación está obligada a presentarle un informe de emisiones a la autoridad ambiental en el tiempo que esta lo reglamenta. Dado que no se conto con esta información se realizó la estimación de las emisiones por medio de factores de emisión.

Como se puede ver en la tabla, de las 16 empresas seleccionadas como fuentes fijas, la mayoría de las industrias que poseen fuente de emisión cuentan con sistemas de control. Siendo 11 las que poseen sistema de control para sus emisiones de las cuales 2 poseen doble sistema de control y una solo posee en una de su fuente de emisión. De las 6 de que no poseen unas de ellas es la nombrada anteriormente, que no posee en dos emisiones de su fuente de emisión

y en cuantas a las otras dos no necesitan, pues no generan ninguna emisión. Esto indica que las emisiones en la zona están siendo controladas, lo que indica que posiblemente no se estén presentando niveles altos de contaminación a la atmósfera.

Los sistemas que más se presentan son los filtros de mangas y ciclones, dado que son muy eficientes para reducir emisiones de partículas y no son costosos.

### **6.3 COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LOS MUESTREOS ISOCINÉTICOS CON LA NORMATIVIDAD VIGENTE.**

Para la comparación de los resultados de los muestreos isocinéticos de las empresas señaladas en la tabla 5, se tiene en cuenta la Resolución 909 del 2008, la cual define las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas. El Decreto 02 del 1982 quedo derogado a partir de Junio del 2010, por tanto no se tiene en cuenta para la comparación de las concentraciones. La Resolución 1309 del 2010 modifica los estándares de emisión admisibles de combustión interna de la Resolución 909 del 2008, sin embargo, como ninguna industria estudiada presenta estas características, no se tuvo en cuenta.

A continuación se presenta la comparación de los resultados de cada empresa que cuenta con muestreo isocinético junto con los valores permisibles de material particulado (PM), óxido de azufre ( $SO_x$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) estipulado en la norma. Para esta comparación no se tiene en cuenta la concentración de Monóxido de carbono puesto que la norma no establece límites permisibles dado que es una molécula inestable.

Según la Resolución 909/08 para el combustible Gas natural solo se deben evaluar las emisiones de  $NO_x$ , pero en este caso por exigencia interna de las empresas 1 y 6 se evaluaron las emisiones de material particulado y  $SO_x$ .

**Tabla 3. Comparación de los resultados de los muestreos en la fuente con los valores de la normatividad vigente.**

		Valores de la Norma (mg/m <sup>3</sup> )			Valores de muestreo en la fuente (mg/m <sup>3</sup> )		
Empresa	Fuente de emisión	MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
1	Caldera a gas natural	250	550	550	4	4,3	69,6
2		250	550	550	-	-	5,3
5		250	550	550	-	-	51,5
6	Caldera a gas natural	250	550	550	1,78	0,14	22,07
	Cementadora				17	20,2	5,78
	Extractor de ripio				19	-	-
13	Caldera con Carbón mineral	200(*)	500(*)	350(*)	<b>214,28</b>	<b>1090,98</b>	<b>333,06</b>

(\*) En base a la resolución 909/08 los límites permisibles para combustibles sólido son los establecidos en el artículo 7.

Fuente: Autores

Como se observa en la tabla 5, solo la empresa 13 no cumple con los estándares permisibles por la norma para material particulado y óxido de azufre sobrepasando los límites establecidos, en cuanto a la concentración de NO<sub>x</sub> si cumple con la Resolución, pero con una diferencia mínima del límite. Este no cumplimiento se debe posiblemente a que se estén presentando fallas en la estructura de la caldera, lo cual puede generar una combustión incompleta, o fallas en el sistema de control por falta de mantenimiento, el cual si no se realiza puede presentar acumulación de partículas en las paredes del ciclón, disminuyendo la eficiencia del sistema e impidiendo una purificación de las emisiones a la atmósfera.

A sobrepasar los límites establecidos PM y SO<sub>x</sub> puede generar riesgos en la salud de los trabajadores tales como: enfermedades respiratorias como bronquitis, enfisema, neumonía, pulmonía, síntomas de asma, irritación en el tacto respiratorio y enfermedades cardiovasculares y en el medio ambiente puede generar smog produciendo pérdida de visibilidad, formación de contaminantes secundarios y intervienen en la formación de la lluvia ácida afectando al funcionamiento de ciclo vida de las plantas y a los ecosistemas cercano a la zona.

Respecto a las demás empresas, presentan valores inferiores a los valores establecidos en la Resolución cumpliendo y no generando ningún riesgo a la vida de los trabajadores ni al ambiente.

## 6.4 EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS INDUSTRIAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

De la gráfica 1 a la 3 se muestran las emisiones atmosféricas por cada contaminante calculados por el muestreo en la fuente y los factores de emisión establecidos por la EPA. Para las emisiones de cada contaminante no se tuvo en cuenta a las Empresas 2 (Avícola) y 5 (Elaboración de alimentos preparados para animales), puesto que no reportaron datos de emisión en los muestreos, ya que no lo exige la Normatividad actual.

Las empresas 3, 5, 7, 8, 11, 12, 14 y 15 se les estimó su emisión por medio de los factores de emisión, siendo estos resultados poco confiables con los obtenidos por las empresas 1, 6 y 13 que cuentan con muestreo directo en la fuente, puesto que los factores de emisiones son desarrollados con datos de Estados Unidos.

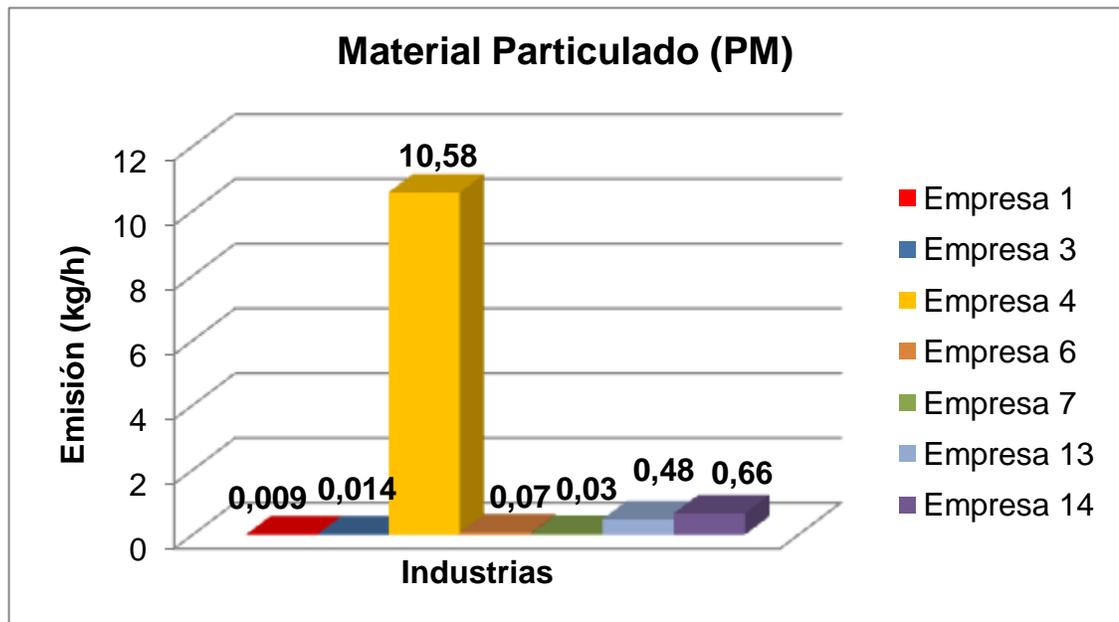
Para el análisis de las emisiones de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y CO, se tuvo en cuenta como parámetro de comparación y evaluación la siguiente tabla:

**Tabla 4. Emisiones significativas**

<b>Contaminante al aire</b>	<b>Nivel de emisiones (Ton/año)</b>	<b>Nivel de emisiones (Kg/h)</b>
Óxidos de azufre	40	4,62
Óxidos de Nitrógeno	40	4,62
Monóxido de carbono	100	11,57

Fuente: E.ROBERTS ALLEY & ASSOCIATES, INC. Manual de control de la calidad Del aire. Tomo II. McGraw-Hill. Apendice B-14

