

Cuantificación de Gases Efecto Invernadero de Fuentes Fijas en la Zona Industrial del Municipio  
de Girón, Santander

Cesar David Navas Suárez

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Químico

Director

Omar Andrés Benavides Prada

Prof. Escuela de Ingeniería Química

Tutora

Adriana Del Pilar Córdoba Castellanos

Coordinadora de Emisiones Atmosféricas SEYCA

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2022

**Dedicatoria**

Dedico mi tesis primeramente a Dios debido a que me diste la fuerza y el ánimo para continuar y culminar este logro, además dedico este logro a mi madre Nubia Suarez porque, ella es mi fuente de inspiración para poder conseguir éxitos en mí vida, dedico también este logro a Helber Parra, por estar siempre en los momentos difíciles y comportarse como el mejor padre que pude haber pedido. Finalmente, dedico este logro a mi novia Alejandra Trujillo, por fin conseguimos un logro más en nuestras vidas, te amo infinitamente mi reina. Para finalizar y no menos importante dedico este título a mi padre José Ignacio Navas Mendoza que desde el cielo debe estar orgullo de mí, por haber obtenido este título de Ingeniero Químico.

**Agradecimientos**

Hoy quiero agradecer a todas las personas que estuvieron para mí en los momentos más difíciles de este triunfo, a mi mamá por siempre querer y ayudarme a mejorar como persona e ingeniero, a mi padrastro por apoyarme en todas las situaciones, a mi primo-hermano Jorge Navas, por apoyarme y hacerme mejorar como persona y compañero, a mis hermanos Joan Navas y José Navas, por ser el apoyo directo en las principales circunstancias tristes de la vida. Además, agradezco toda mi familia por apoyarme y animarme a salir adelante con este título de Ingeniero Químico.

Agradezco de manera especial a la Corporación Autónoma para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), por haberme permitido y apoyado en la elaboración de mi trabajo de grado, también quiero a la Ingeniera y tutora de mi proyecto, Adriana del Pilar Córdoba Castellanos, por brindarme ese conocimiento y generosidad en la elaboración y formulación de este proyecto de grado, de manera significativo agradezco a mi director de proyecto, Omar Andrés Benavides Prada, por su esfuerzo y dedicación en la formulación y mejora continua del mismo.

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	11
1. Descripción de la Corporación Autónoma de la Defensa de la Mesera de Bucaramanga (CDMB) .....	12
2. Objetivos .....	13
2.1 Objetivo General .....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3. Marco Conceptual.....	14
3.1 Gases de efecto invernadero (GEI) .....	14
3.2 Emisiones Atmosféricas.....	14
3.3 Inventario de Emisiones Atmosféricas.....	15
3.4 Estimación de Emisiones .....	15
3.5 Contaminantes incluidos en el análisis de emisiones atmosféricas .....	16
3.5.1 Dióxido de Azufre.....	16
3.5.2 Óxidos de Nitrógeno .....	17
3.5.3 Material Particulado (MP10) .....	19
3.6 Equipos de Control.....	20
3.6.1 Ciclones.....	20
3.6.2 Filtro de Mangas .....	21
3.6.3 Sistema de Vías Húmedas.....	22
3.6.4 Absorción.....	23

<b>CUANTIFICACIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO</b>	<b>5</b>
3.6.5 Condensadores .....	24
3.6.6 Precipitador electrostático.....	25
3.6.7 Adsorción.....	25
3.6.8 Lavador Venturi .....	26
3.6.9 Sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR).....	27
3.7 Ficha Técnica de las Empresas .....	27
4. Estado del Arte.....	28
5. Descripción Metodológica .....	30
5.1 Fase 1 .....	30
5.1.1 Normatividad .....	31
5.2 Fase 2 .....	31
5.3 Fase 3 .....	32
6. Resultados.....	32
6.1 Filtro de Año Base .....	32
6.2 Filtro de Zona de Estudio.....	32
6.3 Límite Organizacional.....	32
6.4 Tipo de Combustible y Maquinaria .....	33
6.5 Emisiones Atmosféricas.....	35
6.6 Establecimiento de Medidas Preventivas y de Control.....	38
6.7 Plan de Mejora para Empresas.....	39
7. Conclusiones .....	41
Referencias Bibliográficas .....	43
Apéndices.....	47

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. <i>Logo de la empresa en sus 56 años.</i> .....	13
Figura 2. <i>Diagrama de un Ciclón</i> .....	21
Figura 3. <i>Funcionamiento de un Filtro de Mangas</i> .....	22
Figura 4. <i>Sistema de Vías Húmedas Común</i> .....	23
Figura 5. <i>Diagrama de una Torre de Absorción</i> .....	24
Figura 6. <i>Diagrama de un Condensador de Contacto</i> .....	25
Figura 7. <i>Diagrama de un Proceso de Adsorción</i> .....	26
Figura 8. <i>Esquema de un Lavador Venturi Típico</i> .....	27
Figura 9. <i>Diagrama Metodológico</i> .....	30
Figura 10. <i>Concentraciones Resultantes de NOx</i> .....	35
Figura 11. <i>Concentraciones Resultantes de SO2</i> .....	36
Figura 12. <i>Concentraciones Resultantes de MP</i> .....	37
Figura 13. <i>Conteo de Empresas con Sistema de Control</i> .....	38

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Generalidades del Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</i> .....	17
Tabla 2. <i>Generalidades de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)</i> .....	18
Tabla 3. <i>Generalidades del MP10</i> .....	19
Tabla 4. <i>Ficha Técnica Itarco</i> .....	28
Tabla 5. <i>Límite Organizacional</i> .....	33
Tabla 6. <i>Clasificación y Consumo de Combustible</i> .....	33

**Lista de Anexos**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A: Ficha Técnica de las Empresas en Estudio .....	47

## Resumen

**Título:** Cuantificación de Gases Efecto Invernadero de Fuentes Fijas en la Zona Industrial del Municipio de Girón, Santander\*

**Autor:** Cesar David Navas Suarez\*\*

**Palabras Claves:** Cuantificación, Gases Efecto Invernadero, FuentesFijas, Equipos De Control.

### Descripción:

En el presente trabajo se realiza un análisis de emisiones de gases efecto invernadero para fuentesfijas en la zona industrial del municipio de Girón, Santander, se analizan concentraciones de gases: NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y material particulado (MP) emitidos dentro de los años 2018 - 2020, identificando de manera simultánea si emplean un sistema de control adecuado para emisiones aportadas al medio ambiente, realizando además una comparación con la norma ambiental, en colaboración con la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDBM).

Así mismo es presentado un plan de mejora, el cual consta de instrucciones y recomendaciones para empresas con el fin de disminuir y mitigar las emisiones proporcionadas por parte de las mismas.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Omar Andrés Benavides Prada, Prof. Escuela de Ingeniería Química. Tutora: Adriana Del Pilar Córdoba Castellanos, Coordinadora de Emisiones Atmosféricas SEYCA

## Abstract

Title: Quantification of Greenhouse Gases from Stationary Sources in the Industrial Area of the Municipality of Girón, Santander\*

**Author:** Cesar David Navas Suarez\*\*

**Key Words:** Emission Inventory, Greenhouse Gases, Stationary Sources, Control Equipment.

### Description:

In the present work, an analysis of greenhouse gas emissions is carried out for fixed sources in the industrial zone of the municipality of Girón, Santander, gas concentrations are analyzed: NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and particulate matter (PM) emitted within the years 2018 - 2020, simultaneously identifying whether they use an adequate control system for emissions contributed to the environment, also making a comparison with the environmental standard, in collaboration with the Regional Autonomous Corporation for the Defense of the Bucaramanga Plateau (CDMB).

Likewise, an improvement plan is presented, which consists of instructions and recommendations for companies in order to reduce and mitigate the emissions provided by them.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physicochemical Engineering, School of Chemical Engineering. Director: Omar Andrés Benavides Prada, Prof. School of Chemical Engineering. Tutor: Adriana Del Pilar Córdoba Castellanos, Coordinator of Atmospheric Emissions SEYCA

## Introducción

Actualmente, se conoce que el incremento en los niveles de contaminación atmosférica ha generado gran cantidad de problemas perjudiciales para la salud, como lo son, por ejemplo, el asma y las alergias (Rodríguez *et al.*, 2010) et al. Por ello, se fijan e implementan normas y leyes para el control de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ya que son compuestos que están presentes en la atmósfera por largos periodos de tiempo, pueden afectar la salud de los seres vivos y ocasionan un aumento en la temperatura de la tierra, lo que podría llevar a la extinción de especies (Juste, 2021). Entre los GEI más relevantes se encuentran el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), material particulado (PM<sub>x</sub>) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) (Fernández, 2009).

En este orden de ideas, la actividad en las zonas industriales causa problemas de contaminación debido a emisiones proporcionadas a la atmósfera diariamente, y muchas veces sin el control adecuado de las mismas, generando las afectaciones mencionadas atrás. Por esto, el ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) crea el Manual de Inventarios de Fuentes Puntuales como la herramienta de planeación, control y prevención de las emisiones atmosféricas (MAVDT, 2010), implementado en Colombia por corporaciones autónomas como la Corporación Autónoma de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). La elaboración de dichos inventarios es un requerimiento necesario para efectuar un plan de acción cuya finalidad sea reducir el impacto ambiental de los GEI.

Un ejemplo claro es la zona del municipio de Girón, Santander, en la cual la CDMB no cuenta con un inventario de emisiones de las empresas que la corporación tiene bajo registro, desde el año 2018 hasta el 2020. Por tal razón, en el desarrollo de este trabajo se dará respuesta a las

emisiones atmosféricas con la base de datos que cuenta la CDMB en este lapso de tiempo, además de comparar con la norma que rige los límites de emisión y trazar una ruta de posible mejora para reducir estas emisiones.

