

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA UZ.
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“ESCENARIOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES
EN EL SECTOR INDUSTRIAL DE JURISDICCIÓN
LOCAL DEL DISTRITO FEDERAL”

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CIVIL

PRESENTA:

GABRIELA GARCÍA MÁRQUEZ

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. RICARDO CONTRERAS CONTRERAS



DICIEMBRE 2010



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D. F., siendo las 15:00 horas del día 07 del mes de diciembre del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A. – U. Z. para examinar la tesis titulada:
Escenarios de reducción de emisiones en el sector industrial de jurisdicción Local del Distrito Federal.

Presentada por el alumno:

<u>García</u> Apellido paterno	<u>Márquez</u> Apellido materno	<u>Gabriela</u> Nombre(s)							
Con registro: <table border="1"><tr><td>B</td><td>0</td><td>8</td><td>1</td><td>5</td><td>5</td><td>6</td></tr></table>			B	0	8	1	5	5	6
B	0	8	1	5	5	6			

aspirante de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

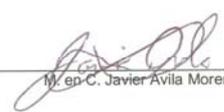
Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

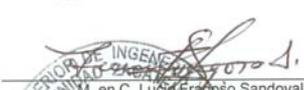
Director(a) de tesis


M. en C. Ricardo Contreras Contreras

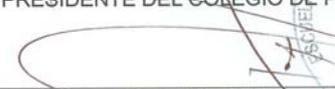

Dr. Jorge Meléndez Estrada


M. en C. Javier Avila Moreno


M. en I. Felipe López Sánchez


M. en C. Lucio Fragozo Sandoval

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


M. en C. Pino Durán Escamilla


SECCIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México D.F. el día 8 del mes Diciembre del año 2010, la que suscribe Gabriela García Márquez alumna del Programa de Maestría en Ingeniería Civil con número de registro B081556, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura UZ, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de M. en C. Ricardo Contreras Contreras y cede los derechos del trabajo intitulado “**Escenarios de reducción de emisiones en el sector industrial de jurisdicción Local del Distrito Federal.**”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección gaby_gm33@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Gabriela García Márquez

Agradecimientos

Gracias a Dios por todo lo bueno que me da y ser el autor de todos mis logros, por haber puesto en mi camino a tantas personas que me han apoyado y que el día de hoy son parte de este éxito.

Gracias a mi mamá por darme la vida y ser mi inspiración como mujer.

Gracias a mi papá por ser la motivación para terminar todo lo que empiezo.

Gracias a Fer por haber sido la razón y sostén para luchar en esta vida.

Gracias a Carlitos por escucharme y por la confianza que me brinda.

Gracias a todas mis hermanas adoptivas: Jessica, Mayra y Gris; por ser parte de mi familia y por estar conmigo cuando más necesite de alguien.

Gracias a cada uno de mis amigos por existir y por brindarme tanto cariño, a mi amigocho del trabajo Miguel Ángel por todo su apoyo y colaboración en este trabajo.

Gracias a mi novio Pedro por haber llegado a mi vida y darme tanto amor.

Gracias a todos mis familiares que tanto me aprecian y que significan mucho para mí.

Gracias a mi abuelita que aunque ya no está conmigo es parte de lo que ahora soy y de lo que he logrado.

Gracias a mis profesores por toda la enseñanza que me brindaron.

Gracias a mi Director de Tesis por su gran apoyo durante todo el posgrado.

Índice de Tablas

Tabla 1.- Clasificación de sectores de acuerdo a la actividad económica	8
Tabla 2.- Subsectores que conforman la industria manufacturera	13
Tabla 3.- Etapas de emisión de los principales subsectores de generación de contaminantes criterio y Gases de Efecto Invernadero	21
Tabla 4.- Óxidos de Nitrógeno (NOx)	34
Tabla 5.- Absorbentes empleados en la depuración húmeda	62
Tabla 6.- Compuestos Orgánicos Volátiles Exentos	66
Tabla 7.- Métodos de control propuestos para cada contaminante	76
Tabla 8.- Tecnologías de control para calderas	76
Tabla 9.- Métodos de control aplicables para cada subsector	79
Tabla 10.- Métodos de control por contaminante en el subsector 31	80
Tabla 11.- Métodos de control por contaminante en el subsector 32	81
Tabla 12. Poderes caloríficos para GLP, Diesel y Gas Natural	83
Tabla 13.- Estimación de reducciones por contaminante y por etapa	85
Tabla 14.- Estimación de reducciones por contaminante y escenario para todos los subsectores	86
Tabla 15.- Estimación de reducciones por contaminante y escenario de los subsectores más contaminantes	87

Índice de Figuras

Figura 1.- Distribución por delegación de la industria local del Distrito Federal	10
Figura 2.- Distribución de contaminantes criterio de la industria local en el Distrito Federal	11
Figura 3.- Distribución de Gases de Efecto Invernadero de la industria local en el Distrito Federal	12
Figura 4.- Contribución de contaminantes criterio por subsector	14
Figura 5.- Contribución porcentual de contaminantes criterio y su aportación en las ramas que conforman al subsector 31	15
Figura 6.- Contribución porcentual de contaminantes criterio y su aportación en las ramas que conforman al subsector 34	16
Figura 7.- Contribución porcentual de contaminantes criterio y su aportación en las ramas que conforman al subsector 35	17
Figura 8.- Contribución porcentual de contaminantes criterio y su aportación en las ramas que conforman al subsector 38	18
Figura 9.- Contribución porcentual de contaminantes criterio y su aportación en las ramas que conforman al subsector 32	19
Figura 10.- Contribución de emisiones de gases de efecto invernadero por subsector	20
Figura 11.- Contribución porcentual de emisiones por etapa	22
Figura 12.- Principales áreas de un proceso productivo en general	22
Figura 13.- Consumo energético porcentual de combustibles y número de empresas que lo emplean	23
Figura 14.- Fases del proceso de elaboración de pan	24
Figura 15.- Fases del proceso de elaboración de harina de trigo	26
Figura 16.- Fases del proceso de impresión	27
Figura 17.- Fases del proceso de elaboración de productos de plástico	28
Figura 18.- Fases del proceso de fabricación de productos metálicos	29
Figura 19.- Ciclón	44
Figura 20.- Materiales filtrantes para los colectores de partículas a)bolsas b)cartuchos, c)mangas	46
Filtros 21.- Filtros y/o colector de partículas	48
Figura 22.- Precipitador electrostático	51
Figura 23.- Columnas de adsorción a) Flujo descendente b) Flujo ascendente	53
Figura 24.- Equipo de oxidación	54
Figura 25.- Principio de funcionamiento de un equipo de oxidación catalítica	56
Figura 26.- Absorción química para el control de CO ₂	59
Figura 27.- Escenarios de costos de combustibles	67
Figura 28.- Quemador de bajo NO _x (QBN)	71

CONTENIDO

Índice de Tablas	i
Índice de Figuras.....	ii
Contenido.....	iii
Resumen.....	v
Abstract	vi

Introducción.....	1
Justificación.....	3
Objetivos.....	5
Metodología.....	6

CAPITULO 1.-Subsectores industriales ubicados en el Distrito Federal de Jurisdicción local

1.1 Introducción.....	7
1.2 Industria manufacturera local y distribución de emisiones en el Distrito Federal	9
1.3 Descripción general de cada subsector.....	12
1.4 Descripción de los subsectores con mayor aporte de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero.....	14
1.4.1 Subsectores con mayor aporte de contaminantes criterio.....	14
1.4.2 Subsectores con mayor aporte de gases de efecto invernadero...	19

CAPITULO 2.- Etapas de un proceso productivo donde se generan emisiones a la atmósfera

2.1 Generalidades.....	21
2.2 Etapa de combustión.....	22
2.3 Etapa de proceso.....	24

CAPITULO 3.- Contaminantes criterio y Gases de Efecto Invernadero

3.1 Generalidades.....	30
3.2 Contaminantes criterio.....	31
3.3 Gases de efecto invernadero.....	39

CAPITULO 4.- Métodos de control

4.1 Definición de los métodos de control.....	41
4.1.1 Generalidades.....	41
4.1.2 Definición de Equipos de control.....	41
4.1.3 Definición de Cambio de materia prima y/o combustibles o fuentes de energía alterna.....	41
4.1.4 Definición de cambio y/o mejoras de condiciones en el proceso y modificación de tecnologías.....	42
4.1.5 Definición de cambio y/o mejoras en el proceso y modificación de Tecnologías.....	42
4.1.6 Definición de Buenas prácticas.....	42

4.2 Descripción de los métodos de control para algún contaminante o GEI en particular.....	42
4.2.1 Equipos de control.....	42
4.2.1.1 Equipos de control para Material particulado.....	42
4.2.1.1.1. Ciclones.....	42
4.2.1.1.2 Filtros.....	45
4.2.1.1.3 Precipitadores electrostáticos.....	50
4.2.1.2 Equipos de control para Compuestos Orgánicos Volátiles.....	52
4.2.1.2.1 Equipo de adsorción.....	52
4.2.1.2.2 Equipo de oxidación.....	54
4.2.1.3 Equipos de control para Bióxido de Carbono.....	56
4.2.1.3.1 Métodos criogénicos.....	57
4.2.1.3.2 Adsorción física en sólidos.....	58
4.2.1.3.3 Separación mediante membranas selectivas.....	58
4.2.1.3.4 Absorción química.....	59
4.2.1.4 Equipos de control para Bióxido de Azufre.....	60
4.2.4.4.1 Desulfuración del gas de chimenea.....	60
4.2.2 Cambio de materia prima y/o combustible.....	65
4.2.2.1 Cambio de materia prima para control de Compuestos Orgánicos Volátiles.....	65
4.2.2.2 Cambio de combustible para el control de SO ₂ , NO _x y PM ₁₀	65
4.2.3 Cambio de condiciones y/o mejoras en el proceso y modificación d de Tecnologías.....	68
4.2.4 Buenas prácticas.....	74

CAPITULO 5.-Escenarios y estimación de reducciones

5.1 Selección de métodos de control.....	76
5.2 Estimación de reducciones por la aplicación de métodos de control.....	82
5.2.1 Óxidos de Nitrógeno.....	82
5.2.2 Material particulado menor a 10 micrómetros.....	83
5.2.3 Óxidos de azufre.....	83
5.2.4 Bióxido de carbono.....	84
5.2.5 Compuestos orgánicos volátiles.....	84

CAPITULO 6.-Beneficios al sector industrial

6.1 Exención al Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas.....	89
6.2 Estímulos e incentivos fiscales.....	90
6.3 Otorgamiento de certificados de industria limpia.....	92
6.4 Comercialización de CO ₂	93

Conclusiones y Recomendaciones	95
Glosario	98
Bibliografía	100

Resumen

La siguiente tesis tiene como propósito presentar la estimación de reducción de las emisiones que son generadas en los procesos que se llevan a cabo en la industria manufacturera de jurisdicción local del Distrito Federal, a través de la implementación de mejores métodos de control y su aplicación para prevenir y/o controlar dicha generación. La importancia de reducir las emisiones, se encuentra en que éstas repercuten en la salud del ser humano y en el deterioro del medio ambiente.

El sector industrial por medio de sus variados productos, satisface múltiples necesidades, además de crear diferentes fuentes de trabajo, es por eso, que debe lograrse un equilibrio que le permita seguir cumpliendo con sus objetivos, pero a la vez consiga disminuir el impacto ambiental que ocasiona.

Para la realización de esta tesis, se tomo como base el Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, asimismo, se estableció como parte de la metodología el análisis de la base de datos de la industria local del Distrito Federal para identificar los subsectores con mayor aporte de emisiones, así como sus diferentes procesos, seguido de un control de calidad para validar estos datos, se investigó los diferentes métodos de control existentes y se plantearon los posibles escenarios de reducciones a partir de la propuesta de implementar mejores métodos de control de emisiones, finalmente se describieron los beneficios económicos y ambientales que obtiene la industria.

De acuerdo a los resultados aquí obtenidos se aprecia una estimación general de reducciones que varía entre un 16 a un 90% de acuerdo al contaminante evaluado, además de sus variantes dependiendo de los diferentes procesos considerados.

Para lograr dicha reducción además de la participación del sector industrial es necesaria una mayor incentivación y el apoyo necesario que permita una sinergia industria-gobierno que conlleven a la mejora de la calidad del aire.

Abstract

The objective of this thesis is to present the estimate of reduction in emissions that are generated in the processes that take place in manufacturing local jurisdiction Federal District, through the implementation of better control methods and its application to prevent and / or control the generation. The importance of reducing emissions is that it affect the human health and environmental deterioration environment.

The industrial sector through its various products, satisfy many necessities, and create different sources of work, therefore, that balance must be struck that allows you to continue to meet its objectives, yet manages to reduce the environmental impact causes.

To carry out this thesis, was based on the Criteria Pollutant Emission Inventory of Mexico City Metropolitan Area-2008, also established himself as the analysis methodology of the database of the Federal District's local industry to identify the sub- greater contribution of emissions, and the different processes, followed by quality control to validate this data, we studied different existing control methods and raised the possible scenarios of reductions from the best proposal for implementation of methods, finally it was described the economic and environmental benefits obtained by the industry.

According to the results seen an overall estimate of reductions ranging from 16 to 90% according to the contaminant evaluated, as well as its variations depending on the different processes mentioned.

To achieve this reduction in addition to the industrial sector involvement is needed more incentive retroactive and support necessary to enable an industry-government synergy that lead to improved air quality.

Introducción

De acuerdo al último Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, de contaminantes criterio (SMA-GDF, 2010a) y Gases de efecto invernadero (SMA-GDF, 2010b), publicado en el 2010 por la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal se estima que las fuentes fijas (1,472 empresas)¹ que se encuentran dentro de la jurisdicción local del Distrito Federal, contribuyen con más de 18,000 toneladas por año de contaminantes criterio (SO₂, Material Particulado, NO_x y CO) así como de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) como precursor de ozono; cerca de un millón de Gases de Efecto Invernadero (GEI) considerando las emisiones de óxido nitroso (NO₂), metano (CH₄) y bióxido de carbono (CO₂) expresadas como toneladas de CO₂ equivalentes, derivadas de la quema de combustibles fósiles.

Estas emisiones afectan directamente la salud del ser humano y alteran las condiciones naturales del medio ambiente. Algunos de los contaminantes mencionados anteriormente (Ozono, Material Particulado, SO₂, CO) se encuentran normados dentro de nuestro país, en donde se les ha establecido niveles permisibles de concentración para proteger el bienestar de la población, dada la repercusión que éstos pueden tener en el ser humano; los COV además de contribuir a la formación de ozono y smog fotoquímico, tienen efectos nocivos por la toxicidad que éstos presentan y aunque no hay un límite en lo que respecta a su concentración o emisión, es importante su control; finalmente en cuanto a los GEI, éstos son causantes del efecto invernadero, el cual es un fenómeno natural, pero al aumentar las cantidades de estos gases se contribuye al calentamiento global, que a su vez es causante de desequilibrios en los ecosistemas.

En todo esto radica la importancia de identificar las fuentes de generación de emisiones al aire y siendo una de las principales fuentes el sector industrial, se hace indispensable identificar las principales etapas que dentro de sus

¹ considerando únicamente las fuentes fijas que contempla el inventario 2008

diferentes procesos involucran dicha generación; con la finalidad de prevenir o en su defecto controlarla, a través de equipos de control, mejoramiento en el proceso, cambio de materias primas, reconversión energética, y en general, medidas que contribuyan al mejoramiento de la calidad del aire y a la salud del ser humano o que simplemente el proceso no implique un impacto tan negativo al medio ambiente.

Dentro de las fuentes fijas (sector 3: Industria manufacturera, de acuerdo a la Clave Mexicana de Actividades y Productos (CMAP)), los principales subsectores que contribuyen a la generación de emisiones a la atmósfera dentro de la jurisdicción local son el 31 “productos alimenticios, bebidas y tabaco”, derivado del almacenamiento y transporte de materias primas para el caso del contaminante de material particulado. Mientras que la quema de grandes cantidades de consumo de combustible para sus respectivos procesos, es el causante de las altas emisiones de gases de efecto invernadero; el subsector 35 “ Sustancias químicas, derivados del petróleo, productos del caucho y plásticos” , en donde se emiten grandes cantidades de COV por la actividad de extrusión de materia prima que involucra el procesamiento de polímeros empleados para la elaboración de productos plásticos, además del uso de solventes orgánicos.

Finalmente, otros subsectores como el 34 “papel y productos de papel, imprentas y editoriales” y el 38 “productos metálicos, maquinaria y equipo” ocupan dentro de sus procesos algunos solventes o productos que contienen éstos, ya sea para las propias actividades del proceso o para la limpieza de sus equipos, de esta manera, se emiten emisiones de compuestos orgánicos volátiles.

Justificación

La emisión de contaminantes, así como la generación excesiva de gases de efecto invernadero, implica alteraciones en los ecosistemas pero sobre todo en la salud del ser humano. El sector industrial, contribuye con esta generación a través de sus diferentes procesos que lleva a cabo para la elaboración de algún producto y por la quema de combustibles fósiles como parte también del proceso.

Debido a esto, es de suma importancia que cada empresa que si bien se encuentre comprometida socialmente a través de la calidad de un producto, también introduzca el factor ambiental, mejorando sus procesos por medio de la reconversión energética, la incorporación de métodos de control en aquellas etapas que estén generando emisiones e incluso a través de la recuperación de gases que normalmente son emitidos al aire y que podrían después comercializarse, y en general un conjunto de sistemas y medidas que conlleven a minimizar los impactos al medio ambiente.

Para lograr este propósito se tienen que identificar las etapas de generación dentro de un proceso, así como sus principales emisiones de los diferentes giros que conforman al sector industrial, con el objetivo de poder proponer métodos de control que reduzcan en lo más posible las emisiones, y de esta manera beneficiar tanto al medio ambiente como al ser humano.

Cabe señalar, que si bien las empresas ubicadas en la jurisdicción local del Distrito Federal no son las que aportan la mayor cantidad de emisiones de toda la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), el análisis y la metodología de control aquí descrita se puede llevar a la jurisdicción federal y a sus respectivos estados, por lo que, en esta tesis se analizó una muestra de industrias generadoras de emisiones, que servirá de base para aplicarlo a otras, es decir, a partir del análisis de los subsectores más contaminantes se propondrá alternativas de reducción de emisiones que el mismo sector industrial pueda considerar y de esta manera se minimice el impacto ambiental derivado de sus propios procesos y actividades, además de que el análisis incluye un control de calidad en la base de datos de empresas locales del DF que sirve de base para elaborar normas de jurisdicción local y realizar el

inventario de emisiones de la ZMVM y éste a su vez para la toma de políticas y medidas que mejoren la calidad del aire.

Por otra parte, debido a que toda la normatividad federal para los contaminantes criterio regulan una concentración y no la cantidad, se registran muchas empresas a las que se les estima grandes volúmenes de generación de contaminantes, ya que no hay una limitante sobre este factor, sin embargo, a nivel local existen programas en los que puede participar el sector industrial y beneficiarse siempre y cuando demuestre cumplir con límites de emisión (cuantitativos), tal es el caso del programa de exención por Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) y Óxidos de Nitrógeno (NO_x), sin embargo, como se podrá describir en este documento, existen subsectores que generan altas emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), lo que trajo consigo elaborar normatividad como herramienta para poder reducirlas, es por eso que en el 2009, entró en vigor una norma local² que regula a estos compuestos provenientes de algún solvente orgánico o productos que los contienen, no obstante, al no tener mucho tiempo la aplicación de ésta, son pocas las empresas que los controlan, además, el Distrito Federal a través de los retos que se plantea en el Programa de Medio Ambiente 2007-2012, de la Agenda Ambiental de la Ciudad de México (SMA-GDF, 2007); en lo que respecta a la reducción de emisiones al aire, contempla proponer nuevos criterios de exención al Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) para los COV, lo que significa otro estímulo para invertir, al igual que otros beneficios como el otorgamiento de certificados de industria limpia, estímulos e incentivos fiscales y en si una serie de factores que pueden motivar al sector industrial a invertir en métodos que permitan reducir las emisiones lo cual también es un reto que se encuentra en el mismo programa. Derivado de todo esto, se pretende facilitar al sector industrial los métodos de control apropiados para la reducción de sus emisiones, así como los beneficios económicos, sociales y ambientales que pueden tener al implementar dichos métodos.

² El 24 de Marzo entró en vigor en el Distrito Federal la NADF-011-AMBT-2007 que establece los límites máximos permisibles de emisiones de compuestos orgánicos volátiles en fuentes fijas de jurisdicción del Distrito Federal que utilizan solventes orgánicos o productos que los contienen.

Objetivos

Objetivo General

Mostrar diferentes escenarios de reducción de emisiones con la propuesta de métodos de control apropiados a los procesos del sector industrial de jurisdicción local del Distrito Federal.

Objetivos específicos

- ❖ Identificar los subsectores del sector industrial con mayor aportación de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero.
- ❖ Determinar las etapas dentro de cada proceso en donde se generan emisiones a la atmósfera de los subsectores más contaminantes.
- ❖ Identificar los principales contaminantes criterio y gases de efecto invernadero que son emitidos a la atmósfera en los subsectores más contaminantes.
- ❖ Identificar los métodos de control que permitan en cada una de las etapas de los procesos minimizar las emisiones a la atmósfera.
- ❖ Seleccionar los métodos de control apropiados para cada etapa
- ❖ Estimar la reducción de emisiones por contaminante y subsector, y presentar los diferentes escenarios derivados de la implementación de los métodos de control
- ❖ Mostrar los diferentes beneficios económicos y ambientales

METODOLOGIA

1.- Análisis de la base de datos de la industria local del Distrito Federal para:

- ✓ Identificar:
 - a) los subsectores con mayor aporte de contaminantes criterio y Gases de Efecto Invernadero (GEI)
 - b) los diferentes procesos que contribuyen con la mayor generación de emisiones
 - c) cada una de las etapas de emisión en cada uno de los procesos
- ✓ Control de calidad (recalculo de las emisiones más grandes)

2. Descripción general de cada proceso y de sus principales fases de generación

3.-Investigación de métodos de control

4.- Propuesta de métodos de control para los diferentes contaminantes derivados de cada etapa

5.- Estimación de las reducciones de emisiones a la atmósfera con la aplicación de métodos apropiados aquí seleccionados y propuestos.