Gráfica 1. Emisiones de material particulado

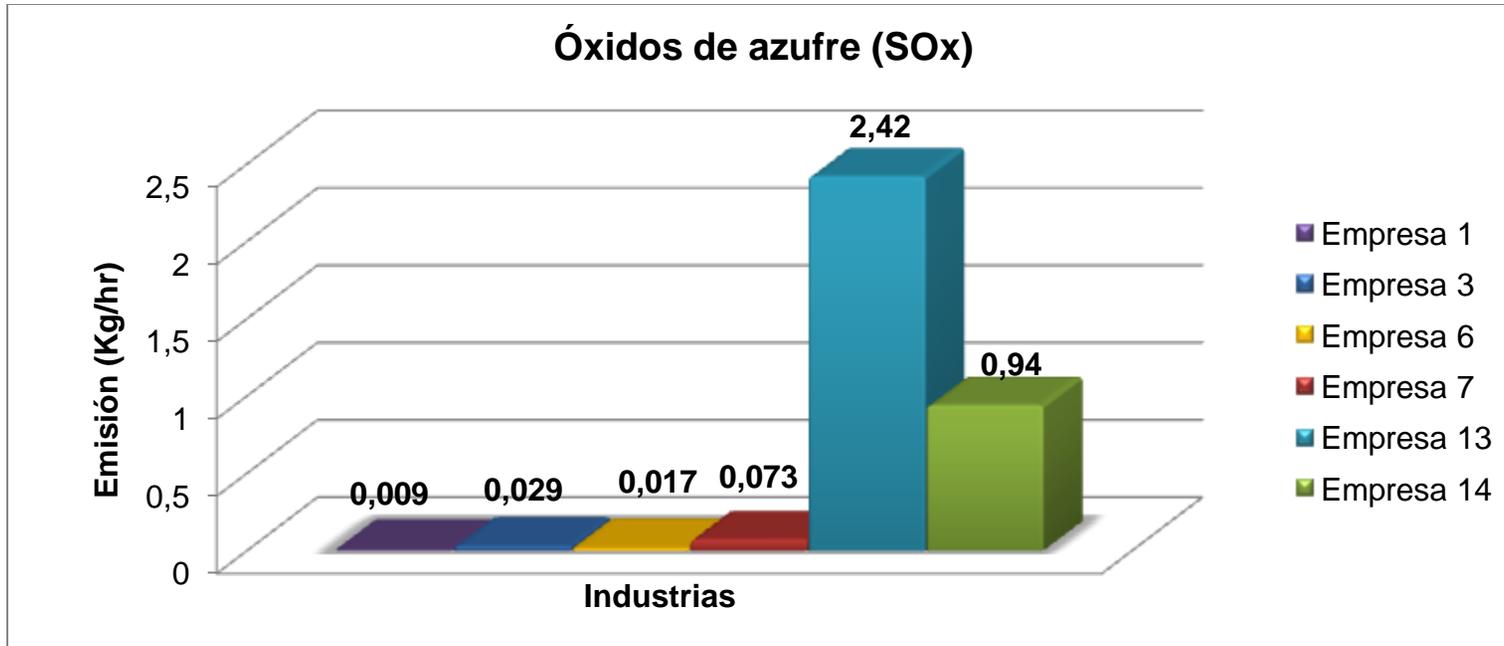


Fuente: Autores

El decreto 02(82 se tuvo en cuenta para el análisis de las emisiones por material particulado para tener un criterio de comparación y así poder saber si esta tasa de emisión genere afectación o no en la salud de los trabajadores. Dicha norma fue realizada por el Ministerio de Salud.

Como se observa en la gráfica 1, la empresa 4 es la mayor generadora de material particulado, encontrándose su emisión muy por encima de las otras, lo cual indica que posiblemente se estén presentando fallas en su sistema de control o en su proceso de molienda. Este valor de emisión según el decreto 02 del 1982 en su artículo 70, está generando una afectación en la salud de los trabajadores de la industria 4, dado que supera el valor de emisión de 7,33 kg/h establecido por dicho decreto. Cabe decir que esta empresa debe ser tomada en cuenta por la autoridad ambiental para analizarla en cómo está llevando a cabo su proceso, cual es o son las fuentes de generación de MP, exigencia en un sistema de control más adecuado y demás exigencias que garanticen que esta empresa disminuya sus emisiones. La menor emisión la presenta la empresa 1, puesto que utiliza gas natural como combustible, demostrando que las emisiones de este contaminante son casi nulas.

Gráfica 2. Emisiones de Óxidos de azufre



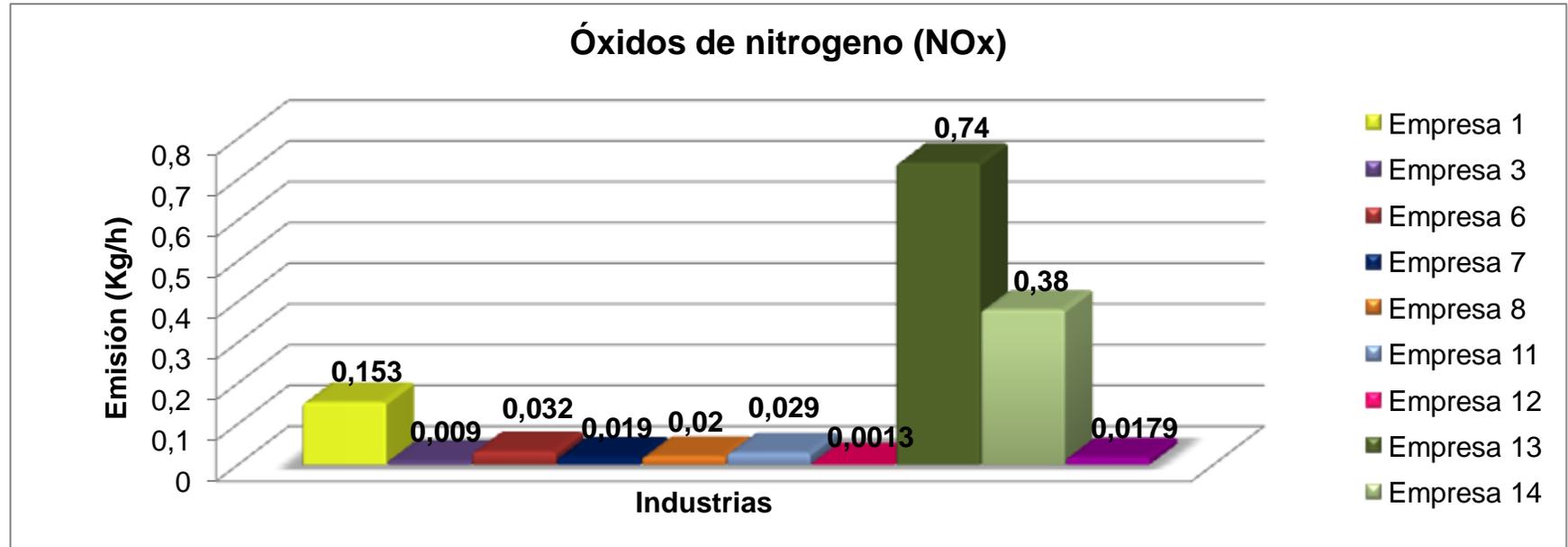
Fuente: Autores

En la anterior gráfica, se muestran los resultados de las emisiones de óxido de azufre, siendo la empresa 13 la que presenta la mayor emisión, posiblemente sea por fallas en el sistema de control o en la fuente de emisión (caldera), que haya una combustión incompleta o que el carbón que estén utilizando como combustible posea alto contenido de azufre, lo cual estén generando este incremento en las emisiones. Cabe decir que esta industria no cumple con la resolución 909/08 en cuanto a concentración por  $SO_x$ , lo cual indica que si se presenta una afectación en la salud de los trabajadores y al medio ambiente, pero no se asegura en qué grado.

Así mismo como lo demuestra la gráfica, la empresa 14 presenta una diferencia considerable de la emisión comparada con las otras, lo cual indica que está dando un aporte significativo de este contaminante a la atmósfera.

Esto se debe posiblemente a fallas en los sistemas de control, fuente de emisión o que su combustible posea alto contenido de azufre.

