





GUÍA AMBIENTAL PARA TERMOELÉCTRICAS Y PROCESOS DE COGENERACIÓN PARTE AIRE Y RUIDO

1. INTRODUCCION

1.1 PRESENTACIÓN

Con base en los postulados del desarrollo sostenible y el mejoramiento de la calidad ambiental, esta guía establece los métodos y procedimientos para la evaluación integral y el monitoreo y seguimiento de las emisiones atmosféricas, la calidad del aire y ruido en plantas de generación termoeléctrica y procesos de cogeneración.

El objetivo general de la guía es brindar a los usuarios, propietarios de proyectos, operadores, contratistas, consultores y autoridades ambientales una herramienta efectiva de consulta y orientación conceptual que facilite el proceso de gestión ambiental en cuanto el componente aire y ruido.

Para el cumplimiento de los objetivos, la guía se ha estructurado de acuerdo con el desarrollo secuencial de las fases que comprenden el análisis ambiental del componente en cuestión, previa definición de la política ambiental, el programa de gestión ambiental y el marco jurídico nacional.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 4 Proveer una herramienta práctica para la evaluación del componente aire y ruido, que permita la toma de decisiones respecto a las actividades de generación termoeléctrica y cogeneración que lo puedan afectar
- 4 Presentar la estructura del programa de gestión ambiental, aplicable al componente aire y ruido
- 4 Agrupar el marco normativo aplicable para la evaluación ambiental y monitoreo y seguimiento del recurso aire y ruido, para el sector termoeléctrico y procesos de cogeneración
- 4 Presentar el marco normativo internacional de referencia aplicable para la evaluación ambiental y monitoreo y seguimiento del recurso aire y ruido, para el sector termoeléctrico y procesos de cogeneración

- 4 Presentar los métodos y procedimientos para la estimación y medición de las emisiones atmosféricas y ruido a partir de procesos de generación termoeléctrica y cogeneración
- 4 Presentar los métodos y procedimientos para el monitoreo y estimación de los efectos ambientales de las emisiones atmosféricas y la difusión del ruido sobre la calidad del aire.

1.2 CONTENIDO DE LA GUÍA

TAR 1	INTRODUCCIÓN
TAR 1-1	Presentación
TAR 1-2	Contenido de la guía

TAR 2	INSTRUCCIONES PARA EL USO DE LA GUÍA
TAR 2-1	Temas básicos de la guía
TAR 2-2	Uso de la guía
TAR 2-3	Recomendaciones

TAR 3	POLÍTICA Y GESTIÓN AMBIENTAL
TAR 3-1	Política ambiental
TAR 3-2	Estructura de gestión ambiental

TAR 4	MARCO NORMATIVO
TAR 4-1	Introducción
TAR 4-2	Constitución Política Nacional
TAR 4-3	Leyes del Congreso de la República y Decretos con fuerza de Ley
TAR 4-4	Licenciamiento ambiental
TAR 4-5	Competencias y requerimientos
TAR 4-6	Normatividad sobre el control de la contaminación atmosférica
TAR 4-7	Normas de emisión de contaminantes
TAR 4-8	Normas sobre calidad de los combustibles
TAR 4-9	Normas de emisión de ruido

TAR 4-10	Normas de calidad del aire
TAR 4-11	Aplicación del principio de rigor subsidiario
TAR 4-12	Sanciones y medidas de policía

TAR 5	TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN Y COGENERACIÓN TERMOELÉCTRICA
TAR 5-1	Introducción
TAR 5-2	Turbinas a gas
TAR 5-3	Turbinas a vapor en ciclo Rankine
TAR 5-4	Ciclo combinado
TAR 5-5	Motores reciprocantes
TAR 5-6	Cogeneración
TAR 5-7	Nuevas tecnologías de generación

TAR 6	TIPOS DE CONTAMINANTES E IMPACTO AMBIENTAL
TAR 6-1	Introducción
TAR 6-2	Emisiones de contaminantes por combustible
TAR 6-3	Combustibles por tecnología
TAR 6-4	Fuentes de emisiones atmosféricas
TAR 6-5	Fuentes de ruido

TAR 7	MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS
TAR 7-1	Introducción
TAR 7-2	Balances de masa
TAR 7-3	Factores de emisión
TAR 7-4	Medición de las emisiones
TAR 7-5	Medición del ruido

SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS Y RUIDO

TAR 8-1	Introducción
TAR 8-2	Control de la emisión de material particulado
TAR 8-3	Control de la emisión de SOx
TAR 8-4	Control de la emisión de NOx
TAR 8-5	Control del ruido

TAR 9	MONITOREO Y ESTIMACIÓN DE LOS TAR 9 EFECTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE	
TAR 9-1	Introducción	
TAR 9-2	Métodos de medición de la calidad del aire	
TAR 9-3	Modelos de dispersión	
TAR 9-4	Modelación de los niveles de ruido	

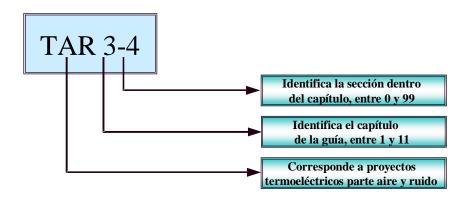
TAD 11	DIDLIOCDATÍA
TAR 11	BIBLIOGRAFIA

2. INSTRUCCIONES PARA EL USO DE LA GUIA

2.1 TEMAS BÁSICOS DE LA GUÍA

La guía se encuentra dividida en 11 capítulos, cuyo contenido se presenta en la Sección TAR 1-1 (página 1-2).

La nomenclatura utilizada para la guía es la siguiente:



2.2 USO DE LA GUÍA

Para hacer uso de la guía, el lector tiene las siguientes alternativas:

Buscar en el "Contenido de la guía" el tema de interés y consultar

A partir de una tecnología de generación de energía y el combustible utilizado

Puede encontrar la siguiente información:

- L Descripción tecnológica
- Tipos de contaminantes
- Impacto ambiental originado

En este caso, consulte la TABLA 2- 1, en donde encuentra el número del capitulo, la sección y el número de página correspondiente. Seleccione el temas de interés y consulte

Por ejemplo:

Se requiere consultar los contaminantes generados por una empresa de generación termoeléctrica, cuya tecnología es *Ciclo combinado*, que opera con *Gas Natural* como combustible :

- a) Identifique en la TABLA 2- 1 la tecnología y el combustible correspondiente
- b) En la misma tabla ubique la columna correspondiente a los tipos de contaminantes, en ella encontrará el número del capitulo, la sección y el número de página así:

TAR 6 -2 Pág.6-9

c) Consulte el tema de interés

TABLA 2- 1 Búsqueda de información a partir de la tecnología de generación

Tecnología	Combustible	Descripción de la tecnología	Tipos de contaminantes	Impacto ambiental
Turbina a Gas	Gas Natural	TAR 5-2 Pág. 5-2	TAR 6-2 Pág. 6-9	TAR 6-1 Pág. 6-2, 6-6 y 6-7

	Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01 Enero de 1999	TAR 2-1	Página 2-5
--	---	---------	------------

	Fuel Oíl No 2			TAR 6-1 Pág. 6-2, 6-4 a 6-7	
Ciclo Stig	Gas Natural	TAR 5-2 Pág. 5-3	TAP 6 2 Pág 6 0	TAR 6-1 Pág. 6-2, 6-6 y 6-7	
Cicio Stig	Fuel Oíl No 2	TAN 5-2 Fag. 5-3	TAR 6-2 Pág. 6-9 TAR 6-2 Pág. 6-9	TAR 6-1 Pág. 6-2, 6-4 a 6-7	
	Carbón			TAR 6-1 Pág. 6-2 a 6-7	
	Gas Natural			TAR 6-1 Pág. 6-2 y 6-6 a 6-7	
	Fuel Oíl No 2			TAR 6-1 Pág. 6-2 y 6-4 a 6-7	
Turbina a Vapor	Fuel Oíl No 6	TAR 5-3 Pág. 5-4	TAR 6-2 Pág. 6-9	TAR 6-1 Pág. 6-2 a 6-7	
	Crudo de Castilla			TAR 6-1 Pág. 6-2 a 6-7	
	Residuos Pesados	TAR 6-11 Pág. 6-2 a 6-4 y 6-6 a 6-7			
	Residuos Pesados			TAR 6-1 Pág. 6-2 a 6-7	
Ciclo Combinado	Gas Natural	TAR 5-4 Pág. 5-5	TAP 6-2 Pág 6-0	TAR 6-1 Pág. 6-2, 6-6, y 6-7	
Cicio Combinado	Fuel Oíl No 2	1AIX 5-4 Lag. 5-5	TAR 6-2 Pág. 6-9	TAR 6-1 Pág. 6-2 y 6-4 a 6-7	
	Gas Natural			TAR 6-1 Pág. 6-2 y 6-6 a 6-7	
Motores	Fuel Oíl No 2	TAR 5-5 Pág. 5-6	TAR 6-2 Pág. 6-9	TAR 6-1 Pág. 6-2 y 6-4 a 6-7	
	Fuel Oíl No 6		TAR 6-2 Pág. 6-9	TAR 6-1 Pág. 6-2 a 6-7	
	Carbón			TAR 6-1 Pág. 6-2 a 6-7	
IGCC	Biomasa	TAR 5-7 Pág. 5-8	TAR 6-2 Pág. 6-9	TAR 6-1 Pág. 6-2 a 6-4 y 6-6 a 6-7	
	Residuos Pesados			TAR 6-1 Pág. 6-2 a 6-7	
AFBC	Carbón	TAR 5-7 Pág. 5-9	TAP 6-2 Pág 6 0	TAR 6-1 Pág. 6-2 a 6-4 y 6-6 a 6-7	
AFBC	Biomasa	TAN 5-7 Fay. 5-9	TAN 0-2 Fay. 0-9	TAR 6-1 Pág. 6-2 y 6-7	
PFBC	Carbón	TAR 5-7 Pág. 5-9	TAP 6 2 Pág 6 0	TAR 6-1 Pág. 6-2 a 6-4 y 6-6 a 6-7	
FFBC	Biomasa	TAN 5-7 Pag. 5-9	1AN 0-2 Pag. 0-9	TAR 6-1 Pág. 6-2 y 6-7	

3

A partir de un tipo de contaminante atmosférico, generado en el proceso de generación termoeléctrica

Puede encontrar la siguiente información:

- Métodos para la medición y estimación de la emisión del contaminante dado
- Métodos para realizar el monitoreo y la estimación sobre la calidad del aire del contaminante dado
- La normatividad nacional vigente y la normatividad internacional sobre emisiones y calidad del aire del contaminante dado
- Los sistemas utilizados para el control del contaminante dado.

En este caso consulte la TABLA 2- 2 en donde encuentra el número del capitulo, la sección y el número de página correspondiente, seleccione el temas de interés y consulte

Por ejemplo:

Siguiendo con el caso de una planta en ciclo combinado que opera con Gas Natural, se requiere conocer la normatividad vigente sobre calidad del aire para los NOx

- a) Identifique en la TABLA 2- 2 la columna correspondiente a la normatividad
- b) En la misma tabla ubique la columna correspondiente a los NOx, en ella encontrará el número del capitulo, la sección y el número de página así:

c) Consulte el tema de interés

TABLA 2-2 Búsqueda de información a partir del contaminante

Parámetro	Partículas	NOx	SOx	Otras sustancias	Ruido	
Emisiones:						
Balances de masa	TAR 7-2 Pág.7-2 y 7-6		TAR 7-2 Pág.7-2 y 7-6	TAR 7-3 Pág. 7-6		
Factores de emisión	TAR 7-3 Pág. 7-9 a 7-18	TAR 7-3 Pág. 7-9 a 7-17	TAR 7-3 Pág. 7-9 a 7-17	TAR 7-4 Pág. 7–12 y 7-17		
Medición directa de las emisiones	TAR 7-4 Pág. 7-21, 7-27 a 7-28 y 7-36 a 7-37	TAR 7-4 Pág. 7–21 y 7-32 a 7-37	TAR 7-4 Pág. 7-21, 7-29 a 7-31, 7-35 y 7-37	TAR 7-4 Pág. 7–36 y 7-37	TAR 7-5 Pág. 7-38 a 7-41	
Calidad del aire						
Medición	TAR 9-2 Pág. 9-2, 9-4 a 9-5 y 9-9 a 9-10	TAR 9-2 Pág. 9-2, 9-6 a 9-7 y 9-9 a 9-10	TAR 9-2 Pág. 9-2, 9-5 a 9-6 y 9-10	TAR 9-2 Pág.9-2 y 9-10		
Estimación	TAR 9-3 Pág. 9-11 y 9-21 a 9-24	TAR 9-3 Pág. 9-11 y 9-21 a 9-23	TAR 9-3 Pág. 9-11 y 9-21 a 9-23	TAR 9-3 Pág. 9-11 y 9-21 a 9-23	TAR 9-4 Pág. 9-25 a 9-28	
Normatividad		TAR 4-7 Pág. 4-12				
Emisiones	TAR 4-7 Pág. 4-11	Guías del Banco Mundial	TAR 4-7 Pág. 4-11			
Calidad del aire	TAR 4-10 Pág. 4-16	TAR 4-10 Pág. 4-16	TAR 4-10 Pág. 4-16	TAR 4-10 Pág. 4-16	TAR 4-9 Pág. 4-13 a 4-15	
Sistemas de control	TAR 8-2 Pág. 8-2 a 8-6	TAR 8-4 Pág. 8-9 a 8-12	TAR 8-3 Pág. 8-7 a 8-8		TAR 8-5 Pág. 8-13 a 8-16	

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01 Enero de 1999	TAR 2-2	Página 2-8
---	---------	------------

2.3 RECOMENDACIONES

La GUÍA no sustituye ni simplifica los procesos de gestión ambiental
establecidos por las autoridades ambientales.
La GUÍA unifica y agiliza criterios para el desarrollo del sistema de
gestión ambiental.

- Para la aplicación de cualquier método de medición y estimación de los diferentes parámetros propuestos en la GUÍA, es importante que el usuario se ubique dentro del contexto del proyecto particular, analizando las condiciones, técnicas, operativas y ambientales específicas, determinando la validez de la aplicación en cuestión.
- Para la ampliación de los conceptos, métodos y normas, el lector podrá tomar como referencia la bibliografía citada entre paréntesis cuadrado y listada en el capitulo 11 u otras fuentes especializadas.
- La **GUÍA** contiene las normas ambientales vigentes al momento de su edición, el usuario deberá revisar periódicamente los cambios realizados a las normas ambientales por la autoridad competente.

3. POLÍTICA Y GESTION AMBIENTAL

3.1 POLÍTICA AMBIENTAL

Desde la constitución política de 1991, Colombia enmarca su política ambiental en el principio de desarrollo humano sostenible y asigna al Estado y a todas las personas la obligación de proteger y conservar los recursos naturales de la Nación (Constitución Nacional artículos 79, 80 y 95). Las acciones encaminadas a proteger, conservar y recuperar el medio ambiente son tarea conjunta entre el Estado, el sector privado, la comunidad y las organizaciones no gubernamentales.

Políticas de producción limpia

De acuerdo con la Política Nacional Ambiental fijada mediante el documento *CONPES 2750 de 1994*, la promoción de una producción limpia conducirá a un cambio tecnológico que permitirá reorientar las tendencias no sostenibles de la producción, la optimización de procesos productivos y los sistemas de gestión ambiental.

El objetivo es introducir la dimensión ambiental en los sectores productivos y reorientarlos hacia formas de gestión y uso de tecnologías ambientalmente limpias, que aumenten la eficiencia en el uso de recursos energéticos e hídricos, sustituyan insumos, optimicen procesos o modifiquen productos y reduzcan la producción de desperdicios [38].

La política de producción limpia, enfocada hacia el sector energético, tiende a fomentar el uso de energéticos más limpios como el gas, al manejo de la demanda final de energía mediante el aumento en la eficiencia energética y uso racional, y al fomento de fuentes no convencionales, como las briquetas de carbón y la leña procedente de bosques dendroenergéticos, sistemas a base de energía solar y eólica, siempre y cuando sean viables económica y ambientalmente. Se dará prioridad al control de las emisiones atmosféricas y manejo de residuos sólidos de las plantas termoeléctricas y a la reforestación de las cuencas aportantes a provectos hidroeléctricos.

Convenios de producción limpia

Con base en el principio de desarrollo humano sostenible, se han establecido convenios que propenden por el establecimiento de

políticas de producción limpia. Específicamente para el sector eléctrico colombiano se pueden mencionar los siguientes convenios [34]:

"Convenio marco de concertación para una producción limpia"

Establece los lineamientos básicos para la elaboración de convenios de concertación sectoriales

Participantes: el Gobierno Nacional, a través del Ministerio del Medio Ambiente, los Gremios Empresariales y el sector Público Minero Energético

Fecha: 5 de junio de 1995

"Convenio Interadministrativo entre el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Minas y Energía"

Establece entre sus objetivos adelantar la ejecución de la política minero-energética de modernización y reconversión industrial y ambiental, así como realizar acciones efectivas y eficaces en relación con el manejo, aprovechamiento, conservación, recuperación y protección de los recursos naturales y el medio ambiente, y adoptar métodos de explotación y producción sostenibles. Se define entre las áreas prioritarias de acción el programa de producción limpia.

Fecha: 20 de septiembre de 1995

"Convenio de Concertación para una Producción más Limpia con el Sector Eléctrico"

Establece un acuerdo de voluntades que apoyará acciones concretas y precisas que conduzcan al mejoramiento de la gestión pública y empresarial y al control y reducción de la contaminación.

Participantes: el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Minas y Energía y las empresas públicas y privadas del Sector Eléctrico Colombiano

Fecha: 29 de octubre de 1997

Dentro de los compromisos adquiridos a través de estos convenios, por el sector termoeléctrico, se tiene la formulación de un programa de reconversión a tecnologías limpias del parque térmico colombiano con base en el planeamiento estratégico sectorial. Para tal fin, *ECOCARBON* y la *UPME* (Unidad de Planeamiento Minero Energético), emprendieron el trabajo relacionado con la formulación estratégica del *Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias PRTL*, el cual dentro de sus *objetivos comprende la elaboración de un diagnóstico de la*

situación tecnológica, ambiental y de gestión de las empresas asociadas al parque térmico colombiano y estructurar un programa de gestión institucional para apoyar el desarrollo del PRTL, la definición de políticas y normas ambientales, la capacitación y la asistencia técnica, entre otros [13].

Como resultado de este planteamiento estratégico, el *PRTL* propone las siguientes cinco estrategias:

1

Definir las especificaciones técnicas de los equipos y sistemas necesarios para realizar la actualización y reconversión tecnológica en cada una de las plantas del parque termoeléctrico nacional, consideradas en el universo de trabajo para la formulación preliminar del PRTL.

2

Elaborar un proyecto de reglamentación ambiental, con un enfoque que considere su carácter ecosistémico de integralidad, equidad y gradualidad, aplicable específicamente a la generación de energía termoeléctrica en el país.

3

Elaborar una propuesta de objetivos y metas de calidad ambiental en las áreas de influencia de las plantas termoeléctricas actuales y en las áreas afectables por futuros proyectos.

4

Definir las estructuras administrativas, los perfiles y la organización del recurso humano para la ejecución eficiente del PRTL y el mejoramiento de la gestión ambiental subsectorial.

5

Diseñar los mecanismos e instrumentos económicos para garantizar la viabilidad y sostenibilidad económica y financiera del PRTL.

3.2 ESTRUCTURA DE GESTIÓN AMBIENTAL

Un sistema de gestión ambiental industrial busca que las empresas (en especial de generación eléctrica y cogeneración), incorporen a la actividad cotidiana de producción y comercialización estrategias ambientales de prevención de la contaminación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y que lo hagan de manera integral más allá de lo que exige la normatividad vigente. Esto es, que tome en cuenta el proceso productivo de manera integral, desde la provisión de insumos hasta la disposición de residuos, pasando por las diferentes etapas del proceso.

Para el cumplimiento de este objetivo, se establecen políticas que buscan concientizar a los responsables de la operación y funcionamiento de las plantas y a los niveles de dirección respectivos, sobre la importancia de su participación en la protección del medio ambiente. A la vez se plantean una serie de acciones y medidas a tomar en cuenta, susceptibles de favorecer el desarrollo de dicha capacidad de gestión. Las políticas proporcionan a los directivos de las plantas y a los técnicos responsables de la elaboración y aplicación del respectivo sistema de gestión ambiental *(SGA)*, elementos para que éste responda adecuadamente a los propósitos fijados.

Las políticas unifican y simplifican los procedimientos de evaluación y solución de los problemas ambientales en un solo esquema integrado al rededor de la operación eficiente, limpia y segura de las cadenas productivas y comerciales de la planta.

Las políticas para la elaboración y desarrollo del **SGA** se deben diseñar de tal manera que el sistema pueda ser conducido con el apoyo de cualquier sistema de administración ambiental, a seleccionar por la planta. Los requisitos mínimos de dicho sistema pueden ser cumplidos siguiendo estándares internacionales del tipo ISO-14000, Eco-Management and Audit Scheme (EMAS), Responsabilidad Integral, Calidad Total, etc.(Ver FIGURA 3 - 1) [24].

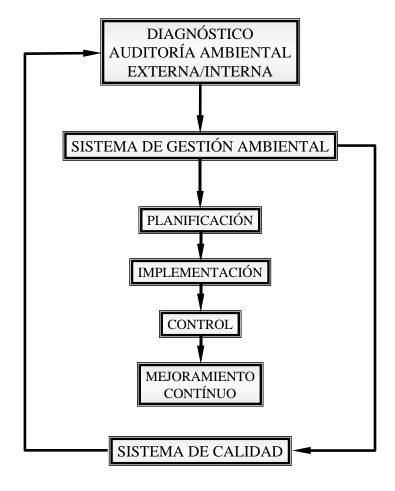


FIGURA 3 - 1 Puesta en marcha de un sistema de gestión ambiental

Planificación

Para la elaboración de un sitema de gestión en una planta, ésta deberá inicialmente hacer un diagnóstico de su capacidad de gestión y desempeño ambiental, tomando en cuenta los trabajos y acciones que requiere para el adecuado impulso del mismo. Para esto deberá:

- Φ Determinar si cuenta con una política ambiental propia o si está dispuesta a formularla. Esta política debe contemplar la gestión ambiental como uno de los medios idóneos para incorporar a sus costos totales los costos ambientales que se derivan de su proceso productivo.
- φ Determinar si está dispuesta a priorizar la prevención de la contaminación a lo largo del proceso.
- © Establecer si tiene condiciones para desarrollar un sistema de administración ambiental, en que plazo y bajo que términos. Este sistema incluye la adopción de medidas para la realización periódica de auditorías internas o externas del desempeño ambiental de la planta.
- φ Establecer si puede desarrollar programas de capacitación de personal en materia de protección ambiental, control de riesgos y participación en contingencias ambientales.
- Establecer la posibilidad de comunicar sus compromisos ambientales, consignados en el SGA, a la totalidad de su personal y por medios idóneos a la comunidad.

Implementación

Para la implementación de un **SGA** en una planta de generación termoeléctrica o cogeneración, se deberán realizar las siguientes acciones:

- φ Establecer un subprograma de actividades de minimización de producción de emisiones contaminantes y material particulado con metas a corto, mediano y largo plazo.
- φ Establecer prioridades de atención sobre fuentes de generación de contaminantes.
- φ Incorporar, adaptar o desarrollar tecnologías, procedimientos y formas de organización del trabajo para depurar los procesos.

- φ Estudiar nuevos procesos de reutilización de insumos o productos en el proceso de generación de energía.
- φ Evaluar periódicamente los avances en el abatimiento de la carga ambiental de la planta mediante la implementación de un sistema de monitoreo y seguimiento de los parámetros ambientales.
- φ Establecer programas específicos para el mantenimiento de equipos y maquinaria que utilizan combustibles fósiles (calderas, hornos, etc.).
- φ Promover la capacitación del personal para intervenir con efectividad en los programas de prevención de contaminación en la planta.
- φ Establecer un subprograma de protección ambiental contra contingencias o emisiones fugitivas en el abastecimiento de energéticos y materias primas.
- φ Realizar estudios de análisis de riesgo y simulación de eventos contingentes relacionados con las actividades anteriores.
- φ Promover el almacenamiento limpio y seguro de combustibles y materias primas.
- φ Reducir las emisiones de NOx, SO₂, CO y residuos industriales por medio de la utilización de tecnologías limpias.
- φ Reducir las emisiones del CO₂ mediante el aumento de la eficiencia de la combustión o transformación de energía.
- φ Promover la cooperación y la relación responsable con la comunidad, informándola y en caso de alto riesgo, preparándola para una contingencia.

Control

Se debe establecer y mantener un procedimiento documentado para evaluar con regularidad el funcionamiento del sistema de gestión ambiental de la planta, teniendo en cuenta las características claves de las operaciones y actividades que puedan tener un impacto significativo en el medio ambiente. Tal procedimiento debe incluir un registro de la información para hacer seguimiento al desempeño, controles operativos relevantes y conformidad con los objetivos y políticas ambientales de la planta.

Adicionalmente, se deberá establecer y mantener un procedimiento documentado para evaluar periódicamente la conformidad con la legislación y las regulaciones ambientales pertinentes.

Se pueden establecer indicadores ambientales, para el monitoreo y seguimiento de los impactos y la efectividad del **SGA**.

Mejoramiento continuo

Con base en los resultados obtenidos mediante los mecanismos de control se pretende lograr el realce del PGA, con el propósito de lograr un mejoramiento en el desempeño ambiental global, en concordancia con la política ambiental de la planta.

4. MARCO NORMATIVO

4.1 INTRODUCCIÓN

La legislación ambiental referida al componente atmosférico y aplicable a los procesos de generación termoeléctrica y de cogeneración, se encuentra, principalmente, en el siguiente marco normativo:

a

La **Constitución Política Nacional**, marco legal y político de carácter supremo que recoge gran parte de los enunciados fundamentales sobre manejo y conservación del medio ambiente.

b

Las Leyes del Congreso de la República y decretos con fuerza de ley, Decretos ley del Gobierno Nacional, constituyen las normas básicas y políticas a partir de las cuales se desarrolla la reglamentación especifica o normatividad.

(

El Licenciamiento Ambiental, puesto que la licencia ambiental es el instrumento de gestión y planificación que existe para prevenir, mitigar, corregir, compensar y manejar los efectos ambientales producto del desarrollo de cualquier obra o actividad. Dentro del licenciamiento ambiental, se considera lo concerniente a los permisos de emisión atmosférica.

a

Las **Normas** sobre calidad del aire, emisiones atmosféricas, emisión de ruido y calidad de los combustibles, pues representan límites permisibles, establecidos para garantizar la preservación de la calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana. Todas estas normas se encuentran dentro de un conjunto de decretos y resoluciones reglamentarias aplicables a los procesos de generación termoeléctrica.

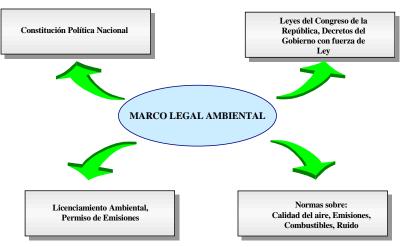


FIGURA 4- 1 Marco legal ambiental

4.2 CONSTITUCIÓN POLÍTICA NACIONAL

Establece los principios y derechos fundamentales, colectivos del medio ambiente, es el marco legal y político de carácter supremo para el país y del cual deriva la política ambiental.

PRINCIPALES ASPECTOS AMBIENTALES DE LA CONSTITUCIÓN

Artículo 1	Sobre la prevalencia del interés general sobre el particular.
------------	---

Artículo 8	Sobre la obligación del estado y de las personas de proteger las riquezas naturales y culturales de la nación.
------------	--

	Sobre la obligación del estado de garantizar la salud y el saneamiento ambiental.
--	---

Artículo 58	Sobre	la	propiedad	privada:	función	social	У
Articulo 36	obligac	ione	s inherentes	, función e	cológica.		

Artículo 67 Sobre la educación, como un derecho de las personas, "Se formará al colombiano entre otros, para la protección del ambiente ..."

Artículo 79	Sobre el derecho de las personas a gozar de un ambiente sano.
Artículo 80	Sobre la protección de las riquezas del estado, la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, dentro del criterio del desarrollo sostenible.
Artículo 95	Sobre el deber de los colombianos de proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.
Artículo 215	Sobre el estado de emergencia cuando sobrevengan hechos que perturben o amenacen perturbar en forma grave e inminente, entre otros, el orden ecológico del país.

4.3 LEYES DEL CONGRESO DE LA REPÚBLICA Y DECRETOS CON FUERZA DE LEY

Ley 23 de 1973

Mediante la cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la república para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente.

Ley 2811 de 1974

Código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente

Enuncia los principios generales sobre el aprovechamiento y utilización de los recursos naturales renovables y la conservación del medio ambiente en desarrollo de actividades o proyectos de transformación de la base natural.

Ley 09 de 1979: Código Sanitario Nacional

Establece las normas generales que sirven de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona con la salud humana.

Ley 99 de 1993

Crea el Ministerio del Medio Ambiente y reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA.

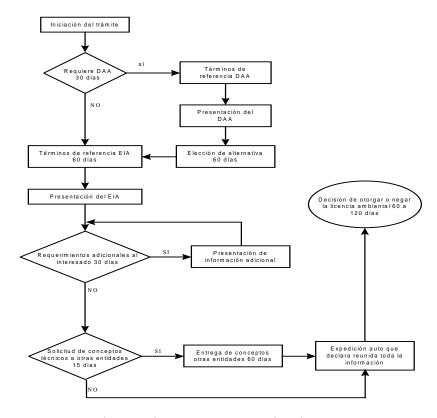
4.4 LICENCIAMIENTO AMBIENTAL

La *licencia ambiental* es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente, para la ejecución de un *proyecto*, *obra o actividad* que pueda causar deterioro grave al medio ambiente, y en la que se establecen los requisitos, obligaciones y condiciones que el beneficiario de la Licencia debe cumplir para prevenir, mitigar, corregir, compensar y manejar los efectos ambientales de la actividad, obra o proyecto autorizado.

El Decreto 1753 de 1994, mediante el cual fueron reglamentadas las Licencias Ambientales, definió la naturaleza, modalidades y efectos de las mismas sobre los beneficiarios y los procedimientos para su diligenciamiento y competencias. Se establece como requisito previo a la expedición de licencia ambiental la elaboración y presentación del Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA), y los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), señalando los casos en los cuales se requiere. La *Licencia Ambiental* llevará implícitos todos los permisos autorizaciones y concesiones de carácter ambiental, necesarios para el desarrollo de la obra o actividad. (Decreto - Ley 2150 de 1995, Resolución 655 de 1996).

En cuanto a los establecimientos industriales que operaban con anterioridad a 1993, se les exime de **Licencia Ambiental**, pero no se encuentran exentos del cumplimento de las normas ambientales y de la obtención de los permisos ambientales respectivos (Régimen de transición Decreto 1753 de 1994).

Normas aplicables: Ley 99/93, Decreto 1753/94 Decreto Ley 2150/95, Resolución 655/96.



NOTA: LA DURACIÓN DEL TRÁMITE CORRESPONDE A DÍAS HÁBILES

FIGURA 4- 2 Trámites para obtener la licencia ambiental

4.5 COMPETENCIAS Y REQUERIMIENTOS

4.5.1 Competencias

Para proyectos de generación eléctrica, el otorgamiento de la *Licencia Ambiental* corresponde a:

- El Ministerio del Medio Ambiente, para centrales de generación que excedan 100000 kw de capacidad instalada.
- Las Corporaciones Autónomas Regionales CAR, para centrales de generación de menos de 100000 kw de capacidad instalada.
- Entidades territoriales delegatarias de las CAR.
- Algunos municipios y distritos cuya población urbana sea mayor a un millón de habitantes, dentro del perímetro de su jurisdicción y en los mismos casos en los que las CAR es competente.

4.5.2 Requerimientos

- Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA): tiene como objetivo suministrar la información para evaluar y comparar las diferentes opciones, que presente el peticionario, bajo las cuales sea posible desarrollar un proyecto, obra o actividad. Se requiere para proyectos de generación eléctrica cuya capacidad a instalar sea superior a 50000 kw. (Decreto 1753/94 Art. 17)
- Estudio de Impacto Ambiental (EIA): contiene información sobre la localización del proyectos y los elementos del medio que puedan sufrir deterioro por la respectiva obra o actividad, y la evaluación de los impactos que puedan producirse. Incluye el diseño de los planes de prevención, mitigación, corrección y compensación de impactos y el Plan de Manejo Ambiental de la obra o actividad. Se exige a todos los casos que requieren Licencia Ambiental de acuerdo con la ley y los reglamentos. (Ley 99/93 Art. 57)
- Permiso de emisión atmosférica: es la autorización que concede la autoridad competente, como parte de la Licencia Ambiental 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.

Requieren permiso de emisión atmosférica, entre otras actividades:

- La operación de calderas o incineradores por un establecimiento industrial o comercial.
- La operación de plantas termoeléctricas.

Se requiere el permiso para industrias, obras, actividades o servicios que cuenten con calderas y hornos cuyo consumo nominal de combustible sea igual o superior a:

a) Carbón mineral
 b) Bagazo de caña
 c) Cualquier combustible líquido
 500 kg / h
 3000 ton / año
 100 gal /h

Específicamente, las calderas u hornos que utilicen como combustible gas natural o gas licuado de petróleo en un establecimiento comercial o industrial, o para la operación de plantas termoeléctricas, calderas, turbinas y motores, no requieren permiso de emisión atmosférica.

Normas aplicables: Decreto 948/1995, Resolución 655 de 1996, Decreto 1697/ 1997, Resolución. 0619/97

4.6 NORMATIVIDAD SOBRE CONTROL DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Como se mencionó anteriormente, las normas de calidad del aire, emisiones atmosféricas, emisión de ruido y calidad de los combustibles representan límites permisibles, establecidos para garantizar la preservación de calidad del ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana. Todas estas normas se encuentran dentro de un conjunto de decretos y resoluciones que son aplicables a los procesos de generación termoeléctrica.

4.6.1 Ley 9 de 1979 Código Sanitario Nacional

Código Sanitario, en materia de emisiones atmosféricas y ruido contiene la siguiente normatividad, aplicable al sector termoeléctrico:

- Decreto 02 1982: por medio del cual se establecen normas de calidad del aire, los métodos y frecuencias para la medición de contaminación del aire, altura mínima de chimenea, normas de emisión de partículas para calderas a base de carbón y altura mínima de chimenea requerida, en la combustión en hornos y calderas de combustibles sólidos o líquidos que contengan dióxido de azufre.
- Resolución 08321 de 1983: establece las normas sobre protección y conservación de la audición. Niveles máximos permisibles, normas de emisión de ruido para fuentes emisoras y valores límite permisibles para ruido de impacto.

Para obtener el permiso de emisión atmosférica se requiere presentar a la autoridad ambiental competente o a quien esta delegue, la siguiente información:

- Nombre o razón social del solicitante y del representante legal
- Localización
- Fecha de iniciación / terminación de actividades
- Concepto sobre uso del suelo expedido por la autoridad competente indicando compatibilidad entre actividad u obra proyectada y el uso permitido del suelo
- Información meteorológica del área
- Descripción y especificaciones técnicas de la actividad, diagrama de flujo, puntos de descarga de emisiones, caracterización de los puntos de emisión, descripción y planos de los ductos, chimeneas o fuentes dispersas e indicación de sus materiales, medidas y características técnicas
- Información sobre producción, actual y futura y planes de expansión en 5 años
- Descripción de los combustibles utilizados
- Diseño de los sistemas de control de contaminación atmosférica
- Indicación sobre utilización de control al final del proceso, tecnologías limpias o ambas.
- Las plantas termoeléctricas, requieren además, estudios técnicos de dispersión.
- Diligenciar el formulario de estado de emisiones IE-1.

Normas aplicables: Decreto 948/1995, Resolución 1351 de 1995.

Requisitos para obtener permiso de emisiones atmosféricas

- Resolución 03194 de 1983: establece y describe el método colorimétrico como método de referencia para el <u>análisis de dióxido de nitrógeno</u> (24 horas), en el aire ambiente. (Método EPA Apéndice F Parte 50) [16].
- Resolución 19622 de 1985: adopta y describe el método de la Pararosanilina para la <u>evaluación de dióxido de azufre</u> en el aire ambiente, expresado como SO₂. (Método EPA Apéndice A Parte 50) [16].
- Resolución 2308 de 1986: establece y describe el método gravimétrico (Alto Volumen) como método de referencia para el <u>análisis de partículas en suspensión</u> en el aire ambiente. (Método EPA Apéndice B Parte 50) [16].

4.6.2 Ley 99 de 1993

Por la cual se crea el <u>Ministerio del Medio Ambiente</u> y se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se reorganiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. En materia de emisiones atmosféricas y ruido contiene la siguiente normatividad, aplicable al sector termoeléctrico:

■ Decreto 948 de 1995: define el marco de acciones y los mecanismos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la <u>calidad del aire</u>, evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, ocasionados por la <u>emisión de contaminantes</u> químicos y físicos al aire.

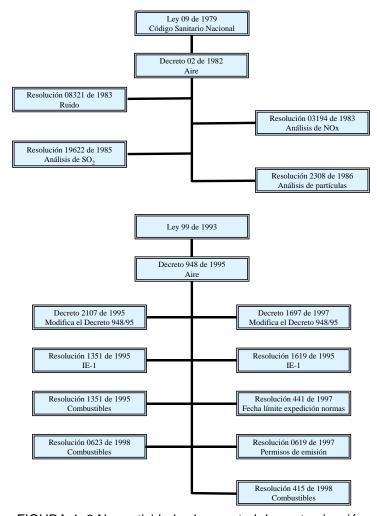


FIGURA 4-3 Normatividad sobre control de contaminación

Entre los aspectos más importantes del **Decreto 948/95** se tienen:

1	Establece	las	funciones	de	las	autoridades
	ambientales	en	relación con	la cali	dad y	el control de
_	la contamina	ciór	n del aire			

- 2 Establece la vigilancia y control del cumplimiento de las normas para fuentes fijas
- 3 Establece los requisitos para obtener permisos de emisión para fuentes fijas: solicitud, trámite, vigencia y renovación
- $m{4}$ Establece la obligatoriedad del informe de estado de emisiones
- **5** Clasificación de las industrias o actividades contaminantes
- 6 Clasificación de sectores de restricción de ruido
- 7 Términos para la adopción de tecnologías limpias
- 8 Medios y medidas de policía y régimen de sanciones
- Resolución 898 de 1995: por la cual se regulan los criterios ambientales de <u>calidad de los combustibles líquidos y sólidos</u> utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores:

1	Normas sobre el contenido de azufre del Fuel Oíl N° 6
1	para calderas y hornos

- Normas de calidad del carbón mineral para su utilización en hornos y calderas (Modificado Res. 0623/98)
 - Normas generales para la utilización de combustibles: registro de consumo, certificación de calidad de combustibles líquidos, toma de muestras de combustibles en establecimientos industriales y comerciales.
- Resolución 1351 de 1995: por la cual se adopta la declaración denominada <u>Estado de Emisiones (IE-1)</u>, que se adjunta a esta resolución, para cumplir con los requisitos y fines previstos en el Art. 97 del decreto 948/95: vigilancia y control del cumplimiento de las normas para fuentes fijas.

3

- Decreto 2107 de 1995: modifica parcialmente el Decreto 948/95 que contiene el reglamento de protección y control de la calidad del aire:
 - 1 Modifica el Art. 25 : prohibición del uso de aceites pesados
 - Modifica del inciso 1 del Art. 98: aplicación de normas y estándares para fuentes fijas
 - Modifica el inciso 1 del Art. 99: extensión de plazos para la adopción de tecnologías limpias

Modifica el Parágrafo 3 del Art. 100: clasificación de industrias o actividades contaminantes

- Resolución 1619 de 1995: se desarrollan parcialmente los artículos 97 y 98 del decreto 948/95. (modificados por el Decreto 2107/95): Fecha límite para la rendición del <u>informe del estado de emisiones</u> para termoeléctricas y otras industrias y para la fijación de normas y estándares a que se deben sujetar las fuentes fijas de emisión de contaminantes. (Este último fue revocado por la Resolución 441/97).
- Resolución 441 de 1997: revoca el artículo 2 de la resolución 1619 de 1995, el cual fija como fecha límite el 1 de Junio/97 para expedir las normas para fuentes fijas de emisión.
- Resolución 0619 de 1997: establece cuales son las industrias, obras, actividades o servicios que requieren permiso de emisión atmosférica y se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere dicho permiso, para fuentes fijas.