### **1. Descripción de la Corporación Autónoma de la Defensa de la Mesera de Bucaramanga (CDMB)**

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga tiene por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos en pro del medio ambiente, además de la protección de la flora y fauna. Así mismo, enfocan planes para el uso de recursos renovables y poder dar cumplimiento amplio y oportuno en disposiciones legales vigentes, las cuales son expedidas y controladas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (CDMB, 2022).

Las funciones primordiales de la CDMB son la ejecución de políticas, planes y programas nacionales en materia ambiental definidos y aprobados por el Ministerio del Medio Ambiente. También, tiene funciones de control como máxima autoridad ambiental en su área de jurisdicción, y la potestad de otorgar licencias ambientales de emisiones atmosféricas a industrias en su jurisdicción, acorde con las normas y parámetros de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), con el fin de mantener un control de todas las afectaciones al medio ambiente (CDMB, 2022).

**Figura 1.**

*Logo de la empresa en sus 56 años.*



*Nota.* Adaptado de Rodríguez, 2021

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Construir el inventario de emisión de gases efecto invernadero, provenientes de fuentes fijas ubicadas en la zona industrial del municipio de Girón, Santander.

### 2.2 Objetivos Específicos

Realizar el inventario de emisiones atmosféricas de fuentes fijas en la zona industrial del municipio de Girón, Santander, entre los años 2018 y 2020.

Clasificar el tipo de efluente generado y determinar el cumplimiento de la norma ambiental, según lo establecido por la CDMB.

Definir una propuesta para el tratamiento de GEI provenientes de fuentes fijas en la zona industrial.

### **3. Marco Conceptual**

#### **3.1 Gases de efecto invernadero (GEI)**

Son componentes gaseosos liberados a la atmosfera, tanto naturales como antropógenos (resultado de actividades de los seres humanos), que absorben y emiten radiaciones en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra y las nubes (IDEAM, 2007).

En este orden de ideas, el efecto invernadero sirve para mantener un balance energético, pues, sin los gases mencionados, el planeta tendría temperaturas muy bajas (llegando hasta  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); es decir, dichas sustancias forman una manta protectora que evita que la tierra no se quemara durante el día ni se congelara en medio de la noche, conservando la temperatura (Casper, 2010).

Sin embargo, el aumento desproporcionado de los gases efecto invernadero provoca elevadas temperaturas, generando duras sequías que, a la larga, ocasionarían un derretimiento de los polos, provocando inundaciones que podrían derivar en el fin de las especies existentes en el planeta (Ojeda, 2014).

Debido a lo comentado anteriormente, se acordó en el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, fijar como objetivo para el 2030 la reducción de las emisiones de los GEI, los cuales se establecieron como: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y dióxidos de azufre ( $\text{SO}_2$ ) (Kyoto, 1998).

#### **3.2 Emisiones Atmosféricas**

Es una descarga continua o discontinua de material, ya sea gaseoso, líquido, sólido o energético a la atmosfera (Ley 34, 2007). Sin embargo, en este trabajo nos centramos en emisiones

atmosféricas gaseosas, de las cuales hay dos tipos comunes de fuentes emisoras: móviles y fijas. Las fuentes móviles son aquellas que se mueven continuamente; por ejemplo: los autos y las personas. Las fuentes fijas son aquellas que están inmóviles en un solo lugar en el espacio; por ejemplo: los hornos industriales, calderas, etc.

### **3.3 Inventario de Emisiones Atmosféricas**

Un inventario de emisiones atmosféricas es un conjunto de datos que caracterizan y consolidan, mediante sumatoria, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y el tipo de contaminante emitido en cierta área geográfica, como también un año base o rango de año base determinado (IDEAM, 2007).

Un inventario de emisiones es una herramienta fundamental para la determinación de la calidad del aire de un área determinada, además de ser información clave para la realización de estrategias de control, evaluación y elaboración de programas o planes que tengan como finalidad la mitigación de las descargas de contaminantes a la atmósfera.

### **3.4 Estimación de Emisiones**

La CDMB solicita a las empresas dentro del estudio una serie de informes isocinéticos, en los cuales se denota la emisión por maquinaria en un rango de tiempo determinado, con el fin de tener una base de datos sólida para la corporación, además de que es un requisito para trámites posteriores de la licencia ambiental.

Para poder conocer la emisión se debe conocer el factor de actividad, el cual depende de la actividad productiva de la industria en cuestión. Además, es necesario establecer previamente el nivel de actividad, cuyo valor es el consumo de combustible empleado en la fuente emisora. En la ecuación 1 se expresa la emisión de la fuente fija.

$$E = A * F \quad (Ec .1)$$

Donde:

E = Emisión de la fuente fija.

A= Nivel de actividad.

F = Factor de emisión.

Si la fuente emisora tiene algún sistema de control para la mitigación del contaminante crítico, se sugiere utilizar la Ecuación 2.

$$E = A * F * \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (Ec .2)$$

Donde:

E = Emisión de la fuente fija.

A= Nivel de actividad.

F = Factor de emisión no controlada.

ER= Eficiencia general en la reducción de emisiones totales, en porcentajes.

### 3.5 Contaminantes incluidos en el análisis de emisiones atmosféricas

Los contaminantes que se van a evaluar en el inventario de emisiones de fuentes fijas en la zona industrial de Girón, Santander, son: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y material particulado (MP).

#### 3.5.1 Dióxido de Azufre

Es un gas incoloro con olor penetrante y con una densidad igual a dos veces la del aire. Este gas no posee comportamiento explosivo y es soluble en agua. Su principal emisión se

debe a la combustión de productos derivados del petróleo, además de la quema de carbón en centrales eléctrica o de combustible derivados del carbón (IPSG, s.f).

**Tabla 1.**

*Generalidades del Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)*

Definición	Acre, corrosivo, gases tóxicos cuando se queman combustibles que contenganazufre.
Fuentes	Es emitido en artículos eléctricos, calderas industriales, fundiciones de cobre, refinерías de petróleo, calentadores residenciales y comerciales además de fuentes móviles como lo son los vehículos.
Efectos	Dificultad para respirar cuando se disuelven en la nariz y en las vías superiores; tos crónica y secreción en las mucosas. Contribuyen en gran medida a la lluviaácida y fenómenos de visibilidad disminuida en concentraciones altas causando estos problemas ambientales mencionados.
Legislación	Resolución 601 del 04/04/2006 MAVDT. Decreto 02 de 1982 Del Ministeriode salud.
Varios	El SO <sub>2</sub> pertenece a la familia de los gases de óxido de azufre (SOX), que se producen principalmente de la combustión de compuestos que contenganazufre - carbón y aceites - Durante ciertos procesos industriales y en laproducción de aceros. Es percibido por el olfato en concentraciones hasta de 3PPM a síncope pm. Cuando se encuentra en niveles de uno a 10 PPM produceun aumento en la frecuencia respiratoria y el pulso de la persona que percibió este compuesto.

*Nota.* Adaptado de Manual de fundamentos y planeación de inventario de emisiones. Pag.58

Inventario de Fuentes

**3.5.2 Óxidos de Nitrógeno**

Los óxidos de nitrógeno son una mezcla de gases compuestos por nitrógeno y oxígeno. Estos óxidos tienen un tiempo de degradación en contacto con la atmosfera rápido, debido a que reaccionan con otras sustancias comúnmente presentes en el aire; por ejemplo: el dióxido de

nitrógeno, al reaccionar con la luz solar, conlleva a la formación de ozono (O<sub>3</sub>) y genera smog (nube baja formada de dióxido de carbono, hollines, humos y polvo en suspensión que se forma sobre las grandes ciudades o núcleos industriales) en el aire que respiramos (“Óxidos de Nitrógeno,” 2002).

**Tabla 2.**

*Generalidades de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)*

Definición	Gas de color Pardo rojizo, con característica fuertemente tóxico, cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se encuentra en los procesos de combustión de vehículos e industrias. Se identifican 7 óxido de nitrógeno: NO, NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Sin embargo a nivel de contaminación del aire se refiere solamente NO y NO <sub>2</sub> los cuales son gases incoloros.
Fuentes	Producidos al quemar combustible a temperaturas muy altas a partir del nitrógeno del aire como también son producidos a partir del nitrógeno del carbono y los aceites pesados, grandes generadores de energía eléctrica, calderas industriales, motores de combustión interna o externa además de plantas de producción de ácido nítrico.
Efectos	Visibilidad reducida, irritación de la nariz y los ojos, edema pulmonar, bronquitis y neumonía; este compuesto reacciona bajo la influencia de la luz para formar ozono. Los óxidos de nitrógeno son importantes contribuyentes potenciales de fenómenos nocivos como la lluvia ácida y la eutrofización de las zonas costeras.
Legislación	Resolución 601 del 04/04/2006 MAVDT.
Varios	Concentraciones excesivas en el aire de NO y NO <sub>2</sub> Ocasionan un color parduzco debido a la absorción de la luz en el área azul verde del espectro Además de contribuir con el efecto ambiental anteriormente mencionado.

*Nota.* Adaptado de K2 INGENIERIA, Manual de fundamentos y planeación de inventario de emisiones. Pag.58 Inventario de Fuentes

3.5.3 *Material Particulado (MP<sub>10</sub>)*

Las MP<sub>10</sub> o también conocidas como partículas inhalables son aquellas partículas de menor tamaño a 10 micrómetros. El material particulado se encuentra en la atmosfera de maneras muy variadas, dependiendo del diámetro de molécula y su composición química, además de localizarse en diferentes fases de la materia (líquido y gaseoso). Este contaminante puede ser emitido por fuentes fijas (hornos, combustión, minería, etc.), fuentes móviles como autos o fuentes naturales como unincendio forestal o erupción de volcanes (Tzintzun *et al.*, 2005).