6.- Descripción de los beneficios para el sector industrial

CAPITULO 1. Subsectores industriales ubicados en el Distrito Federal de Jurisdicción local

1.1 Introducción

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística Geográfica e informática (INEGI) las actividades económicas son procesos que permiten la obtención de productos, bienes y servicios que satisfacen las necesidades del ser humano. Comúnmente las actividades de una economía se dividen en tres grandes grupos que son:

- ✓ Actividades económicas primarias,
- ✓ Actividades económicas secundarias y
- ✓ Actividades económicas terciarias

Las actividades económicas primarias engloban aquellas que se relacionan con el aprovechamiento y extracción de los recursos naturales como el suelo, el agua, la flora y la fauna, de las que se derivan actividades económicas como la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la caza, la minería y la pesca.

Las actividades económicas secundarias comprenden las relacionadas con la transformación de los recursos del sector primario. Dentro de este sector se encuentran las industrias ligeras que producen bienes de consumo inmediato como alimentos, zapatos, bolsas, juguetes; las industrias pesadas que producen maquinaria y otros insumos para otros sectores y las manufactureras que se encargan de la elaboración de productos más complejos a través de la transformación de las materias primas.

Finalmente las actividades económicas terciarias corresponden a las actividades complementarias a las dos anteriores y se refieren a la prestación de algún servicio, comercio, la comunicación y el turismo.

La Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP) es un clasificador de actividades económicas que contiene todo un sistema de

codificación para agrupar datos económicos según categorías de actividad con características análogas.

La CMAP contiene cuatro niveles de agregación: Sector, Subsector, Rama y Clase de Actividad.

Sectores

Para la formación de los sectores se desglosa cada uno de los tres grandes grupos de actividades económicas teniendo lo que se muestra en la tabla 1:

Tabla 1.- Clasificación de sectores de acuerdo a la actividad económica

Actividad Económica	Sectores de la CMAP
Actividades primarias	1 Agricultura, Ganadería, Caza, Silvicultura y Pesca
Actividades secundarias	2 Minería y extracción de petróleo 3 Industrias Manufactureras 4 Electricidad y Agua 5 Construcción
Actividades terciarias	6 Comercio 7 Transportes y Comunicaciones 8 Servicios Financieros, de administración y alquiler de muebles e inmuebles 9 Servicios comunales y sociales; hoteles y restaurantes; profesionales, técnicos y personales. Incluye los servicios a la Agricultura, ganadería, construcción, transportes, financieros y comercio

Fuente: Elaboración propia basada en INEGI, 1997. Clasificación Mexicana de Actividades y productos (CMAP). Censos económicos 1994. México

Subsectores

Dentro de cada sector se encuentran grupos de actividades que pueden diferenciarse en función de las características de los bienes producidos y de los servicios prestados; de los usos a los que se destinan tales bienes y servicios y de procesos, la tecnología y la organización con que se efectúan. Es a partir de estos elementos como del “Sector de actividad” surgen los “subsectores”, que constituyen el segundo nivel de agregación de la clasificación (INEGI, 1997).

Ramas

Dentro de cada subsector se distinguen conjuntos de actividades que se agrupan en “ramas” de acuerdo a las diferentes materias primas y productos empleados, y a los diversos tipos de tecnología y técnicas utilizadas.

Clases

Cada una de las ramas se divide en “clases de actividad”, que representan el último nivel de desagregación de cada una de las actividades económicas realizadas en nuestro país y por lo tanto, identifica de manera más precisa la unidad estadística de observación. Se forma con base a los siguientes criterios:

- ✓ Cada producto o servicio, puede dar origen a una clase de actividad exclusiva para él.
- ✓ La mayor o menor importancia económica de esos productos o servicios conduce a agrupar en la misma clase diferentes productos o servicios ubicados dentro de la misma rama o bien, a dedicarles una clase exclusiva.
- ✓ Dado que la unidad de observación a la que principalmente se aplicará la clasificación es el establecimiento, es necesario tomar en cuenta si comúnmente el resultado de sus actividades es un solo producto o servicio, o si son varios, en cuyo caso puede asignarse para todos ellos la misma clase de actividad (INEGI, 1997).

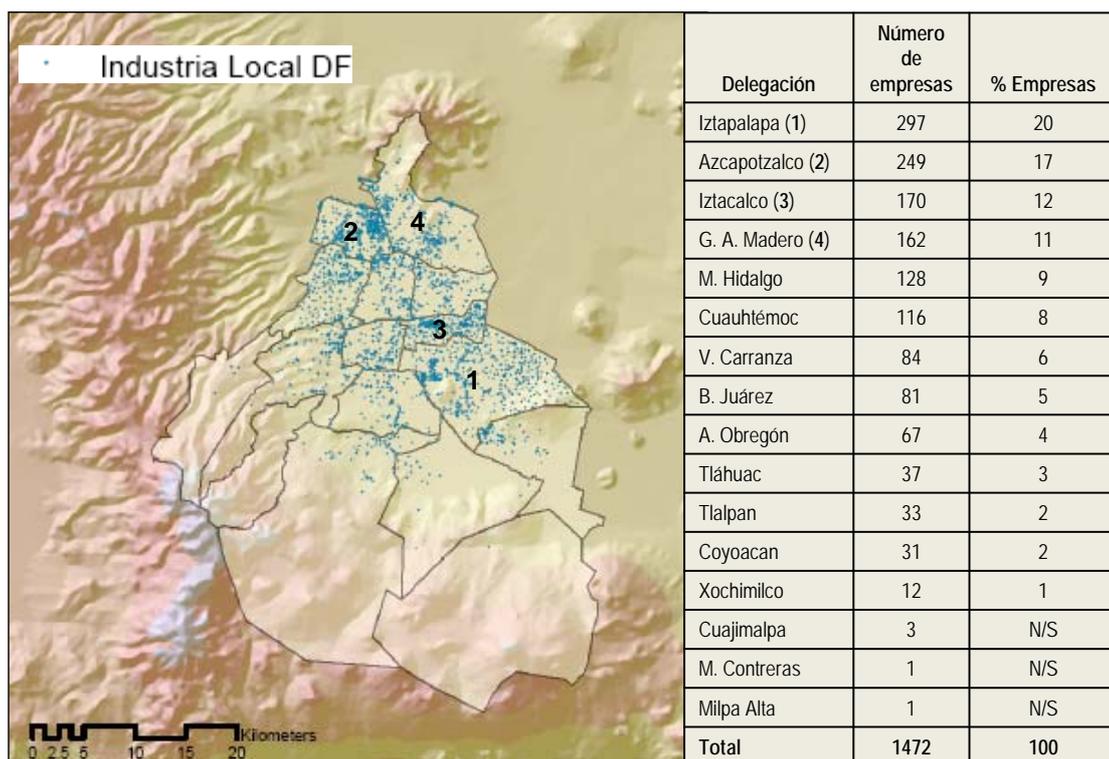
1.2 Industria manufacturera local y distribución de emisiones en el Distrito Federal

La Industria manufacturera se encuentra en el Sector 3, el cual está dentro de las actividades secundarias.

Se entiende por industria manufacturera a la actividad económica que permite transformar a una gran variedad de materias primas en diferentes productos para el consumo. Abarca desde muy pequeñas empresas como son tortillerías, panaderías, entre otras; hasta grandes conglomerados como lo son talleres gráficos, embotelladoras de refrescos y de otras bebidas, empacadoras de alimentos, laboratorios farmacéuticos y fábricas de juguetes, por mencionar algunas.

En el Distrito Federal se concentran un gran número de empresas contempladas en el sector de la industria manufacturera; de acuerdo al último Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, de

contaminantes criterio, se tiene un total de 2,337 empresas registradas en esta entidad, de las cuales 1,472 son de jurisdicción local derivado de las actividades que tiene a su cargo esta competencia³. En la figura 1 se tiene la distribución en el Distrito Federal de empresas locales por cada delegación, observándose que el 60% de la industria se concentra en cuatro delegaciones; Iztapalapa, Azcapotzalco, Iztacalco y G.A. Madero con un total de 878 empresas.



N/S: No significativo

Fuente: Elaboración propia basada en datos de SMA-GDF, 2010a. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

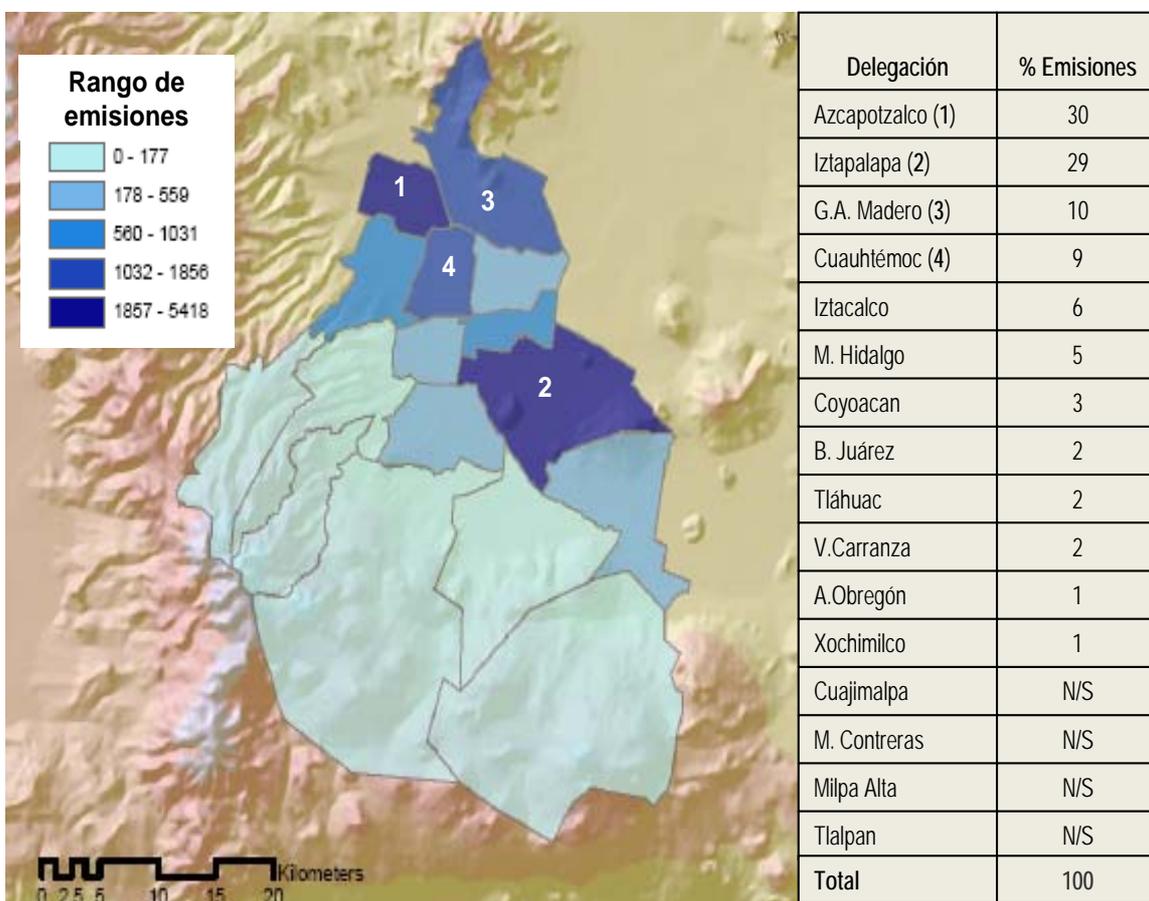
Figura 1.- Distribución por delegación de la industria local del Distrito Federal

En lo que respecta a las emisiones⁴ de contaminantes criterio (PM_{10} , CO, NOX, COV y SO_2), la figura 2 presenta la distribución de contaminantes de las

³ Se consideran fuentes fijas de competencia local todas aquellas que se encuentren fuera del listado que conforma al artículo 111Bis de la Ley General del Equilibrio Ecológico (LGEEPA). Fuentes fijas de competencia federal. Entendiéndose por Fuente Fija toda instalación establecida en un solo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generan o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

⁴ De acuerdo al Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera una "Emisión" es la descarga directa o indirecta a la atmósfera de toda sustancia, en cualquiera de sus estados físicos, o de energía.

delegaciones donde se encuentran ubicadas el mayor número de empresas, tendiendo así que las delegaciones que participan con las mayores emisiones son Azcapotzalco, Iztapalapa, G. A. Madero y Cuauhtémoc con una generación del 78% de los contaminantes criterio de la industria local del Distrito Federal.



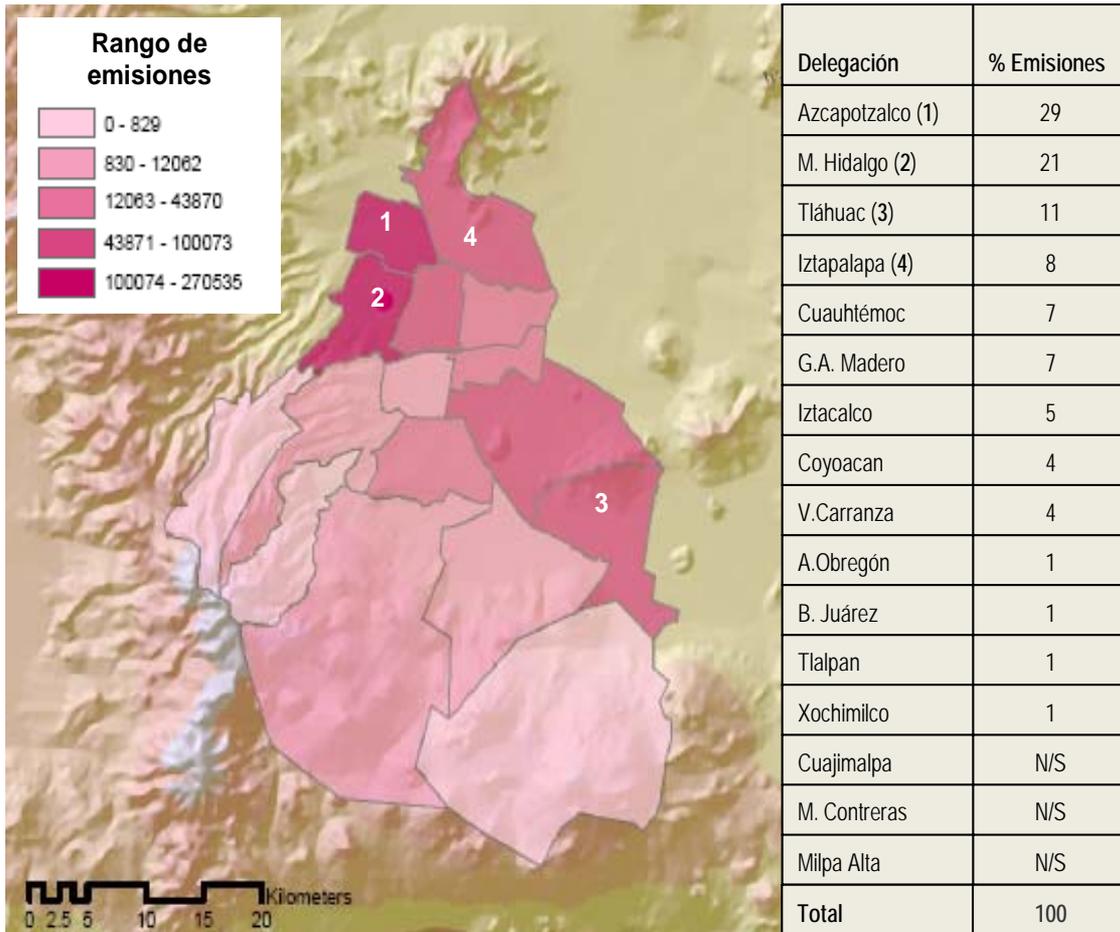
N/S:No significativo

Fuente: Elaboración propia basada en datos de SMA-GDF, 2010a. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

Figura 2.- Distribución de contaminantes criterio de la industria local en el Distrito Federal

Por otra parte, en la figura 3 se encuentra la distribución de Gases de Efecto Invernadero (CO₂ equivalente, el cual considera emisiones de NO₂, CH₄ y CO₂).

El 69% de estas emisiones se registra en cuatro delegaciones: Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Tláhuac e Iztapalapa, siendo dos de éstas las que también participan con la mayor generación para contaminantes criterio.



N/S:No significativo

Fuente: Elaboración propia basada en datos de SMA-GDF, 2010b. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

Figura 3.- Distribución de Gases de Efecto Invernadero de la industria local en el Distrito Federal

1.3 Descripción general de los subsectores que integran a la industria manufacturera local

La tabla 2 muestra los nueve subsectores con los que cuenta la industria manufacturera, así como las respectivas ramas de cada subsector; cabe señalar que la industria local se conforma por todos los subsectores, participando en algunos casos con una o más ramas del propio subsector y con una o más clases de cada rama, a pesar de que éstas ya no son desagregadas en dicha tabla.

Tabla 2.- Subsectores que conforman a la industria manufacturera

Subsectores	Ramas
<p>31 Productos alimenticios, bebidas y tabacos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 3111 Industria de la carne ✓ 3112 Elaboración de productos lácteos ✓ 3113 Elaboración de conservas alimenticias ✓ 3114 Beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas ✓ 3115 Elaboración de productos de panadería ✓ 3116 Molienda de nixtamal y fabricación de tortillas* ✓ 3117 Fabricación de aceites y grasas comestibles * 3118 Industria Azucarera ✓ 3119 Fabricación de cocoa, chocolate y artículos de confitería ✓ 3121 Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano ✓ 3122 Elaboración de alimentos preparados para animales ✓ 3130 Industria de las bebidas ✓ 3140 Industria del tabaco
<p>32 Textiles, prendas de vestir e industria del cuero</p>	<ul style="list-style-type: none"> * 3211 Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo ✓ 3212 Hilado, tejido y acabado de fibras blandas, excluye de punto ✓ 3213 Confección con materiales textiles ✓ 3214 Fabricación de tejidos de punto ✓ 3220 Confección de prendas de vestir ✓ 3240 Industria del calzado, excluye de plástico
<p>33 Industria de la madera y productos de madera</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 3311 Fabricación de productos de aserradero y carpintería, excluye muebles ✓ 3312 Fabricación de envases y otros productos de madera y corcho ✓ 3320 Fabricación y reparación de muebles , incluye colchones
<p>34 Papel, productos del papel, imprentas y editoriales</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 3410 Manufactura de celulosa, papel y sus productos ✓ 3420 Imprentas, editoriales e industrias conexas
<p>35 Sustancias químicas, derivados del petróleo, productos del caucho y plásticos</p>	<ul style="list-style-type: none"> * 3511 Petroquímica básica ✓ 3512 Fabricación de sustancias químicas básicas ✓ 3513 Industria de las fibras ratificales y/o sintéticas ✓ 3521 Industria farmacéutica ✓ 3522 Fabricación de otras sustancias y productos químicos * 3530 Refinación de petróleo ✓ 3540 Industria del coque ✓ 3550 Industria del hule ✓ 3560 Elaboración de productos de plástico
<p>36 Productos de minerales no metálicos, exceptuando derivados del petróleo y carbón</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 3611 Alfarería y cerámica, excluye materiales de construcción ✓ 3612 Fabricación de materiales de arcilla para la construcción ✓ 3620 Fabricación de vidrio y productos de vidrio ✓ 3691 Fabricación de cemento, cal, yeso y otros productos a base de minerales no metálicos
<p>37 Industrias metálicas básicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 3710 Industria básica del hierro y del acero ✓ 3720 Industrias básicas de metales no ferrosos
<p>38 Productos metálicos, maquinaria y equipo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 3811 Fundición y moldeo de piezas metálicas, ferrosas y no ferrosas ✓ 3812 Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales ✓ 3813 Fabricación y reparación de muebles metálicos ✓ 3814 Fabricación de otros productos metálicos ✓ 3821 Fabricación, reparación y/o ensamble de maquinaria para fines específicos, con o sin motor eléctrico integrado ✓ 3822 Fabricación, reparación y/o ensamble de maquinaria para usos generales, con o sin motor eléctrico integrado ✓ 3823 Fabricación y/o ensamble de máquinas de oficina, cálculo y procesamiento informático ✓ 3831 Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos, incluye para la generación de energía eléctrica ✓ 3832 Fabricación y/o ensamble de equipo electrónico de radio, televisión, comunicaciones y de uso médico ✓ 3833 Fabricación y/o ensamble de aparatos y accesorios de uso doméstico, excluye los electrónicos ✓ 3841 Industria automotriz ✓ 3842 Fabricación, reparación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes, excluye automóviles y camiones ✓ 3850 Fabricación , reparación y/o ensamble de instrumentos y equipo de precisión, incluye instrumental quirúrgico
<p>39 Otras industrias manufactureras</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 3900 Otras industrias manufactureras

*No es considerado como industria en el desarrollo del Inventario de emisiones de la ZMVM

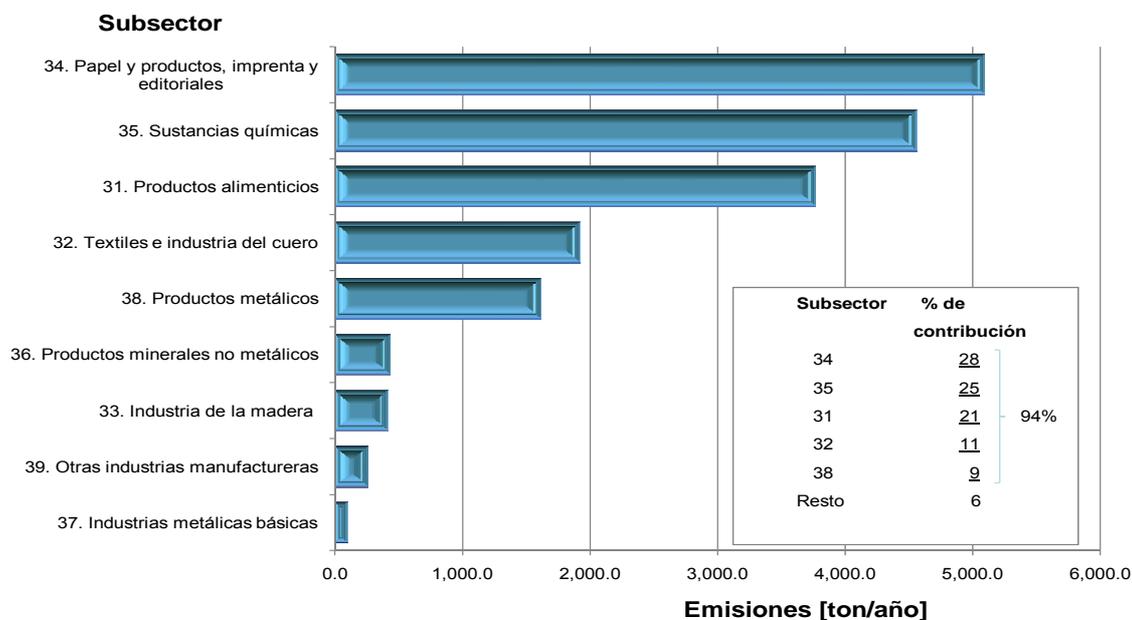
✓ Industria de competencia local * Industria de competencia federal

