

**ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PRACTICA PARA LA APLICACIÓN DEL
PROTOCOLO PARA EL CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA GENERADA POR FUENTES FIJAS EN PLANTAS DE ACIDO
SULFÚRICO, ACIDO FOSFÓRICO Y PLANTAS DE ASFALTO**

**ANA MARIA DIAZA MADRID
FANY CONSUELO GALVIS RODRIGUEZ**

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

2011

**ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PRACTICA PARA LA APLICACIÓN DEL
PROTOCOLO PARA EL CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA GENERADA POR FUENTES FIJAS EN PLANTAS DE ACIDO
SULFÚRICO, ACIDO FOSFÓRICO Y PLANTAS DE ASFALTO**

**ANA MARIA DIAZA MADRID
FANY CONSUELO GALVIS RODRIGUEZ**

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

**Director
MAGISTER.CAMILO LUENGAS**

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

2011

Este documento está realizado bajo investigación de los autores, por lo tanto no involucra a la Universidad de Santander ni a los jurados, no es un documento oficial.

*Damos gracias a Dios por habernos
hecho posible el alcanzar una meta
más en nuestras vidas.*

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. MARCO REFERENCIAL.....	18
2. PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS.....	20
2.1 FUENTES GENERADORAS.....	20
2.2 CONTAMINANTES A MONITOREAR.....	21
2.3 ESTÁNDARES DE EMISIÓN ADMISIBLES.....	21
2.4 MÉTODOS DE MONITOREO DE EMISIONES.....	22
2.4.1 Método 1. Determinación de los puntos para el cálculo de velocidad.....	23
2.4.2 Método 2. Calculo de velocidad y flujo promedio de los gases en el ducto.	24
2.4.3 Método 3. Cálculo del peso molecular y húmedo de los gases.	25
2.4.4 Método 4. Determinación contenido de humedad en gases de chimenea.	26
2.4.5 Método 5. Determinación de emisiones material particulado fuentes fijas..	26
2.4.6 Método 6. Determinación de emisiones de dióxido azufre en fuentes fijas..	28
2.4.7 Método 7. Determinación de emisiones óxidos de nitrógeno - fuentes fijas.	28
2.4.8 Método 8. Determinación de emisiones de ácido sulfúrico - fuentes fijas.	29
2.4.9 Determinación de las emisiones de fluoruro total en fuentes fijas.	30
2.5 INSTALACIONES NECESARIAS PARA REALIZAR MEDICIONES DIRECTAS.....	33
2.5.1 Ducto circular.	34
2.5.2 Ductos rectangulares.....	35
2.6 BALANCE DE MASAS.....	36
2.7 FACTORES DE EMISIÓN.....	39
2.7.1 Generalidades de los factores de emisión.	39
2.7.2 Factores de emisión para diferentes procesos.	40
2.7.2.1 Factores de emisión para.....	43
2.7.2.2 Factores de emisión para.....	45
2.7.2.3 Factores de emisión para.....	47

2.8	INFORME PREVIO DEL ESTUDIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	50
2.9	INFORME FINAL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	51
2.10	FRECUENCIA DE LOS ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE EMISIONES PARA LAS DEMÁS ACTIVIDADES INDUSTRIALES	56
2.11	ALTURA DE LA CHIMENEA PARA INSTALACIONES EXISTENTES	58
2.12	SISTEMAS DE CONTROL	58
2.12.1	Cámaras de sedimentación.	59
2.12.2	Ciclones.	60
2.12.3	Filtros de mangas.	60
2.12.4	Precipitadores electrostáticos.	61
2.12.5	Lavador húmedo.	61
2.12.6	Oxidación térmica.	62
2.12.7	Quemador de gases.	63
2.12.8	Sistemas de captura y destrucción de sustancias contaminantes.	63
2.12.9	Sistemas de captura y recuperación de sustancias contaminantes.	63
2.12.10	Incinerador para destrucción de sustancias contaminantes.	63
2.12.11	Lavador venturi.	64
2.12.12	Sistemas de oxidación catalítica.	66
2.12.13	Adsorción por carbón activado.	66
2.12.14	Absorción.	67
2.12.15	Condensación.	67
2.13	PLAN DE CONTINGENCIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS.	68
	CONCLUSIONES	70
	BIBLIOGRAFÍA	71
	ANEXOS	72

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción de la actividad industrial	20
Tabla 2. Contaminantes a monitorear por actividad industrial	21
Tabla 3. Información necesaria para evaluar emisiones por factores de emisión.	37
Tabla 4. Información necesaria para evaluar emisiones por factores de emisión	41
Tabla 5. Factores de emisión con sistemas de control de emisiones	45
Tabla 6. Factores de emisión sin sistemas de control de emisiones	45
Tabla 7. Factores de emisión de Dióxido de Azufre.....	47
Tabla 8. Factores de emisión de Neblinas acidas sin sistemas de control de emisiones.....	47
Tabla 9. Factores de emisión de Neblinas acidas con sistemas de control de emisiones.....	47
Tabla 10. Factores de emisión según el tipo de sistema de control.....	49
Tabla 11. Factores de emisión según el tipo de combustible empleado.....	50
Tabla 12. Frecuencia de monitoreo	57

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura No. 1. Dimensiones de la chimenea	24
Figura No. 2. Montaje de soluciones para método 4 y 5.....	26
Figura No. 3. Montaje del método 8	30
Figura No. 4. Montaje método 13 B	32
Figura No. 5. Plataforma ducto circular	34
Figura No. 6. Plataforma ducto rectangular	35
Figura No. 7. Adecuaciones adicionales para la ubicación de equipos	36
Figura No. 8. Diagrama del proceso de ácido fosfórico por vía húmeda	44
Figura No. 9. Diagrama de flujo para plantas de mezcla asfáltica.....	48

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire.....	21
Cuadro 2. Matriz de análisis de contaminantes	23
Cuadro 3. Formato informe de cuantificación de emisiones por balance de materia y energía.	38
Cuadro 4. Formato informe de emisiones por factores de emisión	42
Cuadro 5. Pre informe de emisiones atmosféricas.....	50
Cuadro 6. Lista de chequeo de informe final de emisiones atmosféricas.....	52
Cuadro 7. Formato plan de contingencia para los sistemas de control de emisiones	68

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo No. 1 FIGURAS PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA ESTRUCTURA EN EL PUNTO EN EL CUAL SE ENCUENTRA UBICADO EL DUCTO O CHIMENEA	73

GLOSARIO

Concentración de una sustancia en el aire¹: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

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.

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 estas.

Contaminación Atmosférica: Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

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.

Sistema de Control de Emisiones: Conjunto ordenado de equipos, elementos o maquinaria que se utilizan para el desarrollo de acciones destinadas al logro de resultados medibles y verificables de reducción o mejoramiento de las emisiones atmosféricas generadas en un proceso productivo.

¹ Estos conceptos fueron tomados de la Resolución 909 del 2008 del MAVDT

TITULO: ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PRACTICA, PARA LA APLICACIÓN DEL PROTOCOLO PARA EL CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA GENERADA POR FUENTES FIJAS EN PLANTAS DE ACIDO SULFÚRICO, ACIDO FOSFÓRICO Y PLANTAS DE ASFALTO.²

Autores: Ana María Díaz Madrid
Fany Consuelo Galvis Rodríguez ³

Palabras clave: Protocolo, fuentes fijas, contaminación, guía.

El protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, determina de manera muy compleja los pasos a seguir en el momento de realizar una evaluación de contaminantes por fuentes fijas, para una persona que no tiene conocimiento técnico de todos los procesos industriales y más en la aplicación de los métodos internacionales. Con lo anterior se hace referencia que en la actualidad existen muchas industrias que no han podido aplicar bien los procedimientos debido a la falta de conocimiento y facilidad del documento lo cual implica que se expongan a sanciones o cierre de los procesos, por parte de las corporaciones ambientales que son las que hacen el seguimiento a cada industria dependiendo el tipo de contaminante generen por fuentes fijas.

En este proyecto se tuvo en cuenta los procesos industriales más relacionados con nuestro trabajo, y es aquí donde se vio la necesidad de crear la guía, la cual está diseñada para cumplir los requisitos establecidos en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, reglamentado por la Resolución 909 del 2008 del Ministerio de Ambiente Vivienda y desarrollo Territorial. En este documento se describen los requisitos que debe aplicar la industria de estos procesos para cumplir con la normatividad vigente. Cabe resaltar los distintos usuarios en los que está enfocado el desarrollo de la guía, como los industriales de estos procesos, las autoridades ambientales y las empresas de consultoría ambiental, para los cuales la guía es una herramienta para realizar auditorías, controles, capacitaciones, inducciones, planificación, seguimiento y determinar planes de acción para ajustar sus procesos de tal manera que se eviten los riesgos a los que se podrían ver involucrados de no estar cumpliendo con la legislación.

² Trabajo de grado.

³ Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director MSc. Camilo Luengas

TITLE: ELABORATION OF A PRACTICAL GUIDE FOR THE APPLICATION OF THE PROTOCOL FOR THE CONTROL AND SURVEILLANCE OF THE ATMOSPHERIC POLLUTION GENERATED BY STATIONARY SOURCES IN SULPHURIC ACID, PHOSPHORIC ACID AND ASPHALT PLANTS.⁴

Authors: Ana María Díaz Madrid
Fanny Consuelo Galvis Rodríguez⁵

Key words: Protocol, stationary sources, contamination, guide

The protocol for the control and surveillance of the atmospheric pollution generated by stationary sources, determines the steps to follow in a very complex way when you have to realize a polluting agents by stationary sources evaluation for a person who doesn't have the technical knowledge of all the industrial processes or in the application of the international methods. With the above makes reference that actually exist many industries that have not been able to apply these procedures correctly due to lack of knowledge and the facility of the document which implies that they are exposed to sanctions or closing processes, by environmental corporations that track each industry depending on the type of pollutants generated by stationary sources.

In this project was considered the industrial processes more related to our work, and this is where was saw the need to create a guide who is designed to satisfy the requirements in the protocol regulated by 909 Ministry of Environment, Housing and Territorial Development MAVDT Resolution of the 2008. In this document are described the requirements that the industry of these processes must apply to fulfill the current regulations. Significantly different users are focused on the development of the guide, as the industries in these processes, the environmental authorities and environmental consulting firms, for which the guide is a tool to perform audits, controls, trainings, inductions, planning, tracing and determine action plans to adjust their processes in such a way to avoid risks that may be involved of not being fulfilling the legislation.

⁴ Thesis

⁵ Chemical Enginner School. Enviromental Enginner Especialist. Director MSc. Camilo Luengas

INTRODUCCIÓN

Con el fin de mantener un ambiente sano, el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial ha emitido la Resolución 909 del 2008 por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmosfera por fuentes fijas y a su vez se creó el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, el cual no se cumple a cabalidad en la industria en general debido a la falta de socialización, ya que este tema no es de fácil entendimiento para todo tipo de industria porque no cuentan con personal suficiente ni con el conocimiento específico.

Por lo anterior vimos la necesidad de crear una guía de fácil entendimiento para cualquier persona que se enfrente al tema de emisiones generado por fuentes fijas y que esta herramienta en vez de ser un problema se convierta en un soporte para lograr entender todas las exigencias de la resolución 909 del 2008 y el protocolo.

1. MARCO REFERENCIAL

Existe una gran variedad de emisiones provenientes de los procesos y operaciones industriales. Cada una tiene características propias que afectan al medio ambiente en forma diferente.

En la legislación ambiental colombiana, las normas básicas que introducen en el contexto nacional una serie de conceptos básicos relacionados con el tema del aire, son el Código de los Recursos Naturales (Decreto-Ley 2811 de 1974), el Decreto 948 de 1995 del Ministerio del Medio Ambiente y la resolución 909 del 2008 del Ministerio de vivienda, ambiente y desarrollo territorial.

El Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento a la Contaminación Atmosférica generada por Fuentes Fijas adoptado por la resolución 909 del 2008 es un documento técnico que establece los procedimientos para definir la frecuencia de monitoreo de emisiones, los métodos de medición de contaminantes en la atmósfera, la información que deben contener los estudios de emisiones presentados a la autoridad ambiental, establece las condiciones de operación de los sistemas de control de emisiones para garantizar su adecuado funcionamiento y estandarizando los procedimientos para la medición de las emisiones por fuentes fijas en el país, el manejo y evaluación de esta información por parte de la autoridad ambiental.

De conformidad con el anexo de la resolución 909 del 2008:

Contaminación Atmosférica: Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

Una fuente de emisión es toda actividad, proceso u operación, realizada por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire. Las fuentes fijas son todas aquellas fuentes de emisión situadas en un lugar determinado e inamovible, aún cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

2. PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

La guía es una herramienta que permite definir y desarrollar los requisitos establecidos en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas segunda versión, la cual está diseñada de tal manera que le permita al industrial cumplir en forma práctica y oportuna con los requerimientos de la resolución 909 del 2008 del MAVDT.