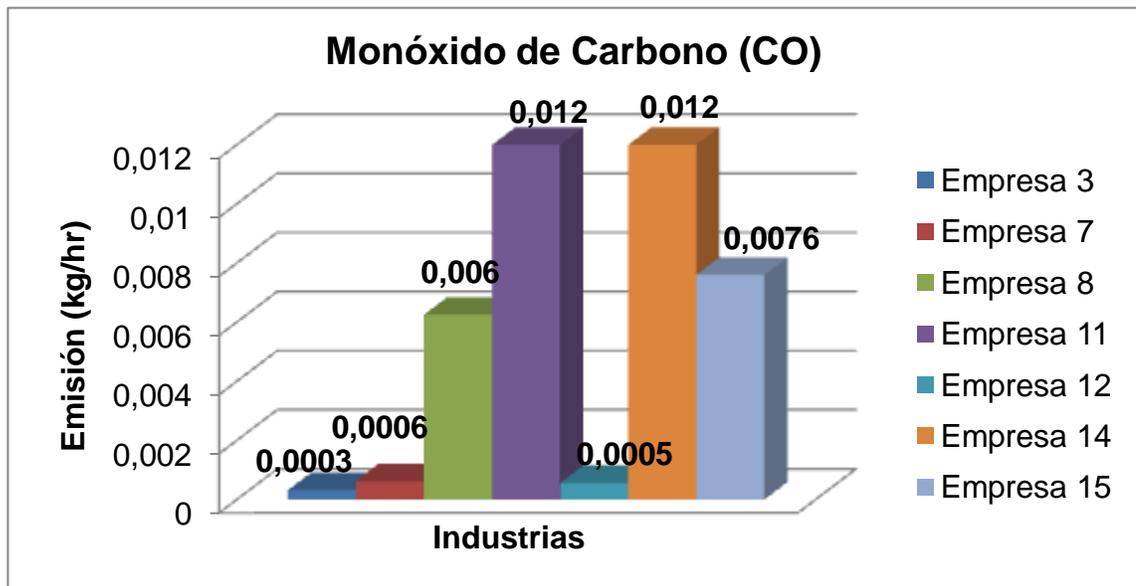
Gráfica 3. Emisiones de Óxido de Nitrógeno



Fuente: Autores

Como se muestra en la anterior gráfica, las empresas 13 y 14 (Elaboración y venta de alimento concentrado para animales) son las que generan las mayores emisiones, posiblemente porque se estén presentando altas temperaturas en el proceso de combustión, dado que este contaminante se forma por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante las condiciones anteriores. Estas emisiones no están generando ninguna afectación a la salud de los trabajadores o el ambiente, puesto que la tabla 6, estas emisiones se encuentran por debajo de límites significativos de emisión (40 ton/año equivalente a 4,62 kg/h).

Gráfica 4. Monóxido de Carbono



Fuente: Autores

Como se muestran en la gráfica 4, las emisiones de monóxido de carbono son muy bajas, por tanto la afectación a la salud humana y al ambiente es casi nula dado que son valores de casi cero. Según la Tabla 6, las emisiones son significativas cuando superan las 100 ton/año (11,57 Kg/h). Las empresas que presentan mayores emisiones de CO son las número 11 y 14.

## 6.5 COMPARACIONES DE EMISIONES POR GAS NATURAL VS CARBÓN MINERAL

Una vez obtenidas las emisiones por muestreo directo en la fuente y factores de emisión se clasificaron de acuerdo al tipo de combustible que utilizan, como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 5. Comparaciones de emisiones por combustible

EMISIONES POR GAS NATURAL				EMISIONES POR CARBÓN MINERAL			
PM	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	PM	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO
0,0812	0,253	0,0268	0,0264	1,188	1,148	3,462	0,0129

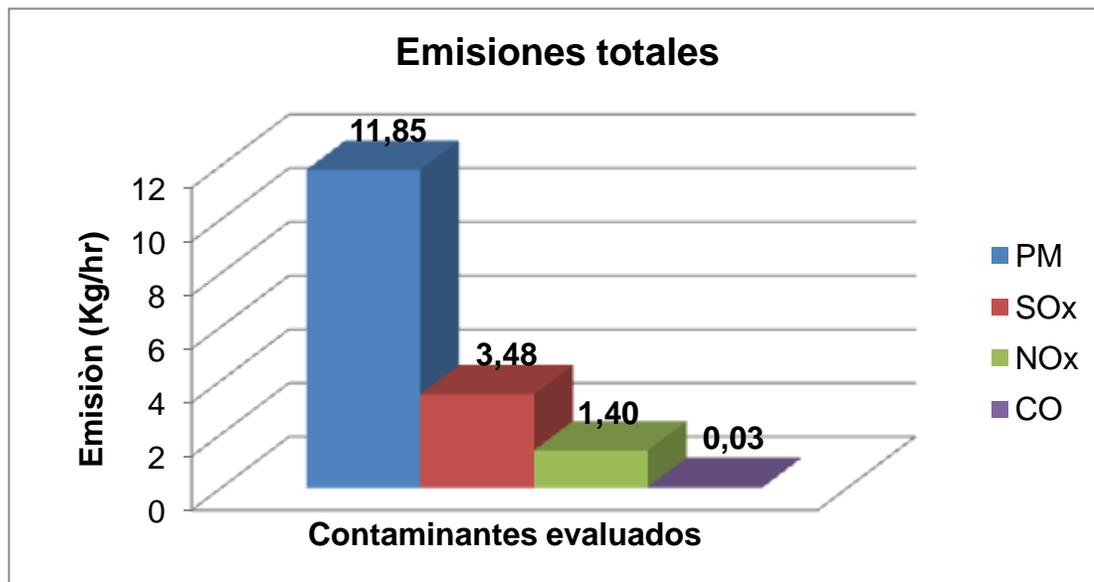
Fuente: Autores

Como indica la anterior tabla las emisiones generadas por gas natural son inferiores a las de carbón mineral, exceptuando el monóxido de carbono pero por poca diferencia y corroborando sus bajas emisiones de SO<sub>x</sub> y PM lo cual demuestra que si es combustible más limpio para el ambiente. Contario sucede con el carbón mineral, el cual debido a su contenido de impurezas, ceniza y azufre genera impactos negativos en el aire por sus emisiones relativamente altas de SO<sub>x</sub>, PM y NO<sub>x</sub>.

## 6.6 EMISIONES TOTALES DE LOS CONTAMINANTES EVALUADOS

Finalmente obtenidas las emisiones por los factores de emisión y muestreos directos en la fuente, se procedió a realizar la sumatoria total de las emisiones para cada contaminante evaluado de las fuentes fijas presentes en la zona, como se muestra en la siguiente gráfica. Para la sumatoria de las emisiones de cada contaminante no se tuvo en cuenta las Empresas 2 y 5, dado que no presentaban datos de emisiones en sus muestreos isocinéticos.

Gráfica 5. Emisiones totales de las fuentes fijas en la zona



Fuente: Autores

De los contaminantes encontrados en el área de estudio, se encontró que el material particulado es el que más se genera con una tasa de emisión de 11,85 Kg/h, siendo la empresa 4 la encargada de brindar un gran aporte por la generación de partículas sólidas en su proceso de molienda de trigo. Esta emisión

puede estar generando efectos perjudiciales en la salud de los trabajadores tales como, problemas respiratorios, cardiovasculares, entre otros; pues según el decreto 02/82 la emisión de material particulado no puede ser superior a 7,33 kg/h. Para saber con certeza cuál es la concentración que esta respirando un receptor es necesario realizar un monitoreo de calidad de aire con Hivol o estaciones automáticas y así poder comparar los resultados con la norma vigente de emisiones para fuentes fijas.

En cuanto las otras emisiones, según la Tabla 6 se encuentran por debajo del valor significativo indicando que no van a generar efectos en la salud humana y en el ambiente.

La generación de las emisiones de SO<sub>x</sub> son producidas por el contenido de azufre presenten en el carbón mineral utilizado por 4 industrias, mientras que las emisiones de NO<sub>x</sub> y CO generadas por la mayoría de industrias son muy bajas comparadas con las otras dado que la mayoría de las empresas utilizan gas natural caracterizado como un combustible limpio para el ambiente.

## **6.7 ESTRATEGIAS DE CONTROL Y PREVENCIÓN**

### **ESTRATEGIAS DE CONTROL**

A continuación se presentara estrategias para las empresas 4 puesto que presentan altas generación de material particulado, la 13 que no cumple los valores establecidos en la norma.

- **Revisión en el sistema de control.**

En el caso que la empresa 4 que utiliza filtros de mangas y el problema posiblemente se esté presentando ahí, como primer paso se haría una revisión de la presión y temperatura, para observar que no se presenten altos valores, ya que un aumento de esta podría general daños en las telas. Después se haría una revisión de las telas para que no se esté presentando acumulación de polvos o roturas con el objetivo de determinar si es por fallas o por falta de mantenimiento del sistema.

En cuanto a la empresa 13 que utiliza ciclones y las fallas posiblemente se estén presentando en este, es importante que realicen una revisión en la operación del ciclón ya que puede ser que se esté generando una Homogenización pobre del flujo dentro del ciclón, o un desgaste por fricción de las paredes del sistema por

las altas velocidades o taponamientos en corrientes con alta concentración de partículas, lo cual este disminuyendo la eficiencia del sistema.

- **Mantenimiento de sistemas de control y la fuente de emisión**

En cuanto a las fuentes que posean filtros de mangas como sistemas de control es importante que realicen mantenimientos mensuales en las mangas puesto que puede tener roturas o daños y limpiezas periódicas con aire comprimido para remover partículas adheridas, esto con el fin de mejorar la eficiencia del sistema.

