

**PLAN PARA EL MANEJO Y CONTROL DE EMISIONES ATMOSFERICAS POR  
FUENTES FIJAS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR DE AUTOPARTES**

**MARLEN LORENA BLANCO PEREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2014**

**PLAN PARA EL MANEJO Y CONTROL DE EMISIONES ATMOSFERICAS POR  
FUENTES FIJAS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR DE AUTOPARTES**

**MARLEN LORENA BLANCO PEREZ**

**Monografía para optar al título de  
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director**

**ING. MARTHA CRISTINA FORERO UZAHETA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2014**

Ni la Universidad Industrial de Santander, ni los jurados se hacen responsables de los conceptos expuestos en el presente documento.

*Doy gracias a Dios por la fortaleza y sabiduría que me ha brindado y ha hecho posible lograr este propósito tan significativo en mi vida. Mis padres por ser mi soporte por creer en mí y siempre estar en los momentos más difíciles como un apoyo incondicional y a mis hermanos que son el ejemplo que siempre he seguido de lucha y superación.*

**Lorena.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Ing. MARTHA CRISTINA FORERO UZAHETA, Director de este proyecto por su colaboración y guía para la elaboración de este trabajo.

A la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá DC, por su colaboración y asesoría para desarrollar el tema de las mediciones a las fuentes fijas.

A la Ingeniera Ambiental Ángela Gómez, quien colaboró en el desarrollo de algunos procedimientos para la toma de datos de campo.

A la Tecnóloga Karen Devia por el aporte de conocimientos técnicos para el desarrollo del diagnóstico inicial.

A todos mis compañeros de trabajo que hicieron posible la realización de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	22
1. GENERALIDADES .....	24
2. METODOLOGIA .....	27
3.DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	28
3.1 MEZCLADO.....	28
3.2 FORMADO.....	28
3.3 CURADO.....	28
3.4 HORNEADO .....	29
3.5 TERMINADOS .....	29
3.6 INFORMACION ESPECÍFICA DE CADA FUENTE.....	29
4.DIAGNOSTICO INICIAL FUENTES FIJAS DE LA EMPRESA .....	34
5. METODOLOGIA PARA REALIZAR MEDICIONES ISOCINETICAS EN LAS FUENTES FIJAS .....	43
5.1 DETERMINACIÓN DE PUNTOS TRANSVERSALES (MÉTODO US-EPA 1). 43	
5.2 DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DEL GAS Y FLUJO VOLUMÉTRICO (MÉTODO US-EPA 2) .....	44
5.3 DETERMINACIÓN DEL PESO MOLECULAR SECO DEL GAS (MÉTODO US- EPA 3) .....	45
5.4 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN GASES DE CHIMENEA (MÉTODO US-EPA 4) .....	45
5.5 DETERMINACIÓN EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN FUENTES FIJAS (MÉTODO US-EPA 5) .....	46
5.6 DETERMINACIÓN EMISIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO EN FUENTES FIJAS (MÉTODO US – EPA 7) .....	48
5.7 DETERMINACION DE HIDROCARBUROS TOTALES DADOS COMO METANO (METODO EPA 25B) .....	48

5.8 MÉTODO ANALÍTICO PARA MATERIAL PARTICULADO.....	49
5.9 MÉTODO ANALÍTICO PARA ÓXIDOS DE NITRÓGENO .....	50
5.10 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO MÉTODO US – EPA 5 .....	50
5.11 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO .....	52
5.13 METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA MEDICIONES A LAS DIFERENTES FUENTES FIJAS.....	54
6. RESULTADOS MEDICIONES ISOCINETICAS .....	55
6.1 MEDICIONES ISOCINETICAS EN UN HORNO .....	55
6.2 MEDICIONES ISOCINETICAS EN LAS CALDERAS.....	57
6.3 MEDICIONES ISOCINETICAS EN LOS COLECTORES. ....	58
7. SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES ATMOSFERICAS.....	60
7.1 COLECTORES DE POLVO.....	60
7.1.1 Operación .....	61
7.1.2 Mangas filtrantes.....	63
7.1.3 Aire comprimido .....	64
7.1.4 Ventilador centrifugo. ....	64
7.1.5 Procedimiento en caso de falla del sistema de control. ....	64
7.1.6 Mantenimiento preventivo colectores.....	66
7.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR .....	68
7.2.1 Funcionamiento. ....	68
8.CONCLUSIONES .....	72
BIBLIOGRAFIA.....	74

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Estándares máximos de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes. ....	55
Tabla 2 Ejemplo de la Descripción de los gases en las chimeneas de un horno..	56
Tabla 3 Ejemplo de resultados de la evaluación de emisiones de un horno.....	56
Tabla 4 Ejemplo de la Descripción de los gases en las chimeneas de las calderas .....	57
Tabla 5 Ejemplo de resultados de la evaluación de emisiones de una caldera .....	57
Tabla 6 Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para procesos productivos.....	58
Tabla 7 Ejemplo de la descripción de los gases en las chimeneas de los Colectores .....	59
Tabla 8 Ejemplo resultados de la evaluación de emisiones de un colector .....	59

## LISTA DE IMÁGENES

	<b>Pág</b>
Imagen 1 Ejemplo de la chimenea de una caldera .....	34
Imagen 2 Chimenea colector .....	37
Imagen 3 Chimenea rectangular.....	38
Imagen 4 Sistema de colección .....	60

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Ejemplo del formato para recolección de Información técnica de una Caldera .....	30
Cuadro 2. Ejemplo del formato para recolección de Información técnica de un Colector.....	31
Cuadro 3. Ejemplo del formato para recolección de Información técnica de un colector Rectangular .....	32
Cuadro 4. Ejemplo del formato para recolección de Información técnica de un Horno .....	33
Cuadro 5 Detalle del estudio de emisiones que se debe realizar al Colector .....	54
Cuadro 6 Detalle del estudio de emisiones que se debe realizar a los Hornos ....	54
Cuadro 7 Detalle del estudio de emisiones que se debe realizar a la caldera.....	54

## RESUMEN

**TITULO:** PLAN PARA EL MANEJO Y CONTROL DE EMISIONES ATMOSFERICAS POR FUENTES FIJAS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR DE AUTOPARTES.\*

**Autora:** MARLEN LORENA BLANCO PEREZ, Lorena\*\*

**Palabras Claves:** Emisiones por fuentes fijas, Industria Autopartes, Mediciones directas.

En la legislación ambiental colombiana que hace referencia a las emisiones por fuentes fijas para el sector industrial, establece los estándares máximos de emisión admisibles para equipos de combustión externa que usan combustibles gaseosos y para procesos productivos, donde se establecen las concentraciones máximas permisibles de óxidos de Nitrógeno, material particulado y concentración de Hidrocarburos Totales.

En este proyecto se establece el modelo del diagnóstico inicial del proceso y de tres tipos de fuentes fijas, basado en el protocolo de fuentes fijas del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, además se plantea los lineamientos para desarrollar el plan para el control de las emisiones atmosféricas por fuentes fijas aplicable a las empresas del sector de autopartes de la ciudad de Bogotá DC, con el fin de establecer un modelo que permita a este tipo de empresas cumplir con lo establecido en la normativa ambiental.

Se describe la forma como se deben realizar los muestreos isocinéticos para cada uno de los contaminantes de acuerdo a los protocolos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y como se deben comparar los resultados con los parámetros establecidos en la Resolución 6982 de 2011.

Finalmente, se establecen los mantenimientos y ajustes que se deben realizar a los diferentes equipos, la descripción de las tecnologías de control de emisiones más idóneas que se pueden utilizar en este tipo de empresas para el control de emisiones atmosféricas.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingeniería Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director Ing.Msc.Martha Cristina Forero Uzaheta.

## ABSTRACT

**TITLE: MANAGEMENT PLAN AND CONTROL OF ATMOSPHERIC EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES OF THE INDUSTRY OF AUTOMOTIVE PARTS.\***

**Author:** MARLEN LORENA BLANCO PEREZ, Lorena\*\*

**Keywords:** Emissions from stationary sources, Automotive Industry, Direct measurements.

The Colombian environmental law that refers to emissions from stationary sources in the industrial sector establishes; the maximum permissible emission standards for external combustion equipment using gaseous fuels, and production processes which states the maximum permissible concentrations of nitrogen oxides, particulate matter and concentration of Total Hydrocarbons.

This project set the model of initial diagnosis process and three types of stationary sources based on the protocol of point sources from the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development. Additionally, the project proposed the guidelines to develop a plan for the control of air by stationary sources. This plan is created with the objective of being applied in the automotive parts sector of Bogotá, in order to establish a model for this industry sector to fulfill the environmental regulations set by the government.

Importantly in the project is described the procedure of the isokinetic sampling and how it should be performed for each pollutant according to the protocols of the Environmental Protection Agency of the United States and how the results should be compared with the parameters set out in Resolution 6982 of 2011.

Finally, is established the way the maintenance and adjustments should be made to the different devices, is also described the most suitable technologies for air emission control.

---

\*Project of Degree

\*\* Faculty of Engineering Physicochemical School of Chemical Engineering. Specialization in Environmental Engineering. Director Ing.Msc.Martha Cristina Forero Uzaheta.

## GLOSARIO

**CONDICIONES DE REFERENCIA:** son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25°C y 760 mm de mercurio.

**CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA:** es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

**CONTAMINANTES:** son fenómenos físicos o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

**CONTROLES AL FINAL DEL PROCESO:** son las tecnologías, métodos o técnicas que se emplean para tratar, antes de ser transmitidas al aire, las emisiones o descargas contaminantes, generadas por un proceso de producción, combustión o extracción, o por cualquiera otra actividad capaz de emitir contaminantes al aire, con el fin de mitigar, contrarrestar o anular sus efectos sobre el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

**EMISIÓN:** es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil.

**FUENTE DE EMISIÓN:** es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

**FUENTE FIJA:** es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

**FUENTE FIJA PUNTAL:** es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.

**NORMA DE EMISIÓN:** es el valor de descarga permisible de sustancias contaminantes, establecido por la autoridad ambiental competente, con el objeto de cumplir la norma de calidad del aire.

**PUNTO DE DESCARGA:** es el ducto, chimenea, dispositivo o sitio por donde se emiten los contaminantes a la atmósfera

**SUSTANCIAS PELIGROSAS:** son aquéllas que, aisladas o en combinación con otras, por sus características infecciosas, tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al medio ambiente.

**PERMISO DE EMISIÓN ATMOSFÉRICA:** El permiso de emisión atmosférica es el que concede la autoridad ambiental competente, mediante acto administrativo, para que una persona natural o jurídica, pública o privada, dentro de los límites permisibles establecidos en las normas ambientales respectivas, pueda realizar emisiones al aire. El permiso se otorgará al propietario de la obra, empresa, actividad, industria o establecimiento que origina las emisiones.

**CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS:** Se considera contaminación atmosférica la presencia de sustancias en la atmósfera en altas concentraciones en un tiempo determinado como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que pueden ocasionar daños a la salud de las personas o al ambiente. Estas

sustancias reciben el nombre de Contaminantes los cuales se definen como fenómenos físicos, sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, que causan efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

**CLASIFICACIONES CONTAMINANTES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS:** cuando se habla de primarios son aquellos contaminantes que son emitidos a la atmósfera directamente y proceden de diversas fuentes, como por ejemplo óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, ozono, dióxido de carbónico.

Existe otro tipo de contaminante el cual no se emite directamente a la atmósfera, sino que es causado por reacciones químicas de dos o más contaminantes primarios, este es llamado secundario.

**CONTAMINANTES CRITERIO:** Son aquellos que se identifican como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de estudios publicados en documentos de calidad del aire. Los Contaminantes criterio reglamentados son:

- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Monóxido de carbono
- Material particulado menor a 10 Micras (PM-10)
- Ozono
- Plomo

**CONTAMINANTES PELIGROSOS:** El término se refiere a los 188 contaminantes peligrosos del aire que se incluyen en la lista de la Ley del Aire Limpio de 1990 y que se sabe o que se sospecha que causan cáncer u otros efectos serios en la salud. Éstos incluyen productos químicos industriales, solventes, metales, pesticidas y subproductos de la combustión. Ellos son:

- Benceno
- Plomo y sus compuestos
- Cadmio
- Mercurio
- Hidrocarburos totales expresados como metano
- Tolueno
- Vanadio

**MATERIAL PARTICULADO:** Éste material está compuesto por partículas líquidas o sólidas que pueden ser de origen natural, resultantes de procesos como la erosión, las erupciones volcánicas y los incendios, o de origen antropogénico, provenientes del uso de combustibles fósiles en la industria y el transporte, de actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos, entre otros.

Una de las características físicas más importantes de este material es su diámetro de partícula por el riesgo que representa para la salud humana, puesto que una parte puede ingresar al tracto respiratorio y producir daños en los tejidos y órganos que lo conforman o servir como vehículo para bacterias y virus. Son de mayor interés las partículas PM10 y PM2.5. Las primeras son aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micras. Las de PM2.5 tienen tamaño menor o igual a 2.5 micras, y se asocian a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios

(sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas).

**GASES CONTAMINANTES:** Los contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire son el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y ozono (O<sub>3</sub>), gases producto principalmente del uso de combustibles fósiles y de reacciones fotoquímicas ocurridas en la atmósfera.

**HIDROCARBUROS TOTALES:** Los hidrocarburos son sustancias que contienen hidrógeno y carbono. El estado físico de los hidrocarburos, de los que se conocen decenas de millares, depende de su estructura molecular y en particular del número de átomos de carbono que forman su molécula. El metano surge fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica en ambientes pobres en oxígeno. El resto de hidrocarburos tiene origen natural como los terpeno y antropogénico como los combustibles no quemados, disolventes, entre otros compuestos gaseosos de Cloro inorgánico, dados como ácido Clorhídrico (HCl). Compuestos gaseosos de Flúor inorgánico, dados como Fluoruro de Hidrógeno (HF).

**PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE EMISIONES:** Durante la evaluación de emisiones contaminantes, se pueden emplear los procedimientos de manera única o se pueden emplear dos o más para determinar la veracidad de la información obtenida en la cuantificación de las emisiones. Cuando sea posible utilizar varios métodos para la evaluación de emisiones, se debe dar prioridad a la medición directa, seguido por el balance de masas y los factores de emisión.