**Tabla 3.**

*Generalidades del MP<sub>10</sub>*

Definición	Cualquier material sólido o líquido dividido finalmente diferente al agua no combina, según mediciones por los métodos federales de la referencia. Son compuestos que tienen un tamaño de partícula menor a 10 micras.
Fuentes	Pueden ser hornos, trituradoras, molinos, afiladores, estufas, calcinadores, calderas, cintas transportadoras, acabados textiles, mezclas y tolvas, equipos procesadores de alimentos, cabinas de aspersión y dispersión, incendios forestales.
Efectos	Efecto en la respiración y el sistema respiratorio, agravamiento de afecciones respiratorias y cardiovasculares ya existentes en los involucrados daños en el tejido pulmonar, cartilaginoso y mortalidad prematura.
Legislación	Resolución 601 del 04/04/2006 MAVDT.
Varios	Se puede encontrar y ver fácilmente en polvo, humo, gólicas de petróleo, berilio, en aspecto a simple vista no podemos definir este compuesto.

*Nota.* Adaptado de Manual de fundamentos y planeación de inventario de emisiones. Pag.55

Inventario de Fuentes

### **3.6 Equipos de Control**

Para el control de las emisiones se realizó una investigación bibliográfica de los equipos que tengan la finalidad de mitigar el efecto contaminante; estos equipos son los siguientes: ciclones, filtro de mangas, sistema de vías húmedas, incineradores, torres de absorción, condensadores, precipitadores electrostáticos, torres de adsorción y lavadores Venturi, sistema de reducción catalítica selectiva.

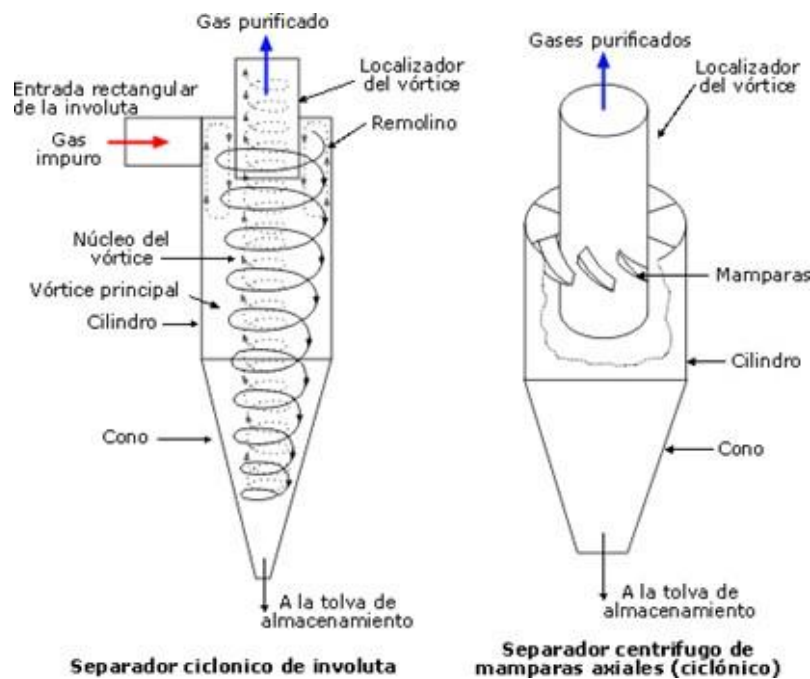
#### **3.6.1 Ciclones**

Este equipo de control emplea el principio de la fuerza centrífuga con el fin de quitar el material particulado de una alimentación ver Figura 2. El flujo del contaminante es forzado a un movimiento circular y, debido a la fuerza centrífuga sobre todas partículas, estas se dirigen hacia las paredes exteriores, permitiendo que sean recolectadas en una tolva (Korc, 1999).

La eficiencia de este equipo es inversamente proporcional al tamaño de partícula; en el caso de partículas contaminantes menores a 15 micrómetros se obtiene una eficiencia del 98 %, pero disminuye a un 90 % con partículas de 16 a 20 micrómetros (Núñez y Sarmiento, 2011).

**Figura 2.**

*Diagrama de un Ciclón*



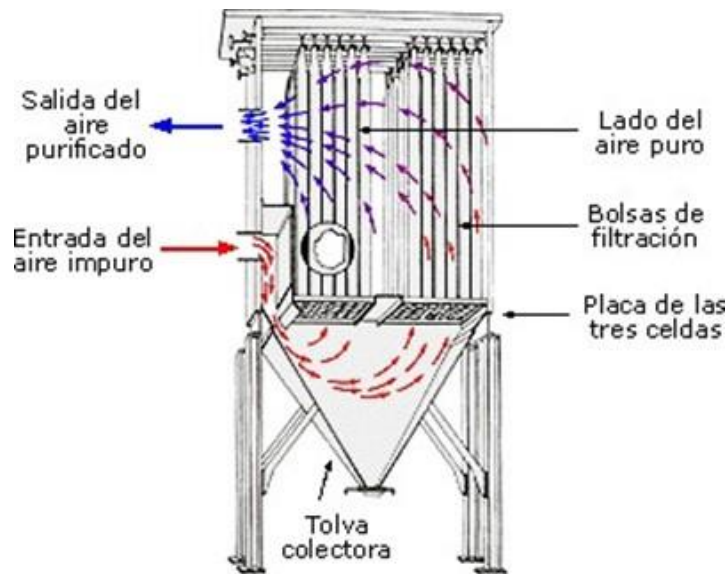
*Nota.* Adaptado de K2 INGENIERIA, Manual de fundamentos y planeación de inventario de emisiones. Pag.55 Inventario de Fuentes

### 3.6.2 Filtro de Mangas

El concepto se basa en la retención de partículas del gas contaminante transportado a través del filtro, ya sea de tela o cámara. Este equipo de control alcanza eficiencias del 99 % cuando se hacen pasar partículas de 0,5 micrómetros; por lo tanto, es útil para tratar material particulado fino (Wark *et,al.*, 1990). Ver Figura 3.

**Figura 3.**

*Funcionamiento de un Filtro de Mangas*



*Nota.* Adaptado de Curso de orientación para el control de contaminación del aire. En línea: Curso de orientación para el control de la contaminación del aire (usal.es)

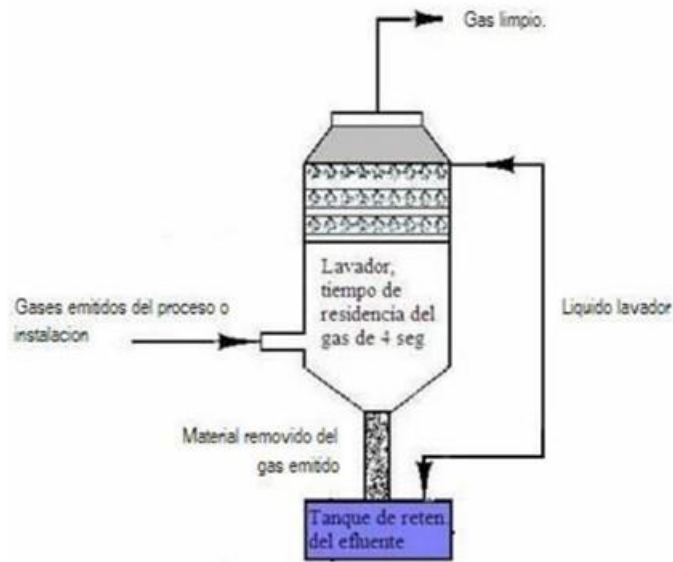
### **3.6.3 Sistema de Vías Húmedas**

Consiste en hacer pasar el gas con el contaminante por una cámara donde se pone en contacto directo con un líquido. Es un sistema sencillo, pero menos eficiente de los que utilizan algún disolvente. Se tiene una eficiencia de remoción del 90 % (Figueroa, 2005).

Se observa en la Figura 4 el funcionamiento general del sistema de control con vías húmedas más usado industrialmente.

**Figura 4.**

*Sistema de Vías Húmedas Común*



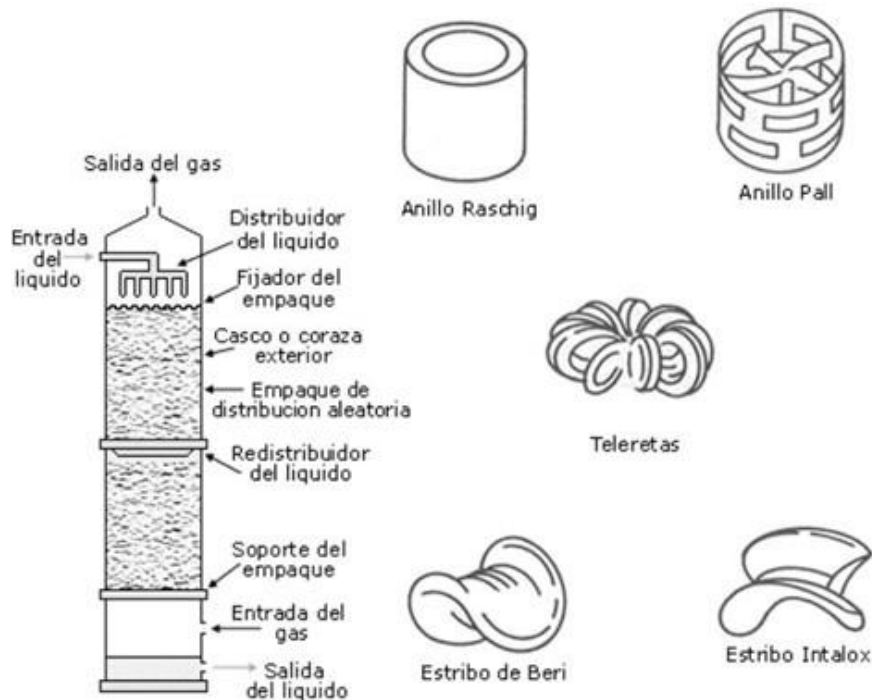
*Nota.* Adaptado de Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. Pag.75

### **3.6.4 Absorción**

Consiste en dilución de gases en un líquido, el cual arrastraría consigo el contaminante ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , MP, etc.). Se hace pasar la corriente del gas y, en contracorriente, se permite el flujo del líquido absorbente. El agente extractor más usado es el agua, debido a es el líquido que más sustancias disuelve (solvente universal); esta propiedad se debe a la capacidad para formar puentes de hidrogeno con otras sustancias (Bernal, 2020) y es ampliamente utilizado en la purificación de gases con alto contenido en compuestos orgánicos, alcanzando eficiencias de remoción mayor al 95 % (Inche, 2004). El diagrama del sistema de control se muestra en la Figura 5.