Para las empresas que poseen ciclones debe realizar mantenimientos periódicos para: mirar que no haya escapes del aire en el conducto de salida del polvo y limpiezas en la tolva de almacenamiento para que no se presente taponamiento de partículas.

Para las fuentes de emisión es importante que realicen mantenimiento preventivos y correctivos para regular la combinación de aire y combustible para generar un combustión completa y disminuir el porcentaje de oxígeno. Por otro lado, las empresas que usan gas natural es importante que en su fuente de emisión y en sus procesos de combustión mantengan buena sincronización y optimización para que los parámetros emitidos continúen por debajo de lo establecido en la norma.

- **Alternativas de sistema de control**

Estas estrategias son tanto para la empresa 13 por el no cumplimiento de la norma como para la empresa 4 por ser que se presenta la emisión más alta de material particulado. Para la empresa 13 que no cumple con los estándares permitidos por la norma de material particulado y óxido de azufre, se le presentan como alternativas de sistemas de control las siguientes:

- ❖ **Para Material Particulado**

**Tabla 6. Sistemas de control para PM**

<b>Sistema de control</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Altas eficiencias de recolección.</li><li>• Tratan diferentes tipos de polvo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Limitados a filtrar corrientes secas.</li><li>• Los gases a altas temperaturas deben ser</li></ul>

Sistema de control	Ventajas	Desventajas
<b>Filtros de mangas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplio rango de flujos volumétricos de gas.</li> <li>• Operados a caídas de presión bajas.</li> <li>• El diseño apropiado puede minimizar o eliminar las desventajas</li> </ul>	<p>enfriados o pueden ocasionar daños en las telas, al igual que algunas sustancias químicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto potencial de incendio o explosión.</li> <li>• Requiere de una gran superficie de instalación.</li> <li>• No sirve para compuestos orgánicos volátiles (COV).</li> </ul>
<b>Precipitador electrostático</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas eficiencias con partículas muy pequeñas.</li> <li>• Diseñados para un amplio rango de temperaturas de hasta 700°C.</li> <li>• Manipulación fácil del residuo durante la recolección y eliminación.</li> <li>• Bajos costos de operación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costo de inversión.</li> <li>• No son recomendables para partículas pegajosas o húmedas</li> </ul>

Fuente: MAVDT. Manual de inventario de fuentes puntuales.

## ❖ ÓXIDO DE AZUFRE

Tabla 7. Sistemas de control para óxidos de azufre

Sistema de control	Ventajas	Desventajas
Lavador de gases	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite una eficiencia de remoción de partículas muy pequeñas a un 99%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de aguas residuales</li> </ul>

Absorción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina partículas y gases simultáneamente.</li> <li>• Remoción de partículas muy pequeñas (0.2 a 10 micras).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de agua residual</li> </ul>
-----------	---	---

Fuente: MAVDT. Manual de inventario de fuentes puntuales.

En el caso de la Empresa 4 (Molienda de trigo) que presenta emisiones de material particulado se le presentan las siguientes alternativas de sistema de control.

**Tabla 8. Sistemas de control para PM**

Sistema de control	Ventajas	Desventajas
Ciclones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son Económicos.</li> <li>• Bajos costos de mantenimiento porque no contienen partes móviles.</li> <li>• La temperatura y la presión depende solo de los materiales de construcción.</li> <li>• Colección y disposición en seco.</li> <li>• Requiere de espacios pequeños.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca eficiencia para partículas menores a 10 micrómetros (<math>\mu\text{m}</math>).</li> <li>• No manejan materiales pegajosos o aglomerantes.</li> <li>• La alta eficiencia puede generar altas caídas de presión.</li> </ul>

Fuente: MAVDT. Manual de inventario de fuentes puntuales. Pág.99.

Como otra alternativa para la disminución de las emisiones por MP es la de la utilización de doble sistema de control como: la utilización de los filtros que poseen como de los ciclones, puesto que los primeros remueven gran cantidad de partículas pero presentan limitantes en la temperatura y contrarios, el segundo es económico, requiere espacios pequeños, no tienen limitantes de temperaturas y son prelimpiadores, lo que quiere decir que pueden ser utilizados como primer paso para purificar el aire antes del tratamiento final.

## **MEDIDAS DE PREVENCIÓN**

### **✓ Talleres de capacitación**

Organización de charlas y talleres sobre temas relacionados de las emisiones de contaminantes como por ejemplo que contaminantes generan la actividad industrial de la empresa, que efectos tienen sobre el aire y la salud humana, acciones de seguridad que se deben tomar ante eventos de alta de contaminación y sobre medidas útiles para reducir la contaminación en una actividad que generen emisiones.

### **✓ Seguimientos de las emisiones**

Desarrollar planes de monitoreo a las fuentes de emisión presente en la empresa para registrar el comportamiento de las emisiones a corto y mediano plazo, lo cual permitirá tomar medidas prevención y de control en caso que se presenten emisiones fuera de lo normal que puedan afectar a la calidad de aire y la salud de los trabajadores.

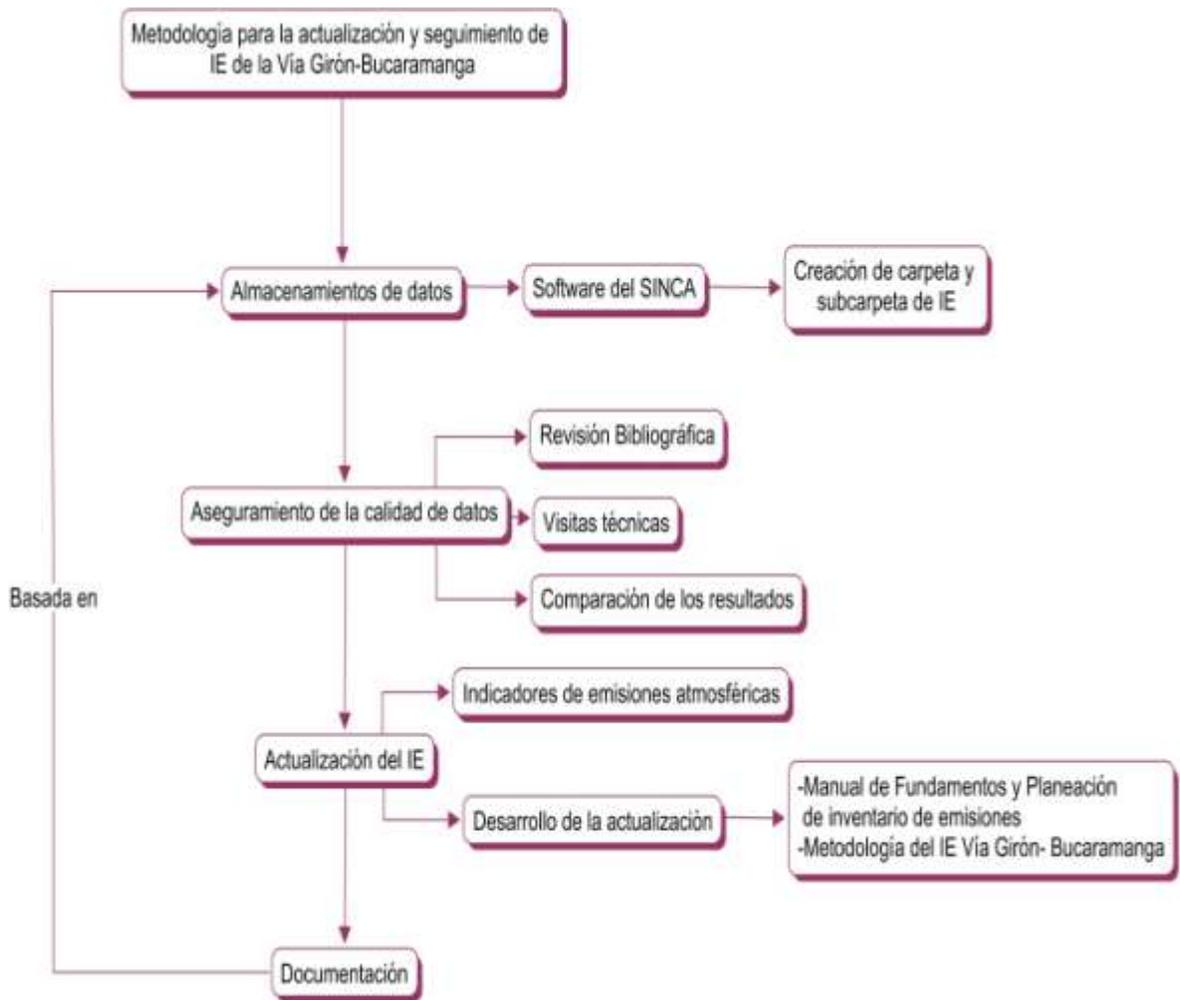
### **✓ Sistemas de control de contingencia**

Es necesario que las empresas que posean sistema de control, desarrollen un plan de contingencia para tomar acciones ante la suspensión o daños de este y se puedan seguir controlando las emisiones y no sea necesario suspender la actividad que la genere.