**FACTORES DE EMISIÓN:** Un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una unidad de actividad asociada a dicha emisión, como por ejemplo la cantidad de material procesado o la cantidad de combustible usado. Para el cálculo de emisiones por proceso, se debe analizar

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

**MEDICIÓN DIRECTA:** La información obtenida a través de la medición directa es la más apropiada para verificar el cumplimiento normativo y los requerimientos que establezca la autoridad ambiental. La medición directa se realiza a través de procedimientos manuales o mediante la utilización de analizadores instrumentales. El procedimiento manual corresponde a la captura de la muestra en la chimenea o ducto de la fuente y su posterior análisis en laboratorio. El analizador instrumental es un equipo que mide directamente la concentración de contaminantes una vez se conecta a la chimenea o ducto de emisión. Este equipo se puede emplear de manera eventual o permanente.

La técnica de monitoreo isocinético permite evaluar las emisiones por chimenea y determinar el flujo de los gases de la misma, como también recoger emisiones de material particulado en el equipo de muestreo. La muestra recogida es enviada al laboratorio para analizarla y cuantificar la concentración. El muestreo isocinético permite determinar la masa de contaminante por unidad de tiempo, de material emitido a través de un ducto o chimenea hacia la atmósfera.

Para determinar la concentración de material emitido se hace pasar una muestra del gas efluente a través de un tren de muestreo durante un tiempo determinado. El contaminante es recolectado en un filtro (para material particulado) o absorbido en una sustancia apropiada (para contaminantes gaseosos como el SO<sub>2</sub>.) La cantidad de material emitido se determina por peso, para el material particulado o por métodos químicos o instrumentales, para el caso de los gases. El volumen de gas muestreado en función de su velocidad de salida y el diámetro de la chimenea. Durante el monitoreo se busca que la muestra de gas sea tomada a

una velocidad aproximadamente igual a la de los gases de salida por chimenea, con una variación permisible de más o menos 5%. Este criterio, que es un indicador de la buena calidad de un muestreo, debe cumplirse, y es lo que se denomina como Porcentaje de Isocinetismo.

**MÉTODOS EMPLEADOS PARA REALIZAR LA MEDICIÓN DIRECTA:** La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) estableció una serie de métodos para la determinación de emisiones contaminantes a la atmosfera, entre los cuales se encuentran muestreo en la fuente y factores de emisión.

**FILTRO DE MANGAS O DE TELA:** En estos equipos el flujo contaminado pasa por un medio filtrante que por lo regular es de tela. Son equipos de gran eficiencia ya que llegan a capturar partículas de menos de 0.5 de micra con 99% de eficiencia. Sus limitantes son la temperatura y la humedad; ya que no pueden manejar flujos a más de 200 °C y deben estar totalmente secos, de lo contrario se queman las bolsas o se apelmaza el polvo y tapan las bolsas.

## INTRODUCCIÓN

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

El nuevo marco normativo sobre la prevención y control de la contaminación atmosférica obliga a las industrias a la planificación, gestión y control de las fuentes fijas y procesos que generan emisiones atmosféricas y a la correspondiente solicitud del permiso de emisiones mediante la estructuración e implementación de un plan de manejo y control de emisiones atmosféricas por fuentes fijas.

Más que un requerimiento de la autoridad ambiental permite que las empresas identifiquen sus procesos críticos y fuentes fijas que pueden causar afectación al medio ambiente por la generación de emisiones atmosféricas.

Con el presente documento se quiere realizar el plan para el manejo y control de emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas que permita a una empresa del sector de Autopartes cumplir con la normatividad ambiental vigente aplicable mediante la realización de un diagnóstico preliminar de los procesos y fuentes fijas con el propósito de obtener información relacionada con los parámetros exigidos por la normativa ambiental, diseñar las chimeneas y plataformas teniendo en cuenta los requerimientos técnicos especificados en el protocolo para fuentes fijas, desarrollar una metodología para la realización de los muestreos a cada una de las fuentes fijas y la comparación respecto a los parámetros exigidos por la normativa ambiental con el fin de determinar que tecnologías son las más

adecuadas para el control de emisiones atmosféricas producidas por las fuentes fijas y los procesos productivos.

## 1. GENERALIDADES

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

En la Agenda 21 de la Conferencia de Río de Janeiro se recomienda a los países proteger y controlar las emisiones de contaminantes al ambiente, en España se ratificó el Convenio de Ginebra sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza y en otros convenios se mantienen los compromisos de control de emisiones a la atmosfera mediante los siguientes Protocolos:

- El Protocolo de Oslo, de 1994, sobre reducciones adicionales de las emisiones de dióxido de azufre.
- El Protocolo de Génova, de 1991, referente al control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles o de sus flujos transfronterizos.
- El Protocolo de Sofía, de 1988, referente al control de los óxidos de nitrógeno o de sus flujos transfronterizos.

Anteriormente, en Colombia existía poca información sobre la calidad del aire, lo que conllevó a que las diferentes corporaciones del país implementaran estudios para determinar la calidad del recurso aire. Uno de los principales problemas fue la falta de conocimiento por parte de las autoridades ambientales acerca de los niveles de contaminación allí presentes.

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

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

Para el desarrollo del proyecto se tomó como base principal las normas establecidas para control de emisiones por fuentes fijas a nivel nacional y a nivel local.

**Decreto 948 de 1995:** Contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, de alcance general y aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, las directrices y competencias para la fijación de las normas de calidad del aire o niveles de inmisión, las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera.

**Resolución 909 de 2008:** Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. En el capítulo II se encuentran los estándares admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas puntuales de actividades industriales.

**Resolución 6982 de 2011:** Por la cual se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire. Establece las normas y los estándares de emisión admisibles de

contaminantes al aire para fuentes fijas en el perímetro urbano del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones.

**Resolución 0760 de 2010:** Por el cual se adopta el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosféricas generada por fuentes fijas.

**Resolución 2153 de 2010:** Por el cual se ajusta el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación Atmosféricas generadas por Fuentes fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010.

**Resolución 619 de 1997:** Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas. El Ministerio del Medio Ambiente consagra los casos que requieren permiso previo de emisión atmosférica para regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente y el uso, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales con el fin de mitigar o eliminar el impacto de actividades contaminantes del entorno, determinar las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general aplicables a todas las actividades que puedan generar directa o indirectamente daños ambientales.

## 2. METODOLOGIA

Inicialmente se propone el procedimiento de cómo se debe efectuar un reconocimiento de los procesos productivos de las empresa para determinar si se constituyen como fuentes emisoras de contaminantes, un diagnóstico inicial de los equipos generadores de emisiones y las respectivas chimeneas de acuerdo a los lineamientos establecidos en el protocolo de fuentes fijas elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), el estudio de este protocolo suministra los parámetros para adecuar las chimeneas y las plataformas, lo que permite la realización de los monitoreos de las fuentes Fijas.

Se plantea el método para realizar una inspección detallada y una caracterización de cada una de las fuentes fijas determinando las condiciones iniciales y revisando las características de funcionamiento de los equipos generadores de emisiones.

Se establecen los procedimientos necesarios para la realización de los muestreos isocineticos en cada una de las fuentes fijas para determinar las concentraciones de cada uno de los parámetros establecidos por la Resolución 6982 del 2011.

Se plantea como se debe comparar los resultados obtenidos en el monitoreo de acuerdo a la norma y se proponen las tecnologías de control de los contaminantes atmosféricos más apropiados de acuerdo al proceso productivo y las fuentes fijas que se tienen en este tipo de empresas.

### **3. DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO**

El sector de autopartes tiene diferentes tipos de procesos productivos que se llaman líneas de producción, para el desarrollo específico de este trabajo se tomó como ejemplo el proceso de Manufactura de material de fricción para vehículos automotores pesados. A continuación se describen los aspectos generales del proceso.

#### **3.1 MEZCLADO**

Alistamiento y pesaje de materias primas para luego realizar el proceso de homogenización en seco de diferentes materias primas en dos mezcladores, que permiten la integración óptima de las mismas en un producto final denominado mezcla.

#### **3.2 FORMADO**

Dosificación uniforme de la mezcla en bolsas, en proporciones definidas de peso y tamaño, donde se obtiene como resultado preformas de material de fricción. El proceso se realiza automáticamente en la prensa de formado, semiautomático en las prensas de formado en caja o proceso manual de formado en bolsa en las dosificadoras.

#### **3.3 CURADO**

Aplicación de presión y temperatura a una preforma de material de fricción en prensas hidráulicas, para lograr un producto semielaborado denominado teja, con el fin de favorecer y facilitar la reacción química del material aglutinante presente en la preforma asegurando su compactación.

### **3.4 HORNEADO**

Las tejas pasan a un post curado a una temperatura definida para terminar el proceso de fijación de los materiales presentes. Se realiza en los dos hornos grandes de acuerdo a lo formulación que se esté trabajando.

### **3.5 TERMINADOS**

Corte: La teja se pasa por las sierras circulares de la cortadora, para dar la medida al segmento de acuerdo a las diferentes referencias que se manejan por cliente.

Rectificado interior: se procesa para darle al segmento el radio interno requerido para cada referencia.

Rectificado exterior: se procesa para darle al segmento el radio externo de acuerdo a cada referencia.

Perforado: el perforado son los agujeros para el alojamiento del remache, tornillo o para un agujero pasante para el sensor de desgaste.

Mecanizado: Es el proceso que comprende un conjunto de operaciones de eliminación de material hasta cumplir las especificaciones para cada referencia de acuerdo al listado de mecanizados.

Finalmente el material es marcado, pintado y empacado, para su almacenamiento, venta y distribución al cliente final.

### **3.6 INFORMACION ESPECÍFICA DE CADA FUENTE**

Para realizar la medición, control y seguimiento de las fuentes fijas de forma completa y certera se debe recolectar información técnica específica de cada



fuelle, condiciones de operación, tipo de combustible, consumos, zona de operación, características de la chimenea, plataforma, entre otros, esta información permite realizar las mediciones de forma precisa.

A continuación se presenta un ejemplo del formato que se puede utilizar para recolectar la información de los tres diferentes tipos de fuentes:

**Cuadro 1.** Ejemplo del formato para recolección de Información técnica de una Caldera

<b>FICHA TECNICA CALDERA 3</b>		
	<b>AÑO FABRICACION</b>	02/06/1905
	<b>MARCA</b>	DISTRAL
	<b>MODELO</b>	DA3
	<b>NUMERO DE SERIE</b>	A 1410
	<b>TIPO DE CALDERA</b>	Pirotubular
	<b>ZONA DE TRABAJO</b>	Servicios generales
	<b>USO</b>	Funcionamiento de prensas para el curado de material de fricción
	<b>CAPACIDAD DE FUENTE</b>	100 BHP
	<b>PRESION DE VAPOR PSI</b>	200
	<b>ESTADO</b>	Operando
	<b>HORAS DE TRABAJO (Lun-Sab)</b>	Respaldo w/A 0406
	<b>HORAS DE TRABAJO SABADO</b>	0
	<b>HORAS DE TRABAJO DOMINGO</b>	0
	<b>FRECUENCIA DE OPERACIÓN</b>	Diaria
<b>TIPO DE COMBUSTIBLE</b>	Gas Natural	
<b>PROVEDOR COMBUSTIBLE</b>	Gas Natural	
<b>MANTENIMIENTO</b>	15 días	
<b>CONSUMO GAS NATURAL</b>	8038,56 m3/mes	
<b>INFORMACION DUCTO (CHIMENEA)</b>		
<b>TIPO DE CHIMENEA</b>	CIRCULAR	
<b>DIAMETRO CHIMENEA</b>	0,34	
<b>ALTURA DE CHIMENEA</b>	21,7 m	
<b>MATERIAL CHIMENEA</b>	ACERO	
<b>ESTADO DE CHIMENEA</b>	BUEN ESTADO	
<b>PUERTOS DE MUESTREO</b>	SI	
<b>NUMERO DE NIPLES</b>	2	
<b>DISTANCIA ENTRE NIPLES</b>	90°	
<b>ALTURA NIPLE</b>	8 Diametros ducto	
<b>PLATAFORMA</b>	SI	
<b>PARAMETRO MEDICION</b>	MP	
	Nox	
	SO2	
<b>Cumple los 8 diametros</b>	SI	
<b>Cumple los 2 diametros</b>	SI	



**Cuadro 2.** Ejemplo del formato para recolección de Información técnica de un Colector

FICHA TECNICA COLECTOR 6		
	<b>TIPO</b>	Centrifugo
	<b>MARCA</b>	COIN
	<b>AÑO DE FABRICACION</b>	06/01/2001
	<b>NUMERO DE SERIE</b>	93394
	<b>CAPACIDAD DE TRABAJO</b>	HEAVY DUCTY (Trabajo pesado)
	<b>POTENCIA ELECTRICA</b>	37 HP (Motor AC + Electrovalvulas)
	<b>POTENCIA MOTOR</b>	50 HP A 1800rpm IE2
	<b>ENERGIA</b>	440 Vol - 90 Amp - 50 HP
	<b>CAPACIDAD TOTAL CFM</b>	16000
	<b>CAPACIDAD UTILIZADA</b>	13420
	<b>AREA FILTROS</b>	3200
	<b>CANTIDAD DE MANGAS</b>	169
	<b>ZONA DE TRABAJO</b>	Terminados 1 y 4
	<b>ESTADO</b>	Operando
	<b>Longitud</b>	2,4 m
	<b>Ancho</b>	1,2 m
	<b>Alto</b>	2 m
	<b>Peso Aprox</b>	1450 kg
	<b>Volumen</b>	7,2 m <sup>3</sup>
	<b>FRECUENCIA DE OPERACIÓN</b>	2/MES
<b>TIPO DE COMBUSTIBLE</b>	CORRIENTE ELECTRIACA	
<b>PROVEEDOR</b>	ISAGEN	
<b>CONSUMO kW/hora</b>	38.04	
<b>CONSUMO kW/mes</b>	21914.49	
<b>MANTENIMIENTO</b>	MENSUAL	
INFORMACION DUCTO (CHIMENEA)		
<b>TIPO DE CHIMENEA</b>	Circular	
<b>DIAMETRO</b>	0.68	
<b>ALTURA</b>	14.6	
<b>MATERIAL</b>	Acero	
<b>ESTADO</b>	En buen estado	
<b>PUERTOS DE MUESTREO</b>	SI	
<b>NUMERO DE NIPLES</b>	2	
<b>DISTANCIA ENTRE NIPLES</b>	90°	
<b>ALTURA NIPLE (8 Diametros ducto)</b>	8 Diametros ducto	
<b>Cumple los 8 diametros</b>	SI	
<b>Cumple los 2 diametros</b>	SI	
<b>PLATAFORMA</b>	SI	
<b>PARAMETRO</b>	Material Particulado	