La guía se desarrolla así:

2.1 FUENTES GENERADORAS

En el ítem 1. “Fuentes generadoras” de la guía se presenta una lista desplegable en la cual se debe escoger la actividad industrial que genera emisiones:

Tabla 1. Descripción de la actividad industrial

Actividad industrial	Procesos e instalaciones
Ácido fosfórico	<p>Cualquier planta que produzca ácido fosfórico por reacción de roca de fosfato y ácido. Aplica a cualquier combinación de reactores, filtros, evaporadores y pozos calientes.</p> <p>Cualquier planta que produzca ácido superfosfórico (ácido fosfórico con concentración de P₂O₅ superior al 66%). Aplica a cualquier combinación de evaporadores, pozos calientes, sumideros de ácido y tanques de enfriamiento.</p> <p>Cualquier planta que produzca fosfato diamónico granular por reacción de ácido fosfórico con amonio. Aplica a cualquier combinación de reactores, granuladores, secadores, enfriadores, tamices y molinos.</p> <p>Cualquier planta que produzca superfosfato triple por reacción de roca de fosfato y ácido. Aplica a cualquier combinación de mezcladores, bandas de curado, reactores, granuladores, secadores, hornos, tamices, molinos e instalaciones donde se almacene superfosfato triple que no se haya procesado en un granulador.</p> <p>Cualquier instalación en donde se cure o almacene superfosfato triple. Aplica a cualquier combinación de pilas de almacenamiento o curado, transportadores, elevadores, tamices y molinos.</p>
Producción de mezcla asfáltica	<p>Cualquier instalación utilizada para la producción de mezclas asfálticas de mezcla caliente, calentando y secando agregado y mezclando con cementos de asfalto. Está compuesta por cualquier combinación de secadores, sistemas para tamizar, manejo, almacenamiento y pesado de agregado caliente, sistemas de carga, transferencia y almacenamiento de mineral de llenado, sistemas para mezclar asfalto de mezcla caliente y sistemas de carga, transferencia y almacenamiento asociados con sistemas de control de emisiones.</p>
Ácido sulfúrico	<p>Cualquier instalación que produzca ácido sulfúrico por el proceso de contacto por medio del quemado de azufre elemental, ácido de alquilación, sulfuro de hidrógeno, sulfuros orgánicos y mercaptanos o residuos ácidos.</p>

Fuente. Resolución 909 del 5 junio 2008 del MAVT

2.2 CONTAMINANTES A MONITOREAR

En el ítem 2. “Contaminantes a monitorear” de la guía se presentan los contaminantes a monitorear para cada actividad industrial reglamentados por la resolución 909/2008 del MAVDT establecidos en el artículo 6. Tabla 3.

Tabla 2. Contaminantes a monitorear por actividad industrial

Actividad industrial	Contaminantes
Ácido fosfórico	Ácido Fluorhídrico Material Particulado
Producción de mezcla asfáltica	Dióxido de Azufre Material Particulado Óxidos de Nitrógeno
Ácido sulfúrico	Neblinas acidas Dióxido de Azufre

Fuente: Resolución 909 del 5 junio 2008 del MAVDT

2.3 ESTÁNDARES DE EMISIÓN ADMISIBLES

En el ítem 3. “Estándares de emisión admisibles” de la guía se presentan los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para actividades industriales a condiciones de referencia (25 °C y 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%. Establecidos en la resolución 909/2008 Capitulo II, Artículo 4, Tabla 1.

Cuadro 1. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire.

ACTIVIDAD INDUSTRIAL: ACIDO FOSFÓRICO			
Contaminante	Flujo del contaminante (Kg/h)	Instalaciones	
		Existentes	Nuevas
Material Particulado	<0,5	250	150
	>0,5	150	50

Cuadro 1. (Continuación)

Contaminante	Flujo del contaminante (Kg/h)	Instalaciones	
		Existentes	Nuevas
Ácido Fluorhídrico	TODOS	8	8
<i>ACTIVIDAD INDUSTRIAL: PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA</i>			
Contaminante	Flujo del contaminante (Kg/h)	Instalaciones	
		Existentes	Nuevas
Material Particulado	<0,5	250	150
	>0,5	150	50
Dióxido de Azufre SO ₂	TODOS	550	500
Óxidos de Nitrógeno	TODOS	550	500
<i>ACTIVIDAD INDUSTRIAL: ACIDO FOSFÓRICO</i>			
Contaminante	Flujo del contaminante (Kg/h)	Instalaciones	
		Existentes	Nuevas
Neblinas acidas	TODOS	150	150
Dióxido de Azufre SO ₂	TODOS	1600	900

Fuente. Resolución 909 del 5 junio 2008 del MAVDT

2.4. MÉTODOS DE MONITOREO DE EMISIONES

En el ítem 4. “Métodos de monitoreo de emisiones” de la guía se presentan los métodos para la evaluación de emisiones de contaminantes que se utilizan para el desarrollo de la medición directa de acuerdo al procesos que genera la emisión. Estos métodos son los descritos en el numeral 1.1.1, Tabla 1 y en el numeral 1.1.1.1., Tabla 2 del protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas segunda versión, teniendo en cuenta las características de la fuente fija que se requiera monitorear.

Cuadro 2. Matriz de análisis de contaminantes

Actividad	Contaminante	Método de monitoreo	Tiempo mínimo, volumen mínimo y otras consideraciones para la toma de muestra*
Producción de ácido sulfúrico	SO ₂ Neblina ácida o trióxido de azufre (H ₂ SO ₄)	Referencia: 1, 2, 3 y 8 Alternativos: 3A, 3B	Tiempo de medición: 60 minutos Volumen de medición: 1,15 dscm (40,6 dscf) El contenido de humedad se puede despreciar, considerarlo igual a cero. Se debe cuantificar la tasa de producción de ácido sulfúrico, la cual se debe confirmar mediante la realización de un balance de masas sobre el sistema de producción.
Producción de mezclas asfálticas	MP, SO ₂ , NO _x	Referencia: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 Alternativos: 1A, 2A, 2C, 3A, 3B y 17	Tiempo de medición: 60 minutos Volumen de muestra: 0,90 dscm (31,8 dscf)
Fabricación de fertilizantes (Ácido Fosfórico)	MP, HF NO _x	Referencia: 1, 2, 3, 4 y 13A Alternativos: 3A, 3B, 13B y 17	Tiempo de medición: 60 minutos Volumen de muestra: 0,85 dscm (30 dscf)

Fuente. Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. Segunda versión.

Para cada método descrito se presenta el desarrollo y diagrama de flujo. Estos métodos están aprobados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos US-EPA. Dichos métodos están establecidos en la resolución 909/2008, Artículo 72, modificado por la resolución 0935 del 20 de abril 2011.

También se presentan las consideraciones adicionales para la evaluación de emisiones atmosféricas en las actividades establecidas.

2.4.1. Método 1. Determinación de los puntos para el cálculo de velocidad.

Este método es usado en chimeneas y ductos por donde fluyen corrientes de gas o aire. Este método no puede ser utilizado cuándo: 1. Hay flujo ciclónico o en remolino, 2. Cuando el diámetro del ducto es menor a 0.3 m en la superficie transversal.

El procedimiento no puede ser aplicado cuando el sitio de la medida es menor de 2 diámetros en B y 0.5 diámetros en A. En este método se verifican las dimensiones de la chimenea y de los niples o toma muestras, con el fin de calcular el número

En este método se selecciona una boquilla para la sonda preferiblemente de diámetro medio para realizar el muestreo preliminar, se instala el filtro de fibra de vidrio en el porta filtro se instala en la caja caliente, se realiza el montaje de los burbujeadores en la caja fría para determinar el contenido de humedad de los gases de la chimenea (método 4). Se instala la caja caliente y la caja fría y se conecta la sonda.

Cuando ya está las conexiones listas se realiza una prueba de fugas al tren de muestreo tapando la boquilla de la sonda, se cierra la válvula gruesa y se abre la válvula fina, se enciende la bomba de succión y se regula el flujo con la válvula gruesa hasta que el vacío llegue a 15 in Hg y en ese momento el manómetro debe registrar 0 y el medidor de gas seco debe estar quieto y se deja la bomba prendida por 1 minuto y el máximo permitido de volumen es de $0.00057 \text{ m}^3/\text{min}$. Después de realizar la prueba de fugas se pone a calentar la sonda y el filtro a una temperatura de 120 más o menos 15 °C.

Se inicia el muestreo encendiendo la bomba de succión y el horómetro simultáneamente, se toman los registros de: presión de velocidad, presión estática, temperatura de la chimenea, temperatura del medidor, volumen y se debe mantener un flujo constante entre $0.7 - 0.75 \text{ ft}^3/\text{min}$ y el tiempo total de la medición debe ser mayor a 40 min el cual se debe distribuir entre el número total de puntos de muestreo.

2.4.3. Método 3. Cálculo del peso molecular y húmedo de los gases.

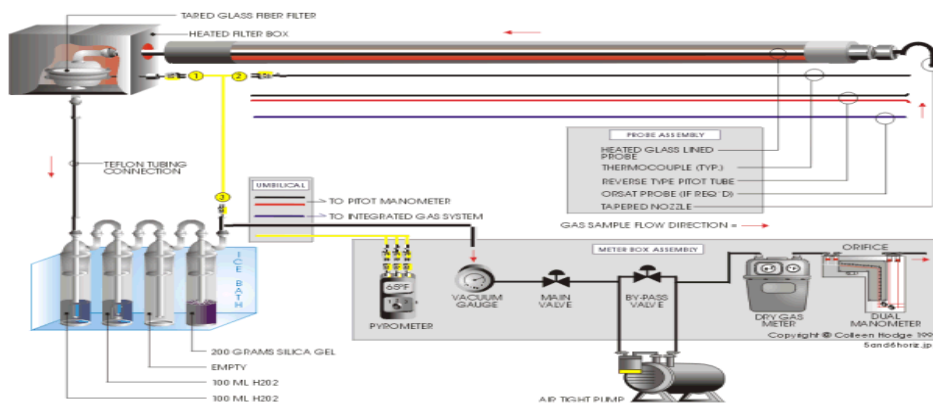
Para la aplicación de este método se toma una muestra de aire en una bolsa tedlar al mismo tiempo del muestreo preliminar con el fin de que la muestra de aires sea compuesta. Esta muestra debe ser analizada en el equipo ORSAT que contiene dos soluciones absorbentes de gases: O_2 y CO_2 , por diferencia de nivel se alimentan 100 ml de la muestra en la pipeta indicadora y después se deben

pasar los 100 ml por las soluciones absorbentes donde queda retenido el compuesto que se quiere analizar se debe pasar la muestra de aire primero por la solución de CO₂ y posteriormente por la solución de O₂.

2.4.4. Método 4. Determinación del contenido de humedad en gases de la chimenea.

Para la aplicación de este método antes de empezar el muestreo preliminar se realiza el montaje de los burbujeadores en la caja fría así: figura 2, en los burbujeadores 1 y 2 se cargan 100 ml de agua, el burbujeador 3 debe estar vacío y el burbujeador 4 con 200 g de sílica del, se aseguran las conexiones de los burbujeadores para evitar fugas en el tren de muestreo, cuando ya se realice el método 2 y finalizado la medición en todos los puntos de muestreo se desmonta la caja fría se miden los volúmenes finales del contenido de agua de los 3 primeros burbujeadores y se pesa la sílica del burbujeador 4 y con esto se calcula el porcentaje de humedad de la muestra tomada.

Figura No. 2. Montaje de soluciones para método 4 y 5



Fuente: www.activeset.org/methods/5.htm

2.4.5. Método 5. Determinación de las emisiones de material particulado en fuentes fijas.

Después de aplicar los métodos del 1-4 se calcula el diámetro de la boquilla y la diferencia entre la boquilla calculada y la utilizada no debe ser superior 1/32 pulgadas.

Se debe garantizar que el tubo de la sonda y la boquilla estén totalmente limpios para lo cual se debe lavar muy bien.

Se cargan las soluciones en la caja fría de la misma forma que se hizo en el método 2.

El material particulado se retira isocineticamente de la fuente y se recoge en un filtro de fibra de vidrio pre-pesado que es instalado en la caja caliente a una temperatura de 120 ± 14 °C y que posteriormente es llevado al laboratorio para determinar la masa gravimétricamente.

Antes de empezar a monitorear se debe realizar la prueba de fugas y calentar la sonda de la misma forma que se realizó antes de empezar el muestreo definitivo. El tiempo de muestreo es de 60 minutos y se distribuye entre la cantidad de puntos que se van a monitorear.

Cuando ya se va a empezar el muestreo definitivo se registra la lectura del medidor de gas seco y se enciende la bomba, se toma la lectura del diferencial de presión de velocidad ΔP conectando las dos mangueras que provienen del tubo pitot a la consola y se calcula el ΔH de succión al cual se debe tomar la muestra, el valor del ΔH se debe ajustar en el manómetro inclinado y se debe mantener durante el tiempo de la toma de la muestra en ese punto, se toman los demás datos ΔP , ΔH calculado y ΔH utilizado, temperaturas de :chimenea, medidor de gas seco, ultimo burbujeador, sonda y caja caliente y presión de vacío.