## **6.8 PLANTEAMIENTO DE METODOLOGÍA PARA EL SEGUIMIENTO DE INVENTARIO DE EMISIONES**

Se planteó las siguiente metodología para el seguimiento de IE, la cual el permitirá a la autoridad ambiental realizar seguimiento y actualización anual de la información presentada en este estudio. En la siguiente figura se muestra la metodología planeada.

**Figura 22. Metodología para la actualización**



Fuente: Autores

### 6.8.1 ALMCENAMIENTOS DE RESULTADOS

Para el almacenamiento de los resultados, estos deben ser presentados primero a las entidades involucradas en la realización de este estudio, en este caso la CDMB y la UPB, posteriormente almacenarlos en la base de datos de software del SINCA.

- Creación de carpeta de Inventario de emisiones de fuentes fijas en el cual se crea una subcarpeta para almacenar la información recopilada de las industrias y los resultados de los estudios de las emisiones de las empresas evaluadas, dentro del software SINCA en la sección de emisiones atmosféricas.

- Ya creando este archivo en el sistema se debe presentar la siguiente información:
  - Información general del inventario de industrias ( Nombre, dirección y tipo de industrias)
  - Descripción de la información recopilada en la visita de campo.
  - Información obtenida por medio de la encuesta realizada a las empresas seleccionadas como fuentes fijas de emisión.
  - Las estimaciones de las emisiones de las empresas por los métodos seleccionados.
  - Los resultados y el respectivo análisis del inventario de emisiones.
  - Bibliografías y referencias utilizadas para el desarrollo del informe.
  - Copia de las herramientas de información (Expedientes, respuestas de la encuesta, estudios de los muestreos en la fuente).

El propósito del almacenar los resultados es el proveer información suficiente para que otras partes interesadas miren y analicen los resultados y su vez sirvan como referencia para futuros inventarios.

#### **6.8.2 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS DATOS**

El aseguramiento de la calidad de los datos tiene como fin evaluar la efectividad, calidad y representatividad del inventario. Para esto se debe conformar un equipo de control y seguimiento dentro el departamento de control ambiental al desarrollo territorial de la CDMB, el cual a través de las siguientes herramientas de información asegurara la confiabilidad de los datos.

- Revisión bibliográfica: Consiste en certificar los resultados que se obtuvieron a través de las herramientas de información utilizadas en el desarrollo del inventario tales como: expedientes, respuestas de las encuestas, estudios de emisiones atmosféricos, estimación de emisiones por factores de emisión según la AP-42 de la EPA, base de datos de este inventario y la bibliografía aplicada.
- Visitas técnicas a las empresas: Realizar a las industrias documentadas en el inventario visitas para revisar y registrar si se ha presentado modificaciones en la actividad industrial. Antes de esto es importante buscar en los archivos de la CDMB si han tramitado licencias ambientales sobre nuevas industrias. A continuación se presenta un bosquejo del formato para la recopilación de las visitas.

**Tabla 9. Formato de visita de campo**

<b>Fecha de la vista</b>	
<b>Realizada por</b>	
<b>Nombre Completo de la empresa</b>	
<b>Teléfono-Fax</b>	
<b>Se ha realizado estudio de emisiones?</b>	Si__ No__ Si respondió Si , fecha de realización_____
<b>Tipo de industria</b>	
<b>Actividad Industrial de la Empresa</b>	
<b>Representante Legal</b> CC _____ De _____	
<b>Fuente de emisión</b>	Caldera ____ Horno ____ Otro _____ Cual ? _____ Cuantos _____
<b>Tipo de fuente de emisión</b>	Fija puntual ____ Dispersa ____
<b>Horario de operación normal</b>	De la empresa: _____ Fuente de emisión: _____
<b>Sistemas de Control</b>	Ciclones ____ Filtros ____ Incineradores ____ Absorción ____ Condensación ____ Precipitador Electroestático ____ Adsorción ____ Lavador ____ Otro _____
<b>Eficiencias del sistema de control</b>	
<b>Posee Chimenea</b>	Si__ No__ Si respondió Si, Cual es la altura y el diámetro del ducto.
<b>Tipo de Combustible utilizado</b>	
<b>Consumo de combustible</b>	

Fuente: Autores

- Comparación de la información: Una vez se obtengan los resultados, compararlos con la de la base de datos de inventario realizado en el año 2010, certificando que la información coincida. Si durante esta visita se encuentran nueva información tenerla en cuenta para la actualización del inventario.

### **6.8.3 ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIÓN EN LA VÍA GIRÓN-BUCARAMANGA**

Con la actualización del inventario se busca fijar cambios en la zona en cuanto las industrias ubicadas y la generación de emisiones y garantizar su uso. Para esto se debe llevar a cabo lo siguiente:

- Establecer indicadores de emisiones atmosféricas: El establecimiento de estos indicadores busca establecer criterios de evaluación para estimar la magnitud y la trascendencia de las emisiones atmosféricas en la zona. Como indicadores se recomienda tomar los resultados de este inventario siendo estos el punto de partida del estado inicial del área.
- Desarrollo de la actualización: Para esto es necesario guiarse a través de la metodología planteada por el Manual de Fundamentos y Planeación de inventario de emisiones y la ejecutada en el desarrollo de este inventario. A continuación se presentan los pasos para el desarrollo de la actualización.
  - Definición del propósito.
  - Definición de las características del inventario.
  - Determinación de fuentes de datos.
  - Recopilación de la información.
  - Selección del método de estimación de emisiones.
  - Evaluación de los resultados: para esto se deben tener en cuenta los indicadores establecidos y los siguientes criterios tales como el crecimiento industrial, cumplimiento con la normatividad y emisiones presentes.
  - Planteamiento de medidas de control y prevención.

### **6.8.4 DOCUMENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN ACTUALIZADA**

Una vez realizada la actualización se deben documentar los datos, para esto es necesaria la creación de una carpeta de actualizaciones dentro de la subcarpeta creada anteriormente para este inventario. Esta documentación se debe realizar siguiendo los pasos realizado para el almacenamiento de los resultados.

## 6.9 COMPARACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS DE LA VÍA GIRÓN A BUCARAMANGA DEL PUENTE PALENQUE AL COLEGIO LA SALLE CON EL REALIZADO EN LA ZONA INDUSTRIAL CHIMITÁ

En cuanto los resultados obtenidos por este inventario las emisiones de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO) son relativamente bajas con las obtenidas en la zona Chimitá, excepto en las emisiones de material particulado (PM) . A continuación se presenta una tabla con la comparación de las emisiones de ambos inventarios.

**Tabla 10. Comparación de las emisiones atmosféricas**

IE	PM (Kg/h)	SO <sub>x</sub> (Kg/h)	NO <sub>x</sub> (Kg/h)	CO (Kg/h)
<b>Zona Industrial Chimitá</b>	8,2661	19,69	8,4613	4,839
<b>Vía Girón- Bucaramanga</b>	11,85	3,48	1,40	0,03

Fuente: Autores

Según los resultados presentes en la tabla 12, las emisiones generadas en la vía Girón- Bucaramanga con respecto a la zona Chimitá son relativamente bajas, puesto que la mayoría de industrias utilizan gas natural como combustible el cual genera poca contaminación a la atmósfera, contrario pasa en la otra zona donde según el inventario de emisiones realizados allí, la mayoría de sus empresas utilizan combustible sólidos, los cuales están aportando mayores emisiones a la atmósfera ,caracterizándola así, como un área más contaminada. Así mismo, se puede decir que sus emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> se encuentran por encima de los valores significativos establecidos en la Tabla 6, indicando que se pueden presentar efectos en la salud de los trabajadores como: enfermedades respiratorias, cardiovasculares y problemas respiratorios (asma, tos crónica, secreción en mucosas, etc.) y a su vez contribuir en la formación de lluvia acida, acidificación de las tierras y cuerpos de aguas y en la formación de ozono troposférico. Contrario sucede en la Vía- Girón- Bucaramanga donde sus emisiones se encuentran debajo de los valores significativos.

En la tabla se observa que la emisión de material particulado es mayor en la zona de estudio, debido a que el mayor aporte de este contaminante lo brinda la empresa 4 (industria molinera de trigo), posiblemente porque se estén presentando problemas o anomalías en el sistema de control o en el proceso

donde se esté generando la emisión. Para esto es necesario que la autoridad ambiental realice una visita para verificar el porqué de esa emisión.