**Figura 5.**

*Diagrama de una Torre de Absorción*



*Nota.* Adaptado de Gestión de la calidad del aire: Causas, Efectos y Soluciones. Pag.90

### 3.6.5 Condensadores

Consiste en reducir la temperatura del gas hasta llegar al punto de rocío y recolectar en estado líquido. Los condensadores son utilizados como sistema de control dado que este puede remover sustancias gaseosas de un flujo contaminante (MAVDT, 2010).

Poseen una eficiencia del 50 % (Núñez y Sarmiento, 2011). Se presentan en la Figura 6.

**Figura 6.**

*Diagrama de un Condensador de Contacto*



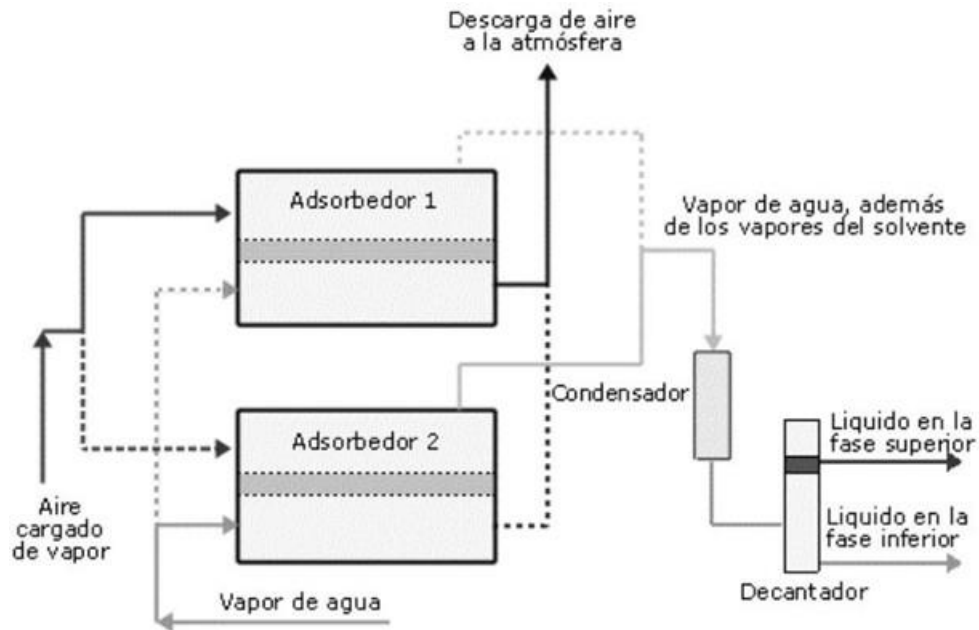
*Nota.* Adaptado de Dispositivos y técnicas de control de contaminantes gaseosos. En línea: [www.bvsde.ops-oms.org](http://www.bvsde.ops-oms.org)

### **3.6.6 Precipitador electrostático**

Tiene como finalidad la captación de partículas sólidas de un flujo de gas contaminante con la ayuda de la electricidad. El precipitador carga electrostáticamente las partículas, atrayéndolas a placas metálicas con carga opuesta; luego, las partículas se retiran de dichas placas por medio de golpes secos y se recolectan en una tolva ubicada en la parte inferior (Nevers, 1998). El proceso tiene una eficiencia variable, debido a que depende netamente del tamaño de partícula; se alcanza una eficiencia del 99 % al trabajar con partículas pequeñas (Korc, 1999).

### **3.6.7 Adsorción**

Utiliza partículas de carbón activado para la recuperación y el control de los gases. El proceso se muestra en la Figura 7. Este sistema logra eficiencia de remoción de entre el 95 y 99 % (Inche, 2004).

**Figura 7.***Diagrama de un Proceso de Adsorción*

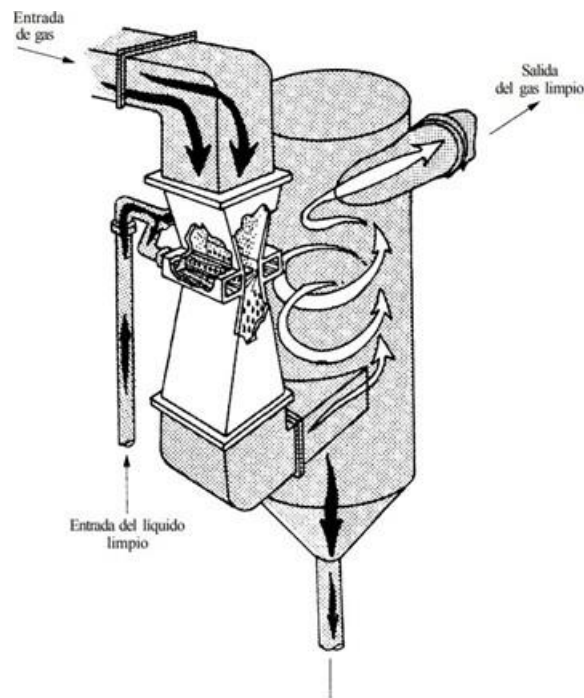
*Nota.* Adaptado de Gestión de la calidad del aire: Causas, Efectos y Soluciones. Pag.89

### **3.6.8 Lavador Venturi**

El lavador Venturi se ilustra en la Figura 8. Para realizar la limpieza del gas se considera una remoción con un líquido. El lavador Venturi es el sistema de control de uso más amplio en el lavado de partículas; además, tiene una fabricación e instalación relativamente económica en comparación con otro sistema de control (Nevers, 1998). Poseen una eficiencia del 99 % para remoción de material particulado ( $MP_{10}$ ), además de ser un equipo altamente aconsejado para el manejo de gases corrosivos como el  $SO_2$ ; sin embargo, tiene como desventaja la generación de aguas residuales (IRMA, 2013)

**Figura 8.**

*Esquema de un Lavador Venturi Típico*



*Nota.* Adaptado de Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire. Pag.280

### **3.6.9 Sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR)**

Sistema enfocado en la reducción de los niveles de  $\text{NO}_x$  en un flujo de gas, aplicando un agente reductor que comúnmente es amoníaco. El proceso consiste en realizar inyecciones del agente reductor en la corriente de gas con la finalidad reaccionar con el gas dentro de un rango de temperatura (MAVDT, 2010), generando una reducción de hasta un 90 % de  $\text{NO}_x$ . También puede generar reducción en la contaminación de monóxido de carbón en un 98 % mediante la oxidación catalítica. (Ideam, 2010).

## **3.7 Ficha Técnica de las Empresas**

En la Tabla 4 se muestra la primera empresa en estudio; las demás fichas técnicas se encontrarán en anexo A.

**Tabla 4.**

*Ficha Técnica Italgo*

Nombre	ITALCO
Combustible empleado	Carbón mineral
Características de la fuente	Caldera Acuapirotubular
Actividad productiva	Alimentos Concentrados
Ubicación	7° 5'2.82"N - 73° 9'24.09"O
Dirección	Km 6 vía a Girón
Parámetros evaluados	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ); Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ); Material particulado (MP)

**4. Estado del Arte**

A continuación, se listan una serie de trabajos enfocados en la realización de análisis de emisiones atmosféricas.

Oscar Rueda (2017) realizó un análisis de emisiones de fuentes fijas en la zona metropolitana de Bucaramanga, Santander. El motivo del inventario fue cuantificar contaminantes críticos como CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y PM, tomando el año base del 2016 para el estudio y analizando 62 empresas. Se estableció una comparación con otras grandes zonas del territorio colombiano como Bogotá y el Valle de Aburrá, arrojando que la mayor presencia de contaminantes son los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) con 120 ton/año, producto del alto uso de combustible a base de carbón. Además, se concluyó que el sector responsable de esta contaminación es la industria de bebidas y alimentos; sin embargo, el inventario de emisión fue bajo en comparación con Bogotá y Valle de Aburrá.

Moscoso, Astudillo y Morales (2018) presentan análisis exhaustivo de emisiones

atmosféricas desde fuentes fijas de combustión en la ciudad de Cuenca, Ecuador. El objetivo del estudio fue consolidar y calcular las emisiones más representativas de 30 empresas de diferentes sectores productivos, utilizando un muestreo de fuente y obteniendo resultados significativos de contaminación de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) con 24,01 kg/h. Este nivel de generación lo aporta la elaboración de papel y cartón, debido a que las empresas laboran los 7 días de la semana; además, la influencia del combustible es clave para mitigar la contaminación.

Velásquez (2018) llevó a cabo un estudio de emisiones en Barranquilla, Colombia. El estudio tuvo una participación de 26 empresas. de las cuales 21 de ellas tenían como actividad productiva la industria manufacturera. La finalidad fue la cuantificación de la huella de carbono, obteniendo resultados de 331967,8 ton/año de CO<sub>2</sub>-eq; además detalló que los equipos generadores eran los que tenían como combustible el gas natural, arrojando a la atmosfera CO<sub>2</sub> en cantidades de 241744 ton/año. Se recomendó como medida de control de emisión filtros de chimenea y el correcto mantenimiento de los equipos.