Al tener el dato de volumen final de aire que paso a través del tren de muestreo se calcula el % de isocinetismo el cual debe estar entre 90 y 110 %. Luego, se

desplaza la sonda al siguiente punto y se repite el mismo procedimiento hasta terminar la cantidad de puntos.

Cuando finaliza el muestreo se debe realizar nuevamente la prueba de fugas. Se mide el volumen final del agua recogido en los tres burbujeadores y se realiza el pesaje final de la sílica gel. Con estos datos se calcula la humedad con la cual se realiza la corrección del isocinetismo.

Se debe realizar la recuperación del lavado de sonda y la boquilla lavándola con 200 mL de acetona y se recupera en un frasco de vidrio ámbar para posteriormente calcular la masa por gravimetría.

2.4.6 Método 6. Determinación de las emisiones de dióxido de azufre en fuentes fijas.

Este método se realiza alternamente con el método 5, lo que se debe hacer es que en vez de agua en los burbujeadores 1 y 2 se cargan 100 ml de H₂O₂ al 3% en cada uno de estos burbujeadores, el tercer burbujeador se instala vacío y el cuarto con 200 g de sílica gel y se adiciona hielo a la caja fría.

Deben garantizar que el tren de muestreo no tenga fugas y se procede a realizar los mismos pasos para la toma de muestra así como dice en el método 5.

Cuando se termine el muestreo se mide el volumen final de la solución de peróxido de hidrogeno de los burbujeadores 1,2 y 3 y se recoge la muestra en un frasco ámbar de 1000 ml, después se lavan los burbujeadores con agua destilada y se adiciona a la muestra hasta llevarla a 1000 ml.

2.4.7. Método 7. Determinación de las emisiones óxidos de nitrógeno en fuentes fijas.

Se debe realizar los métodos del 1- 4 antes de tomar la muestra. Este método no es isocinético porque la muestra se toma puntualmente.

Antes de tomar la muestra se debe garantizar una limpieza total del tren de muestreo a partir del porta filtro. Se debe colocar la sonda y el porta filtro como se hace en el método 5, en los balones se adicionan 25 mL de solución absorbente para NOx, luego se ensamblan las dos llaves de tres vías, un lado debe ir conectado a la bomba de sección y el otro al manómetro digital, cuando ya se tiene todo el tren de muestreo listo se debe realizar la prueba de fugas para garantizar que cuando se haga vacío no existan fugas.

La toma de muestra se debe realizar de la siguiente forma: se enciende la bomba y se abren las llaves para purgar, se genera un vacío inicial para extraer el aire total existente en el balón y luego se da vía a los gases de la chimenea para lograr una mejor purga, se debe generar un segundo vacío para tomar la muestra y cuando se ha generado una presión absoluta menor a 3 pulgadas de agua se cierra la llave del balón. Luego se le debe dar paso al gas de la chimenea para purgar la línea y se aísla la salida de la llave hacia la bomba. Por último se gira la llave para no forzar la bomba y se abre la llave del balón para permitir que ingrese el gas de la chimenea en un tiempo aproximado de 15 segundos hasta que la presión en el manómetro se aproxime hasta la ambiental. Durante la toma de la muestra se deben registrar los datos de presión y temperatura.

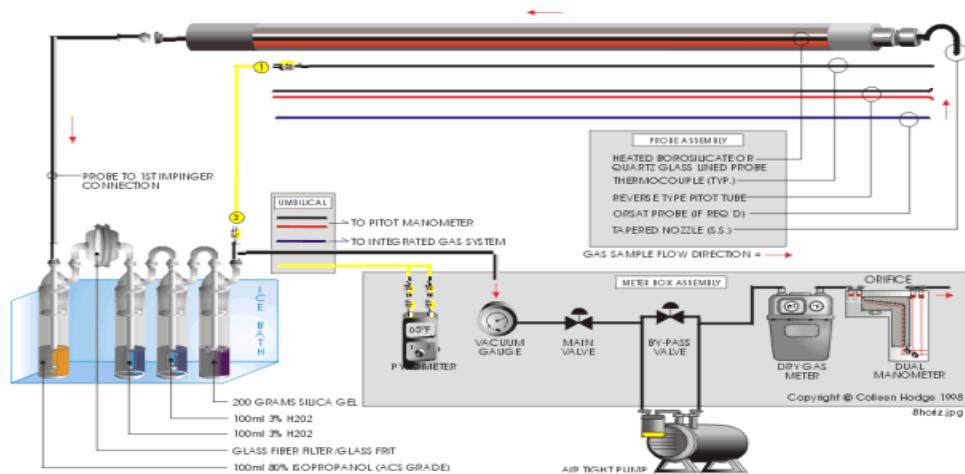
Una vez tomada la muestra en cada balón, se debe agitar por aproximadamente 5 minutos y se deja la muestra en el balón por un mínimo de 16 horas para posteriormente recuperar la muestra agitando el balón y tomando datos de temperatura y presión.

2.4.8. Método 8. Determinación de las emisiones de ácido sulfúrico y en fuentes fijas.

Para la toma de muestra el tren de muestreo debe ser en su totalidad de vidrio y debe garantizarse la limpieza total. El montaje se realiza como se muestra en la figura 3, 100 mL de isopropanol en el burbujeador 1, 100 ml de H₂O₂ al 3% en el burbujeador 2 y 100 en el burbujeador 3 y en el cuarto 200 g de sílica gel y entre el primer y el segundo burbujeador se instala el filtro de fibra de vidrio el cual no debe contener ninguna marca.

Se inicia el muestreo realizando el recorrido transversalmente como se describió en el método 5. Finalizada la toma de muestra se recupera midiendo el volumen final de las soluciones de isopropanol y almacenándola en un frasco ámbar de 250 mL haciendo un enjuague de la sonda, burbujeadores y parte frontal del porta filtro con 25 mL de isopropanol y se completa el volumen con isopropanol y peróxido de hidrogeno y se deben almacenar en una nevera, sin olvidar realizar el pesaje de la sílica gel. Se debe recuperar el filtro el cual debe ser enviado para los posteriores análisis de laboratorio y cálculo de SO₃.

Figura No. 3. Montaje del método 8



Fuente: www.activeset.org/methods/8.htm

2.4.9. Determinación de las emisiones de fluoruro total en fuentes fijas.

Para la aplicación de este método se deben tener en cuenta los lineamientos de los métodos 1, 2, 3 y 5 y es aplicable para la determinación de fluoruro total en fuentes fijas pero no mide compuestos fluorocarbonados. Este método consiste en retirar en forma isocinética gases y partículas de fluoruro encontrados en una fuente fija que se recogieron en agua y filtro y analizado por método colorimétrico de una solución SPADNS de Zirconio.

En este método se puede generar gran interferencia si hay presencia de grandes cantidades de Cloruro en la fuente fija, también en superficies expuestas a la muestra y que estén impregnadas de grasa pueden retener el Fluoruro por adsorción. Los compuestos Ácido Clorhídrico, Hidróxido de Sodio y el Ácido Sulfúrico son altamente peligrosos por lo cual se debe cumplir con los requerimientos de seguridad para su uso.

El tren de muestreo es similar al del método 5 con la diferencia que el filtro puede cambiar de posición (ver figura 4), la boquilla y el tren de muestreo debe ser en vidrio, el filtro se ubica entre el tercer y cuarto impactador, si se presentan problemas por condensación de agua se ubica antes del primer impactador, el portafiltro solo podrá ser de borosilicato o acero inoxidable. Se habilita el calentamiento de la línea de muestreo y caja caliente como lo establece el método 5, el filtro a utilizar debe ser de cuarzo o similar pero los de fibra de vidrio no son aceptados para este método por presentar variaciones en sus blancos del contenido de F, estos valores no deben sobrepasar 0.015 mg F/cm^2 y la prueba debe hacerse por triplicado.

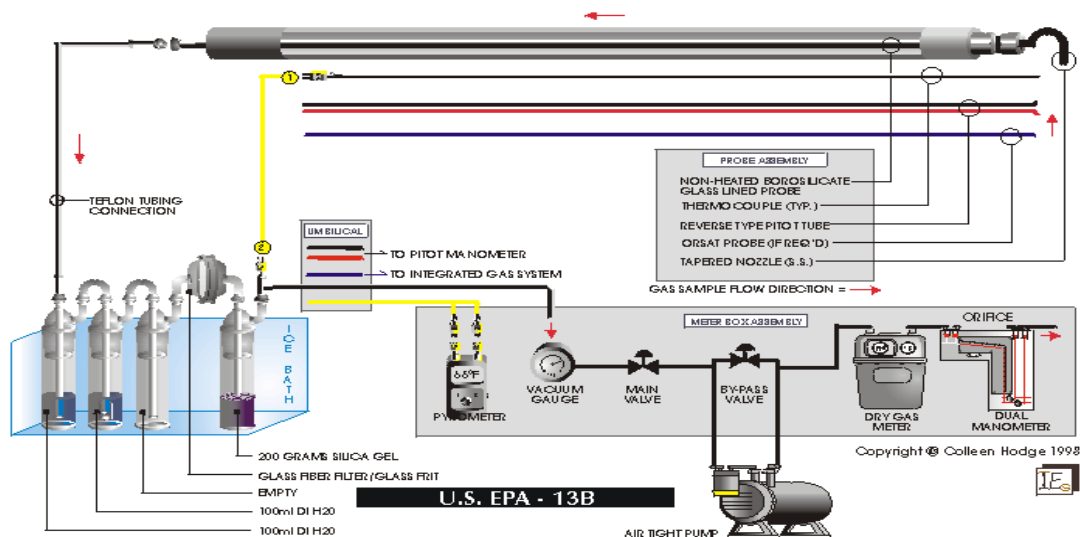
El primer impactador debe ser uno modificado con 100 ml de agua destilada, el segundo es un impactador estándar con 100ml de agua destilada, el tercer es un impactador modificado vacío y el cuarto es un impactador modificado con aproximadamente 200 g de sílica gel.

El tamaño de la boquilla se determina de acuerdo al método 5, garantizando que se puedan mantener los flujos inferiores a 28 litros/min (1 cfm). El procedimiento de toma de muestra es el mismo del método 5.

Para la recuperación de la muestra se realiza limpieza con cepillo de nylon y enjuagues de boquilla, línea de muestreo y parte frontal de porta filtro (si este está entre la sonda y el primer impactador) con pequeñas porciones de agua destilada, con una bureta se miden las aguas recogidas en los tres primeros impactadores y posterior a esto se realizan tres enjuagues a cada uno con porciones pequeñas de agua, el filtro, todos los enjuagues y el agua de los impactadores se depositan en el contenedor No 1 y se lleva a 250 ml con agua destilada.

En el contenedor No 2 se prepara el blanco de la muestra, el cual se compone de la misma cantidad recuperada del muestreo entre enjuagues y muestra con agua destilada sin usar y un filtro limpio. El contenedor 3 almacena la sílica gel, a la cual se observa color y de ser posible se pesa en campo.

Figura No. 4. Montaje método 13 B



Fuente: www.activeset.org/methods/13b.htm

2.5. INSTALACIONES NECESARIAS PARA REALIZAR MEDICIONES DIRECTAS

En el ítem 5. “Instalaciones necesarias para realizar mediciones directas” de la guía se presenta un diagrama que le permite al usuario establecer las instalaciones que deberán tener todos los ductos o chimeneas de las fuentes fijas que realicen descargas contaminantes a la atmósfera, para la realización de mediciones directas, de manera que se garanticen las condiciones necesarias para obtener mediciones representativas. Dichos requerimientos están establecidos en el artículo 71 de la Resolución 909 de 2008.

Las dimensiones y ubicación de la plataforma, debe permitir que exista una distancia mínima de 1.0 m entre el equipo que se utilice para la medición y los obstáculos más cercanos tales como paredes o columnas, entre otros. Lo anterior con el fin de contar con un área libre para la ubicación del tren de toma de muestra y la manipulación del mismo.

En los casos en los que por las condiciones de los obstáculos cercanos no se pueda garantizar una distancia superior a 1.0 m, se deberá utilizar una sonda y extensión flexibles para el desarrollo de la medición. La plataforma deberá contar con piso y escaleras firmes y antideslizantes que soporten el peso de al menos tres (3) personas y el equipo de toma de muestra. Esta plataforma deberá estar instalada de manera permanente.

Se aceptarán plataformas temporales siempre y cuando al ser ubicadas en el sitio para el muestro garanticen que se cumple con los criterios establecidos anteriormente para plataformas seguras de medición.

La plataforma o la zona de medición deben contar con un suministro de energía de 110V con polo a tierra y protección necesaria para evitar cortos y choques eléctricos.

La base de la plataforma deberá estar a una distancia vertical de los puertos o niples, que permita maniobrabilidad de los equipos y los dispositivos de toma de muestra.