Fuente: Elaboración propia basada en INEGI, 1997 Clasificación Mexicana de Actividades y productos (CMAP).Censos económicos 1994. México

1.4 Descripción de los subsectores con mayor aporte de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero

1.4.1 Subsectores con mayor aporte de contaminantes criterio

Los subsectores de competencia local que se encuentran en el Distrito Federal contribuyen con la emisión de contaminantes criterio de la siguiente forma:



Fuente: Elaboración propia basada en datos de SMA-GDF, 2010a. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

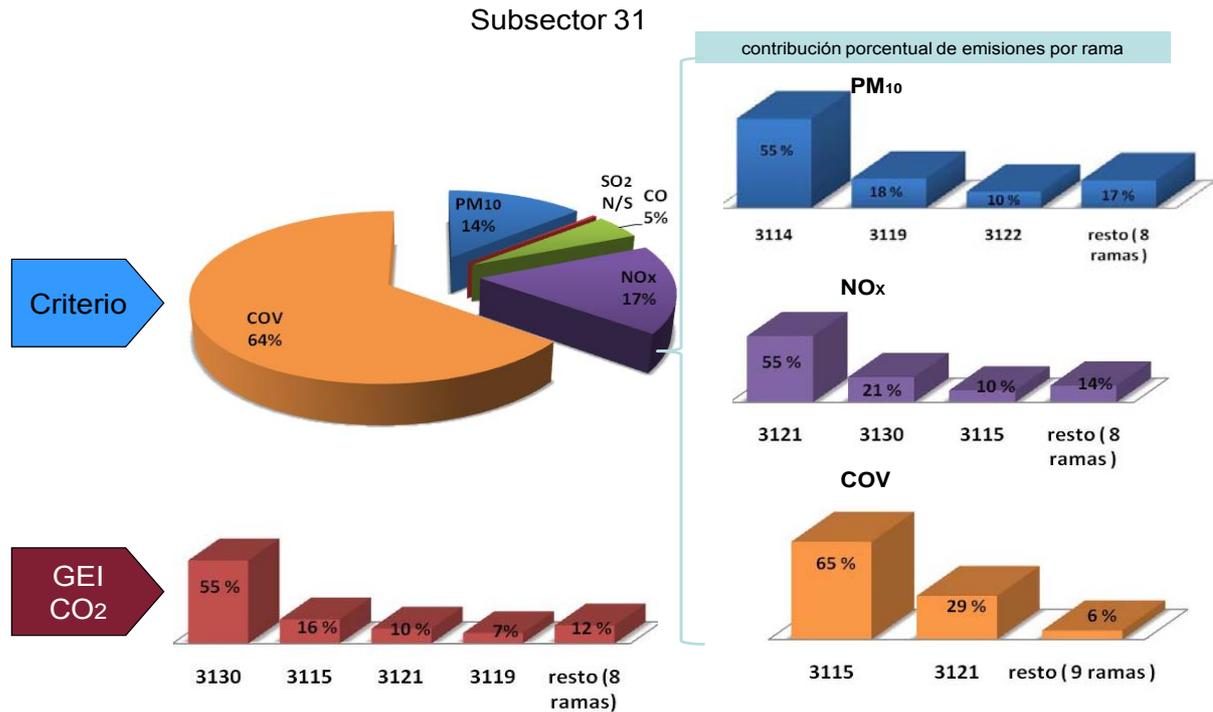
Figura 4. Contribución de contaminantes criterio por subsector

De acuerdo a la figura 4 se observa que el 94% de todas las emisiones de contaminantes criterio es aportada por cinco subsectores: 34, 35, 31, 32 y 38.

A continuación se describen cada uno de éstos:

Subsector 31

El Subsector 31 Productos alimenticios, bebidas y tabacos, aporta cerca del 21% del total de las emisiones generadas, teniendo una distribución de contaminantes criterio como la que se muestra a continuación:



Fuente: Elaboración propia basada en datos de: 1) SMA-GDF, 2010a. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F. 2) SMA-GDF, 2010b. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

Figura 5. Contribución porcentual de contaminantes criterio y su aportación en las ramas que conforman al subsector 31

Según la figura 5 los principales contaminantes criterio emitidos en el subsector 31 son los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) como precursores de ozono (64%), los Óxidos de Nitrógeno (NOx) con un 17% y el material particulado menor a 10 μm (PM₁₀) que aporta el 14% de las emisiones.

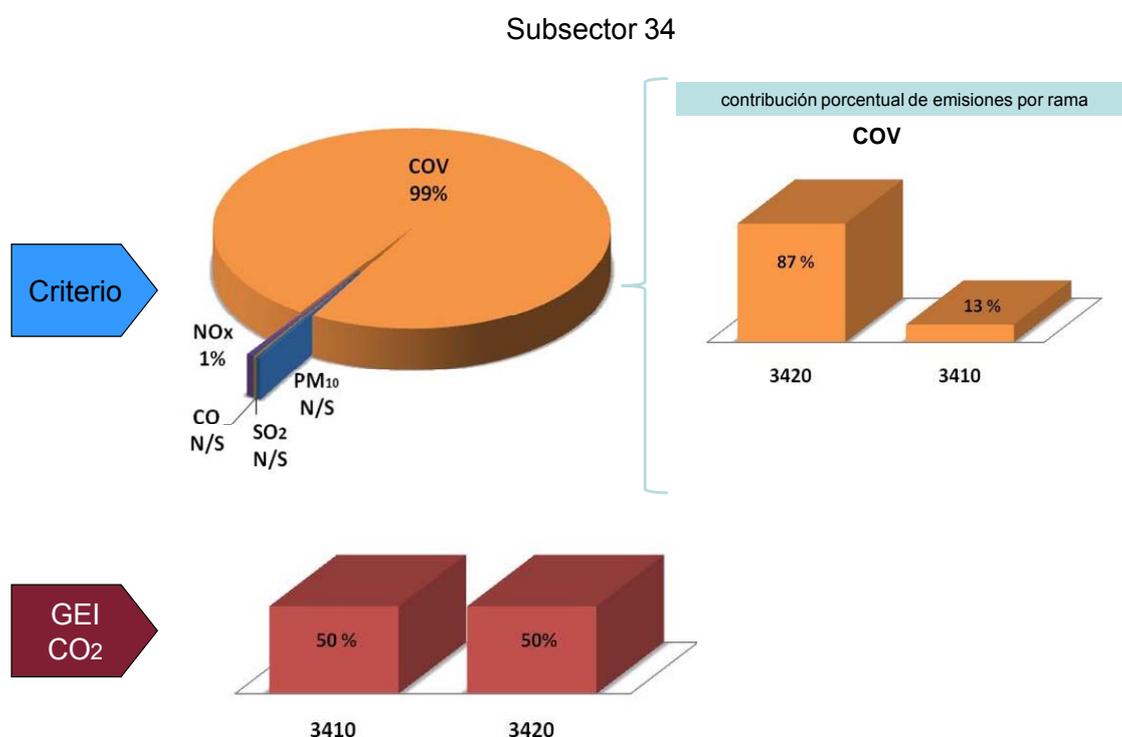
Los COV son generados principalmente por la rama 3115 “elaboración de productos de panadería”; esta rama contribuye con más del 65% de todas las emisiones de COV; estas emisiones se originan de la fermentación de la levadura así como en el horneado, y son consideradas principalmente como etanol. Cabe señalar que esta emisión depende de la levadura fermentada así como del tiempo de acción de ésta. Los NOx provienen principalmente de la rama 3121 “elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano” y 3130 “industria de las bebidas” que en conjunto aportan más del 76% del total de las emisiones de NOx, el origen de estas emisiones es debido a la quema de combustibles fósiles utilizados para sus respectivos procesos.

Finalmente el material particulado menor a 10 μm (PM₁₀) se debe principalmente a la rama 3114 “beneficio y molienda de cereales y otros

productos agrícolas” la cual contribuye con cerca del 30% del total de PM₁₀, proveniente de la elaboración de harinas.

Subsector 34

El Subsector 34, “Papel, productos del papel, imprentas y editoriales”, aporta más de un 28 % del total de las emisiones generadas de contaminantes criterio, y cabe destacar que es el subsector que genera la mayor cantidad de estos contaminantes, la distribución de éstos dentro del subsector es la siguiente:



Fuente: Elaboración propia basada en datos de: 1) SMA-GDF, 2010a. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F. 2) SMA-GDF, 2010b. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

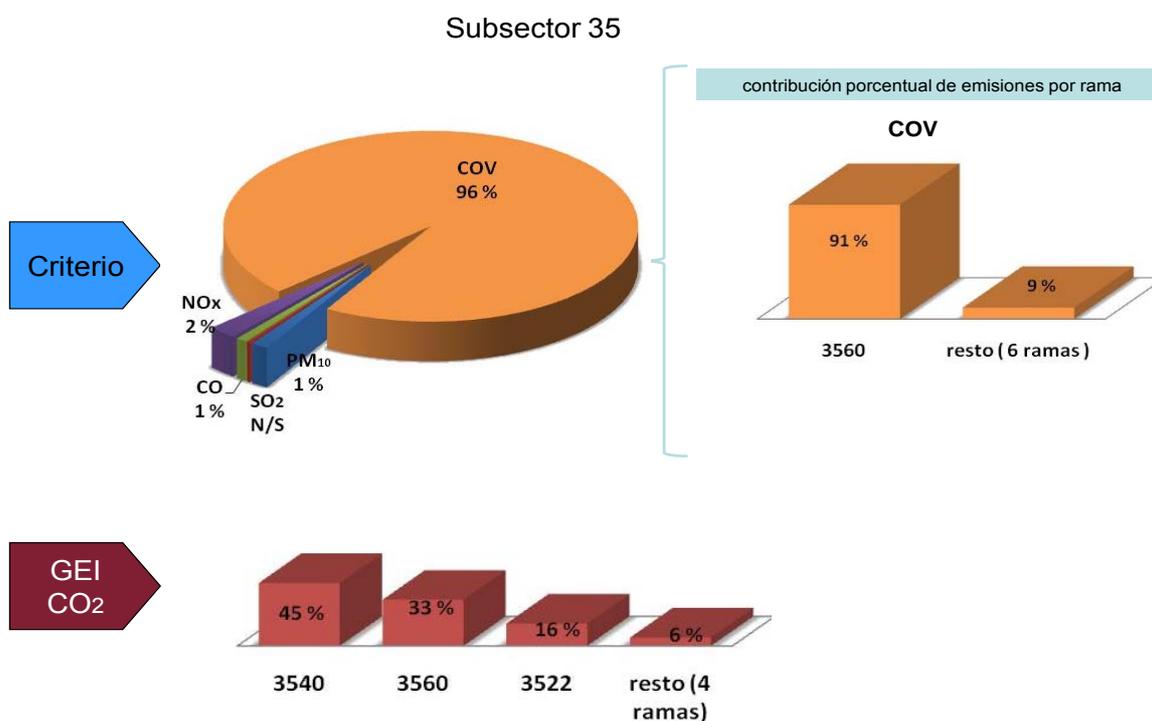
Figura 6. Contribución porcentual de contaminantes criterio y su aportación en las ramas que conforman al subsector 34

De acuerdo a la figura 6, se aprecia que los COV aportan casi el 99% de todas las emisiones del subsector 34, originados principalmente por la rama 3420 “Imprentas, editoriales e industrias conexas”, la cual contribuye con el 87% de las emisiones que aporta este subsector.

Estos COV provienen principalmente del uso de tintas, solventes y adhesivos que son empleados para la impresión y la elaboración de libros, revistas, folletos, entre otros.

Subsector 35

El subsector 35, “Sustancias químicas, derivados del petróleo, productos del caucho y plásticos”, se estima que aporta alrededor del 25% de todas las emisiones; después del subsector 34 es el siguiente subsector que aporta una mayor emisión.



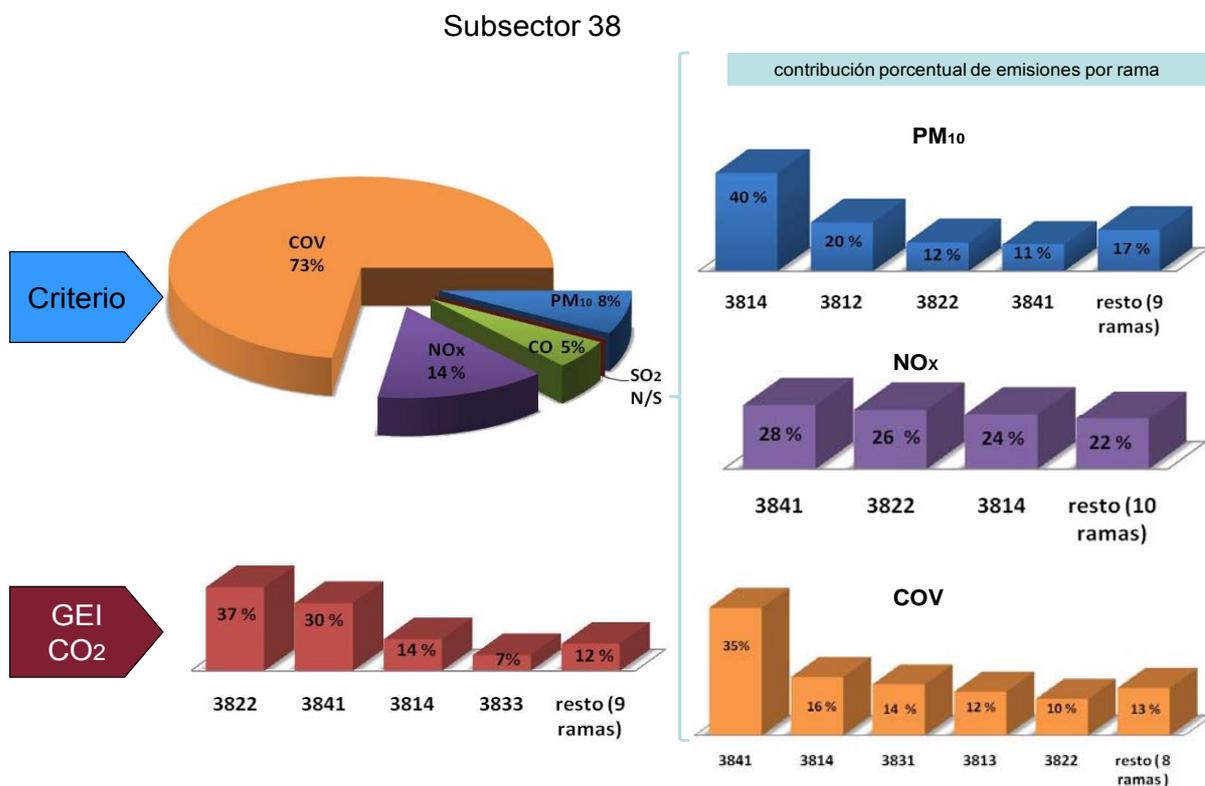
Fuente: Elaboración propia basada en datos de: 1) SMA-GDF, 2010a. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F. 2) SMA-GDF, 2010b. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

Figura 7. Contribución porcentual de contaminantes criterio y su aportación en las ramas que conforman al subsector 35

Según la figura 7, los COV se emiten en mayor proporción comparado con los demás contaminantes, aportando el 96% de la emisión que se genera en este subsector, proveniente en casi su totalidad de la rama 3560 “elaboración de productos de plástico” la cual contribuye con casi el 91%, mientras que las otras 6 ramas tan solo con el 9% , estas emisiones se generan por la actividad de extrusión de materia prima que involucra polímeros utilizados para la elaboración de productos plásticos y además por el uso de solventes.

Subsector 38

Se estima que el subsector 38, “Productos metálicos, maquinaria y equipo”, emite el 9% de las emisiones de todos los contaminantes criterio, su distribución de éstos se muestra en la figura 8:



Fuente: Elaboración propia basada en datos de: 1) SMA-GDF, 2010a. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F. 2) SMA-GDF, 2010b. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

Figura 8. Contribución porcentual de contaminantes criterio y su aportación en las ramas que conforman al subsector 38

De acuerdo a la figura 8, los principales contaminantes que aporta este subsector son los COV, los NOx y las PM₁₀ con un 73, 14 y 8 % de contribución respectivamente.

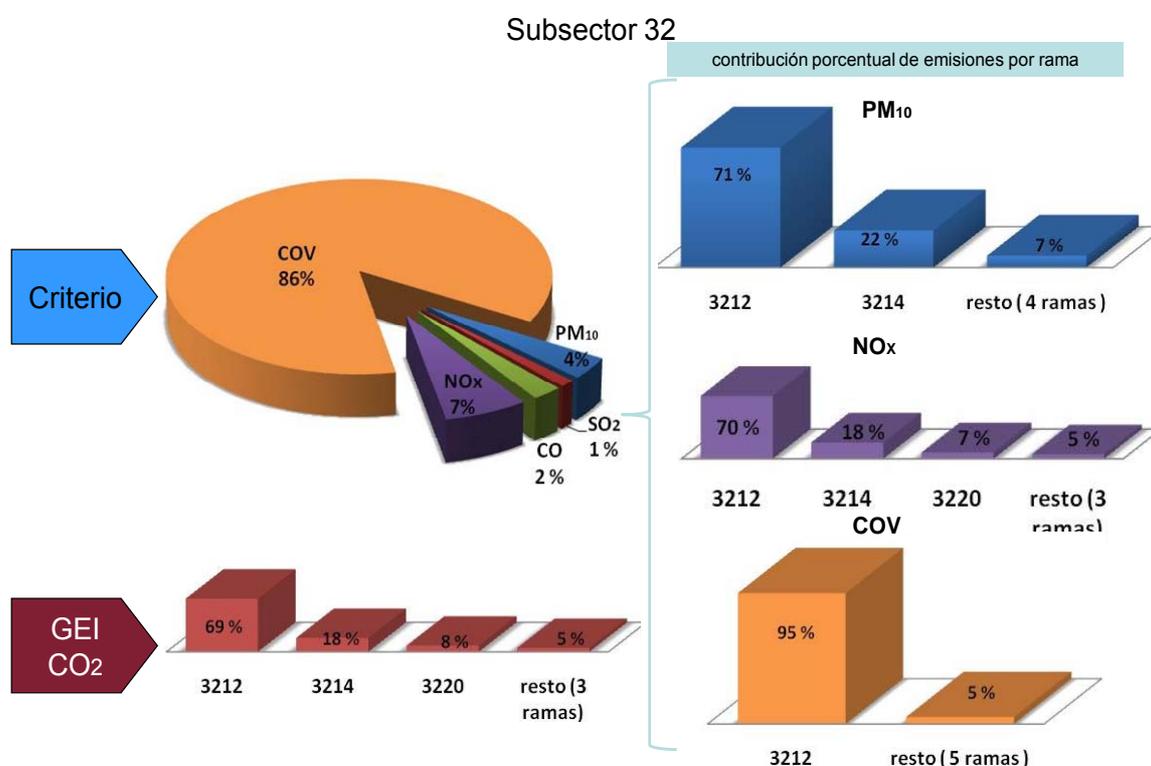
Los COV de este subsector representan casi un 8% de las emisiones totales de COV, provienen del uso de solventes orgánicos y recubrimientos como pinturas, barnices, esmaltes, lacas entre otros, debido a que parte de su composición se ve conformada por uno o varios solventes orgánicos.

Los NOx se originan por la quema de combustibles fósiles y representan casi el 20% del total de los óxidos de nitrógeno provenientes en su mayoría de las ramas 3841, 3822 y 3814, mientras que las PM₁₀ en este subsector provienen

del manejo de pigmentos en polvo y por el uso de soldadura, las cuales son generadas principalmente por las ramas 3814, 3812, 3822 y 3841.

Subsector 32

De acuerdo a la figura 9 el subsector 32, “Textiles, prendas de vestir e industria del cuero”, el cual aporta el 11% de las emisiones de contaminantes criterio en la industria local, presentando que las emisiones de COV representan un 86% y un 7% para los NOX. Para el caso de los COV las emisiones son provenientes del uso de solventes para el área de teñido, tanto para el tratamiento de la misma tela como para el pigmento como tal.