Decreto 1697 de 1997: modifica parcialmente el Decreto 948/95, sobre protección y control de la calidad del aire:

- 1 Modifica el Art. 24: combustión de aceites lubricantes de desecho,
- Modifica el Art. 40: contenido de plomo, azufre y otros contaminantes en los combustibles
 - Adiciona al Art. 73: omisión del permiso de emisiones cuando se operen calderas, hornos, plantas termoeléctricas con calderas, turbinas y motores con gas natural o gas licuado de petróleo
- Resolución 415 de1998: establece los casos en los cuales se permite la combustión de los <u>aceites de desecho</u> y las condiciones técnicas para realizar la misma
- Resolución 0623 de 1998: modifica parcialmente la Res. 898/95 que regula los criterios ambientales de <u>calidad de los combustibles</u> utilizados en hornos y calderas y en motores de combustión interna:
 - 1 Modifica el Art. 6: calidad del carbón o sus mezclas para su utilización como combustible
 - 2 Modifica el Art. 9: registro de consumo de combustibles
 - Deroga el Art. 13: sistemas de control de combustión para calderas de 200 o más BHP (Boiler Horse Power), hornos de más de 10000000 Kcal/h)

4.7 NORMAS DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES

La norma de emisión de contaminantes es el valor de descarga permisible, establecido por la autoridad ambiental, con el objeto de preservar la calidad del aire. Las normas de emisión aplicables a los procesos de generación termoeléctrica se encuentran en el Decreto 02/82. Previo a la aplicación de estas normas, es necesario tener en cuenta algunos criterios técnicos de acuerdo con las características de la fuente.

CRITERIOS PREVIOS A LA APLICACIÓN DE LAS NORMAS DE EMISIÓN

Las normas están establecidas para una altura del punto de descarga o altura de referencia, que es aquella que se compara con la altura real del punto de descarga de una fuente fija de contaminación, para modificar la norma de emisión.

Los puntos de descarga de contaminantes al ambiente, en ningún caso podrán estar localizados a una altura inferior a quince (15) m desde el suelo, o a la señalada como mínima en cada caso, según las normas del decreto.

Las normas previstas son referidas a condiciones estándar (25°C y 760 mm Hg), por lo que, cuando la fuente esté ubicada a una altura diferente las normas se deben corregir a esta nueva altura, según procedimiento descrito en el Art. 42 y 43 del Decreto 02 de 1982.

Los factores de corrección de las normas de emisión para calderas con puntos de descarga cuya altura sea diferente a la altura de referencia se presentan en la TABLA 4-1.

TABLA 4- 1 Altura mínima del punto de descarga.

Consumo de calor Millones de kilocalorias por hora	Reducción o ad kcalorias por o aumento o dis respecto a la alto con respecto referen	Altura mínima del punto de descarga (m)	
10 o menos	Zona Urbana	Zona Rural	15
25	0,050	0,075	15
50	0,040	0,065	20
<i>7</i> 5	0,030	0,060	20
100	0,020	0,042	30
200	0,015 0,032		30
300	0,010	0,022	40
400	0,006	0,013	40
500	0,005	0,011	50
750	0,004	0,009	60
1000	0,003 0,007		80
2000 o más	0,025	0,025 0,006	

Decreto 02/82

4.7.1 Normas de emisión de partículas

El Decreto 02/82 reglamenta la emisión de partículas para algunas fuentes fijas, entre las que se *encuentran las calderas a base de carbón*. La norma se basa en el consumo calorífico, la emisión se expresa en kilos de partículas emitidos por millón de kilocalorías consumidas por hora, como se observa en la TABLA 4-2.

Los valores presentados corresponden a fuentes ubicadas a nivel del mar y para alturas de descarga iguales a la altura de referencia indicada, por lo tanto, cuando no se den estas condiciones es necesario aplicar los factores de corrección descritos en el art. 43, 51 y 52 del Decreto 02/82. El cumplimiento de esta norma no es obligatorio durante los periodos de puesta en marcha, parada y soplado de cenizas, siempre y cuando cada uno de ellos no exceda de 45 minutos cada 24 horas.

4.7.1.1 Normas de emisión de dióxido de azufre

El Decreto 02/82 reglamenta la emisión de dióxido de azufre para algunas fuentes fijas, entre las que se encuentran *las calderas, hornos y equipos que utilicen combustible sólido o líquido tales como carbón, Fuel Oíl, kerosene, Diesel Oíl o petróleo crudo*. La TABLA 4-3, muestra la presentación de esta norma.

Los sistemas descritos, que utilicen combustibles sólidos o líquidos con un contenido ponderado de azufre como el indicado en la TABLA 4-3 no pueden emitir al aire ambiente gases provenientes de su combustión, por una chimenea cuya altura sea inferior a la señalada.

TABLA 4- 2 Normas de emisión de partículas

Máxima emisión permisible de partículas (kilos/millón de kilocalorías)	Millones de kilocalorías por hora	
Zona rural :		
• E = 0,30	P ≤ 10	
• $E = 6.29^{P-0.321}$	10 < P < 1500	
• E = 0,6	P ≥ 1500	
Zona urbana		
• E = 2,0	P ≤ 10	
• $E = 4,46 P^{-0,348}$	10 < P < 1500	
• E = 0,35	P ≥ 1500	

Decreto 02/82

TABLA 4- 3 Normas de emisión de óxidos de azufre.

Calor total liberado Altura mínima requerida Millones de kilocalorías por hora metros		ida	
10 o menos	15	15	20
11 -40	20	25	30
50	20	30	35
75	30	37	50
100	35	45	65
200	40	52	72
300	45	60	80
400	52	67	95
500	60	75	110
750	82	100	130
1000	110	125	150
2000 o más	125	150	
Contenido ponderado de azufre (%)	1,4 o menos	1,5 – 2,9	3,0 - 6,0

Decreto 02/82

☐ Guías del Banco Mundial

Dado que en Colombia no existen normas para la emisión de óxidos de nitrógeno de los procesos de combustión, a continuación se presentan, *como una guía*, las normas del Banco Mundial. Se presentan además, las normas de emisión de partículas y dióxido de azufre determinadas específicamente para plantas termoeléctricas. TABLA 4- 4. [59]

4.8 NORMAS SOBRE CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES

El uso de los combustibles sólidos y líquidos, está supeditado al cumplimiento de normas sobre la calidad de los mismos, especialmente en lo que se refiere a su contenido de azufre.

4.8.1 Calidad del carbón mineral y sus mezclas

Los carbones o sus mezclas que se utilicen como combustible, deben cumplir con los requisitos de calidad que se citan en la TABLA 4-5 Resolución 0623/98.

Se pueden usar carbón o sus mezclas con un contenido de azufre mayor al estipulado por la norma, siempre y cuando se garantice a la autoridad ambiental competente, mediante muestreos isocinéticos con periodicidad anual, que las emisiones de óxidos de azufre a la atmósfera, son iguales o menores a las que se obtendrían aplicando los factores de emisión recomendados por la Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos EPA (documento AP 42, sección 1, para el año de 1985). Lo anterior como una medida provisional, hasta tanto el Ministerio del Medio Ambiente establezca los estándares de emisión para fuentes fijas. Res. 0623/98.

Partículas	mg/m ³	50
SO ₂	Ton/día	100
NO ₂		
Combustible gaseoso	g/millón de BTU de	90
Combustible líquido	entrada	135
Combustible sólido		270

TABLA 4-5 Contenido de azufre del carbón mineral o sus mezclas.

Región	Fecha de vigencia : Enero 1 de 1998 hasta Enero 1 de 2003 Contenido de S (%)	
Atlántica	1,5	
Orinoquía y Central, excepto Boyacá	1,7	
Boyacá	2,5	
Pacífica y Amazonía	3,3	

Res. 0623/98

Nes. 0023/30

TABLA 4- 4 Guías del Banco Mundial sobre emisiones [59]	9]
---	----

Contaminante	Unidades	Límite de emisión

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01 Enero de 1999	TAR 4-8	Página 4-26
---	---------	-------------

4.8.2 Normas de calidad del combustóleo o Fuel Oíl No 6

Las normas de calidad del combustóleo o Fuel Oíl Nº 6 se refieren al contenido de azufre en el mismo. Así, a partir de las fechas de vigencia indicadas, el combustóleo (Fuel Oíl No 6) que se distribuya en el país para el consumo en el territorio nacional en calderas y hornos de uso industrial y comercial, para la generación de calor o energía, no podrá contener azufre en cantidades superiores a las indicadas. TABLA 4-6 Res. 898/95.

4.9 NORMAS DE EMISIÓN DE RUIDO

Las normas de emisión de ruido se encuentran reglamentadas en la Resolución 08321 de 1983 y el Decreto 948 de 1995.

La normatividad sobre ruido enuncia que para prevenir y controlar las molestias, las alteraciones y las pérdidas auditivas ocasionadas en la población por la emisión de ruido, se establecen los niveles sonoros máximos permisibles de acuerdo con la: TABLA 4-7 Art. 17 Resolución 08321/83.

La zonificación contemplada en la TABLA 4- 7 corresponde a aquella definida o determinada por la autoridad competente en cada localidad y para cada caso. La zona IV es el área previamente designada donde haya necesidad de una tranquilidad excepcional.

Cuando el predio originador o fuente emisora de sonido pueda ser identificado y el ruido medido afecte a más de una zona, se aplica el nivel de sonido de la zona receptora más restrictiva. (Resolución 08321/83)

El Ministerio del Medio Ambiente fijará mediante resolución los estándares máximos permisibles de emisión de ruido y de ruido ambiental, para todo el territorio nacional. (Decreto 948/95)

		Enero 1 1997	Enero 1 2001	Enero 1 2006
Azufre máx.	% peso	1,7	1,5	1,0

Res. 898/95

TABLA 4- 7 Niveles máximos permisibles de ruido

Zona receptora	Nivel de presión sonora en dB(A)		
Zona receptora	Diurno 7:01 - 21:00	Nocturno 21:01 - 7:00	
Zona I residencial	65	45	
Zona II comercial	70	60	
Zona III industrial	75	75	
Zona IV tranquilidad	45	45	

Res. 08321/83

Resolución 08321/83

- Art.22 ninguna persona permitirá u ocasionará la emisión de cualquier ruido, que al cruzar el límite de propiedad del predio originador pueda exceder los niveles establecidos.
- Art. 23 los establecimientos, locales y áreas de trabajo se ubicarán o construirán según lo
 establecido en el reglamento de zonificación de cada localidad y cumpliendo con los
 niveles sonoros permisibles que se indican en el Art. 17, de tal forma que los ruidos que se
 produzcan no contaminen las zonas próximas.

Decreto 948/95

- Sectores A (tranquilidad y silencio): áreas urbanas donde estén situados, hospitales, guarderías, bibliotecas, sanatorios y hogares geriátricos
- Sectores B (Tranquilidad y ruido moderado): zonas residenciales o exclusivamente destinadas para el desarrollo habitacional, parques en zonas urbanas, escuelas, universidades y colegios
- Sectores C (Ruido intermedio restringido): zonas con usos permitidos industriales y comerciales, oficinas, uso institucional y otros usos relacionados
- Sectores D (zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado) áreas rurales habitadas destinadas a la explotación agropecuaria, o zonas residenciales suburbanas y zonas de recreación y descanso
- Art. 47 Ruido de maquinaria industrial. Prohíbase la emisión de ruido por máquinas industriales en sectores clasificados como A y B.

1 / RI / / - K (Contenido de azut	ra dal cam	huetalaa
	JUHIEHIUU UE AZUI	וב עבו כטווו	บนอเบเซบ

Parámetro Unidad	Fecha de vigencia
------------------	-------------------

4.9.1 Normas del Banco Mundial

El Banco mundial establece los límites de emisión según la actividad del área, como se muestra en la TABLA 4-8. [60]

Las guías del Banco Mundial son especialmente útiles pues se usan como punto de referencia para la aceptabilidad ambiental de un proyecto. Adicionalmente, los países desarrollados las han adoptado como sus estándares ambientales nacionales.

4.9.2 Normas alemanas

Como punto de comparación en la TABLA 4- 9 se presentan las normas alemanas de ruido (VDI 2058), las cuales están dadas de acuerdo con la zona donde esté ubicada la fuente.

4.9.3 American National Standard Institute

La ANSI presenta una guía para determinar la respuesta de la comunidad ante los diferentes niveles de ruido, como se observa en la TABLA 4- 10: [2]

El conocimiento de la respuesta de la comunidad ante el ruido es una herramienta útil para establecer rápidamente, el nivel de ruido aceptable que se debe alcanzar para una instalación que esté situada cerca a una comunidad o para determinar el nivel de ruido máximo permisible para una nueva instalación, sin distinción del tipo de área en donde se ubique la fuente.

4.9.4 Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

El criterio de ruido desarrollado por la EPA para la protección de la salud y el bienestar público, entendiéndose esto último como el buen estado físico, mental y social, con un margen de seguridad adecuado, se presenta en la TABLA 4- 11. Los valores de niveles de ruido mostrados, resultan útiles para la evaluación del impacto sonoro en ausencia de estándares específicos para una zona determinada [17].

TABLA 4-8 Guías de ruido del Banco Mundial [60]

Banco Mundial	55 ^b	70 °	70 ^c
Ex Im Bank ^a	60/55 ^d	65/60 ^d	75/75 ^d

a = Export - Import Bank of USA b= Promedio Día - Noche, c= Sobre 24 Horas, d= Período Día

TABLA 4- 9 Normas alemanas

Zona receptora	Día (dB(A))	Noche (dB(A))
Zona totalmente comercial	70	70
Zona principalmente comercial	65	50
Zona mixta (comercial-residencial)	60	45
Zona principalmente residencial	55	40
Zona únicamente residencial	55	35
Zona tranquila (hospitales)	45	30

TABLA 4- 10 Respuesta de la comunidad ante el ruido [26]

Reacción de la comunidad	Nivel de ruido (dB(A))		
Reacción vigorosa	> 75		
Acción legal	> 68		
Amenaza Legal	> 60		
Quejas Esporádicas	> 55		
No hay Reacción	< 50		

TABLA 4- 11 Media anual de niveles de ruido equivalentes (dB(A)) para proteger la salud y bienestar público EPA [17]

		Interior			Exterior		
Uso del terreno	Medida ^a	Interferencia de la actividad	Consideración de pérdida de audición ^b	Protección contra ambos efectos	Interferencia de la actividad	Consideración de pérdida de audición ^b	Protección contra ambos efectos ^c
Residencial con jardines o granja	L _{dn} L _{eq(24)}	45	70	45	55	70	55
Residencial sin espacios ajardinados	L dn L eq(24)	45	70	45			
Comercial	L _{eq(24)}	d	70	70 ^e	d	70	70 ^e
Transporte interior	L _{eq(24)}	d	70	d			
Industrial	L eq(24)	d	70	70 ^e	d	70	70 ^e
Hospitales	L _{dn} L _{eq(24)}	45	70	45	55	70	55
Educacional	L _{eq(24)} L _{eq(24)} ^f	45	70	45	55	70	55
Áreas recreativas	L _{eq(24)}	d	70	70 ^e	d	70	70 ^e
Terrenos rústicos y terrenos con poca población	L _{eq(24)}				d	70	70 ^e

Ldn nivel sonoro medio día - noche

Leq nivel sonoro equivalente

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01 Enero de 1999	TAR 4-9	Página 4-29
---	---------	-------------

a: se refiere a energía más que a medias aritméticas

b: El periodo de exposición que produce pérdida de audición en el nivel definido es de 40 años

c: Basado en el nivel inferior

d: dado que los diferentes tipos de actividades parecen estar asociados con diferentes niveles, la descripción de un nivel máximo para la interferencia en las actividades resulta difícil excepto en aquellos casos en los que la comunicación oral es una actividad crítica

e: Basado sólo en pérdida de la audición

f: Se puede identificar en estas situaciones un L $_{eq(24)}$ de 75 d(B) mientras que la exposición sobre las restantes 16 horas del día sean lo bastante bajas como para contribuir de manera despreciable a la media de 24 horas; por ejemplo, no superior a un L $_{eq}$ de 60 dB.

4.10 NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

La norma de calidad del aire o nivel de inmisión es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio del Medio Ambiente, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

TABLA 4- 12 Normas de calidad del aire (Decreto 02/82)

Sustancia	Valores permisibles (μg/m³) ^a				
Contaminante	Anual	24 horas	8 horas	3 horas	1 hora
Partículas en suspensión ^b	100	400			
SO ₂ ^c	100	400		1500	
CO			15000		50000
Oxidantes fotoquímicos (O ₃)					170
NO ₂ ^c	100				

^a Valores en condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg)

El Banco Mundial establece los límites de calidad del aire así:

TABLA 4- 13 Guías del Banco Mundial calidad del aire [59]

Sustancia	Valores permisibles (μg/m³)			
Contaminante	Promedio Anual	Máx. 24 horas promedio	Máx.1 hora promedio	
Partículas en suspensión (<10µm)	70	110		
SO ₂	50	125	350	
NO ₂		150	400	

• GUÍAS DEL BANCO MUNDIAL

^b Promedio geométrico

^c Promedio aritmético

4.11 APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE RIGOR SUBSIDIARIO

Según el Art. 70 del Decreto 948 de 1995, las Corporaciones Autónomas Regionales y Grandes Centros Urbanos, los departamentos, los municipios y distritos, en su orden, en su condición de autoridades ambientales, pueden adoptar normas específicas de calidad del aire y de ruido ambiental, de emisión de contaminantes y de emisión de ruido, más restrictivas que las establecidas por el Ministerio del Medio Ambiente, con fundamento en las consideraciones que se describen en la TABLA 4-14.

Adicionalmente, la autoridad ambiental competente puede no autorizar el funcionamiento de nuevas instalaciones susceptibles de causar emisiones a la atmósfera, en áreas- fuentes en las que las descargas de contaminantes al aire, emitidas por las fuentes fijas ya existentes produzcan en su conjunto concentraciones superiores a las establecidas por las normas de calidad definidas para el área fuente respectiva. **Decreto 948 de 1995, Artículo 21.**

TABLA 4- 14 Aplicación del principio de rigor subsidiario

Norma	Condición		
Calidad del aire	Basado en resultados de estudios meteorológicos y de calidad del aire		
Ruido ambiental	 Justificado por estudios técnicos, planes de ordenamiento del territorio y estatutos de zonificación del suelo 		
	Cuando mediante las mediciones de calidad del aire se compruebe que las emisiones pueden generar los siguientes niveles :		
Emisiones	 75 % de las concentraciones diarias (en un año) son iguales o superiores a la norma anual 		
	 30% de las concentraciones diarias (en un año) son iguales o superiores a la norma diaria 		
	 15% de las concentraciones horarias (en un año) son iguales o superiores a la norma horaria) 		

Decreto 948/95

4.12 SANCIONES Y MEDIDAS DE POLICÍA

La Ley 99 de 1993 y el decreto reglamentario 948 de 1995, establecen las sanciones aplicables cuando ocurriere violación de las normas sobre protección ambiental o sobre manejo de recursos naturales renovables. Específicamente, se consideran infracciones al reglamento de protección y control de la calidad del aire, las violaciones de cualquiera de las regulaciones, prohibiciones y restricciones sobre emisiones contaminantes, generación de ruido y de olores ofensivos, por fuentes fijas.

Se consideran faltas graves las siguientes: (Decreto 948/95 Art. 123)

- La falta de licencia ambiental o de los permisos necesarios para el ejercicio de la actividad y puesta en marcha de las instalaciones correspondientes
- Cualquier infracción de las prescripciones dictadas como consecuencia de haber sido declarados los niveles de prevención, alerta o emergencia.
- Obstaculizar o entorpecer la labor de vigilancia, inspección y control de las autoridades ambientales competentes.
- La puesta en marcha de instalaciones o establecimientos que hayan sido cerrados temporal o definitivamente o cuya licencia de funcionamiento haya sido revocada o suspendida.

La autoridad ambiental competente, tendrá en cuenta la gravedad de la infracción, conforme al balance y estimación de circunstancias agravantes y atenuantes para apreciar la procedencia de una sanción, así como para establecer la tasación de la misma. Art. 124 Decreto 948/95.

- Multas diarias hasta por una suma equivalente a 30 salarios mínimos diarios legales
- Multas diarias de 30 a 150 salarios mínimos mensuales legales
- Multas diarias de 150 a 200 salarios mínimos mensuales legales
- Multas diarias hasta por 300 salarios mínimos mensuales legales
- Suspensión de la licencia ambiental y de los permisos de emisión, y el consiguiente cierre temporal del establecimiento o la suspensión de las obras o actividades
- Cierre definitivo del establecimiento o edificación o clausura definitiva de la actividad y consiguiente revocatoria de la licencia ambiental y de los permisos existentes
- Decomiso, temporal o definitivo, o destrucción de las materias primas

Ley 99/93 Art. 85 Paragrafo 1 " El pago de las multas no exime al infractor de la ejecución de las obras o medidas que hayan sido ordenadas por la entidad responsable del control, ni de la obligación de restaurar el medio ambiente y los recursos naturales renovables afectados".

Ley 99/93 Art. 85 Paragrafo 2 " las sanciones establecidas se aplicarán sin perjuicio del ejercicio de las acciones civiles y penales a que haya lugar"

SANCIONES

Decreto 948/95 Art. 121

5. TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN Y COGENERACIÓN TERMOELÉCTRICAS

5.1 INTRODUCCIÓN

El principio de la **generación de energía termoeléctrica** es el aprovechamiento del *calor generado en el proceso de combustión*, para la *conversión de esta energía en trabajo*, por medio de los siguientes procesos:

- Generación de vapor y su uso en una turbina de vapor
- Utilización directa de los gases calientes de combustión en una turbina de gas o motores reciprocantes.

El trabajo producido en los dos casos, es convertido en energía eléctrica, a través de un generador.

En el proceso de combustión se utilizan combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y para la generación de trabajo, se utilizan los siguientes sistemas:

- Turbinas a gas, en ciclo simple y en ciclo Stig
- Turbinas a vapor en ciclo Rankine
- Ciclo combinado
- Motores reciprocantes

En el proceso de cogeneración, se obtiene además de energía eléctrica, calor útil a partir de una fuente única de calor, por lo que es empleada en aplicaciones que requieran calor o vapor, aumentando la eficiencia global del proceso. Adicionalmente, es importante resaltar que en la actualidad se están desarrollando nuevas tecnologías de generación, con el objeto de mejorar la eficiencia energética y la reducción del consumo de combustible, lo que se traduce en la reducción de emisiones de gases de invernadero, especialmente CO2, en concordancia con las políticas mundiales sobre el cambio climático. Entre las nuevas tecnologías de generación se tienen:

- Ciclo combinado con gasificación integrada (IGCC)
- Lecho fluidizado atmosférico (AFBC)
- Lecho fluidizado presurizado (PFBC)

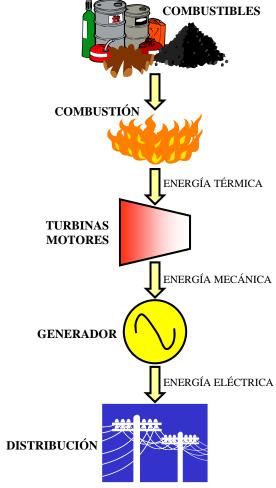


FIGURA 5-1 Proceso de producción de energía termoeléctrica

5.2 TURBINAS A GAS

Las turbinas son *motores de combustión, interna o externa*, donde se aprovecha la energía termodinámica de los gases de combustión, a alta temperatura y presión, para ejercer un trabajo o empuje sobre los alabes de la turbina que se encuentran fijados a un rotor, el cual finalmente convierte esta energía en trabajo mecánico y posteriormente en energía eléctrica mediante un generador.[48]

5.2.1 Turbinas a gas en ciclo simple

Principios termodinámicos: en la FIGURA 5- 2 se presenta un diagrama de una turbina a gas operando en ciclo simple (Ciclo Brayton). El aire entra al compresor (1), a las condiciones de presión, temperatura y humedad relativa del sitio. Posteriormente, dicho aire es comprimido adiabáticamente (sin adición de calor) en el compresor. Como resultado de dicha compresión las propiedades termodinámicas del aire cambian según se ilustra en la FIGURA 5- 3. Una vez el aire comprimido sale del compresor, entra a la cámara de combustión (2) en la cual se adiciona combustible. El proceso de combustión se realiza a presión constante y genera un aumento considerable en la temperatura de los gases producto de la combustión. Después de pasar por la cámara de combustión, los gases a alta presión y temperatura, son dirigidos hacia la sección de turbina (3). Los gases de combustión salen de la turbina (4) a temperaturas alrededor de 500°C.

Potencias y eficiencias

Pueden variar desde 200 kw hasta 280 MW. Por otra parte, las eficiencias de dichas turbinas tienen valores comprendidos entre 16 % y 39 % basadas en el poder calorífico inferior del combustible.

Combustibles

Típicamente, las turbinas a gas en ciclo simple requieren combustibles limpios tales como gas natural y aceite liviano (Diesel - Fuel Oil No.2).

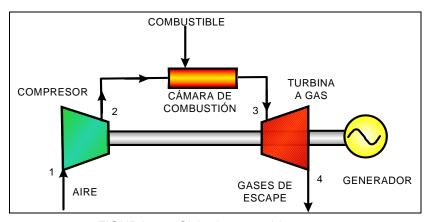


FIGURA 5- 2 Ciclo de una turbina a gas

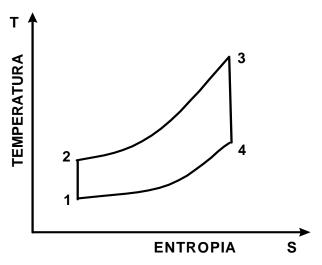


FIGURA 5-3 Propiedades termodinámicas de una turbina a gas

5.2.2 Turbinas a gas en ciclo STIG

En el *ciclo Stig*, se inyecta vapor en la turbina a gas, junto con los gases de combustión, con el objeto de aumentar el caudal que pasa por la turbina y así elevar su potencia y eficiencia. El vapor es generado en una *caldera de recuperación de calor (HRSG)* aprovechando la energía contenida en los gases de escape de la turbina a gas. [48]

Los fundamentos termodinámicos del ciclo Stig son básicamente los mismos de la turbina a gas, a la cual se le instala una caldera de recuperación en donde el calor remanente contenido en los gases produce vapor, el cual es inyectado a la turbina. En la FIGURA 5- 4 se puede observar el esquema típico de un ciclo Stig.

Potencias y eficiencias

En cuanto a potencias y eficiencias se refiere, los ciclos Stig pueden generar potencias hasta del orden de 50.000 kw, con eficiencias de generación eléctrica del orden del 43%, basadas en el poder calorífico inferior del combustible.

Combustibles

En la turbinas a gas en ciclo Stig se emplean gas natural y Fuel Oil No. 2, al igual que en ciclo simple.

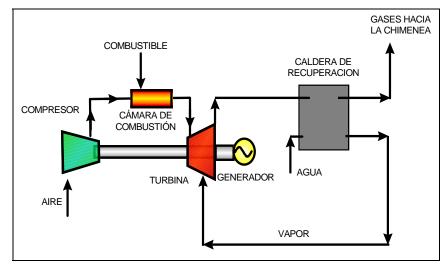


FIGURA 5-4 Ciclo Stig

5.3 TURBINAS A VAPOR EN CICLO RANKINE

Las turbinas a vapor son elementos mecánicos donde se aprovecha la energía termodinámica del vapor a alta temperatura y presión, para ejercer un trabajo o empuje sobre los alabes de la turbina que se encuentran fijados a un rotor, el cual convierte esta energía en trabajo mecánico y finalmente en energía eléctrica por medio de un generador.

Principios termodinámicos: la FIGURA 5- 5 presenta un diagrama esquemático de generación con turbina a vapor y la FIGURA 5- 6 muestra el cambio en las propiedades termodinámicas del agua-vapor a lo largo del ciclo. Inicialmente el agua es comprimida en la bomba (1-2) y luego se dirige hacia el generador de vapor (caldera), en donde debido a la adición de calor se transforma en vapor (2-3). El vapor a alta presión y temperatura se expande en la turbina, convirtiendo la energía calorífica del vapor en energía mecánica (3-4). El vapor al salir de la turbina es dirigido hacia el condensador en donde se condensa debido a la transferencia de calor con el refrigerante (4-1). [5]

En la generación termoeléctrica, se pueden utilizar básicamente dos tipos de turbina a vapor: (i) Turbinas a vapor de contrapresión y (ii) Turbinas a vapor de condensación. En las turbinas de contrapresión el vapor es descargado a una presión considerablemente superior a la presión atmosférica, y no existe condensador. En las turbinas de condensación el vapor se expande en la turbina hasta presiones de vacío, resultando en una mayor potencia.

Potencias y eficiencias

En la actualidad se pueden encontrar centrales térmicas en ciclo Rankine de 30 MW hasta 1200 MW por unidad, las cuales pueden alcanzar eficiencias hasta de un 40%.

Combustibles

Se pueden utilizar una gran variedad de combustibles tales como carbón, gas natural, residuos pesados, biomasa y Fuel Oil No. 2, entre otros.

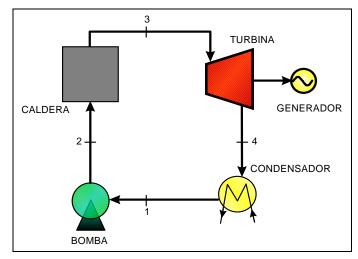


FIGURA 5-5 Turbina de vapor

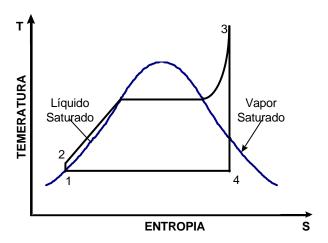


FIGURA 5- 6 Diagrama T vs. S del agua en el ciclo Rankine

5.4 CICLO COMBINADO

En este tipo de arreglo mecánico se tienen dos ciclos actuando en forma acoplada; el primero es el ciclo simple de gas (Brayton) y el segundo es un ciclo Rankine, en donde el calor de los gases de escape de la turbina da gas se aprovecha en la formación de vapor que mueve una turbina de vapor, y ésta un generador. En la FIGURA 5- 7 se presenta un diagrama esquemático de un ciclo combinado. [5]

Principios termodinámicos: en la FIGURA 5-8 se puede observar la transferencia de calor entre los gases de combustión y el agua. El calor contenido en los gases de escape producidos en la turbina a gas, es utilizado para producir vapor en calderas de recuperación de calor (HRSG), las cuales se acoplan a la salida de los gases de combustión de la turbina. El vapor producido, en la caldera de recuperación de calor, se emplea para mover una turbina de vapor y generar energía mediante un generador eléctrico. De esta forma se aprovecha de manera más eficiente la energía del combustible, en comparación con los ciclos de turbina a gas y de turbina a vapor por separado.

Potencias y eficiencias

En la actualidad se pueden encontrar centrales térmicas en ciclo combinado hasta de 480 MW, las cuales pueden alcanzar eficiencias de un 60%.

Combustibles:

Los combustibles empleados en la generación son los mismos con los cuales se operan las turbinas a gas, gas natural y aceite liviano (Diesel - Fuel Oil No.2).

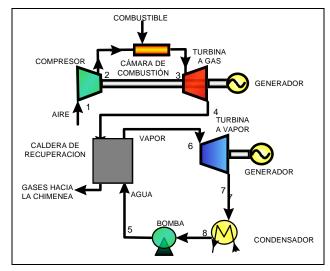


FIGURA 5-7 Ciclo Combinado

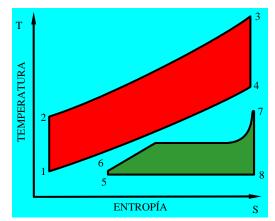


FIGURA 5-8 Diagrama T vs. S en un ciclo combinado

5.5 MOTORES RECIPROCANTES

Los motores pueden ser clasificados como de cuatro o de dos tiempos. En un motor de cuatro tiempos el ciclo completo es: (i) Admisión del aire o de la mezcla aire-combustible: (ii) Compresión del aire o de la mezcla; (iii) Expansión de los gases de combustión y (iv) Escape de los gases de combustión. En un motor de dos tiempos el ciclo completo es: (i) Barrido, admisión y Compresión de la mezcla aire combustible y (ii) Combustión y Escape de los gases de combustión. En la FIGURA 5- 9 se puede observar el ciclo de un motor de dos tiempos. [48]

Principios termodinámicos: los motores reciprocantes operan bajo el ciclo de Otto o bajo el ciclo Diesel. En el ciclo de Otto (FIGURA 5- 10) la mezcla aire-combustible es comprimida en el cilindro (1-2), donde mediante una chispa ocurre la ignición del combustible. La combustión aumenta la presión de la mezcla (2-3) lo cual hace que el pistón se desplace dentro del cilindro, realizando trabajo. En el ciclo Diesel (FIGURA 5- 11) el aire es comprimido hasta que alcanza la temperatura de autoignición y en este momento se inyecta el combustible dentro del cilindro, donde ocurre el proceso de combustión. Los pistones, en ambos ciclos, van acoplados a un cigüeñal o eje que convierte el desplazamiento del pistón en rotación, que a su vez es transmitida a un generador eléctrico.

Potencias y eficiencias

Los motores reciprocantes se encuentran disponibles en tamaños que van desde unos pocos kilovatios hasta aproximadamente 20000 kw. Las eficiencias de un motor reciprocante pueden variar entre el 32% y el 45%. La eficiencia disminuye proporcionalmente con el aumento de la velocidad.

Combustible

Los motores Diesel pueden trabajar con combustibles derivados del petróleo tales como el Fuel Oil No. 2 y el Fuel Oil No. 6. Los motores por ignición (ciclo Otto), usados para generación eléctrica, pueden trabajar con gas natural, pero pueden emplear otros gases tales como: propano, metano, hidrógeno y biogas.

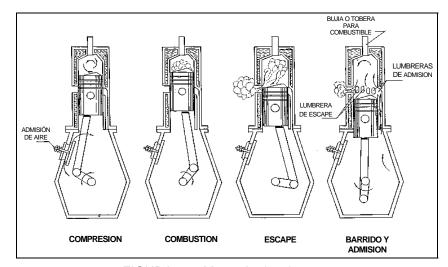


FIGURA 5- 9 Motor de dos tiempos

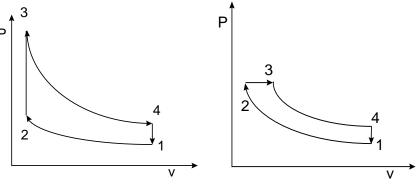


FIGURA 5- 10 Ciclo de Otto.

FIGURA 5- 11 Ciclo Diesel

5.6 COGENERACIÓN

En la cogeneración se realiza la producción simultánea de potencia mecánica o eléctrica y calor útil a partir de una única fuente de calor. Por lo tanto, la cogeneración sólo puede ser empleada en aplicaciones en donde se requiera calor o vapor de proceso. Los ciclos empleados para la generación termoeléctrica son aplicados igualmente para la cogeneración. Por lo tanto se puede cogenerar con turbinas a gas, turbinas a vapor, motores reciprocantes y ciclos combinados. [5]

Principios termodinámicos: en la cogeneración con turbinas a gas al igual que en los motores reciprocantes el calor contenido en los gases de escape es empleado para la producción de vapor, calentamiento de agua o aceites térmicos, entre otros. En el caso de la cogeneración con turbinas a vapor, se realizan una serie de extracciones del vapor de la turbina con las cuales se satisfacen las necesidades térmicas o vapor de proceso.

En la cogeneración con ciclos combinados, los gases de combustión de la turbina a gas se emplean para la producción de vapor de proceso, vapor para la turbina a vapor y vapor para el calentamiento de otras sustancias de uso industrial o comercial. Igualmente, el vapor extraído de la turbina a vapor se emplea en aplicaciones en donde se requiera vapor a bajas presiones. En la FIGURA 5- 12 se puede observar un esquema típico de cogeneración con turbina a gas.

Potencias y eficiencias

Los tamaños de las plantas de cogeneración dependen del ciclo seleccionado, sin embargo, en términos generales se pueden alcanzar eficiencias totales de hasta el 80%.

Combustibles

Los combustibles empleados en la cogeneración dependen del ciclo con el cual se va a cogenerar.

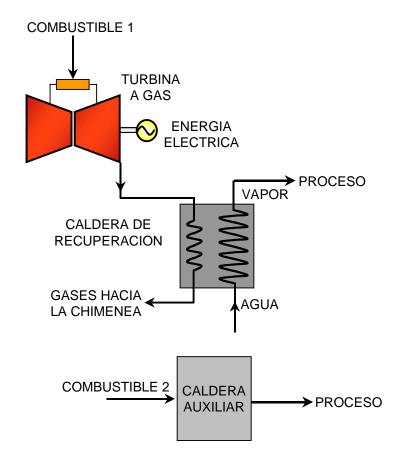


FIGURA 5- 12 Esquema de cogeneración con turbina a gas

5.7 NUEVAS TECNOLOGÍAS DE GENERACION

5.7.1 Ciclo combinado con gasificación integrada (IGCC)

En esta tecnología se integra la gasificación de un combustible que es utilizado en una turbina a gas y la producción de vapor para una turbina a vapor, con el fin de generar energía eléctrica. [5]

Principios termodinámicos: el proceso de gasificación consiste en alimentar un combustible a una cámara, en donde se lleva a cabo una combustión incompleta mediante la adición de oxígeno o aire y vapor de agua. Las reacciones químicas entre el vapor, el oxígeno y el combustible, producen una mezcla de gases que dependiendo del combustible, esta constituida principalmente por monóxido de carbono y en menor proporción por dióxido de carbono, hidrógeno y metano.

Los gases producidos se extraen del gasificador y se llevan a un ciclón en donde se separan las partículas más pesadas. Del ciclón se dirigen hacia el enfriador de gas, posteriormente pasan a través de un filtro de gases, en donde se realiza la remoción de azufre y luego se dirigen hacia la turbina a gas. Los gases de escape de la turbina a gas se conducen a un *HRSG* para generar vapor y luego se descargan a la atmósfera. El vapor generado se dirige hacia la turbina a vapor en donde cierta cantidad de vapor es extraído para ser inyectado al gasificador. En la FIGURA 5- 13 se puede observar un diagrama esquemático de un IGCC.

Potencias y eficiencias

En ciclos IGCC con carbón se encuentran plantas con capacidad máxima de 335 MW y cuya eficiencia es del orden del 46%. Por otra parte, los ciclos IGCC que actualmente operan con biomasa la capacidad de generación, no superan los 6 MW y eficiencia de aproximadamente 33%.

Combustibles

Se usan gran variedad de combustibles entre ellos: carbón, biomasa y residuos pesados de petróleo.

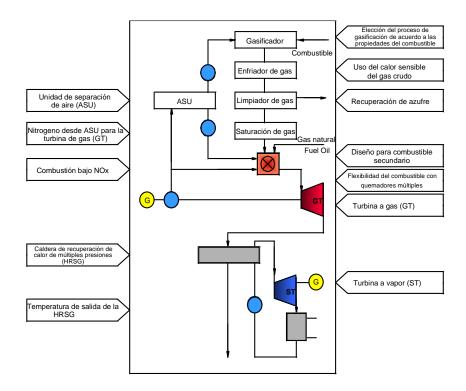


FIGURA 5- 13 Ciclo combinado con gasificación integrada (IGCC)

5.7.2 Lecho fluidizado

Esta tecnología ha sido desarrollada para el aprovechamiento de combustibles que presentan algunas limitaciones para su uso principalmente por el alto contenido de azufre. Permite tratar los gases de combustión para eliminar el azufre y obtener algunos subproductos con azufre que pueden ser comercializables.

Principios termodinámicos: en la combustión con Lecho Fluidizado Atmosférico (AFBC) el combustible, junto con un absorbente de azufre (caliza o dolomita). alimentado a la caldera donde ocurre la combustión. El calor liberado durante la combustión se emplea en la producción de vapor del ciclo de la turbina a vapor (ciclo Rankine). El gas de combustión sale de la cámara del lecho y se dirige hacia un sistema de limpieza de partículas, para ser finalmente expulsado por la chimenea. En la FIGURA 5- 14 se puede observar un diagrama esquemático de un sistema de AFBC.

En la combustión con *Lecho Fluidizado Presurizado (PFBC)* la cámara de combustión de una turbina a gas es modificada para que sea alimentada con una mezcla de combustible y un absorbente de azufre (caliza o dolomita), allí gracias al calor liberado durante la combustión se produce vapor que se emplea en un ciclo de turbina a vapor (ciclo Rankine), mientras que los gases de la combustión salen de la cámara presurizada y se dirigen hacia la sección de expansión de la turbina a gas. En la FIGURA 5- 15 se puede observar un diagrama esquemático de la combustión con lecho fluidizado presurizado.

Potencias y eficiencias

Para el AFBC se ofrecen unidades hasta 300 MW y eficiencias que alcanzan el 38%. Mientras que para los PFBC se encuentran unidades de 350 MW y eficiencias del orden de 43%.

Combustibles

Se usan carbón y biomasa principalmente.

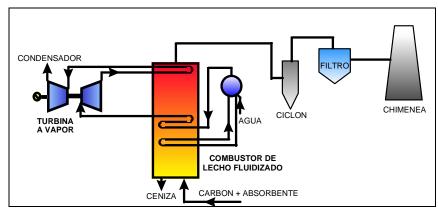


FIGURA 5- 14 Lecho Fluidizado Atmosférico - AFBC

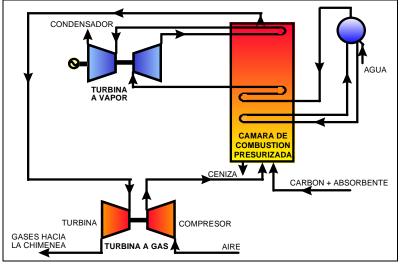


FIGURA 5- 15 Lecho Fluidizado Presurizado (PFBC)

6. TIPOS DE CONTAMINANTES E IMPACTO AMBIENTAL

6.1 INTRODUCCION

Cualquier actividad industrial causa una serie de impactos ambientales que afectan la atmósfera, las aguas, los suelos, la fauna y flora y al hombre, debido a la emisión de contaminantes gaseosos, vertimientos líquidos, residuos sólidos, generación de ruido y afectación de estructuras sociales.