**Cuadro 3.** Ejemplo del formato para recolección de Información técnica de un colector Rectangular

FICHA TECNICA COLECTOR 7		
	<b>TIPO</b>	Colector de Mangas / Ven Centrifugo
	<b>MARCA</b>	COIN
	<b>AÑO DE FABRICACION</b>	09/01/1997
	<b>POTENCIA ELECTRICA</b>	37 HP (Motor AC + Electrovalvulas)
	<b>DISEÑO VENTILADOR</b>	16
	<b>CAPACIDAD TOTAL CFM</b>	10500
	<b>CAPACIDAD UTILIZADA CFM</b>	5218
	<b>ZONA DE TRABAJO</b>	Mezclado
	<b>ESTADO</b>	Operando
	<b>VOLTAJE PRIMARIO</b>	440 V AC
	<b>VOLTAJE ELECTRO VALVULAS</b>	110 V AC
	<b>VOLTAJE DE CONTROL</b>	110 V AC
	<b>VENTILADOR</b>	"Chicago Blower" (Centrifugo, Diseño 16, Tamaño 21LS)
	<b>MOTOR VENTILADOR</b>	36 HP, 1780 RPM, 440 V AC
	<b>ELECTRO VALVULAS</b>	"Neumatics" 5/2 Monoestable
	<b>CONTROL PLC</b>	"Telemecanique" TSX 17
	<b>AIRE</b>	80 PSI
<b>FRECUENCIA DE OPERACIÓN</b>	2/MES	
<b>TIPO DE COMBUSTIBLE</b>	CORRIENTE ELECTRCIA	
<b>PROVEEDOR</b>	ISAGEN	
<b>CONSUMO kW/hora</b>	27.61	
<b>CONSUMO kW/mes</b>	15900	
<b>MANTENIMIENTO</b>	MENSUAL	
INFORMACION DUCTO (CHIMENEA)		
<b>TIPO DE CHIMENEA</b>	Rectangular	
<b>DIMENSIONES DUCTO RECTANGULAR CHIMENEA</b>	51 cm	
	45 cm	
<b>ALTURA</b>	16.4	
<b>MATERIAL</b>	Acero	
<b>ESTADO</b>	En buen estado	
<b>PUERTOS DE MUESTREO</b>	SI	
<b>NUMERO DE NIPLES</b>	3	
<b>ALTURA NIPLE</b>	8 Diametros ducto	
<b>Cumple los 8 diametros</b>	SI	
<b>Cumple los 2 diametros</b>	SI	
<b>PLATAFORMA</b>	SI	
<b>FECHA ULTIMO MUESTREO</b>	30/06/2011	
<b>PLATAFORMA</b>	SI	
<b>PARAMETRO</b>	Material Particulado (mg/m3)	

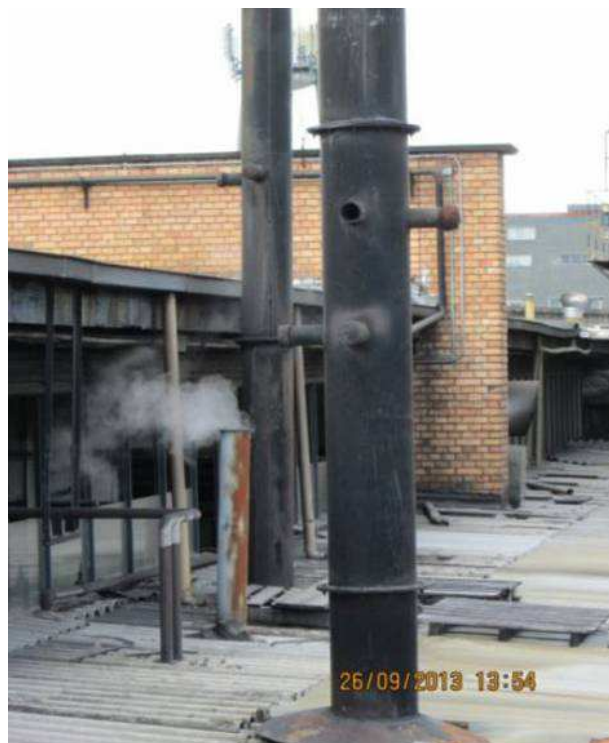
**Cuadro 4.** Ejemplo del formato para recolección de Información técnica de un Horno

<b>FICHA TECNICA HORNO 8</b>		
	AÑO FABRICACION	2006
	MARCA	SIFAP
	MODELO	HEG55
	NUMERO DE SERIE	1030706
	POTENCIA DEL MOTOR	5 HP x 2
	POTENCIA QUEMADOR	800000 BHP/H
	ZONA DE TRABAJO	Curado
	ESTADO	Operando
	CAPACIDAD DE FUENTE	800,000BTU
	HORAS DE TRABAJO (LUN - Vier)	25
	HORAS DE TRABAJO SABADO	NO
	HORAS DE TRABAJO DOMINGO	NO
	FRECUENCIA DE OPERACIÓN	100horas/mes
	TIPO DE COMBUSTIBLE	Gas natural
PROVEDOR COMBUSTIBLE	Gas natural	
MANTENIMIENTO	Mensual	
CONSUMO GAS NATURAL	10m3/hora - 1000m3/mes	
<b>INFORMACION DUCTO (CHIMENEA)</b>		
TIPO DE CHIMENEA	CIRCULAR	
DIAMETRO CHIMENEA	0,35m	
ALTURA DE CHIMENEA	18,3m	
MATERIAL CHIMENEA	ACERO	
ESTADO DE CHIMENEA	Bueno	
PUERTOS DE MUESTREO	SI	
NUMERO DE NIPLES	2	
DISTANCIA ENTRE NIPLES	90 °	
ALTURA NIPLE	8 Diametros del ducto	
Cumple los 8 diametros	SI	
Cumple los 2 diametros	SI	
PLATAFORMA	SI	
PARAMETROS MEDICION	MP	
	Nox	

#### 4. DIAGNOSTICO INICIAL FUENTES FIJAS DE LA EMPRESA

Para realizar el diagnóstico inicial de las fuentes fijas se plantea a continuación un ejemplo que se puede utilizar para una empresa de autopartes que tenga tres tipos diferentes de fuentes fijas: hornos, calderas y filtros de mangas. Dentro del diagnóstico se debe verificar que las instalaciones sean adecuadas para realizar el muestreo por el laboratorio contratado, las especificaciones técnicas que se deben tener en cuenta para esta revisión se toman del Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas versión 2 de Octubre de 2008 adoptado por el Ministerio de Ambiente, según lo dispuesto en el artículo 72 de la Resolución 909 del 5 de junio de 2008.

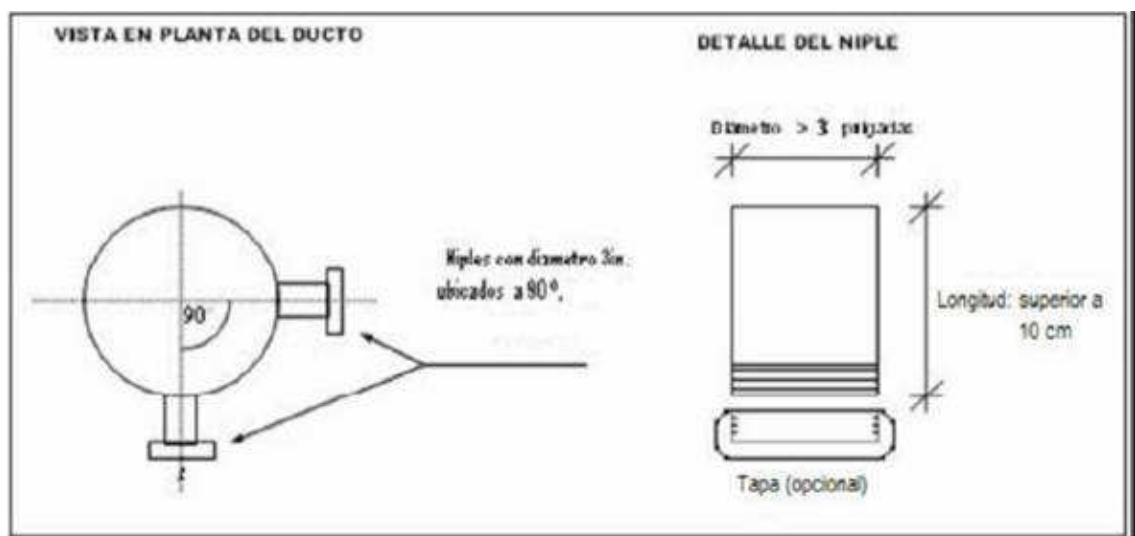
**Imagen 1** Ejemplo de la chimenea de una caldera



En el diagnóstico de las chimeneas de cada una de las fuentes se debe revisar que cuenten con dos Niples que tengan su correspondiente tapa del mismo diámetro, la tapa que sea fácil de quitar, que impida el ingreso de elementos que puedan modificar las condiciones físicas internas del ducto. La altura de los Niples debe estar a ocho veces el diámetro de la chimenea.

Se debe asegurar que los dos Niples formen entre si un ángulo de 90°, los bordes internos de los puertos deben coincidir con el diámetro interno de la chimenea para que no interfiera con el flujo de los gases de salida. La longitud de los niples debe ser de mínimo 10 cm de longitud y de 3 a 4 pulgadas de diámetro.

**Ilustración 1** Esquema de la ubicación y dimensiones de los puertos de toma de muestra (Niples)



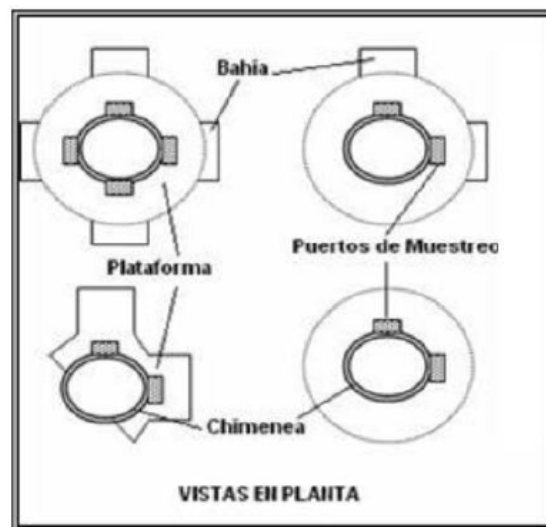
**Fuente:** Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas versión 2 de Octubre de 2008

Se debe adecuar una plataforma, debe permitir una distancia mínima de 1 m entre el equipo que se utilice para la medición y los obstáculos más cercanos tales como paredes o columnas, entre otros (área libre para la ubicación y manipulación del tren de toma de muestra). La plataforma debe contar con piso y escaleras firmes y

antideslizantes que soporten el peso (como mínimo 3 personas y el equipo de toma de muestra). La plataforma debe contar con un suministro de energía de 110 voltios con polo a tierra y protección necesaria para evitar cortocircuitos y choques eléctricos. La base de la plataforma deberá estar a una distancia vertical de los puertos o niples, que permita maniobrar cómodamente los equipos y los dispositivos de toma de muestra (entre 1,2 y 1,6 metros).

Debe tener acceso seguro a la plataforma de toma de muestra con escaleras resistentes y antideslizantes para el acceso del personal responsable de la medición y de los equipos, contar con los dispositivos que permitan la instalación adecuada de los instrumentos de medición. La escalera debe tener como mínimo un ancho de 1 m y debe contar con baranda de protección (para el caso de escaleras perimetrales la altura de la baranda debe ser de mínimo de 1m).

**Ilustración 2** Tipos de plataforma de toma de muestra

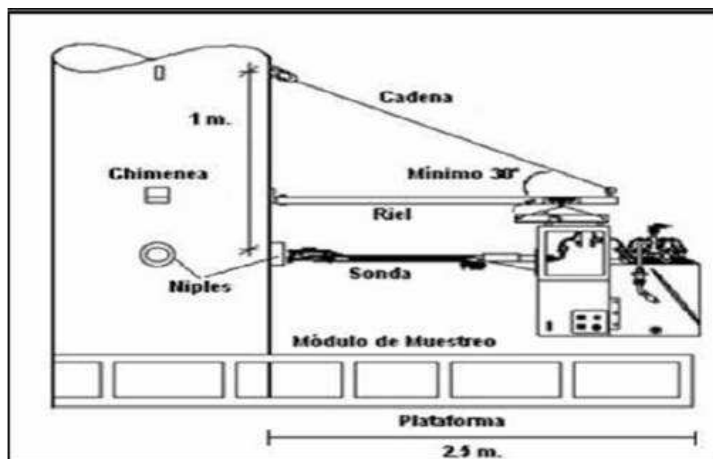


**Fuente:** Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas versión 2 de Octubre de 2008

El ducto o chimenea debe contar con dispositivos de anclaje de la guaya o cadena que soporte el tren de toma de muestra, debe estar ubicado como mínimo a 1 m

de la parte central del niple con dirección vertical hacia arriba; se requiere un dispositivo por cada niple para que el tren de toma de muestra pueda ser desplazado a cada uno de los puertos.

**Ilustración 3** Esquema del ducto y soporte para el equipo de toma de muestra



**Fuente:** Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas versión 2 de Octubre de 2008

Se debe ubicar una platina de las siguientes medidas: largo 10 cm, alto 3mm y ancho 4.3 cm. Se debe ubicar a 32 cm de la parte central del niple.