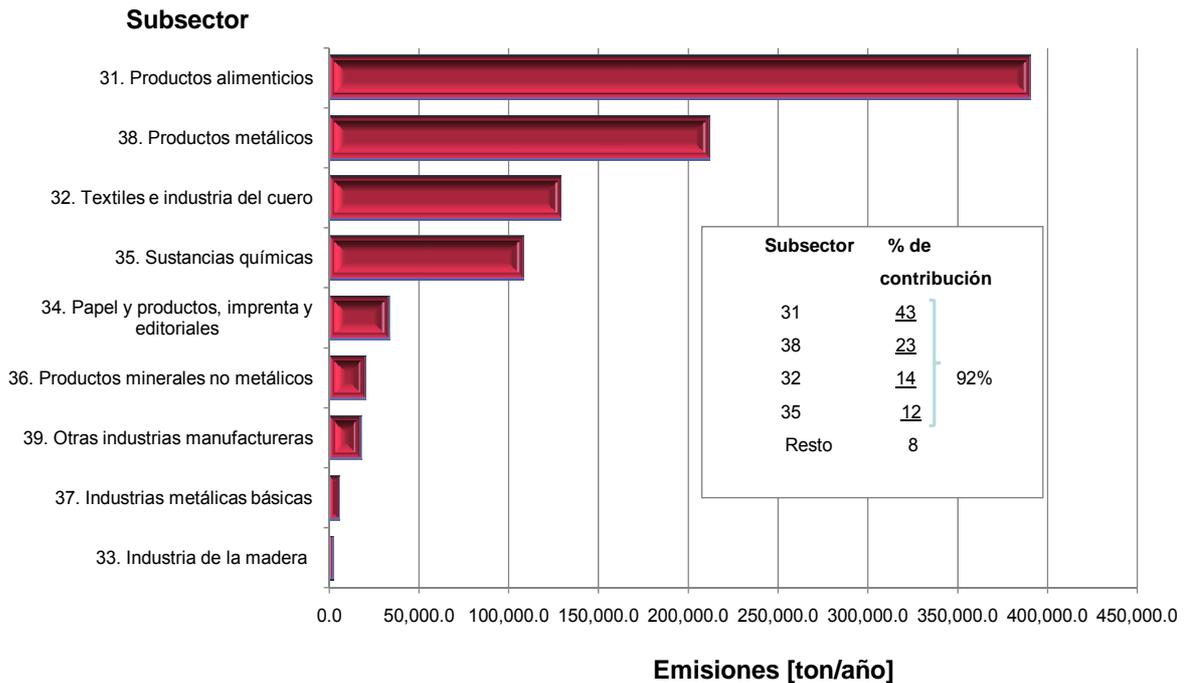


Fuente: Elaboración propia basada en datos de: 1) SMA-GDF, 2010a. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F. 2) SMA-GDF, 2010b. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

Figura 9. Contribución porcentual de contaminantes criterio y su aportación en las ramas que conforman al subsector 32

1.4.2 Subsectores con mayor aporte de gases de efecto invernadero

Los subsectores que aportan alrededor del 92 % de las emisiones de gases de efecto invernadero son el 31, 38, 32 y 35, tal como se aprecia en la figura 10:



Fuente: Elaboración propia basada en datos de: SMA-GDF, 2010b. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

Figura 10. Contribución de emisiones de gases de efecto invernadero por subsector

El subsector 31 contribuye con el 43% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (principalmente CO₂), proveniente casi en su totalidad de la rama 3130, por el gran consumo de gas natural y por la producción de cerveza. Mientras que el subsector 38 Productos metálicos, 32 Textiles, prendas de vestir e industria del cuero y 35. Sustancias químicas, aporta un 23%, 14 y 12% respectivamente.

CAPITULO 2. Etapas de un proceso productivo donde se generan emisiones a la atmósfera

2.1 Generalidades

Un proceso productivo consiste en transformar entradas (insumos) en salidas, (bienes y/o servicios) por medio del uso de recursos físicos, tecnológicos, humanos, etcétera. Un proceso productivo incluye acciones que ocurren en forma planificada, y producen un cambio o transformación de materiales, objetos y/o sistemas, al final de los cuales obtenemos un producto. Dentro de un proceso productivo se puede clasificar la generación de emisiones principalmente por dos etapas: etapa de combustión y etapa por proceso. De acuerdo a la tabla 3 los subsectores con sus respectivas ramas que presentan las mayores emisiones por etapa son los siguientes:

Tabla 3.- Etapas de emisión de los principales subsectores de generación de contaminantes criterio y Gases de Efecto Invernadero

Subsector	Ramas	Etapas	
		Combustión	Proceso
31 Productos alimenticios, bebidas y tabacos	3115 Elaboración de productos de panadería	*	*
	3121 Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano	*	
	3130 Industria de las bebidas	*	*
	3114 Beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas		*
32 Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	3212 Hilado, tejido y acabado de fibras blandas, excluye de punto	*	*
	3214 Fabricación de tejidos de punto	*	
	3220 Confección de prendas de vestir	*	*
34 Papel, productos del papel, imprentas y editoriales	3410 Manufacturera de celulosa, papel y sus productos	*	*
	3420 Imprentas, editoriales e industrias conexas	*	*
35 Sustancias químicas, derivados del petróleo, productos del caucho y plásticos	3540 Industria del coque, incluye otros derivados de carbón mineral y del petróleo	*	*
	3560 Elaboración de productos de plástico	*	*
38 Productos metálicos, maquinaria y equipo	3812 Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales		*
	3814 Fabricación de otros productos metálicos	*	*
	3822 Fabricación, reparación y/o ensamble de maquinaria para usos generales, con o sin motor eléctrico	*	*
	3841 Industria automotriz	*	*

Cada contaminante es emitido en diferente proporción con respecto a las dos etapas, tal como se observa en la figura 11.

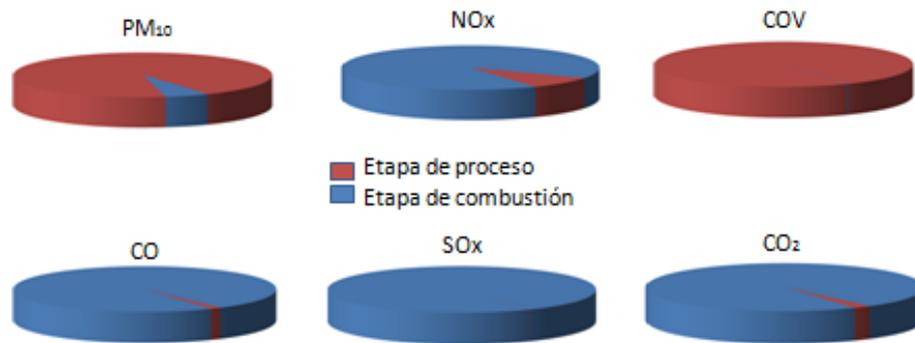


Figura 11.- Contribución porcentual de emisiones por etapa

2.2 Etapa de combustión

La etapa de combustión consiste en aquellas emisiones provenientes por la quema de combustibles fósiles para la obtención de vapor, el cual es utilizado dentro del mismo proceso para el arranque y operación de los diferentes equipos existentes es éste, a través de calderas.

Una caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería que está diseñado para generar vapor saturado. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado.

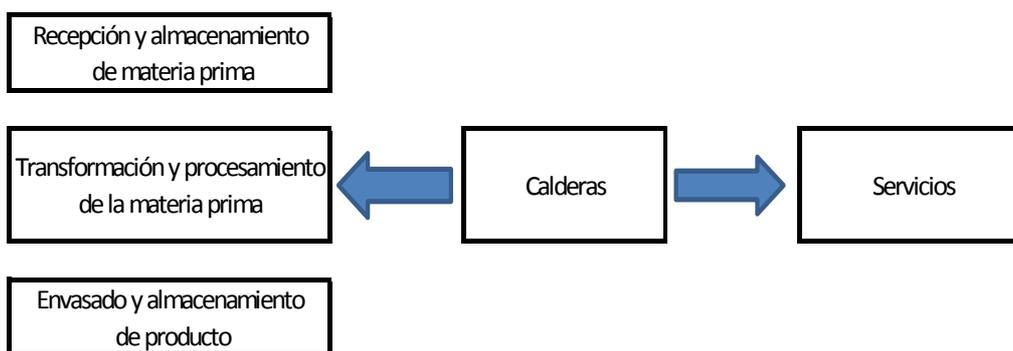


Figura 12.- Principales áreas de un proceso productivo en general

Según la figura 12 dentro de un proceso productivo el uso de las calderas principalmente (aunque no en todos los casos) es para dos áreas: el área de transformación y procesamiento de la materia prima y para el área de servicios

(comedor, baños, regaderas, entre otros), sin embargo, para esta última la cantidad de combustible empleado es mínima a comparación de la cantidad que se usa en la primer área mencionada.

Del total de las empresas que se encuentran en el Distrito Federal y que son de jurisdicción local aproximadamente un 54% (793 empresas) ocupan algún combustible para sus procesos productivos, los cuales son: Gas natural (GN), Gas Licuado de Petróleo (GLP) y Diesel (Di) con la aportación energética que se presenta en la figura 12:

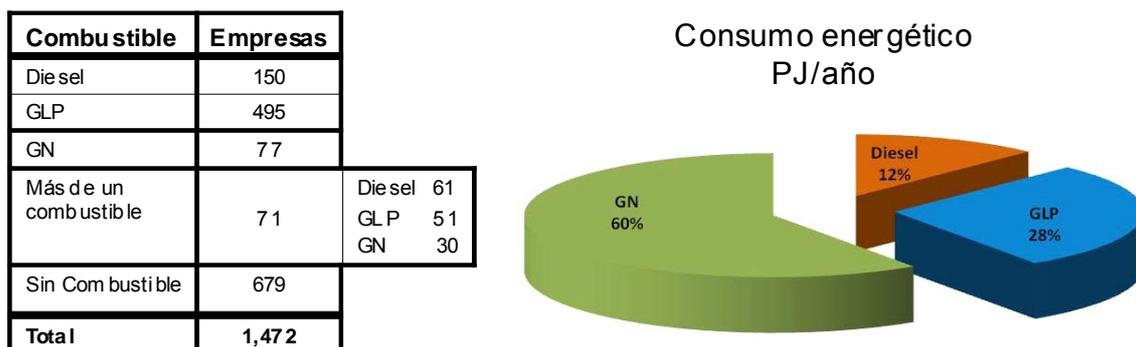


Figura 13.- Consumo energético porcentual de combustibles y número de empresas que los emplean

De acuerdo a la figura 13 se observa que más del 37% del total de las empresas consumen GLP, un 14% consume Di y un 7% GN, estos combustibles son los empleados en la etapa de combustión. La cantidad y el contaminante generado en esta etapa varían con respecto al tipo y consumo de combustible quemado.

La quema de los tres combustibles generan emisiones de contaminantes criterio como Óxidos de Nitrógeno (NOx), Monóxido de Carbono (CO), Bióxido de azufre (SO₂) y Material Particulado, además de Compuestos Orgánicos Volátiles, sin embargo, unos emiten en mayor proporción que otros.

El GN y GLP principalmente generan NOx y CO, mientras que el Diesel emite principalmente SO₂ y NOx.

Como Gases de Efecto Invernadero el CO₂ es el que se emite más y es originado principalmente por la quema de Gas Natural.

2.3 Etapa de proceso

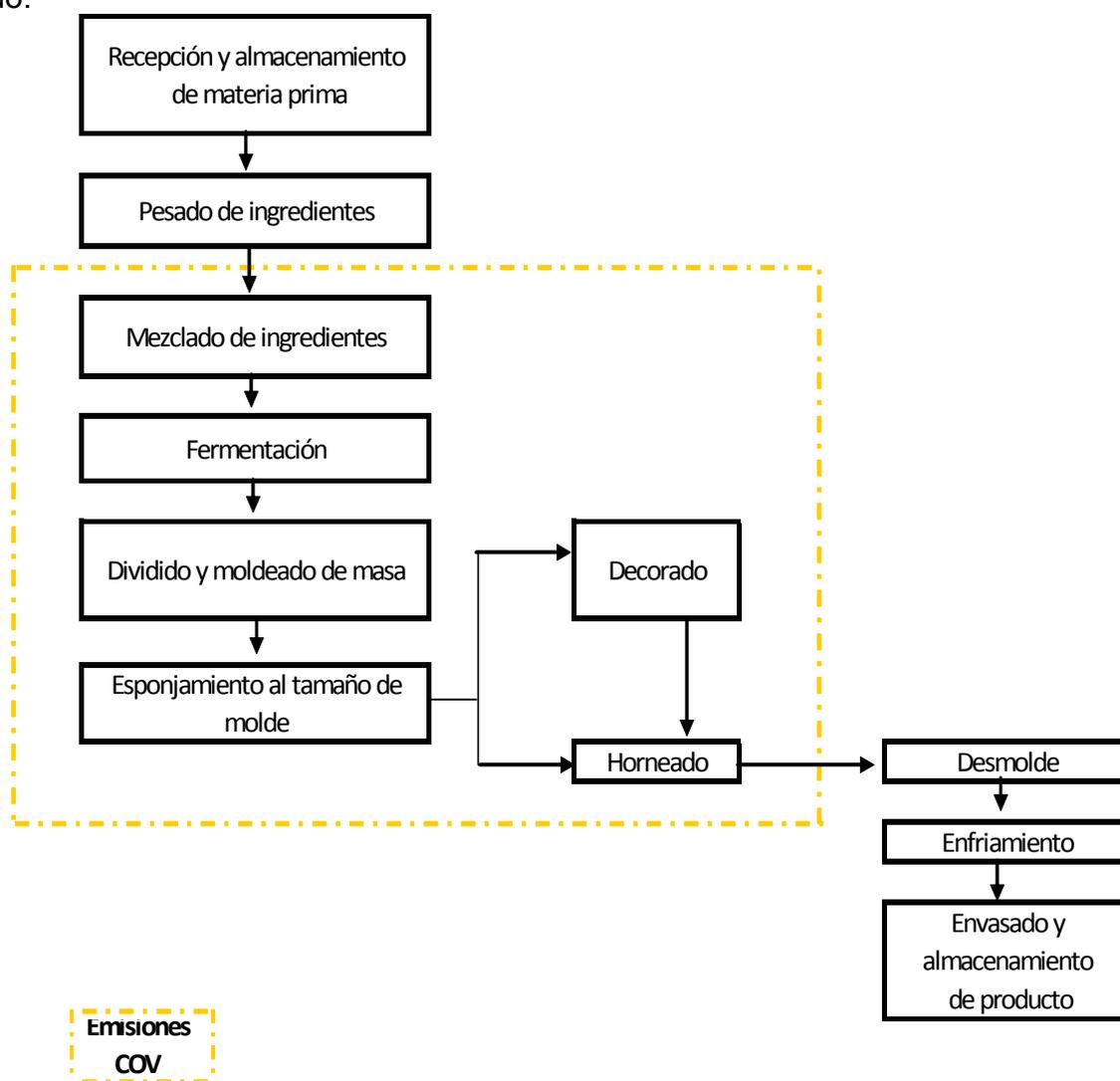
La segunda etapa de generación es la de proceso, donde las emisiones provienen por el manejo y uso de materias primas, almacenamiento de éstas y por su transformación para la obtención de algún producto.

2.3.1 Descripción de los diferentes procesos con mayor emisión

Subsector 31

Elaboración de pan

De acuerdo a la figura 14, el proceso de elaboración de pan requiere y consiste de una serie de fases entre las que destacan el amasado, la fermentación y el horneado.



Fuente: Elaboración propia basada en la información presentada en el anexo A de la LAUDF, 2008-2009

Figura 14.- Fases del proceso de elaboración de pan

La fase de amasado o mezclado de ingredientes consiste en la incorporación y mezcla de todos los ingredientes como son el agua, la sal, el azúcar, la harina y la levadura entre otros, hasta formar una masa homogénea.

Las levaduras son hongos unicelulares cuyo metabolismo de replicación es muy útil para la panificación ya que, en el medio adecuado (dispersión acuosa de harina), convierten 1 molécula de carbohidrato en 2 moléculas de dióxido de carbono y 2 moléculas de alcohol etílico, además de otros productos orgánicos secundarios, mediante un proceso llamado fermentación alcohólica que prosigue hasta agotamiento del alimento (azúcares que conforman los carbohidratos o hasta el auto envenenamiento causado por los productos de la reacción). Las levaduras y prefermentos (cultivos de levaduras naturales) son ingredientes indispensables en el proceso de panificación para la consecución de dos objetivos primordiales:

- Producción de dióxido de carbono (CO_2) que provoca el esponjamiento y aumento de volumen de la masa, así como la expansión del pan en el proceso final de horneado. Este proceso se detiene cuando la temperatura de la masa alcanza los 55°C en el horno y se ha terminado toda actividad fermentativa por muerte de las células de la levadura (Panis Nostrum, 2010).

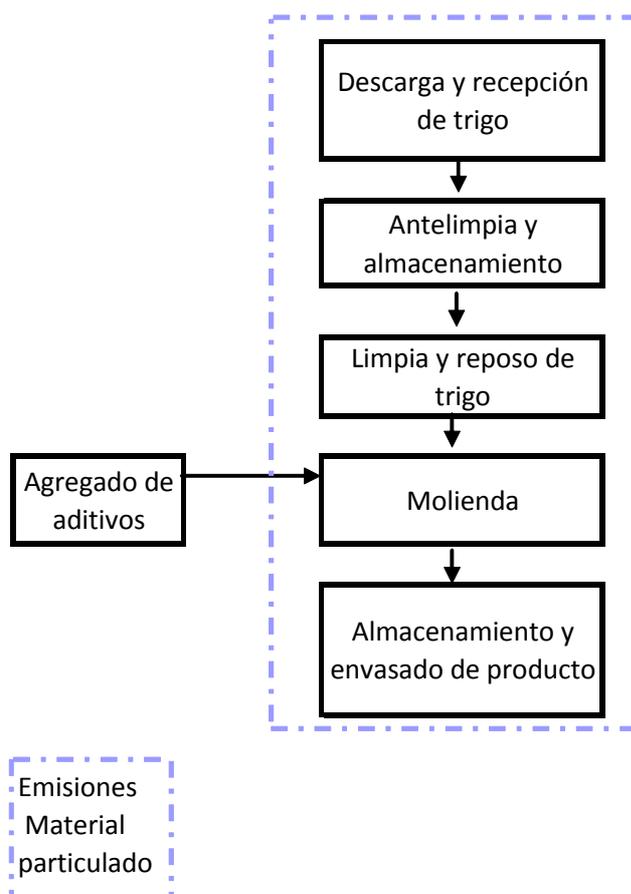
- Producción de ácidos orgánicos que van a permitir la evolución de las propiedades físicas de la masa (equilibrio entre extensibilidad y tenacidad que se alcanzará en el proceso de formado) y generar los aromas y sabores que conformarán las cualidades organolépticas del pan final (Panis Nostrum, 2010).

La fermentación no es exclusiva de alguna fase, sino que empieza ya, aunque de forma muy sutil, en el mezclado de ingredientes (incluso en la preparación del prefermento si es el caso) y finaliza en la fase de cocción, cuando la temperatura alcanza los $50\text{-}55^\circ\text{C}$ y mueren todos los microorganismos de la levadura, mediante el proceso de fermentación categorizada como alcohólica, se produce dióxido de carbono (CO_2) para que aumente el volumen de la masa y alcohol etílico y ácidos orgánicos que serán los responsables de dar sabor, aroma y capacidad de conservación al pan (Panis Nostrum, 2010).

La fase de horneado tiene la función de cocer la masa y transformarla en un producto digerible y debido a las altas temperaturas también se emiten los COV.

Elaboración de harina de trigo

Según la figura 15, el proceso de elaboración de harina de trigo consiste generalmente en las fases de descarga y recepción, antelimpia y almacenamiento, limpia y reposo, molienda, almacenamiento y envasado de producto.



Fuente: Elaboración propia basada en la información presentada en el anexo A de la LAUDF, 2008-2009

Figura 15.- Fases del proceso de elaboración de harina de trigo

Este proceso involucra una gran cantidad de emisiones de material particulado en cada una de sus diferentes fases.

La fase de descarga y recepción de trigo consiste en el recibo de la materia prima por medio de ductos o de montacargas en espacios donde será almacenado.

La fase de antelimpia y almacenamiento, consiste en una limpieza preliminar de los granos, mediante corrientes de aire que separan el polvo, la paja y los granos vacíos.

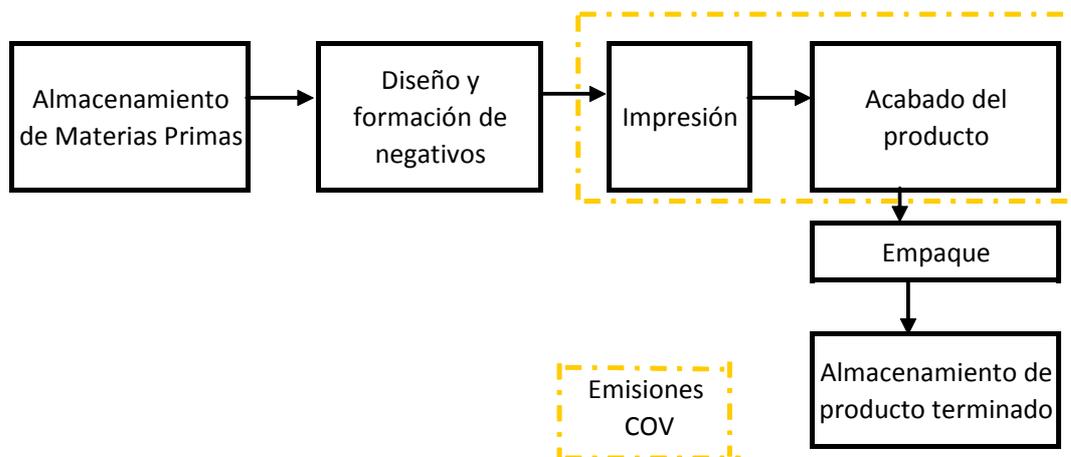
La fase de limpia y reposo de trigo consiste primeramente en una separación de granos de acuerdo a su tamaño y forma, en esta fase también se descascarilla el grano hasta que queden totalmente limpios y puedan pasar a la fase de molienda, cuando lo requiera, mientras tanto se mantiene en reposo.

La fase de molienda consiste en la trituración del grano, mediante diversos sistemas como puede ser rodillos, cuando las partículas de menor tamaño han sido cribadas, se introducen las más gruesas a través de nuevos rodillos. La operación se repite hasta la obtención de una harina deseada, en esta fase se realiza el agregado de aditivos, como son vitaminas, sustancias para la conservación de la harina y otras que logran el blanqueado debido a que eliminan algunos pigmentos que pueden amarillear la harina.

Finalmente en la fase de almacenamiento y envasado, la harina reposa en silos y mediante tolvas se descarga hacia los costales u otro material de envasado.

Subsector 34 **Imprentas, editoriales e industrias conexas**

Según la figura 16, las fases del proceso de impresión y editoriales, consiste en una serie de fases, entre las que se encuentra la de almacenamiento de materias primas, el diseño y formación de negativos, la impresión, el acabado del producto, el empaque y almacenamiento de producto terminado.