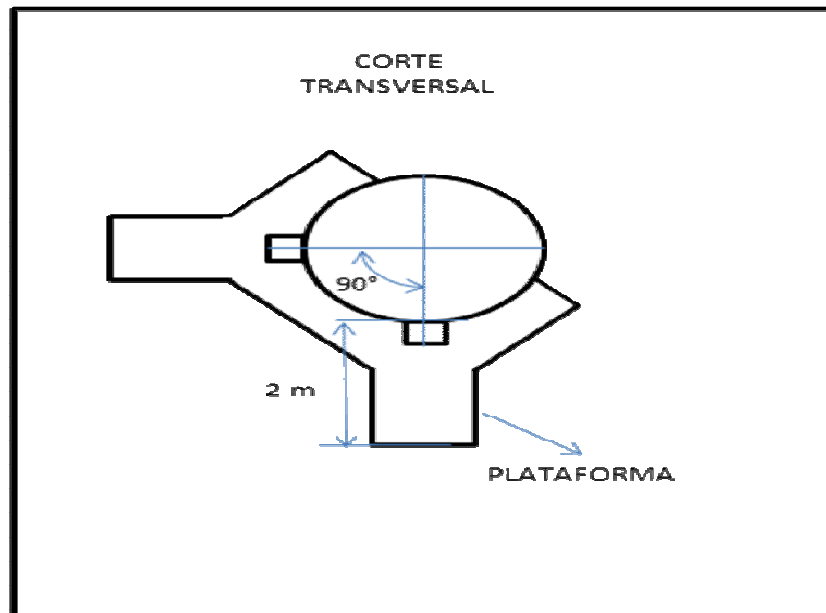
Cuando por las condiciones del punto de descarga, la plataforma se tenga que ubicar a una altura igual o superior a 25 m, se debe acondicionar un área de descanso o bahía para movilizar el equipo con mayor seguridad.

Para el transporte de los equipos desde el suelo hasta la plataforma se puede utilizar un sistema tipo “polea” que permita transportarlos de manera segura, siempre y cuando se garantice que el sistema soporta el peso del equipo y de los dispositivos que hacen parte del mismo.

2.5.1. Ducto circular.

En la figura 5 se presenta las recomendaciones para un ducto circular.

Figura No. 5. Plataforma ducto circular



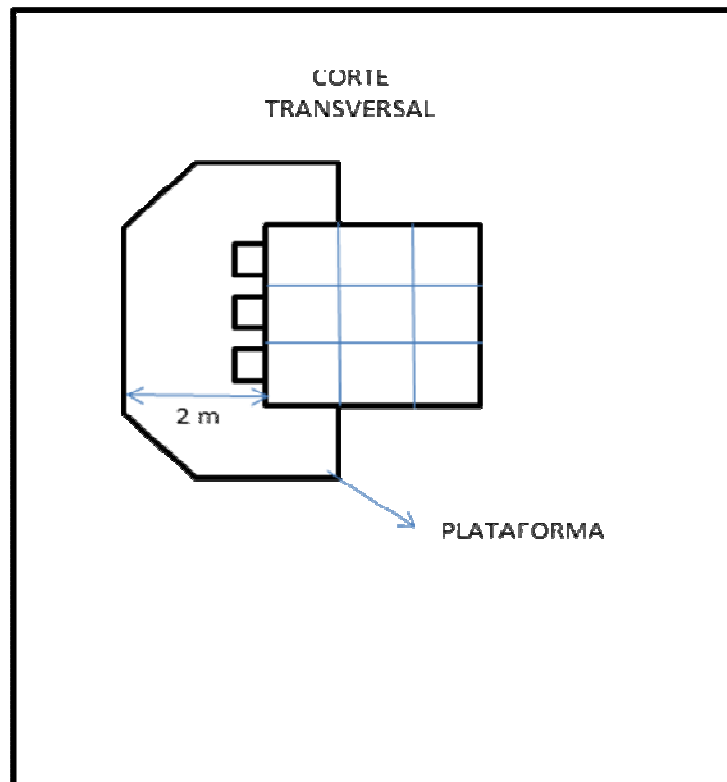
Fuente: documentación ICG Ltda.

Para chimeneas superiores a 2.5 metros se recomienda disponer de 4 tomas muestras, por lo tanto la plataforma debe ir para los cuatro puertos.

2.5.2. Ductos rectangulares.

En la figura 6 se presenta el diagrama para la ubicación de la plataforma si el ducto es rectangular.

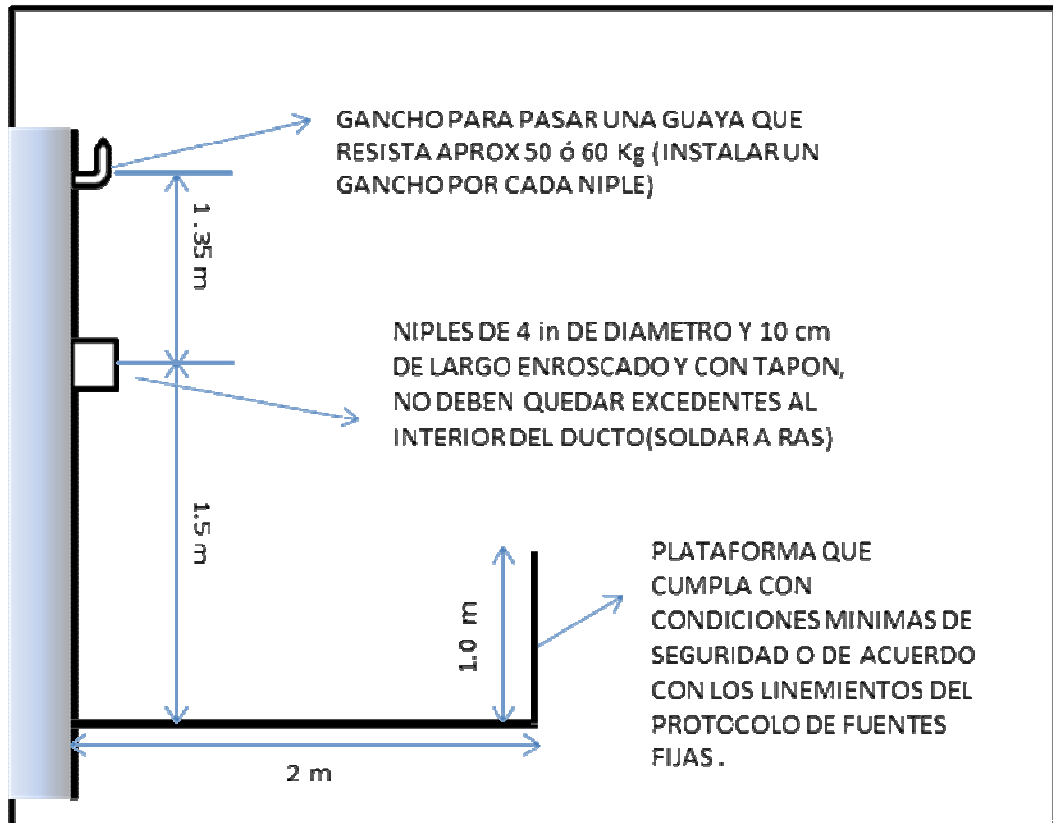
Figura No. 6. Plataforma ducto rectangular



Fuente: documentación ICG Ltda.

Adicionalmente para los dos tipos de chimeneas se deben realizar las adecuaciones de acuerdo a la figura 7.

Figura No. 7. Adecuaciones adicionales para la ubicación de equipos



Fuente: documentación ICG Ltda.

2.6. BALANCE DE MASAS

En el ítem 6. “Balance de masas” de la guía se presenta un formato para el diligenciamiento de los requisitos establecidos en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas segunda versión, en el numeral 1.2 para la cuantificación de emisiones por balance de materia y energía.

Este formato está compuesto por unos ítems los cuales se deben diligenciar la información relacionada con el proceso de la fuente generadora de emisiones.

Cuando el usuario señala el título de cada ítem se presentan unas consideraciones que sirven de ayuda en el momento de diligenciar cada ítem, de ayuda en el momento de diligenciar cada ítem. A continuación en la tabla 5-3. Información necesaria para evaluar emisiones por balance de masas se sintetiza los campos a diligenciar y las consideraciones adicionales a tener en cuenta que se presentan en el formato, el cual se describe en el cuadro 3, Informe de cuantificación de emisiones por balance de materia y energía.

Tabla 3. Información necesaria para evaluar emisiones por factores de emisión

Ítem	Descripción	Observaciones y consideraciones adicionales
1	Identificación y descripción de los procesos y fuentes de emisión	Describir de manera general las actividades productivas. Se debería Incluir un diagrama de flujo de cada uno de los procesos que está siendo analizado, equipos de control de emisiones, variables del proceso, tasas de operación de los equipos
2	Variables de los procesos	Identificar las operaciones unitarias, establecer los límites de los procesos y operaciones unitarios, entradas y salidas del proceso.
3	Caracterización y análisis	Incluir información de las variables de los procesos como: Información relacionada con los sistemas que caracterizan el proceso (Temperatura, presión, consumo de materias primas e insumos, entre otros), instrumentos de laboratorio utilizados y duración de la campaña de recolección de datos.
4	Descripción de los equipos y otros elementos	Se debe incluir la información relacionada con las condiciones de operación de los equipos, dispositivos de control de emisiones durante el análisis, incluyendo el rango de operación y eficiencia a la cual los equipos se encuentran operando durante la mencionada evaluación.
5	Identificación de los sitios de toma de muestra	Definir la ubicación de los equipos asociados a la generación de emisiones atmosféricas por medio de un plano
6	Procedimientos de control de calidad	Describir la frecuencia y procedimientos de calibración de los equipos y elementos de medición que se emplean durante el desarrollo de la evaluación de emisiones, para lo cual se requiere contar con los certificados y las curvas de calibración.
7	Revisión bibliográfica	Se deben reportar todas las fuentes bibliográficas utilizadas para la elaboración del balance de masas y para el análisis del proceso.

Fuente. Los autores de este trabajo de grado.

Cuadro 3. Formato informe de cuantificación de emisiones por balance de materia y energía.

INFORME DE CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES POR BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	
A continuación se debe diligenciar la información necesaria para evaluar emisiones por factores de emisión.	
* En cada ítem se presentan observaciones a manera de guía	
Identificación y descripción de los procesos y fuentes de emisión	
Variables de los procesos	
Caracterización y análisis	
Descripción de los equipos y otros elementos	
Identificación de los sitios de toma de muestra	
Procedimientos de control de calidad	
Revisión bibliográfica	
Responsable	
Fecha	

Fuente. Los autores del trabajo de grado.

2.7. FACTORES DE EMISIÓN

En el ítem 7. “Factores de emisión” de la guía se presentan los factores de emisión establecidos en la Agencia de protección ambiental para los estados unidos (EPA) En el titulo 42.Compilation of Air Pollutant Emission Factors (US-EPA, 1995a). Dicha descripción relaciona la fórmula de cálculo de los factores de emisión, la descripción de cada proceso y los factores de emisión como se describe a continuación:

2.7.1. Generalidades de los factores de emisión.

Un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad o del proceso, tales como el consumo de energía, el consumo de materia prima, el consumo de combustible, las unidades de producción, el calendario de operación, el número de dispositivos o las características de estos, entre otros.

El uso de los factores de emisión es apropiado cuando los materiales que se emplean, son consumidos o combinados químicamente en los procesos o cuando se producen bajas pérdidas de material por liberación a la atmósfera, en comparación con las cantidades que se tratan en el proceso. Los factores de emisión representan valores promedio de un rango de tasas de emisión, es decir, que en algunos casos las emisiones de la actividad variarán con respecto al resultado del factor de emisión, dependiendo de los valores que se utilizan para el análisis.

$$E = A \times EF \times \frac{1 - ER}{100}$$

Donde,

E = Emisiones

A = Unidad de actividad o del proceso

EF = Factor de emisión

ER =Reducción de la emisión, %

Los factores de emisión que se deben utilizar por las fuentes antes mencionadas, son los establecidos en el documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (US-EPA, 1995a) el cual contiene los factores de emisión definidos en Estados Unidos para una gran cantidad de actividades.

2.7.2. Factores de emisión para diferentes procesos.

A continuación se especifican los factores de emisión para los procesos de fabricación de **Ácido Fosfórico, Ácido Sulfúrico y Plantas de mezclas asfálticas.**

La evaluación de emisiones a través de factores de emisión debe contener la misma información establecida en la estimación mediante balance de masas, pero se debe incluir una información adicional, la cual se debe presentar a la autoridad ambiental.

Para desarrollar este ítem se presenta un formato “Informe de evaluación de emisiones por factores de emisión” en donde el usuario debe diligenciar la información recomendada en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas segunda versión, en el numeral 1.3.2 para el desarrollo de los factores de emisión.