Las plantas de generación termoeléctrica no son ajenas a estos procesos, sin embargo, dependiendo de la tecnología y el combustible empleado, se podría afirmar que el mayor impacto ambiental es la emisión de contaminantes a la atmósfera, producidos por el proceso de combustión y la generación de ruido. [42]

El potencial impacto ambiental primario causado por los procesos de generación termoeléctrica y cogeneración es el deterioro de la calidad del aire, cuya magnitud depende entre otros de los siguientes factores:

1	Calidad del aire de fondo del área
2	Combustible utilizado en el proceso
3	Tecnología de generación o cogeneración empleada
4	Emisión de contaminantes
5	Sistemas de control, eficiencia y prácticas operativas
6	Condiciones climáticas y topográficas del área

Los impactos ambientales secundarios se describen en relación con el elemento o sustancia contaminante que los causa y son aquellos efectos sobre la salud humana, la fauna, la flora, las construcciones y cuerpos de agua, desencadenados por el aumento de la concentración en el aire de una o más sustancias. [58]

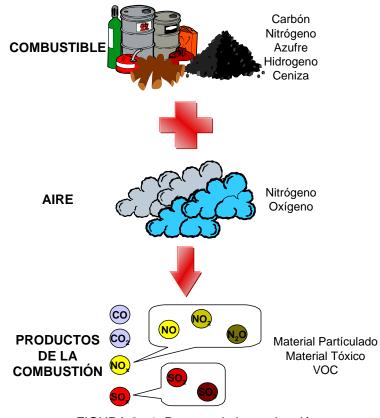


FIGURA 6 - 1. Proceso de la combustión

CO₂ - Dióxido de Carbono

El CO_2 se forma por la reacción del carbono contenido en el combustible con oxígeno. El CO_2 es un gas inerte que no es nocivo en la atmósfera, sin embargo, el aumento de su concentración en la atmósfera contribuye al calentamiento de la tierra, "efecto de invernadero", debido a su propiedad para retener la radiación del sol reflejada hacia el espacio por la tierra.

El CO_2 es tomado y transformado en biomasa por la vegetación, mediante el proceso de fotosíntesis. Aunque la vegetación también emite CO_2 a la atmósfera mediante el proceso de la respiración, la cantidad de CO_2 transformado en biomasa es mayor que el emitido por la respiración. Los animales también emiten CO_2 a la atmósfera mediante el proceso de la respiración. La deforestación y la quema de combustibles fósiles son las mayores fuentes de emisión de CO_2 y causantes del aumento de su concentración en la atmósfera con el consabido efecto global.

CO - Monóxido de Carbono

El CO se forma cuando la combustión del carbono es incompleta. El CO absorbido por los pulmones reduce el transporte de oxígeno a la sangre. Dependiendo de la concentración y tiempo de exposición causa el deterioro de la destreza motriz, es extremadamente venenoso y en altas concentraciones y en lugares cerrados, puede causar la muerte. El CO es inestable y tiene una duración corta en la atmósfera ya que fácilmente se oxida a CO₂ liberando calor. La acumulación de CO puede causar explosiones o incendios. En la TABLA 6- 1 se muestran los efectos según la concentración de la emisión de CO.

Vapor de agua

El vapor de agua se forma por la reacción entre el hidrógeno contenido en el combustible y el oxígeno del aire y por la humedad contenida en el aire inyectado para la combustión. Otra fuente importante de emisión de vapor de agua en las plantas termoeléctricas lo constituyen las válvulas de alivio y venteos de las calderas y torres de enfriamiento. El vapor de agua aún no es catalogado como un contaminante atmosférico, pero a nivel mundial se considera que contribuye al calentamiento global. [10]

TABLA 6- 1 Efectos del monóxido de carbono (CO) [58]

CONCENTRACION (ppm)	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	EFECTOS	
50	50 6 semanas Cambios estructurale el corazón y cerebrilos animales.		
50	50 min	Cambios en el umbral de la luminosidad relativa y la agudeza visual.	
50	8 a 12 h para no fumadores	Impedimento en el funcionamiento de las pruebas psicomotoras.	

Material particulado

El material particulado, está compuesto por ceniza (óxidos de silicio) e inquemados (hollín). La ceniza producto de la combustión se clasifica como de fondo y volante, la primera se deposita en el fondo del hogar o cámara de combustión, es recogida y dispuesta generalmente en patios o pilas, donde puede ser resuspendida a la atmósfera por acción del viento. La ceniza volante es arrastrada y emitida a la atmósfera por los gases de combustión. En la TABLA 6- 2 se pueden observar los efectos causados por el material particulado para diferentes concentraciones.

Las partículas que se emiten a la atmósfera son de variados tamaños y composición, lo cual depende de las características del combustible y condiciones termodinámicas de la combustión. Las partículas menores de 10 micras (PM-10) son las partículas respirables por lo que son las responsables de los efectos sobre la salud humana.

Los principales efectos que produce el material particulado son:

1	Irritación de los ojos
2	Reducción de la visibilidad
3	Efectos tóxicos, que incluyen infecciones respiratorias, afecciones cardiacas, bronquitis, asma y pulmonía
4	En la vegetación causa el taponamiento de los estomas y posterior necrosis de las hojas
5	Ensuciamiento de edificaciones y el espacio público

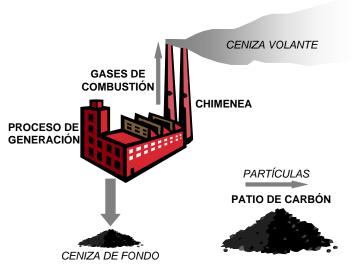


FIGURA 6- 1 Producción de ceniza (material particulado)

TABLA 6- 2 Efectos sobre la salud del material particulado [58]

CONCENTRACION (μg/m³)	EFECTOS					
260 - 400	Leve agravamiento de síntomas en personas susceptibles.					
400 - 625	Significativos síntomas de agravamiento y disminución de tolerancia al ejercicio en personas que sufren del corazón.					
625 - 875	Comienzo prematuro de ciertas enfermedades y disminución de tolerancia al ejercicio en personas saludables.					
875 - 1000	Muerte prematura para enfermos o personas de avanzada edad. Las personas saludables experimentarán alteraciones en su actividad normal.					

Materiales tóxicos

El material particulado o los gases de emisión pueden incluir ciertos compuestos tóxicos

Óxidos o hidruros de metales, como:

- Plomo
- Cromo
- Níquel
- Arsénico
- Mercurio

Minerales como:

- Asbestos
- Berilo
- Entre otros.

Los efectos dependen del carácter tóxico de cada componente, por ejemplo, *el asbesto* causa el desarrollo del cáncer en las membranas que revisten el pecho y abdomen, *el berilio* causa problemas pulmonares, daños en la piel y ojos y *el mercurio* causa daños en el sistema nervioso y a los riñones. Generalmente estos elementos son emitidos en muy pequeñas cantidades, ya que su concentración en los combustibles convencionales, es baja.

Compuestos orgánicos volátiles (VOC)

Los *VOC* pueden ser moléculas orgánicas o hidrocarburos inquemados. Se pueden formar en las siguientes situaciones:

- Durante la combustión (a baja temperatura)
- Formados por combustible no quemado a causa de una combustión incompleta (productos de combustión incompleta PICs).

Son emitidos principalmente cuando se usan combustibles derivados del petróleo. Estas sustancias están compuestas por:

- Carbono
- Hidrógeno

Incluyendo:

- Hidrocarburos aromáticos
- Oleofinas
- Parafinas
- Aldehidos
- Cetonas
- Hidrocarburos halogenados

Los VOC causan el smog fotoquímico cuando reaccionan con el NO_x , causando problemas respiratorios, irritación de los ojos, reducción de la visibilidad y daño a la vegetación. Muchos de estos compuestos, principalmente los aromáticos, son clasificados como cancerígenos, otros como el metano tienen una alta capacidad de retención de calor, de igual manera que el CO_2 , son considerados gases de efecto invernadero. Algunos PICs pueden ser particularmente tóxicos o peligrosos.

SO_x - Oxidos de Azufre

 SO_x es un término general el cual incluye SO_2 (dióxido de azufre) y SO_3 (trióxido de azufre). Los óxidos de azufre son producidos por la reacción entre el oxígeno contenido en el aire de la combustión y el azufre contenido en el combustible.

El SO_x mezclado con la humedad de la atmósfera, puede formar ácido sulfúrico y contribuir a la *lluvia ácida*, la cual causa daños en la vegetación y una acidificación de las fuentes naturales de agua. En consecuencia, afecta la reproducción de los peces y disminuye el plancton y la fauna de fondo de los cuerpos de agua, lo que reduce el suministro de alimento de los peces. Adicionalmente, puede acelerar la corrosión de las estructuras metálicas.

Por otra parte, el SO_x es un gas sofocante e irritante que puede ocasionar en varias especies de animales, incluyendo el hombre, broncoconstricción, que implica un ligero aumento en la resistencia en el conducto del aire.

En términos generales, el SO_x es uno de los contaminantes más nocivos que puede ser descargado a la atmósfera por las plantas de generación termoeléctrica (Ver TABLA 6-3).

TABLA 6- 3 Efectos de dióxido de azufre SO₂ [58]

CONCENTRACIÓN	EFECTOS
0,037 - 0,092 ppm, media anual	Aumento en la frecuencia de síntomas respiratorios y enfermedades pulmonares.
0,11 - 0,19 ppm, media en 24 h	Aumento en la tasa de corrosión de los metales.
0,19 ppm, media en 24 h	Aumento en la mortalidad
0,3 ppm, 8 h	Lesiones en la vegetación

NO_x - Oxidos de Nitrógeno

 NO_x es un término general que incluye diferentes formas de los óxidos de nitrógeno, entre ellas:

- 4 Óxido nítrico (NO)
- 4 Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- 4 Trióxido de nitrógeno (N₂O₃)
- 4 Pentóxido de nitrógeno (N₂O₅)
- 4 Óxido nitroso (N₂O)

Los *NOx* se forman de la reacción entre el nitrógeno que se encuentra contenido en el aire que se inyecta para la combustión, el nitrógeno contenido en el combustible (en pequeñas cantidades) y el oxigeno del mismo aire inyectado.

Los formación de las diferentes formas del *NOx* depende de la temperatura de combustión y la cantidad de aire inyectado (cinética de la reacción).

Comúnmente, se llama **NOx térmico** a los NOx producto de la reacción entre el N_2 del aire y el O_2 del aire, a alta temperatura.

El **NOx combustible** se forma por la reacción entre el nitrógeno del combustible y oxígeno del aire inyectado.

Más del 90% de los Nox en generación térmica son oxido nítrico. Cuando este es descargado a la atmósfera, éste reacciona con la luz solar y el aire produciendo dióxido de nitrógeno. El dióxido de nitrógeno combinado con los hidrocarburos inquemados forma oxidantes fotoquímicos que dependiendo de las concentraciones, pueden contribuir a la formación del llamado smog fotoquímico. Las especies trióxido y pentóxido de nitrógeno son más solubles que las demás siendo muy importantes en la formación de lluvia ácida. El NO_x además causa irritación a los ojos y a la garganta e inclusive causa problemas respiratorios.

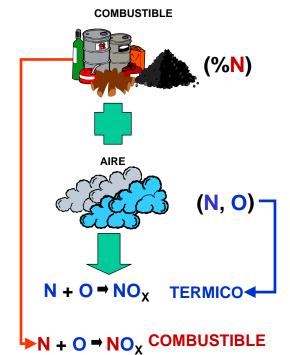


FIGURA 6- 2 Formación de NO_x

TABLA 6- 4 Efectos del dióxido de nitrógeno NO₂ [58]

CONCENTRACION (ppm)	EFECTOS
0,25 ppm	Absorción de la luz visible y reducción de la visibilidad
0,5 ppm, durante 10 a 12 días	Disminución del crecimiento de plantas
> 0,01 ppm	Problemas respiratorios: fibrosis pulmonar crónica, bronquitis, entre otros.

Ruido

El ruido lo constituyen un conjunto de sonidos diversos sin ninguna armonía o un sonido no deseado.

El ruido, por ser un movimiento ondulatorio, posee las mismas propiedades que las ondas entre las que se encuentran: *frecuencia*, *amplitud y longitud de onda*. Además presenta los fenómenos de *reflexión*, *refracción*, *interferencia y difracción*. *El ruido* se genera por la vibración de los equipos y por el choque de corrientes de aire o gases con alguna obstrucción, entre otros.

Las emisiones de ruido tienen efecto adverso sobre los seres humanos, la fauna y los ecosistemas, en general. El ruido se destaca como uno de los factores más estresantes que existen y se han obtenido evidencias sobre la aparición de ciertos trastornos característicos, tales como hipertensión, enfermedades coronarias y cambios bioquímicos.

Entre los efectos fisiológicos causados por el ruido se encuentran:

- Aumento de la actividad muscular, que disminuye con la continuación o repetición del estímulo
- Variación en el ritmo respiratorio
- Cambios en el ritmo cardíaco
- Reducción del diámetro de los vasos sanguíneos (vasoconstricción) en las regiones periféricas, sobre todo en la piel
- Dilatación de la pupila, la cual varía con el nivel sonoro, pero disminuye el efecto durante la estimulación
- Stress

El ruido no sólo afecta la salud de los seres humanos, sino que también puede afectar la vida animal que se encuentra alrededor de las fuentes generadoras. Los efectos del ruido sobre la fauna, están asociados con la variación en los patrones de apareamiento, migración de especies sensibles, lo que puede generar cambios substanciales en la población animal y su diversidad. [20]

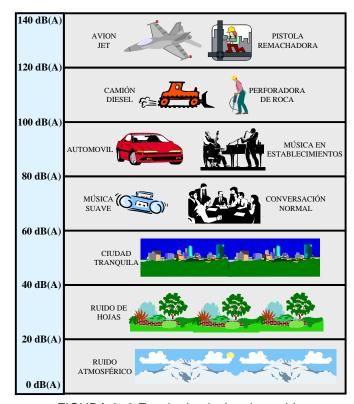


FIGURA 6-3 Escala de niveles de sonido

6.2 EMISIONES DE CONTAMINANTES POR COMBUSTIBLE

En la TABLA 6- 5 se indican los contaminantes producidos por los diferentes combustibles empleados para la generación termoeléctrica.

Es importante tener en cuenta que la emisión de contaminantes depende de varios factores, entre ellos:

- Características específicas del combustible
- Tecnología empleada
- Eficiencia de la combustión.

Es decir que para poder determinar la emisión de contaminantes por el uso de uno u otro combustible es indispensable conocer

- La fuente del combustible
- Poder calorífico
- Consumo horario o por producto
- Una caracterización detallada de la composición del mismo (análisis físico y químico).

TABLA 6-5 Emisión de contaminantes por combustible

Combustible	SOx	N	Ox		co co ₂	voc	Partícula	Tóxicos
	502	Térmico	Combustible	00	002	****	s	7021003
Carbón								
Gas Natural								
Fuel Oíl N°2								

Fuel Oíl N° 6					
Crudo de Castilla					
Biomasa					
Residuos Pesados					
Factor condicionante de la emisión	Contenido S Combustible	Diseño quemadores	Contenido N combustible	Características de la Combustión	Contenido de cenizas y otros elementos

6.3 COMBUSTIBLES POR TECNOLOGÍA

Las emisiones dependen en gran medida del tipo de tecnología, del combustible usado y la eficiencia misma de la combustión. Para determinar la emisión de una fuente es necesario conocer la eficiencia de los sistemas de control, prácticas operativas y de mantenimiento e igualmente el año de entrada en operación de la planta en cuestión.

Un resumen de los principales combustibles empleados en los procesos de generación termoeléctrica por cada una de las tecnologías disponibles comercialmente, en la actualidad, se puede observar en la TABLA 6-6.

Generalmente las plantas modernas presentan avances tecnológicos importantes en cuanto a eficiencia y menores emisiones, debido a las reglamentaciones internacionales sobre tecnología limpia y uso racional de combustibles.

La TABLA 6-7, muestra un resumen de los potenciales contaminantes generados por la utilización de los diferentes combustibles por cada tecnología.

TABLA 6- 6 Combustible por tecnología

	Tecnología								
Combustible	Turbina a Gas	Ciclo Stig	Turbina a Vapor	Ciclo Combinado	Motores	IGCC	AFBC	PFBC	
Carbón									
Gas Natural									
Fuel Oil No. 2									
Fuel Oil No. 6									
Crudo de Castilla									
Biomasa									
Aceites pesados									

TABLA 6-7 Contaminantes por tecnología y combustible

Tecnología	Combustible	SO _x	NO _x	со	CO ₂	voc	Partículas	Tóxicos
Turbina a gas	Gas Natural							
Turbina a gas	Fuel Oil No.2							
Ciclo stig	Gas Natural							
Cicio stig	Fuel Oil No.2							
	Gas Natural							
	Fuel Oil No.2							
Touching a Manage	Fuel Oil No.6							
Turbina a Vapor Ciclo rankine	Crudo de Castilla							
	Residuos pesados							
	Biomasa							
	Carbón							
	Gas Natural							
Motores	Fuel Oil No.2							
	Fuel Oil No.6							
	Biomasa							
IGCC	Residuos pesados							
	Carbón							
AFBC	Biomasa							
Aibc	Carbón							
PFBC	Biomasa							
FIBC	Carbón							

6.4 FUENTES DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

En las plantas de generación la principal fuente de emisión de contaminantes atmosféricos lo constituye el proceso de combustión. Los gases son emitidos a la atmósfera a través de la chimenea de emisión, cuya altura y diámetro obedece generalmente a parámetros termodinámicos de diseño.

En las plantas que operan con carbón se debe sumar la emisión de:

- Partículas de los patios de almacenamiento del combustible
- Partículas de los patios de disposición de ceniza

Para el caso de los residuos pesados de crudo y biomasa se pueden presentar residuos de ceniza, en menor proporción, que deben ser manejados y dispuestos adecuadamente.

En la TABLA 6- 8 se presentan los principales puntos de emisión de contaminantes para las diferentes tecnologías.

TABLA 6-8 Puntos de emisión de contaminantes

Tecnología	SO _x , NOx, CO, CO ₂ , VOC, Tóxicos	Vapor	Partículas
Turbina a gas	Chimenea	Chimenea	
Ciclo stig	Chimenea	Chimenea, Caldera	
Turbina a Vapor	Chimenea	Chimenea, Caldera	Chimenea, patio de almacenamiento (carbón, biomasa) y patio de cenizas.
Motores	Escape	Escape	
IGCC	Chimenea	Chimenea, Caldera	Chimenea, patio de almacenamiento (carbón, biomasa) y patio de cenizas.
AFBC	Chimenea	Chimenea, Caldera	Chimenea, patio de almacenamiento (carbón, biomasa) y patio de cenizas.
PFBC	Chimenea	Chimenea, Caldera	Chimenea, patio de almacenamiento (carbón, biomasa) y patio de cenizas.

6.5 FUENTES DE RUIDO

En las plantas de generación termoeléctrica existen diversos equipos y sistemas que producen *ruido*, el ruido lo generan todos aquellos *equipos que tienen partes móviles o rotatorias*. En plantas que generan vapor otra fuente de ruido son los *venteos y escapes de vapor a alta presión*.

El ruido producido presenta una amplia gama de frecuencias e intensidades debido a que proviene de diferentes fuentes. En la TABLA 6- 9 se presentan las principales fuentes de ruido generado en plantas de generación con su respectivo nivel de ruido en decibeles A (dB(A)). [25]

	<90	90 - 95	95 - 100	>100
Compresores de aire				
Bombas de agua de alimentación				
Bombas de agua de circulación				
Condensador				
Válvulas de seguridad				
Motores eléctricos				
Generador				
Enfriador de purgas				
Acople hidráulico				
Ventilador de tiro forzado				
Convertidor de frecuencias				
Tubería y válvulas, vapor de alta presión				
Bomba de condensado				
Ventilador de tiro inducido				
Fugas de vapor				
Turbina a vapor				
Válvulas de admisión				
Acople/virador turbina-generador		-		
Turbogrupo				

TABLA 6- 9 Niveles de ruido en plantas de generación termoeléctrica.

EQUIPOS

NIVEL DE RUIDO dB(A) a 1 m

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01 Enero de 1999	TAR 7-1	Página 7-52
---	---------	-------------

7. MEDICION Y EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFERICAS

7.1 INTRODUCCIÓN

La evaluación y el control de la contaminación atmosférica, requiere de una adecuada determinación de las emisiones de contaminantes atmosféricos y ruido procedentes de las diversas fuentes.

La calidad del aire resultante de un área depende principalmente de la emisión de contaminantes vertidos a la atmósfera por fuentes fijas, (chimeneas industriales), fuentes móviles (vehículos de combustión) y fuentes de área (vías sin pavimentar, áreas descubiertas, patios y pilas de almacenamiento de materiales) y fuentes generadoras de ruido.

La concentración de uno o más contaminantes en la atmósfera puede provenir de la emisión de una sola fuente de manera independiente o de la sumatoria de la emisión de variadas fuentes; puede también ser el resultado del transporte, dispersión y deposición de los contaminantes emitidos por fuentes de emisión alejadas de la zona en estudio, por acción de los agentes atmosféricos. Por ejemplo, en caso de grandes centros urbanos la emisión de contaminantes está dada por las fuentes móviles (vehículos), fuentes industriales, fuentes de área y otras actividades humanas. Existen también algunas fuentes naturales y agrícolas de emisión principalmente de metano, azufre y partículas, tales como: pantanos, áreas en proceso de deforestación, cultivos de arroz y volcanes.

En términos generales, existen al menos tres alternativas para determinar la intensidad de la emisión de uno o más contaminantes por una fuente cualquiera, los cuales son aplicables al sector termoeléctrico. En cuanto al ruido, este debe ser medido o tomado como referencia de proyectos en operación. Estos métodos son:

- Balances de masa
- Factores de emisión
- Medición de las emisiones
- Medición de los niveles de ruido



FIGURA 7- 1 Medición y evaluación de las emisiones atmosféricas

7.2 BALANCES DE MASA

Por este método se contabilizan las corrientes de sólidos, líquidos o gases que entran y salen del proceso completo o de una determinada unidad del mismo, mediante la simulación teórica de la reacciones químicas que se llevarían a cabo en el proceso de combustión.

Este método permite realizar estimaciones aproximadas de pérdida de materiales; es de uso común, conjuntamente con medidas experimentales, para establecer la influencia de diferentes parámetros del proceso en los niveles de emisión y para detectar errores importantes en los resultados experimentales, aplicación de factores de emisión o mediciones directas.[33]

Para estimar las emisiones a partir de los procesos de generación termoeléctrica y de cogeneración, se pueden realizar los balances de masas sobre el proceso global de combustión, como se muestra en la FIGURA 7-2. Para realizar el balance de masa es prerrequisito obtener información detallada de las características del combustible.

7.2.1 Combustibles

Un combustible se puede definir como una sustancia que libera calor al combinarse químicamente con el oxígeno, en un proceso denominado combustión. Estos se clasifican como sólidos, líquidos y gaseosos.[57]

Combustibles sólidos

Son sustancias combustibles que en condiciones naturales se encuentran en estado sólido, entre ellos es usado principalmente en generación termoeléctrica, el carbón.

El *carbón* contiene carbono elemental, compuestos orgánicos complejos y material mineral. Los complejos orgánicos son principalmente alquitranes que contienen carbono hidrógeno, oxígeno, azufre y nitrógeno.

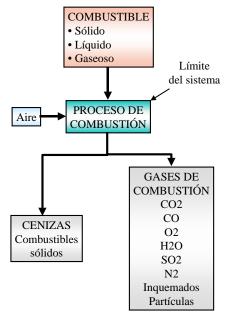


FIGURA 7- 2 Proceso de combustión

Los combustibles sólidos se clasifican en: naturales y artificiales. Combustibles sólidos naturales:

- Madera
- Lignitos
- Carbones duros (desde bituminosos hasta antracíticos)
- Turba

Combustibles sólidos artificiales:

- Carbón de madera
- Carbón de turba
- Briquetas de lignito y hulla
- Coques de alta, media y baja temperatura

Adicionalmente, en nuestro medio se utiliza como combustible la biomasa, por ejemplo, el bagazo de caña.

Los minerales que contiene el *carbón* son principalmente *arcillas*, *sulfuros*, *carbonatos*, *óxidos*, *cuarzo*, *fosfatos y minerales pesados*, la mayoría de los cuales son sustancias no combustibles. La composición de los carbones se establece mediante dos tipos de análisis:

Análisis próximo o inmediato

El cual reporta el porcentaje en peso de la humedad, la materia combustible volátil, cenizas y carbono fijo

Análisis último o elemental

Incluye el porcentaje en peso de los siguientes elementos: carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre; incluye además, el contenido de ceniza

El análisis último o elemental es el análisis requerido para la realización de los balances de masa y energía. En términos generales, los carbones se clasifican como antracíticos, bituminosos, subbituminosos y ligníticos. En la TABLA 7- 1 se presenta un análisis elemental típico, exento de humedad y cenizas, para algunos tipos de carbón.

Combustibles líquidos

Los combustibles líquidos son de naturaleza orgánica y se pueden clasificar según sean o no derivados del petróleo. Los combustibles derivados del petróleo provienen de la destilación del petróleo crudo, el cual es una mezcla compleja de hidrocarburos que van desde compuestos simples hasta compuestos como alquitrán y ceras, de estructura compleja. Entre los combustibles líquidos derivados del petróleo se encuentran, entre otros:

- La gasolina o nafta
- El querosene
- Los diferentes tipos de fuel oíl

Los residuos de la destilación que poseen altos puntos de ebullición, se utilizan directamente como combustibles o se diluyen con los destilados para obtener combustóleos.

Los *combustibles líquidos* contienen, fundamentalmente, *carbono e hidrógeno*, en menores cantidades *oxígeno*, *azufre y nitrógeno*. Su contenido de *cenizas* es bajo y pueden contener trazas de metales pesados. En la TABLA 7- 2 se presenta la composición promedio de algunos combustibles líquidos típicos, con base en los elementos que se encuentran en mayor proporción. En los balances de materia y energía de procesos de combustión, se requiere la composición en peso con base en los elementos presentes en el combustible.

TABLA 7- 1 Análisis elemental de carbones [57]

Carbón	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre
Antracítico	93,5	2,6	2,3	0,9	0,7
Bituminoso	86,0	5,2	6,3	1,5	1,0
Subbituminoso	72,1	5,6	17,4	2,0	2,9
Lignitico	73,6	4,5	17,6	2,2	2,1

TABLA 7- 2 Análisis elemental combustibles líquidos [12]

Combustible	Carbono	Azufre	Oxígeno y nitrógeno	Hidrógeno	Cenizas
Fuel Oíl No 2	86,40	0,50	0,20	12,7	Trazas
Fuel Oíl No 6	85,70	2,50	0,92	10,5	0,08
Crudo de Castilla	86,07	2,20	0,81	10,7	0,09

Combustibles gaseosos

Estos combustibles son utilizados en la industria de generación eléctrica, calefacción y uso doméstico y transporte, provienen de varias fuentes:

Hidrocarburos gaseosos naturales

Se encuentran solos o asociados a los depósitos de petróleo, por ejemplo el Gas Natural

Gases fabricados especialmente

Por ejemplo el gas de madera obtenido por destilación o carbonización de la madera y la gasificación del carbón

Gases obtenidos como subproductos de otros procesos

Por ejemplo el gas de horno, subproducto de la reducción de minerales

Gas licuado del petróleo

Hidrocarburo liviano que a bajas presiones (presión atmosférica) se comporta como un gas.

Los combustibles gaseosos contienen, en general, mezclas complejas de hidrocarburos saturados e insaturados, aromáticos, hidrógeno, dióxido y monóxido de carbono y pequeñas cantidades de oxígeno y nitrógeno. [57]

El *gas natural*, es el combustible gaseoso de mayor interés en generación termoeléctrica, contiene en general hidrocarburos gaseosos del C1 al C4 junto con gasolina ligera y agua, cuando viene de pozos productores de petróleo. Si el gas es procedente de pozos secos (no asociados a petróleo) es principal o totalmente metano y etano, con pequeñas proporciones de impurezas, tales como hidrógeno, nitrógeno y gases inertes.

Los análisis de gas se expresan en base molar. En la TABLA 7-3 se presenta la composición típica del gas natural usado para generación termoeléctrica.

TABLA 7- 3 Composición del gas natural [27]

Componente	Porcentaje Molar
Metano	98,80
Etano	1,09
Propano	0,01
Nitrógeno	0,10

7.2.2 Proceso de combustión y productos

El término combustión se usa para señalar el proceso por el cual se oxida un combustible con el oxígeno del aire, con la consecuente liberación de calor. La fuente de oxígeno usada para la combustión es el aire.

Propiedades del aire

Puede considerarse que el aire seco está formado por 21% molar de oxígeno y 79 % molar de nitrógeno, de tal manera que el peso molecular promedio del aire seco es de 29 unidades de masa por mol.

El contenido de vapor de agua en el aire varía entre 0 y el valor correspondiente a condiciones de saturación. Por ejemplo a 1 atmósfera y a 25 °C la humedad máxima del aire es de 0,033 moles de agua por mol de aire seco.

A menos que se indique otra cosa, en los cálculos de combustión se puede suponer que el aire está seco a las condiciones de entrada. En caso contrario, debe obtenerse información suficiente para calcular su humedad y el agua total que entra con el aire debe ser tenida en cuenta en los balances de materia y energía.

Gases de emisión

Para cualquier combustible, el término *combustión completa o combustión teórica* indica que todo el carbono, azufre e hidrógeno contenido en el combustible reacciona con el oxígeno del aire para formar el dióxido de carbono, dióxido de azufre y agua. La cantidad de oxígeno necesaria para la combustión completa de todos los componentes oxidables del combustible, suministrado por el aire, se denomina *oxígeno teórico*.

Para garantizar que todo el material oxidable en el combustible reaccione completamente, se adiciona una cantidad de aire sobre la teórica necesaria, denominada aire de exceso. Se denomina oxígeno consumido a la cantidad total de oxígeno que reacciona durante el proceso de combustión real. Para calcularlo deben tenerse en cuenta las condiciones reales de reacción o los productos obtenidos.

El nitrógeno presente en el combustible y en el aire inyectado, se oxida a NO y NO₂. La cantidad de *NOx* formados, depende, entre otros factores, *de la temperatura de combustión, la configuración de los quemadores y la cantidad de aire en exceso*, por lo que su determinación en un balance de masa global es dispendioso, y generalmente se supone que el nitrógeno es inerte en la reacción. Por lo anterior, cuando se requiera estimar la emisión de *NOx*, es necesario utilizar otras técnicas en su determinación. (factores de emisión o mediciones directas).

Cuando la composición de los gases de combustión se expresa incluyendo el vapor de agua se dice que la composición está en base húmeda. Así mismo, cuando se expresa sin incluir el agua formada se dice que la composición está en base seca. [57]

Con base en los elementos combustibles, las reacciones de combustión completa son:

$$C + O2 \rightarrow CO2$$

$$H2 + ½ O2 \rightarrow H2O$$

$$S + O2 \rightarrow SO2$$

Con base en los componentes del combustible, las reacciones de combustión completa son:

$$CH_4$$
 + $2O_2$ \rightarrow CO_2 + $2H_2O$
 $C_{10}H_{22}$ + $1/2O_2$ \rightarrow $10CO_2$ + $11H_2O$

Lo anterior se expresa por las siguientes ecuaciones:

% Exceso = (Exceso de aire/Aire teórico) *100 % Exceso =[(Aire usado - Aire teórico)/ (Aire teórico)]* 100 Aire usado = Aire teórico * [(100 + % exceso) / 100]

Independientemente del combustible, los productos gaseosos en un proceso de combustión pueden ser:

CO₂,, H₂O, O₂, SO₂, H₂, N₂, hidrocarburos no quemados y algunos compuestos sólidos en suspensión: cenizas, hollín, brea.

El monóxido de carbono CO se forma cuando hay déficit de oxígeno para completar la reacción a CO₂.

$$C + 1/2O_2 \rightarrow CO$$

Cenizas

La ceniza o escoria, es el producto sólido de la combustión principalmente de carbones, pues en éstos, el contenido de cenizas es alto.

En los procesos de generación termoeléctrica, de la cantidad de ceniza total generada una parte es emitida a la atmósfera por la chimenea como ceniza volante cuando no existe control de partículas. La cantidad de ceniza restante se denomina ceniza de fondo. En los sistemas con control de partículas, de acuerdo con la eficiencia de colección del sistema, la mayor parte de la ceniza volante es retenida y dispuesta junto con la ceniza de fondo.

Las cenizas generalmente están conformadas por las cenizas contenidas en el combustible, carbón sin quemarse, carbón coquizado y algunas veces contienen humedad.

Generalmente, en los balances de masa se supone que todas las cenizas que provienen del combustible, pasan inertes en la combustión y se les ignora. Obviamente, para cálculos estrictos, es necesario hacer un análisis próximo de los residuos para determinar el contenido de carbono, azufre y demás elementos.

7.2.3 Balances de masa

A partir del balance de materia se puede calcular la composición de los gases de combustión, que es la corriente de interés.

Los cálculos para realizar el balance de masa son los mismos, para cada tipo de combustible. Como ilustración, a continuación se desarrolla un balance de masa cuando se utiliza carbón como combustible en el proceso de combustión. [22]

- El análisis de los residuos sólidos en el caso de los carbones y combustibles sólidos
- La cantidad de aire suministrado y su humedad
- Si se expresan los productos en unidades volumétricas, es necesario conocer la temperatura de emisión

Para efectuar los cálculos del balance se requiere un conocimiento previo en lo que se refiere a:

- Principios de estequiometría
- Leyes de la conservación de la masa
- Manejo de sistemas de unidades
- Manejo de conceptos básicos termodinámicos, tales como variables de proceso: temperatura, presión, composición, relaciones de estado y leyes de los gases ideales.

Ejemplo: a partir del siguiente análisis elemental de un carbón típico, que se quema en el hogar de una caldera, calcular:

- El volumen de los gases de emisión a la temperatura de salida, 315 °C,
- El porcentaje de CO₂ en el gas de emisión, sobre la base de gases secos y de gases húmedos.
- Calcular el peso y el volumen de los productos de combustión asumiendo una cantidad de aire en exceso del 20%

Análisis elemental (kg en un kg):

 $\begin{array}{lll} \textit{Carbono} & : 0,8339 \\ \textit{H}_20 & : 0,0456 \\ \textit{O}_2 & : 0,0505 \\ \textit{N}_2 & : 0,0103 \\ \textit{S} & : 0,0064 \\ \textit{Cenizas} & : 0,0533 \\ \textit{Total} & : 1,00 \text{ kg}. \end{array}$

Para efectuar el balance es necesario conocer, como mínimo, los datos:

El análisis elemental del combustible

a) Calcular la masa de oxígeno requerida para un kg de carbón:

La masa de oxígeno requerida para una combustión teóricamente perfecta del carbón, se halla al multiplicar los kilogramos de cada componente por la relación de los pesos moleculares, obtenida a partir de la reacción química de cada elemento dado con el oxígeno en la combustión. Por ejemplo para el carbono se tiene:

C + $O_2 \rightarrow CO_2$ o bien 12 + 32 = 44, donde 12 y 32 son los pesos moleculares del carbono y el oxígeno.

b) Calcular la masa de aire requerida para una combustión completa

El peso de aire requerido para la combustión perfecta es la suma del oxígeno calculado en la parte a) y el nitrógeno asociado con esa cantidad de oxígeno. Asumiendo que el aire tiene una composición de nitrógeno y oxígeno del 21 y 79 % respectivamente, se tiene:

Aire requerido para combustión completa:

c) Calcular el peso de los productos de la combustión

El peso de los productos de la combustión se obtiene por adición como se muestra en la TABLA 7-5.

d) Convertir el peso de los gases de la combustión a volumen

Para convertir el peso de los gases de combustión a volumen, se usa la ley de Avogadro: "Bajo condiciones iguales de presión y temperatura un mol de cualquier gas ocupa el mismo volumen. A 1 atmósfera y a 0°C, un mol de cualquier gas ocupa 22,4 x 10⁻³ m³". El volumen se encuentra dividiendo 22,4 por el peso molecular del gas y haciendo la corrección por la temperatura del gas.

TABLA 7- 4 Cálculo de la cantidad de oxígeno requerido

Elemento Relación de pesos molecu		Kg de O₂ requeridos
C: 0,8339	32/12	2,2237
H ₂ : 0,8339	16/2	0,3648
O ₂ : 0,05005		-0,0505 (reduce el O ₂ externo requerido)

N ₂ : 0,0103		Se supone inerte en la reacción
S: 0,0064	32/32	0,0064
Cenizas	0,0533	Se suponen inertes en la reacción
Total: 1,00		
O ₂ externo/kg de combustible		2,5444

TABLA 7-5 Peso de los productos de combustión

Componentes del combustible	Oxígeno	Productos de la combustión
C: 0,8339	2,2237	3,0576
H ₂ : 0,8339	0,3648	0,4104
O ₂ : 0,05005	No es producto de combustión	No reacciona pero atraviesa el quemador
N ₂ : 0,0103	No reacciona pero atraviesa el quemador	0,0103
S: 0,0064	0,0064	0,0128
N ₂ externo (obtenido en 2.)	No reacciona pero atraviesa el quemador	9,5718
Kg de gases/kg de carbón		13,0629

TABLA 7- 6 Cálculo del volumen del gas

<u> </u>									
Productos	Peso (Kg)	Peso mol	Corrección por temperatura	Volumen m³ a 315 °C					
CO ₂	3,0576	44	(22,4/44)(3,0576)(2,16)	3,36					
H ₂ O	0,4014	18	(22,4/18)(0,4104)(2,16)	1,10					
N ₂ total*	9,5821	28	(22,4/28)(9,5821)(2,16)	16,56					
SO ₂	0,0128	64	(22,4/64)(0,0128)(2,16)	0,01					
m³ /kg de carbón				21,03					

^{*}El nitrógeno total, es el nitrógeno en el combustible + el nitrógeno contenido en el aire

El factor de corrección por temperatura se determina así: FC = temperatura absoluta del gas / temperatura absoluta normal = (315 + 273) / (0 +273) = 2,16

e) Calcular el contenido de CO2 en los gases de combustión

El volumen de CO_2 en los productos de combustión es de 3,36 m³, a 315 °C y el volumen total de los gases es de 21,03 m³, según los cálculos del paso **d**), por lo tanto es necesario calcular el porcentaje de CO_2 en base húmeda, es decir, incluyendo la humedad de los productos de combustión.

El % de CO_2 en base seca, se encuentra del mismo modo que se calcula el % de CO_2 en base húmeda, excepto que el volumen de agua en los productos de combustión se resta del volumen total del gas. Así el % de CO_2 en base seca es de 16,86%.

f) Calcular el aire requerido con el exceso fijado

El peso de aire sin exceso es de 12,1158 Kg, por lo tanto para un 20% de exceso de aire se tiene que se requieren 14,5389 kg de aire/kg de carbón quemado.

g) Calcular el peso de los productos de la combustión

El aire en exceso pasa a través del quemador sin tomar parte en la combustión, excepto por la potencial formación de NOx, el cual no se tiene en cuenta en los balances de masa, este aire de exceso incrementa el peso de los productos de la combustión por kg de carbón quemado, por lo tanto el peso de los productos de combustión incluyendo el aire de exceso es de 15,4861 Kg de gas/kg de carbón quemado

h) Calcular el volumen de los productos de combustión y % de CO₂

El volumen de los productos de combustión, incluyendo el aire en exceso, se obtiene pasando del análisis de masa al análisis volumétrico y corrigiendo por temperatura como en el paso *d*), utilizando un valor de 29 g/gmol para el peso molecular del aire.

(3,36/25,07) * 100 = 13,40 % de CO₂

Aire requerido con exceso fijado

12,1158*1,20= 14,5389 kg de aire /kg de carbón quemado

Peso de los productos de combustión

peso del producto sin exceso de aire + (porcentaje de aire en exceso *aire teórico): 13,0629 + (0,20 * 12,1158) = 15,4861 kg de gas / kg de carbón quemado

El volumen total de los productos de combustión es la suma de la columna para una combustión completa del paso d) y el volumen del aire en exceso, es decir,

> 12,1158 * (0,20)*(224,4/29)* $(2,16) = 4,04 \text{ m}^3$ 21,03 + 4,04 = 25,07 m³

Contenido de CO₂

% $CO_2 = (m^3 CO_2/m^3 \text{ totales}) * 100 = (3,36/21,03) * 100 = 15,98 %$

Usando el procedimiento del paso e), el porcentaje de CO_2 en base húmeda es igual a:

7.3 FACTORES DE EMISIÓN

Estos son valores (índice) obtenidos a partir de balances de masa o de resultados de medidas reales, normalizados por algún factor (masa, energía o producto) que caracteriza el tamaño del proceso o foco de emisión. En general, los factores de emisión proporcionan un procedimiento rápido y útil de estimación de las emisiones.