Fuente: Elaboración propia basada en la información presentada en el anexo A de la LAUDF, 2008-2009

Figura 16.- Fases del proceso de impresión

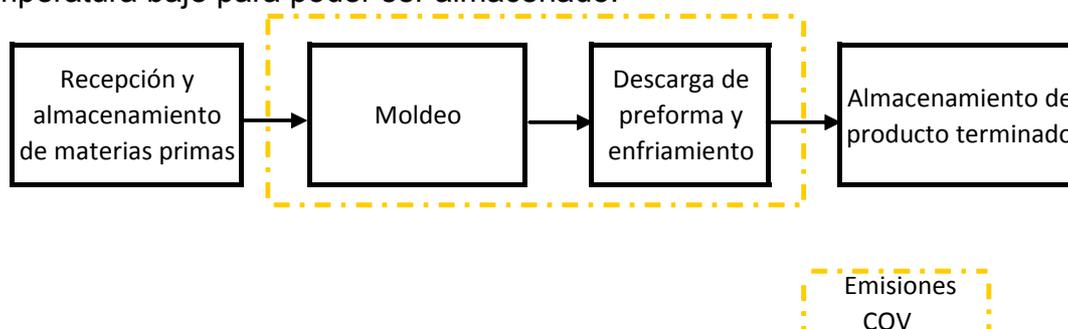
Los COV son generados principalmente en este proceso durante la fase de impresión y acabado del producto, derivado del uso de sustancias como son las tintas y los adhesivos.

La fase de impresión consiste en la producción de textos e imágenes, típicamente con tinta sobre papel⁹, para después pasar a un horno de secado que tiene la misión de facilitar el secado de la tinta sobre el soporte el cual consiste básicamente en un sistema de aire caliente.

La fase de acabado, supone distintas actividades como el alzado, plegado, cosido, desbarbado, pegado, engrapado, dobléz, entre otras.

Subsector 35 **Elaboración de productos de plástico**

De acuerdo a la figura 17, la elaboración de productos plásticos incluye principalmente las fases de Recepción y almacenamiento de materias primas, moldeo, descarga de preforma y enfriamiento y la fase de almacenamiento de producto terminado. Las emisiones generadas en este proceso son COV generados de la fase de Moldeo y la de enfriamiento, debido al calentamiento de la materia prima. La fase de moldeo, la cual es empleada para conseguir la forma y acabado del plástico depende de tres factores: tiempo, temperatura y deformación. Esta fase puede contemplar diferentes operaciones como extrusión, inyección, soplado, calandreo, inmersión, rotomoldeo, compresión, entre otras. En todas estas operaciones el plástico es moldeado a través de un proceso térmico donde el material pasa por el estado líquido y finalmente se solidifica. La fase de descarga de preforma y enfriamiento, como su nombre lo indica consiste en retirar el plástico ya moldeado y esperar a que su temperatura baje para poder ser almacenado.

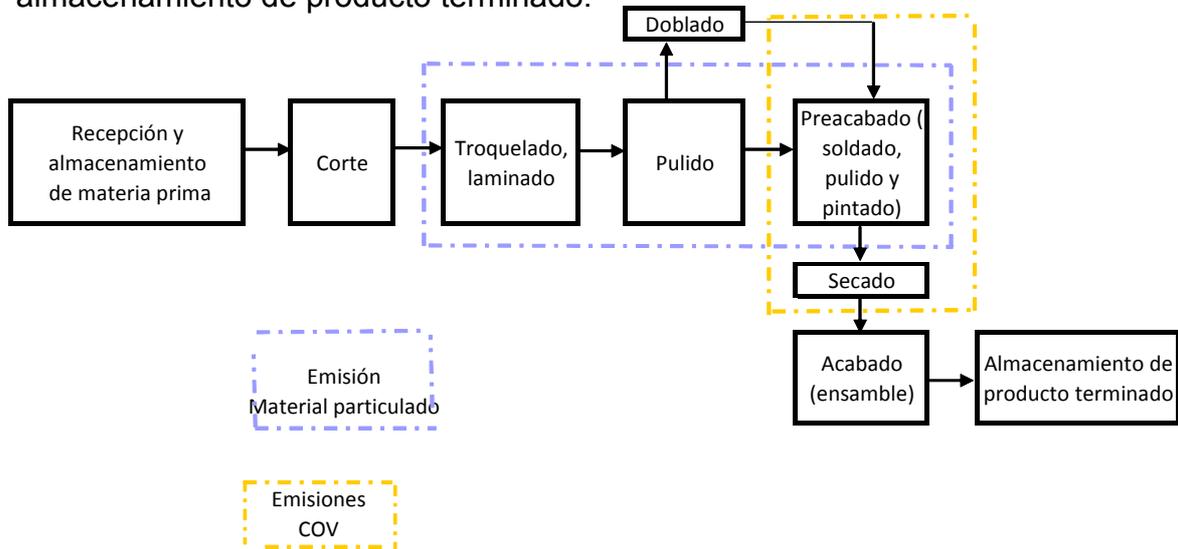


Fuente: Elaboración propia basada en la información presentada en el anexo A de la LAUDF, 2008-2009

Figura 17.- Fases del proceso de elaboración de productos de plástico

Subsector 38 Fabricación de productos metálicos

De acuerdo a la figura 18 las fases que constituyen el proceso de fabricación de productos metálicos son la recepción y almacenamiento de materia prima, el troquelado y/o laminado, el pulido, el preacabado, secado, acabado y almacenamiento de producto terminado.



Fuente: Elaboración propia basada en la información presentada en el anexo A de la LAUDF, 2008-2009

Figura 18.- Fases del proceso de fabricación de productos metálicos

Del proceso anterior, tres de estas fases son las que generan material particulado: la fase de troquelado es la operación de corte que se realiza generalmente para obtener preformas para operaciones posteriores, o bien recortar sobrantes de operaciones anteriores, debido a los cortes que sufre el metal se desprende material particulado, al igual que en la fase de pulido en donde son eliminadas las irregularidades y lograr una nivelación adecuada. Finalmente en la fase de pre acabado se llevan a cabo una serie de actividades principalmente la de soldado y decorado, la primera consiste en unir varias piezas mediante un metal fundido, durante esta actividad también se genera material particulado mientras que en la actividad de decorado se generan por el uso de pigmentos en polvo.

Las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles se generan en la fase de pre acabado y secado, cuando se utilizan solventes orgánicos y recubrimientos como pinturas, lacas, esmaltes y barnices que son aplicados al metal.

CAPITULO 3.- Contaminantes criterio y Gases de Efecto Invernadero

3.1 Generalidades

La contaminación al aire se da por una variedad de sustancias que al ser liberadas y depositadas en la atmósfera, modifican de una manera negativa su estado o composición natural, ocasionando diversos efectos nocivos a los seres vivos, diferentes ecosistemas y materiales.

Los impactos se ven manifestados a corto, mediano o largo plazos, dependiendo a las propias condiciones meteorológicas del lugar que a veces no favorecen a la dispersión de los contaminantes, a las concentraciones y cantidades en las que se emite el contaminante, al tipo de población vulnerable que reside en la zona afectada (niños, adultos mayores, personas con algún diagnóstico crónico, entre otros.) y a la propia fuente de emisión, siendo las antropogénicas las que tienen una mayor repercusión y alteran el equilibrio de la propia naturaleza, excediendo su capacidad de adaptación que le permite degradar o transformar los contaminantes.

En lo que respecta al impacto en los seres vivos, se presentan desde enfermedades agudas hasta crónicas en el ser humano, mientras que en las plantas se ve afectado su proceso de fotosíntesis por la obstrucción que se da en sus estomas ocasionando clorosis y/o necrosis.

En los materiales se presentan corrosiones, envejecimiento, desgaste, decoloraciones y agrietamientos, por lo que se ven afectados construcciones o monumentos de gran valor histórico y patrimonial.

Y finalmente de la contaminación del aire, ésta se transfiere a otros medios como lo es el agua y el suelo, alterando a diferentes ecosistemas, tal es el caso de la lluvia ácida provocada por la reacción entre el vapor de agua y el azufre y/o el nitrógeno, dando origen a ácidos sulfúrico y nítrico que al precipitar contamina ríos, lagunas, etcétera; afectando a la vida acuática; de la misma manera se altera a la superficie afectando a la cubierta vegetal, a plantas, árboles y también a las construcciones.

Cada contaminante tiene ciertas repercusiones, algunos afectan de una manera más directa al ser humano, otros al planeta, en algunos casos algunas especies son las más vulnerables, por lo que, es importante describir tanto los contaminantes criterio como los gases de efecto invernadero que fueron considerados y hablar de ellos de una manera individual para conocer sus características, problemas que ocasionan al ser humano y al medio ambiente, así como las fuentes principales de generación.

3.2 Contaminantes Criterio

De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología (INE) los contaminantes criterio se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos y han recibido este nombre porque fueron objetos de estudios de evaluación publicados en documentos de criterios de calidad del aire. Para estos contaminantes se ha establecido una normatividad en la que se ha establecido las concentraciones máximas permisibles durante un período, con el propósito de proteger la salud del ser humano y que no ocasionen un riesgo para éste.

Para este trabajo se han analizado los siguientes contaminantes criterio:

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de azufre (SO_x)
- Ozono (O₃)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Compuestos Orgánico Volátiles (COV), como precursor de O₃
- Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)

Monóxido de carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas venenoso, incoloro, sin sabor ni olor. El gas CO se genera como producto de desecho en la combustión incompleta del carbón, madera, aceite y otros combustibles productos del petróleo (por ejemplo, gasolina, propano, etc.). El gas CO, aunque no tiene olor en sí, generalmente ocurre en combinación con otros gases producto de la

combustión que sí tienen olores característicos. La fuente principal de gas CO son los motores de combustión interna. El gas CO también se genera en operaciones industriales tales como reparación de automóviles, refinación del petróleo y manufactura de acero y productos químicos. El CO es un gas asfixiante químico, lo cuál significa que reduce la habilidad de la sangre de transportar el oxígeno. La asfixia o sofocación ocurre porque la sangre no transporta suficiente oxígeno al cuerpo. El gas CO se absorbe en la sangre a través de los pulmones. La inhalación del gas CO puede ocasionar dolor de cabeza, náusea, mareo, debilidad, respiración rápida, pérdida del conocimiento y muerte. Altas concentraciones de CO pueden ser fatales rápidamente sin presentar síntomas significativos de aviso. La exposición a este gas puede agravar enfermedades preexistentes del corazón y el sistema circulatorio. Debido a que el gas CO no tiene olor, puede ser que no se tenga aviso por olores si hay concentraciones tóxicas presentes (State Compensation Insurance Fund, s/a).

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al monóxido de carbono (CO) es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-021-SSA1-1993. (INE, s/a)

Para la realización de este trabajo, no se considera ya que su aportación con respecto a los demás contaminantes no es significativa.

Óxidos de Azufre (SO_x)

Una gran parte del azufre emitido a la atmósfera se origina en forma de sulfuro de hidrógeno, procedente de la descomposición de la materia orgánica; estas emisiones se oxidan lentamente para formar SO₂. (Control y eliminación de los SO_x, s/a)

De entre los óxidos de azufre, el dióxido de azufre (SO₂) y el trióxido de azufre (SO₃), son los más importantes. El dióxido de azufre es el óxido más común y uno de los más importantes. Es un gas incoloro, denso, de olor intenso, tóxico (máximo tolerado por los humanos 5 ppm y para los vegetales 1 ppm) (Textos científicos, 2006a).

Los óxidos de azufre son compuestos irritantes del sistema respiratorio que pueden ocasionar una respuesta similar al asma o bien agravar una condición asmática preexistente. Los síntomas de una exposición a altas concentraciones ambientales pueden incluir tos, goteo de la nariz y falta de aliento. Estas respuestas pueden ser más severas en fumadores. Los óxidos de azufre contribuyen al problema de la deposición ácida. Este es un término muy amplio que se refiere a las formas en las que los compuestos ácidos de la atmósfera se depositan en la superficie de la tierra. Puede incluir la deposición húmeda a través de la lluvia ácida, la niebla y la nieve, así como la deposición seca de partículas ácidas (aerosoles). La lluvia ácida se refiere a la precipitación que tiene un pH inferior a 5.6. La precipitación neutra tendría un pH de 7; sin embargo, se ha estimado que la actividad “natural” del agua de lluvia tiene un pH de 5.6 cuando está en equilibrio con la concentración atmosférica promedio de CO₂ (330 ppm) (Seinfeld, 1986). Por lo general, los principales componentes de la lluvia ácida incluyen a los ácidos nítrico y sulfúrico que pueden formarse por la combinación de los óxidos de nitrógeno y los de azufre con el vapor de agua en la atmósfera. Además, las partículas de sulfatos también tienden a ser pequeñas (de diámetro entre 0.2 y 0.9 µm). En consecuencia, pueden ser un componente significativo de las partículas finas y afectar negativamente la visibilidad (Radian International LLC, 1997).

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al bióxido de azufre (SO₂) en México es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-022-SSA1-1993 (INE s/a).

Ozono

El ozono (O₃) es un gas tóxico y reactivo, de olor fuerte y color azul pálido formado por tres átomos de oxígeno. Es el oxidante fotoquímico más abundante. Estos oxidantes fotoquímicos son irritantes que pueden tener efectos adversos en los pulmones. La exposición a altos niveles ambientales puede ocasionar disminución en la función pulmonar. Entre los efectos adversos a la salud que pueden presentarse como resultado de la exposición al ozono están la respiración rápida y poco profunda, la bronquitis y el enfisema. Además, el ozono es muy eficiente para deteriorar el hule y otros materiales.

El ozono y los otros oxidantes fotoquímicos no se emiten directamente a la atmósfera si no que se forman por las reacciones químicas entre los hidrocarburos y los NOx en presencia de luz solar. (Radian International LLC, 1997).

Óxidos de Nitrógeno (NOx)

El nitrógeno forma una serie de óxidos en los que el estado de oxidación del N puede tomar cualquier valor en el intervalo de +1 a +5. (Textos científicos, 2006b). Las propiedades físicas varían dependiendo al tipo de óxido que se forma de acuerdo a su estado de oxidación del nitrógeno, tal como se aprecia en la tabla 4 :

Tabla 4. Óxidos de Nitrógeno (NOx)

Fórmula	Nombre	Valencia del Nitrógeno	Propiedades
N ₂ O	Óxido nitroso	+1	Gas incoloro Soluble en agua
NO N ₂ O ₂	Óxido nítrico Bióxido de dinitrógeno	+2	Gas incoloro; contaminante del aire, ligeramente soluble en agua
N ₂ O ₃	Trióxido de dinitrógeno	+3	Sólido negro, soluble en agua, se descompone en agua
NO ₂ N ₂ O ₄	Bióxido de Nitrógeno Tetróxido de dinitrógeno	+4	Gas café rojizo, muy soluble en agua; venenoso y contaminante del aire
N ₂ O ₅	Pentaóxido de dinitrógeno	+5	Sólido blanco, muy soluble en agua

Fuente: EPA, 1999

Los iones oxígeno se encuentran siempre con una valencia de menos 2. Dependiendo del número de iones de oxígeno (siempre balanceados por el estado de valencia del nitrógeno), los NOx pueden reaccionar ya sea para agotar o para incrementar las concentraciones de ozono. Los NOx y sus derivados existen y reaccionan ya sea como gases en el aire, como ácido en gotitas de agua, o como sales. Todos éstos contribuyen en conjunto a los efectos de contaminación que han sido observados y atribuidos a la lluvia ácida. El óxido nitroso (N₂O), el NO y el NO₂ son los óxidos de nitrógeno más abundantes en el aire. El N₂O es una sustancia agotadora de nitrógeno que

reacciona con el O_3 tanto en la troposfera como en la estratosfera (EPA, 1999).

La oxidación del N_2O por el O_3 puede ocurrir a cualquier temperatura y genera a la vez oxígeno molecular (O_2) y NO o dos moléculas de NO unidas como su dímero, el bióxido de dinitrógeno (N_2O_2). Después el NO o N_2O_2 se oxida rápidamente (en alrededor de dos horas) a NO_2 . El NO_2 a su vez crea una molécula de ozono a partir de una molécula de oxígeno (O_2) cuando es golpeado por un fotón de energía ionizadora proveniente de la luz solar. El N_2O es también un "Gas de Invernadero" que, como el bióxido de carbono (CO_2), absorbe la radiación infraroja de longitud de onda larga para retener el calor que irradia la Tierra, y de esa manera contribuye al calentamiento global (EPA, 1999).

Las emisiones de NO_x provenientes de la combustión son principalmente en la forma de NO. De acuerdo a las ecuaciones Zeldovich, el NO es generado hasta el límite del oxígeno disponible (alrededor de 200,000 ppm) en el aire a temperaturas por encima de $1300^\circ C$ ($2370^\circ F$). A temperaturas menores de $760^\circ C$ ($1,400^\circ F$), el NO es generado a concentraciones mucho más bajas o no se genera en absoluto (EPA, 1999).

A excepción del NO proveniente del suelo, los relámpagos, y los incendios naturales, el NO es antropogénico (o sea, generado por la actividad humana) en su mayor parte. Se cree que las fuentes biogénicas son responsables de menos del 10% de las emisiones totales de NO. El NO produce la misma interrupción en la absorción del oxígeno por la sangre que el monóxido de carbono (CO). Sin embargo, puesto que el NO es sólo ligeramente soluble en agua, no presenta amenaza real alguna excepto a infantes e individuos muy sensibles. El NO_2 se encuentra presente en la atmósfera y en la lluvia ácida. Produce ácido nítrico (HNO_3) al disolverse en agua. Cuando el NO_2 reacciona con un fotón para hacer que el O_2 se vuelva O_3 , el NO_2 se transforma en NO. Este NO es a su vez oxidado en cuestión de horas a NO_2 por medio de radicales provenientes de la fotoreacción de COV. Por lo tanto, nuestra concentración actual de ozono es el producto de la contaminación tanto de NO_x como de COV. El trióxido de dinitrógeno (N_2O_3) y el tetróxido de dinitrógeno (N_2O_4) existen en concentraciones muy bajas en el gas de chimenea. Sin embargo, existen en concentraciones tan bajas en la atmósfera

que tanto su presencia como su efecto son ignorados con frecuencia. El N_2O_4 es un par de moléculas de NO_2 unidas (otro dímero) y reacciona como el NO_2 ; así, la presencia de N_2O_4 puede ser enmascarada por el más abundante NO_2 . El pentóxido de dinitrógeno (N_2O_5) es la forma más altamente ionizada de óxido de nitrógeno. Es generado en el aire en una concentración muy baja, a menos que sea emitido por algún proceso (tal como una instalación productora de ácido nítrico) que esté diseñada específicamente para generarlo. El N_2O_5 es altamente reactivo, y forma ácido nítrico (HNO_3) cuando se descompone en el agua. Algunos expertos creen que el NO_2 es un buen suplente para los NO_x porque el NO se convierte rápidamente en NO_2 , y el N_2O tiene un período de vida tan largo porque no es tan altamente reactivo. Otros creen que debido a su participación en la formación del ozono, tanto el NO como el NO_2 deben ser considerados NO_x . Aún otros creen que todos los óxidos de nitrógeno (incluyendo el N_2O) necesitan ser reglamentados. El NO y el NO_2 son ciertamente las formas más abundantes de NO_x y provienen en su mayor parte (pero no exclusivamente) de fuentes antropogénicas. El N_2O es biogénico en su mayor parte, y como tal no está sujeto a regulación. Para propósitos ambientales, el uso de la concentración de NO_2 como un suplente de la concentración de NO_x ha parecido ser suficiente, debido a que es el precursor para el ozono (EPA, 1999).

Los NO_x se forman en la combustión externa de dos maneras principales: los NO_x térmicos y los NO_x provenientes del combustible. Los NO_x térmicos se forman cuando el nitrógeno y el oxígeno en el aire de combustión reaccionan a altas temperaturas en la flama. Los NO_x del combustible se forman por la reacción de cualquier nitrógeno contenido en el combustible con el aire de combustión. Los NO_x térmicos son la fuente principal de NO_x en la combustión de gas natural y de aceites ligeros y el factor más significativo que afecta su formación es la temperatura de la flama. Un nivel excesivo de aire y la temperatura del aire de combustión también son factores que influyen en la formación de los NO_x térmicos. La formación de los NO_x del combustible depende de su contenido de nitrógeno y puede constituir hasta el 50 por ciento de las emisiones de NO_x de la combustión de productos ricos en nitrógeno, sobre todo carbón y aceites pesados. (Radian International LLC, 1997)

Las principales fuentes antropogénicas de NO_x , son los vehículos automotores, plantas de generación de electricidad, y otras fuentes industriales, comerciales y residenciales que queman combustibles. Los NO_x pueden formarse también naturalmente, por la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos y en menor grado en tormentas eléctricas. El aumento progresivo en la exposición al NO_2 puede producir problemas de percepción olfativa, molestias respiratorias, dolores respiratorios agudos y edema pulmonar (INE, s/a).

El NO_2 junto con las partículas suspendidas es responsable de la capa café rojiza que a veces se aprecia en las zonas urbanas (INE, s/a), este es el único óxido de nitrógeno que se encuentra normado en México en la norma NOM-023-SSA1-1993.

El NO es el NO_x más importante que se produce en la combustión y aunque no se considera que cause efectos adversos sobre la salud en concentraciones ambientales. En general, tanto éste como los otros óxidos evolucionan constantemente siendo el NO_2 el último producto de oxidación emitido o formado corriente abajo del proceso de combustión (Radian International LLC, 1997).

Material particulado

El término partículas se refiere a cualquier sustancia en fase sólida o líquida que se encuentre en el aire. Pueden ser hollín, polvos, aerosoles, humos o neblinas. Algunas clasificaciones de las partículas incluyen a las partículas totales; partículas primarias y partículas secundarias; partículas suspendidas totales (PST), partículas suspendidas (PS), PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, así como partículas filtrables y partículas condensables.

Las partículas primarias incluyen a los materiales sólidos o líquidos emitidos directamente del proceso (o de la chimenea) que se espera que se conviertan en partículas a la temperatura y presión ambiente. Las partículas secundarias son aerosoles que se forman en el aire a partir de gases por medio de reacciones químicas atmosféricas.