Valdez y Vega (2021) implementaron un tren de muestreo para obtener un análisis de emisiones para las fuentes fijas y móviles en la provincia de Ilo, Perú. El objetivo del informe fue obtener información de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub>, y proceder a comparar con índices de calidad del aire (INCA) y con estándares de la OMS. Los autores registraron una concentración de SO<sub>2</sub> menor a 10,87 µg/m<sup>3</sup>, de NO<sub>2</sub> menor a 10,54 µg/m<sup>3</sup>, cumpliendo con los parámetros de contaminación, de CO inferior a 2043,47 µg/m<sup>3</sup>, la cual no presenta riesgo para la salud, y de O<sub>3</sub> valores por debajo de 1,37 µg/m<sup>3</sup>, indicando aire limpio de la zona. Como el estudio fue realizado en tiempo de cuarentena debido al Covid-19, se refleja una mejor en la calidad del aire.

La investigación realizada ha demostrado la importancia de elaborar este tipo de análisis de emisiones de manera continua, con el fin de poder tomar acciones y generar un plan de mejora

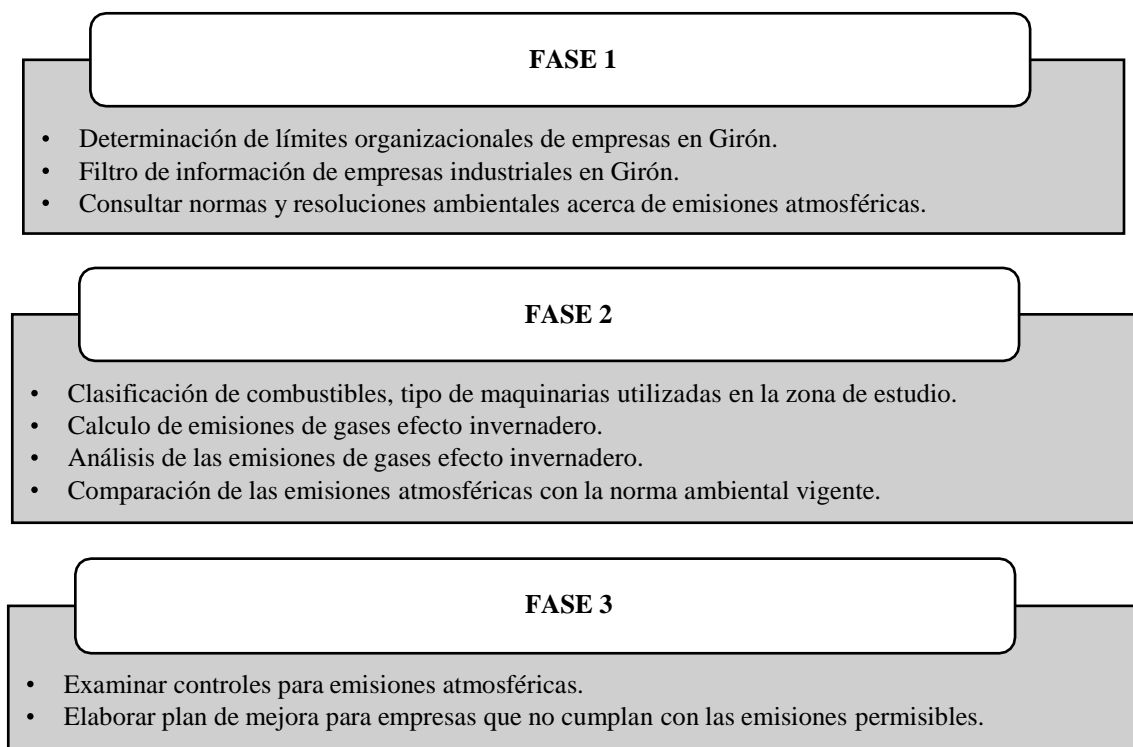
utilizando la tecnología y equipos especializados.

### 5. Descripción Metodológica

El desarrollo del proyecto se divide en tres etapas. Las actividades para realizar en cada fase se resumen en la Figura 9.

**Figura 9.**

*Diagrama Metodológico*



#### 5.1 Fase 1

Se efectuó una revisión bibliográfica sobre de la realización de inventarios de emisiones de fuentesfijas, así como la obtención de datos fiables e información pertinente de las empresas en la zona de investigación; además, se consultó la normativa vigente. Así mismo, se elaboró un plan de acción para el manejo de datos suministrados por las diferentes empresas de la zona de estudio, y se

analizó qué tipo de actividad productiva ejecutan, el tipo de combustible empleado y la clase de contaminación atmosférica que generan.

### **5.1.1 Normatividad**

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

• Artículo 4. Donde se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades industriales, definidas en la presente resolución. Estándares de emisión: 250 mg/m<sup>3</sup> de material particulado, 550 mg/m<sup>3</sup> de dióxido de azufre, 550 mg/m<sup>3</sup> de óxidos de nitrógeno, etc.

❖ Resolución 760 del 20 de abril de 2010: en la 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 (por ejemplo: muestreo de fuente, donde se analizan gases directamente desde la chimenea de la maquinaria generadora de emisiones), además de los procedimientos de evaluación de emisiones.

❖ ISO 14064: verificación y contabilización de gases de efecto invernadero. Esta norma proporciona a la industria y al gobierno un conjunto de herramientas para desarrollar programas que tengan como fin la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

### **5.2 Fase 2**

Se realizó un análisis e inventario de las emisiones atmosféricas de las empresas, detallando y enlistando el contaminante crítico y, a su vez, el combustible empleado por la maquinaria industrial. Posteriormente, se comparó con la Resolución 909 de 2008, en la cual se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas; por ejemplo: para los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), si es una actividad industrial existente, debe tener un estándar de emisión máximo de 550 mg/m<sup>3</sup>, mientras que un máximo de 550 mg/m<sup>3</sup> se fija para dióxido de

azufre (SO<sub>2</sub>).

### **5.3 Fase 3**

Para finalizar, se elaboró un plan de mejora para las empresas que no cumplieron con la normativa ambiental o estén casi en el límite permitido; además, se propuso un sistema de control adecuado y eficiente de las emisiones atmosféricas. Para finalizar, se brindó a la CDMB un análisis de emisiones confiable de los años 2018 – 2020.

## **6. Resultados**

### **6.1 Filtro de Año Base**

Para realizar el análisis fue necesario determinar un año base. De acuerdo con los estándares de la Corporación Autónoma de la defensa de la meseta de Bucaramanga, se definió que había una necesidad de inventario en los años 2018 a 2020, debido a la ausencia de registros en ese rango de tiempo.

### **6.2 Filtro de Zona de Estudio**

Para realizar el inventario fue necesario determinar un espacio de estudio. La Corporación Autónoma de la defensa de la meseta de Bucaramanga concluyó que se analizara la zona industrial de Girón, Santander.

### **6.3 Límite Organizacional**

Se consolidó que fueran 30 empresas las que estaban en la zona (Girón, Santander) y en el periodo de estudio (2018-2020); sin embargo, solo 10 empresas serían las candidatas para el inventario, pues las 21 empresas restantes tenían problemas con la información, ya que en la base de datos de la CDMB no se tenía algún registro vigente. Además, se determinó la actividad productiva de las diferentes empresas con el fin de conocer y utilizar esta información para cálculos

posteriores. Las empresas dentro del estudio son las mostradas en la Tabla 5.

**Tabla 5.**

*Límite Organizacional*

<b>Empresa</b>	<b>Actividad Productiva</b>
Italco	Alimentos concentrados
	Alimentos concentrados
Bioconcentrados	Alimentos concentrados
Ladrillera Rugo	Producción de ladrillos
Ladrillera Meneses	Producción de ladrillos
Racafe	Trilla de café
Ladrillera El Diamante	Producción de ladrillos
Coinobras	Planta de asfalto
Campollo S. A	Planta de beneficio y harina
Asfaltart	Planta de asfalto
Ladrillera Nuevo Porvenir	Producción de ladrillos

**6.4 Tipo de Combustible y Maquinaria**

La Tabla 6 muestra la maquinaria emisora, el tipo de combustible y el consumo del mismo.

**Tabla 6.**

*Clasificación y Consumo de Combustible*

<b>Empresa</b>	<b>Máquina</b>	<b>Combustible</b>	<b>Consumo de Combustible</b>
ITALCO	Caldera	Carbón mineral	250 Kg/hora
	Acuapirotubular		
	Caldera Distral	Carbón mineral	250 Kg/hora

<b>Empresa</b>	<b>Máquina</b>	<b>Combustible</b>	<b>Consumo de Combustible</b>
BIOCONCENTRADOS	Caldera Powermaster	Gas Natural	-
LADRILLERA RUGO	Horno Tipo Hoffman	Carbón Mineral	210 kg/hora
LADRILLERA MENESES	Horno Tipo Hoffman	Carbón Mineral	157 Kg/hora
RACAFE	Trilladora	Energía eléctrica	-
LADRILLERA EL DIAMANTE	Horno Tipo Hoffman	Carbón Mineral	-
COINOBRAS	Tambor Secador	Aceite Reciclado	3.27 Gal/m <sup>3</sup>
CAMPOLLO S.A.	Caldera JCT	Biomasa (Cascarillade Palma)	-
ASFALTART	Secador	Gas Natural	480 m <sup>3</sup> /hora
LADRILLERA NUEVO PORVENIR	Horno Tipo Hoffman	Carbón Mineral	-