La aplicación debe ser cuidadosa ya que estos no incorporan la influencia de diferencias de diseño, régimen de marcha, modos de operación y mantenimiento de equipos, lo cual puede ser condición determinante de los resultados obtenidos para cada caso especifico. Pueden emplearse para detectar errores importantes en resultados de muestreo o como indicativo de la emisión potencial, de un contaminante a partir de una fuente de emisión. *No son límites o estándares de emisión*, debido a que representan, esencialmente, un promedio del rango de la tasa de emisión, para una tecnología y un combustible determinado.

Unidades de normalización empleadas para las emisiones provenientes de centrales térmicas son: contaminante por unidad de energía producida o combustible quemado. Así, los factores de emisión se expresan para cada contaminante, tipo de combustible, proceso de combustión, año de entrada en operación, características de los quemadores y hogar, y el tipo de control usado. (por ejemplo: kilogramos de partículas emitidas por toneladas de carbón quemado).

La Environmental Protection Agency de los Estados Unidos (EPA), recopila estos factores para diversas actividades, los cuales incluyen las actividades de generación termoeléctrica, que se encuentran disponibles en el documento **COMPILATION OF AIR POLLUTANT EMISSION FACTORS AP-42**, catalogados de la siguiente forma: [15]

- Para diferentes tecnologías, a partir del combustible usado
- Para diferentes combustibles, a partir de la tecnología de generación
- Para fuentes de área como patios de ceniza y patios de carbón

Cada factor está dado por una clasificación entre A y E, de acuerdo con la confiabilidad de las pruebas utilizadas para desarrollar el factor y en la cantidad y calidad de los datos. En general, a los factores basados en muchas observaciones, obtenidos por medio de procedimientos ampliamente aceptados y confiables, se les asigna la más alta calificación (A). Un factor obtenido por medio de una simple observación, de cuestionable calidad, o extrapolado de otros factores, para un proceso similar, tendrá una calificación más baja (E).

Debido a que la clasificación es subjetiva, obtenida por la interpretación de la dispersión de los datos usados para calcular el factor, la clasificación, se debe ver únicamente como una aproximación. Por tanto la clasificación es un indicador de la exactitud y precisión del factor.

La calidad y clasificación del método de determinación del factor de emisión esta dada por:

- a) La evaluación fue llevada a cabo por una sólida metodología y los resultados son reportados con bastante detalle para una adecuada validación.
- b) La evaluación fue desarrollada por una metodología generalmente sólida, pero carente de profundidad de detalle para una adecuada validación.
- La evaluación esta basada o desarrollada con un método nuevo o para una tecnología nueva.
- d) La evaluación esta basada en métodos inaceptables, pero el método puede proveer resultados del orden de magnitud de emisión para una fuente.

Dado lo anterior, los factores de emisión del AP-42 se clasifican como se muestra en la TABLA 7-7.

Clases de factores de emisión

Terminología y convenciones

La terminología y las convenciones utilizadas en los factores de emisión del AP-42 para cada contaminante, se describen a continuación:

Material Particulado

El material particulado (PM), incluye PM-10, partículas totales, totales suspendidas (TSP), partículas primarias, partículas secundarias, partículas filtrables y partículas condensables. PM- 10 hace relación a partículas cuyo tamaño es menor de 10 μm; las TSP es el material emitido desde la fuente como sólido, líquido o vapor, pero que existe en el ambiente como partículas sólidas o líquidas; el material filtrable es definido por el Método No 5 de la EPA o su equivalente. Las partículas condensables, son la porción condensable del material particulado (en forma de vapor) colectado y analizado según el método 202 (o equivalente). Algunos componentes tóxicos o peligrosos pueden ser emitidos como partículas. En tales casos, los factores AP-42 para material particulado representan el total y los factores para tales compuestos o elementos están reportados como masa parte del material particulado total.

Dióxido de azufre

El documento AP-42 se refiere al dióxido de azufre y otros óxidos como SO_x u óxidos de azufre, los cuales son reportados sobre la base del peso molecular de SO_2 .

Oxidos de nitrógeno

El producto de la combustión primaria del nitrógeno es el dióxido de nitrógeno NO₂. Sin embargo, otros compuestos se emiten simultáneamente, los cuales pueden o no ser separables por las pruebas disponibles. La recomendación del AP-42 es reportar, cuando sea posible, las diferentes especies de óxidos de nitrógeno (NO, N₂O, etc.). Los factores de emisión de no_x se determinan y reportan sobre la base del peso molecular de NO₂.

Otros compuestos

Otros compuestos tales como monóxido de carbono, compuestos orgánicos, plomo, elementos trazas, etc., Se encuentran disponibles en los factores de emisión, estos son reportados como peso del elemento o masa del compuesto emitido.

TABLA 7-7 Clasificación de los factores de emisión [15]

Clase de factor	Calificación	Característica				
А	Excelente	El factor fue desarrollado mediante un método de evaluación a) o b). La categoría de la fuente es suficientemente específica para minimizar la variabilidad.				
В	Encima del promedio	El factor fue desarrollado mediante un método de evaluación a) o b).				
С	Promedio	El factor fue desarrollado según un método de evaluación a), b) ó c).				
D	Debajo del promedio	El factor fue desarrollado usando procedimientos calificados con C ó D, para lo cual se puede suponer que no representan una adecuada muestra de la actividad.				
E	Pobre	El factor fue desarrollado usando procedimientos calificados con C ó D. Los procedimientos empleados presentan gran variabilidad				

7.3.1 Carbón bituminoso y subbituminoso

Material particulado

Para material particulado y PM-10 sin control, los factores se presentan para diferentes configuraciones de los quemadores. La emisión de partículas se calcula de acuerdo con el contenido de ceniza llamado **A**. El factor es determinado por el producto del % en peso de ceniza contenida en el carbón por el valor numérico que precede a **A**. En la TABLA 7-8 se muestran estos factores.

La emisión de partículas menores de 10 micras (PM-10), utilizando factores de emisión, se determina de la misma forma. Es posible estimar el porcentaje en masa acumulado y los factores de emisión acumulados de partículas de un tamaño dado, para diferentes configuraciones de los quemadores, con y sin sistemas de control de partículas.

Óxidos de azufre

Los factores de emisión para óxidos de azufre vienen expresados como SOx e incluyen SO_2 , SO_3 y sulfatos gaseosos. El factor es determinado por el producto del % en peso de azufre contenido en el carbón **(S)**, por el valor numérico que precede a **S**, en el factor.

Óxidos de nitrógeno

Los factores de emisión para los óxidos de nitrógeno representan la emisión en operación base, son expresados como NO₂, debido a que generalmente conforman el 95% en volumen de la emisión de óxidos de nitrógeno.

		lb/ton	Clasificación del factor	lb/ton	Clasificación del factor
Combustión con carbón pulverizado, fondo seco, quemador de pared	1-01-002-02/22	10 A	Α	2,3 A	E

SCC= Código de clasificación de la fuente

TABLA 7- 9 Factores de emisión de gases cuando se usa carbón [15]

Configuració		SOx		NOx		со	
n del quemador	SCC *	lb/ton	Clasificación del factor	lb/ton	Clasificación del factor	lb/ton	Clasificación del factor
Horno Ciclónico	1-01-002-02/23	38 (S)	D	33,8	С	0,5	А

SCC= Código de clasificación de la fuente

Ejemplo:

La emisión de partículas utilizando factores de emisión, cuando se quema un carbón con un contenido de ceniza del 8% en un quemador de carbón pulverizado, con colección de ceniza de fondo seco, sería:

Para el caso, la emisión de partículas sería:10 * A = 10 * 8 = 80 libras/tonelada de carbón quemado.

El resultado se multiplica por la cantidad de carbón consumido por unidad de tiempo, para obtener la emisión de partículas, por unidad de tiempo.

El factor de emisión para los óxidos de azufre sería:

38*S = 38*0,8 = 30,4 libras/tonelada de carbón quemado, en unidades del sistema inglés.

Este resultado se multiplica por la cantidad de carbón consumido por unidad de tiempo, para obtener la emisión de óxidos de azufre, por unidad de tiempo.

La emisión de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono se determina multiplicando directamente el factor de emisión dado en la tabla, por el consumo de carbón.

TABLA 7-8 Factores de emisión para carbón [15]

Configuración del quemador SCC * Material particulado PM - 10

Monóxido de carbono

Los factores corresponden a valores nominales bajo condiciones normales de operación, pueden presentarse emisiones de mayor magnitud a la reportada por los factores de emisión, en condiciones de combustión incompleta, condiciones anormales de operación o en arranque.

Otros compuestos

Es posible determinar la emisión de metano y compuestos orgánicos diferentes al metano y óxido nitroso, generados en los procesos de combustión con carbón bituminoso y subbituminoso, para diversos tipos de configuraciones del quemador, sin sistemas de control. Estos factores se encuentran en la TABLA 7-10.

Para el metano los factores, corresponden a valores nominales bajo condiciones normales de operación. Valores de mayor magnitud se pueden presentar cuando la combustión es incompleta, en condiciones anormales de operación y en arranque. Los compuestos orgánicos diferentes al metano, son expresados como alcanos C_2 a C_6 .

7.3.2 Carbón antracítico

El carbón antracítico es un combustible con alto contenido de carbono fijo y bajo contenido de material volátil, comparado con el carbón bituminoso y subbituminoso. Además, tiene una alta temperatura de ignición y de fusión de las cenizas, por lo que es utilizado en industrias medianas. Aunque puede ser utilizado en sistemas de alimentación con carbón pulverizado, su uso se limita a pequeñas plantas en las que se utilizan parrillas o unidades de alimentación manual. La combustión de este carbón en calderas convencionales es un poco difícil, debido a su alto contenido de cenizas, humedad y bajo poder calorífico.

Los factores de emisión de material particulado, se encuentran únicamente para dos tipos de fuentes: calderas con quemador de parrillas y unidades de alimentación manual. La clasificación de estos factores es *tipo C* para las calderas con quemador de parrilla y *tipo B* para la unidad de alimentación manual. Los factores para la emisión de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno son bastante limitados y se basan en la combustión de carbón bituminoso o subbituminoso. La presentación y utilización de los factores de emisión para este tipo de carbón es igual a la del carbón bituminosos y subbituminoso.

TABLA 7- 10 Factores de emisión para compuestos orgánicos [15]

Configuración		CH₄		NMTOC		N₂O	
del quemador	SCC *	lb/ton	Clasificación del factor	lb/ton	Clasificación del factor	lb/ton	Clasificació n del factor
Horno Ciclónico	1-01-002-02/23	0,01	В	0,04	В	0,09	Е

SCC= Código de clasificación de la fuente

NMTOC = Compuestos orgánicos diferentes al metano

7.3.3 Factores de emisión para fuel oíl

Los factores de emisión para *SOx, NOx, CO, compuestos orgánicos y material particulado filtrable* se encuentran disponibles para cada uno de los tipos de fuel oíl comercializados en los Estados Unidos de América, en función de los tamaños de las calderas para generación de potencia eléctrica, calderas industriales, quemadores de uso comercial, residencial e institucional. De acuerdo con la clasificación de tecnologías presentada para los procesos de generación termoeléctrica, estos factores son aplicables a turbinas de vapor.

Gases de combustión y material particulado

Los *factores de emisión* para gases de combustión y material particulado se encuentran disponibles de la siguiente forma:

- La emisión de SOx depende de la cantidad de azufre contenida en el combustible y se determina hallando el producto del % en peso de azufre del combustible (S) por el valor numérico que precede a S.
- Los factores de emisión de NOx y CO se obtienen directamente de las tablas presentadas para el combustible.
- El factor de material particulado, se determina según el tipo de Fuel Oíl y el contenido de azufre.

La TABLA 7- 11 muestra los factores de emisión para Fuel Oíl N°6 a partir de una caldera con quema convencional para generación eléctrica.

Factores de emisión para otros contaminantes

Utilizando los factores de emisión, es posible determinar la emisión de compuestos orgánicos totales (TOC), metano y otros compuestos orgánicos diferentes al metano (NMTOC), generada en los procesos de combustión con Fuel Oíl. Estos factores se encuentran como se muestra en la TABLA 7-12.

Contaminante	lb/10³gal	Clasificación del Factor		
SO ₂	157S	A		
SO ₃	5,7S	С		
NOx	67	А		
CO	5	A		
MP filtrable		A		
Combustible	Fuel Oil No.6, quema normal (SCC - 1.01.004.01)			
Configuración del quemador	Calderas para genera	ción de potencia eléctrica		

SCC= Código de clasificación de la fuente

 Por ejemplo, el factor de material particulado para el Fuel O
íl No 6 viene dado por:

$$9,19 (S) + 3,22 lb/10^3 gal.$$

Donde S es el % en peso de azufre

TABLA 7- 12 Factores de emisión de compuestos orgánicos con Fuel Oíl [15]

b 1					
Contaminante	lb/10³gal	Clasificación del factor			
TOC	1,04	A			
CH ₄	0,28	A			
NMTOC	0,76	A			
Combustible	Fuel Oil No.6, quema normal (SCC - 1.01.004.01)				
Configuración del quemador	Calderas para generación de potencia eléctrica				

SCC= Código de clasificación de la fuente

TABLA 7- 11 Factores de emisión cuando se usa Fuel Oíl [15]

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01 Enero de 1999	TAR 7-3	Página 7-65
---	---------	-------------

7.3.4 Factores de emisión para gas natural

Los factores de emisión empleando gas natural como combustible son aplicables en calderas para generación eléctrica, según el tamaño de la misma, pequeñas calderas industriales, calderas comerciales y combustores residenciales. La utilización de estos factores es similar a la forma descrita para el uso de carbón como combustible.

Material particulado

Los factores representan emisiones sin sistemas de control de material particulado. Las unidades son Kg de partículas por 10^6 metros cúbicos de gas natural quemado o lb de partículas por 10^6 pies cúbicos de gas natural quemado, basados sobre un promedio de 8270 kcal/m³ (100 BTU/scf) de poder calorífico alto. El total del material particulado, es la suma del material filtrable y el condensable. Para gas natural todas las emisiones pueden ser asumidas por debajo de 10 μm en diámetro aerodinámico equivalente (PM-10).

Dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono

Los factores de emisión para óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono a partir de la combustión con gas natural, se describen para grandes calderas industriales, pequeñas calderas industriales, calderas comerciales y combustores residenciales, clasificados dentro del rango A - E, para los siguientes casos:

- Sin sistemas de control de emisiones
- Con control de la emisión de NOx

El factor de emisión dado en la TABLA 7- 14 puede convertirse para otros valores de poder calorífico, multiplicando el factor dado por la relación del poder calorífico especificado y el promedio dado.

Los factores de emisión para óxidos de azufre están basados en un promedio de 4600 g/10⁶Nm³ de azufre contenido en el gas natural (2000 gr/10⁶ scf)

PM Filtrable	1-5	В			
MP Condensable	NA				
Tipo quemador (Tamaño, 10 ⁶ Btu/h)					
Calderas para generación /Uso industrial (> 100) (1-01-006-01,1-01-006-04)					

SCC= Código de clasificación de la fuente

ND: No Definido NA: No aplicable

TABLA 7- 14 Factores de emisión de gases usando Gas Natural [15]

Tipo quemador		SO ₂	NOx		со	
(SCC 1-01-006-01,1-01-006- 04) (Tamaño, 10 ⁶ Btu/h)	lb/10 ⁶ ft ³	Clasificación del factor	lb/10 ⁶ ft ³	Clasificación del factor	lb/10 ⁶ ft ³	Clasificación del factor
Sin control	0,6	Α	550	А	40	Α
Control con quemadores de bajo NOx	0,6	А	81	D	ND	NA
Control con recirculación del gas de tiro	0,6	А	53	D	ND	NA

SCC= Código de clasificación de la fuente

ND: No Definido NA: No aplicable

TABLA 7-13 Factores de emisión de partículas usando Gas Natural [15]

Contaminante Ib/10⁶ ft³ Clasificación del factor

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01 Enero de 1999	TAR 7-3	Página 7-66
---	---------	-------------

Dióxido de carbono y compuestos orgánicos

Los factores de emisión de dióxido de carbono y compuestos orgánicos totales (TOC), se encuentran disponibles como se muestra en la TABLA 7-15.

Estos factores presentan emisiones sin sistemas de control, basados sobre un promedio de 8270 kcal/m³ (100 BTU/scf) de poder calorífico alto. El factor de emisión dado en la tabla puede convertirse para otros valores de poder calorífico, multiplicando el factor dado por la relación del poder calorífico especificado y el promedio dado.

7.3.5 Factores de emisión para biomasa

Utilizando los factores recopilados por la *EPA*, es posible determinar la emisión de contaminantes, como metales y partículas, en procesos que consumen madera y bagazo de caña. De acuerdo con la clasificación de tecnologías presentada para los procesos de generación termoeléctrica, estos factores son aplicables a turbinas de vapor que operan con estos combustibles.

Madera

Para la combustión de madera en la operación de calderas se tienen factores de emisión para partículas, NOx, SOx, CO, compuestos orgánicos totales, CO₂, metales, plomo y partículas acumuladas según el tamaño de las mismas. Estos factores se encuentran en base húmeda, con un promedio del 50 por ciento de humedad en peso y 2500 Kcal/kg (4500BTU/lb) de poder calorífico.

En la TABLA 7- 16 se muestran los factores de emisión de partículas, los cuales, tienen la misma presentación que los demás parámetros, salvo por los tipos de fuentes sobre la que se dispone de datos.

Tipo quemador	С	O ₂	TO	ос
(SCC) (1-01-006-01,1-01-006-04) (> 100) (Tamaño, 10 ⁶ Btu/h)	lb/10 ⁶ ft ³	Clasificación del factor	lb/10 ⁶ ft ³	Clasificación del factor
Calderas para generación /Uso industrial	ND	NA	1,7	С

SCC= Código de clasificación de la fuente

TABLA 7- 16 Factor de emisión de partículas usando madera [15]

Tipo de fuente	РМ		PM-10		Plomo	
Calderas con quema de corteza (SCC)	lb/ton	Clasificación del factor	lb/ton	Clasificación del factor	lb/ton	Clasificación del factor
Sin control	47	В	17	D	2,9X10- ³	D
Con reinyección de cenizas	14	В	11	D	ND	NA
Con lavador de gases	2,9	D	2,5	D	ND	NA

SCC= Código de clasificación de la fuente

TABLA 7-15 Factores de emisión para CO₂ y compuestos orgánicos. Gas Natural [15]

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido
Versión 01 Enero de 1999

Bagazo de caña

Se encuentran disponibles los factores de emisión de *material* particulado, PM-10, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material orgánico policíclico, cuando se utiliza el bagazo de caña de azúcar como combustible para la generación de vapor. Dichos factores se expresan como gramos de contaminante por kilogramo de vapor producido, donde un kilogramo de bagazo en base húmeda produce 2 kg de vapor o en kg de contaminante por Mg húmedo de bagazo quemando, con un contenido del 50% de humedad en peso. La presentación es similar a la mostrada para la madera.

7.3.6 Factores de emisión para residuos pesados

Los tipos de fuentes sobre los que se encuentran factores de emisión de *material particulado, PM-10 y plomo*, cuando se utilizan estos residuos como combustible son:

- Pequeñas calderas
- Vaporizadores
- Quemadores por atomización

Las partículas son expresadas en términos del contenido de ceniza llamado **A**. La emisión es el resultado del producto del % en peso de ceniza contenida en el combustible por el valor numérico que precede a **A**. Así mismo, el factor de emisión de plomo es el resultado del producto del % en peso de plomo contenido en el combustible por el valor numérico que precede a **L**. Los óxidos de azufre, se expresan en términos del contenido de azufre llamado **S**. El factor es determinado por el producto del % en peso del azufre contenido en el combustible por el valor numérico que precede a **S**; los factores de emisión de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono se leen directamente de tablas que dispone el documento.

También se encuentran disponibles factores de emisión para los siguientes compuestos: compuestos orgánicos totales (TOC), ácido clorhídrico, dióxido de carbono, metales pesados como cadmio, cobalto, níquel y selenio. Compuestos orgánicos específicos como : Naftaleno, Fenoles, Diclorobenceno, etc.

TABLA 7- 17 Factores de emisión usando residuos pesados [15]

Tipo de fuente		РМ	PM-10			Plomo
(SCC)	lb/kg	Clasificación del factor	lb/kg	Clasificación del factor	lb/kg	Clasificación del factor
Pequeñas calderas	61 A	С	51A	С	55 L	D
Vaporizadores	2,8 A	D	ND	NA	0,41 L	D
Quemadores por atomización	64 A	D	57 A	E	50 L	D

SCC= Código de clasificación de la fuente

ND: No Definido NA: No aplicable

7.3.7 Factores de emisión para turbinas a gas

Para determinar la emisión de contaminantes a partir de las Turbinas de gas, operando en ciclo Stig, en ciclo combinado y motores que operan con Gas Natural o Fuel Oíl, se encuentran disponibles los factores de emisión para turbinas a gas (Stationary Gas Turbines For Electricity Generation, Cap 3 del Documento AP-42 de la EPA). [15]

Los contaminantes sobre los que se encuentran los factores de emisión son:

- Óxidos de nitrógeno
- Monóxido de carbono
- Dióxido de carbono
- Compuestos orgánicos totales (TOC), como metano
- Óxidos de azufre, como SO₂
- Material particulado, considerado todo como PM-10

La emisión de cada uno de estos contaminantes se determina multiplicando el factor de emisión dado en la tabla, por la potencia generada en una hora o multiplicando el factor dado por el poder calorífico alto del combustible. En el caso de los óxidos de azufre, es necesario tener en cuenta el contenido de azufre en el combustible

Por otra parte, cuando se utiliza como sistema de control de NOx la inyección de agua, vapor o la reducción catalítica selectiva (con inyección de agua), es posible determinar la emisión de NOx, CO, N_2O , TOC y NH_3 , pues se encuentran disponibles los factores, como se muestra en la TABLA 7- 19.

Finalmente, también se encuentran factores de emisión (Clasificación E) para elementos traza, cuando se operan los sistemas con Fuel Oíl No 2. Tales elementos son, entre otros, los siguientes: Aluminio, Antimonio, Cadmio, Calcio, Magnesio, Cobre, Zinc, Plomo, Potasio, Mercurio y Cromo.

TABLA 7- 18 Factores de emisión para turbinas a gas [15]

		Gas Natural (S	CC 2-01-002-01)	Fue	el Oíl No 2
Contaminante	Clasificación	Factor de emisión (Lb/hp-hr) - (Ib/MMBtu)		Factor de emisión (Lb/hp- hr) -	Factor de emisión (lb/MMBtu)
NOx	С	3,53E-0.3	0,44	5,60E-03	0,698

TABLA 7- 19 Factores de emisión para turbinas a gas con control [15]

	Inyección de agua Relación 0.8 agua/combustible		Inyección de vapor Relación 1.2 agua/combustible		Reducción catalítica selectiva (inyección de agua)
Contaminante	Factor de emisión (Lb/hp-hr) -	Factor de emisión (Ib/MMBtu)	Factor de emisión (Lb/hp-hr) -	Factor de emisión (lb/MMBtu)	Factor de emisión (lb/MMBtu)
NOx	1,10E-03	0,14	9,75E-04	0,12	0,0088

7.3.8 Factores de emisión para fuentes de área

En las plantas de generación, la principal fuente de emisión de contaminantes atmosféricos lo constituye el proceso de combustión. Sin embargo, en las plantas que operan con carbón, se debe adicionar la emisión de partículas de los patios de almacenamiento de carbón v patios de ceniza.

La emisión de partículas, depende entre otros factores, de la forma de la pila, la humedad, la erosión del viento, la altura de la pila y el tamaño mismo de las partículas. Para estimar estas emisiones, la EPA, propone una ecuación para pilas de almacenamiento de materiales, en la que se tienen en cuenta las actividades propias de operación de la pila como por ejemplo, la adición de nuevo material, retorno de material al proceso, tráfico en el área de almacenamiento y la erosión del viento sobre la superficie de la pila. Así, la cantidad de material particulado generado por este tipo de operaciones puede ser estimado, usando la ecuación que se presenta. La ecuación está condicionada para los siguientes casos: [15]

Los factores de emisión obtenidos a partir de esta ecuación se clasifican como A, para pilas de carbón de plantas de generación eléctrica y residuos sólidos como la ceniza, con valores típicos de tamaño de partículas (≤75 μm) y contenidos de humedad (0.25 - 4.8%).

Como se observa, los valores típicos para las cenizas caen por fuera del rango de aplicación. En estos casos, la EPA recomienda disminuir el rango de clasificación del factor en un nivel, es decir, quedaría en el nivel B, lo que implica mayor variabilidad y menor confiabilidad de los resultados.

Para áreas de almacenamiento de carbón y cenizas, donde las velocidades del viento son mayores a 5 m/s, es posible aplicar los factores de emisión para erosión eólica en áreas industriales. En este caso, el factor de emisión viene dado como una función de la erosión potencial causada por las perturbaciones que el viento produce en la pila. [6]

μm			
0,44 - 19	0,25 – 4,80	0,6 - 6,7	1,3 – 1,5

$$E = k * (0,0016) * \frac{\left[\frac{U}{2.2}\right]^{1.3}}{\left[\frac{M}{2}\right]^{1.4}}$$
 (kg/megagramo)

Donde:

E = Factor de emisión

k = factor por tamaño de partícula

U = Velocidad promedio del viento en m/s o millas/h

M = Contenido de humedad del material (%)

TABLA 7- 21 Valores típicos de tamaño de partículas y humedad [15]

Material	Partículas menores 75 μm (%)		Humedad %	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio
Carbón	0,6 - 4,8	2,2	2,7 - 7,4	4,5
Ceniza	78 - 81	80	26 - 29	27

$$EF = k \sum_{i=1}^{N} Pi$$

Donde:

FF = Factor de emisión

k = Multiplicador por tamaño de partícula Ν = Número de perturbaciones por año

= Erosión potencial correspondiente a lo observado (o probable) en el periodo Ρi

i-ésimo entre cada perturbación.

La erosión potencial se calcula con base en la velocidad de fricción, la cual se obtiene en campo por medio de un sencillo procedimiento.

TABLA 7-20 Condiciones de la fuente para la aplicación del factor [15]

Contenido de partículas ≤75 Contenido de humedad (%) Velocidad del viento

7.4 MEDICIÓN DE LAS EMISIONES

La medición directa de las emisiones permite incorporar todas las características diferenciales de la fuente y contaminantes. La medida de las emisiones, por métodos continuos o puntuales, se efectúa en una sección transversal del ducto de emisión o chimenea, el punto o puntos de medición se eligen en función de las condiciones de flujo de los gases, los contaminantes a medir, objetivos del programa de medida, condiciones de operación, seguridad de los técnicos y equipos.

La medición directa, es la forma más compleja, costosa y confiable de determinar las emisiones, aunque no está exenta de errores. En términos generales, la calidad de los resultados de un programa de medida lo determina el efecto combinado de la precisión del equipo de muestreo, la técnica analítica, la calibración de los equipos de medición y el proceso de cálculo. En la práctica, la limitación más significativa se encuentra asociada a la disponibilidad de equipos certificados, personal calificado y el costo mismo de los muestreos. La medición directa de contaminantes es aplicable a programas con objetivos concretos, como:

0

Verificar el cumplimiento de los límites legales de emisión, **validar** límites propuestos, **establecer** un factor de emisión, **conceder**, **prorrogar** o **revocar** licencias y permisos de funcionamiento.

b

Establecer parámetros de operación para la selección y diseño de equipos de control, así como **determinar** la eficiencia de equipos de control en operación

Como *prueba* para la recepción de un sistema nuevo, recepción de la reparación o como *garantía* del conjunto de generación o del subsistema de control

d

Monitoreo y seguimiento de la operación. La emisión de algunos contaminantes está directamente relacionada con el rendimiento energético del proceso.

e

Determinar la fuente u origen de algún contaminante medido en el ambiente.

7.4.1 Métodos de referencia y equivalentes

En los últimos años se ha dado una rápida evolución en la disponibilidad comercial de equipos y en la publicación y normalización de experiencias prácticas de aplicación de sistemas de medida de emisiones. Sin embargo, teniendo en cuenta que a nivel mundial se destacan los métodos de referencia para fuentes fijas de la *Environmental Protection Agency de los Estados Unidos (EPA)*, por ser posiblemente los más exhaustivos, de amplia difusión y aceptación, se utilizaran estos métodos como guía para la medición de las emisiones. [14]

Método de referencia

Es el establecimiento de un principio de medida, la descripción en detalle de un procedimiento de muestreo y análisis que permite la determinación de las emisiones procedentes de una fuente, sirviendo como patrón de comparación para la certificación o validación de métodos equivalentes.

Método equivalente

Es un procedimiento de muestreo y análisis para el que se ha demostrado la existencia de una relación consistente y cuantitativamente conocida con el método de referencia. Los métodos equivalentes de la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos (EPA) se reconocen por el número del método de referencia, acompañado por una letra mayúscula.

En general, la característica principal de cualquier método de muestreo es que asegure que la porción de muestra recogida en la chimenea representa las condiciones de la corriente principal. Un método de medición directa busca además de establecer la emisión de un contaminante, la medida de otros parámetros que caractericen la fuente tales como:

 \boldsymbol{a}

CONDICIONES TERMODINÁMICAS DE LA CORRIENTE PRINCIPAL (PRESIÓN, TEMPERATURA, VELOCIDAD, CAUDAL, DENSIDAD, HUMEDAD, ETC.)

b

CONCENTRACIÓN EN LA CORRIENTE DE GAS Y EMISIÓN POR UNIDAD DE CALOR CONSUMIDO O UNIDAD DE PRODUCTO, DE UNO O MÁS CONTAMINANTES ESPECÍFICOS.

7.4.2 Aspectos básicos de las mediciones directas

Para establecer con certeza la tasa de emisión de un contaminante por medio de una medida directa, es necesario conocer los parámetros termodinámicos de la corriente de flujo, entre ellos: humedad, composición macro, velocidad, caudal, temperatura de emisión y parámetros del ducto de emisión como; altura y características de la sección (rectangular, cuadrada, circular, diámetro, etc.).

Algunos de estos parámetros se pueden obtener directamente de información suministrada por el fabricante, calculada teóricamente o por medio de los parámetros de operación de la planta, sin embargo, en plantas existentes es conveniente realizar estas mediciones ya que los parámetros termodinámicos pueden variar con el tiempo o haber cambiado por reformas, reparaciones, mantenimientos o condiciones de operación diferentes a las del diseño original.

Por otra parte, algunos métodos de medición de <u>referencia</u> de contaminantes, como el de material particulado, exigen conocer de manera detallada el comportamiento termodinámico de la corriente de emisión durante el muestreo, para que este se realice en <u>condiciones isocinéticas</u> (la muestra de gas debe tomarse de la chimenea de tal manera que la velocidad de succión del gas sea igual a la velocidad con la que circula el gas en la chimenea y además se deben conservar los valores de temperatura y humedad en el recorrido de la muestra, desde la boquilla hasta la captura y almacenamiento del contaminante).[33]

En términos generales, el procedimiento a seguir, para la medición de las emisiones de contaminantes, consta, de los pasos que se ilustran en la TABLA 7- 22, Los contaminantes en fase gaseosa se mezclan con facilidad y no se encuentran sometidos a efectos de inercia importantes, por lo que algunas veces no se requiere muestreo isocinético. La determinación de algunos contaminantes se realiza simultáneamente con el muestreo de partículas, por lo tanto, se requiere el muestreo *isocinético*.

Pasos	Acciones	Método de referencia			
Puesta en marcha	Curva de calibración en sitio Verificación tren de muestreo Medición de fugas Verificación tubos pitot Verificación termoresistencias Verificación sistema de calentamiento Verificación sistema de enfriamiento Verificación sistema de colección de muestras	Actividades preliminares			
Puntos de muestreo	Determinación numero mínimo de puntos de muestreo Cuantificación de la turbulencia en el flujo	Método 1			
Condiciones de muestreo	I Determinación de la temperatura y presión de succión I				
Determinación de	Determinación del contenido de humedad	Método 4			
algunos parámetros	Determinación del peso molecular del gas	Método 3			
	Determinación de la emisión de partículas	Método 5			
Muestreo de parámetros	Determinación de la emisión de óxidos de azufre	Método 6			
	Determinación de la emisión de óxidos de nitrógeno	Método 7			
Comprobación del % de isocinetismo	Cálculo del % de isocinetismo	Método 5			
	Recuperación de la muestra de partículas	Método 5			
Recuperación de la muestra	Recuperación de la muestra de óxidos de azufre	Método 6			
	Recuperación de la muestra de óxidos de nitrógeno	Método 7			
	Cálculos para determinar la concentración de partículas	Método 5			
Cálculos finales	Cálculos para determinar la concentración de óxidos de azufre	Método 6			
	Cálculos para determinar la concentración de óxidos de nitrógeno	Método 7			

TABLA 7-22 Procedimiento para la medición de contaminantes [18]

7.4.3 Método 1. Puntos de toma de muestras y medición de la velocidad de flujo en fuentes fijas.

Principio

Para obtener una medida representativa de la emisión y el fluio volumétrico total de contaminantes desde una fuente fija, el punto de medida se selecciona en donde la corriente es de carácter laminar o flujo no turbulento. La sección transversal de la chimenea se divide en un número de áreas iguales, dentro de las cuales se localiza un punto de muestra. El número de puntos de muestreo se determina de acuerdo con la localización de los mismos y el diámetro del ducto (o el diámetro equivalente para chimeneas rectangulares).

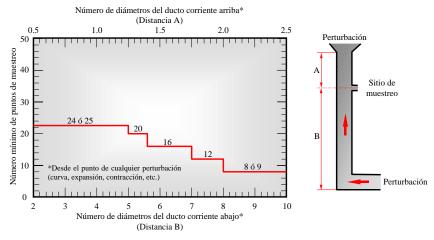
Aplicabilidad

- Este método es aplicable para corrientes de gas de fuentes fijas. No se puede usar en las siguientes situaciones:
- Cuando el flujo es ciclónico o en remolino
- En chimeneas con un diámetro menor a 0.3 m ó menor 0.071 m².
- Cuando el sitio de medida se encuentra a menos de dos (2) diámetros corriente abaio de la salida o a menos 0.5 diámetros corriente arriba desde una perturbación de flujo (curva, expansión o contracción).

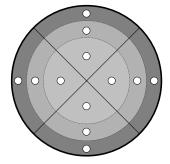
Este método contiene procedimientos especiales o variaciones procedimentales, para la determinación del punto de muestreo en el caso de flujo ciclónico, para las fuentes cuyo punto de muestreo este situado a menos de dos diámetros, corriente abajo, de la salida o a menos de 0,5 diámetros corriente arriba de la perturbación del flujo.

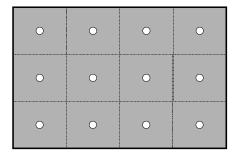
7.4.4 Método 1A Puntos de toma de muestras v de medición de velocidad para fuentes fijas en pequeños ductos o chimeneas

Es un método equivalente del Método 1, cuyo principio y aplicabilidad está limitado a chimeneas o ductos con diámetros menores a 0,3 m y mayores o iguales a 0,1 m. En ductos menores a 0,1 m de diámetro se deben aplicar otros métodos de estimación como el balance de masa y los factores de emisión.



* desde el punto de cualquier perturbación (curva, expansión, contracción, etc.)





dividida en 12 áreas iguales indicando la rectangular dividida en 12 áreas iguales con localización de los puntos de muestreo, en los puntos de muestreo en el centro de el centro de cada área

Sección transversal de la chimenea circular, Sección transversal de una chimenea cada área.

FIGURA 7-3 Número mínimo de puntos de muestreo

7.4.5 Método 2 Determinación del caudal y la velocidad del gas en la chimenea (Tubo Pitot tipo S)

Principio

Para establecer la velocidad del gas en el ducto de emisión se usan las lecturas de la medida de la presión diferencial con un tubo de Pitot tipo S (Stausscheibe u opuesto). La velocidad del gas esta condicionada directamente por la humedad, densidad y temperatura de emisión. El calculo del caudal total se determina mediante el calculo de la velocidad y área total del ducto, como lo establece el método.

Aplicación

Se utiliza para la medida del promedio de velocidad de una corriente gaseosa y para cuantificar el flujo de gas. El procedimiento no es aplicable en puntos de medición que no cumplan los criterios del método 1, tampoco es aplicable a mediciones directas en corrientes con flujo ciclónico o con remolinos, en cuyo caso deberán utilizarse métodos alternativos. Los principales equipos requeridos para la aplicación del método, normalmente vienen incorporados a un muestreador isocinético, pero también se pueden adquirir independientemente, ellos son:

- Tubo de Pitot tipo S, (presión de velocidad y estática)
- Medidor de presión diferencial, manómetro inclinado o equivalente
- Medidor de temperatura, termocupla, termómetro líquido o bimetálico
- Barómetro para presiones atmosféricas
- Tubo de Pitot estándar para la calibración del tubo de Pitot tipo S

El procedimiento, en términos generales, consiste en:

- Medir la presión diferencial, estática y las temperaturas en los puntos establecidos por el Método 1.
- Determinar la presión barométrica en el punto de medida
- Determinar el peso molecular seco utilizando (Método 3)
- Determinar el contenido de humedad de los gases (Método 4)

Los instrumentos de medida deben ser continuamente calibrados y normalizados de acuerdo a los estándares que establece la EPA o la autoridad ambiental competente, con el objeto de reducir el error instrumental en la medición.

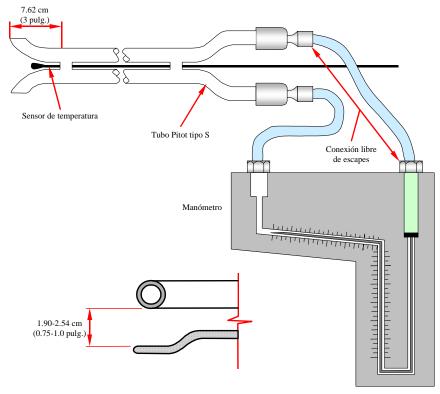


FIGURA 7- 4 Tubo Pitot tipo S

7.4.6 Método 3 Análisis del gas para la determinación del peso molecular seco

Principio

Una muestra de gas es extraída de la chimenea por uno de los siguientes procedimientos:

- Muestra puntual (en un solo punto)
- Muestra compuesta (varias muestras en un solo punto)
- Muestra compuesta (en varios puntos)

La muestra de gas se analiza para determinar su peso molecular seco mediante la cuantificación del contenido de $CO_2\%$, $O_2\%$ y CO% en la corriente, se puede utilizar un analizador Orsat o un analizador **Fyrite**.

Aplicabilidad

Este método es aplicable para determinar la concentración de CO_2 , O_2 y el peso molecular seco de una muestra proveniente de la corriente de gas de un proceso de combustión, con combustible fósil, puede ser aplicado en otros procesos, donde se ha determinado que compuestos como el CO y el N_2 no están presentes en concentraciones que afecten los resultados.

Otros métodos y sus modificaciones que también son aplicables, pero que están sujetos a la aprobación de las autoridades competentes, son:

- Cálculos esteguiométricos para determinar el peso molecular seco.
- Asumir un valor de peso molecular seco de 30, en procesos de quemado de gas natural, carbón o aceite.

El *analizador Orsat*, tiene una precisión del 1 al 2%, en este equipo la muestra pasa por una serie de absorbentes líquidos que retienen el CO_2 (KOH), O_2 (Pirogalato alcalino) y CO (Cloruro cuproso). Antes y después de cada paso de absorción se mide el volumen de gas, la disminución en el volumen representa la cantidad de constituyente presente en la muestra. Una vez conocida la composición del gas, se calcula el peso molecular seco, como lo describe el método. Se puede inducir error en los resultados por la saturación de los reactivos absorbentes, mala preparación o deficiente operación del equipo analizador.

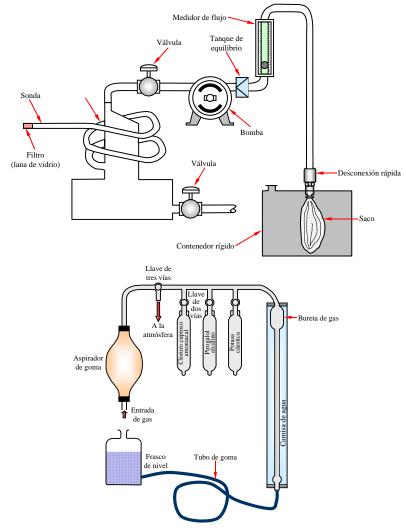


FIGURA 7-5 Tren de muestreo integrado de gas y aparato de Orsat

7.4.7. Método 3A Determinación de la emisión de O₂ y CO₂ a partir de fuentes fijas (Analizador instrumental)

Principio

Una muestra es continuamente extraída de la corriente de gas y transferida a un analizador instrumental para la determinación de O₂ y CO₂.

Aplicabilidad

El método es aplicable para la determinación de O_2 y CO_2 en emisiones desde fuentes fijas, de manera puntual, para mediciones continuas o en línea, cuando las regulaciones así lo especifican o se requiere tener un control detallado sobre el proceso de combustión. En este caso el registro de las concentraciones de CO_2 y O_2 es transmitida directamente al centro de control donde se lleva el registro histórico y se realizan los ajustes al proceso de combustión.