Este formato está compuesto por unos ítems los cuales se deben diligenciar la información relacionada con el proceso de la fuente generadora de emisiones. Cuando el usuario señala el título de cada ítem se presentan unas

consideraciones que sirven de ayuda en el momento de diligenciar cada ítem. A continuación en la tabla 4. Información necesaria para evaluar emisiones por factores de emisión se sintetiza los campos a diligenciar y las consideraciones adicionales a tener en cuenta que se presentan en el formato, el cual se describe en el cuadro 4 Formato informe de emisiones por factores de emisión.

Tabla 4. Información necesaria para evaluar emisiones por factores de emisión

Ítem	Descripción	Observaciones y consideraciones adicionales
1	Identificación de las fuentes de emisión	Realizar una amplia descripción de las fuentes de emisión teniendo en cuenta las variables que afectan la emisión
2	Nivel de actividad	Es una medida del tamaño o nivel real del proceso o instalación, el cual se utiliza para afectar el factor de emisión para fuentes que no están controladas. Para fuentes de emisión de procesos industriales, corresponde a la tasa de producción
3	Estimación de las emisiones	Descripción y justificación del factor de emisión seleccionado y utilizado, la fuente, y los estándares de emisión que le aplican a la actividad
4	Desarrollo de factores de emisión	Reunir la información necesaria para realizar el análisis Posteriormente, se debe verificar tanto la calidad y suficiencia de los datos recolectados para la determinación del cumplimiento de la normatividad vigente, como el procedimiento aplicado para el cálculo de los valores y la generación de los factores de emisión
5	Recolección de datos y cálculo de la incertidumbre	Caracterizar la fuente y el proceso para la elaboración y desarrollo de factores de emisión.

Fuente. Los autores de esta trabajo.

Cuadro 4. Formato informe de emisiones por factores de emisión

INFORME DE EMISIONES POR FACTORES DE EMISIÓN	
<p>A continuación se debe diligenciar la información necesaria para evaluar emisiones por factores de emisión.</p> <p>* En cada ítem se presentan observaciones a manera de guía</p>	
1. Identificación de las fuentes de emisión	
2. Nivel de actividad	
3. Estimación de las emisiones	
4. Desarrollo de factores de emisión	
5. Recolección de datos y cálculo de la incertidumbre	
• Descripción y nombre del proceso	
• Capacidad nominal de los equipos del proceso	
• Tipo y consumo de combustible	
• Materias primas utilizadas en el proceso	
• Capacidad instalada de operación de la planta	
• Capacidad de operación de la planta al momento de la evaluación	
• Dispositivos de control y sus correspondientes parámetros de operación	
• Vida útil de los dispositivos de control	
• Frecuencia con la cual se realiza el mantenimiento preventivo de los equipos y los correspondientes sistemas de control	
• Descripción del último mantenimiento realizado a los equipos y a los correspondientes sistemas de control (en caso de tenerlos)	
• Cambios que se hayan presentado en el proceso o en los sistemas de control durante la evaluación	

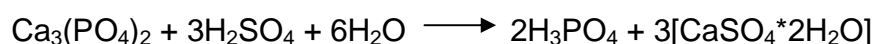
Cuadro 4. (Continuación)

• Contaminantes monitoreados y descripción de los métodos utilizados durante la evaluación	
• Deficiencias y/o desviaciones en el procedimiento de evaluación	
• Número y duración de las corridas de la evaluación	
OBSERVACIONES	
<p>* Se deben analizar los datos relacionados con las variaciones en las cantidades y la composición de las materias primas e insumos utilizados en el proceso, puesto que dichas variaciones alteran tanto la concentración como la composición específica de las emisiones</p> <p>* Tener en cuenta las condiciones bajo las cuales opera la fuente fija, parámetros de operación</p> <p>* Tener en cuenta las condiciones de los equipos generadores de emisiones y condiciones ambientales</p>	

Fuente. Los autores del trabajo de grado

2.7.2.1. Factores de emisión para el proceso de fabricación de ácido Fosfórico.

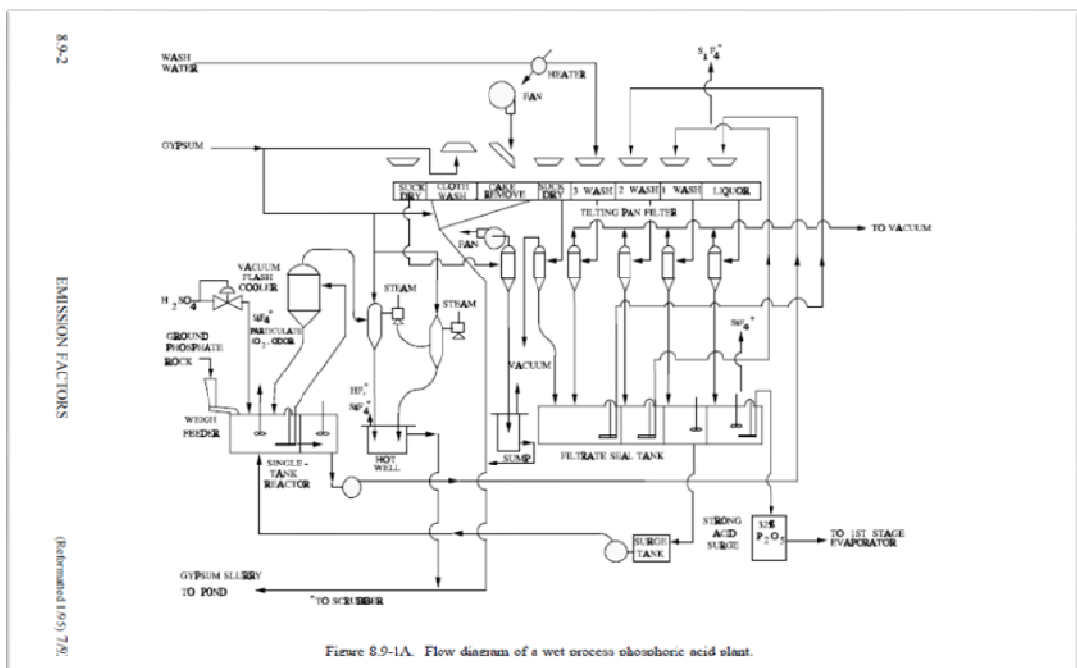
El ácido fosfórico producido por vía húmeda, es usado para la producción de fertilizantes. Este se genera por la reacción de ácido sulfúrico con roca fosfórica. Previamente la roca fosfórica es secada, triturada y se alimenta continuamente al reactor junto con el ácido sulfúrico. En esta reacción se genera sulfato de calcio (CaSO_4) comúnmente denominado yeso. El yeso es separado de la solución anterior por filtración obteniéndose un sulfato de calcio dihidratado de acuerdo con la siguiente reacción química:



Durante la reacción los cristales de sulfato de calcio se precipitan y son separados del ácido por filtración. Posteriormente el yeso es lavado para recuperar el mayor porcentaje de ácido posible.

El ácido obtenido contiene aproximadamente una concentración de 26% a 30% P_2O_5 . En la mayoría de los casos es necesario concentrar más el ácido de tal manera que cumpla las especificaciones para la producción de fertilizantes. Dependiendo del uso el ácido es concentrado de 40 a 55% P_2O_5 . En la siguiente figura se muestra el diagrama de producción de ácido fosfórico por vía húmeda.

Figura No. 8. Diagrama del proceso de ácido fosfórico por vía húmeda



Fuente. EPA. AP 42. 5 ediciones Volumen 1 numeral 8.9

- Emisiones y controles:

Las mayores emisiones son gases de tetrafluoruro de silicio (SiF_4) y fluoruro de hidrogeno (HF). La roca fosfórica contiene de 3 a 4% de flúor aproximadamente. En general, parte de del flúor de la roca se precipita con el yeso, otra se queda en el ácido y otra porción se evapora en el proceso de evaporación del ácido. La cantidad varía del tipo de roca fosfórica, del diseño y de las condiciones de

operación. Entre las opciones de sistemas de control de las emisiones están los scrubbers. La etapa de reacción es la que más produce gases al igual que la etapa de evaporación. A continuación se presenta los factores de emisión para el proceso de ácido fosfórico con y sin sistemas de control de emisiones.

Tabla 5. Factores de emisión con sistemas de control de emisiones

Etapa	Flúor (Kg/mg de P₂O₅)
Reacción	1,9x10 ⁻³
Evaporación	0,022x10 ⁻³
Filtro de bandas	0,32x10 ⁻³
Filtro de vacío	0,073x10 ⁻³

Fuente. EPA. AP 42. 5 edición. Volumen 1. Numeral 8.9

Tabla 6. Factores de emisión sin sistemas de control de emisiones

Etapa	Eficiencia (% nominal)	Flúor (Kg/mg de P₂O₅)
Reacción	99	0,19
Evaporación	99	0,00217
Filtro de bandas	99	0,032
Filtro de vacío	99	0,0073

Fuente. EPA. AP 42. 5 edición. Volumen 1. Numeral 8.9

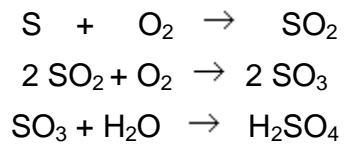
2.7.2.2. Factores de emisión para el proceso de fabricación de ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico es una materia prima utilizada en una gran variedad de procesos industriales como por ejemplo en producción de fertilizantes fosfatados, producción de pigmentos orgánicos, refinación del petróleo, producción de papel, etc.

Las plantas para la producción de ácido sulfúrico por proceso de contacto se clasifican de acuerdo a las materias primas utilizadas las cuales pueden ser

quemado azufre elemental, combustión de sulfuro de hidrogeno (H₂S) gaseoso, quemando piritas (Bisulfuro de Hierro) o quemando otros sulfuros no ferrosos.

El proceso se basa en el empleo de un catalizador para convertir el SO₂ en SO₃, del que se obtiene ácido sulfúrico por hidratación.



- Emisiones y controles:

Dióxido de azufre. Un gran número de experimentos demuestran que la masa de dióxido de azufre producido es inversamente proporcional de la eficiencia de conversión (SO₂ oxidado a SO₃). Esta conversión siempre es incompleta y depende del número de etapas en el convertidor catalítico, la cantidad de catalizador usado, temperaturas y presiones, y las concentraciones de los reactantes (dióxido de azufre y oxígeno).

Neblinas ácidas. Las neblinas acidas se generan cuando el trióxido de azufre reacciona con vapor de agua a una temperatura por debajo del punto de condensación del trióxido de azufre.

En general, la cantidad y la distribución del tamaño de partícula de la neblina acida depende del tipo de azufre utilizado, la concentración de ácido producido, y las condiciones en la etapa de absorción.

Tabla 7. Factores de emisión de Dióxido de Azufre

Eficiencia de conversión de SO₂ a SO₃	Emisión de SO₂ (Kg/t de producto)
93	48.0
94	41.0
95	35.0
96	27.5
97	20.0
98	13.0
99	7.0
99,5	3.5
99,7	2.0
100	0.0

Fuente. EPA. AP 42. 5 edición. Volumen 1. Numeral 8.10

Tabla 8. Factores de emisión de Neblinas acidas sin sistemas de control de emisiones.

Materia Prima	Oleum Producido % Total	Emisión (Kg/t de producto)
Recovered sulfur	0-43	0.174 - 0.4
Bright virgin sulfur	0	0.85
Dark virgin sulfur	0-100	0.16 - 3.14
spent acid	0-77	1.1 - 1.2

Fuente. EPA. AP 42. 5 edición. Volumen 1. Numeral 8.10

Tabla 9. Factores de emisión de Neblinas acidas con sistemas de control de emisiones

Materia Prima	Oleum Producido % Total	Emisión (Kg/t De Producto)
Recovered sulfur	-	0,064
Bright virgin sulfur	0-13	0,26 - 1,8
Dark virgin sulfur	0-56	0,014 -0,2
spent acid	0-77	1.1 - 1.2

Fuente. EPA. AP 42. 5 edición. Volumen 1. Numeral 8.10

2.7.2.3. Factores de emisión para el proceso de fabricación mezclas asfálticas.

Como se muestra en la figura 9 el agregado crudo esta normalmente almacenado cerca de la unidad de producción. El contenido de agua a granel se estabiliza típicamente entre el 3 a 5 % por peso.

depuradores, y los filtros secos de tela. Las tentativas de aplicar los precipitadores electrostáticos se han encontrado con poco éxito. Prácticamente todas las plantas utilizan el equipo primario de la eliminación del polvo tal como ciclones del diámetro grande, desnatadoras, o compartimientos de establecimiento. Estos compartimientos se utilizan a menudo como los clasificadores para volver a recoger el material al elevador caliente y para combinarlo con el agregado más seco. Para capturar el M.P restante, el efluente primario del colector se canaliza a un dispositivo secundario. La mayoría de las plantas utilizan un filtro de la tela o a un depurador de venturi para el control de emisiones secundarias. Como cualquier proceso de la combustión, el diseño, la operación, y el mantenimiento de la hornilla provee de oportunidades de reducir al mínimo emisiones del NOx, del CO, y de compuestos orgánicos.