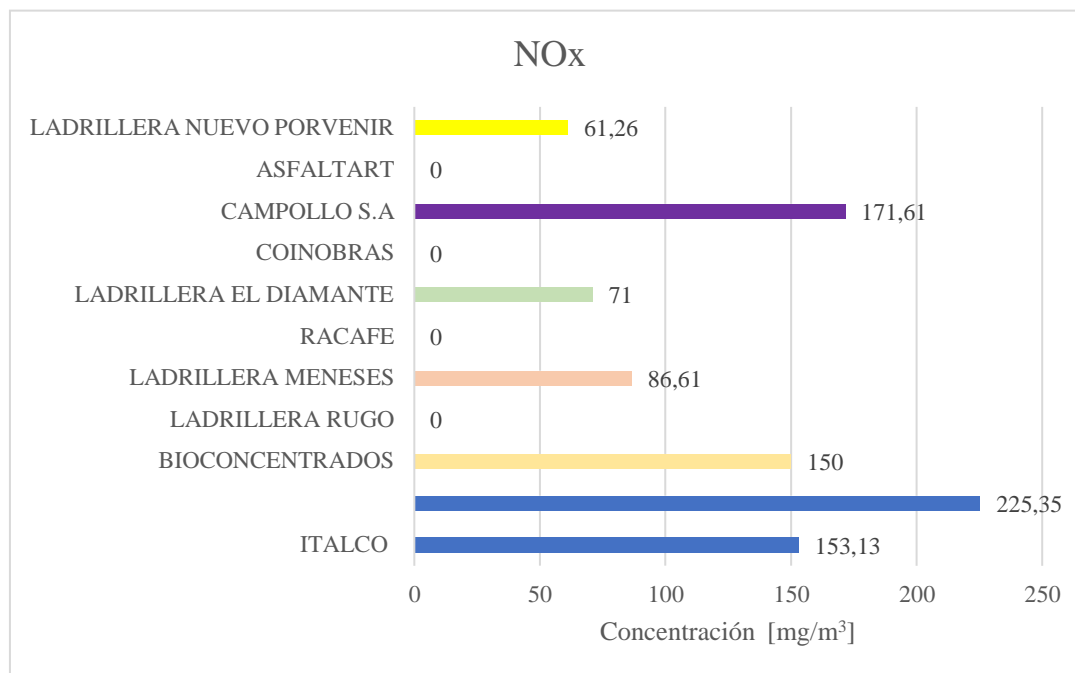
En la Tabla 6 se muestra que el carbón mineral es el combustible utilizado por el 60 % de las maquinarias del estudio. Esto se debe a que tiene un costo muy económico para el sector industrial, además de poseer un alto poder energético (Rodríguez, 2013). Sin embargo, usar esta opción de combustible puede generar riesgos a la salud debido a los gases generados en el proceso de combustión, como CO<sub>2</sub> y CO principalmente, además de no ser un combustible renovable. Por su parte, el CO<sub>2</sub> genera lluvia acida que, al llegar a lagos y arroyos, cambia su pH y afecta la vida silvestre y el ecosistema que lo rodea (Solger, 2021).

6.5 Emisiones Atmosféricas

Los límites permisibles de NO<sub>x</sub> para una actividad productiva de “producción de ladrillos” será de 550 mg/m<sup>3</sup>; para cualquier otra actividad productiva es 350 mg/m<sup>3</sup>. Los límites para SO<sub>2</sub> en cuanto a actividad productiva de “alimentos concentrados” se fija en 500 mg/m<sup>3</sup>; para el resto de actividades es 550 mg/m<sup>3</sup>. Respecto a MP, se tiene una sola norma permisible para cualquier actividad productiva: 250 mg/m<sup>3</sup>. Estos límites son tomados de la Resolución 909 del 2008. Se muestran en la Figura 10 las concentraciones por empresa del contaminante NO<sub>x</sub>, expresadas en miligramo por metro cubico.

Figura 10.

Concentraciones Resultantes de NO<sub>x</sub>



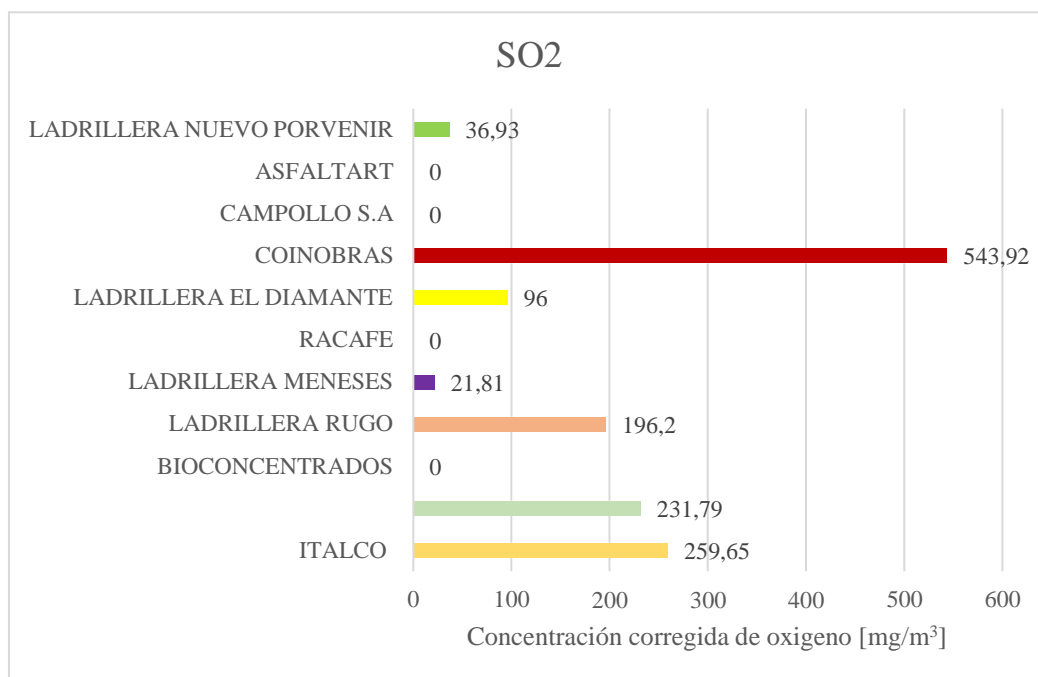
De la Figura 10 se denota que las empresas en el estudio cumplen en cuanto a emisiones atmosféricas de NO<sub>x</sub>. Sin embargo, se aprecia que la empresa Italgo presenta emisiones de 225,35 mg/m<sup>3</sup>, obteniendo un porcentaje por debajo de la norma de tan solo un 35,61 %; este resultado es atribuido al uso de carbón mineral como combustible, debido a que este combustible en la

economía industria maneja un precio de venta exequible a las empresa; por tal razón la empresas implementan su uso , lo cual genera contaminación por la mala combustión interna del combustible (Ecohabitar, *s.f*). A pesar de que la empresa tenga un sistema de control de multiciclón conjunto a filtros de mangas.

En la Figura 11 se muestran las concentraciones que de dióxido de azufre para las empresas en estudio.

**Figura 11.**

*Concentraciones Resultantes de SO<sub>2</sub>*



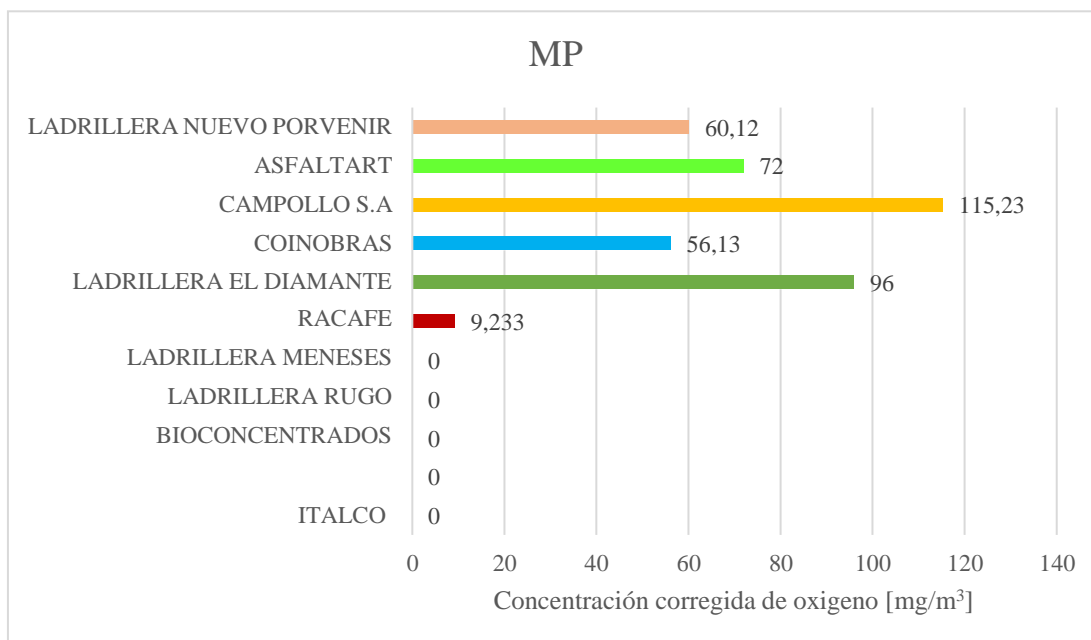
Se aprecia que la empresa Coinobras tiene una emisión del contaminante de 543,92 mg/m<sup>3</sup>, lo cual,comparado con la norma, da un porcentaje debajo de la misma de 1,10 %. Dicho resultado es atribuido al equipo contaminante de la empresa Coinobras del cual se especifica que es un tamborsecador. Esta maquinaria, es considerada como un equipo generador de olores en la fabricación deasfalto (Ammann, *s.f*). Como la empresa reporta un sistema de control de emisiones con eficienciateórica del 90 % (sistema de vías húmedas), se podría concluir el equipo no realiza

la captura adecuada de SO<sub>2</sub>. Por lo anterior, se recomienda implementar un lavador Venturi, debido a que este sistema de control presenta una alta eficiencia para la remoción de gases corrosivos (Verlek, 2017).

En la Figura 12 se resumen las emisiones de MP para las empresas en estudio en el área de Girón, Santander.