La sensibilidad del *analizador* es determinado por el diseño del mismo equipo y de acuerdo a los requisitos operativos de la planta. Para este método, una porción del rango analítico es seleccionado cerrando el *span* del sistema (rango de concentración que despliega el equipo de monitoreo). El límite máximo se selecciona de tal forma que el promedio de la concentración de CO₂ y O₂ medido esté 20% por debajo del límite superior del rango. El límite mínimo detectable depende del diseño mismo del sistema; este límite debe estar 2% por debajo del límite inferior del rango.

Estos equipos utilizan diferentes métodos analíticos para determinar la emisión de CO₂ y O₂, entre ellos:

- Analizador ultravioleta (UV)
- Infrarrojo no dispersivo (NDIR)
- Fluorescencia

Los resultados de la mediciones, por cualquiera de los métodos equivalentes, deben ser validadas, mediante la comparación con mediciones por el método de referencia y el equipo de medición debe ser calibrado de manera periódica, como lo establezca el fabricante.

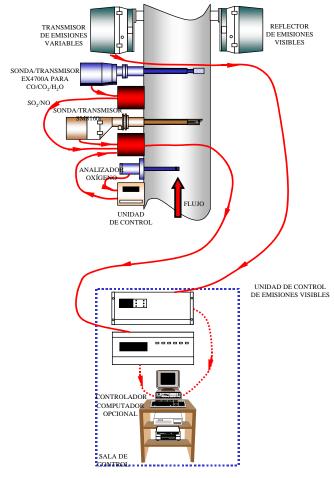


FIGURA 7- 6 Analizador instrumental para determinar la emisión de O₂ y CO₂

7.4.8 Método 4 Determinación del contenido de humedad en los gases de chimenea

Principio

Una muestra de gas es extraída a una velocidad constante desde la fuente, la humedad es removida y determinada volumétrica y gravimétricamente.

Aplicabilidad

El método contiene dos procedimientos básicos aplicables: el primero es el de referencia para la determinación exacta del contenido de humedad. El segundo es un método de aproximación (cálculos estequiométricos, experiencia previa, etc) por medio del cual se obtiene una aproximación del contenido de humedad, con el objeto de establecer parámetros previos sobre la corriente y ajustar las condiciones de flujo, succión etc, del muestreo isocinético.

El método de referencia consiste en hacer pasar el gas extraído de la corriente a través de varios impactadores o burbujeadores de vidrio, en baño de hielo, que contienen volúmenes y pesos conocidos de agua y sílica gel. El agua se condensa en los impactadores y alguna humedad remanente es atrapada por la sílica gel, las diferencias de volumen de agua y peso inicial y final de la sílica, corresponden a la humedad contenida en los gases, el calculo se realiza utilizando los datos de medición de los parámetros termodinámicos de la corriente principal.

Los resultados encontrados por el método de referencia pueden presentar problemas cuando se usa en corrientes de gas saturado de vapor de agua o que contienen agua liquida. Para estas condiciones se deben realizar mediciones adicionales que incluyen: el uso de cartas psicrométricas o tablas de vapor saturado. No es aconsejable usar el método de aproximación o estimación teórica, ya que existen procedimientos alternativos aceptables, entre ellos, el uso de: tubos desecadores, técnicas de termómetro húmedo y seco, y técnicas de condensación. El procedimiento descrito en el método N° 5 es aceptable como método de referencia, de todas maneras cualquier método esta sujeto a la aprobación de la autoridad competente.

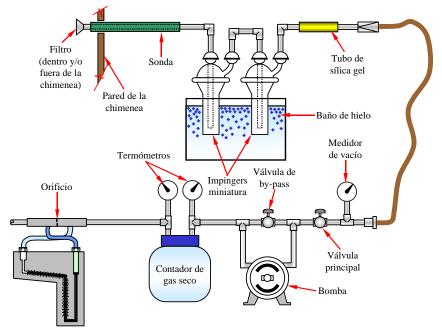


FIGURA 7-7 Tren de muestreo del contenido de humedad

7.4.9 Método No 5 Determinación de la emisión de partículas a partir de fuentes fijas

Principio

Para la determinación de la emisión de partículas por este método se deben realizar los procedimientos y métodos de referencia 1, 2, 3, y 4, como prerrequisito o parte integral del método 5.

Para el caso de la medición de partículas, es necesario tener en cuenta que cuando existe una perturbación en el ducto, las partículas sólidas transportadas no siguen necesariamente las líneas de flujo del gas, ni en dirección ni en velocidad, debido a las fuerzas inerciales, al tamaño, perfil y peso de las partículas. Éstas tienden a seguir trayectorias lo más rectilíneas posibles, con independencia de la trayectoria del gas lo cual está ligado a la geometría del ducto. Las partículas ligeras tienen una inercia muy baja y siguen bien a la corriente de gas. Este fenómeno origina segregación y falta de homogeneización de las partículas en los gases, lo cual dificulta el proceso de medida de la concentración y la evaluación de las emisiones.

La muestra de gas debe tomarse de la chimenea de tal manera que la velocidad de succión del gas sea igual a la velocidad con la que circula el gas en la chimenea (isocinetismo). Se deben conservar los valores de temperatura y humedad en el recorrido de la muestra, desde la boquilla hasta la captura y almacenamiento, con el objeto de evitar la segregación de las partículas o su deposición en el recorrido.

El material particulado y gas son succionados (isocinéticamente) desde la corriente principal, se hacen pasar a través de un filtro de fibra de vidrio (0,3 $\mu m)$ a una temperatura en el rango de $120\pm14^{o}C$. Las partículas quedan retenidas en el filtro y los gases pasan al tren de condensación. La masa de partículas es determinada gravimétricamente. La emisión se calcula de acuerdo a los parámetros de la emisión medidos en los muestreos preliminares y durante el muestreo Isocinético. No son considerados como muestreos isocinéticos validos, aquellos cuya constante isocinética se encuentre fuera del rango de 90-110.

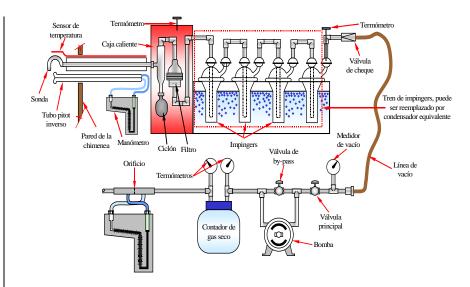


FIGURA 7-8 Tren de muestreo para determinar la emisión de partículas

En Colombia el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, a través de la norma NTC-ISO 9096 normaliza el procedimiento para la determinación de la concentración y la tasa de flujo másico de material particulado dentro de los ductos de conducción de gas a partir de fuentes fijas por el método gravimético, el cual es basado en el Método No. 5.

Aplicación

Se usa para la determinación de la emisión de material particulado a partir de fuentes fijas que operan con combustible, líquido o sólido y que tiene algún contenido de azufre.

El equipo de muestreo se compone de un tren de muestreo y una unidad de control, donde se miden los parámetros de presión de la chimenea y succión, flujo y temperaturas. Los siguientes son los componentes principales de un equipo Isocinético:

- Boquilla, construida en acero inoxidable
- Sonda de muestreo en borosilicato o cuarzo con sistema de calentamiento
- Tubos pitot tipo S (método 2), medidor de presión diferencial, 2 manómetros inclinados o equivalentes (método 2)
- Manómetro para leer la presión de succión (△P)
- Tren de condensación (método 4)
- Medidor de vacío
- Sistema de medición de temperaturas en diferentes puntos
- Medidor de gas seco
- Bomba de vacío
- Barómetro de mercurio o aneroide

El primer paso para el inicio de las mediciones es la realización de la curva de calibración del ΔP (abertura del orificio de succión) vs caudal de succión registrado por el medidor de gas seco, para las *condiciones de sitio* (presión y temperatura). Es importante anotar que la mayoría de componentes del equipo de medición isocinético lo constituyen elementos de precisión que son sometidos a trabajo pesado y por lo tanto *deben ser calibrados regularmente* por un laboratorio autorizado, ya que los valores de calibración de fabrica varían con el uso e introducen errores en los resultados. En el mercado existe diversidad de oferta de equipos de medición para muestreos isocinéticos, aprobados y estandarizados por la EPA, otros equipos ensamblados en el país pueden cumplir los requisitos técnicos, sin embargo, su uso deberá ser aprobado por la autoridad competente.

7.4.10 Método 9 - Método alternativo 1. Determinación de la opacidad de emisiones de fuentes estacionarias

Existen dos métodos avalados por la EPA para la determinación de la opacidad de una emisión de una fuente estacionaria

El primer método (Método 9)

Está basado en la determinación de la opacidad por un observador debidamente entrenado y certificado para tal fin; debido a que se trata de una determinación visual, esta depende de variables como: el ángulo del observador con respecto a la pluma y al sol, el punto de observación de los vapores emitidos por la planta y la luminiscencia debida al color de contraste entre la pluma y el fondo entre otros.

El segundo método (Método alternativo 1)

Consiste en la determinación de la opacidad por un método lumínico, un rayo de luz laser pasa a través de la pluma de una chimenea, el material particulado crea una dispersión del rayo que es captada por un sistema de detección; el nivel de dispersión del rayo indica la opacidad de la pluma. Una de las ventajas de este método radica en la posibilidad de realizar las mediciones a cualquier hora del día y sin importar las condiciones meteorológicas, acoplado a un sistema en línea para mediciones continuas.

El método es útil para correlacionar la opacidad con el contenido de material particulado en la emisión, determinado por medio de un método debidamente avalado (p. ej. El Método 5 EPA), se puede sistematizar el monitoreo de los niveles de partículas producidas por una planta termoeléctrica con la implementación de un sistema de monitores de opacidad. Es importante tener en cuenta que factores como el vapor de combustión contenido en la pluma de salida de la chimenea pueden incidir de manera directa en el valor de opacidad medido por el sistema de monitoreo, lo cual afecta el valor inferido de material particulado de la emisión.

La utilización de este método como sistema de monitoreo para partículas debe ser avalado por la autoridad ambiental competente.

7.4.11 Método No 6 Determinación de la emisión de SO_2 a partir de fuentes fijas

Principio

Para la determinación de la emisión de SO_2 , por este método se realizan los procedimientos básicos descritos en los métodos N° 1, 2, 3 y 4. Las neblinas ácidas (H_2SO_4 , SO_2 y SO_3) los gases se hacen burbujear a través de soluciones absorbentes específicas y se valora su concentración por métodos volumétricos (titulación).

Aplicabilidad

Este método es aplicable para la determinación de la emisión de neblinas ácidas de azufre a partir de fuentes fijas. El límite mínimo detectable de este método se ha establecido en 34 mg de SO_2/m^3 . Aunque no se ha establecido un límite máximo, se ha demostrado que se pueden recoger hasta $80,000 \text{ mg/m}^3$ de SO_2 , usando dos impingers, que contienen cada uno 15 ml al 3% de peróxido de hidrógeno y a un caudal de muestreo de 1 lpm durante 20 minutos. Basados en cálculos teóricos, el límite máximo de concentración en una muestra de 20 l es de cerca de $93,000 \text{ mg/m}^3$.

Existen posibles interferencias por amonio libre, cationes solubles en agua y floruros. Los cationes y floruros son removidos por filtros de lana de vidrio y un burbujeador con isopropanol. Para la aplicación de este método es necesario conocer en detalle las características y posible composición de los gases efluentes.

El método presenta la opción de determinar SO₂ simultáneamente con material particulado y humedad, por medio de la combinación del presente método con el método N° 5, como sigue:

- En el Método No 5 se reemplaza el agua de uno de los burbujeadores con una solución de peróxido de hidrogeno al 3%.
- Se reemplaza el agua de uno de los bubujeadores del método 5 por una solución de isopropanol (filtro peróxido).
- Los análisis de laboratorio de las muestras que contienen las neblinas ácidas se deben realizar de acuerdo al procedimiento del método 8.

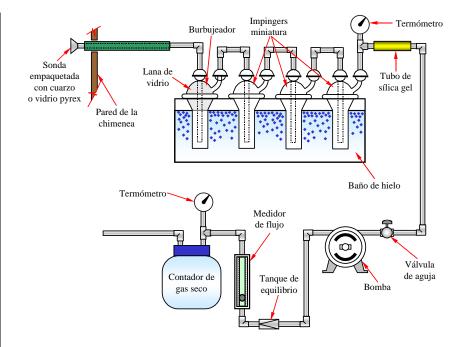


FIGURA 7-9 Tren de muestreo para determinar la emisión de SO₂

En Colombia el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, a través de la norma NTC-ISO 7934 normaliza el procedimiento para la determinación de la concentración másica de SO₂ el cual es basado en el Método No. 6.

7.4.12 Método No 6A Determinación de SO₂, humedad y CO₂ a partir de fuentes de combustión de combustible fósil

Principio

El principio de colección de muestra es el mismo del método 6 excepto que además, de la humedad y el SO₂, se colecta el CO₂ en el mismo tren de muestreo. Las fracciones de humedad y CO₂ se determinan gravimétricamente.

Aplicabilidad

Este método aplica para la determinación de SO₂ y CO₂ a partir de fuentes de combustión con combustibles fósiles, en términos de concentración (mg/m³) y de la tasa de emisión (ng/J). La humedad, si es considerada, puede ser también determinada en % por este método.

El límite mínimo y el límite máximo de detección de SO₂, son similares a los descritos en el método 6, las interferencias por amonio libre, cationes solubles en agua y floruros también pueden inducir error en las mediciones por este método. Para una muestra de 20 litros, el método tiene una precisión de 0,5% para concentraciones entre 2,5 y 25% de CO₂ y una precisión del 1% para concentraciones de humedad de hasta el 5%.

La muestra es succionada de la corriente de gas de la chimenea y se hace burbujear a través de soluciones de isopropanol y peróxido de hidrogeno para retener las neblinas ácidas (SO₂ y SO₃, según método 6) para su posterior análisis en el laboratorio. El CO₂ es atrapado sobre sílica impregnada de hidróxido de sodio, una vez se le ha retirado y medido la humedad, se determina el CO₂ por gravimetría.

Es importante tener en cuenta que para la correcta aplicación de este método se deben usar desencantes como ASCARITE II y sílica cubierta de hidróxido de potasio, con granulometrías definidas y lana de fibra de vidrio para filtrar la corriente de gas que entra en contacto con las sustancias absorbentes. El método, establece claramente los tiempos de muestreo y condiciones especificas requeridas.

7.4.13 Método 6B Determinación de SO₂ y CO₂ como promedio diario a partir de fuentes de combustión de combustibles fósiles

Principio

Una muestra de gas se extrae de la chimenea, en el punto de muestra, de manera intermitentemente durante un período de 24 horas o menor. El muestreo se puede realizar también en continuo si se modifica el sistema de muestra. El SO_2 y el CO_2 se separan y colectan en el tren de muestreo. El SO_2 se determina por el método de titulación y el CO_2 se determina gravimétricamente.

Aplicabilidad

Este método aplica para la determinación de SO_2 y CO_2 a partir de fuentes de combustión en términos de concentración (ng/m^3) y de la tasa de emisión (ng/J), en períodos de hasta de (24 horas) y reportados como promedio diario.

El límite mínimo detectable y el límite máximo para mediciones de SO_2 son los mismos del Método 6. La EPA ha promovido y colaborado en la realización de estudios, encaminados a determinar la repetibilidad y reproducibilidad conseguidas por pruebas de calidad siguiendo este método. Los resultados de los estudios a partir de 145 pruebas en campo incluyen comparaciones con el Método 3 y 6, la repetibilidad ha sido del 8 % y la reproducibilidad del 11,1%.

El equipo requerido para este método es el mismo especificado en el Método 6, sección 2, excepto que el burbujeador de isopropanol no se usa, a cambio se utiliza un burbujeador vacío para la colección de gotas, el cual no permite el contacto directo entre el líquido colectado y la muestra de gas. El tren de muestreo incluye un switch diseñado para operar en posición "on" al menos 2 minutos continuamente y en "off" el resto del período sobre un ciclo regulable, el muestreo debe incluir por lo menos 12 períodos de muestreo, espaciados equitativamente en las 24 horas de muestreo.

7.4.14 Método No 6C Determinación del SO₂ a partir de fuentes fijas (procedimiento del analizador instrumental)

Principio

Una muestra de gas es continuamente extraída de la corriente de gas principal y una porción de la misma se conduce a un analizador instrumental para la determinación de la concentración de SO₂. El analizador puede utilizar diferentes técnicas de medición y análisis, las recomendadas por este método son: Ultravioleta - Visible (UV), Infrarrojo no dispersivo (NDIR) y Fluorescencia.

Aplicabilidad

Este método es aplicable para la medición, puntual, continua o en línea, de las emisiones de SO₂, según lo especifique la autoridad ambiental o por requerimientos propios del operador para tener un control sobre sus emisiones y equipos de control de SO₂. Cuando el sistema se instala para operación continua o en línea, los resultados son enviados al centro de control donde se lleva un registro histórico de las variaciones en la emisión y se realizan los ajustes necesarios a los equipos de control o contenido de azufre del combustible.

El rango del analizador deberá estar acorde con el diseño del equipo de control o fuente de combustión. El límite máximo del rango de medición del equipo, debe seleccionarse de tal forma que la concentración equivalente y la emisión estándar del parámetro de medición no sea menor que el 30% del límite máximo a medir. Si durante algún momento de la medición la concentración del gas excede el límite máximo, la medición debe considerarse invalida y el equipo deberá recalibrarse. El Límite mínimo detectable, para un buen sistema, debe estar por debajo del 2% del límite inferior del rango de concentración de medición.

Por lo general, estos equipos se comercializan con sistemas de calibración, manuales o automáticos, y el fabricante especifica la periodicidad y necesidad de calibración de acuerdo a las condiciones de operación. La autoridad ambiental puede requerir los registros de calibración del equipo con el objeto de validar las mediciones.

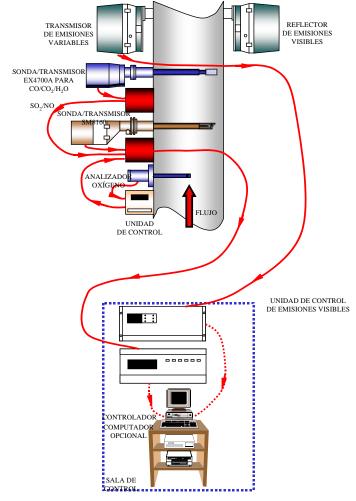


FIGURA 7- 10 Analizador instrumental para determinar el SO₂

7.4.15 Método No 7 Determinación de los óxidos de nitrógeno a partir de fuentes fijas

Principio

Una muestra puntual es recogida, por medio de vacío, en un matraz colector, el cual contiene una solución absorbente de ácido sulfúrico diluido y peróxido de hidrógeno. Los óxidos de nitrógeno reaccionan con la solución absorbente (excepto el óxido nitroso) y forman un complejo que es coloreado usando el procedimiento del ácido fenoldisulfónico (PDS). La concentración de NOx se determina por medio de espectrofotometría ultravioleta visible.

Aplicabilidad

Es aplicable para la medición puntual de emisiones de óxidos de nitrógeno provenientes de fuentes estacionarias. Se usa para medir concentraciones en el rango de 2 a 400 miligramos de NO_x/m³ estándar seco de gas (expresado como NO₂), para una muestra sin diluir. Los principales equipos y materiales utilizados por este método son:

- Sonda toma muestra de vidrio de borosilicato, teflón o acero inoxidable, con calentamiento para evitar condensación y filtro para retirar material particulado de la muestra.
- Matraz colector de muestra de 2 l en borosilicato y válvula de tres vías.
 Fondo redondo, cuello corto y apertura torneada estándar 24/40, protegido contra implosión o rompimiento.
- Medidor de temperatura, dial tipo termómetro capaz de medir 1°C (2°F) intervalos de 0.5 a 50°C (25 a 125°f)
- Línea de vacío, para hacer vacío en el matraz colector a 75 mm de Hg (3 in Hg) presión absoluta, con conexión en T.
- Manómetro para medir el vacío del matraz colector
- Barómetro, para medir presión atmosférica

El método es utilizado para mediciones de control y como prueba de recepción de equipos. Para garantizar las emisiones de NOx cuando se instalan quemadores de bajo NOx. El análisis, procedimientos de laboratorio y condiciones de muestreo son factores determinantes de la confiabilidad de los resultados.

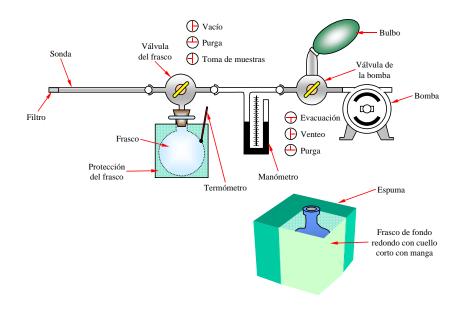


FIGURA 7- 11 Tren de muestreo para determinar NOx

7.4.16 Método N° 7A Determinación de la emisión de óxidos de nitrógeno a partir de fuentes fijas (Método de cromatografía iónica)

Principio

Una muestra puntual es recogida, por medio de vacío, en un matraz colector, el cual contiene una solución absorbente de ácido sulfúrico diluido y peróxido de hidrógeno. Los óxidos de nitrógeno, excepto el óxido nitroso se oxidan a nitrato y se determina su concentración por medio de cromatografía iónica.

Aplicabilidad

Este método aplica para la medición de óxidos de nitrógeno a partir de fuentes fijas; puede ser utilizado como una alternativa del Método 7, si la concentración en la chimenea esta dentro del rango analítico, el cual varia entre 125 y 1250 mg no_x/m³ estándar seco de gas (expresado como NO₂). Concentraciones más altas pueden ser analizadas por dilución de la muestra. El límite más bajo de dilución es aproximadamente de 19 mg/m³ (10 ppm), pero puede variar de acuerdo con la sensibilidad del instrumento analítico.

Los principales equipos y materiales utilizados por este método son los descritos para el método 7, excepto por el cromatógrafo iónico, el cual es utilizado para el análisis de la muestra en el laboratorio.

El método es utilizado para mediciones de control y como prueba de recepción de equipos. Para garantizar las emisiones de NOx cuando se instalan quemadores de bajo NOx. El análisis, procedimientos de laboratorio y condiciones de muestreo son factores determinantes de la confiabilidad de los resultados.

Una muestra integrada se extrae desde la chimenea y se recoge en una solución de permanganato - hidróxido de sodio/potasio. El nox $(NO + NO_2)$ se oxida a ion nitrito y nitrato. El nitrato se reduce a ion nitrito con cadmio, el cual a su vez se analiza por colorimetría, utilizando un espectrofotómetro ultravioleta visible.

Aplicabilidad

El método se aplica para la determinación de la emisión de nox a partir de generadores de vapor y energía que utilizan combustible fósil, plantas de ácido nítrico u otras fuentes especificadas en la regulación. No es aplicable en plantas en donde se utiliza la inyección de amoniaco para el control de nox, a menos que se corrijan los resultados. Este método no ofrece ninguna desviación significativa con respecto al Método 7. En el laboratorio, la desviación estándar para una medida puntual es de 2,8 a 2,9 para concentraciones de 201 y 268 ppm de nox, respectivamente. El límite más bajo detectable es de 13 mg de nox /m³ como NO₂ (7 ppm de nox).

Las posibles interferencias son el SO_2 y el amonio. Altas concentraciones de SO_2 consumen permanganato, reduciendo la eficiencia de colección del NOx. Sin embargo, cuando el muestreo de las emisiones se hace en una planta de generación eléctrica que quema carbón, con un contenido de azufre del 2.1% sin control de las emisiones de SO_2 , la eficiencia de la colección no se reduce. Cálculos realizados han demostrado que muestras con 3000 ppm de SO_2 , reducen el permanganato únicamente en el 5%, si todo el SO_2 es consumido en el primer impactador.

El método es utilizado para mediciones de control y como prueba de recepción de equipos. Para garantizar las emisiones de NOx cuando se instalan quemadores de bajo NOx. El análisis, procedimientos de laboratorio y condiciones de muestreo son factores determinantes de la confiabilidad de los resultados.

7.4.17 Método No 7C Determinación de la emisión de óxidos de nitrógeno a partir de fuentes fijas (Método permanganato alcalino por colorimetría)

Principio

7.4.18 Método N° 7D Determinación de la emisión de óxidos de nitrógeno a partir de fuentes fijas (Método permanganato alcalino / cromatografía iónica)

Principio

Una muestra integrada es extraída desde la chimenea y colectada en una solución alcalina de permanganato; el nox (NO + NO₂) se oxida hasta nitrato (NO_3), el cual es analizado por cromatografía iónica.

Aplicabilidad

El método se aplica para la determinación de la emisión de nox a partir de generadores de vapor y energía que utilizan combustible fósil, plantas de ácido nítrico u otras fuentes especificadas en la regulación. No es aplicable en plantas en donde se utiliza la inyección de amoniaco para el control de NOx, a menos que se corrijan los resultados.

El límite inferior detectable es similar al especificado por el Método 7C. El límite superior no ha sido establecido, sin embargo, cuando se utilizan las recomendaciones para las condiciones de muestreo, el método ha alcanzado a colectar emisiones de hasta 1782 mg NOx/m³ como NO₂.

Las posibles interferencias del método son las mismas que se discutieron en el método anterior. El método no ofrece ninguna desviación relativa al Método 7. En el laboratorio, la desviación estándar relativa para una medida fue de aproximadamente 6% a 200 o 270 ppm de NOx.

Con respecto al anterior método, la única diferencia es que después del proceso de oxidación, con el mismo absorbente químico, el análisis es instrumental por medio de por cromatografía iónica.

El método es utilizado para mediciones de control y como prueba de recepción de equipos. Para garantizar las emisiones de NOx cuando se instalan quemadores de bajo NOx. El análisis, procedimientos de laboratorio y condiciones de muestreo son factores determinantes de la confiabilidad de los resultados.

7.4.19 Método No 7E Determinación de la emisión de óxidos de nitrógeno a partir de fuentes fijas (Procedimiento del analizador instrumental)

Principio

Una muestra de gas es continuamente extraída desde la chimenea, una porción de la muestra es conducida a un analizador instrumental por quimioluminiscencia para la determinación de la concentración de nox en la muestra, la concentración en la corriente se halla usando los parámetros termodinámicos de la fuente.

El método de quimioluminiscencia, se basa en la generación de fotones por la reacción del NO con el O_3 para oxidarlo a NO_2 . Del orden del 10% del NO_2 producido se encuentra en estado excitado. Una parte de estas moléculas, excitadas, al volver a su estado fundamental, emiten radiación en la zona infrarroja del espectro. La intensidad de la emisión infrarroja es proporcional al caudal másico de NO_2 y se mide mediante un fotomultiplicador, después de pasar por un filtro óptico, el cual selecciona la longitud de onda de la emisión que se quiere medir.

Aplicabilidad

Para la determinación de la concentración de los óxidos de nitrógeno a partir de fuentes fijas, de manera puntual, continua o en línea, si así lo especifica la autoridad ambiental o por requerimientos propios del operador.

La sensibilidad del analizador es determinada de acuerdo a los requisitos operativos de la planta. Una porción del rango analítico es seleccionado cerrando el *span* del sistema (rango de concentración que despliega el equipo). El límite máximo se selecciona de tal forma que el promedio de la concentración esté 20% por debajo del límite superior del rango. El límite mínimo debe estar 2% por debajo del límite inferior del rango.

Estos equipos se comercializan con sistemas de calibración, manuales o automáticos. El fabricante especifica la periodicidad y necesidad de calibración. La autoridad ambiental puede requerir los registros de calibración del equipo para validar las mediciones.

7.4.20 Método No 20 Determinación de óxidos de nitrógeno, SO₂ y diluyentes a partir de turbinas de gas estacionarias

Principio

Una muestra de gas es extraída desde la corriente de emisión de una turbina estacionaria y es conducida a analizadores instrumentales para la determinación de NOx y gases diluyentes (O₂/CO₂) contenidos en el gas de tiro. Una porción de la muestra es retirada de la corriente de muestreo para el análisis de la emisión de SO₂, usando el Método 6 o sus equivalentes. La determinación de los diluyentes, se hace para ajustar las concentraciones de NOx y SO₂ a las condiciones de referencia.

Aplicabilidad

Este método es aplicable para la medición puntual, continua o en línea de la emisión de NOx, SO_2 y gases diluyentes (O_2/CO_2) a partir de turbinas de gas estacionarias, si así lo especifica la autoridad ambiental o por requerimientos propios del operador. El equipo requerido por este método consiste básicamente de los siguientes subsistemas:

Interfase de muestra: es una parte del sistema que se usa para una o más de las siguientes aplicaciones: colección, transporte y acondicionamiento de la muestra

- Analizador de NOx: mide el NOx por medios instrumentales y genera una salida proporcional a la concentración del gas en la muestra
- Analizador de O₂: mide el O₂ por medios instrumentales y genera una salida proporcional a la concentración del gas en la muestra
- Analizador de CO₂: mide el CO₂ por medios instrumentales y genera una salida proporcional a la concentración del gas en la muestra
- Registrador de datos: parte del sistema que suministra un registro permanente de la salida de los analizadores instrumentales

Estos equipos se comercializan con sistemas de calibración, manuales o automáticos. El fabricante especifica la periodicidad y necesidad de calibración. La autoridad ambiental puede requerir los registros de calibración del equipo para validar las mediciones.

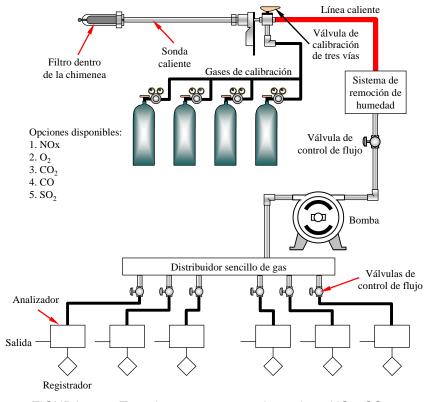


FIGURA 7- 12 Tren de muestreo para determinar NOx, SO₂ y diluyentes

7.4.21 Otros métodos de medición

Adicional a los métodos de referencia y los métodos equivalentes presentados, se encuentran disponibles, entre otros, los siguientes métodos: [14]

Método 2A

Medida directa del volumen del gas a través de tuberías y pequeños ductos

Método 2B

Determinación de la velocidad de flujo volumétrico del gas a partir de incineradores de gasolina

Método 2C

Determinación de la velocidad del gas y el flujo volumétrico en pequeñas chimeneas (Tubo Pitot Standard)

Método 2D

Medición del flujo volumétrico del gas en pequeños ductos y tuberías.

Método 3B

Análisis de gas para la determinación del flujo de gas corregido por exceso de aire

Método 3C

Determinación de dióxido de carbono, metano, nitrógeno y oxígeno a partir de fuentes fijas

Método 5B

Determinación de material particulado sin contenido de ácido sulfúrico a partir de fuentes fijas

Determinación del material particulado sin sulfatos a partir de fuentes fijas

Método 5H

Determinación de la emisión de material particulado en la chimenea a partir de calentadores de madera

Método 7B

Determinación de la emisión de óxidos de nitrógeno a partir de fuentes fijas (Espectrofotometría ultravioleta)

Método 10 y 10B

Determinación de la emisión de monóxido de carbono a partir de fuentes fijas

Método 12

Determinación de la emisión de plomo inorgánico a partir de fuentes fijas.

Método 13 A

Determinación de la emisión total de floruros a partir de fuentes fijas (Método zirconio)

Método 16

Determinación semicontinua de la emisión de azufre, a partir de fuentes fijas

Método 5F

7.4.22 Métodos Alemanes para la medición de las emisiones

Página 7-88

Como información adicional se incluye un listado de los métodos de medición desarrollados en Alemania.

Norma VDI 2456, BI 1

NO + NO₂ Componente:

Acido fenoldisulfónico, fotómetría Método:

Norma VDI 2456, BI 2

NO + NO₂ Componente:

Método: Titulación después de la oxidación con H₂O₂

Norma VDI 2456, BI 3

Componente: NO

Método: Absorción IR

Norma VDI 2456, BI 4

Componente: NO₂

Método: Absorción UV

Norma VDI 2457. BI 1

Componente: Componentes orgánicos

Método: Cromatografía de gases

Norma VDI 2459, BI 1

Componente:

CO

Método: Absorción IR (URAS 1 y 2)

Norma VDI 2462, BI 1

Componente: SO₂

Yodo - Tiosulfato

Norma VDI 2462, BI 7

Componente:

Método:

SO₃

Método: Isopropanol Como información adicional se incluye un listado de las normas editadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación -ICONTEC.

NTC 4059

Determinación teórica de las emisiones de SO₂ para unidades operadas con gas combustible líquidos o carbón.

NTC ISO 9096

Determinación de la concentración y la tasa de flujo másico de material particulado dentro de ductos de conducción de gas . Método gravimétrico manual

7.4.23 Normas ICONTEC

	Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01 Enero de 1999	TAR 7-4	Página 7-89
--	---	---------	-------------

7.5 MEDICION DEL RUIDO

Para el caso del ruido, la *EPA* establece recomendaciones generales para la medición y estimación de los niveles de ruido ambiental, en Colombia no existe norma especifica para la medición del ruido, por tanto se toman como referencia las norma de la *American National Standard Institute* **ANSI B133.8-1977** para plantas de generación termoeléctrica a gas, la cual especifica los puntos de medición para una unidad y múltiples unidades, FIGURA 7- 13 y las normas de la *International Standard Organization* **ISO 1680/1-1986** y **1680/2-1986**.

Antes de presentar una metodología para la medición de ruido, es necesario conocer algunos conceptos básicos del sonido, dentro de los cuales se encuentran: potencia, nivel de potencia, presión, nivel de presión, intensidad y nivel de intensidad.

- Potencia de sonido. La potencia del sonido, en Watt (W), describe la energía sonora irradiada por la fuente de sonido por unidad de tiempo.
- \square Nivel de potencia del sonido. El nivel de potencia del sonido (L_W o PWL) es la denominación en decibeles de la relación de dos potencias de sonido y se expresa de la siguiente forma:

$$Lw = 10 Log \frac{W}{WI_r} dB$$

Donde W_r es la potencia de referencia, usualmente tomada como $10^{\text{-}12}$ W.

El nivel de potencia del sonido es independiente de las condiciones ambientales y de la distancia a la que se encuentra la fuente de sonido.

- Presión del sonido. Las ondas sonoras producen cambios en la densidad del aire conforme viaja a través de él. Estos cambios dan lugar a fluctuaciones de presión alrededor de la presión ambiental. La magnitud de estas fluctuaciones se denomina presión del sonido.
- Nivel de presión del sonido. El nivel de presión del sonido (L_p o SPL) es la designación en decibeles de la relación de dos presiones al cuadrado:

$$L_p = 10 \text{ Log} \left(\frac{p}{p_r}\right)^2 \text{ dB}$$

Donde p_r es la presión de referencia, usualmente 2x10⁻⁵ Pa. Este valor equivale aproximadamente al umbral de audición a una frecuencia de 1000 Hz.

La razón de utilizar presiones al cuadrado es que todos los sonidos consisten en alteraciones de presión positivas (compresiones) y negativas (rarefacciones) medidas desde la presión estática.

- ☐ Intensidad del sonido. La intensidad del sonido (I) es la cantidad de energía que transporta una onda por unidad de superficie y tiempo, a través de una superficie perpendicular a la dirección de propagación. La intensidad máxima que puede tolerar el oído humano es de unos 10⁻⁴ W/cm², mientras que la intensidad de los sonidos más débiles que se pueden escuchar son del orden de 10⁻¹⁶ W/cm².
- Nivel de intensidad del sonido. El nivel de intensidad del sonido (IL) es la denominación en decibeles de la relación de dos intensidades, expresado de la siguiente forma:

$$IL = 10 \text{ Log } \frac{I}{I_r}$$
 dB

Donde I_r es la intensidad de referencia, usualmente $10^{-12} \, \overline{\text{W/m}^2}$.

El nivel de intensidad de sonido recibe la influencia del medio ambiente y de la distancia a la que se encuentra de la fuente de sonido.

La unidad de medida del nivel sonoro en la escala logarítmica es el decibel (dB), unidad adimensional que se utiliza para expresar la relación de dos valores numéricos sobre una escala logarítmica.

Debido a que los decibeles son unidades logarítmicas, no se pueden sumar aritméticamente, es decir, cuando se tienen dos fuentes sonoras de la misma intensidad, el nivel de ruido resultante no es la sumatoria de la intensidad de ruido de cada fuente. Así el nivel de ruido resultante cuando se tienen dos fuentes de ruido viene dado por la siguiente expresión:

$$L = 10 * Log (I_1/I_2) + 10 * Log 2$$

Donde:

L= nivel de ruido resultante

I₁= nivel de ruido de la fuente 1

l₂= nivel de ruido de la fuente 2

Cuando se realizan las medidas acústicas se recomienda seguir una serie de pasos metodológicos para garantizar la calidad de los resultados.

Indices a medir

Debido a que el oído humano no responde de manera uniforme a los sonidos de todas las frecuencias, en la mayoría de las consideraciones del sonido se emplea como índice básico la escala de "nivel sonoro ponderado A" (1000 Hz), la cual es un único número que representa un nivel sonoro que contiene una amplia gama de frecuencias y que es representativo de la respuesta humana, resultante de la ponderación de las frecuencias altas y bajas. Es importante resaltar que las cifras expresadas en dB(A) por sí solas, no tienen importancia si no son aplicadas a una distancia específica de la fuente de ruido, por ejemplo 83 dB(A) a un metro de la fuente de ruido o 60 dB(A) a 120 m de la fuente. Algunos instrumentos de medida acústica incluyen los niveles de ponderación B y los de ponderación C, los cuales son utilizados para una medición global o de banda ancha de nivel sonoro y arrojan una respuesta bastante uniforme entre 50 y 5000 Hz.

TABLA 7- 23 Pasos a seguir para la medición del ruido [25]

Paso	Actividad			
1	Determinar los índices a medir: nivel de ponderación, periodos de medición, barrido de frecuencias etc.			

2	Seleccionar los instrumentos, incluido el tipo de micrófono que se va a utilizar. A menudo, resulta útil hacer un diagrama de bloques de todos los instrumentos y equipamientos de ensayo.
3	Comprobar la sensibilidad del sistema de medida, realizando todas las calibraciones necesarias.
4	Determinar el número mínimo de posiciones del micrófono y su localización; dibujar un esquema mostrando la relación entre estas posiciones y la fuente de sonido y cualquier superficie reflectante que pueda afectar a los resultados de la medición.
5	Medir el nivel de ruido ambiental.
6	Medir los niveles sonoros de la fuente, registrando todos los valores de los parámetros relevantes seleccionados en los instrumentos.
7	Aplicar todas las correcciones necesarias a las medidas observadas
8	Hacer un registro escrito de los datos relevantes. Estos datos incluyen los valores de los parámetros seleccionados en los instrumentos, cualquier suceso inusual durante el funcionamiento de la fuente de ruido y las condiciones ambientales si son significativas.

Selección de los instrumentos de medida del sonido

La selección de los instrumentos para la medida del sonido depende de la finalidad de la medición, por ejemplo, si se requiere establecer el nivel de ruido de una maquina se utiliza un analizador de bandas de octava para determinar las características espectrales del ruido, siempre que sea de banda ancha. Si el espectro de ruido tiene componentes de banda estrecha o frecuencia discreta, se necesitará un analizador en bandas de tercio de octava o de bandas finas. Otro método consiste en emplear una grabadora magnética para registrar el ruido y realizar el análisis espectral posteriormente, en el laboratorio.

Sistemas de calibración

Antes y después de cada medición ha de llevarse a cabo una comprobación de la calibración del sistema de medición, desde el instrumento de medición (micrófono) hasta cualquier aparato de grabación. Se debe realizar la comprobación de la calibración mediante un pistófono o un calibrador de sonido de tipo altavoz, que aporta una señal acústica sinusoidal a una frecuencia y nivel sonoro determinados. El nivel sonoro real producido por el calibrador ha de ser determinado mediante una calibración separada. La comprobación de sensibilidad de frecuencia única ayuda a asegurar el funcionamiento correcto de los instrumentos. Sin una calibración válida del sistema de medición, los resultados de las mediciones podrían ser cuestionables.

7.5.1 Selección de las posiciones o puntos de medida

A menudo, la posición del micrófono con respecto a la fuente de sonido se específica mediante la aplicación de una norma, tal como las **ISO 1680/1-1986** y **1680/2-1986**, las cuales definen los parámetros de medición de los niveles de ruido y el mismo manual de operación del equipo, cuyo diseño y especificaciones generalmente se encuentran asociados a una norma. En plantas de generación termoeléctrica a gas se emplea la norma **ANSI B133.8-1977**, la cual especifica los puntos de medición para niveles de ruido cercano y lejano de una o múltiples unidades, a distancias de 1 m y de 120 m (400 ft). Ver FIGURA 7- 13.

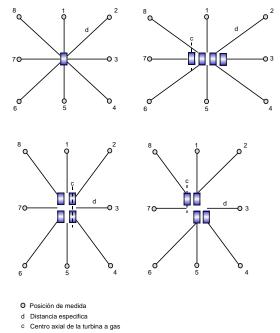


FIGURA 7- 13 Posiciones de muestreo en turbinas a gas

Para mediciones de nivel de ruido en una comunidad las posiciones suelen especificarse como cualquier lugar a lo largo de la línea que limita una propiedad o allí donde es probable la existencia de una fuente de ruido o niveles de ruido que afectan la calidad ambiental.