**Imagen 2** Chimenea colector

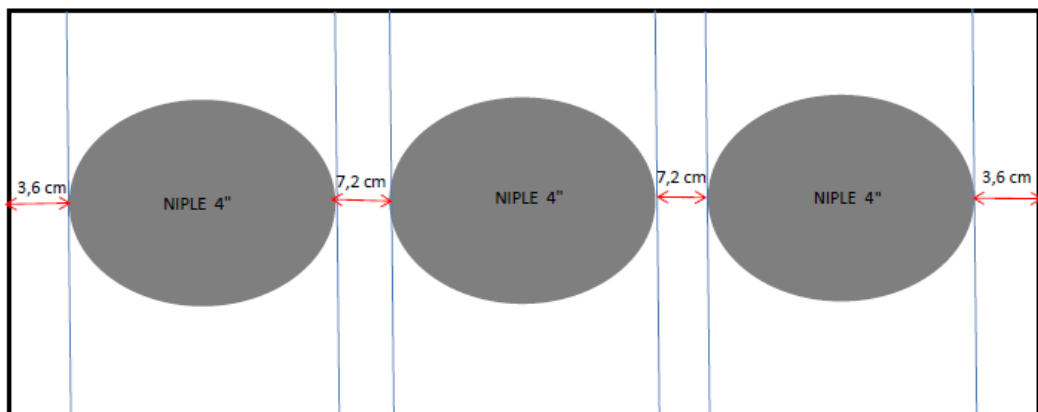


En el caso de la chimenea rectangular se deben ubicar tres niples, de tal forma que queden a la misma altura pero separados con la misma distancia. La longitud de cara donde se encuentran los niples se debe dividir en tres partes iguales.

**Imagen 3** Chimenea rectangular



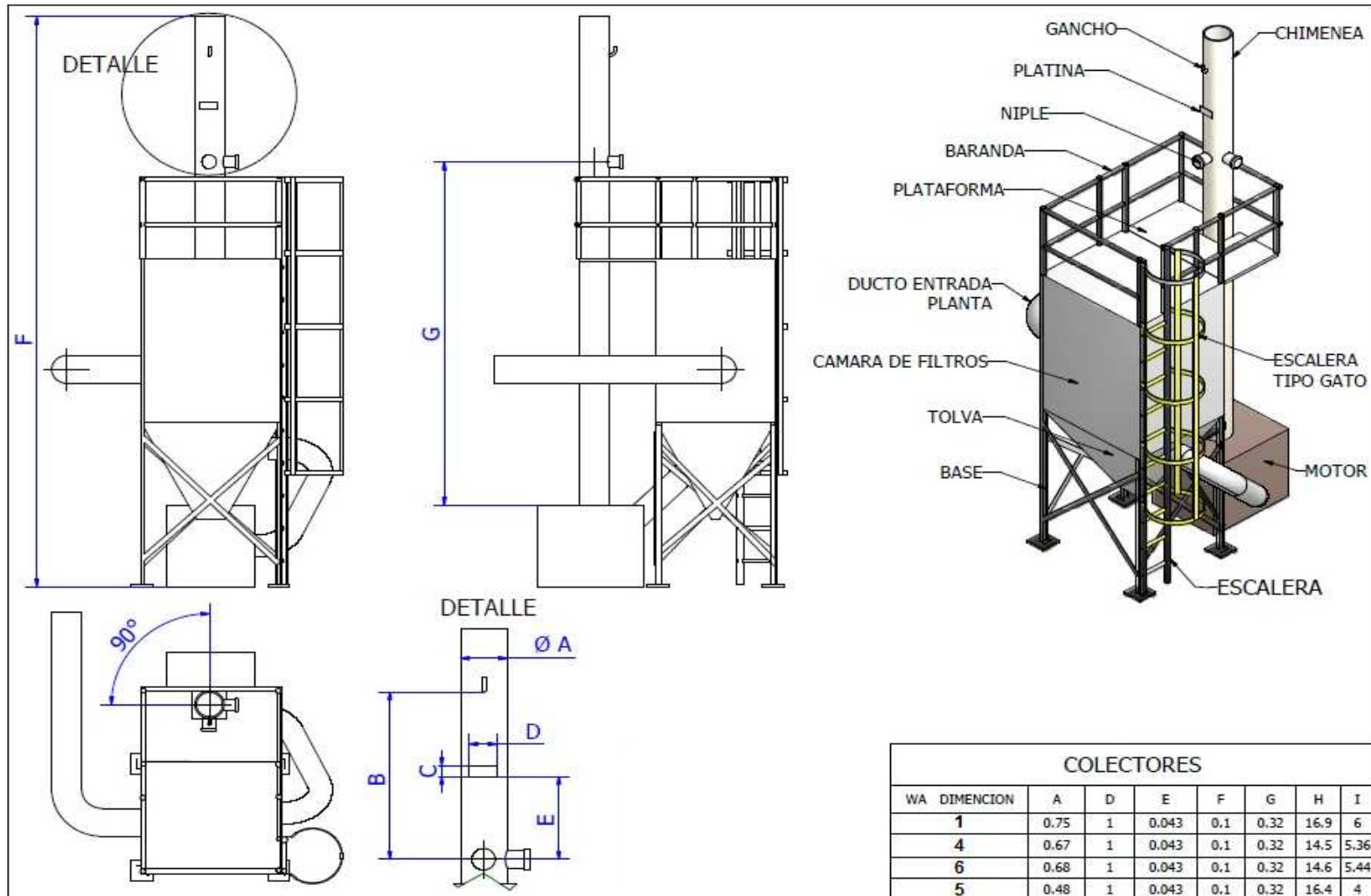
**Ilustración 4** Adecuaciones requeridas de los niples chimenea colector 7



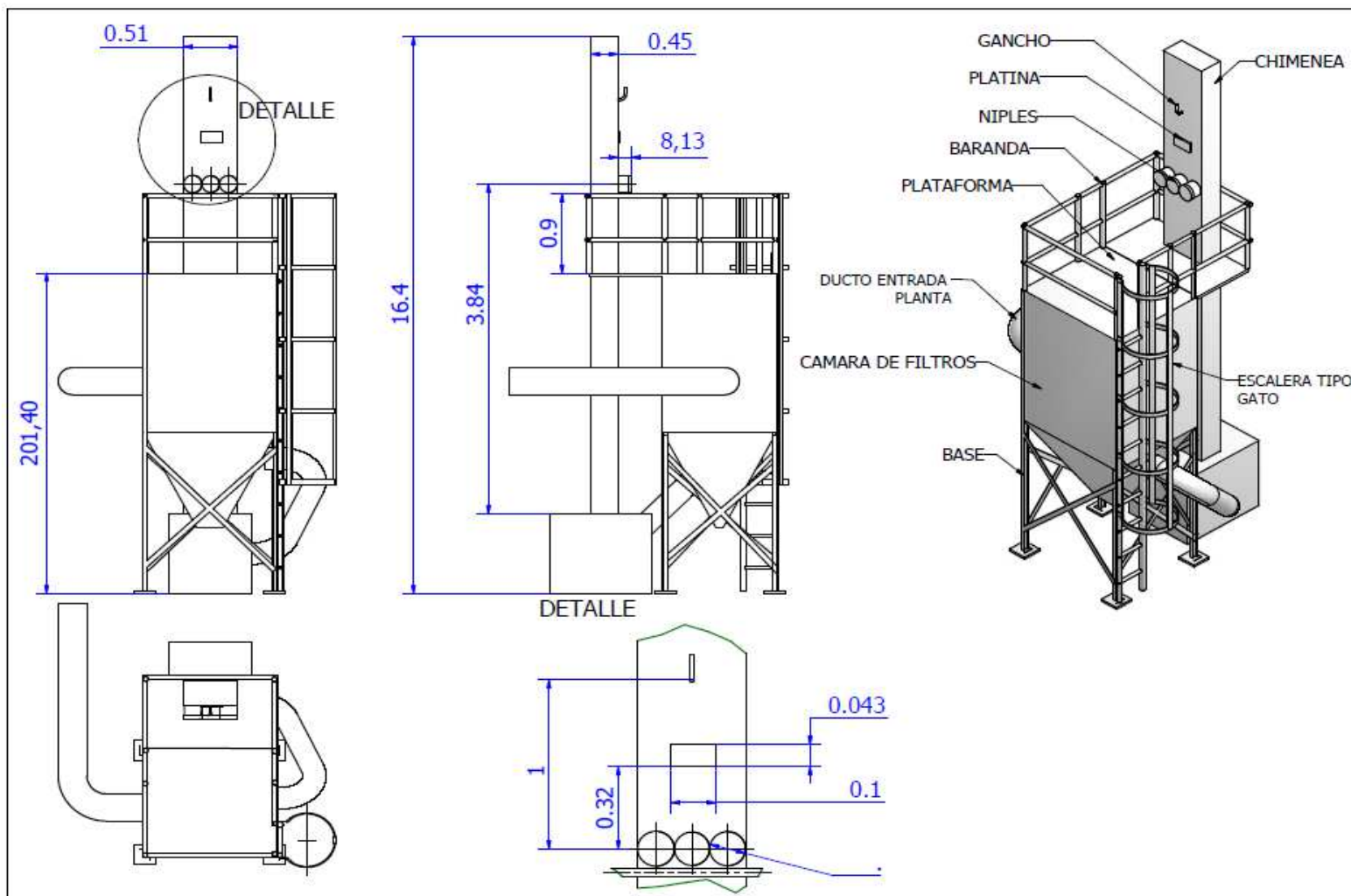
#### **4.1 DISEÑO Y ADECUACIONES DE LAS FUENTES FIJAS**

De acuerdo al diagnóstico realizado a las fuentes y las recomendaciones presentadas para cumplir con lo exigido por el Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas a continuación se presentan los diseños de las adecuaciones que se tienen que hacer para cada una de las fuentes fijas:

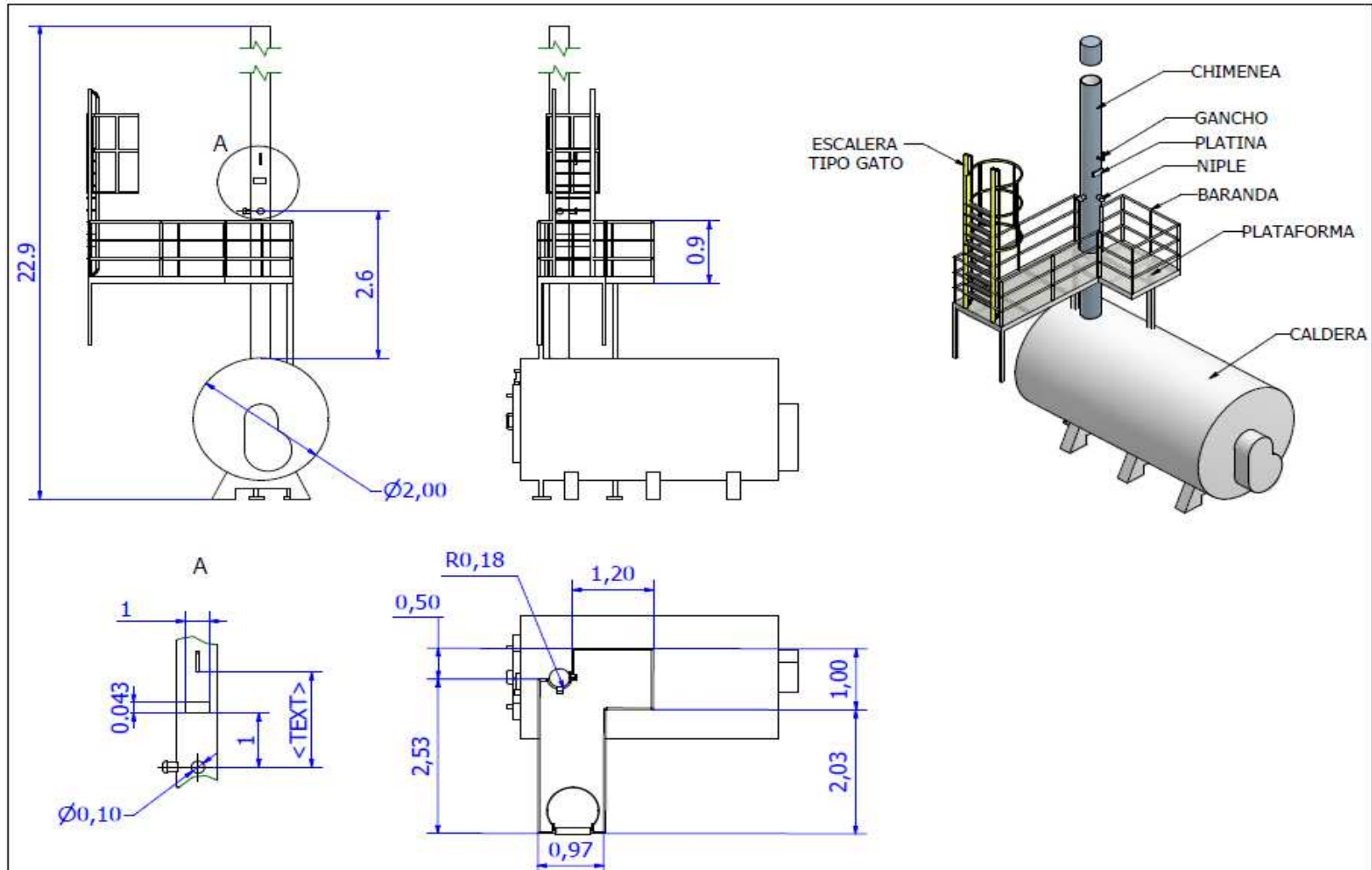
**Ilustración 5** Diseño de un colector, chimenea y plataforma