## 7. CONCLUSIONES

- ✓ Se elaboró el inventario de emisiones atmosféricas, en la vía Girón – Bucaramanga, permitiendo obtener información clara sobre el tipo de contaminantes presentes, las fuentes que los generan y su influencia sobre el ambiente y salud de los trabajadores; igualmente su desarrollo servirá como instrumento de partida para la determinación de estrategias de control y vigilancia para el mejoramiento de la calidad del aire.
- ✓ A través de visitas de campo y encuestas se identificaron los tipos de industrias presentes en la zona, encontrándose las de alimentos (Elaboración de concentrados y bebida) como las de mayor incidencia con un total de 13 industrias, seguida por las de servicios, metalúrgicas, bodegas, construcción, textil, entre otras, el cual permitió dimensionar que industrias podían generar emisiones de contaminantes a la atmósfera o cuales no producían ningún tipo de contaminación, descartándola así como posibles fuentes fijas de emisión.
- ✓ En cuanto al tipo de emisión, de las 61 industrias encontradas en la zona encontradas durante la visita de reconocimiento, se seleccionaron 20, de las cuales se consideraba que poseían las características una fuentes fija, para esto fue necesario realizar un visita a campo y un encuesta donde se tuvo más clara la información, de que 11 de ellas poseían características de fuentes fijas puntuales y 2 de fuentes dispersas, indicando que la mayoría de las industrias emiten su contaminación de una manera más controlada puesto que cuenta con un ducto o chimenea, lo que permite que sus emisiones no se dispersen sobre el aire y sean más confiables y exacta estimar sus emisiones, contrario sucede con las dos fuentes dispersas que se encuentran dado que sus emisiones se van a encontrar dispersas sobre un área limitando la estimación de las emisiones.
- ✓ Se estimaron las emisiones totales de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, PM generadas por las 13 industrias seleccionadas como fuentes emisoras, través de los muestreos directos en la fuente de las empresas que poseían y por factores de emisión para las otras, lo cual permitió tener con mayor claridad la proporción de los contaminantes y cual se presenta en mayor cantidad, siendo así, el material particulado el contaminante mas generado con una tasa de emisión de 11,85 kg/h, puesto que gran parte de este valor lo aporta la empresa 4 con un valor de 10,58 kg/h, donde sus emisiones son dispersas y posiblemente se estén presentando fallas en su sistema de control o en el proceso en donde se genere, la cual debe ser tomada en cuenta por la autoridad ambiental como prioridad para realizar las respectivas revisiones de vigilancia. Según el decreto 02/82 esta emisión posiblemente este generando problemas respiratorios, cardiovasculares, entre otros, en la salud de los trabajadores.

- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos por medio de los muestreos isocinéticos, las concentraciones de SO<sub>x</sub> y PM de la Empresa 13 (Elaboración y venta de alimento concentrado para animales) no cumplen con los parámetros máximos permisibles establecidos en la resolución 909/08, con una concentración para SO<sub>x</sub> de 1090,98 mg/m<sup>3</sup> y PM de 214,28 mg/m<sup>3</sup>, indicando ya puede haber una afectación en la salud humana tal como enfermedades respiratorias o cardiovasculares y en el ambiente pueden estar contribuyendo en la formación del smog fotoquímico y lluvia ácida, lo cual debe ser de importancia para que la autoridad ambiental tome medidas exigentes para que reduzcan sus emisiones.
- ✓ Con respecto a las Empresas 1, 2, 5 y 6, sus niveles de concentraciones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y PM si están cumpliendo con la norma, lo que indica que no se está generando ninguna afectación en la salud humana ni el medio ambiente, puesto que se encuentran debajo de los límites máximos permisibles.
- ✓ Para las emisiones estimadas por factores de emisión, no se puede decir que se esté presentando alguna afectación, pues en Colombia no se encuentran ninguna norma que establezca límites permisibles para las emisiones (kg/h) de fuentes fijas que dictamine que los valores obtenidos son altos, bajos o perjudiciales para la salud y el ambiente.
- ✓ En cuanto al uso del combustible, el gas natural es considerado un combustible limpio, contrario del carbón mineral que por sus contenidos de azufre y ceniza presenta emisiones mucho más altas de SO<sub>x</sub> con un valor de 3,46 kg/h y PM: 1,18 kg/h sobre unos de gas natural de SO<sub>x</sub>: 0,026 kg/h y PM: 0.028 kg/h, lo cual demuestra que en la zona de estudio la contaminación no es tan alta dado que la mayoría de industrias utilizan gas natural como combustible, indicando así el porqué de las bajas emisiones en la zona.
- ✓ Se propusieron estrategias de control y prevención tales como revisión de los sistemas de control, mantenimiento de sistemas de control y la fuente de emisión, alternativas de sistema de control, talleres de capacitación, seguimientos de las emisiones y sistemas de control de contingencia, para aquellas industrias que no cumplieron con la normatividad o generaron emisiones altas con respecto a las otras, para así poder reducir su afectación en el ambiente y en salud humana.
- ✓ Se le planteó una metodología de seguimiento y actualización periódica, donde se propusieron una serie de pasos para desarrollarla y saber cómo ha sido el comportamiento de las emisiones en la zona, si aumentaron, disminuyeron, si se tomaron las medidas necesarias para controlarlas o si simplemente la zona continuo igual y no mejoró.
- ✓ Al comparar los resultados obtenidos en este inventario con lo de la zona Chimitá, como indicador sobre cómo se encontraba la zona en cuanto a

contaminación por las fuentes fijas, se encontró que los valores para  $\text{SO}_x$  de 3,48 kg/h,  $\text{NO}_x$  de 1,40 kg/h y CO de 0,03 contra los de la otra zona que son  $\text{SO}_x$  de 19,69 kg/h,  $\text{NO}_x$  de 8,46 kg/h y CO de 4,83, son relativamente más bajos lo que permitió caracterizarla como un área de menor contaminación industrial. El único valor que se presentó por encima fue la emisión por material particulado con una tasa de emisión de 11,48 kg/h con respecto a una de 8,26 kg/h, lo cual al hacer sumatoria de todas las emisiones aun así el área de estudio sigue siendo la menor contaminación.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda actualizar en la base de datos de los archivos en el software SINCA de la CDMB, para así poder encontrar con mayor facilidad la información sobre las emisiones atmosféricas de las empresas presentes en el área metropolitana de Bucaramanga.
- Es importante que la CDMB preste el servicio de capacitaciones sobre emisiones atmosféricas a los representantes de las industrias, para que ellos adquieran conocimientos sobre esta área y para que a la hora de solicitárseles información puedan brindarla bien y con claridad, ya que durante el proceso de recopilación de datos hubo varias empresas que no entregaron alguna información por falta de conocimiento del Departamento de Gestión Ambiental de las empresas.
- Se recomienda a la CDMB en realizar una visita a la Empresa 12 ya que la información que envió como respuesta a la carta no coincide con la que se observó durante la visita a campo, a las empresas 6, 2 y 18 debido a que no respondieron a la información enviada, dándoseles un plazo de 2 meses después de la fecha de entrega.
- Se recomienda mejorar el formato de la carta de solicitud de información, agregándole algunos de los siguientes parámetros: cuantas fuente de emisión posee, características geométricas y la capacidad instalada de la fuente, poder calorífico del combustible, si posee carbón mineral el porcentaje de azufre y ceniza y eficiencia del sistema de control; esto será útil para actualizaciones y seguimientos que se realicen en esta zona o para otras.
- Se invita a la CDMB a aplicar la metodología propuesta para el seguimiento anual de este inventario ya que es importante saber cómo se encuentran las emisiones atmosféricas en la zona.
- Se recomienda que las empresas establezcan programas de mantenimientos a las fuentes de emisión y a los sistemas de control para mejorar los procesos de combustión y las emisiones con el objetivo de mejorar la calidad de aire.
- Es importante seguir aplicando esta herramienta de gestión ambiental en otras zonas industriales del área metropolitana de Bucaramanga para saber cómo se encuentra la calidad del aire y como está afectando al medio ambiente y a la salud humana.