Las PST consisten de toda la materia emitida como sólidos, líquidos y vapores pero que están “suspendidas” en el aire como partículas sólidas o líquidas. Las PST incluyen a todas las partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a 100 μm . Las partículas con más de 100 μm tienden a depositarse rápidamente y no deben considerarse como emisiones al aire. En general, las partículas de diámetro entre 30 y 100 μm también se sedimentan con dificultad. Las partículas suspendidas se definen a menudo como todas las partículas de diámetro inferior a 30 μm y con frecuencia se usa el término como equivalente de PST. El término PM_{10} se refiere a las emisiones de partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a 10 μm . De manera similar, $\text{PM}_{2.5}$ se refiere a las partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a 2.5 μm . El pequeño tamaño de las PM_{10} ó las $\text{PM}_{2.5}$ les permite entrar fácilmente en los alvéolos pulmonares donde se pueden depositar causando efectos adversos sobre la salud. Las partículas pueden causar tos, jadeos y cambios, tanto en la función respiratoria, como en el pulmón mismo. Se cree que el aumento en los niveles de partículas es responsable del incremento en las tasas de mortalidad y de morbilidad en individuos con condiciones cardiovasculares y/o respiratorias preexistentes. Sin embargo, ha sido difícil establecer los niveles en los que se presentan efectos adversos debido a la presencia de otros compuestos químicos que podrían ser responsables de algunos de los efectos observados. Además, las emisiones de $\text{PM}_{2.5}$, también son un problema para la visibilidad. (Radian International LLC, 1997)

Entre más pequeñas sean las partículas pueden penetrar directamente hasta el interior de los pulmones con posibles efectos tóxicos debido a sus inherentes características fisicoquímicas. En varios estudios, llevados a cabo en Estados Unidos y en Europa, se ha encontrado que la exposición prolongada a partículas finas provenientes de la combustión es un factor importante de riesgo ambiental en casos de mortalidad por cáncer pulmonar y enfermedades cardio-pulmonares (Pope *et al.*, 2002).

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto a partículas menores de 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$), es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma: NOM-025-SSA1-1993; para PM_{10} en la norma NOM-025-SSA1-1993; y para PST en la norma NOM-024-SSA1-1993 (INE, s/a).

Esta tesis se enfoca en el escenario de reducción para Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀).

Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)

Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) (definidos como hidrocarburos con 2 a 12 átomos de C), son contaminantes que participan activamente en la formación de contaminantes secundarios como el ozono, y debido a sus características tóxicas o mutagénicas, pueden representar un riesgo a la salud del hombre (Sánchez , *et al.*, 2004)

Las emisiones de COV juegan un papel muy importante debido a que junto con los NO_x reaccionan fotoquímicamente para formar ozono, monóxido de carbono, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno y otros productos secundarios incluyendo radicales libres (hidróxilos, organoperóxidos, hidroxiperóxidos), orgánicos oxigenados(aldehídos, cetonas, ácidos, nitratos, peróxidos) (Velasco, *et al.*, 2005).

Inicialmente, en la lista de contaminantes criterio se incluía a los hidrocarburos. Los hidrocarburos, también denominados compuestos orgánicos volátiles (COV), son precursores de oxidantes fotoquímicos troposféricos como lo es el smog fotoquímico y el ozono troposférico. Aunque generalmente hay reglamentos que controlan los COV, no hay control específico para los COV en el aire. El control adecuado de los COV se refleja en la reducción de la concentración de ozono en el aire (INE, s/a).

3.3 Gases de efecto invernadero

El efecto invernadero se presenta cuando la radiación de luz solar que entra queda atrapada por una combinación de gases activos respecto a la radiación (i. e., gases con efecto invernadero o simplemente, gases de invernadero). La energía luminosa del sol (radiación de longitud de onda corta) que pasa a través de la atmósfera de la tierra es absorbida por la superficie de la tierra y reflejada a la atmósfera como energía calorífica (radiación de longitud de onda larga). Entonces la energía calorífica es atrapada por la atmósfera creando una situación semejante a la que se presenta en un invernadero o en

un automóvil cuando se suben las ventanillas (Radian International LLC, 1997).

El efecto invernadero se lleva a cabo de una forma natural, por medio del vapor de agua que la propia tierra genera a través del ciclo hidrológico, sin embargo, también se presenta un efecto invernadero acentuado, es decir, de una forma artificial lo que significa la generación de éstos gases derivado de actividades antropogénicas, siendo el dióxido de carbono (CO_2) el responsable de más del 60% del efecto invernadero intensificado. En los países industrializados, el CO_2 representa más del 80% de las emisiones de gases invernadero, en general, por su aporte e importancia; en el Protocolo de Kyoto se incluyó a seis gases de efecto invernadero: Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido nitroso (N_2O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y el Hexafluoruro de azufre (SF_6). Para fines de esta tesis sólo se describe el Dióxido de carbono por la aportación que representa de entre todos los gases de efecto invernadero.

Bióxido de carbono

El bióxido de carbono (CO_2), es un gas incoloro e inodoro que existe naturalmente en la atmósfera de la tierra. También se emiten cantidades significativas por la combustión de combustibles fósiles. La segunda fuente más importante de emisiones globales de CO_2 ocurre por cambios en el uso del suelo y de los bosques. Los bosques y otra vegetación absorben CO_2 durante su crecimiento. Por lo tanto, la pérdida de área forestal (i. e., deforestación) está llevando a una reducción de la incorporación del CO_2 en años futuros. O en otras palabras, a un aumento neto del CO_2 atmosférico. Los cultivos o las quemas y/o los desmontes con fines agrícolas también pueden aumentar la liberación o el almacenamiento natural de CO_2 de los suelos (IPCC, 1993).

El CO_2 contribuye a que la tierra tenga una temperatura habitable, sin embargo, cuando las emisiones tienden a un incremento provoca un calentamiento en el planeta.

CAPITULO 4.- Métodos de control

4.1 Definición general de los métodos de control

4.1.1 Generalidades

Dentro de los diferentes procesos que la industria manufacturera lleva a cabo para la obtención de algún bien o servicio, se generan diversos contaminantes descritos en las capítulos anteriores, la importancia de evitar o mitigar estas emisiones radica principalmente en no afectar el medio ambiente, en conservar la salud del ser humano y el de evitar pérdidas económicas a través de materiales que al ser recuperados pueden incorporarse al proceso o tener otro uso, en vez de emitirse al aire. Entre los métodos de control que se aplican en este documento para la reducción de emisiones se encuentran los equipos de control; el cambio de materia prima y/o combustible; el cambio de condiciones y/o mejoras en el proceso y modificación de tecnologías; y buenas prácticas. El método de control a elegir depende del tipo de contaminante, de sus condiciones de salida y por lo tanto, del tipo de proceso de donde se origine la emisión, entre otros factores. Algunos métodos serán de prevención mientras que otros permitirán reducir la emisión.

4.1.2 Definición de equipos de control

Son dispositivos que a través de su implementación minimizan algún o algunos contaminantes dependiendo a su eficiencia de diseño. El contaminante que circula por la corriente es removido y atrapado por el equipo.

La atención dada a esta actividad puede dar lugar a una recuperación de materias útiles que podrán ser incorporadas al proceso o incluso disponibles para su purificación y posterior venta.

4.1.3 Definición de Cambio de materia prima y/o combustible o fuentes de energía alterna

El cambio de materias primas es la selección de otro material o sustancia que sean menos dañinas al medio ambiente, un cambio de éstas puede dar lugar a una producción igual o tener el mismo resultado en sus aplicaciones, y a la vez reducir la generación de emisiones.

En lo que concierne al cambio de combustible, se reduce la emisión de contaminantes cuando se sustituye de un combustible líquido a uno gaseoso, es decir, por uno más limpio. Aunque la mejor alternativa siempre será el de implementar energías renovables.

4.1.4 Definición de Cambio y/o mejoras de condiciones en el proceso y modificación de tecnologías

Se refiere a las modificaciones que se pueden realizar al proceso mediante la implementación de sistemas, mejoras y condiciones que eviten la generación de contaminantes y de la misma forma, lograr un uso eficiente de materias primas y energéticos.

4.1.5 Definición de Buenas prácticas

Consiste en una optimización de los procedimientos operativos y administrativos, cuya aplicación permita operar dentro de los parámetros establecidos para reducir o eliminar emisiones, el uso ineficiente de insumos y tiempos de operación.

4.2 Descripción de los métodos de control para algún contaminante o GEI en particular

4.2.1 Equipos de control

4.2.1.1 Equipos de control para Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)

4.2.1.1.1 Ciclones

Son conocidos colectivamente como “pre-limpiadores,” debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de entrada de partículas a los dispositivos finales de captura, al remover las partículas abrasivas de mayor tamaño. A los ciclones también se les conoce como ciclones colectores, ciclones separadores, separadores centrífugos y separadores inerciales. En las aplicaciones donde operan muchos ciclones pequeños en paralelo, el sistema total se le conoce como ciclón de tubos múltiples, multi-ciclón o multiclón.

La eficiencia de colección de los ciclones varía en función del tamaño de la partícula y del diseño del ciclón, generalmente, aumenta con (1) el tamaño de

partícula y/o la densidad, (2) la velocidad en el conducto de entrada, (3) la longitud del cuerpo del ciclón, (4) el número de revoluciones del gas en el ciclón, (5) la proporción del diámetro del cuerpo del ciclón al diámetro del conducto de salida del gas, (6) la carga de polvo y, (7) el pulimento de la superficie de la pared interior del ciclón. La eficiencia del ciclón disminuirá con los aumentos en (1) la viscosidad del gas, (2) el diámetro del cuerpo, (3) el diámetro de la salida del gas, (4) el área del conducto de entrada del gas y, (5) la densidad del gas. Un factor común que contribuye a la disminución de eficiencias de control en los ciclones es el escape de aire en el conducto de salida del polvo (EPA, 1998). Los márgenes de la eficiencia de control para los ciclones individuales, están con frecuencia basados en tres clasificaciones de ciclones, es decir, convencional, alta eficiencia y alta capacidad. El rango de eficiencia de control de los ciclones individuales convencionales se estima que es de 70 a 90 por ciento para Partículas Suspensas Totales (PST); de 30 a 90 por ciento para PM_{10} y de 0 a 40 por ciento para $PM_{2.5}$. Los ciclones individuales de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor control de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. De acuerdo con Cooper (1994), los ciclones individuales de alta eficiencia pueden remover partículas de 5 μm con eficiencias hasta del 90 por ciento, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Los rangos de eficiencia de control de los ciclones individuales de alta eficiencia son de 80 a 99 por ciento para PST; de 60 a 95 por ciento para PM_{10} y de 20 a 70 por ciento para $PM_{2.5}$. Los ciclones de alta eficiencia tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada (Perry, 1984). De acuerdo con Vatavuk (1990), los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de 20 μm , aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas. Los rangos de eficiencia de control de los ciclones de alta capacidad son de 80 a 99 por ciento para PST; de 10 a 40 por ciento para PM_{10} y de 0 a 10 por ciento para $PM_{2.5}$.

Teoría de operación

Los ciclones utilizan la inercia para remover las partículas de la corriente del gas, tal como se aprecia en la figura 19. Los ciclones imparten una fuerza centrífuga a la corriente de gas, normalmente en una cámara de forma cónica. Los ciclones operan creando un vórtice doble dentro del cuerpo del mismo. El gas que entra es forzado a bajar por el cuerpo del ciclón con movimiento circular cerca de la superficie del tubo del ciclón. En el fondo del ciclón, la dirección del gas se invierte y sube en espirales por el centro del tubo y sale por la tapa del ciclón. Las partículas en la corriente del gas son forzadas hacia la pared del ciclón por la fuerza centrífuga del gas en rotación, pero se les opone la fuerza de arrastre del gas que pasa por el ciclón hacia la salida. Con las partículas más grandes, la inercia vence a la fuerza de arrastre, haciendo que las partículas alcancen la pared del ciclón y sean colectadas. Con las partículas más pequeñas, la fuerza de arrastre es mayor que la inercia, ocasionando que las partículas salgan del ciclón junto con el gas. La gravedad también hace que las partículas más grandes que llegan a la pared del ciclón bajen hacia la tolva. Aunque utilizan el mismo mecanismo de separación que los separadores por impulso, los ciclones son más efectivos porque tienen un patrón de flujo de gas más complejo (AWMA, 1992).

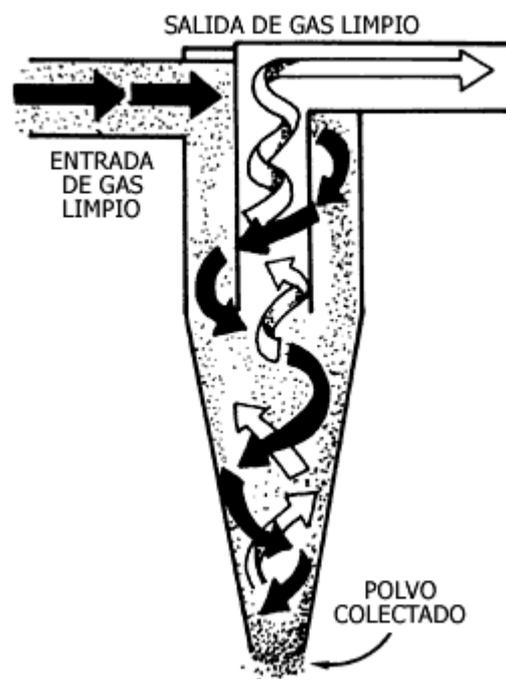


Figura 19.- Ciclón

Ventajas

Las ventajas de los ciclones incluyen las siguientes (AWMA, 1992; Cooper, 1994; y EPA, 1998):

1. Bajos costos de adquisición.
2. Falta de partes móviles, por lo tanto, pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación.
3. Caída de presión relativamente baja (2 a 6 pulgadas de columna de agua), comparada con la cantidad de partículas removidas.
4. Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.
5. Colección y disposición en seco; y
6. Requisitos espaciales relativamente pequeños.

Desventajas:

Las desventajas de los ciclones incluyen las siguientes (AWMA, 1992; Cooper, 1994; y EPA, 1998):

1. Eficiencias de colección de PST relativamente bajas, particularmente para partículas de tamaño menor a 10 μm .
2. No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes; y
3. Las unidades de alta eficiencia pueden tener altas caídas de presión.

4.2.1.1.2 Filtros

Los sistemas de filtros de tela atrapan las partículas en dispositivos filtradores (bolsas). Las partículas quedan atrapadas en la superficie de las bolsas, mientras la corriente de aire pasa a través de ellas. Los filtros de tela pueden alcanzar la mayor eficiencia en la recolección de partículas de entre todos los equipos de control de partículas (Radian Internacional LLC, 1998).

Los diferentes sistemas de filtros son:

- ✓ Filtro de tela con limpieza aire-invertido mejorada y bocina sónica
- ✓ Filtro de tela con limpieza por sacudimiento mecánico mejorada y bocina sónica
- ✓ Filtro de tela con limpieza Pulse-Jet
- ✓ Filtros de mangas
- ✓ Colector tipo cartucho con limpieza Pulse-Jet (filtro)

Las eficiencias de operación de estos filtros son para equipos ya existentes de 95 al 99.9 % y para equipos nuevos son del 99 al 99.9 %. Varios factores determinan la eficiencia de recolección de los filtros de tela. Estos incluyen la velocidad de filtración del gas, las características de las partículas, las características de la tela y el mecanismo de limpieza. En general, la eficiencia de recolección aumenta al incrementar la velocidad de filtración y el tamaño de las partículas (EPA, 1998).

Sin embargo, hoy en día se han desarrollado una gama de filtros, bolsas y cartuchos de diferentes materiales (poliéster, polipropileno, Nylon, poliéster, nomex, entre otros) con eficiencias de hasta 99.999% para el control de PM_{10} y para todo tipo de aplicación industrial. La figura 20 muestra algunos de estos materiales.

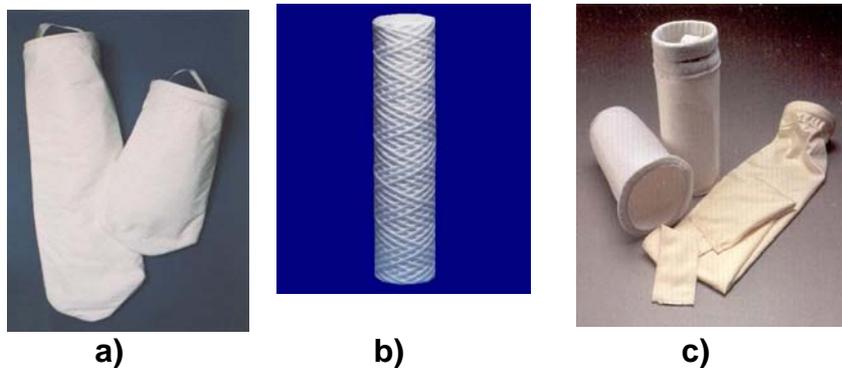


Figura 20.- Materiales filtrantes para los colectores de partículas a)bolsas, b)cartuchos, c)mangas

Teoría de Operación:

En un filtro de tela, el gas residual se pasa por una tela de tejido apretado o de fieltro, causando que la materia particulada en el gas sea recolectada en la tela por tamizado y por otros mecanismos. Los filtros de tela pueden ser de forma de hojas, cartuchos o bolsas, con un número de unidades individuales de filtros de tela encasillados en grupo. Las bolsas son el tipo más común de filtro de tela. A los filtros de tela se les conoce frecuentemente como casas de bolsas porque la tela está configurada por lo general en bolsas cilíndricas. Las bolsas pueden ser de 6 a 9 m de largo (20 a 30 pies) y de 12.7 a 30.5 cm (5 a 12 pulgadas) de diámetro. Se colocan grupos de bolsas en compartimientos aislables para permitir la limpieza de las bolsas o el reemplazo de algunas de ellas sin tener que parar todo el filtro de tela (STAPPA/ALAPCO, 1996).

Las condiciones de operación son factores importantes para la selección de la tela. Algunas telas (por ejemplo, poliolefinas de nylon, acrílicos, poliésteres), son útiles solamente a temperaturas relativamente bajas, de 95 a 150 °C (200 a 300 °F). Para flujos de gases de combustión a altas temperaturas, deben utilizarse telas más estables térmicamente, tales como la fibra de vidrio, el Teflón o Nomex. (STAPPA/ALAPCO, 1996).

El sacudimiento mecánico ha sido un método muy popular de limpieza por muchos años, debido a su simplicidad así como a su efectividad. En una operación típica, el gas empolvado se introduce por un conducto de entrada al filtro de tela limpiado por sacudimiento y las partículas más grandes son removidas de la corriente de gas cuando golpean un deflector en el conducto de entrada y caen en la tolva. El gas cargado de partículas es succionado por debajo de una placa de celda en el piso y hacia las bolsas del filtro. El gas procede del interior de las bolsas al exterior y a través del conducto de salida. Las partículas son recolectadas en la superficie interior de las bolsas y se acumula una plasta en el filtro. En las unidades con sacudimiento mecánico, la parte superior de las bolsas está unida a una barra sacudidora, la cual se mueve abruptamente (normalmente en dirección horizontal), para limpiar las bolsas. Las barras sacudidoras son operadas por motores mecánicos o a mano, en aplicaciones en las que la limpieza no se requiere frecuentemente (EPA, 1998b).

El método de limpieza por vibración es similar a las unidades con sacudimiento mecánico. Utiliza una vibración del marco de la bolsa generada neumáticamente, de alta frecuencia y baja amplitud, para limpiar las bolsas. Este método tiene aplicaciones limitadas debido a su limpieza de baja energía y al diseño más pequeño de la casa de bolsas (Billings, 1970).

Las bocinas sónicas se utilizan cada vez más para mejorar la eficiencia de recolección de los filtros de tela limpiados por sacudimiento mecánico o con aire a la inversa (AWMA, 1992). Las bocinas sónicas utilizan aire comprimido para hacer vibrar un diafragma, produciendo una onda sonora de baja frecuencia en la campana de la bocina. El número de bocinas que se requieren está determinado por la superficie de la tela y el número de compartimientos de la casa de bolsas. Típicamente, se requieren de 1 a 4 bocinas por compartimiento operando de 150 a 200 hertz. El aire comprimido para las

bocinas se suministra de 275 a 620 kilo-Pascales (kPa) (40 a 90 libras por pulgada cuadrada manométricas (psig)). Las bocinas sónicas se activan de 10 a 30 segundos aproximadamente durante cada ciclo de limpieza (Carr, 1984).

La limpieza con bocinas sónicas reduce significativamente la carga residual de polvo en las bolsas. Esto disminuye de 20 a 60% la caída de presión a través del filtro de tela. También aminora el esfuerzo mecánico requerido para limpiar las bolsas, resultando en una vida de operación más larga (Carr, 1984). Tal como se mencionó previamente, esto puede reducir el costo de Operación y Mantenimiento de 1 a 3% anualmente. Los compartimientos de las casas de bolsas son fácilmente reconvertidos a bocinas sónicas. El apoyo sónico es frecuentemente utilizado con filtros de tela en calderas de termoeléctricas que queman carbón (EPA, 1998a).

En general, estos equipos, también conocidos como colectores de polvo o partículas, independientemente, del medio filtrante (mangas, cartuchos, bolsas), tienen la misma teoría de operación. En la figura 21 se aprecia su funcionamiento de estos equipos.