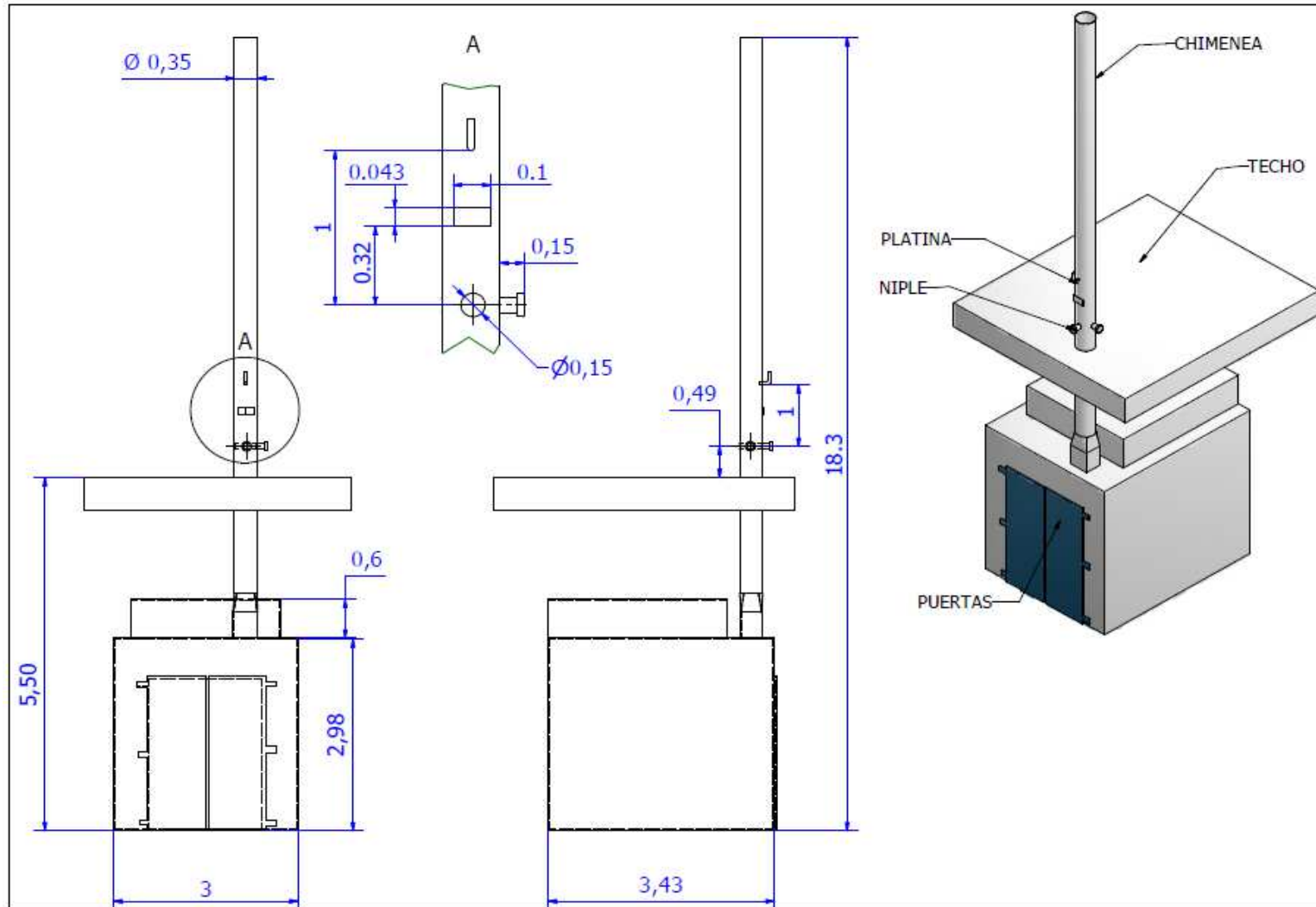
**Ilustración 6** Diseño de un colector rectangular, chimenea y plataforma



**Ilustración 7** Diseño de la caldera, chimenea y plataforma



**Ilustración 8** Diseño de un Horno, chimenea y plataforma



## **5. METODOLOGIA PARA REALIZAR MEDICIONES ISOCINETICAS EN LAS FUENTES FIJAS**

La metodología y los procedimientos que se aplican para realizar los monitoreos son los protocolos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, US-EPA METHODS, publicados en el Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos, CFR, título 40 apéndice A parte 60 adoptados por el Ministerio de Ambiente de la República de Colombia para la certificación de emisiones generadas por fuentes fijas.

Para obtener resultados confiables mediante la aplicación de métodos de muestreo y análisis de referencia de la EPA en las fuentes fijas se debe mantener el porcentaje de isocinetismo en el intervalo aceptable de 90% a 110%.

La evaluación y toma de muestra se debe realizar en condiciones de estado y flujo estable del proceso de combustión.

### **5.1 DETERMINACIÓN DE PUNTOS TRANSVERSALES (MÉTODO US-EPA 1)**

Consiste en determinar los sitios (rejilla imaginaria) donde se ubicara la sonda de muestreo para integrar una muestra de gas en una sección transversal dentro de la chimenea. Este cálculo se realiza mediante una hoja electrónica de Excel, denominada ISOCALC. Los datos de entrada para el cálculo de los puntos de muestreo corresponde a la geometría de la chimenea: diámetro interno en la sección transversal, número de puertos de muestreo y distancias rectas libres corriente arriba y abajo hasta las perturbaciones más cercanas.

## 5.2 DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DEL GAS Y FLUJO VOLUMÉTRICO (MÉTODO US-EPA 2)

Se determina mediante un tubo de Pitot tipo S conectado mediante líneas de presión al manómetro diferencial de la consola, el cual se nivela y se ajusta el cero de la escala que está en pulgadas de agua. La diferencia de presión positiva (de impacto) y estática producida por el flujo de gases en el ducto, se mide y se registra para cada uno de los puntos determinados en el método anterior (Método EPA 1) y se determina la velocidad promedio mediante la ecuación 1 del método US- EPA 2.

$$V_s = K_p C_p \sqrt{P_{avg}} \sqrt{\frac{T_s}{P_s M_s}}$$

- $V_s$  = Velocidad promedio del gas en la chimenea (ft/s)  
 $K_p$  = Constante (sistema ingles):  $85,49 \frac{ft}{s} \left[ \frac{(lb/lb-mol)(in Hg)}{(R)(in H_2O)} \right]^{1/2}$   
 $C_p$  = Coeficiente del tubo de Pitot, adimensional  
 $P_{avg}$  = Cabeza de velocidad promedio del gas (in H<sub>2</sub>O)  
 $T_s$  = Temperatura absoluta del gas (R)  
 $P_s$  = Presión absoluta del gas (in Hg)  
 $M_s$  = Peso molecular del gas en base húmeda (lb/lb-mol)

El flujo volumétrico se calcula mediante la Ecuación 2 del método EPA 2, la velocidad promedio en el ducto es el promedio aritmético de las velocidades en cada punto transversal.

$$Q = 3600(1 - B_{wa}) V_s A \left[ \frac{T_{ref} P_s}{T_s P_{ref}} \right]$$

$Q$	= Flujo volumétrico estándar seco promedio en el ducto.
$B_{ws}$	= Fracción de vapor de agua en el gas de chimenea.
$V_s$	= Velocidad promedio del gas en la chimenea (m/s).
$A$	= Área de flujo, m <sup>2</sup> .
$T_{ref}$	= Temperatura de referencia, 293 K.
$P_{ref}$	= Presión de referencia, 760 mm Hg.

### 5.3 DETERMINACIÓN DEL PESO MOLECULAR SECO DEL GAS (MÉTODO US-EPA 3)

Se calcula el peso molecular seco del gas de chimenea mediante su composición Orsat, es decir, determinando contenido de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO), y desconectando del volumen de muestra la humedad del gas. Se toman tres muestras puntuales y se determina el promedio. El porcentaje de nitrógeno (N<sub>2</sub>) se obtiene de restar a 100%, el porcentaje dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) y el porcentaje de monóxido de carbono (CO).

$$PM = 0,44 * (\%CO_2) + 0,32 * (\%O_2) + 0,28 * (\%CO) + 0,28 * (\%N_2)$$

### 5.4 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN GASES DE CHIMENEA (MÉTODO US-EPA 4)

Consiste en tomar un volumen conocido de muestra que debe ser mínimo de 600 litros para disminuir el error. La humedad del gas se condensa mediante el uso de dos burbujeadores con agua y un cono silica gel, sumergidos en un baño de agua/hielo.

La diferencia entre los volúmenes finales e iniciales de agua en cada burbujeador, y de peso en la silica gel, de la ganancia neta de agua condensada, que dividida por el volumen de muestra da el contenido de humedad del gas.

## **5.5 DETERMINACIÓN EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN FUENTES FIJAS (MÉTODO US-EPA 5)**

Consiste en succionar en forma isocinetica en los puntos de muestreo de la chimenea un volumen conocido de gases, para obtener una muestra representativa de la concentración de partículas en el gas efluente. La condición de isocinetismo depende de la temperatura, la presión y el flujo de gas (Método EP 2), el peso molecular (Método EPA 3), la humedad del gas (Método EPA 4) y el diámetro de boquilla que se utilice durante la succión.

El gas extraído de la chimenea ingresa por la boquilla, seguidamente por la sonda y pasa por un tren de muestreo, conformado por un filtro de fibra de vidrio o fibra de cuarzo, en ambos casos se mantiene caliente a temperatura 120 +/- 14°C para evitar condensación de humedad, y el tren de burbujeadores que se mantienen a temperatura inferior a 20°C para condensar y determinar la humedad del gas como se describe en el Método EPA 4.

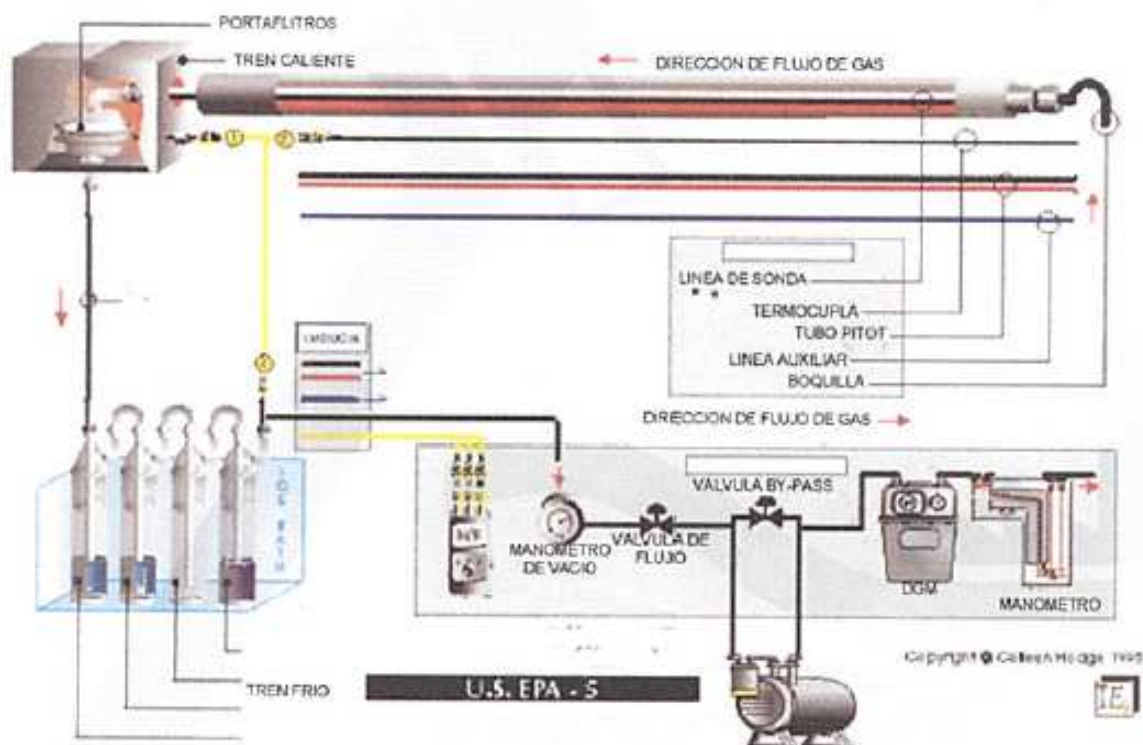
En la recuperación de la muestra se realizan tres lavados a la sonda y la boquilla empleando 100 ml de acetona que se depositan en un contener rotulado y con marca de nivel. El filtro empleado es desecado y pasado antes y después de ser impactado, estas condiciones ambientales de humedad y temperatura son controladas en laboratorio, y suma de la masa de material particulado recuperado en el lavado y el filtro dividido por el volumen de gas muestreado a condiciones de referencia de la concentración de partículas en las emisiones.

El porcentaje de isocinetismo obtenido durante el muestreo se determina utilizando la ecuación 5-7, Método EPA 5:

$$I = \frac{100T_s \left[ K_4 V_{lc} + \frac{(V_m Y)}{T} \left( P_{bar} + \frac{\Delta H}{13.6} \right) \right]}{\theta 60 v_s P_s A_n}$$

- $A_n$  = Área de la sección transversal de la boquilla, m<sup>2</sup> o ft<sup>2</sup>.  
 $P_{bar}$  = Presión barométrica en el sitio de muestreo, mm Hg o in Hg.  
 $P_s$  = Presión absoluta de gas de chimenea, mm Hg o in Hg.  
 $T_s$  = Temperatura absoluta promedio del gas de chimenea, K ó °R.  
 $V_{lc}$  = Volumen total de líquido recolectado en los burbujeadores y la sílica gel, mL – g.  
 $V_m$  = Volumen de la muestra de gas, medido en el MGS, dcm o dcf.  
 $v_s$  = Velocidad del gas de chimenea calculado por la Ecuación 2-7.  
 $Y$  = Factor de calibración del MGS.  
 $\Delta H$  = Diferencia de presión promedio (manómetro diferencial), mm H<sub>2</sub>O o in H<sub>2</sub>O.  
 $\theta$  = Tiempo del ensayo, min.

**Ilustración 9** Montaje del Método EPA 5 para muestreo de material particulado en gases de chimenea.



**Fuente:** Método EPA 5 Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos, CFR.

## **5.6 DETERMINACIÓN EMISIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO EN FUENTES FIJAS (MÉTODO US – EPA 7)**

Se toman cuatro muestras puntuales (no isocinetico) en 25 ml de solución absorbentes de peróxido de hidrogeno en medio acido, mediante vacío, como máximo 75mmHg de presión absoluta en un balón de vidrio de aproximadamente 2 litros, la muestra se agita fuertemente durante 5 minutos.

En la recuperación de muestra transcurrida la reacción (16-24 horas), se agita cada balón por 2 minutos, se registra la presión remanente y la temperatura del balón. Se transfiere el contenido de cada balón a recipientes ámbar, se lava cada balón 2 veces con porciones de 5ml de agua destilada y se adicionan las aguas de lavado al respectivo recipiente. Se ajusta el pH entre 9 y 12 adicionando NaOH 1N y verificando con indicador. Se marca el nivel del líquido en el contenedor (para verificación de fugas luego de transporte) se sella y etiqueta para identificar contenido y balón correspondiente.