## BIBLIOGRAFÍA

- BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos Disponible en: [http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8\\_2a.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2a.html)
- CELEDÓN, Nahora. Producción industrial en Santander creció 8,2%: Andi En: Vanguardia Liberal [en línea]. Bucaramanga, 2010 [citado 15 octubre. 2010]. Disponible en: <http://www.vanguardia.com/historico/73216-produccion-industrial-en-santander-crecio-82-andi>.
- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA. Área de gobierno de medio ambiente y servicios a la ciudad [en línea]. Madrid, 2005, [citado 25 Marzo. 2011]. Disponible en: <http://www.sca.com.co/bajar/Libros/contamiweb.pdf>.
- CONTAMINANTES. Dióxido de carbono [en línea]. Navarra, España. [citado 26 Marzo. 2010]. Disponible en: [http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Calidad+del+aire/Informacion/Contaminantes/CO2.htm](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Calidad+del+aire/Informacion/Contaminantes/CO2.htm)
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Datos de monitoreos [en línea]. [citado 5 octubre 2010]. Disponible en: <http://www.cdmb.gov.co/web/index.php/monitoreo-ambiental-infomenu3-456/red-de-monitoreo-del-aire-infomenu3-459/338-datos-de-monitoreo.html>
- EPA. Air Pollutants [en línea]. [Citado en Enero 5 de 2011]. Disponible en: <http://www.epa.gov/air/airpollutants.html>
- E.ROBERTS ALLEY & ASSOCIATES, INC. Manual de control de la calidad Del aire. Tomo II. McGraw-Hill.
- ECHEVERRY LONDOÑO, Carlos Alberto. Determinación de la emisión de material particulado en fuentes fijas [en línea]. Medellín.2006. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/determinacion.pdf>
- FILTROS DE MANGAS [en línea]. Universia.net. [citado 20 Enero 2011]. Disponible En: <http://www1.universia.net/CatalogaXXI/pub/ir.asp?IdURL=127223&IDC=10010&IDP=VE&IDI=1>

- HOJAS DE DATOS EPA. TÉCNICAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES DEL AIRE. Incinerador termal-parte II [en línea]. [citado 20 Enero 2011]. Disponible en: <<http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=863>>
- KALIPEDIA. Contaminantes atmosféricos. Tipos de contaminantes según su procedencia [en línea]. [citado 27 Diciembre.2010]. Disponible en: <[http://co.kalipedia.com/popup/popupWindow.html?anchor=klpartmsc&tipo=imprimir&titulo=Imprimir%20Art%EDculo&xref=20070418klpcnaecl\\_164.Kes](http://co.kalipedia.com/popup/popupWindow.html?anchor=klpartmsc&tipo=imprimir&titulo=Imprimir%20Art%EDculo&xref=20070418klpcnaecl_164.Kes)>
- LOAYZA, Jorge. Incineración Catalítica De COVs [en línea]. Lima, Perú. [citado 15 Enero 2011]. Pág. 45 Disponible en: <<http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias1998/A2-043.pdf>>
- MINISTERIO DE AMBIENTE DE ESPAÑA. Efectos producidos por la contaminación atmosférica [en línea]. Madrid. [citado 28 Diciembre. 2010]. Disponible en: [http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calaire/AneXos/Efectos\\_de\\_la\\_Contaminacion.pdf](http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calaire/AneXos/Efectos_de_la_Contaminacion.pdf).
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT). Decreto 02 11 de Enero de 1982. República de Colombia, 1982.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT). Decreto 948 5 de Junio de 1995. República de Colombia, 1982.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL-MAVDT (MAVDT), Manual Bases Técnicas para el Programa Inventario de emisiones. Borrador Desarrollado para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Impresión ISBN.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL-MAVDT (MAVDT), Manual de inventario de fuentes puntuales. Borrador Desarrollado para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Impresión ISBN.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL-MAVDT (MAVDT), Manual de fundamentos y planeación de inventarios de emisiones. Borrador Desarrollado para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Impresión ISBN.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL-MAVDT (MAVDT). Resolución 610 24 de Marzo de 2010. Modifica la

Resolución 601 de 2006, donde incluye definiciones adicionales y condiciones para la medición de material particulado de tamaño inferior a 2.5 micras y entre otras, República de Colombia, 2010.

- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. La cadena de carbón. [Citado en Enero 28 de 2010]. Disponible: <http://www.planea-antioquia.org/planea/images/stories/pdf/cadenadelcarbon.pdf>.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE. Cuaderno de Contaminación de contaminación atmosférica. Madrid; 1994, 42 p.
- PROBLEMAS Y DESARROLLO. Dióxido de carbono [en línea]. [citado 26 Marzo. 2010]. Disponible en: <<http://www.ecopibes.com/problemas/contaminacion/contaminantes/co2.html>>
- PROPÓSITO Y PLANEACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES [en línea]. [citado 28 Diciembre 2010]. Disponible en: <<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/457/proposito.pdf>>
- RANGEL, Sonia y TAMI Leidy. 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. Bucaramanga, 2009, 92 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Ambiental. Área de aire.
- SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO. Partículas [en línea]. México. [citado 8 Enero 2010]. Disponible en: <<http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnparticulas.htm>>

## **ANEXO**

### **ANEXO 1. F-001. Formato de revisión de expedientes CDMB**

(VER ANEXOS EN LA BASE DE DATOS DIGITAL)

### **ANEXO 2. F-002. Formato de visita de campo a las empresas**

(VER ANEXOS EN LA BASE DE DATOS DIGITAL)

## ANEXO 3. Formato de Encuesta

  
**cdmb**

 8078

Bucaramanga, **15 DEC. 2010**

"se adjunta relación"

**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 el trayecto del puente el Palenque al colegio la Salle por la vía Girón – Bucaramanga.** Un inventario de Emisiones es un conjunto de datos que caracterizan y consolidan, mediante sumatoria, las emisiones 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 es 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 el cual se va a comenzar a realizar este 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.

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

- ◆ Fecha de respuesta a encuesta:
- ◆ Nombre de la persona que responde la encuesta:
- ◆ Cargo:
- ◆ Natural/Jurídica/Pública/Privada
- ◆ Nit ó C.C.:
- ◆ E-mail:

Nombre Completo de la empresa	
Teléfono-Fax	
Se ha realizado estudio de emisiones? Calculados por?	Si__ No__
¿Posee expedientes de cálculo emisiones atmosféricas en la empresa o en la CDMB?	Si__ No__
Actividad Industrial de la Empresa	
Código CIIU	

Carrera 23 No. 37 - 63 Bucaramanga - Colombia  
 PBX. (7) 6346100 FAX: 6346144  
 www.cdmb.gov.co

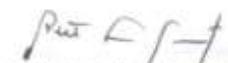
18078

Representante Legal CC _____ De _____	
Requiere permiso de Emisiones	
Resolución y fecha de permiso?	
Materia Prima utilizada en el proceso de la empresa	
Cantidad de materia prima utilizada	
Producto elaborado	
Cantidad de producto elaborado	
Frecuencia de producción	
Subproductos	
Cantidad de subproductos	
Fuente de emisión	Caldera _____ Horno _____ Otro _____
Horario de operación normal	De la empresa: _____ De la Fuente de emisión: _____
Sistemas de Control	Ciclones _____ Filtros _____ Incineradores _____ Absorción _____ Condensación _____ Precipitador Electroestático _____ Adsorción _____ Lavador _____ Otro _____
Posee Chimenea	Si _____ No _____ Si respondió Si, Cual es la altura y el diámetro del ducto.
Tipo de Combustible utilizado	
Consumo de combustible	

Nota: 1) Si cuenta con expedientes de cálculo de emisiones atmosféricas, por favor enviarlos. 2) Si su empresa ha realizado estudios de muestreos isocinéticos, por favor anexar solamente los valores reportados de los contaminantes evaluados en la fecha del ultimo monitoreo ejecutado.

Favor entregar la anterior información en la CDMB en 15 días hábiles a partir del recibido de esta comunicación.

Cordialmente,

  
**ALBERTO LEON SCHMITZ**  
 Subdirector de Control Ambiental al Desarrollo Territorial (E)

Proyectó	Ing Gustavo Oviedo	
Vo. Ba.	Coord M. Carmanza Vicini	

**ANEXO 4. F-003. Formato de seguimientos de las encuestas**

(VER ANEXOS EN LA BASE DE DATOS DIGITAL)

**ANEXO 5. F-004. Formato de encuesta de fuentes puntuales " información de las empresas"**

(VER ANEXOS EN LA BASE DE DATOS DIGITAL)

**ANEXO 6. F-005. Formato de base de datos de procesos productivos de las empresas**

(VER ANEXOS EN LA BASE DE DATOS DIGITAL)

**ANEXO 7. F-006. Formato de bases de datos de información sobre las fuentes fijas**

(VER ANEXOS EN LA BASE DE DATOS DIGITAL)

**ANEXO 8. F-007. Formato de bases de datos de muestreos isocinéticos**

(VER ANEXOS EN LA BASE DE DATOS DIGITAL)

**ANEXO 9. F-008. F 008 Formato de bases de datos de factores de emisión**

(VER ANEXOS EN LA BASE DE DATOS DIGITAL)

**ANEXO 10. Factores de emisión para Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y Monóxido de Carbono (CO) para combustible de gas natural**