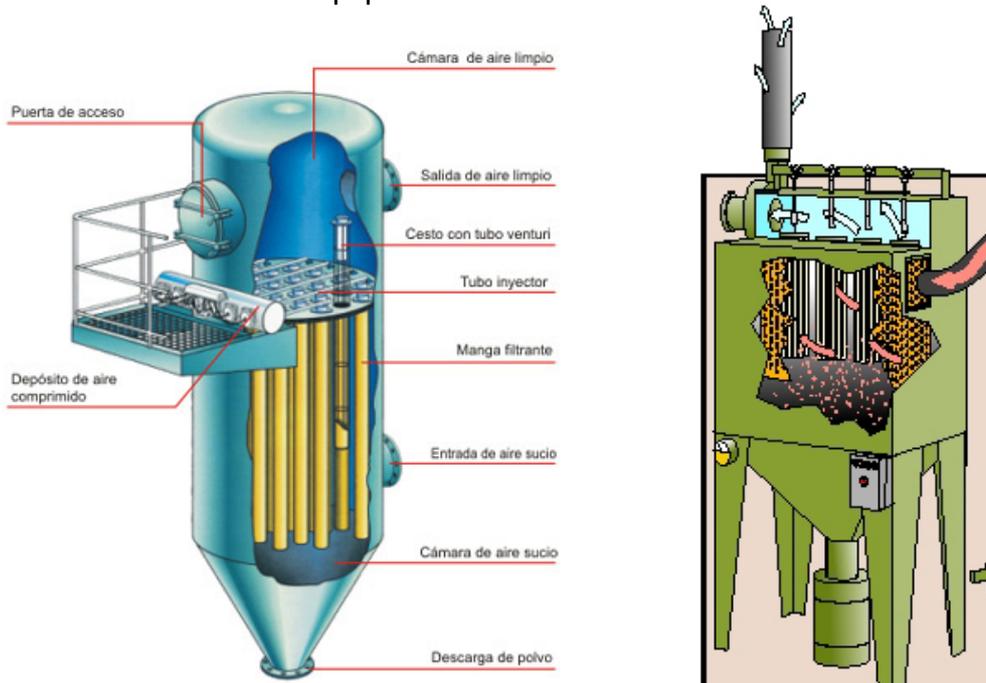


Figura 21.- Filtros y/o Colector de partículas

Ventajas:

En general, los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para partículas gruesas como para las de tamaño fino (sub-micras). Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. En el caso de filtros con limpieza continua, la eficiencia y la caída de presión permanecen relativamente invariables con fuertes cambios en la carga de entrada de polvo. El aire de salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado dentro de la planta (para la conservación de energía). El material recolectado se recolecta seco para su procesamiento o disposición subsecuentes. Normalmente, no son problemas la corrosión ni la oxidación de sus componentes. Su operación es relativamente simple a diferencia de los precipitadores electrostáticos, los sistemas de filtros de tela no requieren del uso de alto voltaje, por lo tanto, el mantenimiento se simplifica y podría recolectarse el polvo inflamable con el cuidado apropiado. El uso de ayudas selectas de filtración granulares o fibrosas (pre-impregnado), permite la recolección con alta eficiencia de contaminantes gaseosos y humos de tamaños menores de una micra. Los recolectores están disponibles en un gran número de configuraciones, resultando en un rango de dimensiones y de localizaciones de las bridas de entrada y salida, para cumplir con los requisitos de instalación (AWMA, 1992).

Desventajas:

Para temperaturas muy por encima de los 290 °C (550 °F), se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario especial, las cuales pueden resultar muy caras. Para ciertos tipos de polvos, se pueden requerir telas tratadas para reducir la percolación de los polvos o en otros casos, para facilitar la remoción del polvo recolectado. Las concentraciones de algunos polvos en el colector, aproximadamente 50 g/m³ (22 gr/ft³), pueden representar un peligro de fuego o explosión, si se produce una llama o una chispa accidentalmente. Las telas pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. Los filtros de tela tienen requerimientos altos de mantenimiento (por ejemplo, reemplazo periódico de las bolsas). La vida de la tela puede ser acortada a temperaturas elevadas y en presencia de constituyentes gaseosos o particulados ácidos o alcalinos. No pueden ser operados en ambientes húmedos; los materiales higroscópicos, la condensación de humedad o los materiales adhesivos

esposos, pueden causar costras o tapar la tela o requerir aditivos especiales. Se pudiera requerir protección respiratoria para el personal de mantenimiento al reemplazar la tela. Por otra parte, se requiere una caída de presión mediana, típicamente en el rango de 100 a 250 mm de columna de agua (4 a 10 pulgadas de columna de agua) (AWMA, 1992).

4.2.1.1.3 Precipitadores electrostáticos (PES)

Las eficiencias típicas de equipos nuevos varían entre 99 y 99.9%. Los equipos existentes más antiguos tienen un rango de eficiencia de operación de 90 a 99.9%. Aunque son varios los factores que determinan la eficiencia de recolección de los PES, el más importante es el tamaño del PES. El tamaño determina el tiempo de tratamiento, pues entre más tiempo permanezca una partícula en el PES, es más probable que ésta sea atrapada. Al maximizar la fuerza del campo eléctrico, se maximiza la eficiencia de recolección del PES (STAPPA/ALAPCO, 1996). La eficiencia de recolección también se ve afectada en cierto grado por la resistividad del polvo, la temperatura del gas, la composición química (del polvo y del gas) y por la distribución del tamaño de las partículas.

Teoría de Operación:

Un PES es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección. Una carga eléctrica es impartida a las partículas encauzadas cuando pasan a través de una corona, una región donde fluyen los iones en fase gaseosa. Los electrodos ubicados en el centro del plano del flujo se mantienen a un alto voltaje y generan un campo eléctrico que atraen a las partículas hacia las paredes recolectoras, tal como se aprecia en la figura 22. En los PES, los recolectores son golpeados, o “martillados”, por varios métodos mecánicos para desprender las partículas, que se desliza descendiendo hacia una tolva en donde son recolectados. La tolva es vaciada periódicamente conforme ésta se llena. El polvo se retira hacia un sistema que administra a éste, para después ser desechado de una manera apropiada.

En un PES de tipo tubo-alambre, el gas emitido fluye horizontalmente y paralelo a las placas verticales de metal en hoja. El espacio entre las placas varía típicamente entre 19 y 38 cm (9 y 18 pulgadas) (AWMA, 1992). Los

electrodos de alto voltaje son alambres largos con pesas en su extremo inferior, y están colgados entre las placas. Algunos diseños posteriores utilizan electrodos rígidos (tubos huecos de aproximadamente 25 a 40 mm de diámetro) en vez de alambre (Cooper y Alley, 1994). Dentro de cada sendero de flujo, el flujo de gas debe pasar cada alambre en secuencia a medida que fluye a través de la unidad. Las superficies de flujo entre las placas son llamados ductos. Las alturas de los ductos varían típicamente entre los 6 y 14 m (20 a 25 pies) (EPA, 1998).

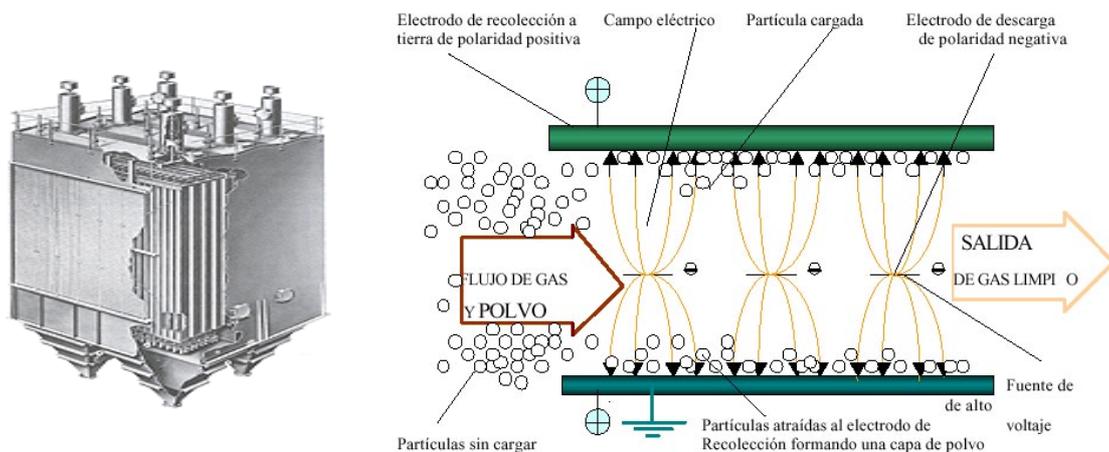


Figura 22.- Precipitador electrostático

Ventajas:

Los PES del tipo tubo-alambre y otros PES en general, debido a que actúan únicamente sobre el particulado por eliminar, y sólo impiden el flujo de la corriente de gas de manera mínima; tienen bajas de presión muy pequeñas (típicamente menores de 13 mm (0,5 pulgadas) de columna de agua). Como resultado, los requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos. Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas, aún con partículas muy pequeñas. Pueden ser diseñados para un rango amplio de temperaturas de gases, y pueden manejar temperaturas altas, hasta los 700°C (1300°F). La recolección y eliminación del residuo en seco permite una manipulación fácil. Los costos de operación son relativamente bajos. Los PES son capaces de operar bajo presiones altas (hasta 1.030 kPa (150 psi)) o bajo condiciones de vacío. Las velocidades de flujo relativamente grandes se pueden manejar de manera efectiva (AWMA, 1992).

Desventajas:

Los PES tienen costos de adquisición generalmente altos. Los electrodos de descarga fabricados de alambre (aproximadamente 2,5 mm (0,01 in.) de diámetro), requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por el efecto de fugas de gas y la condensación ácida. Además, los alambres largos sujetos con pesas tienden a oscilar - la parte media del alambre puede acercarse al tubo, causando más chispas y desgaste. Los diseños de PE más nuevos tienden a utilizar los electrodos rígidos (Cooper y Alley, 1994).

En general, los PES no son muy apropiados para uso en procesos que sean demasiado variables, debido a que son muy sensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas (velocidad de flujo, temperatura, composición de las partículas y del gas, y el cargamento de partículas). Los PES también son difíciles de instalar en sitios con espacio limitado puesto que los PES deben ser relativamente grandes para obtener las bajas velocidades de gas necesarias para la recolección eficiente de partículas (Cooper y Alley, 1994).

Ciertas partículas son difíciles de recolectar debido a sus características de resistividad demasiado altas o bajas. Puede existir un peligro de explosión al tratar gases combustibles y/o recolectar partículas combustibles. Se requiere personal de mantenimiento relativamente sofisticado, así como de precauciones especiales para proteger al personal del alto voltaje. Los PES no son recomendables para la eliminación de partículas pegajosas o húmedas. Se produce ozono por el electrodo de carga negativa durante la ionización del gas (AWMA, 1992).

4.2.1.2 Equipos de control para Compuestos Orgánicos Volátiles**4.2.1.2.1 Equipo de adsorción**

La adsorción se refiere a procesos donde las moléculas de COV son removidas de la corriente gaseosa al transferirse a la superficie sólida del adsorbente. Existen dos tipos de procesos de adsorción: adsorción química y adsorción física. La adsorción química no es utilizada en sistemas de control de contaminantes gaseosos por la dificultad que implica su regeneración.

En la adsorción física, la molécula del contaminante es ligeramente retenida en la superficie del adsorbente por débiles fuerzas electrostáticas, de manera que el material puede ser fácilmente regenerado. El carbón activado es el adsorbente más usado hoy en día para retirar COV, debido al comportamiento hidrófobo de su superficie, el carbón activo adsorbe preferentemente las sustancias orgánicas y otros compuestos no polares presentes en fases líquida o gaseosa; existen tres tipos comunes de carbón: granular activado, polvo activado y fibra de carbono. También la silica gel, zeolita, alumina y polímeros pueden ser empleados como absorbentes. Estos sistemas alcanzan eficiencias de remoción altas, entre un 95 y 98 por ciento para carbón activado (Desarrollo y planificación ambiental, 2008).

Una columna típica de flujo descendente se esquematiza en la figura 23 (a), donde se observa que el agua de lavado se introduce por la parte superior de la columna y sale por la inferior. El carbón se mantiene en su lugar por medio de una rejilla en el fondo de la columna. El gas a tratar entra por la parte superior y atraviesa el lecho, donde son retenidos los COV. En estos sistemas es necesario prever las instalaciones de lavado en superficie y a contracorriente.

Asimismo, se recomienda el uso en flujo ascendente para reducir el problema de la obstrucción de carbón, como lo representa la figura 23 (b).

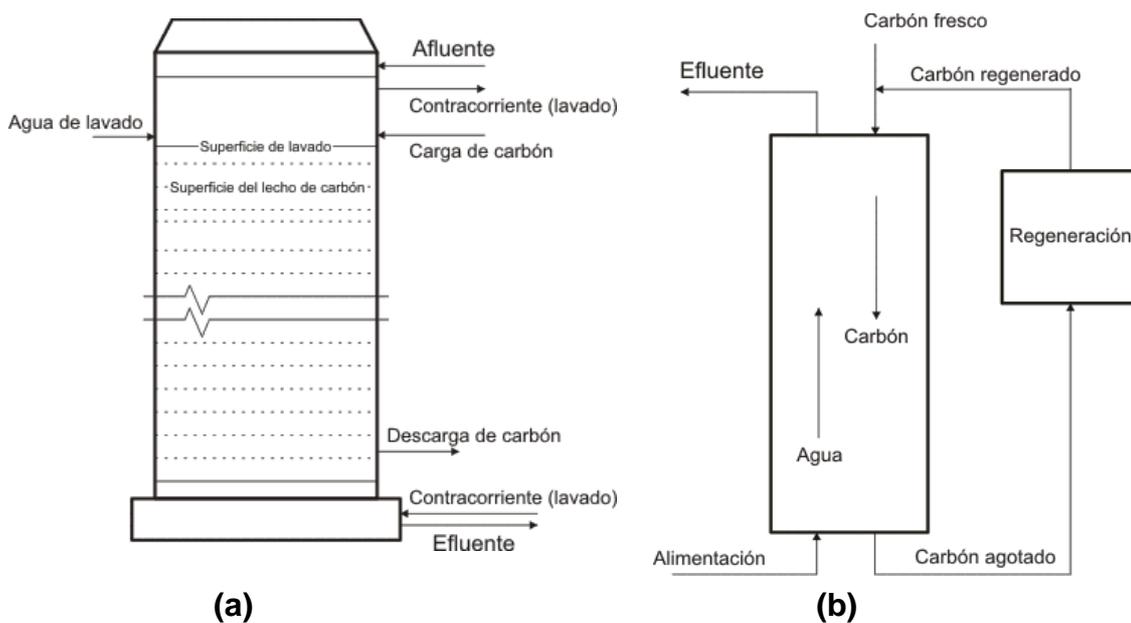


Figura 23.- Columnas de adsorción a) Flujo descendente b) Flujo ascendente

4.2.1.2.2 Equipo de oxidación

Se pueden llevar a cabo tres tipos de oxidaciones, dependiendo de los fines que se pretendan, ya sea para recuperar alguna sustancia de valor o para destruir ésta cuando es tóxica o dañina, en la figura 24 se ilustra un equipo de oxidación, para el control de Compuestos Orgánicos Volátiles.



Figura 24.- Equipo de oxidación

Oxidación térmica regenerativa (Desarrollo y planificación ambiental, 2008): Consiste en someter los gases a una temperatura suficientemente alta durante el tiempo necesario para producir la oxidación de los contaminantes. Por tanto, para conseguir una depuración eficaz es necesario combinar temperatura (entre 750 y 1,200 grados), durante un tiempo mínimo para completar la reacción de oxidación y con una turbulencia en los gases que permita una mezcla perfecta de todos sus componentes.

Estas condiciones se consiguen en el interior de una cámara de oxidación diseñada para tal fin y que está equipada con un quemador que utiliza como aire comburente el propio gas a depurar. Se consigue así disminuir al máximo la energía necesaria para el proceso de depuración.

Como la temperatura de los gases que salen de la cámara de oxidación es muy elevada, se hace necesario recuperar su energía por procedimientos como el precalentamiento del gas a depurar, la generación de vapor o el calentamiento de aceite térmico. Si la concentración de contaminantes orgánicos es elevada, estas instalaciones son convenientes porque permiten aprovechar en el proceso industrial el calor de oxidación de los contaminantes. Estos sistemas

se caracterizan por tener una eficacia muy elevada y ofrecen la posibilidad de valorización energética de los residuos gaseosos. Por el contrario, si las concentraciones de contaminantes son bajas, resulta un alto costo energético de operación.

Oxidación térmica recuperativa (Desarrollo y planificación ambiental, 2008):

Se caracterizan por incluir dispositivos, llamados regeneradores, que recuperan el calor de los gases depurados. Estos regeneradores son unos elementos de material cerámico que acumulan el calor de los gases que salen de la cámara de oxidación. Mediante un sistema de válvulas se establecen ciclos de funcionamiento consecutivos por los cuales los gases depurados, que están a una temperatura elevada (unos 800 grados), ceden su calor a las masas cerámicas para que los gases contaminados que entran fríos tomen de ellas este calor en el ciclo siguiente.

Con estos equipos se consigue un mínimo consumo de combustible, ya que permite eficacias de recuperación de calor muy elevadas y sus costes de explotación y mantenimiento resultan muy bajos. Cabe destacar también la alta eficacia de depuración, la fiabilidad y duración del equipo.

Los depuradores catalíticos se usan en aquellas aplicaciones en que la cantidad de compuesto orgánico es baja.

Oxidación catalítica (Desarrollo y planificación ambiental, 2008): La oxidación catalítica es similar a la oxidación térmica, sin embargo, un catalizador dentro del sistema disminuye la energía de activación requerida para la oxidación total, por lo que ésta ocurre a temperaturas menores, generalmente entre 300 y 450 grados. De esta forma, la oxidación de COV realizada en presencia de catalizadores reduce drásticamente el consumo de combustible adicional y la formación de óxidos de nitrógeno. Los gases a depurar deben ser calentados hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento del catalizador. Este calor necesario es suministrado por un quemador a gas o un calentador eléctrico. Para reducir el consumo energético, puede instalarse un precalentador que aproveche el calor de los gases ya depurados.

Los depuradores catalíticos se usan en aquellas aplicaciones en que la cantidad de compuesto orgánico es baja.

La oxidación catalítica puede ser utilizada para reducir las emisiones provenientes de una variedad de fuentes estacionarias. Los procesos de evaporación de solventes asociados con las operaciones de recubrimiento de superficies e imprenta son una fuente principal de emisiones de COV.

En esta oxidación, así como en las anteriores, el funcionamiento empieza primero con el impulso (1) de los gases contaminantes hacia un intercambiador de calor (2) en el que se realiza el precalentamiento. Sigue con cámara de combustión (3) y posteriormente pasa al lecho del catalizador posconectado en el que se oxidan los componentes orgánicos de la corriente gaseosa (4). Posteriormente el aire tratado se enfría en este mismo intercambiador de calor y cede su calor a los gases de entrada (5) y finalmente salen los gases por la chimenea (6), tal como se aprecia en la figura 25.

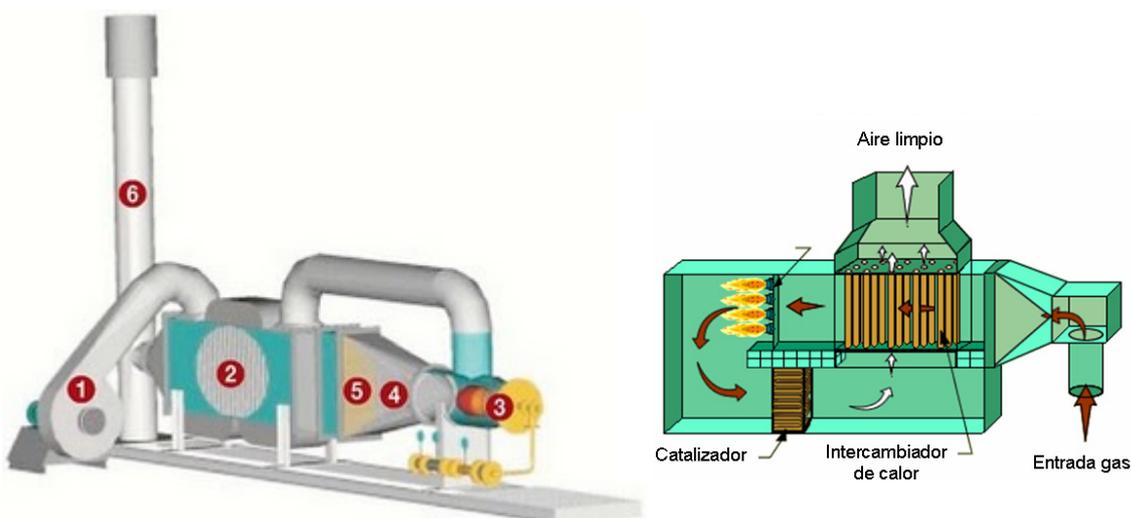


Figura 25.- Principio de funcionamiento de un equipo de oxidación catalítica

4.2.1.3 Equipos de control para Bióxido de Carbono

El CO₂ puede ser recuperado y almacenado, esta técnica es conocida como descarbonización. Los posibles métodos técnicos de almacenamiento son los siguientes: almacenamiento geológico (en formaciones geológicas, como los yacimientos de petróleo y gas, las capas de carbón inexplorables y las formaciones salinas profundas), almacenamiento oceánico (liberación directa en la columna de agua oceánica o en el fondo oceánico) y la fijación industrial de CO₂ en carbonatos inorgánicos. Si se inyecta CO₂ en formaciones salinas o yacimientos de petróleo o gas apropiados, a una profundidad mayor de 800 m³,

diversos mecanismos de retención físicos y geoquímicos evitarían que se desplazase hacia la superficie. Asimismo, el bombeo de CO₂ en yacimientos agotados, coadyuva al incremento de la cantidad de petróleo y gas recuperado, haciendo que la tecnología resulte más atractiva económicamente.

Cabe resaltar que actualmente se desarrollan tres proyectos de almacenamiento a escala industrial, los cuales son:

1. Proyecto Sleipner, llevado a cabo en una formación salina marítima en Noruega.
2. Proyecto Weyburn, el cual consiste en una recuperación mejorada de petróleo en Canadá.
3. Proyecto In Salah, desarrollado en un yacimiento de gas de Argelia.

Sobre la seguridad de la descarbonización, los riesgos de la actividad son comparables al almacenamiento del gas natural y a la recuperación del petróleo, por lo tanto es muy factible que el CO₂ quede retenido por millones de años, sin generar riesgos a la vida humana (Descarbonización, 2009).

Mientras que los posibles métodos de captura o recuperación se describen en los siguientes apartados.

4.2.1.3.1 Métodos criogénicos (Sánchez *et al*, 2006)

El CO₂ puede ser condensado y separado de gases poco o menos condensables a bajas temperaturas y altas presiones. El proceso total consta de condensación y destilación criogénica (CDC). Los gases de combustión son secados y comprimidos a la entrada y el gas seco es refrigerado en una columna de condensación con objeto de recobrar el CO₂ condensado. El método CDC ha sido empleado para la eliminación de CO₂ en mezclas de CH₄/CO₂ y otros gases empleados en la recuperación de hidrocarburos en fuentes naturales. La eficiencia de control de una instalación CDC es de un 70% a 85%. Este proceso requiere un consumo elevado de energía cuando la concentración de CO₂ en los gases de entrada es bajo.