En laboratorio son analizadas por absorbancia, se determina la masa total de óxidos de nitrógeno como  $\text{NO}_x$  en cada muestra, se divide en el volumen del balón correspondiente, a condiciones de referencia, lo cual da la concentración  $\text{NO}_x$  en el gas de chimenea. Se reporta el resultado como el promedio aritmético de las concentraciones halladas en las muestras.

## **5.7 DETERMINACION DE HIDROCARBUROS TOTALES DADOS COMO METANO (METODO EPA 25B)**

La determinación de hidrocarburos totales dados como metano es realizada por triplicado y el análisis se efectúa por medición directa NDIR (NON DISPERSIVE INFRARED).

La medición directa en el ducto se realizó con un analizador provisto de: sensor EC para O<sub>2</sub> con resolución 0,1% y rango 0 a 25%; 4 series de sensores electroquímicos para H<sub>2</sub>S con rango 0 a 500ppm y resolución 1ppm; sensor NDIR para C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> con resolución 1ppm rango 0 a 30000; sensor electroquímico de bajo rango para CO y NDIR rango alto para CO; NDIR para CO<sub>2</sub> con resolución 0,1% y rango 0,0 a 20% y una bomba y un sensor adicional para dilución con oxígeno del aire que se enciende cuando la concentración excede el rango bajo, los sensores miden la concentración resultante de la muestra combinada con la corriente de aire y calculan la concentración correcta.

## **5.8 MÉTODO ANALÍTICO PARA MATERIAL PARTICULADO**

Para la determinación de material particulado siguiendo la metodología US-EPA 5 son recuperadas dos muestras por corrida en recipientes separados:

- Recipiente 1: Contiene el filtro con material particulado adherido y/o suelto que haya quedado en el portafiltro luego de ensayo. Generalmente es una caja de Petri.
- Recipiente 2: Contiene los lavados de acetona con las cuales se recuperó el material particulado adherido al interior de la boquilla, la línea de la sonda y la cara frontal del portafiltro. Generalmente se emplea un frasco de vidrio ámbar con tapa.

Se emplea acetona grado reactivo con certificado de residuos menor a 0.001%, una parte del lote de la acetona empleada para los lavados es analizada para determinar el contenido de residuos sólidos que serán descontados de las muestras respectivamente.

## **5.9 MÉTODO ANALÍTICO PARA ÓXIDOS DE NITRÓGENO**

Para la determinación de óxidos de nitrógeno siguiendo la metodología EPA 7, por cada muestra tomada en los balones de vidrio calibrados se obtiene un recipiente que contiene la solución absorbente de peróxido de hidrogeno en medio ácido (25ml), los lavados del mismo con 2 porciones de 5ml de agua destilada desionizada e hidróxido de sodio 1N para ajustar el pH de la muestra entre 9 y 12.

Una parte de la solución absorbente empleada con igual adición de agua destilada e hidróxido de sodio, es analizada para determinar posible contenido de NOx en la solución absorbente.

## **5.10 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO MÉTODO US – EPA 5**

Las muestras tomadas deben ser recuperadas en contenedores de capacidad y características adecuadas al finalizar cada ensayo, diligenciando en el rotulo información parámetro, sitio de muestreo, fecha, hora, tipo de análisis y nombre del responsable de las muestras.

Se debe asegurar la cadena de custodia para el aseguramiento de las muestras y llevar el registro de cómo se preservan las muestras.

Una vez realizada la prueba de fugas al final del muestreo, se cubre la punta de la boquilla con tapón, se deja enfriar la sonda y porta filtro, se traslada el tren de muestreo a un área en donde se realiza limpieza externa de la punta de sonda y se procede a la recuperación de muestras como sigue:

- Empleando guantes y una pinza se dobla cuidadosamente el filtro con la torta de material particulado al interior y se deposita en el contenedor N° 1

caja de Petri, junto con bordes del filtro o toda partícula que hace parte de la muestra.

- Empleando 100ml de acetona en tres porciones, un embudo y los cepillos de Nylon para lavado se recupera todo el material particulado adherido al interior de la línea de muestreo (frontal del porta filtro, conexión en “L”, sonda, unión, boquilla y el cepillo empleado) depositando con embudo todas las fracciones de enjuague de la muestra en el contenedor N°2 frasco de vidrio ambar y se cierra con tapa.
- Seguidamente se protege la caja que contiene el filtro con vinipel, se marca el nivel en el frasco que contiene los lavados con acetona y se identifican estas muestras empleando el rotulo, diligenciando la información de parámetro, sitio de muestreo, fecha, hora, tipo de análisis y nombre del responsable de las muestras. Los contenedores se almacenan en neveras aislantes para muestras en posición vertical con la tapa arriba.
- Se mide y se registra en el formato de campo, el volumen de líquido y la masa de silica en los impactadores 1, 2, 3 y 4 empleando una probeta graduada a 1ml y una balanza dentro +- 0,5g calibrada. Cuando los impactadores han sido cargados con agua esta se puede desechar, si es solución absorbente para determinación de dióxido de azufre se recupera según la metodología de este parámetro.
- Las muestras recuperadas y almacenadas se ingresan en el documento cadena de custodia, diligenciando información de parámetro y método de análisis, sitio de muestreo, fecha, hora, tipo de preservación, cantidad y nombre del responsable de las muestras. Este documento acompaña todo transporte de las muestras en relación.

### **5.11 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO**

Describe condiciones de preservación, verificaciones y metodología analítica para determinación de la masa de filtros pre/pos muestreo, lavados de acetona y blancos de lotes de acetona. El lugar o zona de pesaje se encuentra en el rango de temperatura 15-30 +- 3°C y humedad relativa entre 20-45%. Al ingresar las muestras se permite equilibrio de temperatura por 24 horas, se registra el volumen de los lavados de acetona; los filtros en cajas de Petri y los lavados en crisoles pesados se secan a 104°C +-2°C. Los filtros y los crisoles se introducen en desecadores que contiene sulfato de calcio anhidro por 24 horas, luego de las cuales se realizan pesaje en balanza analítica con resolución 0,0001g registrando dos pesos finales constantes.

### **5.12 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN ÓXIDOS DE NITRÓGENO (MÉTODO US-EPA 7)**

Transcurrida la reacción (16-24 horas) para la recuperación de muestra se agita cada balón por 2 minutos y se procede como sigue:

- Se conecta un manómetro al balón, se abre la válvula y se registra la presión remanente y la temperatura del balón. Se transfiere el contenido de cada balón a recipientes ámbar, se lava cada balón 2 veces con porciones de 5 ml de agua destilada y se adicionan la aguas de lavado al respectivo recipiente. Se ajusta el pH entre 9 y 12 adicionando NaOH 1N y verificando con indicador.
- Se marca el nivel del líquido en el contenedor (para verificación de fugas luego de transporte) se identifica empleando el rotulo, diligenciando balón correspondiente, información de parámetro, sitio de muestra, fecha, hora, tipo de análisis y nombre del responsable de las muestras. Los contenedores se

almacenan en neveras aislantes para muestras en con posición vertical con la tapa arriba.

- Las muestras recuperadas y almacenadas se ingresan en el documento cadena de custodia, diligenciando balón correspondiente, información de parámetro y método de análisis, sitio de muestreo, fecha, hora, tipo de preservación, cantidad y nombre del responsable de las muestras. Este documento acompaña todo transporte de las muestras en relación.
- Los óxidos de nitrógeno son absorbidos en solución de peróxido de hidrogeno y ácido sulfúrico y se determina usando ácido fenoldisulfónico por espectrofotometría, el procedimiento de análisis describe la preparación de estándares de concentración conocida (50µg, 200µg, 400µg, 800µg) a partir de nitrato de potasio trazable a NIST y la metodología analítica para determinación de la masa de óxidos de nitrógeno en muestras y blanco de solución absorbente. Al ingresar las muestras se registra el volumen, se verifica pH y se ajusta entre 9 y 12 con hidróxido de sodio 1N. Se transfiere la muestra a un matraz volumétrico de 50 ml junto con do enjuagues de la probeta y el contenedor de transporte (5ml agua destilada desionizada) y normalizar volumen con agua destilada desionizada hasta el aforo y mezclar. Tomar alícuota de 25 ml en una capsula de porcelana, secar en estufa y dejar enfriar. Se adicionan 2ml de ácido fenoldisulfónico al residuo seco, se tritura y se lava con 1ml de agua y 4 gotas de ácido sulfúrico concentrado. Se calienta la solución al baño de maría por tres minutos, se deja enfriar, se agregan 20ml de agua, se transfiere a un balón aforado de 10ml y se coloca en cama de hielo. Se adicionan aproximadamente 11 ml de hidróxido de amonio hasta pH 10. Se lleva a volumen de aforo 10ml con agua destilada desionizada. Se mezcla completamente y se mide la absorbancia a longitud de onda usada con los estándares para ajustar como referencia de cero.

### 5.13 METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA MEDICIONES A LAS DIFERENTES FUENTES FIJAS

A continuación se describe cada uno de los métodos que se deben aplicar para realizar las mediciones isocinéticas en los diferentes tipos de fuentes fijas.

**Cuadro 5** Detalle del estudio de emisiones que se debe realizar al Colector

Fuente Fija	Metodología de Medición directa
Colector 1	<p>Método US-EPA 1,2 y 4 determinaciones de puntos de muestreo, velocidad caudal, temperatura, humedad.</p> <p>Método US-EPA 3A análisis de combustión método electroquímico.</p> <p>Método US- EPA 5 toma muestra de concentración de material articulado.</p>

**Cuadro 6** Detalle del estudio de emisiones que se debe realizar a los Hornos

Fuente Fija	Metodología de Medición directa
Horno	<p>Método US-EPA 1,2 y 4 determinaciones de puntos de muestreo, velocidad caudal, temperatura, humedad.</p> <p>Método US-EPA 3A análisis de combustión método electroquímico.</p> <p>Método US- EPA 5 toma muestra de concentración de material articulado.</p> <p>Método US-EPA 7 Toma de muestras y análisis para determinación concentración de óxidos de nitrógeno.</p> <p>Método US – EPA 25B Hidrocarburos totales expresados como metano.</p>

**Cuadro 7** Detalle del estudio de emisiones que se debe realizar a la caldera

Fuente Fija	Metodología de Medición directa
Caldera	<p>Método US-EPA 1,2 y 4 determinaciones de puntos de muestreo, velocidad caudal, temperatura, humedad.</p> <p>Método US-EPA 3A análisis de combustión método electroquímico.</p> <p>Método US-EPA 7 Toma de muestras y análisis para determinación concentración de óxidos de nitrógeno.</p>

## 6. RESULTADOS MEDICIONES ISOCINETICAS

Los estándares máximos de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes para fuentes fijas que usan como combustible gas natural son los dictados por la Resolución 6982 de Diciembre 27 de 2011 de la Secretaria Distrital de Ambiente.

**Tabla 1** Estándares máximos de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes.

Combustibles	Combustible Sólidos (carbón mineral, carbón vegetal, antracita, hullas, leñas, turbas, fibras vegetales)			Combustibles líquidos (Diesel, Fuel Oil No 2 o ACPM, Fuel Oil No 6 , crudo o bunker)			Combustibles Gaseosos		
	2011	2015	2020	2011	2015	2020	2011	2015	2020
Contaminante									
Material Particulado (MP) (mg/m <sup>3</sup> )	100	75	50	100	75	50	100*	75*	50*
Óxidos de Azufre (SO <sub>2</sub> ) (mg/m <sup>3</sup> )	400	350	300	400	350	300	NO APLICA		
Óxidos de Nitrógeno NO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	250	220	200	250	220	200	300	250	200

**Fuente:** Resolución 6982 de Diciembre 27 de 2011 de la Secretaria Distrital de Ambiente

### 6.1 MEDICIONES ISOCIENETICAS EN UN HORNO

Para realizar las mediciones y determinar las condiciones y cumplimiento de un horno se debe hacer la descripción de las condiciones de los gases en chimenea, incluyendo la velocidad, temperatura, presiones, contenido de humedad y composición de los gases de emisión.

La anterior información es obtenida de la ejecución de monitoreo, es decir, de la aplicación de los métodos US-EPA 1, 2, 3A y 4.

**Tabla 2** Ejemplo de la Descripción de los gases en las chimeneas de un horno

Fuente fija	V (m/s)	Q <sub>ref</sub> (m <sup>3</sup> /h) promedio	T gas (°C)	Cabeza de velocidad (mm H <sub>2</sub> O)	Presión absoluta (mm H <sub>2</sub> O)	Presión Estática (mm H <sub>2</sub> O)	Humedad (%)	Composición de los gases (aire ambiente)
Horno	2,58	57,2	97,8	0,25	7683	1,5	3,03	O <sub>2</sub> 19,6% CO <sub>2</sub> 0,6% N <sub>2</sub> 79,8%

Los contaminantes que se deben medir durante la evaluación de emisiones de un horno que utiliza como combustible gas natural son: material particulado expresado como (MP), óxidos de nitrógeno expresado como (NO<sub>x</sub>) e hidrocarburos totales expresado como (HC<sub>T</sub>) con las fuentes operando a condiciones normales.

La Resolución 6982 de Diciembre 27 de 2011 presentan los límites máximos permitidos para emisiones a la atmósfera para equipos de combustión externa a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg).

Los resultados de la evaluación de emisiones en la fuente se deben comparar con los estándares admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.

**Tabla 3** Ejemplo de resultados de la evaluación de emisiones de un horno

Horno				
Parámetro	Unidad	Concentración	Resolución 6982 de 2011	Estado
Concentración material particulado (MP)	mg/m <sup>3</sup>	45,93	150	Cumple
Concentración óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	243	400	Cumple
Concentración Hidrocarburos Totales (HC <sub>T</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	41,58	50	Cumple

## 6.2 MEDICIONES ISOCIENETICAS EN LAS CALDERAS

Para realizar las mediciones y determinar las condiciones y cumplimiento de las emisiones de una caldera se debe hacer la descripción de las condiciones en la chimenea incluyendo velocidad, temperatura, presiones, contenido de humedad y composición de los gases de emisión. La anterior información es obtenida de la ejecución de monitoreo, es decir, de la aplicación de los métodos US-EPA 1, 2, 3A y 4.