**Figura 12.**

*Concentraciones Resultantes de MP*



Se muestra que todas las empresas cumplen con la respectiva norma de emisión; además, se resalta en la figura un pico para la empresa Campollo en cuanto a emisión del material particulado: 46,1% respecto a la resolución 909 del 2008. La fuente emisora, caldera JCT, opera con cascarilla de palma como combustible, pues tiene una capacidad calorífica de 4500 Kcal/Kg y, generalmente, es usado para alimentar calderas de combustión interna (Oleodavila, s.f). Se infiere que usar esta biomasa como opción energética no muestra, desde el punto de vista ambiental, mayor diferencia en comparación a otro combustible (carbón mineral, por ejemplo), debido a que también genera

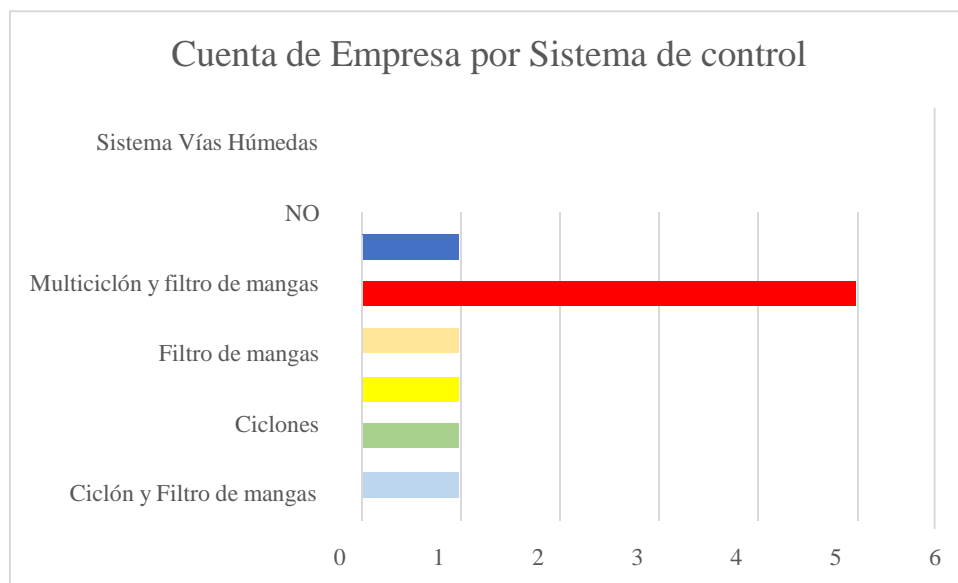
humos de combustión con contenido de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e hidrocarburos (Muñoz, 2013). Comparando con otras empresas como la ladrillera Nuevo Porvenir, que muestra una emisión del 24,05 % respecto a la norma, de esta empresa se analiza que: usa el carbón como fuente de combustible, generando emisión de MP. Sin embargo, si se compara con la empresa Bioconcentrados, empresa que no genera emisiones de MP debido a que emplea como combustible el gas natural para su maquinaria, se podría llegar a concluir que usar carbón mineral o biomasa como combustible, no reduce las emisiones de MP, como si lo demuestra usar gas natural generando menores cantidades del contaminante.

**6.6 Establecimiento de Medidas Preventivas y de Control**

Se observó que no todas las empresas contaban con un sistema de control de emisiones en funcionamiento. En la figura 13 se muestran los sistemas empleados durante los años base del proyecto.

**Figura 13.**

*Conteo de Empresas con Sistema de Control*



De las empresas revisadas, el 50 % no tienen implementado un sistema de control; ese porcentaje es significativo porque son responsables del 32,27 % de la contaminación de la zona del estudio. El 50 % restante implementan sistemas como ciclón o multiciclón, los cuales tienen un bajo costo y pocos requerimientos de operación y mantenimiento.

También se puede observar que 4 empresas presentan un sistema de control por filtro de mangas, cuya eficiencia de recolección alcanza un 99 % para MP; sin embargo, este tipo de equipos está limitado a filtrar corrientes calientes, precisando que un gas caliente podría arruinar el filtro, por tal motivo, no sería recomendable para la empresa Itarco seguir implementando este equipo, debido a que la salida de los gases de calderas tiene temperaturas elevadas lo cual generaría estragos en el sistema de control.

Se analiza además los ciclones y multiciclones, estos tienen un porcentaje de uso por las empresas en estudio de 30%, por lo tanto se determina que lo positivo de este sistema de control es que tiene una eficacia de remoción de un 98% para partículas de tamaño no menor a 15 micrómetros, mientras que van avanzando en tamaño la eficiencia decae; por lo tanto para las empresas Itarco y Campollo, si es recomendable implementar este sistema debido a que los nitratos ( $\text{NO}_x$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_2$ ) están considerados como partículas de tamaño aproximado de 2,5 (Manzanares *et al.*, 2011), concluyendo que sería una eficiencia de alrededor del 99% en remoción.

### **6.7 Plan de Mejora para Empresas**

Si bien, las empresas en cuestión están sobre el límite establecido en los estándares de emisión, es importante generar un plan de mejora enfocado en disminuir aún más la generación de GEI. Cabe recalcar que este inventario es de importancia para la CDMB, precisando que no cuentan con un inventario de emisiones de gases efecto invernadero de los años 2018-2020 para Girón, Santander. Se aclara que los informes presentados por parte de las empresas a la CDMB son un

requisito para otorgar el permiso de emisiones atmosféricas, mas no implica la obtención de la licencia ambiental. Ahora bien, la ruta que podrían emplear las empresas podrían ser estrategias de control y prevención del contaminante de la siguiente manera:

➤ **Combustible más limpio:** el gas natural es considerado un combustible limpio (Energy, 2018), al contrario del carbón mineral que, por el contenido de ceniza y azufre, presenta emisiones altas de SO<sub>2</sub>. El gas natural es un combustible adecuado para las industrias que emplean hornos y calderas, porque éste tiene mejor poder calorífico respecto al carbón mineral (Gaspais, 2022), lo que conlleva a una reducción en consumo del combustible. El gas natural produce una mejor combustión y requiere menor cantidad de aire en el quemador, disminuyendo el servicio industrial y generando menor CO<sub>2</sub> y MP; además, su combustión limpia (sin compuestos de azufre), lo que reducen los costos en mantenimientos de ductos corroídos por el azufre (Rangel y Portilla, 2015). Aunque el carbón es más barato, uso de gas natural representa menor impacto ambiental y generaría un efecto intrínseco en la empresa, debido a que las personas reconocerían el esfuerzo por el cambio en pro del ambiente, ofreciendo buena imagen a la empresa (Portafolio, 2012).

➤ **Actualización de información:** se debe aplicar la metodología propuesta por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAVDT, 2010), la cual tiene como finalidad un seguimiento y actualización periódica de la información por parte de empresas emisoras de contaminación para fuentes fijas. Dicha metodología consiste en llevar un registro de informes isocinéticos enviados a las corporaciones autónomas, la conformación de una base de datos empresarial confiable (detallando los equipos y especificando variables como los años de operación de la maquinaria y el tiempo de vida útil), realizar un conteo de emisiones y efectuar de manera periódica, en lapsos de 6 meses como mínimo, un inventario de emisiones, con el fin de aplicar mejoras en equipos de control, los combustibles y las tecnologías (maquinarias).

➤ **Implementación de sistemas de control:** los sistemas de control atmosféricos son fundamentales para una empresa, ya que el objetivo de los mismos es asegurar que las concentraciones excesivas de contaminantes no entren de sobremanera al ambiente y a receptores sensibles, entre ellos están: persona, plantas u objetos. (Jaramillo *et al.*, 2003). Un lavador Venturi es un sistema de control fundamental para control de gases corrosivos, como lo es el dióxido de azufre; además, como se mencionó anteriormente, puede alcanzar un 99 % de eficiencia en MP. Sin embargo, este tipo de lavadores genera un caldo de aguas residuales, implicando un costo de tratamiento posterior.

Por otra parte, la acción de un filtro de mangas es un equipo efectivo para el manejo de MP, teniendo como ventaja su limpieza automática del material particulado (Spiegel *et al.*, *s.f.*); sin embargo, estos equipos no soportan altas temperaturas. En lo que respecta a  $\text{NO}_x$  se recomiendan los SCR, pues brindan un control selectivo y logrando una eficiencia de remoción entre el 90 y 98 %; dichos equipos pueden ser interesantes para empresas las enfocadas en producción de alimentos concentrados, debido a que presentan concentraciones de óxidos de nitrógeno muy cercanas a la norma.

## 7. Conclusiones

Se realizó una cuantificación de gases efecto invernadero de los años 2018-2022 para fuentes fijas de los principales GEI generados en la zona industrial de Girón, Santander. El contaminante en mayor proporción del inventario es el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) con una proporción del 51,08% respecto al total de emisiones, seguido por los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) con un 33,86% y, finalmente, un 15,06% del total de MP. De acuerdo con estos datos, en la zona se podría

llegar a presentar una lluvia acida debido a la alta emisión de SO<sub>2</sub> (IDEAM,2010), el cual es causante de este fenómeno natural.

La comparación con la norma de los gases sulfurados, nitrogenados y material particulado arroja que la empresa Coinobras se encuentra en un porcentaje cercano en cuanto a dióxido de azufre, emitiendo por debajo de la norma en tan solo un 1,10 %; motivo por el cual se aconseja mejorar el sistema de vías húmedas, utilizando como equipo de control un lavador Venturi, pues presenta alta eficiencia y resistencia a gases corrosivos. Respecto a las demás empresas analizadas, todas cumplen la resolución 909 del 2008, Artículo 4, el cual se expresa los límites admisibles de contaminante atmosférico emitido por fuentes fijas.

Se propone un plan de mejora para las empresas, enfocado en una actualización eficiente y consciente de la información de emisiones. Se recomienda el cambio de combustible tradicional (carbón) a gas natural, debido a que se puede alcanzar una reducción de hasta un 65 % en la emisión de GEI. Así mismo, se plantea la necesidad de implementar sistemas de control de emisión con eficiencias mayores al 90 %, considerando el enfoque de emisión cero en el año 2030, tal como se planea en el tratado de Kyoto de 1998.