A contaminación se presentan las tablas de los factores de emisión para M.P dependiendo el tipo de sistema de control.

Tabla 10. Factores de emisión según el tipo de sistema de control

Process	Filterable PM				Condensable PM ^b				Total PM			
	PM ^c	EMISSION FACTOR RATING	PM-10 ^d	EMISSION FACTOR RATING	Inorganic	EMISSION FACTOR RATING	Organic	EMISSION FACTOR RATING	PM ^e	EMISSION FACTOR RATING	PM-10 ^f	EMISSION FACTOR RATING
Dryer ^g (SCC 3-05-002-05, -55 to -63)												
Uncontrolled	28 ^h	D	6.4	D	0.0074 ⁱ	E	0.058 ^h	E	28	D	6.5	D
Venturi or wet scrubber	0.026 ^m	A	ND	NA	0.0074 ⁱ	A	0.012 ^p	A	0.045	A	ND	NA
Fabric filter	0.014 ^q	A	0.0039	C	0.0074 ⁱ	A	0.012 ^p	A	0.033	A	0.023	C

Fuente. EPA. AP 42. 5 edición. Volumen 1. Capítulo 11.1

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión dependiendo del tipo de combustible utilizado.

Tabla 11. Factores de emisión según el tipo de combustible empleado

Process	CO ^b	EMISSION FACTOR RATING	CO ₂ ^c	EMISSION FACTOR RATING	NO _x	EMISSION FACTOR RATING	SO ₂ ^c	EMISSION FACTOR RATING
Natural gas-fired dryer (SCC 3-05-002-55,-56,-57)	0.13	B	33 ^d	A	0.026 ^e	D	0.0034 ^f	D
No. 2 fuel oil-fired dryer (SCC 3-05-002-58,-59,-60)	0.13	B	33 ^d	A	0.055 ^e	C	0.011 ^h	E
Waste oil-fired dryer (SCC 3-05-002-61,-62,-63)	0.13	B	33 ^d	A	0.055 ^e	C	0.058 ^j	B
Coal-fired dryer ^k (SCC 3-05-002-98)	ND	NA	33 ^d	A	ND	NA	0.19 ^m	E

Fuente. EPA. AP 42. 5 edición Volumen 1. Capítulo 11.1

2.8. INFORME PREVIO DEL ESTUDIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

En el numeral 8. “Informe previo del estudio de emisiones atmosféricas” se presenta un formato, el cual se debe diligenciar para radicar ante la autoridad ambiental previamente al estudio de emisiones.

Cuadro 5. Pre informe de emisiones atmosféricas

PREINFORME EVALUACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	
RAZÓN SOCIAL:	NIT:
ACTIVIDAD:	
REPRESENTANTE LEGAL:	C.C:
MUNICIPIO:	DEPARTAMENTO:
DIRECCIÓN:	GEOREFERENCIACIÓN:
TELÉFONO:	FAX:
TELÉFONO:	E-MAIL:
PRESIÓN BAROMÉTRICA (mmHg):	ALTITUD (msnm):
TEMPERATURA AMBIENTE (°C):	UBICACIÓN POT: ____ Urbana; Rural: -----
OBJETIVO:	
Evaluar el cumplimiento de las emisiones atmosféricas en las actividades industriales y equipos de	

_____ para determinar cumplimiento de acuerdo a la Resolución 909 de 2008 .			
FECHA MONITOREO:			
HORA DE INICIO :			
PUNTO DE MEDICIÓN:		PLANTA:	
ACTIVIDAD INDUSTRIAL (Res. 909 de 2008):			
CONTAMINANTES A MEDIR:			
Material Particulado:	Dióxido de Azufre (SO₂):	Oxidos de Nitrógeno (NO_x):	Neblina Acida (H₂SO₄):
HF:	HCl:	HCl:	Monóxido de Carbono (CO):
MÉTODOS DE MUESTREO:			
Materia Prima (Ton/h), relacionada con la Fuente de Emisión:		Producción (Ton/h), relacionada con la Fuente de Emisión:	
Combustible utilizado:		Consumo de Combustible (Gal/h):	-
RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN:			
LABORATORIO ENCARGADO DE LOS ANÁLISIS:			
RESOLUCIÓN DE ACREDITACIÓN IDEAM :			

Fuente: Documentación ICG Ltda

2.9. INFORME FINAL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

En el numeral 9. "Informe final de emisiones atmosféricas" se presenta una lista de chequeo, que reúne la información que debe contener el informe final de la evaluación de emisiones atmosféricas, y que le permitirá al usuario evaluar el cumplimiento de la información del informe final con los requisitos establecidos en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.

Segunda versión. De esta manera se puede establecer la información faltante para ser incluida en el informe que se le deberá presentar a la autoridad ambiental.

Cuadro 6. Lista de chequeo de informe final de emisiones atmosféricas

INFORME FINAL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS				
<i>CONSIDERACIONES INICIALES</i>				
<p>* El informe final del estudio de emisiones deberá presentarse en original y en idioma español ante la autoridad ambiental competente como máximo dentro de los treinta (30) días calendario, siguientes a la fecha de su realización de acuerdo con la frecuencia establecida por el presente protocolo.</p>				
A continuación se relacionan los componentes obligatorios que debe tener el informe final:				
No.	INFORME FINAL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	S I	N O	OBSERVACIONES
1.	Resumen ejecutivo			
1.1	Incluye información concisa relacionada con las características y especificaciones de la fuente fija medida			
1.2	Incluye el tipo y consumo de combustible			
1.3	Incluye los contaminantes medidos			
1.4	Incluye las condiciones de operación de la fuente fija los contaminantes medidos			
1.5	Incluye las condiciones de operación de la fuente fija los contaminantes medidos			
1.6	Incluye los estándares de emisión admisibles aplicables			
1.7	Incluye los métodos de medición utilizados			
1.8	Incluye los errores identificados y los resultados obtenidos			
2.	Introducción			
2.1	Incluye el nombre e identificación del representante legal de la actividad objeto de control de acuerdo con lo establecido en la Resolución 909 de 2008			

Cuadro 6. (Continuación)

No.	INFORME FINAL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	S I	N O	OBSERVACIONES
2.1	Incluye el nombre e identificación del representante legal de la actividad objeto de control de acuerdo con lo establecido en la Resolución 909 de 2008			
2.2	Incluye el responsable operativo del proceso o instalación			
2.3	Incluye la localización geográfica			
2.4	Incluye el responsable operativo del proceso o instalación			
2.5	Incluye los contaminantes que son medidos, las normas y estándares de emisión admisibles aplicables			
2.6	Incluye una explicación concisa de los objetivos de la evaluación de emisiones			
3.	Descripción del proceso o instalación			
3.1	Incluye una descripción de los procesos que son objeto de la evaluación			
3.2	Incluye una descripción de la operación y funcionamiento de los equipos relacionados con la fuente de emisión a ser analizada			
3.3	Incluyen la información referente a la capacidad máxima de producción de los equipos (ton/h, m ³ /h, entre otras), la capacidad normal y promedio de operación			
3.4	Incluyen los tipos de combustibles utilizados y sus consumos			
3.5	Incluye las horas de operación del proceso			
3.6	Si el proceso es por lotes o cochadas (tipo batch), la descripción incluye la información sobre la duración y número de lotes por día			
3.7	Incluye los datos de la capacidad normal de operación			Se deberá enviar los registros de operación de los últimos doce (12) meses del equipo a evaluar y para el caso de instalaciones nuevas, deberán entregar la información de los últimos seis (6) meses de operación.
3.8	Incluye el tipo de proceso (físico, químico, entre otros) y la correspondiente descripción			
3.9	Incluye la descripción del funcionamiento de los sistemas de control			
3.10	Incluye el tipo y consumo de combustible (si aplica).			

Cuadro 6. (Continuación)

No.	INFORME FINAL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	S I	N O	OBSERVACIONES
4	Descripción de la fuente de emisión			
4.1	Incluye un diagrama de la chimenea o ducto mostrando los puertos de toma de muestra, plataformas y ductos adyacentes, sitio de toma de muestra las cercanías con las perturbaciones (codos, uniones, desviaciones, entre otros) antes y después del punto de toma de muestra y el diámetro (interno y externo) de la chimenea.			No es válido un diagrama esquemático
4.2	Incluye un diagrama de la chimenea o ducto mostrando los puertos de toma de muestra, plataformas y ductos adyacentes			
4.3	Incluye una descripción de las condiciones en la chimenea, incluyendo velocidad, temperatura, presiones, contenido de humedad, la carga y composición de los gases de emisión			
4.4	Incluye un anexo fotográfico donde se observe especialmente la chimenea o ducto en evaluación, los puertos de toma de muestra, la plataforma de medición de las emisiones y los sistemas de control de emisiones, en los casos que estos se encuentren instalados.			
4.5	Si el análisis se desarrolla por el método de balance de masas: incluye un diagrama de flujo del proceso, en donde se especifiquen las operaciones o procesos unitarios que lo conforman, las condiciones de operación de cada una de estas (físicas y químicas), así como especificar las transformaciones que se presentan en el proceso, y los productos y subproductos que se obtienen.			
5	Descripción del programa de medición			
5.1	Se incluye la identificación del responsable de realizar la evaluación de emisiones			
5.2	Incluye la descripción de los equipos utilizados para la toma de muestra y la recuperación de las muestras			
5.3	Incluye la descripción las características de la sonda de toma de muestra (material y longitud)			

Cuadro 6. (Continuación)

No.	INFORME FINAL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	S I	N O	OBSERVACIONES
5.4	Incluye la descripción del tren de impactadores y vidriería asociada, incluyendo frascos de muestra y el procedimiento de limpieza de la misma.			
5.5	Incluye la descripción de los módulos de medición del gas y tipo de bomba			
5.6	Incluye los Instrumentos de laboratorio			Todos los equipos y sondas de toma de muestra deben contar con los números de serie o número de identificación correspondientes
5.7	Se especifican los métodos de toma de muestra y análisis a ser empleado para cada parámetro o contaminante			Se deberán incluir además los formatos utilizados para consignar los datos de campo Los procedimientos de cálculo con el fin de mantener y demostrar la trazabilidad de los valores obtenidos.
6.	Procedimiento de evaluación			
6.1	Se especifica el procedimiento de recuperación de la muestra y análisis de laboratorio, describiendo los procesos aplicados e identificando los instrumentos analíticos, materiales y equipos asociados			
6.2	Se incluye una descripción de los estándares y blancos de campo y de análisis de control.			
7.	Procedimientos de control y aseguramiento de calidad			
7.1	Se describe el procedimiento de medición			Este procedimiento debe incluir: formatos o registros de campo, listas de chequeo y etiquetado de las muestras
7.2	El procedimiento para hallar cada uno de los valores, teniendo en cuenta las posibles correlaciones que sea necesario realizar.			Aplica si la medición se realiza mediante la aplicación de factores de emisión o balance de masas En el caso que la medición se realice con el uso de analizadores instrumentales se debe entregar una copia las cartas registradoras.
7.3	Se incluye una descripción del equipo de calibración y los procedimientos de mantenimiento preventivo, el personal involucrado, los materiales y equipos utilizados en la calibración y mantenimiento.			La calibración de los equipos se deberá realizar de acuerdo con lo establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el proceso de acreditación de laboratorios.

Cuadro 6. (Continuación)

No.	INFORME FINAL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	S I	N O	OBSERVACIONES
7.4	Se incluye copia del plan de calibración y del mantenimiento preventivo y correctivo.			Se deberán incluir copias de todas las operaciones de calibración con sus respectivas curvas, del mantenimiento preventivo y un inventario de los materiales de referencia.
7.5	Se incluye el procedimiento de validación de datos			
7.6	Se incluye las acciones correctivas identificadas por el auditor y aplicadas por el responsable de realizar la medición, con el fin de asegurar la calidad de los datos obtenidos.			
7.7	Se incluye una descripción del sistema empleado para del control de documentos y registros asociados a los datos de campo			
7.8	Se incluye los cálculos realizados durante la medición, especificando las fórmulas utilizadas para cada método de análisis.			Todos los cálculos deberán ser presentados en el sistema internacional de unidades MKS.
7.9	Se reportan los errores que se pueden presentar durante la evaluación de emisiones atmosféricas (Si aplica)			

Fuente. Los autores del trabajo de grado

2.10. FRECUENCIA DE LOS ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE EMISIONES PARA LAS DEMÁS ACTIVIDADES INDUSTRIALES

En el ítem 9. “Frecuencia de los estudios de evaluación de emisiones para las demás actividades industriales” de la guía se presenta una herramienta con la cual el usuario podrá definir la frecuencia con la cual se deberá realizar los estudios de evaluación de emisiones atmosféricas por parte de las fuentes fijas de acuerdo con lo establecido en el artículo 91 de la Resolución 909 de 5 de junio de 2008, o la que la adicione, modifique o sustituya aplicando la metodología para la determinación de la frecuencia de los estudios de evaluación de emisiones atmosféricas mediante el uso de las Unidades de Contaminación Atmosférica (UCA), aplicable para todas las actividades industriales

Para ello deberá ingresar los concentración de la emisión del contaminante en mg/m^3 a condiciones de referencia y con la corrección de oxígeno de referencia que le aplique el cual es el resultado del análisis reportado en el estudio de emisiones dependiendo si va evaluar para instalaciones existentes o nuevas.