**Tabla 4** Ejemplo de la Descripción de los gases en las chimeneas de las calderas

Fuente fija	V (m/s)	Q <sub>ref</sub> (m <sup>3</sup> /h) promedio	T gas (°C)	Cabeza de velocidad (mm H <sub>2</sub> O)	Presión absoluta (mm H <sub>2</sub> O)	Presión Estática (mm H <sub>2</sub> O)	Humedad (%)	Composición de los gases (aire ambiente)
Caldera	6,5	215,9	141,7	2,03	7683	0,77	13,90	O <sub>2</sub> 6,4% CO <sub>2</sub> 8,7% N <sub>2</sub> 84,8%

Los contaminantes que se deben medir durante la evaluación de emisiones son: óxidos de nitrógeno expresado como (NO<sub>x</sub>) con las fuentes operando a condiciones normales. La Resolución 6982 de Diciembre 27 de 2011 presentan los límites máximos permitidos para emisiones a la atmósfera para equipos de combustión externa a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg).

Los resultados de la evaluación de emisiones en la fuente se deben comparar con los estándares admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.

**Tabla 5** Ejemplo de resultados de la evaluación de emisiones de una caldera

Caldera				
Parámetro	Unidad	Concentración	Resolución 6982 de 2011	Estado
Concentración material particulado (MP)	mg/m <sup>3</sup>	60	150	Cumple
Concentración óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	252	300	Cumple

### 6.3 MEDICIONES ISOCIENETICAS EN LOS COLECTORES.

Los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para procesos productivos son los dictados por la Resolución 6982 de Diciembre 27 de 2011 de la Secretaria Distrital de Ambiente.

**Tabla 6** Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para procesos productivos

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m <sup>3</sup> )			
		Actividades industriales existentes		Actividades industriales nuevas	
		2011	2020	2011	2020
Material Particulado (MP)	≤ 0,5	150	75	150	75
	> 0,5	50		50	
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	TODOS	500		400	
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	TODOS	500		400	
Compuestos de Flúor Inorgánico (HF)	TODOS	7			
Compuestos de Cloro Inorgánico (HCl)	TODOS	30			
Hidrocarburos Totales (HC <sub>T</sub> )	TODOS	50			
Dioxinas y Furanos	TODOS	0,5*			
Neblina Ácida o Trióxido de Azufre expresados como H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	TODOS	150			
Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m <sup>3</sup> )			
Plomo (Pb)	TODOS	1			
Cadmio (Cd) y sus compuestos	TODOS	1			
Cobre (Cu) y sus compuestos	TODOS	8			

**Fuente:** Resolución 6982 de Diciembre 27 de 2011 de la Secretaria Distrital de Ambiente

Se debe realizar una descripción de las condiciones en la chimenea incluyendo velocidad, temperatura, presiones, contenido de humedad y composición de los gases de emisión. Esta información es obtenida en la ejecución del monitoreo, es decir, de la aplicación de los métodos US- EPA 1, 2, 3A y 4.

**Tabla 7** Ejemplo de la descripción de los gases en las chimeneas de los Colectores

Fuente fija	V (m/s)	Q <sub>ref</sub> (m <sup>3</sup> /h) promedio	T gas (°C)	Cabeza de velocidad (mm H <sub>2</sub> O)	Presión absoluta (mm H <sub>2</sub> O)	Presión Estática(mm H <sub>2</sub> O)	Humedad (%)	Composición de los gases (aire ambiente)
Colector	10,4	3353	23,3	6,9	7679	1,27	1,77	O <sub>2</sub> 20,9% CO <sub>2</sub> 0,0% N <sub>2</sub> 79,1%

La Resolución 6982 de Diciembre 27 de 2011 presenta los límites máximos permitidos para emisiones a la atmosfera para procesos productivos existentes, a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg).

Los resultados de la evaluación de emisiones se deben comparar con los estándares admisibles establecidos por la norma.

**Tabla 8** Ejemplo resultados de la evaluación de emisiones de un colector

Parámetro	Unidad	Colector
Concentración material particulado (MP)	mg/m <sup>3</sup>	10
<b>Resolución 6982 de 2011</b>	mg/m <sup>3</sup>	50
<b>Estado</b>		Bajo Norma

## 7. SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES ATMOSFERICAS

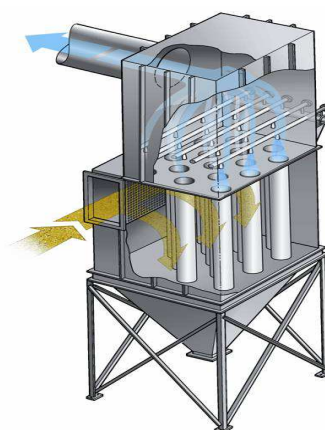
De acuerdo al proceso productivo que se trabajó para realizar el modelo del plan para el control de emisiones a continuación se presentan dos alternativas para control de emisiones.

### 7.1 COLECTORES DE POLVO

Para el proceso productivo descrito en este trabajo se recomienda la instalación de un sistema de colección (Sistema de aspiración) de material particulado en el proceso, que captura el material particulado desde la fuente de generación en los diferentes equipos (mezcladores, dosificadores, prensas, rectificadoras, cortadoras, perforadoras, etc.) y procesos de la planta, el cual es aspirado hasta los filtros de mangas.

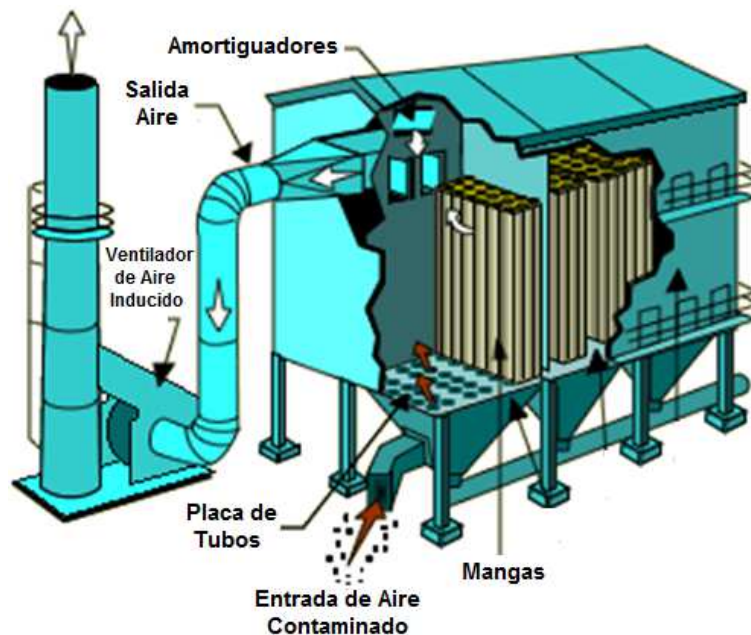
Las partículas son removidas de la corriente gaseosa cuando son obligadas a pasar en una sola dirección, por un medio filtrante, permitiendo que el gas limpio pase por los intersticios del entramado de la tela o substrato filtrante.

**Imagen 4** Sistema de colección



**Fuente:** Material suministrador por la Universidad Industrial de Santander

**Ilustración 10** Componentes del colector de polvo.



**Fuente:** Material suministrador por la Universidad Industrial de Santander.

**7.1.1 Operación** El colector de polvo es un equipo automático continuo que trabaja a presión o vacío, capaz de filtrar aire cargado de polvo por medio de un filtro.

La suciedad o gas contaminado entra en el colector de polvo a través del módulo de entrada. Una placa o baffle distribuye el gas uniformemente en el cuerpo descargando las partículas en la tolva inferior. El aire cargado de polvo pasa hacia una serie de mangas las cuales retienen las partículas de polvo en la superficie exterior de las mangas las cuales a su vez permiten la limpieza del aire que pasa a través de la manga para luego salir por el módulo de salida.

Cuando el colector está en funcionamiento la partícula colectada comienza a formar un aglutinamiento o capa de polvo, el cual eventualmente disminuye la porosidad en las mangas del filtro. Esta reducción en porosidad se mide por un

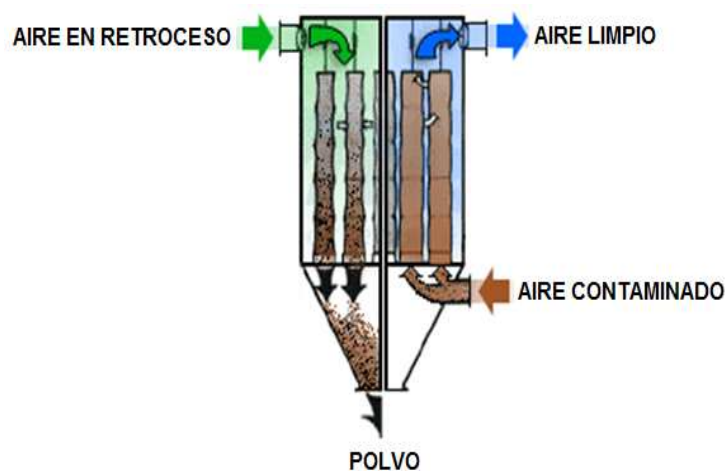
manómetro tipo U. Como las pérdidas de presión se incrementan el volumen del fluido en el colector decrece.

Para mantener una pérdida de presión moderada, se emplea un ciclo de limpieza para proporcionar una limpieza continua en las mangas del filtro. El sistema de limpieza consiste en un temporizador programable el cual actúa electrónicamente, los solenoides que gobiernan las válvulas de entrada de aire. Estas válvulas liberan aire comprimido momentáneamente en forma de explosión o pulso de tubo de distribución hacia las mangas del filtro. Este pulso de aire crea un contraflujo el cual expande la manga haciendo desprender el polvo retenido adherido a la manga.

El proceso de limpieza ocurre fila a fila de mangas, por lo tanto, solo en una fracción del total del filtro es interrumpido momentáneamente por la limpieza permitiendo un trabajo continuo.

Cuando se pulsan las mangas del filtro la capa de polvo cae directamente dentro de la tolva para luego ser retirado por medio de un sistema de transporte.

**Ilustración 11** Esquema funcionamiento colector de polvo



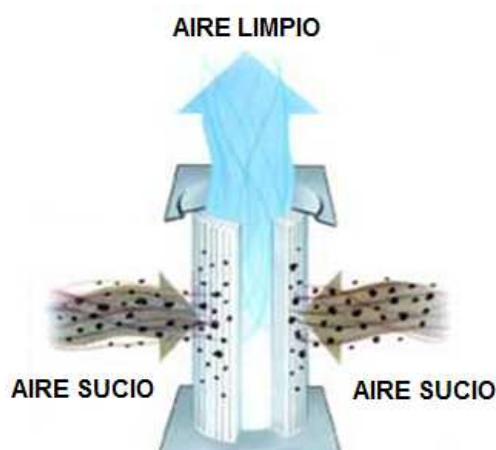
**Fuente:** Material suministrador por la Universidad Industrial de Santander

**7.1.2 Mangas filtrantes.** Sistema de control de emisiones atmosféricas para material particulado en un rango de  $(10 \leq 5 \leq 2.5)$  micras, con una eficiencia de remoción del 98%, en el cual el material particulado es retenido en un proceso de filtración por mangas (el cual es posteriormente precipitado por efecto de gravedad y recuperado en casi un 72% en el proceso como materia prima y su excedente dispuesto como residuo ordinario con la empresa de aseo del sector) y el aire que se libera a la atmósfera sale filtrado.

Es importante que las mangas sean manejadas con cuidado todo el tiempo para estar seguro de una operación apropiada y para alargar lo más posible la vida útil de estas. Cualquier pequeño corte o agujero puede resultar una falla total de la manga en el futuro.

Se debe inspeccionar todas las canastillas para identificar desperfectos como rupturas o dobléz de las varillas, no se debe utilizar mangas en canastillas imperfectas. Se debe remover el exceso de pintura de la placa portamangas antes de instalar las mangas.

**Ilustración 12** Esquema funcionamiento de las mangas



**Fuente:** Material suministrador por la Universidad Industrial de Santander

**7.1.3 Aire comprimido.** Es importante garantizar que el aire comprimido que se abastece este limpio y seco (la presión en la cámara de alimentación debe ser de 90 a 125 psi). Antes de la cámara de alimentación se recomienda que haya instalado un regulador, un secador y un filtro para asegurarse de no tener obstrucciones en el servicio. Toda la tubería de alimentación de aire debe ser como mínimo de un diámetro de 1 1/4" con una válvula de cierre y manómetro de presión en cada cámara de alimentación. Se deben chequear las conexiones de aire entre la cámara de alimentación y las válvulas de diafragma, no deben estar rotas ni torcidas.

**7.1.4 Ventilador centrífugo.** Tienen un flujo de aire, que al entrar este al rotor, es volteado 90° grados en todas las direcciones, Normalmente el aire se captura en la carcasa o "housing" y se empuja por la descarga del ventilador. La mayoría de los ventiladores utilizados en tiro inducido son de tipo centrífugo.

La unión de los sistemas anteriormente mencionados conforman los equipos llamados colectores, los cuales finalmente se unen a una chimenea que expulsa a la atmósfera un flujo de aire con una concentración de material particulado mínimos.

**7.1.5 Procedimiento en caso de falla del sistema de control.** Los procedimientos que se establecen en caso de que se presente una falla en el funcionamiento normal de los colectores de polvo se describen el siguiente apartado.

- Emisiones visibles en la chimenea o tubería de salida del aire limpio: puede ser por mangas mal instaladas, se debe chequear las bandas de las mangas y asegurarse que estén bien cogidas de la placa portamangas. También se puede presentar por mangas rotas o picadas, donde se debe:

inspeccionar las mangas del filtro de agujeros o que estén perforadas debido al daño sufrido en la instalación. La abrasión, ataques térmicos o químicos y canastillas rotas también pueden causar fallas. Se debe reemplazar la manga cuando se requiera debido a que el polvo suele acumularse alrededor de la rotura de la manga. Si los alambres de las canastillas están rotos o sueltos, se debe reemplazar la canastilla inmediatamente. No se debe colocar una manga nueva sobre una canastilla rota. Siempre limpie la placa portamangas después de haber reemplazado mangas.