**Referencias Bibliográficas**

- AMMANN, (s.f). La modernización del tambor de secado reduce significativamente los olores. Recuperado 28 de Marzo, 2022, de La modernización del tambor de secado reduce significativamente los olores | Ammann
- ATSDR, (2012). Resumen de salud pública Monóxido de carbono. Recuperado 16 de Enero, 2022, de Monóxido de Carbono Resumen De Salud Pública (cdc.gov)
- Casper, J. K. (2010). Greenhouse Gases: Worldwile impacts. Facts on fire, Inc. Recuperado 12 Diciembre, 2021, de Greenhouse Gases: Worldwide Impacts - Julie Kerr Casper - Google Books
- Ecohabitar, (s.f). Como reducir la exposición a los agentes contaminantes por combustión. Recuperado 25 de Abril, 2022, de Cómo reducir la exposición a los agentes contaminantes por combustión | EcoHabitar
- Energya, (2018). Las ventajas del gas natural, una energía limpia y cómoda. Recuperado 12 de Enero, 2022, de Las ventajas del gas natural, una energía limpia y cómoda - Energya (energyavm.es)
- IDEAM, (2007). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado 12 Noviembre, 2021, de 52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29 (ideam.gov.co)
- IPSG, (s.f). El dióxido de azufre SO<sub>2</sub>. Recuperado 22 Abril de, 2022, de El dióxido de azufre SO<sub>2</sub>. Instituto para la Salud Geo ambiental
- Jaramillo et al, (2004). Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo. Revista Facultad de ingeniería, (vol.31), pp.38-48. Redalyc. Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-

Yumbo

Juste, (2021). Efecto invernadero: causas, consecuencias y soluciones. Recuperado 20 de noviembre, 2021, de Efecto Invernadero: Causas, Consecuencias y Soluciones (ecologiaverde.com)

K2 Ingeniería Ltda. Manual Bases Técnicas para el Programa Inventario de emisiones. Desarrollado para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Impresión ISBN.

Korc, (1999). Curso de orientación para el control de la contaminación del aire. Manual de auto instrucción. Recuperado 27 Febrero, 2022, de Curso de Orientación de Contaminación Aire EPA |PDF | La contaminación del aire | Contaminación (scribd.com)

Kyoto, (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; Naciones Unidas, Kyoto.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT (MAVDT). Resolución 909 de 2008. Republica de Colombia, 2008.

Muñoz, d, et al., (2013). Evaluación de índices de conversión energética en la producción de gas combustible a partir de biomasa. biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial.

Nevers, (1998). Ingeniería de control de la contaminación del aire. McGraw-Hill Interamericana.

Rueda Vásquez, Ó.F., Asistencia técnica para la realización del modelo de inventario de emisiones atmosféricas de fuentes fijas año base 2016 para el área metropolitana de Bucaramanga, Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2017. Accedido el 23 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible: [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5170/digital\\_36274.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5170/digital_36274.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Rangel, A., Portilla, C. (2015). El proceso de sustitución de combustibles pesados por gas natural en el sector industrial del Valle del Cauca y del Cauca – Colombia 2004-2012. Apuntes del CENES,35,237-266. RACENES 61 Final.pdf (scielo.org.co)
- Rodríguez, (2013). Marco de análisis del mecanismo de desarrollo limpio y las oportunidades del mercado del carbón para el desarrollo de Colombia. Recuperado 5 Abril, 2022, de Marco de análisis del mecanismo de desarrollo limpio y las oportunidades del mercado del carbono para el desarrollo de Colombia (scielo.org.co)
- Serrano, M., Folch, W., Triviño, R., Villafranca, R., Jadrijevic, M., Contreras, C., & Bordones Ju, C, (2009). Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Comisión Nacional del Medio Ambiente, ANDROS. guiaeia-with-cover-page-v2.pdf (d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net)
- Solger Energy, (2021). Ventajas y desventajas del carbón. Recuperado 20 de Febrero, 2022, de Carbón mineral como combustible. Ventajas, Inconvenientes y Alternativas. (solgereenergy.es)
- Spiegel, et.al, (s.f). Control de la contaminación ambiental. Recuperado 27 de Enero, 2022, de Capítulo+55.+Control+de+la+contaminación+ambiental (insst.es)
- Tzintzun, R. et.al., (2005). Health impacts from power plant emissions in México Atmospheric Environment, (39), 7,1199-1209, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.10.035>.
- Verlek, (2017). Lavador de gases. Recuperado 25 de Marzo, 2022, de lavador-venturi-tds-1.pdf (verlek.com)
- Wark et al., Contaminación del aire: origen y control. NORIEGA. Aire Wark Compressed | PDF | Contaminación | Oxígeno (scribd.com)

Moscoso Vanegas, D. Astudillo Alemán, A. y Morales Pérez, M.C. "Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión del parque industrial del cantón cuenca-ecuador". SciELO - Scientific Electronic Library Online. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612018000200004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000200004) (accedido el 2 de diciembre de 2021).

Velásquez Lozano, M. "Estimación de la huella de carbono de fuentes fijas industriales de la ciudad de Barranquilla", Tesis de Maestría, Universidad del Norte, Barranquilla, 2018.

Valdez Velásquez, C.J.Y. y Vega Quispe, A.P. "Inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles, ciudad de Ilo en tiempos de COVID-19(SARS-CoV2)", *Sincretismo*, vol. 1, n. 001, p. 1, 2021. Accedido el 14 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://revistas.unam.edu.pe/index.php/sincretismo/article/view/74/57>

Apéndices

Apéndice A: Ficha Técnica de las Empresas en Estudio

**Tabla A1.**

*Ficha Técnica Bioconcentrados*

Nombre	BIOCONCENTRADOS
Combustible empleado	Gas Natural
Características de la fuente	Caldera Powermaster
Actividad productiva	Alimentos Concentrados
Ubicación	7° 5'1.43"N - 73° 9'46.52"O
Dirección	Cra 14 N° 57-23 Barrio Vegas de Villamizar delmunicipio de Girón, Santander
Parámetros evaluados	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ); Dióxido de azufre(SO <sub>2</sub> ); Material particulado (MP)

**Tabla A2.**

*Ficha Técnica Ladrillera Rugo*

Nombre	LADRILLERA RUGO
Combustible empleado	Carbón Mineral
Características de la fuente	Horno Tipo Hoffman
Actividad productiva	Producción de Ladrillos
Ubicación	7°02'43,7"N - 73° 08'33,6"W H 846 msnm
Dirección	Vereda Llanadas, Municipio de Girón
Parámetros evaluados	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ); Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> );Material particulado (MP)

**Tabla A3.**

*Ficha Técnica Ladrillera Meneses*

Nombre	LADRILLERA MENESES
Combustible empleado	Carbón Mineral
Características de la fuente	Horno Tipo Hoffman
Actividad productiva	Producción de Ladrillos
Ubicación	7° 04'26,4"N - 73° 08'24"W H 853 msnm
Dirección	Calle 105, Antigua vía al Carrasco, Km 3 El Porvenir, Girón
Parámetros evaluados	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ); Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ); Material particulado (MP)

**Tabla A4.**

*Ficha Técnica Racafe*

Nombre	RACAFE
Combustible empleado	Energía eléctrica
Características de la fuente	Trilladora
Actividad productiva	Trilla de Café
Ubicación	7° 05'1,66"N - 73° 09'34,42"W
Dirección	Autopista a Girón Km 6
Parámetros evaluados	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ); Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ); Material particulado (MP)

**Tabla A5.**

*Ficha Técnica Ladrillera el Diamante*

Nombre	LADRILLERA EL DIAMANTE
Combustible empleado	Carbón Mineral
Características de la fuente	Horno Tipo Hoffman
Actividad productiva	Producción de Ladrillos
Ubicación	7° 2'53,32"N - 73° 9'1,59"O H 891 msnm
Dirección	Km 2 Vía Vereda Llanadas, Vereda Río Frío, Municipio de Girón - Santander
Parámetros evaluados	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ); Dióxido de azufre(SO <sub>2</sub> ); Material particulado (MP)

**Tabla A6.**

*Ficha Técnica Coinobras*

Nombre	COINOBRAS
Combustible empleado	Aceite Reciclado
Características de la fuente	Tambor Secador
Actividad productiva	Planta de Asfalto
Ubicación	7° 01'14.9"N - 73° 09'58.5"W H 748 msnm
Dirección	Km 4 vía Girón – Zapatoca
Parámetros evaluados	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ); Dióxido de azufre(SO <sub>2</sub> ); Material particulado (MP)

**Tabla A7.**

*Ficha Técnica Campollo S. A*

Nombre	CAMPOLLO S. A
Combustible empleado	Biomasa (Casarilla de Palma)
Características de la fuente	Caldera JCT
Actividad productiva	Planta de beneficio y Harina
Ubicación	7° 8'33.82"N - 73° 3'59.70"W H 550 msnm
Dirección	Km 2 Vía Palenque Chimita -Girón - Santander
Parámetros evaluados	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ); Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> );Material particulado (MP)

**Tabla A8.**

*Ficha Técnica Asfaltart*

Nombre	ASFALTART
Combustible empleado	Gas Natural
Características de la fuente	Secador
Actividad productiva	Planta de Asfalto
Ubicación	7° 3'49.42"N - 73° 7'58.67"O
Dirección	Km 5 anillo vial 100 m. Delante de la Hacienda Transilvania Vanguardia Liberal - Girón
Parámetros evaluados	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ); Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> );Material particulado (MP)

**Tabla A9.***Ficha Técnica Ladrillera Nuevo Porvenir*

Nombre	LADRILLERA NUEVO PORVENIR
Combustible empleado	Carbón mineral
Características de la fuente	Horno Tipo Hoffman
Actividad productiva	Producción de Ladrillos
Ubicación	
Dirección	Km 2 Vía al Carrasco, Vereda el Fical, municipio de Girón
Parámetros evaluados	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ); Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ); Material particulado (MP)