En el caso de la medición de ruido en fábricas, con el fin de valorar el riesgo de lesión auditiva, el micrófono debe estar situado a una distancia no superior a 100 m del oído de la persona expuesta a las fuentes de sonido. Para la medición de los niveles de presión sonora dentro de lugares de reunión u otros espacios públicos, el micrófono debe ubicarse en las posiciones típicas de los oyentes a alturas de 1,6 m de un oyente de pie o entre 1, 2 y 1,3 m si está sentado. Las medidas no deben realizarse a menos de un metro de una superficie reflectante, como una pared, suelo o techo, donde las reflexiones podrían influir significativamente sobre ellas. El número de lugares de medición debe ser suficiente como para determinar el nivel del ruido ambiental y las características de la fuente de ruido con la presión requerida.

7.5.2 Medición de ruido ambiental

El ruido ambiental se considera como el ruido generado por todas las fuentes distintas a la fuente de interés, incluye el ruido de origen eléctrico producido por los instrumentos de medición y el sonido envolvente asociado con un ambiente acústico determinado, habitualmente compuesto por sonidos de fuentes próximas y lejanas.

Corrección del ruido ambiental

Generalmente cuando se realiza la medición del ruido lejano de una planta, el ruido ambiental puede ser un componente importante, por lo cual no puede ser ignorado, de manera que es necesario realizar una corrección sobre el nivel de ruido combinado, proveniente de la planta y ambiental, que tenga en cuenta su influencia sobre la medición. El procedimiento descrito es válido sólo si el ruido ambiental es estable entre las mediciones. Si cambia durante la medición, la corrección no será válida.

Paso	Actividad
1	Se mide el nivel de presión sonora combinado de la fuente de ruido y el ruido ambiental
2	Se mide el ruido ambiental aislado mediante la desconexión de la fuente o esperando hasta que no esté operando y no interfiera en la medición
3	Se calcula la diferencia entre estos dos niveles
4	Si la diferencia supera los 3 dB, se lee la corrección a partir de la FIGURA 7- 14
5	Se resta la corrección del nivel combinado de presión sonora, medido en el Paso 1, para obtener el nivel de presión sonora de la fuente aislada

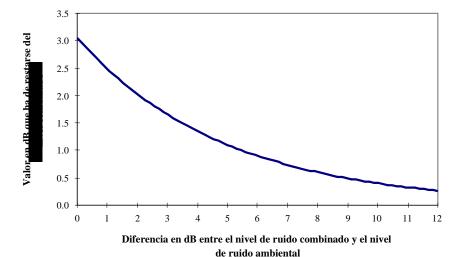


FIGURA 7- 14 Cálculo del nivel de ruido lejano de la fuente [25]

8. SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES ATMOSFERICAS Y RUIDO

8.1 INTRODUCCIÓN

El diseño e implementación de los sistemas de control de emisiones para cada uno de los contaminantes depende de las características del combustible y la tecnología usada. De esta manera la producción de monóxido de carbono e hidrocarburos inquemados esta relacionada con la calidad de la combustión, por lo tanto el control de estas emisiones se realiza mediante una combustión eficiente, es decir el control de inyección de aire/combustible y el control de la temperatura de combustión.

Por otro lado, cuando se utilizan combustibles como gas natural, carbón y destilados del petróleo, no se requiere control de materiales tóxicos, debido a que su contenido en los combustibles es muy pequeña y por lo tanto, la emisión no es significativa.

Cuando se plantea la generación termoeléctrica con combustibles alternos, como residuos sólidos (industriales), llantas y neumáticos, residuos de aceite motor o cualquier otro combustible cuya composición es desconocida o no es usado convencionalmente, es necesario tener en cuenta la emisión de tóxicos y se requiere realizar análisis detallados de su composición y posibles implicaciones en las emisiones, así como los sistemas de control necesarios.

Dado lo anterior, la discusión sobre los sistemas de control de las emisiones esta enfocado hacia el control de material particulado, SO_x , NO_x y ruido.

La implementación de un sistema depende de los requerimientos ambientales gubernamentales, de la tecnología, el tipo de planta y el combustible empleado, lo cual se encuentra íntimamente ligado al análisis de tipo económico y financiero, sobre la decisión del generador de invertir en sistemas de control y usar combustibles sucios y baratos, o usar combustibles limpios y caros, con una baja inversión en sistemas de control de emisiones.

MATERIAL PARTICULADO		Colectores ciclónicos Lavadores de gases Filtros de mangas Precipitadores electrostáticos Humectación de patios Empradización de patios de ceniza
SO_X	:	Desulfurización Control calidad del combustible

Lavado de combustible

 Recirculación de gas de tiro Inyección de agua o vapor Inyección de combustible etapas Inyección de oxígeno puro Combustión por etapas Inyección de aire por etapas Reburning Reducción catalítica 	por

RUIDO	Aislamiento de la vibración Mantenimiento de maquinaria y equipos Revestimientos Silenciadores Cerramientos totales Barreras
-------	--

FIGURA 8-1 Sistemas de control de emisiones atmosféricas y ruido

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01Enero de 1999	TAR 8-1	Página 8-94
--	---------	-------------

8.2 CONTROL DE LA EMISION DE MATERIAL PARTICULADO

La selección del tipo de control de partículas producidas durante el proceso de combustión depende de muchas variables, entre las que se encuentran:

- Flujo volumétrico total (caudal)
- Eficiencia colectora requerida
- Características físicas y químicas de las partículas
- Distribución granulométrica de las partículas
- Concentración de partículas en la corriente de gas
- Temperatura, presión y humedad de la corriente de gas
- Consumo de energía
- Disponibilidad
- Requisitos de mantenimiento

La selección del sistema de control del material particulado producido en los patios de carbón y de ceniza no depende de las características del proceso de combustión, depende del control operativo empleado, según los requerimientos de cada planta.

Los sistemas de control de partículas más usados en la industria de la generación se muestran el la TABLA 8-1. [58]

	Fuel Oil No.2			
Ciclo Stig	Gas Natural			
	Fuel Oil No.2			
	Carbón			
	Gas Natural			
Ciclo Rankine	Fuel Oil No.2			
con turbina a	Fuel Oil No.6			
vapor	Crudo de Castilla			
	Biomasa			
	Residuos pesados			
Ciclo	Gas Natural			
combinado	Fuel Oil No.2			
	Gas Natural			
Motores	Fuel Oil No.2			
	Fuel Oil No.6			
	Carbón			
IGCC	Biomasa			
	Residuos pesados			
AFBC	Carbón			
	Biomasa			
PFBC	Carbón			
FIBC	Biomasa			

TABLA 8- 1 Control de material particulado - tecnología/combustible

		Sistemas de control				
Tecnologia	Combustible	Ciclones	Lavadores de gases	Filtros de mangas	Precipitadores electrostáticos	Humectación de patios
Turbina a gas	Gas Natural					

	Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01Enero de 1999	TAR 8-2	Página 8-95
--	--	---------	-------------

Colectores ciclónicos

En los colectores ciclónicos la corriente gaseosa es forzada a una trayectoria de espiral dentro de una estructura cilíndrica y fondo cónico, el material particulado es separado por las fuerzas centrífugas que se generan dentro del equipo, las partículas de mayor tamaño se depositan en el fondo cónico y las de menor tamaño continúan la trayectoria inicial.

Los colectores ciclónicos se emplean para eliminar partículas con tamaño de 10 µm o mayor, cuando el polvo es grueso, las concentraciones son bastantes altas (superiores a 1gr/ft³), se desea clasificación de las partículas y no se requiere una eficiencia muy alta.

Lavadores de gases

Los lavadores de gases son aparatos colectores de polvo o sustancias contaminantes, los cuales por medio del rocío de una sustancia líquida (agua), finamente atomizada, lavan las partículas o sustancias contaminantes de la corriente gaseosa, arrastrándolas a lo largo de la trayectoria. El tamaño de las partículas removidas varía entre 0.1 y 20 μm . Los lavadores de gases pueden ser de tres tipos: lavadores de cámara de aspersión, lavadores ciclónicos y lavadores venturi.

Los lavadores de gases se utilizan cuando es necesario eliminar partículas finas a una eficiencia relativamente alta, cuando se requiere enfriamiento y recolección de material lavado, cuando los gases son combustibles y es necesario eliminar los contaminantes tanto gaseosos como partículas.

El residuo líquido de los lavadores de gases se debe conducir hasta un tanque sedimentador, de donde se remueve el material sólido que es dispuesto en un relleno sanitario especial o patio de cenizas. El sobrenadante puede ser recirculado en el lavador y en caso de remover cualquier otra sustancia contaminante debe ser tratado adecuadamente.

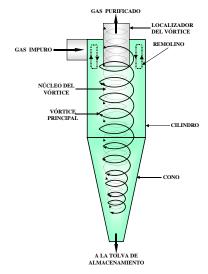


FIGURA 8- 2 Colector Ciclónico Múltiple



FIGURA 8-3 Lavador de gases

Filtros de mangas

En este tipo de control el gas pasa a través de una serie de filtros en forma de manga o bolsa, cuya estructura porosa permite que el material particulado sea retenido. El sistema de filtros de mangas tiene eficiencias del 99% o superiores, cuando colectan partículas mayores de 0.5 μ m. Pueden remover cantidades considerables de partículas de 0.01 μ m. Los filtros de manga presentan ventajas entre las que se incluyen:

- Amplia eficiencia colectora sobre un intervalo amplio de tamaños de partículas
- Bajo consumo de energía
- Extrema flexibilidad de diseño

Los filtros de mangas tienen como desventaja la alta caída de presión a través de los filtros, lo que implica limpiezas más frecuentes y alto consumo de energía.

Estos se emplean cuando se requieren eficiencias altas, se requiere colectar materiales secos, el gas esta siempre por arriba del punto de rocío y los volúmenes y temperaturas del flujo son bajos.

Las cenizas se disponen en un relleno sanitario especial o patio de cenizas.

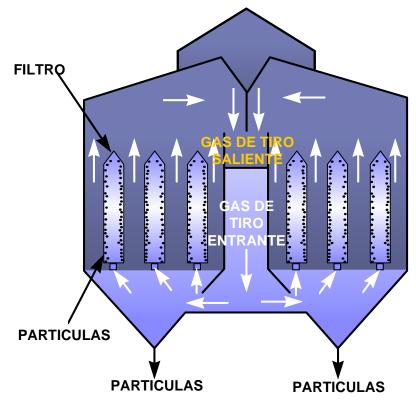


FIGURA 8- 4 Filtro de mangas

Precipitadores electrostáticos

El gas de combustión que transporta el material particulado o ceniza volante, pasa a través de un campo eléctrico, donde las partículas son cargadas y atraídas por un electrodo colector con carga opuesta; por medio de un sistema de golpeo se limpia el electrodo y se recogen las partículas en una tolva localizada en la parte inferior del precipitador.

Este sistema permite manipular grandes volúmenes de gas, presenta alta eficiencia colectora, baja caída de presión y tiene la capacidad de operar con gases a elevadas temperaturas. Se han construido precipitadores electrostáticos para flujos volumétricos desde 100 a 4'000.000 ft³/minuto y se utilizan para remover partículas entre 0.05 y 200 μm .

Los precipitadores electrostáticos se emplean por lo general cuando se requieren eficiencias muy altas para la eliminación de polvos finos, el volumen de gases es alto y es necesario recuperar materiales valiosos sin modificaciones físicas.

Actualmente este sistema es ampliamente utilizado en centrales de generación termoeléctrica que operan con base en carbón y presenta eficiencias probadas de hasta el 99,8%.

Los precipitadores electrostáticos también pueden ser húmedos, en este arreglo se combina un precipitador electrostático con un lavador de gases. El sistema también se conoce como un lavador aspersor electrostático. Este tipo de precipitador presenta una mejor eficiencia para el caso de partículas pequeñas $(0.5 \text{ a } 5 \text{ } \mu\text{m})$.

Las cenizas colectadas en las tolvas del precipitador electrostático deben ser dispuestas en un relleno sanitario especial o patio de cenizas, conjuntamente con las cenizas de fondo colectadas directamente en la cámara de combustión.

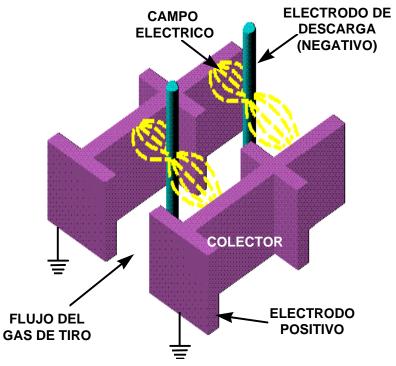


FIGURA 8- 5 Precipitador Electrostático

Control de la emisión de material particulado de patios

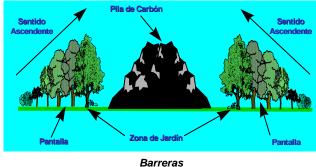
El control de la emisión de material particulado a partir de los patios de ceniza y carbón se realiza de dos maneras principalmente. Aislando los patios de la acción directa del viento sobre su superficie o aumentando el peso específico de las partículas o aglutinándolas para evitar su resuspensión por el viento.

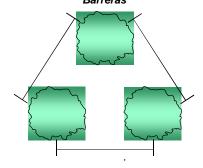
El primer método consiste en colocar *barreras alrededor de los patios* para evitar la acción del viento, esto se puede llevar a cabo mediante la siembra de una *barrera espesa de arboles en multiestrato y tresbolillo* (Ver FIGURA 8- 6), colocando barreras de polietileno o mallas que retienen las partículas e impiden la acción del viento. Otra medida consiste en la empradización del área de disposición de cenizas, que se realiza por medio de la siembra directa de una especie sobre el montículo de ceniza.

El segundo método consiste en el *riego permanente de la pila*, que se realiza con agua o con una solución acuosa que contiene un acondicionante químico (surfactante) que actúa sobre la superficie de las partículas aglutinándolas, aumentando su peso específico y formando una película sobre la pila de material que no puede ser resuspendida.

Un aspecto a tener en cuenta es que la humectación excesiva genera lixiviados, erosión y arrastre de partículas, además el agua transporta oxigeno disuelto que puede contribuir a la combustión espontánea de la pila de carbón, por lo que el riego debe ser controlado y calculado de forma que se humecte solamente la superficie de la pila y no se presente agua de exceso para infiltración o escorrentia superficial. Esto se logra si el riego se realiza por medio de aspersores de rocío con camión o sistema de riego y la tasa de aplicación es calculada de acuerdo con parámetros como la evaporación superficial horaria.

Para los dos métodos, el control debe ser complementado con una buena compactación del material de la pila, la emisión es menor a medida que aumenta la compactación y humedad superficial.





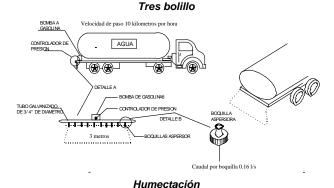


FIGURA 8- 6 Sistemas para el control de material particulado de patios

8.3 CONTROL DE LA EMISION DE SOX

Control postcombustión

El control en la postcombustión del SO_x se realiza mediante la desulfurización de los gases de escape. Para llevar a cabo la desulfurización se emplean reactivos químicos tales como sodio, magnesio, calcio u otros materiales de base alcalina que reaccionan con el SOx para formar una sal inerte la cual se colecta como un residuo sólido. La cal y la piedra caliza son los reactivos más comúnmente usados en procesos de desulfurización.

La cal, compuesta de calcio y oxígeno (CaO) reacciona con el SO_2 para formar un producto sólido que es el sulfito de calcio (CaSO₃). La piedra caliza (CaCO₃) en caliente se descompone en cal (CaO) y dióxido de carbono (CO₂), la cal reacciona con el SO_2 , formando una vez más sulfito de calcio (CaSO₃).

Los procesos de desulfurización de los gases de combustión se pueden agrupar de la siguiente manera: (i) regenerativos o no regenerativos y (ii) húmedos o secos.

Los procesos *no regenerativos* son aquellos en los que se forma un producto sólido residual, que se desecha, por tanto es necesario añadir continuamente nuevos productos químicos. En los procesos regenerativos, el agente de remoción se puede regenerar y volver a usar continuamente en un sistema de circuito cerrado.

Por otro lado, en los procesos *húmedos o secos* la diferencia radica en el modo de suministrar al proceso el agente de remoción activo, si éste se aplica de manera sólida o en solución acuosa.

La eficiencia de remoción del ${\rm SO_x}$ varía desde el 50% hasta el 90% dependiendo del sistema empleado. Para cualquiera de los sistemas que se empleen es necesario contar con instalaciones adicionales para el manejo del subproducto, el cual según su composición, pureza y calidad puede ser usado en la industria cementera, de construcción o de cerámica.

		SOx				
Tecnología	Combustible	Desulfurización	Control calidad combustible	Lavado de combustible		
Turbina a gas	Gas Natural					
	Fuel Oil No.2					
Ciclo Stig	Gas Natural					
Cicio Stig	Fuel Oil No.2					
	Carbón					
	Gas Natural					
Ciclo Rankine	Fuel Oil No.2					
	Fuel Oil No.6					
	Crudo de Castilla					
	Biomasa					
	Residuos pesados					
Cicio	Gas Natural					
Combinado	Fuel Oil No.2					
	Gas Natural					
Motores	Fuel Oil No.2					
	Fuel Oil No.6					
	Carbón					
IGCC	Biomasa					
	Aceites pesados					
AFBC	Carbón					
	Biomasa					
PFBC	Carbón					
	Biomasa					

TABLA 8- 2 Control de SO_x por tecnología y combustible

Lavado del combustible

El azufre está presente en el carbón bajo dos formas principales: orgánica e inorgánica. El compuesto inorgánico conocido como pirita de hierro (FeS_2) se encuentra en forma de partículas fijadas superficialmente al carbón y pueden ser removidas físicamente por gravedad mediante el lavado con agua.

Ya que el contenido de pirita varia de acuerdo con la fuente del carbón, se debe realizar un análisis sobre el contenido de pirita, la necesidad y eficiencia esperada de la remoción de azufre por este método, antes de su aplicación.

Las aguas de lavado de la pirita deben ser tratadas para retirarle los compuestos de azufre antes de ser dispuestas o reutilizadas en el proceso.

Control de la calidad del combustible

Para asegurar que la emisión de SOx se encuentre dentro de los rangos permitidos por la ley se puede establecer un control estricto sobre el contenido de S en el combustible; esta práctica es muy común en Colombia e incluso el contenido de S del combustible condiciona el precio del mismo, así combustibles con altos contenidos de S se pagan a menor precio que aquellos que tienen un menor contenido de S.

Otra forma de controlar la emisión de SOx de acuerdo a los límites legales es la utilización de mezclas de un mismo combustible que proviene de diferentes fuentes y que contiene diferentes concentraciones de S.

La mezcla de combustibles de alto y bajo contenido de azufre deberá realizarse de tal manera que la mezcla final garantice los límites de emisión fijados para la planta de generación.

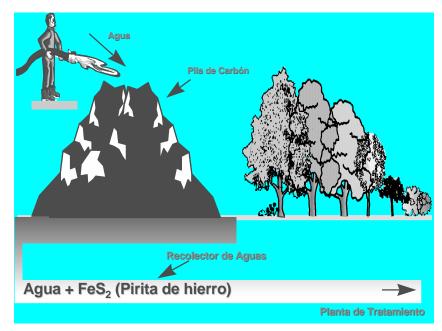


FIGURA 8-7 Lavado de combustible

8.4 CONTROL DE LA EMISIÓN DE NOX

Existen dos mecanismos de formación de NOx:

- NO_x térmico
- NO_x combustible

El NO_x térmico se forma de la reacción, a altas temperaturas, entre el nitrógeno y el oxígeno contenidos en el aire inyectado para la combustión. El NO_x combustible se forma a partir de la reacción entre oxígeno del aire inyectado y el nitrógeno contenido en el combustible.

Existen diferentes técnicas de control, entre los que se encuentran las que controlan la formación de los NOx y los que eliminan los NOx de los gases de emisión (TABLA 8-3). La utilización y selección de uno u otra técnica de control depende específicamente de factores asociados a: tecnología de combustión; niveles de emisión requeridos; eficiencia de la combustión y costos de operación y mantenimiento del sistema de control.

Los *quemadores de bajo NOx*:, en turbinas a gas utilizan una combinación de las técnicas de control de formación del NOx, de acuerdo a diseños específicos de cada fabricante, se han reportado emisiones de 25 ppm empleando gas natural como combustible y de 42 ppm empleando Fuel Oil No. 2, en una turbina a gas de 80 MW.

En calderas las técnicas de control de formación de NOx se combinan con la disposición de los quemadores (tangenciales, verticales etc) y alimentación de combustible. De esta forma se han obtenido reducciones de NOx entre el 30% y el 60%, dependiendo de los diseños de cada fabricante.

TABLA 8- 3 Control de NO_x por tecnología y combustible

	Combustible	Método de control							
Tecnología		RGT	IVA	ICE	102	CE	IAE	Rbg	SNCR SCR
Turbina a gas	Gas Natural								
	Fuel Oil No.2								
Ciclo Stig	Gas Natural								
	Fuel Oil No.2								
Ciclo Rankine con turbina a vapor	Carbón								
	Gas Natural								
	Fuel Oil No.2								
	Fuel Oil No.6								
	Crudo de Castilla								
	Biomasa								
	Residuos pesados								
Ciclo	Gas Natural								
Combinado	Fuel Oil No.2								
	Gas Natural								
Motores	Fuel Oil No.2								
	Fuel Oil No.6								
IGCC	Carbón								
	Biomasa								
	Residuos pesados								
AFBC	Carbón								
	Biomasa								
PFBC	Carbón								
PERC	Biomasa								

RGT : Recirculación de gas de tiro
IVA : Inyección de agua o vapor
ICE : Inyección de combustible por etapas
IO₂ : Inyección de oxígeno puro
CE : Combustión por etapas
IAE : Inyección de aire por etapas

Rbq : Reburning

SNCR – SCR : Reducción catalítica no selectiva - selectiva

Control del NO_x térmico

El principal factor que condiciona la formación del NOx térmico es la temperatura, por tanto el control se fundamenta en la disminución de la temperatura de llama para inhibir la reacción entre el nitrógeno y el oxígeno del aire inyectado. Las técnicas más usadas son:

RECIRCULACIÓN DEL GAS DE TIRO: la recirculación del gas de tiro consiste en que parte de los gases fríos de la combustión, se toman antes de ser emitidos a la atmósfera y se reinyectan en la zona de combustión. Este gas adicional actúa como un sumidero térmico y reduce la temperatura de llama global. Adicionalmente se reduce la concentración de oxígeno. Ambos efectos favorecen una reducción de la formación y por tanto de la emisión de NO_x.

INYECCIÓN DE AGUA O VAPOR: durante el proceso de la combustión reduce la temperatura de llama y por lo tanto la formación de NO_x hasta en un 80%. Este método implica el costo del tratamiento del agua (desmineralizada) o vapor de inyección. Este sistema presenta una alta emisión de vapor de agua a la atmósfera, el cual no es recuperable.

INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE POR ETAPAS: esta técnica opera mediante la inyección de exceso de aire a la cámara de combustión, en una primera etapa, con el fin reducir la temperatura de llama e inhibir la formación de NO_x . El combustible primario es inyectado con aire de exceso para obtener una mezcla pobre en combustible, por consiguiente la temperatura de llama es reducida, al igual que la formación de NO_x térmico, con el fin de completar el proceso de combustión se inyecta combustible secundario con bajo exceso de aire, en una etapa posterior.

<u>INYECCIÓN DE OXÍGENO PURO:</u> la formación de NO_x térmico se puede controlar por medio de la inyección de oxígeno (O_2) al aire inyectado para la combustión. De esta forma se reduce la concentración de Nitrógeno en la cámara de combustión y así mismo la formación de NO_x .

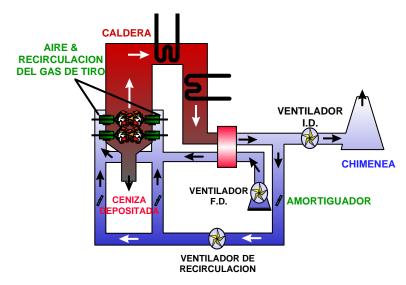


FIGURA 8-8 Recirculación de Gas de Tiro

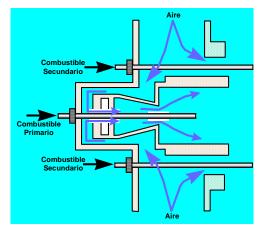


FIGURA 8- 9 Invección de combustible por etapas

Control del NO_x combustible

La formación de NO_x debido al combustible se presenta en las primeras etapas de la combustión, por lo tanto es necesario reducir, en este punto, el oxígeno disponible. Los métodos de control de NO_x combustible, más usados son: combustión por etapas e inyección de aire por etapas.

COMBUSTIÓN POR ETAPAS: este control se aplica en calderas y se realiza por medio de la instalación de quemadores horizontales de niveles múltiples. Los quemadores inferiores son operados con un suministro deficiente de aire, es decir se tiene una mezcla rica en combustible. De esta forma debido a la insuficiencia de oxígeno disponible para mezclarse con el nitrógeno, se obtiene una combustión incompleta y en consecuencia disminuye el nivel de formación de NO_x. En una segunda etapa, quemadores superiores son abastecidos con suficiente aire con el fin de completar el proceso de combustión.

<u>INYECCIÓN DE AIRE POR ETAPAS</u>: el combustible en la etapa inicial de la combustión es inyectado con insuficiente aire de exceso, de esta forma se obtiene una combustión incompleta y se disminuye la producción de NO_x debido al combustible. Adicionalmente, aire de combustión debe ser suministrado en las etapas posteriores con el objeto de completar el proceso de combustión.

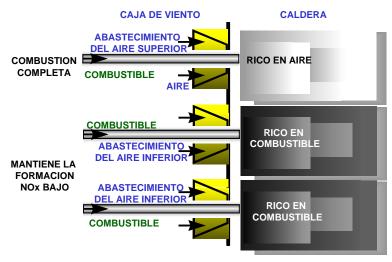


FIGURA 8- 10 Combustión por etapas

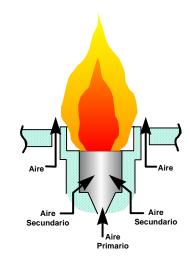


FIGURA 8-11 Inyección de aire por etapas

Reburning

Este método consiste en la inyección de combustible después de la zona de combustión primaria, de tal manera que el combustible para su oxidación toma el oxígeno del NO_x de los gases de combustión, para formar CO_2 , el NO_x pasa a formar nitrógeno molecular (N_2) . El reburning se emplea para controlar la emisión tanto de NO_x térmico, como la de NO_x combustible, ya que actúa directamente en los gases de emisión y no en el proceso de formación de los NO_x .

Control postcombustión

El control de NOx después de la combustión se realiza mediante un tratamiento catalítico aplicado a los gases de combustión.

Este método consiste en realizar una reducción del NO_x , mediante la reacción con un compuesto que reduce los NO_x a nitrógeno molecular (N_2) en presencia de un catalizador. La reducción catalítica puede ser selectiva (SCR) o no selectiva (SNCR).

En la reducción selectiva (SCR), el catalizador y el agente reductor conllevan a reducir preferiblemente el NO_x . En la reducción no selectiva (SNCR) se consume primero el exceso de O_2 de los gases de combustión.

La reducción selectiva se puede llevar a cabo con hidrógeno molecular (H₂), monóxido de carbono (CO), amoniaco (NH₃) o sulfuro de hidrógeno (H₂S) como gas reactivo y con un catalizador adecuado.

En algunos casos, dependiendo del sistema de control pueden existir residuos que deben ser colectados, tratados y dispuestos correctamente. Específicamente cuando se usa amoniaco (NH $_3$), este reacciona con el NO $_x$ y se produce nitrógeno y agua, sustancias que pasan a través de la chimenea hacia la atmósfera como nitrógeno (N $_2$) y vapor.

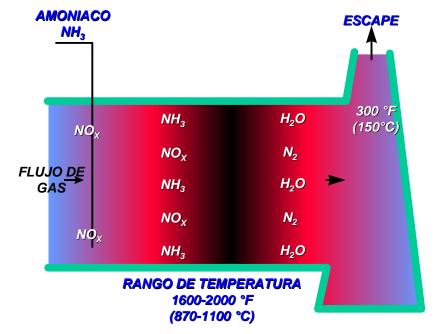


FIGURA 8- 12 Proceso de Reducción Catalítica Selectiva

8.5 CONTROL DEL RUIDO

El ruido puede ser controlado de dos maneras, la primera es el control directamente en la fuente y la segunda es el control a lo largo de la trayectoria de difusión de la onda sonora, en las estructuras que reciben la onda o directamente en el receptor expuesto.

El primer grupo de métodos de control incluye el mantenimiento preventivo, ya que partes sueltas, desalineadas o desincronizadas son una fuente de ruido importante. Por otro lado, los fabricantes de equipos electromecánicos ajustan sus diseños de acuerdo a las especificaciones del comprador, por lo tanto es importante, en la fase de diseño, conocer los niveles de ruido que debe satisfacer la planta, la localización de los receptores sensibles, los usos del suelo de los alrededores y los costos que conlleva satisfacer los niveles de ruido exigidos.

Modificaciones o sustituciones

Se puede reducir el ruido generado por una máquina reemplazando las partes generadoras de ruido por componentes silenciosos o empleando materiales alternos que atenúen el ruido, para determinados componentes. Por ejemplo, el ruido producido por el impacto y la vibración de las partes metálicas se puede reducir considerablemente por medio de la adición de amortiguadores o sustituyendo algunas partes que no soportan cargas por materiales plásticos u otros materiales de amortiguación.

Sin embargo es importante tener en cuenta que modificaciones mecánicas realizadas a las partes rotatorias o vibratorias de una fuente de ruido pueden alterar su diseño electromecánico original y afectar su rendimiento y operatividad, por lo tanto es necesario consultar con el fabricante los cambios que se realizan al equipo y su influencia en el sistema general. Por otro lado es importante realizar un análisis de los costos que conlleva el sistema de amortiguamiento.

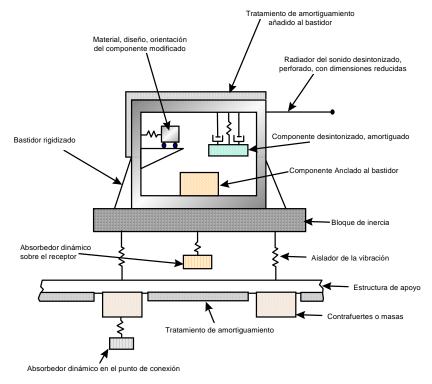


FIGURA 8- 13 Modificaciones y aislamiento de la vibración

Aislamiento de la vibración

Durante la operación de los equipos, estos pueden emitir gran cantidad de ruido, aún cuando la vibración generada por estos sea casi imperceptible. Para controlar el ruido, las superficies deben aislarse del mecanismo vibratorio por medio de montajes de aislantes de la vibración, frenos o almohadillas entre la fuente vibratoria y la superficie de radiación. Es importante tener en cuenta que modificaciones mecánicas realizadas a las partes rotatorias o vibratorias de una fuente de ruido pueden alterar su diseño electromecánico original y afectar su rendimiento y operatividad.

Mantenimiento apropiado

Un equipo funcionando de manera incorrecta o con mantenimiento deficiente produce más ruido que el que produce cuando se encuentra en buenas condiciones. Por ejemplo, las fugas de vapor generan altos niveles de ruido. Adicionalmente pueden producir ruidos innecesarios los cojinetes de bolas en mal estado, engranajes gastados, bandas flojas, partes de rotación que estén desbalanceadas, partes cuya lubricación es insuficiente, levas mal ajustadas, entre otros. Estos tipos de fuentes de ruido tienen en común que sus emisiones de ruido pueden ser controladas fácilmente y aunque no existe una manera simple de predecir la emisión de ruido, el control puede lograrse a través de un mantenimiento adecuado.

Los silenciadores se utilizan para reducir el ruido asociado con el flujo de gases a gran velocidad o corrientes de chorro, a la entrada o salida de los gases de las máquinas o el generador. Un silenciador posee tres características principales en función de la velocidad de los gases: a) pérdida por inserción (diferencia entre los niveles sonoros antes y después). b) caída de presión y c) ruido propio, si no se reduce bastante la velocidad de los gases a la entrada del silenciador este puede convertirse en una fuente adicional de ruido.

Existen dos tipos de silenciadores: los primeros actúan como disipadores de energía acústica (mediante la vibración del material del silenciador) y los segundos confinan la energía acústica mediante el fenómeno de la reflexión y anulación de ondas por interferencia destructiva. Es importante tener en cuenta que el material reflectivo y su diseño específico puede actuar también de manera constructiva, es decir sumar las ondas reflejadas, por lo que el nivel de ruido puede aumentar de manera considerable.

Silenciadores

Revestimiento

El revestimiento de tuberías, ductos y otras superficies que transportan fluidos o gases a alta presión y temperatura que son fuente de presión sonora, requieren la aplicación de materiales absorbente de ruido. Un ejemplo de revestimiento consiste en: una capa interior resiliente (2.5 a 10 cm de fibra de vidrio) y una capa exterior hermética (aluminio o acero suave). En muchos casos, el revestimiento puede combinarse con el aislamiento térmico.

Adición de revestimiento

Un método comúnmente utilizado para la reducción de ruido en un cuarto cerrado es revestir las superficies internas (cielo raso y paredes) con materiales absorbentes. En la TABLA 8- 4 se puede observar el coeficiente de absorción de diferentes materiales.

Cuando una onda sonora penetra en los poros del material absorbente, la vibración de las moléculas de aire es amortiguada por la fricción contra las superficies de las fibras o partículas de la estructura porosa del material absorbente, atenuando el ruido y produciendo calor. El revestimiento tiene un efecto de reducción menor cerca de las fuentes sonoras, mientras que a mayores distancias de las fuentes se puede obtener una reducción significativamente mayor.

MATERIALES	Coeficiente de absorción del sonido (dB(A))		
Ladrillo	0,04		
Ladrillo pintado	0,02		
Alfombra pesada sobre concreto	0,37		
Bloque de concreto áspero	0,29		
Bloque de concreto pintado	0,07		
Concreto	0,02		
Linóleo, asfalto, hule o baldosas de corcho sobre concreto	0,03		
Madera	0,07		
Vidrio ordinario para ventanas	0,12		
Baldosas de mármol	0,01		
Aire (sabine* por 1000 ft ³ a 50% de humedad relativa)	0,9		

^{*} Unidad de absorción acústica

TABLA 8- 4 Coeficientes de absorción de diferentes materiales [20]

	Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01Enero de 1999	TAR 9-1	Página 9-108
--	--	---------	--------------

Cerramientos totales

Los cerramientos totales son estructuras que rodean por completo la fuente de ruido, reteniendo el sonido generado. Sin embargo, éstos pueden provocar una acumulación de alto nivel de la energía acústica, razón por la cual este control consiste en muros que proporciona la atenuación requerida por medio de un revestimiento interior de material poroso, el cual se emplea para disipar la acumulación de la energía acústica. El mecanismo de reducción de ruido es el mismo que el empleado en el revestimiento para los cuartos descrito anteriormente y se emplea para proteger cuartos de control y otros donde el personal está expuesto durante la jornada de trabajo.

La mayoría de materiales absorbentes de ruido actúan también como aislantes térmicos y por tanto el área aislada puede sufrir un incremento considerable de temperatura, aspecto de importancia ya que puede ser necesario implementar sistemas de ventilación o enfriamiento. Se debe revisar especialmente los aspectos asociados a seguridad industrial por el aumento del riesgo de incendio.

Barreras

Una barrera es un obstáculo en la trayectoria de la onda sonora que se utiliza como receptor de las ondas emitidas por una fuente. La barrera puede actuar por medio de atenuación debida a la difracción o a la absorción (dependiendo del material de construcción) y también por la atenuación debida a la absorción por el suelo que separa la barrera de la fuente. Las barreras se diseñan para proporcionar la reducción necesaria del sonido transmitido a través de ella y para evitar que el sonido refractado alrededor de los bordes llegue a ser significativo. Una barrera que se coloque a la mitad del camino entre la fuente y el receptor requerirá mayores dimensiones que una barrera colocada cerca de la fuente o cerca del receptor, para obtener una reducción de ruido significativa.



CERRAM
FIGURA 8- 14 Cerramientos totales y parciales

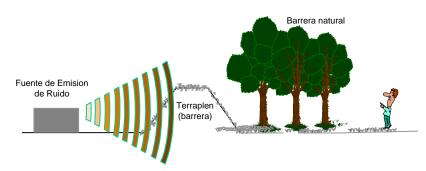


FIGURA 8- 15 Barreras

9. MONITOREO Y ESTIMACION DE LOS EFECTOS SOBRE LA CALIDAD DE AIRE

9.1 INTRODUCCIÓN

La calidad del aire se puede definir como el nivel de concentración de sustancias o elementos contaminantes presentes en el aire y que dado su nivel o concentración pueden llegar a afectar la salud humana, la fauna, la flora, ensuciar y deteriorar las estructuras y el espacio público.

El monitoreo y seguimiento, tanto de la calidad del aire como del ruido, tiene, entre otros, los siguientes objetivos:

1	Verificar el cumplimiento de los límites legales de calidad del aire y ruido vigentes o validar límites propuestos
2	Evaluar el impacto ambiental que causan las emisiones de contaminantes y ruido sobre receptores de interés.
3	Evaluar estrategias de control de emisiones atmosféricas y ruido.
4	Servir de instrumento para validar modelos de dispersión de contaminantes y ruido.
<i>4 5</i>	•

En términos generales, existen dos formas para medir o estimar la calidad del aire de un sitio :

- Medición directa de cada uno de los contaminantes, utilizando los métodos indicados por la normatividad colombiana, o cualquier método normalizado, especialmente los de la EPA.
- 2. Aplicación de modelos de dispersión de contaminantes y de ruido

Es importante tener en cuenta que tanto los métodos de monitoreo como los modelos de estimación de calidad del aire, ruido, y normas legales, son objeto de estudio y revalidación continua, esta guía solo contiene los aspectos básicos, por lo que es necesario su estudio cuidadoso para la aplicación en un caso especifico y se requiere la aprobación de la autoridad ambiental para el uso de cualquier método, cuando no se encuentra especificado en la legislación Colombiana.

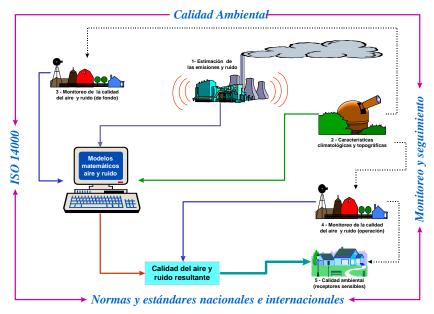


FIGURA 9- 1 Estructura del sistema de monitoreo y evaluación de la calidad del aire

9.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

La medición de la concentración de contaminantes en el aire ambiente debe realizarse de acuerdo con los métodos establecidos por la normatividad Colombiana. Para aquellos parámetros *no tratados en la presente guía o para los que no existe norma* se recomienda la utilización de los métodos de referencia de la EPA. (National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards). TABLA 9-1 [16]

Además de la correcta aplicación de los métodos de medición, la determinación de la calidad del aire en las áreas de influencia de las plantas de generación termoeléctrica o de cualquier sitio en particular, implica, tener en cuenta algunos criterios para la selección de los sitios de monitoreo, para el diseño de un programa de toma de muestras y el procesamiento y análisis de la información obtenida.

Selección de sitios de monitoreo

Las mediciones de calidad del aire se basan en el análisis de muestras muy pequeñas que deben ser lo suficientemente representativas para poder cumplir con los objetivos propuestos para el estudio. En este sentido, la localización de los puntos de muestreo representan, uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en el desarrollo de un programa de monitoreo. [6]

Frecuencia de muestreo

El Decreto 02/82 establece la frecuencia de muestreo para algunos contaminantes, la duración del muestreo debe ser determinada por la autoridad ambiental competente, sin embargo, se debe recolectar un numero de muestras suficiente para poder realizar un análisis estadístico y establecer el comportamiento de los contaminantes para diferentes épocas del año y condiciones climáticas. TABLA 9-2.

TABLA 9- 1 Métodos para la determinación de contaminantes en el aire

Método de referencia EPAª

Norma Colombiana

Contaminante

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01Enero de 1999	TAR 9-2	Página 9-111

Material Gravimétrico: High-Vol Gravimétrico: High-Vol Res. 2608/86 particulado PM - 10 No está regulado Gravimétrico Pararosanilina Pararosanilina SO₂ Fluorescencia b Res. 19622/85 Colorimétrico Quimioluminiscencia NO₂ Res. 03194/83 Arsenito de Sodio b Analizador infrarrojo no CO dispersivo Analizador infrarrojo no dispersivo Dec. 02/1982 Detector de ionización de llama de Hidrocarburos No está regulado hidrógeno

TABLA 9-2 Frecuencia de muestreo para análisis de calidad del aire

Contaminante	Frecuencia mínima de muestreo
Partículas en suspensión	Una muestra tomada en forma continua durante 24 horas, cada tres días
Dióxido de azufre	Una muestra tomada en forma continua durante 24 horas, cada tres días
Monóxido de carbono	Una muestra diaria tomada en forma continua de 6 a.m. a 10 p.m. en periodos de 8 horas
Óxidos de nitrógeno	Una muestra tomada en forma continua durante 24 horas, cada tres días

Decreto 02 de 1982.

a Parte 50 National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards. EPA USA. b Método equivalente de la EPA

Análisis de resultados

La información colectada por medio de los muestreos de calidad del aire debe someterse a análisis estadístico y representación gráfica con el fin de comprobar la confiabilidad estadística de la información y verificar el cumplimento de los objetivos del muestreo.