- Sobre volumen: Se debe revisar el ventilador y el motor, asegurando que tiene las apropiadas RPM. Ajustar el damper del ventilador al volumen de diseño. Algunos ventiladores tienen un tamaño para un mayor volumen. Las resistencias del sistema son demasiado bajas.
- Escases de aire comprimido: Revisar el sistema que impulsa el aire comprimido y reparar si se requiere. Revisar la salida del compresor para asegurar que se encuentra pulsando aire limpio al sistema. Si la presión del aire comprimido es demasiado baja se debe incrementar la presión en el regulador del compresor. Revisar la tubería, el lubricador, el regulador y el filtro de la línea de aire al filtro.
- Mal funcionamiento del temporizador: Revisar las salidas del temporizador y asegurar que todas las terminales se enciendan. Si el temporizador falla se debe reemplazar. Revisar el diagrama eléctrico y asegurarse que estén bien puesto los terminales e incluyan todos los selenoides.
- Recirculación de polvo: Revisar que los sistemas de remoción de polvo no están gastados o fallan los sellos. Revisar las bridas de unión de ductos al filtro en los sellos.

- Obstrucción de las mangas: Revisar que el sistema trabaja a la temperatura diseñada. La sobre limpieza de las mangas debe evitarse. Operar a la diferencial de presión indicada.
- Válvulas solenoides acuñados: Revisar si el pulsador de solenoides tiene polvo. Limpiar y remplazar si se requiere. Un corto circuito en lo cables puede causar que uno o más solenoides permanecen abiertos. Corto circuito en el relé del temporizador. Repare si es factible o reemplace el temporizador si es necesario.
- Problema en el filtro de Manga: Verificar la temperatura de operación del sistema como la de diseño. Revisar las características químicas del gas para ver si existe compatibilidad con el filtro. Chequear por abrasión el modelo de mangas, paredes del colector etc. Evalué el diseño de ductos e instale baffles más grandes. Verificar la acumulación de material en la tolva y que los equipos de desalajo de polvo operen normalmente. Verificar que las varillas de las canastillas no estén rotas o dobladas lo cual puede dañar las mangas. Inspeccionar el piso de la placa portamangas de acumulación de polvo. El polvo en la placa portamangas puede penetrar en el interior de la manga dañando el sistema de limpieza. Esto puede causar obstrucción y abrasión al impregnarse el polvo en la parte inversa.

**7.1.6 Mantenimiento preventivo colectores.** El programa de mantenimiento preventivo son todas las actividades encaminadas a disminuir las posibilidades de falla o anomalías que puede tener un equipo antes de que se puedan presentar.

El programa de mantenimiento realizado a los colectores de la plata se administra y controla en un software establecido para este fin, la programación de los colectores se realiza en el formato WF 0860 Control programa de mantenimiento

preventivo y la responsabilidad de su cumplimiento es del Jefe de Ingeniería y Mantenimiento.

A continuación se realiza la descripción de cada uno de los procedimientos de mantenimiento que se deben realizar a los colectores:

- Cambio de rodamientos motor ventilador: se realiza un trabajo mecánico, el mantenimiento es de tipo preventivo, se realiza con una frecuencia de cada 12 meses, con prioridad alta, la actividad de mantenimiento es de cambio de condiciones del equipo.
- Cambio de rodamientos eje ventilador: se realiza un trabajo mecánico, el mantenimiento es de tipo preventivo, se realiza con una frecuencia de cada 18 meses, con prioridad alta, la actividad de mantenimiento es de cambio de condiciones del equipo.
- Cambio de rodamientos motor esclusa: se realiza un trabajo mecánico, el mantenimiento es de tipo preventivo, se realiza con una frecuencia de cada 12 meses, con prioridad alta, la actividad de mantenimiento es de cambio de condiciones del equipo.
- Toma diferencia de presión: se realiza un trabajo de instrumentación/eléctrico, el mantenimiento es de tipo preventivo, se realiza con una frecuencia de cada 7 meses, con prioridad media, la actividad de mantenimiento es de cambio de condiciones del equipo.
- Mantenimiento preventivo electro-mecánico: se realiza un trabajo mecánico, el mantenimiento es de tipo preventivo, se realiza con una frecuencia de cada mes, con prioridad alta, la actividad de mantenimiento es de cambio de condiciones del equipo.

- Lubricación chumaceras eje ventilador: se realiza un trabajo mecánico, el mantenimiento es de tipo preventivo, se realiza con una frecuencia de cada 3 meses, con prioridad medio, la actividad de mantenimiento es de cambio de condiciones del equipo.
- Revisión de correas: se realiza un trabajo mecánico, el mantenimiento es de tipo preventivo, se realiza con una frecuencia de cada 4 meses, con prioridad alta, la actividad de mantenimiento es de cambio de condiciones del equipo.

## **7.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR**

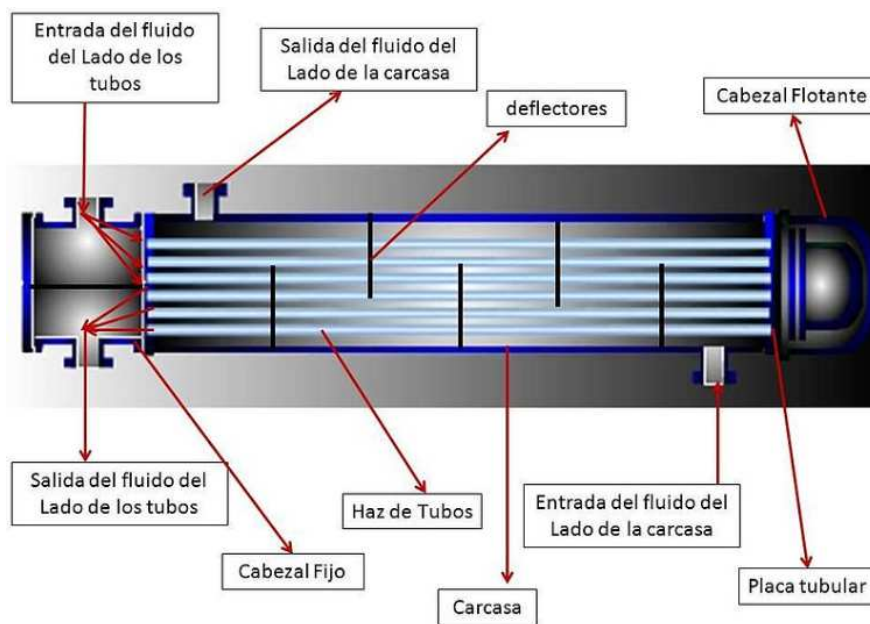
Para un mejor funcionamiento y control del proceso y las emisiones del horno se plantea la instalación de un intercambiador de calor fabricado en acero inoxidable, con una cámara de combustión en lamina, tubos de humos, cámara de gases de combustión en lamina acero inoxidable, con refuerzo al fondo del hogar con lamina para darle mayor durabilidad al intercambiador.

Los beneficios del intercambiador de calor es que independiza los gases de proceso y los gases de combustión, se realiza un ahorro de combustible porque el material del intercambiador conserva calor durante el proceso de horneado.

**7.2.1 Funcionamiento.** El intercambiador de calor es un deposito a presión sin combustión que consiste en dos cámaras de presión independientes (lado carcasa y lado tubos). Por las dos cámaras fluyen dos medios de tal forma que cuando existe una diferencia de temperatura entre ellos, el calor se intercambia sin que los medios se mezclen. En la carcasa se encuentran los baffkes cuya función es forzar a que la dirección del flujo sea lo más perpendicular posible a los tubos. La cantidad de calor de entrada es igual a la de calor transferido.

El intercambiador de calor es efectivo cuando existe una diferencia de calor suficiente. Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura, menor será la superficie de transferencia de calor necesaria. La capacidad de transferencia de calor de un intercambiador es el resultado del logaritmo de la diferencia media de temperatura, la superficie de transferencia de calor y el coeficiente de transferencia de calor. El coeficiente de transferencia de calor viene determinado en buena medida por la trayectoria de los fluidos, es decir por el diseño geométrico del intercambiador.

**Ilustración 13** Esquema de funcionamiento de un intercambiador de calor



**Fuente:** Información suministrada por el proveedor de los equipos.

El intercambiador de calor está compuesto de un haz de tubos, carcasa, cabezal fijo, cabezal removible, deflectores, y la placa tubular, a continuación se explica cada uno de estos de elementos:

- Tubos: Proporcionar la superficie de transferencia de calor entre el fluido que circula por el interior de los tubos, y la carcasa. Los tubos pueden ser completos o soldados y generalmente están hechos de cobre o aleaciones de acero. Las superficies extendidas se usan cuando uno de los fluidos tiene un coeficiente de transferencia de calor mucho menor que el otro fluido. Los tubos doblemente aletados pueden mejorar aún más la eficiencia. La cantidad de pasos por los tubos y por la carcasa dependen de la caída de presión disponible. A mayores velocidades, aumentan los coeficientes de transferencia de calor, pero también las pérdidas por fricción y la erosión en los materiales. Por tanto, si la pérdida de presión es aceptable, es recomendable tener menos cantidad de tubos, pero de mayor longitud en un área reducida. Generalmente los pasos por los tubos oscilan entre 1 y 8. Los diseños estándares tienen uno, dos o cuatro pasos por los tubos. La relación entre el espaciamiento entre tubos y el diámetro exterior del tubo varía entre 1,25 y 2. El valor mínimo se restringe a 1.25 porque para valores inferiores, la unión entre el tubo y la placa tubular se hace muy débil, y puede causar filtraciones en las juntas.
- Placa tubular: La placa tubular es generalmente una placa de metal sencilla que ha sido taladrada para albergar a los tubos en el patrón deseado, las empacaduras y los pernos. El espacio entre las placas tubulares debe estar abierto a la atmósfera para que cualquier fuga pueda ser detectada con rapidez. Para aplicaciones más peligrosas puede usarse una placa tubular triple, sellos gaseosos e incluso un sistema de recirculación de las fugas. La placa tubular debe ser capaz de soportar el ataque corrosivo de ambos fluidos del intercambiador y debe ser compatible electroquímicamente con el material de los tubos.
- Deflectores: Hay dos tipos de deflectores, transversales y longitudinales. El propósito de los deflectores longitudinales es controlar la dirección general

del flujo del lado de la carcasa. Los deflectores transversales tienen dos funciones, la más importante es la de mantener a los tubos en la posición adecuada durante la operación y evita la vibración producida por los vórtices inducidos por el flujo. En segundo lugar ellos guían al fluido del lado de la carcasa para acercarse en lo posible a las características del flujo cruzado.

- **Carcasa y boquillas del lado de la carcasa:** La carcasa es la envolvente del segundo fluido, y las boquillas son los puertos de entrada y salida. La carcasa generalmente es de sección circular y está hecha de una placa de acero conformado en forma cilíndrica y soldado longitudinalmente. La forma esférica de la casaca es importante al determinar el diámetro de los reflectores que pueden ser insertados y el efecto de fuga entre el deflector y la casaca. La boquilla de entrada suele tener una placa justo debajo de ella para evitar que la corriente choque directamente a alta velocidad en el tope del haz de tubos. Se impacto puede causar erosión, cavilación, y vibraciones.
- **Canales del lado de los tubos y boquillas:** Los canales y las boquillas simplemente dirigen el flujo del fluido del lado de los tubos hacia el interior o exterior de los tubos del intercambiador. Como el fluido del lado de los tubos es generalmente el más corrosivo, estos canales y boquillas suelen ser hechos de materiales aleados (compatibles con la placa tubular). Deben ser revestidos en lugar de aleaciones sólidas.
- **Cubiertas de canal:** Las cubiertas de canal son placas redondas que están atornilladas a los bordes del canal y pueden ser removidos para inspeccionar los tubos sin perturbar el arreglo de los tubos.

## 8. CONCLUSIONES

- Se propuso un modelo para el desarrollo del diagnóstico de un colector, una caldera y horno mediante un formato que recopila toda la información necesaria para el posterior desarrollo del plan, el cual sirve para ser utilizado por una empresa del sector de autopartes, pero también se puede utilizar para realizar diagnósticos de emisiones por fuentes fijas en otras industrias que utilicen equipos similares.
- Se realizaron los diseños para tres tipos de fuentes fijas donde se especifica las características que debe tener la chimenea de acuerdo a las especificaciones que se establecen en el Protocolo para fuentes fijas: la altura de los Niples debe ser ocho veces el diámetro de la chimenea formando entre si un ángulo de 90°, la longitud de los Niples debe ser mínimo de 10 cm y de 3 a 4 pulgadas de diámetro, con dispositivos de anclaje de la guaya que soporte el tren de toma de muestra, estar ubicado a 1 m de la parte central del Niple, la base de la plataforma debe estar a una distancia vertical de 1,2m de los Niples, que permita maniobrar los equipos y una distancia mínima de 1m entre el equipo que se utilice para la medición, el diseño sirve para utilizarse en el momento que se requiera hacer las respectivas adecuaciones para realizar los muestreos isocinéticos con un laboratorio certificado.
- Se describió de forma general los métodos de la EPA 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 25B, que describen los procedimientos para realizar las mediciones isocinéticas en los equipos de combustión externa (horno y la caldera) que usan como combustible gas natural y el colector de polvo que recoge material particulado del proceso, mediante esta metodología se deja especificado

que actividades se deben seguir de forma precisa según el parámetro a monitorear en cada fuente.

- Como tecnologías de control más apropiadas se propone colectores de filtros de mangas debido a la alta eficiencia de remoción y control de material particulado presente en el proceso productivo, para los hornos se recomienda un intercambiador de calor compuesto de un haz de tubos y carcasa que independiza los gases del proceso y los gases de combustión, ahorrando combustible al conservar el calor durante el proceso y disminuyendo las emisiones generadas por la combustión.
- Se recomienda para estudios posteriores tomar como base el plan desarrollado en este documento para poder realizar más propuestas que sirvan como guía para otros procesos de empresas del sector de autopartes que presenten problemas similares.

## BIBLIOGRAFIA

ALBERT PARKER ALBERT PARKER La contaminación del aire por la industria, Editorial Reverté S.A., 1983.

JOHN H. SEINFELD, Contaminación atmosférica, Instituto de estudios de administración local, 1978.

GREGORY D. WIGHT, Fundamental air sampling, Lewis Publishers, 1994.

The study on air pollution control plan in Santa Fé de Bogotá city area, JICA, final report, February 1992.

Resolución 6982, Secretaria Distrital de Ambiente, Diciembre 27 de 2011.

Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, versión 2, Octubre de 2008.