Una vez ingresado la actividad industrial, el sistema relaciona el estándar de emisión admisible para el contaminante en mg/m^3 y calcula el UCA de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$UCA = \frac{Ex}{Nx}$$

Dónde:

UCA: Unidad de Contaminación Atmosférica calculada para cada uno de los contaminantes

Ex: Concentración de la emisión del contaminante en mg/m^3 a condiciones de referencia y con la corrección de oxígeno de referencia que le aplique

Nx: Estándar de emisión admisible para el contaminante en mg/m^3

Automáticamente el sistema calcula la Frecuencia de monitoreo contaminantes de acuerdo con la Unidad de Contaminación Atmosférica de la siguiente manera:

Tabla 12. Frecuencia de monitoreo

UCA	Grado de significancia Del aporte contaminante	Frecuencia de monitoreo (años)
≤ 0.25	Muy bajo	3
>0.25 y ≤ 0.5	Bajo	2
>0.5 y ≤ 1.0	Medio	1
>1.0 y ≤ 2.0	Alto	$\frac{1}{2}$ (6 meses)
> 2.0	Muy alto	$\frac{1}{4}$ (3 meses)

Fuente: Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. Segunda versión.

2.11. ALTURA DE LA CHIMENEA PARA INSTALACIONES EXISTENTES

En el ítem 11. “Altura de la chimenea para instalaciones existentes” se presenta la fórmula para que el usuario ingrese la altura de la estructura en el punto en el cual se encuentra ubicado la chimenea y el sistema calcula la altura que debe tener la chimenea de la fuente generadora de emisiones para instalaciones existentes de la siguiente manera:

$$HT = 2.5 * He$$

Dónde:

HT: Altura de la chimenea medida desde el nivel del terreno en la base de la chimenea hasta el borde superior de la misma

He: Altura de la estructura en el punto en el cual se encuentra ubicado el ducto o chimenea.

Adicional se presentan figuras que sirven de ejemplo para determinar la altura de la estructura en el punto en el cual se encuentra ubicado el ducto o chimenea de la instalación de cada proceso. (Ver anexo 1). En la guía se presenta para cada figura una consideración que sirve de ayuda para determinar dicha altura.

2.12. SISTEMAS DE CONTROL

El ítem 14 “Sistemas de control” se presentan las opciones para que el usuario elija cual es el sistema que está usando actualmente y si de acuerdo a los resultados del estudio isocinético comparados con la norma no se cumplen los límites máximos permisibles, se da la opción de revisar el sistema de control actual o migrar a otro sistema que puede ser más eficiente de la siguiente manera: Se debe escoger el sistema de control de emisión actual, para lo cual se presenta un listado de los sistemas de control más utilizados y que están relacionados en el

protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas segunda versión:

Cámaras de sedimentación

Filtros de mangas

Ciclones

Precipitadores electrostáticos

Lavadores húmedos

Oxidación térmica

Quemador de gas

Sistemas de captura y destrucción de sustancias contaminantes

Incinerador para destrucción de sustancias contaminantes

Lavador venturi

Sistemas de oxidación catalítica

Adsorción por carbón activado

Absorción

Condensación

La guía tiene un enlace el cual contiene una descripción general de cada sistema de control que le sirve al usuario de guía para determinar la eficiencia de su sistema actual o escoger otro que se adapte al proceso actual:

2.12.1. Cámaras de sedimentación.

Emplean la fuerza de gravedad para separar las partículas más gruesas, Se usan usualmente como tratamiento previo a otros tratamientos para eliminar la fracción más gruesa del material en suspensión. Son utilizados para la captura de partículas de diámetro mayor de 10 μm , aunque sólo atrapan de manera efectiva a partículas de más de 50 μm .

2.12.2. Ciclones.

Es requisito indispensable que los sistemas de medición de presión que se instalen sean calibrados periódicamente, a intervalos de tiempo inferiores a un (1) año. La caída de presión del sistema se debe registrar continuamente y almacenar de manera permanente en un medio magnético o físico. El dispositivo de presión que se instale debe tener una precisión del 5% de su rango de operación.

2.12.3. Filtros de mangas.

Los filtros de mangas son uno de los equipos más representativos de la separación sólido-gas mediante un medio poroso: aparecen en todos aquellos procesos en los que sea necesaria la eliminación de partículas sólidas de una corriente gaseosa. Eliminan las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndola pasar a través de un tejido.

Los filtros de mangas son capaces de recoger altas cargas de partículas resultantes de procesos industriales de muy diversos sectores, tales como: cemento, yeso, cerámica, caucho, química, petroquímica, siderúrgica, automovilística, cal, minera, amianto, aluminio, hierro, coque, silicatos, almidón, carbón, anilina, fibras, granos, etc.

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- A temperaturas mayores a 250 °C requiere material filtrante exclusivos.
- La vida del medio filtrante se acorta por las altas temperaturas y condiciones ácidas o alcalinas.
- Las partículas higroscópicas, la condensación de la humedad y las sustancias grasosas, pueden causar incrustación y taponamiento de los medios filtrantes.
- La colección de ciertas partículas requiere de posterior tratamiento de los medios de filtración, para su limpieza y remoción.

2.12.4. Precipitadores electrostáticos.

Los precipitadores electrostáticos (PES) se deben utilizar para los casos en los que se requiere alta eficiencia en la remoción de material particulado, especialmente cuando el volumen de los gases de emisión es alto y se requiere recuperar materiales valiosos sin modificaciones físicas

Los PES tipo placa-alambre son óptimos para calderas en termoeléctricas, ya que en estas instalaciones el flujo de la emisión gaseosa fluye horizontalmente y paralelo a las placas verticales de láminas de metal. Los espacios entre las placas son típicamente de 19 a 38 cm. Los electrodos de alto voltaje son alambres largos con pesas en su extremo inferior, y están colgados entre las placas. Dentro de cada plano de flujo, el gas debe pasar por cada alambre en secuencia a medida que fluye a través de la unidad. Las zonas de flujo entre las placas son llamadas ductos. Las alturas de estos varían entre los 6 y 14 metros.

Tienen la ventaja de resistir altas temperaturas 620°C. En estos sistemas de control uno de los parámetros que se debe monitorear continuamente, es el voltaje con el cual es alimentado y la corriente que circula por el precipitador, debido a que en este caso, su eficiencia depende directamente de estas variables.

2.12.5. Lavador húmedo.

Se emplean para remover partículas y absorber gases de una corriente gaseosa mediante el empleo de agua. Para su propósito se emplean sistemas de rociado en contra flujo o mediante la inyección de agua en forma perpendicular al flujo de gas contaminante.

Existen los siguientes modelos:

- Lavador de gases húmedo tipo torre

- Lavador de gases húmedo con venturi de alta energía (con garganta fija o variable)
- Lavador de gases húmedo con venturi tipo jet
- Lavador de gases húmedo para eliminar gotas
- Sistemas especiales para aplicaciones de NOx

Estos sistemas tienen la ventaja de operar a altas temperaturas.

La actividad que emplee un lavador húmedo como sistema de control, deberá instalar, calibrar, operar y mantener un sistema de monitoreo que mida y registre continuamente la caída de presión de los gases a través del lavador, y además registrar el flujo del líquido que emplea el lavador.

La caída de presión monitoreada debe ser certificada por el fabricante con una precisión dentro del 5% de la columna de agua del medidor de presión, al nivel de operación. La precisión del sistema de medición del flujo del líquido también debe ser del 5% del flujo de diseño.

La caída de presión no pueden ser inferiores al 80% de la lectura realizada durante el último estudio de emisiones presentado a la autoridad ambiental competente y para el caso de la tasa de flujo superior al 120%.

2.12.6. Oxidación térmica.

Las unidades de oxidación térmica consisten en un sistema que convierte las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) y de otros contaminantes peligrosos en agua y dióxido de carbono. En particular, el proceso destruye los COV's mediante el incremento de la temperatura de las emisiones hasta alcanzar su temperatura de oxidación, aproximadamente 800 °C, y manteniendo esta temperatura al menos por medio segundo.

Estas unidades tienen una alta eficiencia de remoción, del orden del 99%. Los porcentajes de recuperación de calor pueden llegar hasta un 95%, lo que implica un bajo requerimiento de combustible adicional. Son recomendables para situaciones donde los volúmenes de aire son elevados (del orden de 4,7 m³/s) y las concentraciones de hidrocarburos son bajas (inferior a 1.000 mg/l).

2.12.7. Quemador de gases.

Cuando se pretenda realizar el control de la emisión de sustancias volátiles, se debe instalar un quemador, y se deberá monitorear y registrar continuamente la temperatura en la zona de combustión del quemador de la unidad de control.

2.12.8. Sistemas de captura y destrucción de sustancias contaminantes.

Hace referencia a la instalación de un sistema que realice la captura y destrucción de sustancias contaminantes. Ejemplo de este sistema pueden ser filtros biológicos para la destrucción de compuestos orgánicos volátiles por tratamiento biológico.

2.12.9. Sistemas de captura y recuperación de sustancias contaminantes.

Hace referencia a la instalación de un sistema que realiza la captura y recuperación de sustancias contaminantes. Ejemplo de este sistema se pueden mencionar los filtros de carbón activado, para la captura de compuestos orgánicos volátiles.

2.12.10. Incinerador para destrucción de sustancias contaminantes.

El incinerador que se menciona aquí es diferente al utilizado para destruir residuos sólidos o líquidos, como residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos,

desechos hospitalarios, agregados ligeros, lodos de alcantarilla, desechos de madera y biomasa, cadáveres de animales, entre otros.

Este elemento se utiliza esencialmente para destruir gases residuales contaminantes generados en procesos de producción. La actividad que emplee un incinerador para destrucción de sustancias contaminantes, para esta actividad en particular, deberá instalar, calibrar, mantener y operar un sistema de medición de temperatura, que cumpla con las siguientes características:

- Si se emplea un incinerador térmico, se debe instalar un dispositivo de medición continua de temperatura en el hogar.
- Si se emplea un incinerador catalítico, el dispositivo de medición de temperatura se debe instalar en la corriente gaseosa antes y después del lecho catalítico.

Cada dispositivo de medición de temperatura se deberá instalar, calibrar y mantener, de acuerdo a las prácticas y recomendaciones del fabricante. El dispositivo deberá tener una exactitud superior al $\pm 5\%$ de la temperatura que se está midiendo, expresada en grados centígrados ó $\pm 2,5^{\circ}$ C.

Cada dispositivo de medición de temperatura deberá estar equipado con un instrumento de registro, de modo que se obtengan registros permanentes, ya sea por medios físicos, magnéticos o electrónicos.

2.12.11. Lavador venturi.

Un lavador tipo venturi acelera el gas contaminado para atomizar el líquido utilizado en la limpieza y aumentar el contacto del gas. Consiste básicamente en un ducto con una sección más estrecha denominada "garganta", la cual fuerza el gas a acelerarse para luego expandirse. A medida que el gas entra en la garganta, tanto su velocidad como su turbulencia aumentan. El líquido de lavado es

entonces atomizado en pequeñas gotas por la turbulencia en la garganta aumentando la interacción entre partículas y gotas.

Este tipo de sistemas de control de emisiones son principalmente utilizados para controlar material particulado (MP), incluyendo material particulado con un diámetro menor o igual a 10 μm (PM10), así como MP menor o igual a 2.5 μm (PM2.5). Aunque tienen alguna capacidad incidental de control de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's), en general los lavadores tipo venturi se limitan al control de material particulado y gases altamente solubles.

La actividad que instale un lavador venturi, o lavador de otro tipo como sistema de control, deberá instalar un sistema de monitoreo continuo de la caída de presión a través de la garganta o del equipo que se instale. El instrumento de medición debe estar certificado por el fabricante con una precisión dentro de ± 1 pulgada de agua. Cuando el lavador sea de tipo venturi, se debe instalar un sistema de monitoreo continuo que registre el agua suministrada al equipo de control. El instrumento de presión se debe instalar cerca al punto de descarga de agua, este debe tener una precisión de $\pm 5\%$ de la presión de diseño de suministro de agua.

Los lavadores tipo venturi pueden tener eficiencias de recolección que van desde un 70% a un 99%, dependiendo de la aplicación. Las eficiencias de recolección son en general más altas para material particulado con diámetros comprendidos entre 0,5 y 5 μm .

En cuanto a las variables de operación para este sistema de control se debe tener en cuenta lo siguiente:

Caudal de aire: Los caudales típicos de un lavador tipo venturi de una sola garganta son de 0,2 a 28 m^3/s .