Una vez definida la frecuencia de muestreo y número de muestras, se debe definir de manera gráfica el comportamiento observado de los contaminantes, mediante la elaboración de diagramas de barras u otro tipo de gráficas como curvas de tendencia, con lo cual se obtenga una descripción gráfica del comportamiento temporal y espacial de los contaminantes tal como fueron evaluados.

Con la anterior información, se puede efectuar la comparación de los resultados contra las normas de calidad vigentes o por medio de índices de calidad del aire, también se puede se pueden usar los resultados para determinar la eficacia de los sistemas de control adoptados para alguna fuente, por medio de los resultados de mediciones de la calidad del aire antes y después, bajo las mismas condiciones climáticas y validar los modelos de dispersión.

- Valores máximos y mínimos determinados
- Desviación estándar
- Curvas de frecuencia

Criterios para la selección de sitios de monitoreo

Para la ubicación de los puntos de muestreo se deben tener en cuenta los siguientes criterios generales:

- a) Localizar el muestreador en un área sin obstrucciones para el flujo de aire, especialmente en la dirección de las fuentes.
- b) Uniformidad en cuanto a la altura sobre el suelo. Se recomienda que la toma de muestra se realice entre 2 y 6 m sobre el suelo, con el fin de evitar que los equipos capten material particulado que se resuspende en los alrededores del sitio de muestreo.
- c) Tener en cuenta efectos producido por colinas, cuerpos de agua, valles etc.
- d) Debe evitarse la influencia de corrientes de aire de tipo convectivo.
- e) En el caso de las fuentes puntuales y fuentes de área, se deben seleccionar los sitios más apropiados viento abajo de la fuente.
- f) Para emisiones por chimenea, si es posible, por medio de modelación matemática buscar los sitios de máxima concentración.
- g) Alrededor de fuentes de área es recomendable localizar el muestreador a lo largo del perímetro de la fuente.
- Cuando se tiene combinación de fuentes, lo ideal es utilizar modelos de dispersión para identificar las zonas de máxima concentración.
- i) Es conveniente que los puntos de muestreo sean definidos y acordados con la autoridad ambiental competente.

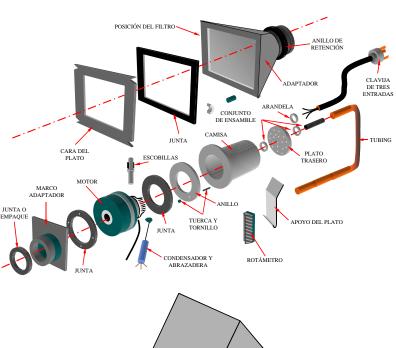
Análisis de resultados

El análisis estadístico puede incluir:

- Promedio geométrico de las concentraciones
- Promedio aritmético de las concentraciones

Determinación de material particulado suspendido en el aire ambiente (método High - Vol). Apéndice B, parte 50 (Colombia Resolución 2608/86)

- Aplicabilidad: este método es aplicable para la determinación de la concentración de partículas en suspensión en el aire ambiente.
- Principio: el método está basado en la determinación gravimétrica de las partículas recogidas (>3 µm) en un filtro por el que ha pasado un volumen conocido de aire a una tasa de flujo mínima de 40 ft³/min. Un muestreador, aspira una cantidad determinada de aire, durante un período nominal de 24 horas. El filtro es pesado antes y después del proceso para determinar el peso de las partículas retenidas. El volumen total de aire muestreado a las condiciones estándar (25 °C, 760 mm Hg [101 kPa]), es determinado al medir caudal y el tiempo de muestreo. La concentración total de material particulado en el aire se halla al dividir la masa de las partículas por el volumen de aire muestreado, se expresa en μg/m³. Los muestreadores de alto volumen se deben calibrar de manera continua antes de cada medición y ajustar el caudal de succión por encima del mínimo requerido, el volumen de aire recogido se debe corregir para las condiciones de sitio.
- Rango: el rango aproximado de concentraciones que mide el método varía de 2 a 750 μg/m³. El límite superior es determinado por el punto en el cual el muestreador no puede mantener el flujo especificado debido a la caída de presión por la carga en el filtro y el inferior por la sensibilidad de la balanza para determinar el peso.



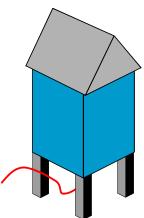


FIGURA 9- 2 Muestreador de alto volumen

Método para la determinación de material particulado como PM-10 en el aire ambiente. Apéndice J, parte 50

- Aplicabilidad: el método aplica para la determinación de la concentración de material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual a 10 micras (PM₁₀) durante un período de 24 horas.
- Principio: a una tasa de flujo constante, se toma una muestra del aire ambiente. El material suspendido es inercialmente separado en uno o varios tamaños, dentro del rango de las PM₁₀. Cada fracción es recolectada en un filtro para cada período de muestreo. Después de equilibrar la humedad cada filtro es pesado, antes y después, para determinar el peso neto (masa) adquirido al recolectar las partículas PM₁₀. El volumen total de aire muestreado, es corregido a las condiciones de referencia (25 °C, 101 kPa), es determinado por la medición del caudal y el tiempo de muestreo. La concentración en masa de PM₁₀ en el aire se calcula como la masa total de partículas PM₁₀ recolectadas dividida por el volumen de aire muestreado y se expresa en μg/m³ standard de aire succionado. Se deben calibrar de manera continua antes de cada medición y ajustar el caudal de succión por encima del mínimo requerido.
- Rango: el límite inferior del rango de concentración de masa se determina por la repetibilidad del pesado de filtros, asumiendo un volumen de aire nominal para el muestreo. El límite superior no puede ser especificado con precisión, debido a que es una compleja función de las características de las partículas: distribución de tamaños, humedad, tipo de filtro y otros factores. No obstante, todos los muestreadores pueden ser capaces de medir concentraciones de masa de PM₁₀ en 24 horas de mínimo 300 μg/m³ satandard, manteniendo las condiciones de operación especificadas. La precisión de los muestreadores de PM₁₀ puede ser de 5 μg/m³ para concentraciones PM₁₀ por debajo de 80 μg/m³ y de un 7% para concentraciones superiores a 80 μg/m³.

Determinación de dióxido de azufre en el aire ambiente (método de pararosanilina). Apéndice A Parte 50 (Colombia Resolución 19622/85)

- Aplicabilidad: se utiliza para determinar la concentración de SO₂ en el aire ambiente, usando períodos de muestreo desde 0,5 a 24 horas.
- Principio: se succiona aire ambiente y se hace burbujear en una solución de Tetracloromercurato de potasio (TCM). El SO₂ presente en el aire, reacciona con la solución de TCM para formar un complejo estable a oxidantes fuertes pero térmicamente inestable, este complejo se hace reaccionar con Ácido Sulfámico, Formaldehído y Pararosanilina para formar el Ácido Metilsulfámico de Pararosanilina, de color rojo intenso. En un espectrofotómetro se mide la absorbancia a 548 nm, la concentración de SO₂ en el ambiente es calculada y expresada en microgramos por metro cúbico estándar (μg / std m³).
- Rango: el límite inferior de detección de SO₂ es de 25 μg de SO₂/m³ (0.01 ppm) en una muestra de aire de 30 lt estándar, cuando se tienen cortos periodos de muestreo (1 hora) y una concentración de 13 μg de SO₂/m³ (0.005 ppm) en una muestra de 288 lt estándar cuando se tienen largos periodos de muestreo (24 horas). Concentraciones por debajo de 25 μg de SO₂/m³ pueden ser medidas al muestrear grandes volúmenes de aire ambiente; sin embargo, la eficiencia de recolección cae rápidamente a bajas concentraciones. Se pueden medir concentraciones mayores de SO₂ por recolección de pequeños volúmenes de aire, al incrementar el volumen de la solución absorbente o por dilución de una pequeña porción de la muestra recogida con una solución absorbente, previo al análisis.

Dada la inestabilidad del complejo formado por la reacción entre el SO₂ y el TCM, es importante manejar la muestra a temperatura de laboratorio o inferior a ésta. Se debe calibrar el orificio de succión antes de cada muestreo el volumen de aire recogido se debe corregir para las condiciones de sitio. (Temperatura y presión atmosférica).

Método equivalente para la determinación de dióxido de azufre en el aire ambiente (Fluorescencia)

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01Enero de 1999

- Aplicabilidad: se utiliza para determinar la concentración de SO₂ en el aire ambiente.
- Principio: El método se basa en el fenómeno de fluorescencia, que consiste en la absorción de luz en una longitud de onda y la subsecuente emisión de luz en una longitud de onda mayor.
- La muestra de aire es iluminada con luz ultravioleta (210 nm) continua o en pulsos, la fluorescencia resultante es medida por un detector sobre el cual no incide la luz ultravioleta. El detector está equipado con un filtro (350nm) para aumentar la especificidad de las mediciones.
- Rango: este tipo de sistemas tiene una respuesta lineal en el rango de 0 a 5 ppm, para concentraciones mayores es posible instalar sistemas de dilución.

Método Colorimétrico para el análisis de NO₂ en el aire ambiente, promedio en 24 horas (Colombia Resolución 03194/83)

- Aplicabilidad: este método es aplicable para la determinación de dióxido de nitrógeno en el aire.
- Principio: se succiona aire ambiente y se hace burbujear en una solución trietanolamina que absorbe el dióxido de nitrógeno. El análisis posterior es realizado usando un reactivo que forma un compuesto azo-colorante. El color producido por el reactivo es medido en un espectrofotómetro a 540 nm.
- Rango y sensibilidad: el rango de la concentración del aire para el que este método se puede usar con confianza está entre 10 a 1000 μg/m³ (0.005 a 0.50 ppm), tomando como base un período de muestreo de 24 horas. El comportamiento del método para niveles de NO₂ por encima de 1000 (0.5 ppm) no ha sido establecido.

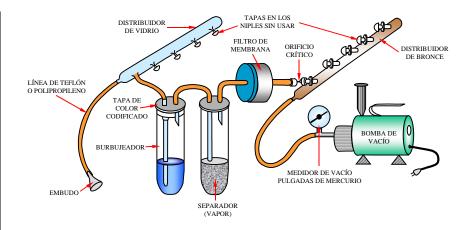


FIGURA 9-3 Medidor de gases para SO₂ y NOx

La sensibilidad del método depende del reactivo de GRIESS SALTZMAN. La precisión del método expresada como la desviación estándar es de \pm 12 $\mu g/m^3$ (0,006 ppm) en un muestreo de 24 horas, para una media de 81 $\mu g/m^3$ (0,043 ppm) comparado con un analizador colorimétrico continuo.

Se debe calibrar el orificio de succión antes de cada muestreo el volumen de aire recogido se debe corregir para las condiciones de sitio. (Temperatura y presión atmosférica).

Método equivalente para la determinación de NO₂ en el aire ambiente

- Aplicabilidad: el método es aplicable para muestras de NO₂ tomadas en un periodo de 24 horas en el aire ambiente.
- Principio: el NO₂ contenido en la muestra de aire es colectado por burbujeo del aire a través de una solución de hidróxido de sodio y arsenito de sodio. La concentración del ion NO₂ producido es determinado colorimétricamente por reacción del ion nitrito con ácido fosfórico, sulfamida y dihidrocloruro N-(1-naftil) etilendiamina y medición de la absorbancia del compuesto altamente coloreado a 540 nm.
- Rango: el rango nominal del método es de 9 a 750 μg NO₂ /m³ (0,005 a 0,4 ppm). Bajo condiciones específicas de 50 ml de reactivo absorbente, un caudal de muestreo de 200 cm³/min para 24 horas, y una eficiencia de muestreo de 0.82, el rango del método es entonces de 9 a 420 μg NO₂ /m³ (0,005 a 0,22 ppm). Concentraciones de dióxido de nitrógeno en el rango de 420 a 750 μg NO₂ /m³ (0,22 a 0,4 ppm) son frecuentemente medidos por dilución 1:1 de la muestra colectada.

Se debe calibrar el orificio de succión antes de cada muestreo el volumen de aire recogido se debe corregir para las condiciones de sitio. (Temperatura y presión atmosférica).

Principios de medición y procedimientos de calibración para la medida de dióxido de nitrógeno en el aire ambiente (quimioluminiscencia en fase gaseosa). Apéndice F, parte 50

- Aplicabilidad: el método es aplicable en la determinación de la concentración de NO y NO₂ en el aire ambiente, de manera puntual, en línea o continua.
- Principio: el óxido nítrico NO reacciona con ozono O₃, para producir dióxido de nitrógeno NO₂, en un estado excitado electrónicamente, y oxígeno O₂. La transición casi instantánea del NO₂ excitado es acompañada por la emisión de fotones entre 600 y 2500 nm. La intensidad de esta emisión fotónica es proporcional al caudal de masa de NO en la cámara de reacción en la que se mezcla con O₃. El NO₂ presente es reducido a NO al pasar a través de un convertidor químico. Por medio de una válvula es posible hacer que pase alternativamente al convertidor para medir solamente NO y luego se dirige al convertidor para permitir la medida de NO + NO₂ que se define como NOx. Un circuito electrónico de sustracción da el NO₂ como la diferencia entre NOx y NO.
- Rango y sensibilidad: existen en el mercado diferentes marcas de equipos electrónicos que utilizan este método. Se pueden instalar en estaciones de monitoreo para que tomen muestras puntuales o continuas y conectados en línea a un centro de control o sistema de monitoreo y alarma, las sensibilidades y métodos de calibración varían según el fabricante.

Su uso, al igual que los demás métodos no especificados en la legislación Colombiana deben ser aprobados por la autoridad ambiental competente para que los resultados encontrados por tales métodos sean aceptados.

Principios de medición y procedimientos de calibración para determinar monóxido de carbono en la atmósfera (fotometría infrarroja no dispersiva). Apéndice C parte 50 (Colombia Decreto 02/1982)

- Aplicabilidad: este método es aplicable a la determinación de la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente.
- Principios de medición: las mediciones están basadas en la absorción de la radiación infrarroja por el monóxido de carbono (CO) en un fotómetro no dispersivo.
- La energía infrarroja de la fuente pasa a través de una celda que contiene la muestra de aire a ser analizada, la absorción cuantitativa de energía por el CO en la celda de muestra es medida por un detector adecuado. El fotómetro es sensibilizado al CO en el detector o en una celda filtro en la vía óptica, limitando la medición de absorción de una o más de las longitudes de onda características hasta la cual el CO absorbe fuertemente. La absorción medida es convertida en una señal eléctrica de salida, la cual indica la concentración de CO en la celda medida.
- Rango y sensibilidad: existen diferentes equipos que utilizan este método. Se pueden instalar en estaciones de monitoreo para toma de muestras puntuales o continuas y en línea con un sistema de monitoreo y alarma, las sensibilidades y calibración varían según el fabricante.

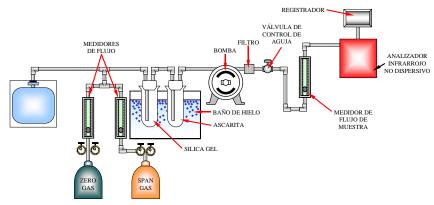


FIGURA 9- 4 Tren de muestreo para determinar CO

9.2.1 Normas ICONTEC

Como información adicional se incluye un listado de las normas editadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC.

NTC 3662

Recolección y medición de partículas de polvo sedimentable

NTC 4249

Características de desempeño y conceptos relacionados para los métodos de medición de calidad del aire

GTC 39

Planeación del monitoreo para evaluar la calidad del aire ambiente.

NTC 3704:

Determinación de la concentración de partículas suspendidas en el aire ambiente

NTC 3746

Método de ensayo para el monóxido de carbono en el aire ambiente (medición continua mediante espectrometría infrarroja no dispersiva)

NTC 3956

Método de ensayo para determinar químicos orgánicos volátiles en la atmósfera (Metodología de muestreo Canister)

NTC 2991

Instrumentos para toma de muestras de contaminantes químicos en el aire

NTC 3400

Determinación del índice de polución de un gas ácido en el aire

NTC 3872

Análisis de aire. Preparación de mezclas de gases para calibración método de penetración.

NTC 3889

Análisis de aire. Preparación de mezclas de gas para calibración métodos de pesaje

NTC 3890

Análisis de aire. Preparación de mezclas de gas para calibración métodos volumétricos estáticos

NTC 7996

Determinación de la concentración másica de óxidos de nitrógeno. Método de Quimioluminiscencia

NTC 4251

Método de muestreo estratificado para evaluar la calidad del aire ambiente.

NTC ISO 6767

Determinación de la concentración másica de dióxido de azufre. Método de Tetracloromercurato (TCM) / Pararrosanilina.

NTC ISO 6768

Determinación de la concentración másica de dióxido de nitrógeno. Método modificado de GRIESS – SALTZAMAN.

NTC ISO 10313

Determinación de la concentración másica de ozono. Método de la quimioluminiscencia .

9.2.2 Métodos Alemanes para la medición de Calidad del Aire

Como información adicional se incluye un listado de los métodos de medición de calidad del aire desarrollados en Alemania.

Norma VDI 2463, BI 1

Componente: Partículas totales

Método: determinación gravimétrica

Norma VDI 2463, BI 2

Componente: Partículas

Método: Alto volumen, muestreador HV100

Norma VDI 2456, BI 7

Componente: NO

Método: Quimioluminiscencia

Norma VDI 3794 BI 1

Componente: Velocidad de inmisión de compuestos en mg/m2.d

Método: Aparatos de medición IRMA

Norma VDI 2466 BI 1

Componente: Hidrocarburos

Método: Absorción infrarroja

Norma VDI 2459 BI 6

Componente: CO

Método: Absorción infrarroja no dispersiva (Método general)

9.3 MODELOS DE DISPERSIÓN

Los modelos de dispersión son herramientas que se utilizan con el fin de determinar la calidad del aire resultante por la emisión de contaminantes desde cualquier tipo de fuente, por medio de formulaciones matemáticas que simulan el comportamiento de las emisiones en la atmósfera, basados en las condiciones termodinámicas de la fuente, las características climatológicas y topográficas del área, entre otros factores.

Desde el punto de vista del usuario, los modelos de dispersión de la calidad del aire pueden clasificarse según el tipo de fuente (móvil, puntual y de área), tipo de contaminantes (gases o partículas), periodo de calculo (corto plazo, 24 horas, mensual o anual) y reacciones atmosféricas (deposición, formación de smog, formación de lluvia ácida). [18]

Desde el punto de vista del grado de detalle de los resultados, los modelos se pueden clasificar en modelos simples o rápidos (Screening), de gran utilidad para evaluar problemas potenciales de calidad del aire, y modelos refinados utilizados en evaluaciones detalladas de problemas de calidad del aire y para determinar con precisión impactos causados por fuentes de emisión.

La EPA dispone de un gran número de modelos de dispersión desarrollados para aplicaciones específicas, de uso condicionado por la cantidad y calidad de los datos de entrada requeridos.

En la TABLA 9- 3 se describen algunos ejemplos de modelos de dispersión sin discriminar su clasificación. [45]

TABLA 9-3 Modelos de dispersión [45]

Modelo EPA	Características y aplicación
РТМТР	Estima la concentración a partir de fuentes puntuales, para diversos puntos receptores, localizados arbitrariamente a nivel o por encima del suelo. Se utilizan datos climatológicos horarios; pueden obtenerse las concentraciones horarias y promedios para cualquier tiempo medio entre 1 y 24 horas
PTMAX	Lleva a cabo un análisis de concentraciones máximas a corto plazo a partir de una fuente puntual única, en función de la estabilidad y dirección del viento. Para cada cálculo utiliza la altura del penacho final
INPUFF	Modelo Gaussiano de ráfaga integrada capaz de contemplar la liberación accidental de una sustancia durante varios minutos o modelar el penacho continuo más típico de una chimenea.
RAM	Para múltiples fuentes, concentraciones horarias y anuales
ISCLT	Complejo de fuentes industriales a largo plazo. Modelo Gaussiano de penacho, calcula concentraciones, mensuales, estacionales y anuales, para fuentes puntuales, o de área en terreno urbano o rural.
ISCST	Complejo de fuentes industriales a corto plazo. Modelo Gaussiano de penacho, calcula concentraciones, mensuales, estacionales y anuales, para fuentes puntuales o de área en terreno urbano o rural.
CDM 2.0	Versión actualizada del CDM, modelo climatológico de dispersión, determina las concentraciones de contaminantes a largo plazo, estacional o anual y casi estables en cualquier receptor a nivel del suelo, utilizando las tasa de emisión medias procedentes de fuentes puntuales y zonales, así como una distribución conjunta de frecuencia de la dirección del viento y estabilidad para el mismo periodo.
VALLEY	Determina las concentraciones en un periodo máximo de 24 horas por fuentes múltiples, en terreno montañoso.
PEM	Modelo episódico de contaminantes. Contaminación a escala urbana capaz de predecir concentraciones medias superficiales a corto plazo y los flujos de deposición de contaminantes gaseosos o en suspensión
CRSTER	Estima concentraciones a nivel del suelo, para múltiples fuentes, proporciona las dos concentraciones más altas en 1, 3 y 24 horas, así como las concentraciones medias anuales. Hace ajustes del terreno siempre y cuando éste se encuentre físicamente por debajo de la altura más baja de la chimenea. Utiliza los valores horarios estimados de estabilidad atmosférica y altura de mezcla.
SCREEN	Se utiliza en modo "screening" para calcular las concentraciones a nivel de suelo bajo condiciones limitadas de dispersión. Se utilizan para facilitar la evaluación inicial de los impactos de fuentes estacionarias
COMPLEX	Utilizado para fuente puntual, sobre un terreno de uso urbano que supera la altura de la chimenea que se modela
GAUSSIANO	Considera la tasa de emisión de contaminantes, la estabilidad atmosférica, la velocidad y dirección del viento, la altura de emisión, las condiciones ambientales de presión y temperatura y las posiciones relativas de la fuente y el receptor.

9.3.1 Selección del modelo de dispersión

La utilización de un modelo en particular está determinado, por el nivel de detalle esperado y por la disponibilidad de la información requerida para desarrollarlo. FIGURA 9-5.

La información requerida para la aplicación de los modelos de dispersión esta basada en los datos de la fuente, información meteorológica, tipo de contaminantes y periodos de calculo ya que prácticamente, definen el modelo de dispersión a utilizar. La aplicación de un determinado modelo de dispersión requiere del conocimiento y aprobación de la **autoridad ambiental competente.**

Información de la fuente

Es necesario conocer las características principales de la fuente de emisión como se muestra en la TABLA 9-4. [3]

TABLA 9- 4 Emisión de contaminantes y características de la fuente [3]

PARÁMETRO		Dato de entrada	UNIDAD	
		Altura de la chimenea	m	
		Caudal en condiciones de chimenea	m³/s	
		Temperatura ambiente	°K	
Características de fuente	la	Temperatura de emisión	°K	
tuente		Altura del penacho	m	
		Consumo de combustible	Carbón TPD (Toneladas p Gas Natural PCD (Pies cúbico Fuel Oil GPD (Galones po	s día)
		Poder calorífico del combustible	KJ/Kg-BTU/kg	
		CO ₂	%	
Composición Moore		O ₂	%	
Composición Macro		N ₂ + Aire	%	
		H ₂ O	%	
		Partículas	μg/s-ug/min	
Emisión contaminantes	de	Óxidos de azufre	μg/s-ug/min	
oammanoo		Óxidos de nitrógeno	μg/s-ug/min	

APLICACIONES

- Tipo de fuente
- Ubicación de la fuente
- Tipo de terreno

INFORMACIÓN DE LA FUENTE

- Esquema de la planta
- Parámetros de la chimenea
- Consumo de combustible
- Tipo y cantidad de contaminantes emitidos
- Características de los equipos de control

INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

- Dirección y velocidad del viento
- Estabilidad atmosférica
- Temperatura ambiental
- Altura de la capa de mezcla
- Radiación solar
- Nubosidad

INFORMACIÓN DE LOS RECEPTORES

- Ubicación
- Distancia fuente-receptor

DATOS DE SALIDA

- Altura efectiva de la emisión
- Emisión de cada fuente
- Concentración en cada receptor
- Periodo de tiempo (horas, días, año)

FIGURA 9-5 Información utilizada en los modelos de dispersión

Meteorología

Las condiciones climatológicas y topográficas de una región, influyen de manera directa en el comportamiento de cualquier contaminante emitido a la atmósfera por una fuente puntual, de área (patios y pilas de carbón y de ceniza) o móvil. Aunque la tasa de emisión de un contaminante se mantenga constante, su nivel sobre un área determinada es muy variable debido a las condiciones climatológicas y topográficas que actúan como difusoras. El conocimiento del comportamiento de los parámetros climáticos y topográficos permite establecer el marco de referencia, sobre el que se pueden determinar las posibles alteraciones de la calidad del aire. [58]

Temperatura: la temperatura puede definirse como aquella propiedad que determina el flujo de calor: dos cuerpos están a la misma temperatura si no hay transferencia de calor cuando se colocan juntos. En los procesos de generación termoeléctrica, es importante conocer la temperatura ambiente y la temperatura de emisión de los gases de combustión.

El volumen de la masa de gas emitida y la dispersión del mismo en la atmósfera varían directamente con la temperatura absoluta, por lo que, estos valores son siempre datos de entrada en los modelos de dispersión de contaminantes. La temperatura y densidad varían de acuerdo con la altura a lo largo de las cuatro capas que conforman la atmósfera. En orden ascendente: troposfera, estratosfera, mesosfera e ionosfera. En la FIGURA 9- 6 se aprecia la variación aproximada de la temperatura en estas capas.

Para conocer la temperatura ambiente se realizan mediciones en superficie, es decir, se mide la temperatura del aire libre a una altura comprendida entre 1.25 y 2 metros sobre el nivel del suelo, se utiliza el termómetro seco, efectuándose lecturas a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas.

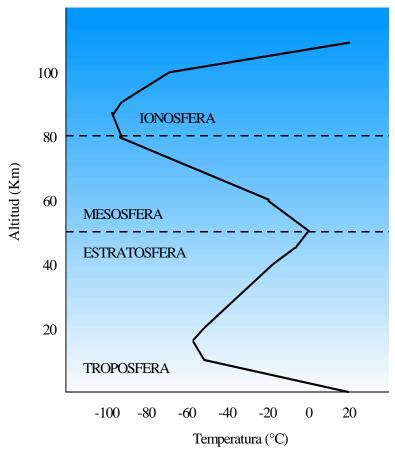


FIGURA 9- 6 Estructura térmica de la atmósfera [18]

Presión atmosférica: la tierra está rodeada de una cubierta de aire atmosférico que se extiende hacia arriba desde la superficie hasta una distancia de 80 km. o más. Debido a que este aire tiene masa, y está sujeto a la acción de la gravedad, ejerce una presión que se conoce como presión atmosférica.

La presión atmosférica no permanece constante sino que varía con la altura sobre el nivel del mar, la temperatura, humedad y otras condiciones. Dado que la variación más importante que sufre la presión es con la altura, disminuyendo su valor a medida que ésta aumenta y que los modelos de dispersión se refieren a alturas sobre el nivel del mar, es importante conocer el valor de la presión atmosférica del sitio de localización de la fuente de emisión para ajustar los resultados de la modelación a las condiciones locales.

El instrumento más utilizado para medir la presión atmosférica es el barómetro.

Humedad atmosférica: el aire atmosférico está compuesto por aire seco (nitrógeno, oxígeno, argón y bióxido de carbono, entre otros), y vapor de agua. El contenido de vapor de agua en el aire determina su humedad. La relación porcentual entre la cantidad de humedad en un espacio dado y la cantidad que ese volumen podría contener si estuviera saturado se conoce como humedad relativa. La humedad relativa es utilizada como dato de entrada de algunos modelos de dispersión.

Para la determinación de la humedad se utiliza el psicrómetro, el cual consta de un termómetro seco y uno húmedo (cuyo bulbo está cubierto con una funda de muselina empapada en agua). La lectura que se toma en el psicrómetro es la diferencia en grados, entre la temperatura del termómetro seco y la del termómetro húmedo, conocida como depresión del termómetro húmedo. La humedad relativa se encuentra tabulada en tablas sicrométricas para diferentes valores de presión del termómetro húmedo y temperatura del aire.

 Radiación solar: la radiación solar es la principal fuente de energía transmitida a la tierra, esta moviliza los procesos atmosféricos y tiene su origen en el sol. Su estudio supone un cierto número de medidas y, principalmente, la medición de la duración de la insolación (cantidad de radiación solar que llega a un área unitaria de la superficie terrestre), es decir, el número de horas al día con brillo solar. El instrumento empleado para realizar estas mediciones es el heliógrafo.

Según estudios realizados para el trópico e información suministrada por el IDEAM, el comportamiento de la radiación solar durante el día, expresada en términos de porcentaje y horas del día, es como se muestra en la TABLA 9-5.

TABLA 9- 5 Radiación solar [3]

Radiación solar	% de horas	Horas
Fuerte	16,7	10:00 a 14:00
Moderada	13.9	08:20 a 10:00
Woderada	13,9	14:00 a 15:40
Débil	19.4	06:00 a 08:20
Debii	19,4	15:40 a 18:00
Noche	50,0	18:00 a 06:00

Nubosidad: las nubes son una agrupación visible de partículas minúsculas de agua líquida y/o hielo, suspendidas en el aire. Este conjunto puede contener también partículas procedentes de vapores industriales, humo o polvo. El aspecto de una nube está determinado por la naturaleza, las dimensiones y la distribución en el espacio de las partículas que las constituyen. Igualmente, depende de la intensidad del color de la luz recibida por la nube, así como de las posiciones relativas del observador con respecto a la nube y al astro que la ilumina (sol o luna).

Para la estimación de la nubosidad, se agrupan mentalmente todas las nubes que se ven, quedando el cielo dividido en dos partes: una ocupada por las nubes y la otra despejada. Suponiendo el cielo fraccionado en ocho (8) partes, octavos u octas, se indica cuantas octas están ocupadas por las nubes. Así, para un cielo cubierto totalmente se dirá que hay una nubosidad de ocho octas (8/8). Si las nubes cubren solo la mitad del cielo, hay una nubosidad de cuatro octas (4/8), y si está libre de ellas, o despejado, la nubosidad es de cero octas.

Régimen de vientos: el régimen de vientos se puede utilizar como indicador general de las condiciones de dispersión de contaminantes atmosféricos; mientras más altos sean los valores de la velocidad del viento será más rápida la dispersión de los contaminantes en la zona de estudio. El comportamiento de la pluma de una chimenea depende de la velocidad del viento a la altura de emisión, entre otros factores.

Las mediciones de velocidad y dirección del viento se hacen a 10 metros de altura sobre el suelo. Para la estimación de velocidades a alturas superiores se utilizan expresiones analíticas que relacionan la velocidad del viento con la altura.

La dirección del viento, se indica como la dirección desde la cual el viento proviene. La dirección dominante es la dirección desde la cual el viento sopla más frecuentemente en un sitio y en un período de tiempo, e indica la dirección hacia la cual los contaminantes serán transportados y depositados más frecuentemente. Un elemento importante es la llamada "rosa de los vientos", la cual permite gráficamente, conocer la distribución de frecuencias de la dirección del viento en porcentaje, así como su velocidad. La rosa de los vientos es una representación gráfica de las distribuciones de velocidad y dirección del viento para un lugar determinado observadas a intervalos horarios en un periodo de un (1) mes. En Colombia la rosa de los vientos se reporta usualmente para ocho direcciones.

Calculo de la velocidad del viento para una altura Z₁, basada en la ley de exponenciales de Deacon: [58]

$$\frac{u}{u_1} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^p$$

Donde:

u = Velocidad del viento a la altura z,

 u_1 = Velocidad del viento a la altura z_1

p = Exponente positivo, con valores entre 0 y 1, siendo 1/7 el valor más usado cuando la tasa de cambio ambiental es aproximadamente igual al valor adiabático,. Se usa p=0.40 para áreas urbanas, p=0.28 para áreas boscosas y suburbios, y p=0.16 para terrenos llanos, abiertos, lagos y mares.

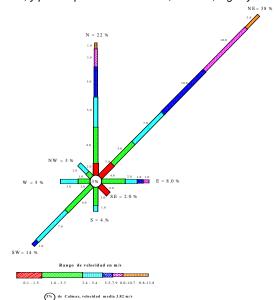


FIGURA 9-7 Rosa de los vientos

El comportamiento del viento varía de forma significativa de un sitio a otro y entre uno y otro mes, por lo que se debe disponer de un conjunto de rosas de los vientos, por estaciones climáticas o mes a mes, multianual para un año completo Estabilidad atmosférica: la estabilidad atmosférica es la tendencia de la atmósfera a resistir el movimiento vertical, o suprimir la turbulencia existente, lo cual influye sobre la capacidad de la atmósfera de dispersar los contaminantes que se vierten a ella. El grado de turbulencia depende del perfil térmico vertical, más específicamente de la relación entre la variación vertical de la temperatura y el gradiente adiabático o pérdida de temperatura, lo cual es causa del trabajo de expansión cuando el aire se eleva dentro de la columna atmosférica, sin intercambiar calor. Para aire seco el gradiente adiabático es de 1° C, por cada 100 m de altura, (por cada 100 m la temperatura disminuye 1° C). La tasa normal de cambio de temperatura con la altura se asume como 0.66 °C/100 m. Cuando el gradiente real coincide con el adiabático la atmósfera se encuentra en equilibrio. Esta condición se denomina estabilidad "D" según la clasificación dada por Pasquill. Ver TABLA 9-6.

Las condiciones de estabilidad de Pasquill A, B y C tienen lugar durante las horas del día con cielo despejado y viento suave. En condiciones de intensa radiación solar, la tierra se calienta y con ella el aire adyacente, que asciende origina un mezclado vertical considerable. Si el viento supera los 6 m/s la turbulencia de origen mecánico tiende a superar el efecto de la turbulencia térmica y el perfil térmico del aire corresponde a su condición de equilibrio.

Durante las horas nocturnas la tierra continúa irradiando calor y el aire pierde temperatura más rápidamente cerca de la superficie que a mayor altura. Como resultado se desarrolla sobre el suelo una inversión del perfil térmico diurno. En la mañana el sol calienta el suelo y el aire circundante y la inversión térmica es quebrada gradualmente de abajo hacia arriba. Pocas veces la inversión puede persistir en las capas superiores produciendo una especie de envoltorio que impide la dispersión de contaminantes lo cual puede generar un episodio de contaminación grave.

viento a 10 m	F	Radiación solar			Nubosidad		
de altura (m/s)	Fuerte	Moderada	Ligera	4/8 o más	3/8 o menos		
< 2	Α	A - B	В	-	-		
2 - 3	A - B	В	С	Е	F		
3 - 5	В	B - C	С	D	E		
5 - 6	С	C - D	D	D	D		
> 6	С	D	D	D	D		

Notas: La estabilidad D debe ser usada para cielo cubierto, tanto de día como de noche. Noche se refiere al período desde una hora antes de la puesta del sol, hasta una hora después del amanecer.

Las calificaciones de las diferentes condiciones de estabilidad son las siguientes:

Estabilidad "A": Extremadamente inestable

Estabilidad "B": Muy inestable

Estabilidad "C": Ligeramente inestable

Estabilidad "D": Neutro

Estabilidad "E": Ligeramente estable

Estabilidad "F" Muy estable

TABLA 9- 6 Categorías de estabilidad (Pasquill, 1961) [1]

Día

Velocidad del

Ļ			
	Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y R	Ruido	
	Versión 01Enero de 1999	TAR 9-3	Página 9-125

Noche

Las inversiones también se pueden presentar a una altura dada, como en un frente frío y uno cálido. En este caso se presenta un techo que impide la dispersión de la pluma de una chimenea y se presenta acumulación de contaminantes bajo este nivel. La altura hasta la cual las condiciones atmosféricas favorecen la dispersión (inestable o neutral), se llama profundidad de mezclado y se puede medir con globos cautivos, radiosondas, sensores acústicos, etc.

La estabilidad atmosférica influye en las condiciones de dispersión de una chimenea de manera notoria, como se aprecia en la FIGURA 9-8. Las condiciones de dispersión que generan estos perfiles son:

Perfil de dispersión en "espiral": corresponde a condiciones inestables (A o B), se presentan en días claros y soleados cuando existe un alto grado de mezclado vertical, se pueden presentar altas concentraciones de contaminantes en áreas localizadas del terreno. Perfil de dispersión de "cono": se presenta en condiciones de estabilidad C o D, dominando la estabilidad D. Se presenta cuando los cielos están nublados, de día o de noche, los contaminantes son arrastrados leios antes de llegar al nivel del suelo en cantidades significativas. Perfil de dispersión en forma de "abanico": corresponde a condiciones de estabilidad E o F en ausencia de turbulencia vertical. Se presenta en horas de la noche, con cielo despejado y viento suave. Si la altura de la chimenea es considerable las concentraciones de contaminantes no alcanzan a llegar al nivel del suelo. Perfil de dispersión de "fumigación": se presenta cuando los gases de la chimenea son inyectados en una capa inestable que tiene por techo una inversión. Estos casos se presentan en la mañana después de una noche caracterizada por una inversión estable. Estas condiciones generalmente no duran más de media hora, sin embargo la concentración de contaminantes en este tiempo es alta. Perfil de dispersión en forma de "flotación" los gases son inyectados por encima de una inversión de baja altura. Se presenta al caer la tarde y al anochecer baio cielos despeiados. Situaciones favorables va que las concentraciones de contaminantes a nivel del suelo son bajas y la dispersión es alta.

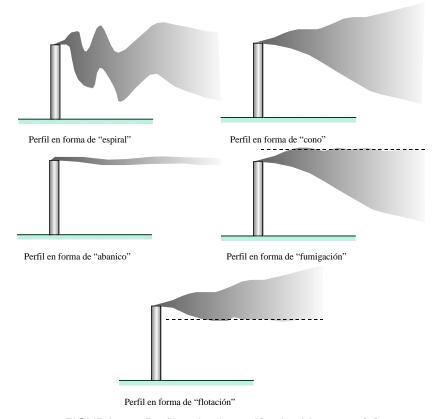


FIGURA 9-8 Perfiles de dispersión de chimeneas [1]

Determinación de las condiciones de estabilidad: para determinar las condiciones de estabilidad de un lugar se deben conocer los datos de la zona correspondientes a brillo solar, nubosidad y velocidad del viento. En Colombia no se dispone en todas partes de los datos requeridos para el cálculo, por lo que, el siguiente método desarrollado por el IDEAM (antiguo HIMAT) y Minsalud representa una forma práctica de calcularla.

Conociendo la velocidad media del viento para períodos de análisis, se determinan los tipos de estabilidad de Pasquill para las diferentes intensidades de radiación y valores de nubosidad. Posteriormente se debe establecer la frecuencia de esta clase de estabilidades. Esto se hace teniendo en cuenta los valores totales medios de brillo solar y el promedio de los valores de nubosidad de la zona. Con el valor medio de brillo solar se determina a que porcentaje del brillo solar total corresponde, teniendo en cuenta que anualmente se puede tener un brillo solar de 4380 horas (12 horas * 365 días). Con estos valores se identifican los factores de corrección por brillo solar y por nubosidad, los cuales se obtienen de la TABLA 9- 7 y TABLA 9- 8

Relieve: la forma de la superficie terrestre es otro aspecto importante en la determinación del comportamiento de los contaminantes en la atmósfera ya que genera efectos de fricción proporcionales a la rugosidad de la superficie que producen un retraso en el movimiento del aire o efectos de apantallamiento. Es así como la localización y densidad de los árboles, la situación y tamaño de lagos, ríos, colinas, demás accidentes topográficos y la cantidad y tamaño de edificios, producen diferentes gradientes de velocidad del viento en la dirección vertical.

> 50	1,0
50 - 40	0,8
40 - 30	0,6
< 30	0,4

TABLA 9-8 Factor de corrección por nubosidad [3]

Nubosidad (octas)	Factor de corrección (Km)
1/8 - 2/8	1,0
3/8 - 4/8 - 5/8	0,8
6/8 - 7/8	0,6
8/8	0,5

Una vez obtenidos los factores de corrección Kr y Km se aplican como factor de corrección al valor de radiación solar fuerte de 16,7 % presentado anteriormente así:

Radiación solar fuerte corregida (RSFc) = 16,7 % * Kr * Km

La reducción producida en la radiación solar fuerte se le adiciona a la radiación solar moderada de 13,9 %, también presentada anteriormente, así:

Radiación solar moderada corregida (RSMc) = 13.9% + (16.7% - RSFc)

Los valores obtenidos de RSFc y RSMc proporcionan las frecuencias de radiación solar fuerte y moderada. La radiación solar débil no se modifica. Para la noche se mantiene el valor del 50 % presentado anteriormente.

TABLA 9-7 Factor de corrección por brillo solar [3]

Porcentaje de horas - sol año	Factor de corrección	(Kr)

El efecto que produce la forma de la superficie terrestre se puede apreciar en la FIGURA 9-9, de la cual se observa que la altura de la capa a la cual se estabiliza el perfil de velocidad del viento varía desde 500 m a 280 m para una rugosidad decreciente. Los valores a lo largo de las curvas representan porcentajes del valor del gradiente del viento.