Combustor Type (MMBtu/hr Heat Input) [SCC]	NO <sub>x</sub> <sup>b</sup>		CO	
	Emission Factor (lb/10 <sup>6</sup> scf)	Emission Factor Rating	Emission Factor (lb/10 <sup>6</sup> scf)	Emission Factor Rating
Large Wall-Fired Boilers (>100) [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 (<100) [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 (All Sizes) [1-01-006-04]				
Uncontrolled	170	A	24	C
Controlled - Flue gas recirculation	76	D	98	D
Residential Furnaces (<0.3) [No SCC]				
Uncontrolled	94	B	40	B

**ANEXO 11. Factores de emisión para Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>) y Monóxido de Carbono (CO) para combustible de carbón bituminoso y sub-bituminoso**

Firing Configuration	SCC	SO <sub>x</sub> <sup>b</sup>		NO <sub>x</sub> <sup>c</sup>		CO <sup>d,e</sup>	
		Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING
PC, dry bottom, wall-fired <sup>f</sup> , bituminous Pre-NSPS <sup>g</sup>	1-01-002-02 1-02-002-02 1-03-002-06	38S	A	22	A	0.5	A
PC, dry bottom, wall-fired <sup>f</sup> , bituminous Pre-NSPS <sup>g</sup> with low-NO <sub>x</sub> burner	1-01-002-02 1-02-002-02 1-03-002-06	38S	A	11	A	0.5	A
PC, dry bottom, wall-fired <sup>f</sup> , bituminous NSPS <sup>g</sup>	1-01-002-02 1-02-002-02 1-03-002-06	38S	A	12	A	0.5	A
PC, dry bottom, wall-fired <sup>f</sup> , sub-bituminous Pre-NSPS <sup>g</sup>	1-01-002-22 1-02-002-22 1-03-002-22	35S	A	12	C	0.5	A
PC, dry bottom, wall fired <sup>f</sup> , sub-bituminous NSPS <sup>g</sup>	1-01-002-22 1-02-002-22 1-03-002-22	35S	A	7.4	A	0.5	A
PC, dry bottom, cell burner <sup>b</sup> fired, bituminous	1-01-002-15	38S	A	31	A	0.5	A
PC, dry bottom, cell burner fired, sub-bituminous	1-01-002-35	35S	A	14	E	0.5	A

Continuación del Anexo 11

Firing Configuration	SCC	SO <sub>x</sub> <sup>b</sup>		NO <sub>x</sub> <sup>c</sup>		CO <sup>d,e</sup>	
		Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING
PC, dry bottom, tangentially fired, bituminous, Pre-NSPS <sup>g</sup>	1-01-002-12 1-02-002-12 1-03-002-16	38S	A	15	A	0.5	A
PC, dry bottom, tangentially fired, bituminous, Pre-NSPS <sup>g</sup> with low-NO <sub>x</sub> burner	1-01-002-12 1-02-002-12 1-03-002-16	38S	A	9.7	A	0.5	A
PC, dry bottom, tangentially fired, bituminous, NSPS <sup>g</sup>	1-01-002-12 1-02-002-12 1-03-002-16	38S		10	A	0.5	A
PC, dry bottom, tangentially fired, sub-bituminous, Pre-NSPS <sup>g</sup>	1-01-002-26 1-02-002-26 1-03-002-26	35S	A	8.4	A	0.5	A
PC, dry bottom, tangentially fired, sub-bituminous, NSPS <sup>g</sup>	1-01-002-26 1-02-002-26 1-03-002-26	35S	A	7.2	A	0.5	A
PC, wet bottom, wall-fired <sup>f</sup> , bituminous, Pre-NSPS <sup>g</sup>	1-01-002-01 1-02-002-01 1-03-002-05	38S	A	31	D	0.5	A
PC, wet bottom, tangentially fired, bituminous, NSPS <sup>g</sup>	1-01-002-11	38S	A	14	E	0.5	A
PC, wet bottom, wall-fired sub-bituminous	1-01-002-21 1-02-002-21 1-03-002-21	35S	A	24	E	0.5	A

Continuación del Anexo 11

Firing Configuration	SCC	SO <sub>x</sub> <sup>b</sup>		NO <sub>x</sub> <sup>c</sup>		CO <sup>d,e</sup>	
		Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING
Cyclone Furnace, bituminous	1-01-002-03 1-02-002-03 1-03-002-03	38S	A	33	A	0.5	A
Cyclone Furnance, sub-bituminous	1-01-002-23 1-02-002-23 1-03-002-23	35S	A	17	C	0.5	A
Spreader stoker, bituminous	1-01-002-04 1-02-002-04 1-03-002-09	38S	B	11	B	5	A
Spreader Stoker, sub-bituminous	1-01-002-24 1-02-002-24 1-03-002-24	35S	B	8.8	B	5	A
Overfeed stoker <sup>f</sup>	1-01-002-05/25 1-02-002-05/25 1-03-002-07/25	38S (35S)	B	7.5	A	6	B
Underfeed stoker	1-02-002-06 1-03-002-08	31S	B	9.5	A	11	B
Hand-fed units	1-03-002-14	31S	D	9.1	E	275	E

**Continuación del Anexo 11**

Firing Configuration	SCC	SO <sub>x</sub> <sup>b</sup>		NO <sub>x</sub> <sup>c</sup>		CO <sup>d,e</sup>	
		Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/ton)	EMISSION FACTOR RATING
FBC, circulating bed	1-01-002-18 1-02-002-18 1-03-002-18	—	E	5.0	D	18	E
FBC, bubbling bed	1-01-002-17 1-02-002-17 1-03-002-17	—	E	15.2	D	18	D

**ANEXO 12. Factores de emisión para partículas de instalaciones de procesamiento de grano**

Type of Facility/ Emission Source	Type of Control	Filterable <sup>b</sup>				Condensible PM <sup>c</sup>			
		PM	EMISSION FACTOR RATING	PM-10 <sup>d</sup>	EMISSION FACTOR RATING	Inorganic	Organic	Total	EMISSION FACTOR RATING
<u>Animal feed mills</u>									
Grain receiving (SCC 3-02-008-02)	None	0.017 <sup>e</sup>	E	0.0025 <sup>e</sup>	E				
Grain cleaning (SCC 3-02-008-07)	Cyclone	(f)		(f)					
Storage	None	ND		ND					
<u>Grain milling</u> (SCC 3-02-008-15)									
Hammermill (SCC 3-02-008-17)	Cyclone	0.067 <sup>h</sup>	E	(g)					
	Baghouse	0.012 <sup>i</sup>	E	(y)					
	Cyclone	0.15 <sup>k</sup>	E	(g)					
	Cyclone	0.024 <sup>k</sup>	E	(g)					
Mixer	None	ND		ND					
Conditioning	None	ND		ND					
<u>Pelletizing</u>									
Pellet cooler <sup>m</sup> (SCC 3-02-008-16)	Cyclone	0.36 <sup>n</sup>	E	(g)		--	--	0.059 <sup>n</sup>	E
	High efficiency cyclone <sup>e</sup>	0.15 <sup>n</sup>	E	(g)					
Feed shipping (SCC 3-02-008-03)	None	0.0033 <sup>e</sup>	E	0.0008 <sup>e</sup>	E				
<u>Wheat flour mills</u>									
Grain receiving (SCC 3-02-007-31)	None	(f)		(f)					
Grain handling (SCC 3-02-007-32) (legs, belts, etc.)	None	(f)		(f)					

**CONTINUACIÓN ANEXO 12**

Type of Facility/ Emission Source	Type of Control	Filterable <sup>b</sup>				Condensible PM <sup>c</sup>			
		PM	EMISSION FACTOR RATING	PM-10 <sup>d</sup>	EMISSION FACTOR RATING	Inorganic	Organic	Total	EMISSION FACTOR RATING
Cleaning house separators (SCC 3-02-007-33)	Cyclone	0.012 <sup>a</sup>	E	(g)					
Wheat milling (SCC 3-02-007-34) (roller mill)	None	70 <sup>a</sup>	E	(g)					
Bulk loading		ND		ND					
Corn dry mills Grain receiving (SCC 3-02-007-41)	None	(f)		(f)					
Grain drying (SCC 3-02-007-42)	None	(f)		(f)					
Grain handling (SCC 3-02-007-43) (legs, belts, etc.)	None	(f)		(f)					
Grain cleaning (SCC 3-02-007-44)	None	(f)		(f)					
Degermer/milling (SCC 3-02-007-45)		ND		ND					
Bulk loading		ND		ND					
<u>Rice Mills</u> Grain receiving (SCC 3-02-007-71)	None	ND		ND					
Precleaning/handling (SCC 3-02-007-72)		ND		ND					
Rice drying (SCC 3-02-007-73)	None	0.063 <sup>a</sup>	E	(g)					
Cleaning house (SCC 3-02-007-74)		ND		ND					