Temperatura: La temperatura de los gases de entrada debe estar entre un rango de 4 a 370°C.

Concentración de entrada: La concentración de los contaminantes puede encontrarse en el rango de 1 a 115.000 µg/m³

2.12.12. Sistemas de oxidación catalítica.

Los sistemas de oxidación catalítica se recomiendan para aquellos casos en los que el volumen de los gases contaminantes (Compuestos Orgánicos Volátiles COV's) emitidos es bajo (inferior a 2,4 m³/s) y la carga de los mismo es alta. Estos sistemas poseen una cámara de combustión metálica aislada, equipada con un quemador con control de temperatura, y una sección catalítica. Las unidades actualmente comercializadas pueden operar satisfactoriamente con un amplio rango de COV's. Bajo ciertas condiciones, un sistema catalítico con metales preciosos puede oxidar los COV's contenidos en las emisiones, a temperaturas significativamente más bajas que una unidad de oxidación térmica, entre 300 y 550 °C, lo que redundaría en menores requerimientos en ergéticos. En este sistema la emisión contaminada es precalentada en un intercambiador de calor.

Los equipos de oxidación catalítica también pueden abatir los subproductos de la oxidación, como lo es el monóxido de carbono. Los sistemas de oxidación térmica emiten importantes concentraciones de monóxido de carbono, en tanto que algunos sistemas de oxidación catalítica pueden destruir hasta un 98% del monóxido contenido en las emisiones.

2.12.13. Adsorción por carbón activado.

La adsorción con carbón activado ha sido utilizada para la recuperación de solvente en fase vapor por varias décadas y ha probado ser una técnica

relativamente simple, rentable y económica, para su recuperación y la prevención de la contaminación atmosférica.

La mayoría de los solventes industriales pueden ser recuperados con carbón activado. La adsorción con carbón se utiliza cuando la condensación no es posible debido a la presencia de compuestos no-condensables (por ejemplo, tolueno). La tecnología de regeneración de carbón más comúnmente usada es la de regeneración con vapor de agua. El vapor de agua, dada su elevada temperatura, des-adsorbe el solvente desde el carbón y lo conduce fuera de la zona de adsorción a un intercambiador de calor donde la mezcla es condensada y enfriada.

2.12.14. Absorción.

La absorción es una operación en la cual uno o más componentes de una mezcla gaseosa son transferidos en forma selectiva a un líquido no volátil. La absorción de un componente gaseoso por un líquido sólo ocurrirá si el líquido contiene menos concentración que la de saturación del compuesto gaseoso a extraer. De esta manera la diferencia entre la concentración real en el líquido y la de la concentración de equilibrio induce la fuerza de la absorción.

2.12.15. Condensación.

La condensación a temperaturas bajas puede ser factible cuando las concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles son altas y sólo un tipo de solvente está involucrado. En la mayoría de los casos el costo de refrigeración puede desbalancear los beneficios debido al gran volumen de aire que debe ser enfriado. En general para flujos de 3.000 m³/h y concentraciones de COV's de 5.000 mg/l o mayores, esta técnica puede ser considerada.

2.13. PLAN DE CONTINGENCIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

En el ítem 13 “Plan de contingencia de los sistemas de control de emisiones atmosféricas” de la guía en donde se presenta un enlace el cual relaciona la información que se debe incluir en el plan de contingencia en cumplimiento del artículo 79 de la resolución 909/2008 del MAVDT y las disposiciones establecidas en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas segunda versión. Para ello se adjunta un formato para diligenciar la información mínima que debería contener el plan de contingencia que se debe elaborar por cada fuente fija cuando se suspendan los sistemas de control de emisiones.

En la primera celda se debe diligenciar la fuente emisora. Seguido, se debe especificar el motivo por el cual se suspende el sistema de control de emisiones y cuál es el tiempo estimado de suspensión en horas. Si el tiempo estimado es mayor a 12 horas se presenta un mensaje que indica que se debe activar el plan de contingencia y presentarlo a la autoridad ambiental para dar cumplimiento a la normatividad actual.

A continuación se adjunta el formato, el cual relaciona los demás ítems a diligenciar.

Cuadro 7. Formato plan de contingencia para los sistemas de control de emisiones

<u>PLAN DE CONTINGENCIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS</u>	
Fuente emisora	
Motivo de suspensión	
Tiempo estimado de suspensión del equipo de control en horas (h)	

<input type="checkbox"/> Descripción de la actividad que genera la emisión.						
<input type="checkbox"/> Descripción de la actividad que se realiza en las instalaciones en las cuales se tiene instalado en sistema de control emisiones atmosféricas.						
<input type="checkbox"/> Identificación y caracterización de los sistemas de control de emisiones atmosféricas.						
<input type="checkbox"/> Ubicación de los sistemas de control.						
PLAN DE ACCIÓN						
EQUIPO DE CONTROL	ACCIÓN PREVENTIVA (Mantenimiento)	DETECCIÓN DEL EVENTO	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLES	RECURSOS	PROCEDIMIENTOS INSTRUCTIVOS REGISTROS
REVISADO POR:						
FECHA:						

Fuente. Los autores del trabajo de grado

CONCLUSIONES

- Se determinó que el actual protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas versión 2 aun presenta errores al referirse a los métodos de muestreo, y esto se puede prestar para confusiones en el momento de realizar los muestreos.
- Debido a la falta de traducción oficial de los métodos es muy probable que todos los consultores ambientales apliquen los métodos de acuerdo a la interpretación que cada uno le dé.
- En el protocolo no se presentan todos los equipos de control que una empresa tiene como opción a la hora de escoger su sistema de control de emisiones.
- Si el MAVDT hubiese invertido en una guía que involucrara todos los procesos y a la vez el protocolo en este momento la mayoría de los empresarios que generan emisiones estarían cumpliendo con lo exigido en la Resolución 909 de 2008.
- Esta guía da una visión para que el protocolo se pueda aplicar de forma práctica.

BIBLIOGRAFÍA

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 909 del 5 de julio de 2008. Diario oficial. 2008.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, versión dos. Diario oficial. Octubre 2008.

www.epa.gov

www.activeset.org

<http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/Documentos%20para%20auditoria%20a%20muestreos%20isocineticos/Protocolo-monitoreo-emisiones-atmosfericas.pdf>

<http://www.corantioquia.gov.co/docs/LOGROS/Aire.htm>

<http://www.andi.com.co/Archivos/file/Gerambiental/Documentos2010/protocolofuentesfijas.pdf>

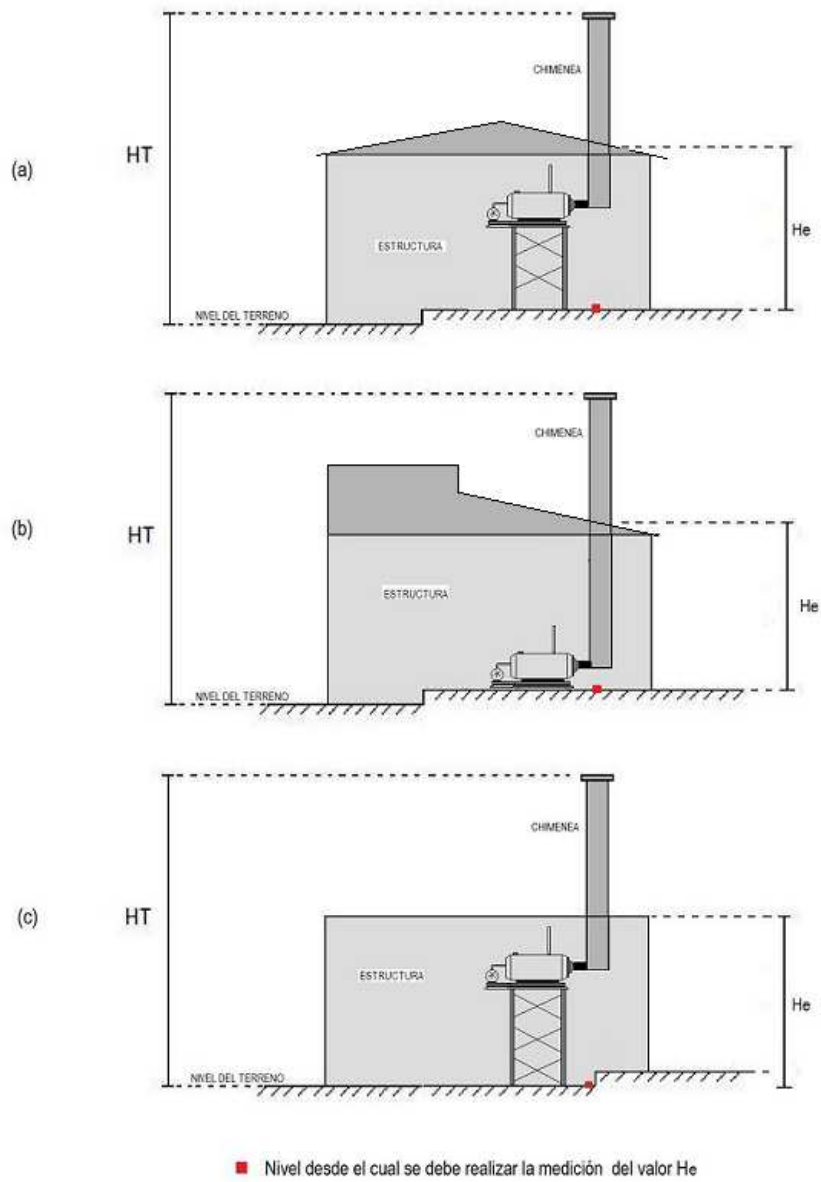
<http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=461&conID=603>

[-http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932009000200014&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932009000200014&lng=es&nrm=iso)

ANEXOS

Anexo No. 1 FIGURAS PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA ESTRUCTURA EN EL PUNTO EN EL CUAL SE ENCUENTRA UBICADO EL DUCTO O CHIMENEA

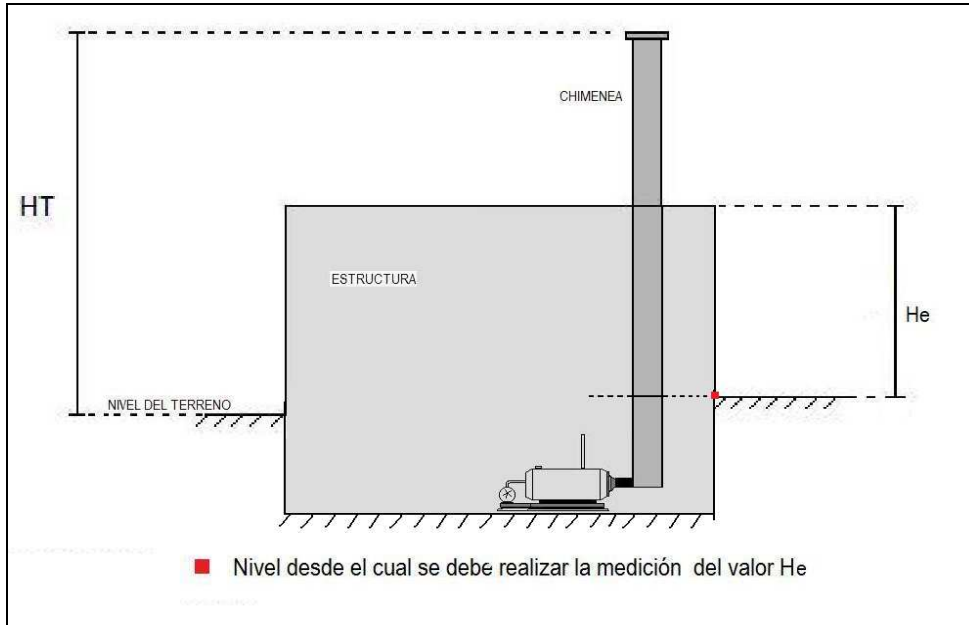
Determinación del valor HT para el caso de estructuras



existentes

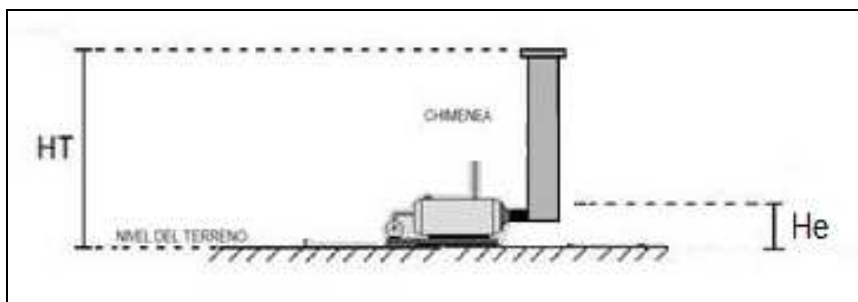
Fuente: MAVDT

Determinación del valor H_e cuando el equipo o instalación que genera la emisión está por debajo del nivel del terreno.



Fuente: MAVDT

Determinación del valor H_T para equipos que no están ubicados dentro de una instalación.



Fuente: MAVDT