Para determinar las condiciones de rugosidad de un área y la manera como pueden influir sobre el perfil de velocidad del viento, se deben realizar perfiles topográficos en las direcciones de la rosa de vientos hasta la distancia de estimación del calculo de los modelos de dispersión

Información disponible

En Colombia, la institución encargada de obtener, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre meteorología, así como el establecimiento y funcionamiento de infraestructuras meteorológicas para proveer informaciones, predicciones, avisos y servicios de asesoramiento a la comunidad es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, creado mediante la Ley 99 de 1993 y quien recoge la labor del antiguo HIMAT.

El IDEAM posee un índice general de estaciones meteorológicas el cual permite conocer los datos que identifican cada estación y el tipo de información que de ellas se publica.

Por diversos factores, muy frecuentemente, la información sobre cualquiera de los datos requeridos no se encuentra completa, lo cual hace necesario la aplicación de diferentes métodos de tratamiento estadístico.

Existen una serie de métodos que se pueden aplicar para la complementación y homogeneización de series, que deben ser analizados previamente a su aplicación, ya que cada método puede tener restricciones específicas para su utilización. [40]

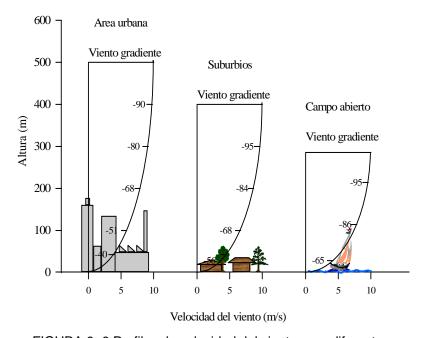


FIGURA 9- 9 Perfiles de velocidad del viento para diferentes rugosidades de la superficie [58]

Método de dobles masas

Se utiliza para analizar la consistencia de la serie de valores de algún parámetro hidrometeorológico medido en una estación, con base en los datos tomados en otra estación o grupo de estaciones cercanas. Se puede utilizar con éxito en la interpolación para complementación de datos faltantes y la extrapolación para extender series incompletas.

Método de distribución de Gumbel

Se utiliza para el estudio de frecuencias de valores extremos y es aplicable a valores máximos o mínimos de temperaturas, brillo solar, etc.

Método de los mínimos cuadrados

Regresión lineal, mediante el cual, los valores se llevan a un gráfico cartesiano donde se obtiene una nube de puntos alrededor de una recta media a la que se pueden adaptar los datos obtenidos en dos estaciones, y hacer mínima la suma de los cuadrados de las desviaciones respecto al valor medio.

Método de Polígonos de Thiessen

Con datos de varias estaciones cercanas se busca un factor de ponderación. Con un método gráfico de triangulación se obtienen polígonos y se determinan los límites del área de influencia de cada estación, para luego ponderar el valor del parámetro que se desea obtener en un punto.

Método de las Isoyetas

En este método se localizan en un mapa las estaciones con sus valores para el parámetro requerido y se dibujan curvas que unan puntos con igual valor. Para el dibujo de estas líneas (isoyetas) se deben tener en cuenta la topografía del terreno

Método de las proporciones

Es un método utilizado en aquellos casos en que no existen datos de comparación y por lo tanto, la serie tiene que servir de referencia para la complementación de datos faltantes de sí misma.

Método de razón de valores normales

Se utiliza cuando se desconoce algún valor de un parámetro en un determinado mes o año en una estación, pero se conoce el valor registrado ese mismo mes o año en alguna otra estación que por sus características fisiográficas y climatológicas se consideran como representativas de la primera.

Datos de las estaciones meteorologicas

- Número índice de estación: corresponde al número de orden de la estación.
- Municipio: se publica, en orden alfabético, el nombre del municipio en el cual se encuentra ubicada la estación.
- Departamento: Corresponde al nombre del departamento al que corresponde el municipio y la estación.
- Estación: se refiere al nombre que recibe el lugar en donde se encuentran instalados los instrumentos de medición.
- Coordenadas geográficas: están expresadas en latitud y longitud en grados y minutos y definen la localización de la estación.
- Elevación: se refiere a la altura sobre el nivel del mar (en metros), a la cual está localizada la estación.
- Tipo de estación: Hace referencia al tipo de parámetros que mide la estación.
- Entidad: se refiere a la entidad encargada de la administración de la estación.
- Fecha de instalación suspensión: la fecha de instalación indica el momento desde el cual la estación ha tomado registros.

Para estudios sobre meteorología, existen cinco tipos de estaciones discriminadas de la siguiente manera:

Climatológica ordinaria (CO)

Climatológica principal (CP)

Sinóptica de superficie (SS)

Sinóptica principal (SP)

Agrometeorológica (AM)

Estas estaciones miden los siguientes parámetros:

Temperatura media (°C)

Temperatura máxima (°C)

Temperatura mínima (°C)

Humedad relativa (%)

Evaporación (totales)

Brillo solar (totales)

Nubosidad (octavos)

Tensión de vapor (medios)

Velocidad del viento (medios)

Punto de rocio (medios)

Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01Enero de 1999

9.3.2 Modelo Gaussiano para fuentes puntuales

Teniendo en cuenta que la mayoría de los modelos aplicables se basan en el modelo Gaussiano, en este numeral se presentan a manera de ilustración, las formulaciones básicas de este modelo, sin embargo, se deberá estudiar cuidadosamente para cada caso la conveniencia de la aplicación de un modelo especifico. [11]

Las características principales del modelo Gaussiano de dispersión son:

lpha Supone emisiones continuas, sean puntuales, de área o lineales

b La pluma es transportada por el viento a lo largo del eje, a una velocidad igual a la velocidad media del viento

 ${\it C}$ La dispersión vertical y horizontal es de naturaleza Gaussiana

d No hay sedimentación del contaminante

Para la aplicación del modelo Gaussiano se requiere tanto la información de la fuente, como la información meteorológica descrita anteriormente.

Para una fuente como la mostrada en la FIGURA 9- 10 , las ecuaciones básicas del modelo son:

Concentración promedio 24 horas para $Z < \text{que } \Delta H/2$

$$C, X = \left(\frac{k_1 * Q}{\pi * \sigma y * \sigma z * U}\right) * \left(exp\left(-1/2\right) * \left(\frac{\Delta H - Z}{\sigma z}\right)^2\right)\right)$$

Concentración promedio 24 horas para $Z > que \Delta H/2$

$$C, X = \left(\frac{k_1 * Q}{\pi * \sigma y * \sigma z * U}\right) * \left(exp\left(-1/2\right) * \left(\frac{\Delta H/2}{\sigma z}\right)^2\right)$$

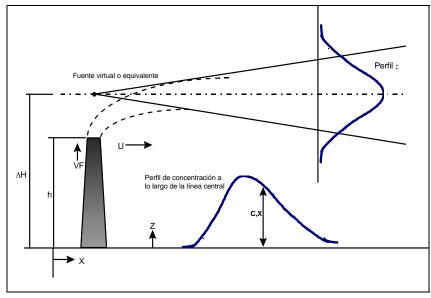


FIGURA 9- 10 Fuente virtual a una altura efectiva de la chimenea [58]

Concentración promedio anual para Z < que ∆H/2

$$C, X = \left(\frac{2.03 * Q * K * F}{\sigma z * X * U}\right) * \left(exp\left(\left(-1/2\right) * \left(\frac{\Delta H - Z}{\sigma z}\right)^{2}\right)\right)$$

Concentración promedio anual para Z > que ∆H/2

$$C, X = \left(\frac{2.03 * Q * K * F}{\sigma z * X * U}\right) * \left(\exp\left(\left(-1/2\right) * \left(\frac{\Delta H/2}{\sigma z}\right)^{2}\right)\right)$$

Donde:

C,X.: Concentración en μg/m³ del contaminante considerado a nivel del suelo para la distancia X a partir de la fuente y en la dirección del viento considerada

Q: Emisión del contaminante a evaluar en μg/s

 π : Valor del factor pi 3.1416

σy: Coeficiente de desviación normal horizontal para cada una de las condiciones de estabilidad atmosférica consideradas

σz: Coeficiente de desviación normal vertical para cada una de las condiciones de estabilidad atmosférica consideradas

U: Velocidad del viento corregida a la altura de la chimenea

△H: Altura del penacho o pluma según formula de Briggs

Z: Diferencia del nivel del terreno en el punto de cálculo X en relación con la base de la chimenea, en metros.

K: Factor de operación anual de la planta en fracción

F: Porcentaje de ocurrencia del viento, en fracción, para la dirección del cálculo

X: Distancia del cálculo en metros a partir de la fuente

 k_1 : Factor dado para el período de tiempo de cálculo considerado. Por ejemplo, para períodos de tiempo de 24 horas k1 = 0.36 La altura del penacho (∆H) se calcula de la siguiente forma [4]:

$$\Delta H = \left[\left(\frac{1.6 * F^{1/3} * DISTF^{2/3}}{U} \right) * 0.75 \right] + h$$

$$F = \left(\frac{g}{\pi}\right) * VF * \left(\frac{Ts - Ta}{Ts}\right)$$

DISTF =
$$3.5 * XST$$

XST = $34 * F^{0.4} \rightarrow F > 55$
XST = $14 * F^{0.625} \rightarrow F < 55$

Donde:

∆H: Altura total del penacho en m

g: 9.81 m/s², aceleración de la gravedad

 π : Valor del factor pi 3.1416 VF: Caudal de emisión en m^3/s

Ts: Temperatura absoluta de los gases de emisión °K

Ta: Temperatura absoluta ambiental °K

XST: Distancia donde la turbulencia desaparece DISTF: Distancia final de la elevación en metros

U: Velocidad del viento corregida a la altura de la

chimenea m/s

h: Altura de la chimenea en m

La FIGURA 9- 11 presenta los resultados obtenidos después de realizar las corridas del modelo para cada uno de los contaminantes. En esta se pueden observar la variación de la concentración a medida que se aleja de la fuente de emisión.

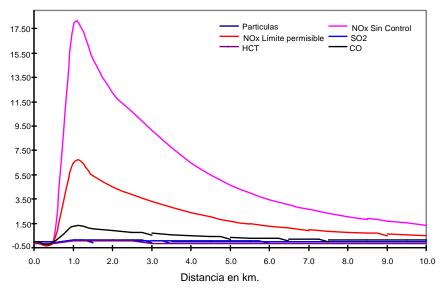


FIGURA 9- 11 Concentración máxima esperada en 24 horas

Con los resultados obtenidos se elaboran las líneas de isoconcentración (isopletas) para cada uno de los contaminantes, con las cuales se determina la calidad del aire de los receptores localizados en el área de influencia de la fuente de emisión. La FIGURA 9- 12 muestra un ejemplo de líneas isopletas para partículas.

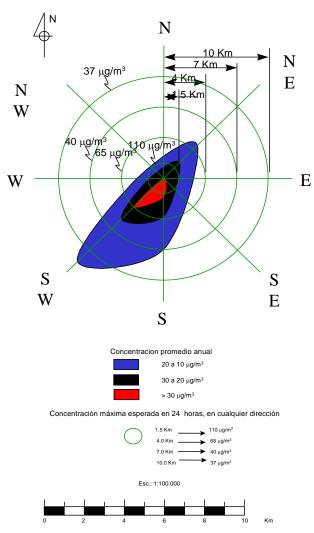


FIGURA 9- 12 Líneas isopletas de partículas

Modelo Gaussiano para fuentes de área

La modelación de las fuentes de área es compleja, ya que las ecuaciones de dispersión se han desarrollado para fuentes puntuales. Cuando se modela una fuente de área, se calculan los parámetros de emisión de una fuente puntual ubicada a sotavento del receptor, que produzca una concentración de contaminación similar a la del área a modelar. Generalmente, es recomendable determinar la emisión de partículas (Q) para diferentes tamaños de partículas y correr el modelo para cada una.

La concentración promedio diaria de partículas está dada por : [8] [56]

$$C(X,0,0) = \left[\frac{0.36 * Q}{\pi * \sigma y * \sigma z * u}\right] * F$$

Donde:

C(X,0,0): concentración promedio diaria a nivel del suelo (Z= 0), de partículas en un punto particular del área del proyecto (o fuera de él), expresado en $\mu g/m^3$

Q: emisión de partículas en μg/s, hallada del factor de emisión

σy: desviación normal lateral en m

σz: desviación normal vertical en m

u: velocidad del viento corregida a la altura de emisión

F: porcentaje del tiempo en el cual se presenta un tipo de estabilidad en particular

Por otra parte, la concentración promedio anual de partículas viene dada por la siguiente ecuación: [8] [56]

$$C(X,0,0) = \left[\frac{2.03 * Q * f}{\sqrt{2}\pi * \sigma z * u * (2 * \pi * X / 8)}\right] * F$$

Donde:

C(X,0,0): concentración promedio anual a nivel del suelo (Z= 0), de partículas en un punto particular del área del proyecto (o fuera de él), expresado en ua/m^3

Q: emisión de partículas en μg/s, hallada del factor de emisión

f: porcentaje de frecuencia en el tiempo para la que el viento sopla en una dirección determinada

σz: desviación normal vertical en m

u: velocidad del viento corregida a la altura de emisión

X: distancia al foco de emisión para la que se calcula la concentración

F: porcentaje del tiempo en el cual se presenta un tipo de estabilidad en particular

Dado que el modelo produce resultados poco confiables en las cercanías de las fuentes de emisión, es recomendable realizar los cálculos a partir de dos o tres veces el ancho del área considerada. [9]

La FIGURA 9- 13 presenta los resultados de la concentración máxima esperada para calidad de aire a nivel de suelo para 24 horas en cualquier dirección de una fuente de área determinada.

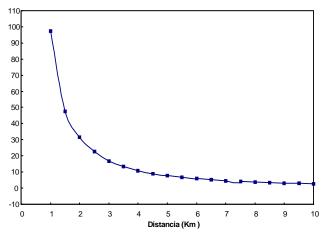


FIGURA 9- 13 Concentración máxima esperada en 24 horas

9.4 MODELACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO

Existen varias formulaciones para la estimación del nivel de ruido, sin embargo para el cálculo del nivel de ruido generado por plantas termoeléctricas se emplea la formulación empleada por la American National Standard Institute (ANSI) especificada en la norma **ANSI S1.13-1971 [2]**, la cual también es recomendada por la Organización Latinoamericana de Energía OLADE en la "Guía para la evaluación de impacto ambiental de centrales termoeléctricas". [42]

9.4.1 Nivel básico de ruido medido o información del fabricante

Para la determinación de los niveles de ruido, los fabricantes utilizan datos de unidades puestas en operación y se han establecido niveles de ruido cercano entre 90 y 105 dB(A) a 1 m de la fuente. Sin embargo como lo estipula la Norma **ANSI B133.8-1977**, se requieren los niveles medidos de ruido lejano a 122 m para realizar una adecuada estimación del ruido.

Por ejemplo, el nivel de ruido cercano y lejano de una turbina a gas Westing House de 150 MW es de 90 dB(A) a 1 m y de 63 dB(A) a 122 m., desde el límite externo de ésta y hasta una altura de 1,5m por encima del suelo.

L = LO - DS - DA - DG - DE - DF

\Box	_	n	_	\sim	
D	U	"	u	U	

L	Nivel de sonido en el receptor expresado en dB(A)
LO	Nivel básico de ruido medido, información del fabricante,
	cercano a 3 ft y lejano a 400 ft.
DS	Atenuación debida a la divergencia geométrica
DA	Atenuación debida a la absorción del aire
DG	Atenuación debida a la absorción del suelo
DE	Atenuación por barreras naturales o artificiales
DF	Corrección para tomar en cuenta la deflexión del sonido

El nivel de ruido para varias unidades iguales viene dado por la siguiente formulación:

Nivel de ruido promedio: NF + 10 Log n

Donde

NF: Nivel de la fuente, dado por el fabricante

n: Número de unidades

De esta manera, tres unidades cuyo nivel de ruido a 1 m sea de 90 dB(A) generan un nivel de ruido cercano de 95 dB(A) a 1 m. Así mismo, el nivel de ruido lejano esperado es de 68 dB(A) a 122 m del límite externo de las fuentes.

El nivel de ruido se determina de la siguiente manera:

9.4.2 Atenuación por divergencia geométrica (DS)

La atenuación por divergencia geométrica viene dada por la siguiente ecuación: [20]

$$DS = 20 \log (d_2/d_1)$$

Donde:

DS: Atenuación debida a la divergencia geométrica

*d*₂: Distancia de la fuente al receptor

d₁: Distancia de la fuente al punto donde se tienen niveles de

ruido medidos.

9.4.3 Atenuación por el aire (DA)

La atenuación por el aire viene dada por la siguiente ecuación: [20]

$$A_{Aire} = \alpha d$$

Donde

d: Distancia al receptor en km

lpha: Coeficiente de atenuación del aire, cuyo valor depende de los factores como la temperatura ambiente promedio, humedad relativa y presión barométrica.

Por ejemplo:

Temperatura Promedio= $26,3^{\circ}$ CHumedad Relativa= 78%Presión Barométrica= 0,9726 Bar α = 6,4 dB(A)/km

La atenuación por el suelo viene dada por la siguiente ecuación: [20]

$$A_{suelo} = 4.8 - (2h_m/r)(17 + 300/r)$$

Donde

 h_m : Altura media del camino de propagación por encima del suelo. Considerando la fuente a 1 m de altura (información del fabricante) y la altura del receptor 1,65 m (altura media de una persona), $h_m = 1,3$ m

r: Distancia entre la fuente y el receptor (m)

9.4.5 Atenuación por vegetación

La atenuación por vegetación no se considera porque la principal contribución de la vegetación no es por constituirse en una barrera es por su efecto de porosidad que transmiten las raíces al suelo y por lo tanto es inherente al cálculo de la atenuación por el suelo ya considerada. [20]

9.4.4 Atenuación por el suelo (DG)

9.4.6 Atenuación por barreras artificiales (DE)

Considerando un dique de tierra como barrera, la atenuación del sonido obtenida, se calcula a partir de la siguiente ecuación: [20]

Donde:

K: Factor de Corrección debido a factores atmosféricos, para el cálculo se toma igual a 1 debido a que estos factores ya fueron tenidos en cuenta en la evaluación de la atenuación por el aire.

Asuelo: Atenuación aportada por el suelo antes de insertar la

barrera, ya calculada.

N: Número de Fresnel

$$N = (2/5\lambda) (a + b + t - c)$$

Donde:

λ: Longitud de onda de la frecuencia dominante (1000 Hz)
 Cuando la barrera es mayor o igual a 3 metros de

ancho

a: Distancia de la fuente a la barrerab: Distancia de la barrera al receptor

t: Ancho de la Barrera

c: Distancia de la fuente al receptor

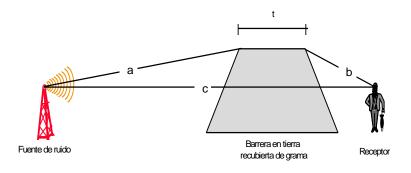


FIGURA 9- 14 Cálculo del número de Fresnel

En la FIGURA 9- 15 se puede observar la atenuación de cada uno de los factores que determinan el nivel de ruido esperado según la formulación anteriormente descrita. La fuente de generación de ruido es una planta termoeléctrica en ciclo combinado de 225 MW, cuyo nivel de ruido cercano (a 1 m) es de 93 dB(A) y el nivel de ruido lejano (a 122 m) es de 66 dB(A), según información del fabricante. Adicionalmente las condiciones ambientales son:

Temperatura ambiente promedio: 26.3°C

Humedad relativa: 78%

Presión barométrica: 0.9726 Bar

Complementario al cálculo de los niveles de ruido, se debe trazar en un plano líneas isófonas, es decir, el perímetro a partir del límite de las fuentes de ruido al cual se espera un nivel de ruido determinado. FIGURA 9- 16.

A partir del trazado de las líneas isófonas en el plano de localización general de un proyecto, se determina el nivel de ruido esperado para los receptores localizados en el área de influencia. [30]

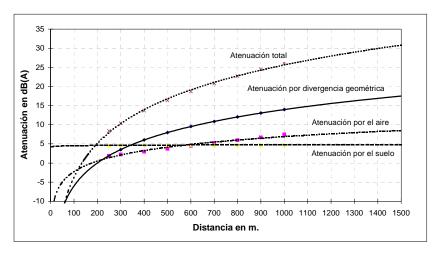


FIGURA 9- 15 Atenuación del ruido

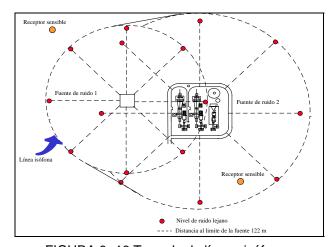


FIGURA 9- 16 Trazado de líneas isófonas

GLOSARIO

- Adiabático: transformación de un cuerpo efectuada sin que este reciba o ceda calor
- Aire: mezcla gaseosa que compone la atmósfera terrestre, cuya composición es, cuando menos, de veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.
- Álabes: son elementos mecánicos que sirven de guía para un fluido el cual con su continuo movimiento produce rotación para la generación de energía.
- Amplitud: La amplitud es el máximo desplazamiento transversal de una onda.
- Analizadores no dispersivos: el concepto base de este tipo de analizadores es la Ley de Beer Lambert, que establece que la transmisión de radiación electromagnética (medida como un cociente de intensidades de la radiación transmitida I entre la incidente lo) a través de un medio absorbente, disminuye exponencialmente según el producto αcl, de un coeficiente de atenuación dependiente de la especie química y la longitud de onda, por concentración de la especie absorbente y la longitud de paso de la radiación :

$$T = (I/Io) = e^{-\alpha cI}$$

En instrumentos no dispersivos, la selectividad para un determinado componente se consigue mediante filtros ópticos o incorporando en el propio instrumento una muestra de gas a medir.

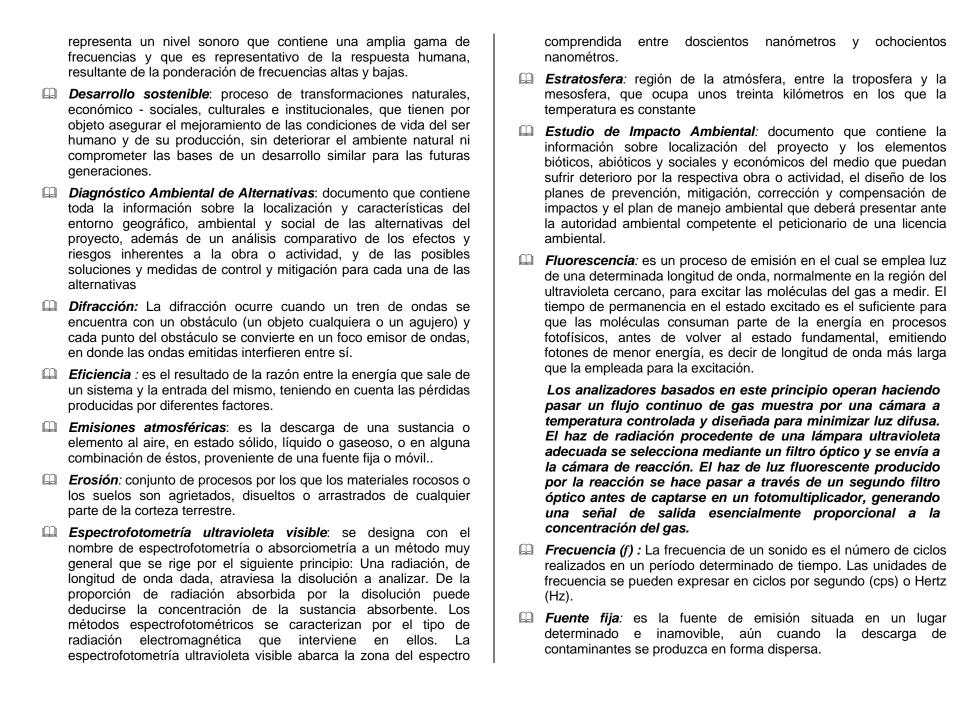
Atenuación por divergencia geométrica: el sonido generado desde una fuente puntual crea un sistema de ondas esféricas que se propagan desde la fuente hacia afuera, a través del aire, creando la primera esfera una onda siempre creciente con el tiempo. A medida que la onda se extiende, la altura de la onda o la intensidad del sonido en un punto dado disminuye, ya que la cantidad constante de energía se extiende sobre una superficie siempre creciente de la esfera. Este fenómeno es lo que se conoce como atenuación por divergencia geométrica del sonido.

Biogas : gas combustible, compuesto principalmente por metano, obtenido a partir de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica.
Biomasa: Material orgánico de origen vegetal y animal posible de ser convertido en combustible gaseoso
Calidad del aire: es el nivel de concentración de sustancias o elementos contaminantes presentes en el aire y que dado su nivel o concentración pueden llegar a afectar la salud humana, la fauna y la flora, así como ensuciar y deteriorar las estructuras y espacio público.
<i>Carbón coquizado</i> : producto sólido de la destilación destructiva o carbonización del carbón.
Cenizas de fondo : cenizas colectadas en el fondo de los sistemas de combustión y que por su peso no son arrastradas por los gases de combustión.
Cenizas volantes : cenizas arrastradas por los gases de combustión, en ausencia de dispositivos de control
Combustóleo (Fuel Oíl): combustible elaborado a partir de productos residuales obtenidos de los procesos de refinación del petróleo crudo, se utiliza exclusivamente como combustible industrial en hornos y calderas, para lo cual se requiere un buen precalentamiento con el fin de obtener una combustión óptima
Concentración de una sustancia en el aire: es la relación que existe entre el peso o el volumen de la sustancia y la unidad de volumen del aire en la cual esté contenida.
Contaminación atmosférica : es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire
Convenio de producción limpia : es un acuerdo de voluntades que apoya acciones concretas y precisas que conduzcan al mejoramiento de la gestión pública y empresarial y al control y reducción de la contaminación.
Decibeles dB (A): el decibel dB, es una unidad adimensional que se utiliza para expresar la relación de dos valores numéricos sobre una escala logarítmica. Debido a que el oído humano no responde

de manera uniforme a los sonidos de todas las frecuencias, en la

mayoría de las consideraciones del sonido se emplea la escala

"nivel sonoro ponderado A",(dB(A)), que es un único número que



	Fuente fija puntual: es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.		<i>Opacidad:</i> es el grado de reducción de la luz que ocasiona una sustancia al paso por ella de la luz visible	
	Gravimetría : método de análisis químico cuantitativo que determina la concentración de una sustancia por medio de la medición en peso de la misma		<i>Ozono:</i> Sustancia compuesta por tres átomos de oxígeno (O ₃) altamente oxidante. La Tierra está cubierta por una capa de ozono que la protege de los rayos ultravioletas.	
	Impacto ambiental: cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o benéfico, en forma parcial o total, resultado de las actividades, productos o servicios de una organización.		Plancton : plantas microbiológicas presentes en las aguas dulces y marinas	
	Interferencia: Combinación de ondas individuales para producir una onda resultante. La interferencia puede ser constructiva o destructiva. Si las ondas que se combinan están en fase, es decir, las crestas y los valles de las ondas individuales se encuentran en la misma posición, la amplitud de la onda resultante es igual a la suma algebraica de las amplitudes de las ondas individuales. Esto es interferencia constructiva. Si por el contrario las ondas no se encuentran en fase, la amplitud de la onda será la diferencia entre las amplitudes de las ondas individuales, interferencia destructiva.		Plan de Manejo Ambiental : conjunto de acciones de ingeniería, planeación, etc., tendientes a mitigar los efectos negativos y magnificar los efectos positivos que ocasiona un proyecto en sus diferentes etapas de desarrollo sobre el medio ambiente.	
			Política ambiental : declaración por parte de la organización de sus intenciones y principios en relación con su desempeño ambiental global, que le sirve de marco para la acción y para fijar sus objetivos y metas ambientales.	
			Potencia: es la energía generada en una unidad de tiempo de un conjunto motriz, producida por una fuente mecánica o eléctrica.	
	lonosfera: capa elevada de la atmósfera situada entre los ochenta y cuatrocientos kilómetros de altura, en la cual se reflejan las ondas hertzianas	Д	Producción limpia : aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, los productos y los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los humanos y el medio ambiente En el caso de los procesos	
	Isocinético: en la determinación de la emisión de contaminantes en fuentes fijas, es la condición bajo la cual la velocidad a la que el gas entra en la boquilla de la sonda de muestreo es igual a la velocidad del gas en la chimenea, en las proximidades de la boquilla. Lixiviados: producto de la lixiviación, proceso por el cual se retiran uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. En el caso de las pilas de almacenamiento de		productivos se orienta hacia la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones contaminantes y los desechos. En los productos, se orienta hacia la reducción de los impactos negativos que acompañan su ciclo de vida, desde la	
			extracción de materias primas hasta su disposición final. En los servicios se orienta hacia la incorporación de la dimensión ambiental, tanto en el diseño como en su presentación.	
	carbón y cenizas, el soluto corresponde a aquellas sustancias componentes de la pila, que se disuelven en agua formando los lixiviados.		Quimioluminiscencia : se basa en la generación de fotones que tiene lugar en la reacción del compuesto con O_3 . Una parte de las moléculas excitadas emiten radiación en la zona infrarroja del	
	Longitud de onda: Distancia entre dos puntos sucesivos que tienen la misma dirección y desplazamiento que la onda.		espectro al volver a su estado fundamental. La intensidad de esta emisión, esencialmente proporcional al caudal másico del compuesto so mido medianto un fotomultiplicador después de	
	Mesosfera : capa atmosférica que se extiende por encima de la estratosfera		compuesto se mide mediante un fotomultiplicador, después de pasar por un filtro óptico para seleccionar parte de la banda de emisión.	

Reflexión: cambio de dirección de propagación que experimentan las ondas al chocar con un obstáculo ubicado en el medio en el cual se desplazan.
Refracción: cambio de la velocidad de propagación de la onda al pasar de un medio a otro con distintas características.
Ruido : denominación dada a un conjunto de sonidos sin armonía, indeseables, discordantes y confusos.
Sistema de gestión Ambiental : es la parte del sistema de gestión total, el cual incluye la estructura organizacional, planificación de las actividades, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar, implementar, lograr, revisar y mantener la política ambiental.
Sonido: movimiento ondulatorio que produce un estímulo en el oído humano, causando la sensación auditiva. En general, el sonido se define como una perturbación que se propaga por un medio elástico.
Tecnología limpia : instrumentos, métodos y procedimientos de producción, resultantes del más avanzado desarrollo de la ciencia y la tecnología, o sean desarrollados específicamente para el cumplimiento de los objetivos de reconversión a tecnologías mas limpias y que siendo utilizados en las actividades industriales, comerciales o de servicios, han sido diseñados de tal manera, que como resultado de la respectiva actividad se produzca, en todo su proceso, el mínimo impacto sobre el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.
Tresbolillo : árboles colocados en filas paralelas cruzados en diagonal
Troposfera : zona inferior de la atmósfera, de un espesor de once kilómetros aproximadamente
Venturi : dispositivo para medir el flujo de los fluidos, que incluye un cono corto convergente, seguido en el mismo eje por un cono largo divergente. Este dispositivo se usa también en el lavado de gases.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AGRA Earth & Environmental. <u>Seminario las Empresas Eléctricas y el Medio Ambiente</u>. Santa Fe de Bogotá, 1995.
- [2] AMERICAN National Standard Institute ANSI. <u>Gas Turbine Installation Sound Emissions: ANSI B 133.8 1977.</u> The American Society of Mechanical Engineers, 1977.
- [3] ASA Franco & Cía. S. en C. Modelo de Dispersión de Contaminantes. Santa Fe de Bogotá, 1994.
- [4] ASOCIACION de Ingenieros Sanitarios de Antioquia AINSA. <u>Curso Contaminación del Aire por Material Particulado: Zonas Urbanas, Complejos Industriales o Mineros. Dispersión y Monitoría.</u> Medellín, 1993.
- [5] BABCOCK and Wilcox Co. <u>Steam its Generation and Use.</u> 40th edition. Barbenton (Ohio): S.C. Stultz and J.B. Kitto, 1992.
- [6] BEDOYA Julián. <u>Uso de los Modelos de Dispersión para la Evaluación de Impacto Ambiental</u>. En: Seminario Experiencias en Diseño de redes de Monitoreo para Calidad del Aire. Tunja, 1996.
- [7] CANTER, Larry W. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental: <u>Técnicas para la Elaboración de los Estudios de Impacto</u>. 2a ed. Madrid: Mc Graw Hill, 1998.
- [8] CARBONES del Cerrejón S.A. <u>Actualización del Modelo de Dispersión de Partículas Cerrejón Central</u>. Santafé de Bogotá: Héctor García Lozada, 1997.
- [9] COMPAÑIA Nacional de Fuerza y Luz. <u>Especificaciones</u> ambientales mínimas funcionales planta termoeléctrica San Antonio <u>II, San José de Costa Rica</u>. Santa Fe de Bogotá: Aene Consultoría, 1998.

- [10] <u>CURSO de Extensión sobre Torres de Enfriamiento</u>. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1984.
- [11] D.B. Turner. Workbook of Atmosferic Dispersion Estimates. Washington: Hew, 1969.
- [12] ECOPETROL. Catálogo de Productos de Ecopetrol. Bogotá, 1994.
- [13] EMPRESA Colombiana de Carbón ECOCARBON. Unidad de Planeación Minero Energética UPME. <u>Planteamiento Estratégico del</u> <u>Programa de Reconversión a Tecnologías Limpias en</u> <u>Termoeléctricas</u>. Santa Fé de Bogotá, 1997.
- [14] ENVIRONMENTAL Protection Agency EPA <u>Standards of Performance for New Stationary Source</u>. USA 1997.
- [15] ENVIRONMENTAL Protection Agency EPA. <u>Compilation of Air Pollutant Emission Factors</u>. Volumen I and II. AP-42. 5^a ed. Edition. USA, 1995.
- [16] ENVIRONMENTAL Protection Agency EPA. <u>National Primary and Secundary Ambient Air Quality Standards</u>. USA, 1997.
- [17] FERNÁNDEZ VICENTE, Conesa. <u>Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental</u>. Mundi Prensa. 1997.
- [18] GARCÍA LOZADA, Hector. <u>Contaminación Atmosférica: Notas Clase</u>. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1997.
- [19] GUAQUETA, Camilo. Muestreo isocinético. Bogotá, 1979.
- [20] HARRIS, Ciryl M. Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido. Volumen I. Madrid: Mc Graw Hill, 1995.

- [21] HARRISON Lee. Manual de Auditoria Medio Ambiental. Higiene y Seguridad. 2ª ed.. Madrid. Mc Graw Hill, 1996.
- [22] HICKS, Tyler G. Manual Práctico de Cálculos de Ingeniería. Barcelona: Reverté, 1985.
- [23] INSTITUTO Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Manual del observador meteorológico: estación climatológica. Bogotá, 1987.
- [24] INSTITUTO Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC <u>Gestión Ambiental Serie ISO 14000</u>. Bogotá: Juan Alberto García Díaz,
- [25] INSTITUTO Costarricense de Electricidad ICE. <u>Predicción Manejo y Control del Ruido de Plantas de Generación Termoeléctrica</u>. Santa Fe de Bogotá: Aene Consultoría S.A., 1998.
- [26] INTERNATIONAL STANDARD ISO. <u>Acoustics Description and Measurement of Environmental Noise</u>. ISO, 1982.
- [27] ISAGEN E.S.P. <u>Estudio de Factibilidad y Diseño de Turbogases y Ciclos Combinados</u>. Santa Fe de Bogotá: Aene Consultoría S.A., Consultoría Colombiana S.A., 1996.
- [28] ISAGEN S.A. E.S.P. <u>Estudio de Nuevas Tecnologías de</u> Generación Santa Fe de Bogotá: Aene Consultoría S.A., 1997.
- [29] ISAGEN S.A. E.S.P. <u>Diagnóstico Ambiental de Alternativas</u>

 <u>Termoeléctrica del Cesar</u>. Santa Fe de Bogotá: Hector García
 Lozada, Aene Consultoría S.A., 1995.
- [30] ISAGEN S.A. E.S.P. <u>Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Termoeléctrico en el Departamento del Cesar</u>. Santa Fe de Bogotá: Aene Consultoría S.A.,1998.

- [31] LEGIS. <u>Régimen Legal Del Medio Ambiente</u>. Santa Fe de Bogotá, 1998.
- [32] MEDIDA de la Contaminación Atmosférica Procedente de Centrales Térmicas: Medida de Inmisiones. Madrid: Cinemat, 1991.
- [33] MEDIDA de la Contaminación Atmosférica Procedente de Centrales Térmicas: Medida de Emisiones. Madrid: Cinemat, 1991.
- [34] MINISTERIO del Medio Ambiente y otros. <u>Convenio de</u> <u>Concertación para una Producción más Limpia con el Sector Eléctrico</u>. Santa Fe de Bogotá, 1997.
- [35] MINISTERIO del Medio Ambiente. <u>Guía Ambiental para Minería Subterránea del Carbón (MSC)</u>. Santafé de Bogotá: Hector García Lozada 1998.
- [36] MINISTERIO del Medio Ambiente. <u>Guía Ambiental para Proyectos</u> <u>de Distribución Eléctrica</u>. Santa Fe de Bogotá: Consultoría Colombiana, 1998.
- [37] MINISTERIO del Medio Ambiente. <u>Normatividad Ambiental Básica</u>. Medellín, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia 1996.
- [38] MINISTERIO del Medio Ambiente. <u>Política Nacional de Producción</u> <u>más Limpia</u>. Santa Fe de Bogotá, 1997.
- [39] MINISTERIO del Medio Ambiente.. <u>Guía de Exploración Sísmica</u>. Santafé de Bogotá: Calidad Del Aire Cia Ltda., 1998.
- [40] MONSALVE Sáens, Germán. <u>Hidrología en la Ingeniería</u>. Santa Fe de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995.

- [41] MONTEALEGRE B., José Edgar. <u>Técnicas estadísticas aplicadas</u> en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos. Bogotá, 1981.
- [42] ORGANIZACION Latinoamericana de Energía OLADE. <u>Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de Centrales Termoeléctricas</u> Quito. 1993.
- [43] [RECOPILACION de información sobre climatología]. Bogotá: Aene consultoría, 1998.
- [44] ROSALER, Robert C. Standard Handbook of Plant Engineering. 2^a ed. 1994.
- [45] SANCLEMENTE Xiomara. Evaluación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. Aproximación del Costo que Significa Cumplir una Norma de Emisión. Santa Fe de Bogotá: Universidad de los Andes, Magister en Ingeniería Civil, 1996.
- [46] SERVICIO Nacional de Aprendizaje SENA. <u>Capacitación para mejorar la competitividad y el desarrollo tecnológico en las plantas térmicas de generación eléctrica. Curso de gestión ambiental planta térmicas a carbón.</u> Santa Fe de Bogotá, Javier Méndez, Aene Consultoría, 1998.
- [47] SERVICIO Nacional de Aprendizaje SENA. <u>Capacitación para mejorar la competitividad y el desarrollo tecnológico en las plantas térmicas de generación eléctrica. Curso de gestión ambiental planta térmicas a gas.</u> Santa Fe de Bogotá, Javier Méndez, Aene Consultoría, 1998.
- [48] SINGER, Joseph G. Combustion Fossil Power System. 1981.
- [49] STOLLBERG, Robert. <u>Física: Fundamentos y Fronteras</u>. México: Publicaciones Cultural, 1971.

- [50] <u>SURFACE mining</u>. 2^a ed. Littleton, Colorado: Society for Mining Metallurgy and Exploration Inc. 1990.
- [51]THE AMERICAN Society of Mechanical Engineers ASME. <u>Gas</u> <u>Turbine Installation Sound Emissions</u> ASME B 133.8.
- [52] TURNS Stephen. An Introduction to Combustion: Concepts and Applications. Madrid: Mc Graw Hill, 1996.
- [53] UNIDAD de Planeación Minero Energética UPME. <u>Determinación</u> del potencial de cogeneración en el sector terciario del país. Santa Fe de Bogotá: Aene Consultoía, 1998.
- [54] UNIDAD de Planeación Minero Energética UPME. Estudio sobre el desarrollo del potencial de cogeneración en el país. Santa Fe de Bogotá: Aene Consultoría, 1996.
- [55] UNIVERSAL Stack Sampler. Operation Manual. Andersen Inc.,1990.
- [56] UNIVERSIDAD del Bosque. <u>Contaminación Atmosférica y Enfermedades Respiratorias</u>, <u>Análisis de Fuentes de Emisiones y Aplicación de Modelos de Dispersión</u>. Santafé de Bogotá: Hector García Lozada, 1997.
- [57] VALENCIA V, Ben-Hur. <u>Balance de Materia en Procesos de Combustión: Elementos de Gasificación y Carbonización.</u> Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 1986.
- [58] WARK, Kenneth. <u>Contaminación del aire: Origen y Control</u>. 2ª ed. México: Edit. Limusa. 1990.
- [59] WORLD Bank <u>Environment. Health and Safety Guidelines Thermal Power Plants</u>. Washington, 1994.
- [60] WORLD Bank. Noise Guidelines Limits in Decibels dB(A). Washington, 1994.