4.2.1.3.2 Adsorción física en sólidos (Sánchez *et al*, 2006)

En la adsorción, el CO₂ es retenido en el sólido debido a las interacciones con la superficie de las partículas y su porosidad. En estos procesos se trabaja en condiciones casi isotérmicas, y la operación consta de dos fases: la adsorción, que se realiza a alta presión, con objeto de que la presión parcial del gas al ser capturado sea elevada, y la recuperación, que se realiza a una presión menos elevada, para liberar y recuperar el CO₂ adsorbido. Estos procesos de captura y recuperación de gas por adsorción tienen un gran interés técnico, económico y comercial. La captura y recuperación de CO₂ de los gases de combustión puede llevarse a cabo por procesos de adsorción en sólidos químicamente reactivos y no reactivos. Los adsorbentes sólidos que debieran ser considerados para la absorción del CO₂ son adsorbentes naturales como yesos y zeolitas; aceite bituminoso de desecho; adsorbentes procesados como sílice, zeolitas y tamices moleculares; y por último el carbón, el lignito y la antracita.

4.2.1.3.3 Separación mediante membranas selectivas (Sánchez *et al*, 2006)

La difusión de gases de distintos tamaños moleculares se puede llevar a cabo por mediación de membranas. Este método evita la necesidad de cambios de fase. Las membranas para la absorción de gases constan de un líquido de absorción en contacto con un lado de una membrana porosa con objeto de proveer una gran superficie de contacto y evitar mezclar el gas con el líquido. La separación se basa en la distinta velocidad de difusión de diferentes gases. El CO₂, siendo una molécula triatómica, puede separarse con relativa facilidad de moléculas biatómicas como O₂ y N₂. Las membranas para la separación de gases pueden dividirse en dos tipos: membranas orgánicas y membranas inorgánicas. Las membranas orgánicas apropiadas para la separación de CO₂ de N₂, incluyen materiales derivados de la celulosa, polisulfona, poliamid y poliimididas. Las membranas no orgánicas son químicamente estables y apropiadas para operación a presión elevada, pero son más caras que las de tipo orgánico. Ejemplo de este tipo de membranas son las membranas porosas inorgánicas, como membranas cerámicas, membranas de óxidos metálicas. Debido a que la diferencia de tamaño y masa de N₂ y CO₂ es pequeña, las

membranas orgánicas porosas no son adecuadas para la separación de CO₂ de gases de combustión. En la configuración con una membrana, ésta separa los gases de combustión en un permeado rico en CO₂ y una fracción pobre en CO₂. La segunda es descomprimida en una cámara de expansión y liberada, subsecuentemente, a la atmósfera. El permeado rico en CO₂ es comprimido a una presión de 8 MPa. El permeado obtenido en un sistema consistente de una membrana solamente produce un permeado rico en CO₂ diluido con N₂. Este no es un resultado deseable, ya que el CO₂ se condensará al ser comprimido, mientras que el N₂ permanecerá en forma gaseosa.

4.2.1.3.4 Absorción química

La absorción química y absorción física mediante un absorbente líquido, son las técnicas mejor definidas para la captura de CO₂. Los sistemas químicos tienen la ventaja frente a los sistemas físicos de que presentan un costo operacional más bajo. Además, el proceso de extracción, que sigue a la absorción, necesita menos energía para el caso de sistemas químicos. La figura 26 ilustra la absorción química que se lleva a cabo para el control de CO₂.

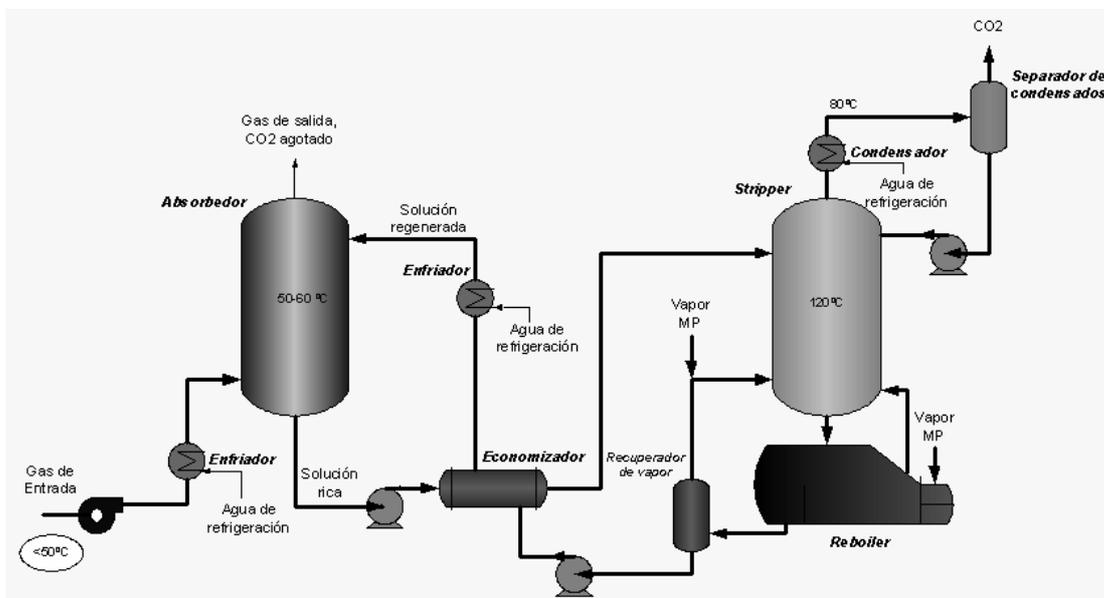


Figura 26.- Absorción química para el control de CO₂

El absorbedor más empleado para el CO₂ es una solución de amina, monoetanolamina (MEA). Las soluciones acuosas de alcanolaminas primarias,

secundarias y ternarias se utilizan ampliamente en la separación de gases ácidos, CO_2 , en procesos reversibles de absorción y regeneración. Las aminas primarias y secundarias, como la MEA y la Dietilamina (DEA), respectivamente, son muy reactivas y por lo tanto, presentan altas velocidades de eliminación de CO_2 . En la operación de absorción de gases, una mezcla gaseosa se pone en contacto con un líquido, a fin de disolver de manera selectiva uno o más componentes del gas y de obtener una solución de éstos en el líquido. Estas operaciones requieren la transferencia de masa de una sustancia en la corriente gaseosa al líquido. Esto se aplica cuando se quiere recuperar en un líquido componentes que acompañen el afluente gaseoso de un reactor, bien sea para conseguir su neutralización, o bien para evitar la contaminación del medio ambiente. En algunos casos, tanto el reactivo como el producto de la reacción son solubles en el líquido, tal es el caso, de la solución acuosa de monoetanolamina. La reacción entre el soluto absorbido y un reactivo produce dos hechos favorables a la rapidez de la absorción: el aumento de la capacidad de adsorción del líquido respecto al componente gaseoso, y el aumento de la velocidad global del proceso (Sánchez, *et,al*, 2006).

4.2.1.4 Equipos de control para Bióxido de Azufre

4.2.4.4.1 Desulfuración del gas de chimenea (DGC) - Torres de limpieza húmeda, en seco y de aspersion en seco.

Las torres de limpieza son capaces de eficiencias de reducción en el rango 50 a 98%. Las eficiencias de remoción más altas se obtienen por torres de limpieza húmeda, con eficiencias mayores a 90% y las más bajas por torres de limpieza en seco, típicamente menores que 80%. Los diseños nuevos de torres de limpieza en seco son capaces de eficiencias de control más altas, del orden de 90% (EPA, 2003).

Este tipo de control se ocupa principalmente para unidades de combustión industrial, como son las calderas, generalmente se utilizan más los sistemas húmedos.

El proceso de desulfuración de gas de salida o depuración de SO_2 , típicamente usa un reactivo alcalino de base de calcio o sodio. El reactivo es inyectado al gas de salida en una torre de aspersion o directamente dentro del conducto. El

SO₂ es absorbido, neutralizado y/o oxidado por el reactivo alcalino y convertido en un compuesto sólido, ya sea calcio o sulfato de sodio. El sólido es removido de la corriente de gas residual usando equipo corriente abajo.

Los depuradores son clasificados como “de un sólo uso” o “regenerables”, en base a como son manejados los sólidos generados por el sistema. Los sistemas de un sólo uso, o desechan como residuo el absorbente agotado ó bien, lo utilizan como subproducto. Los sistemas regenerables reciclan el absorbente al sistema. Hoy en día, los procesos regenerables tienen costos más altos que los procesos de un sólo uso, sin embargo, los procesos regenerables son elegidos si el espacio o las opciones de disposición son limitadas y hay un mercado de venta para los subproductos (yeso) (Cooper, 2002). Ambos tipos de sistemas, de un sólo uso y regenerables, pueden ser también clasificados en húmedos, secos o semi-secos. Cada uno de estos procesos se describe a continuación:

Sistemas húmedos

En un sistema de torre de limpieza húmeda, el gas de salida es conducido hacia la torre de aspersion, donde se inyecta el absorbente en el gas de salida. Para proporcionar un buen contacto entre el gas y el absorbente, la ubicación de las boquillas de inyección es diseñada para optimizar el tamaño y la densidad de las gotas de lodo formadas por el sistema. Una parte del agua en el lodo es evaporada y la corriente de gas residual se satura con vapor de agua. El dióxido de azufre se disuelve en la gotas de lodo donde reacciona con las partículas alcalinas. El lodo cae hacia el fondo del absorbedor donde es recolectado. El gas de salida ya tratado, pasa a través de un eliminador de vapor antes de salir del absorbedor, el cual remueve cualquier gota de lodo arrastrada. El efluente del absorbedor es enviado al tanque de reacción donde se completa la reacción SO₂-alcáli formando una sal neutra. En un sistema regenerable, el lodo utilizado es reciclado hacia el absorbedor. Los sistemas de un sólo uso, deshidratan el lodo empleado para su disposición o para su uso como subproducto (EPA, 2003).

Los procesos de depuración húmeda se clasifican teniendo en cuenta los reactivos que se emplean en los mismos; diversos procesos de depuradores húmedos con su respectivo absorbente se aprecian en la tabla 5.

Tabla 5.- Absorbentes empleados en la depuración húmeda

Absorbente	Variable
Cal	Con reguladores inorgánicos (como óxido de Magnesio) Sin reguladores
Caliza:	Con ningún inhibidor de oxidación natural Con oxidación inhibida Con oxidación forzada in situ Con oxidación forzada ex situ Con reguladores solubles orgánicos o inorgánicos
Alcali dual:	Carbonato de Sodio/hidróxido de Calcio Carbonato de Sodio/carbonato de Calcio
Ceniza de sosa:	Con regeneración por desmenuzado con vapor Sin regeneración
Óxido de magnesio con regeneración térmica	

Fuente: Elaboración propia basada en: Control y eliminación de los SO_x, s/a.

Generalmente la cal o la piedra caliza son empleados como material absorbente, siendo el más utilizado la caliza, esto es derivado de las ventajas que presenta, entre las que se encuentran su amplia disponibilidad y precio competitivo y su fácil extracción, transporte y almacenamiento. Entre las desventajas se encuentran las incrustaciones originadas por la precipitación del yeso o sulfato de calcio sobre las superficies, dentro de la zona de contacto gas-líquido.

En estos procesos con caliza y con cal, el reactivo se consume en el proceso y se tiene que reemplazar continuamente, siendo procesos no regenerativos. Cada uno de estos procesos comprenden cuatro etapas: preparación del reactivo, absorción de SO₂, deshidratación de la lechada y colocación final; existiendo en cada una de ellas distintas variantes (EPA, 2000).

La absorción de SO₂ en un depurador húmedo y su reacción con materiales alcalinotérreos, como la caliza, constituye una reacción ácido-base elemental. Este proceso se realiza debido a que el SO₂ es un gas relativamente insoluble en el agua, el carbonato de calcio (CaCO₃) tiene una baja solubilidad en el agua, los productos principales de la reacción son sulfito de calcio semihidratado y sulfato de calcio dihidratado o yeso; estas dos sales tienen bajas solubilidades (EPA, 2000).

La limpieza húmeda con caliza tiene altos costos de adquisición y de operación debido al manejo del líquido reactivo y del residuo. No obstante, es el proceso

preferido por las plantas generadoras de electricidad que queman carbón debido al bajo costo de la piedra caliza y las eficiencias de control de SO₂ es de 90 hasta 98% (Schnelle, 2002).

Sistemas Semi-secos

Los sistemas semi-secos, o secadores de aspersion, inyectan un lodo acuoso como absorbente de modo similar al del sistema húmedo, sin embargo, el lodo tiene una concentración mayor de absorbente. A medida que el gas de salida caliente se mezcla con la solución de lodo, el agua del lodo es evaporada. El agua que permanece en el absorbente sólido aumenta la reacción con el SO₂. El proceso forma un residuo seco, el cual es recolectado por un dispositivo de control de partículas, tal como una casa de bolsas o un precipitador electrostático (PES). El residuo puede ser desechado, vendido o reciclado en el lodo.

Varios reactivos a base de calcio y sodio pueden ser utilizados como absorbentes. Las torres de limpieza de aspersion en seco típicamente inyectan cal, ya que es más reactiva que la piedra caliza y menos costosa que los reactivos a base de sodio. El lodo del reactivo es inyectado a través de atomizadores rotatorios o boquillas de doble fluido para crear un rocío de gotas más finas que en los sistemas de limpieza húmeda (Srivastava, 2001).

El rendimiento de una torre de aspersion en seco con cal es más sensible a las condiciones operativas. Se requiere una aproximación cercana a la temperatura adiabática de saturación para maximizar al máximo la remoción de SO₂. Sin embargo, el exceso de humedad causa la deposición de sólidos húmedos en el absorbedor y en el equipo corriente abajo. La temperatura óptima es de 10 a 15 °C (20 a 50°F) por debajo de la temperatura de saturación (Srivastava, 2001). Debido a la limitación de la humedad en el gas, deben utilizarse relaciones de líquido-gas (L/G) más bajas, aproximadamente de 1:3 (Schnelle, 2002). El gas de salida con altas concentraciones de SO₂ o con altas temperaturas reducen el desempeño de la torre de limpieza (Schnelle, 2002).

Las eficiencias de control de SO₂, en las torres de limpieza de aspersion en seco son ligeramente más bajas que aquellas de los sistemas húmedos, entre 80 y 90% debido a su baja reactividad y relaciones de L/G.

Sistemas secos

Los sistemas de inyección de absorbente seco, inyectan neumáticamente el absorbente en polvo directamente dentro de la chimenea, el economizador o del ducto corriente abajo. El producto de desecho seco es removido usando equipo de control de particulado, tal como una caja de bolsa o un precipitador electrostático (ESP). El gas de salida es generalmente enfriado antes de entrar el dispositivo de control de MP. Agua puede ser inyectada corriente arriba del absorbedor para aumentar la remoción de SO₂ (Srivastava, 2001).

Típicamente, los sistemas de absorbente seco usan reactivos alcalinos en base de calcio o sodio. También hay disponible un gran número de reactivos patentados. Un sistema de inyección típico usa varias lancetas de inyección que sobresalen de las paredes del horno o del conducto. La inyección de agua corriente abajo de la inyección del absorbente incrementa la remoción de SO₂ del absorbente.

Las torres de limpieza en seco tienen costos de capital y anuales significativamente más bajos que los sistemas húmedos porque son más simples, demandan menos agua y la disposición de residuos es menos complicada. Los sistemas de inyección en seco se instalan fácilmente y ocupan menos espacio, por lo tanto, son buenos candidatos en aplicaciones de reconversión. Las eficiencias de remoción de SO₂ son significativamente más bajas que aquellas de los sistemas húmedos, entre 50% y 60% para absorbentes en base a calcio. La inyección de absorbente seco con base de sodio puede alcanzar hasta un 80% de eficiencia de control (Srivastava, 2001). La inyección de absorbente seco es considerada como la tecnología emergente de control de SO₂ para aplicaciones industriales pequeñas. Las aplicaciones más recientes de inyección de absorbente seco en calderas pequeñas de carbón han alcanzado eficiencias de control de SO₂ de más del 90%.

Ventajas:

- Altas eficiencias de remoción de SO₂, de 50 hasta 98%.
- Los productos de la reacción pueden ser reutilizables.
- La dificultad de reconversión es moderada o baja.
- Los reactivos son económicos y están fácilmente disponibles.

Desventajas:

- Altos costos de adquisición, de Operación y de Mantenimiento
- Incrustación y deposición de sólidos húmedos en el absorbedor y en el equipo corriente abajo.
- Los sistemas húmedos generan un producto de desecho húmedo y pueden causar una pluma visible
- No pueden ser usados para concentraciones de SO₂, en gases residuales mayores de 2,000 ppm.
- La disposición de los residuos aumenta significativamente los costos de Operación y Mantenimiento.

4.2.2 Cambio de materia prima y/o combustible**4.2.2.1 Cambio de materia prima para control de Compuestos Orgánicos Volátiles**

Los principales generadores de COV son los solventes y recubrimientos por lo que el método de cambio de materia prima, consiste en la sustitución de sustancias, algunos cambios para reducir las emisiones son:

- × Tintas de base solvente por un sistema a base agua y un procedimiento de limpieza con base agua.
- × Ésteres obtenidos de grasas vegetales: Son de origen vegetal como el aceite de coco o de cáñola los cuales pueden sustituir a los solventes en operaciones de limpieza y desengrase. Esos ésteres tienen la ventaja de que reducen las emisiones de compuestos volátiles, son biodegradables y ofrecen una protección anticorrosión temporal, tienen la misma capacidad de limpieza y desengrase de aceites, grasas y lubricantes, polvo, arena y partículas metálicas que los solventes convencionales.
- × Limpiadores basados en solventes que contienen metil-etil-cetona, metil-isobutil cetona y tolueno, por otros que contienen una mezcla d-limoneno (un limpiador con base citrosa), limpiadores basados en aceites vegetales.
- × Pinturas base agua
- × Uso de solventes orgánicos con menor reactividad para formar ozono, la tabla 6 presenta una lista de sustancias que de acuerdo a

su MIR (Reactividad máxima incremental, por sus siglas en inglés) tan baja es recomendable para emplearse en comparación a otras sustancias con mayor reactividad, tal como es el caso del xileno, tolueno, thinner, por mencionar algunas.

Tabla 6.- Compuestos Orgánicos Volátiles Exentos

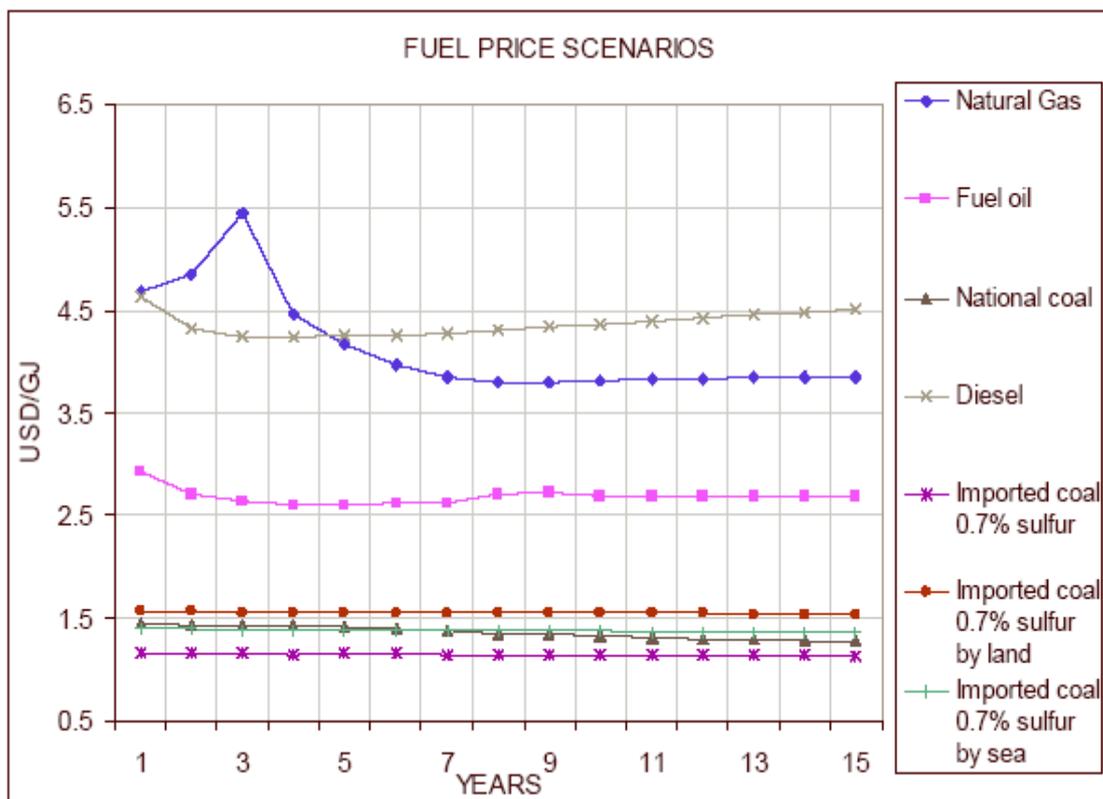
Compuesto
Metano
Etano
Cloruro de metileno (diclorometano)
1,1,1-Tricloroetano (Metil Cloroformo)
1,1,2-Tricloro-1,2,2-Trifluoroetano (CFC -113)
Triclorofluorometano (CFC -11)
Diclorodifluorometano (CFC -12)
Clorodifluorometano (HCFC -22)
Trifluorometano (hfc-23)
1,2-Dicloro-1,1,2,2-Tetrafluoroetano (CFC-114)
Cloropentafluoroetano (CFC -115)
1,1,1-Trifluoro-2,2-Dicloroetano (HCFC-123)
1,1,1,2-Tetrafluoroetano (HFC-134a)
1,1-Dicloro-1-Fluoroetano (HCFC -141b)
1-Cloro-1,1-Difluoroetano (HCFC -142b)
2-Cloro-1,1,1,2-Tetrafluoroetano (HCFC -124)
Pentafluoroetano (HFC -125)
1,1,2,2-Tetrafluoroetano (HFC -134)
1,1,1-Trifluoroetano (HFC -134a)
1,1-Difluoroetano (HFC -152a)
<i>para</i> - Clorobenzotrifluoruro (PCBTF)
Siloxanos cíclicos, ramificados, o lineales completamente metilados
Acetona
Percloroetileno (Tetracloroetileno)
3,3-Dicloro-1,1,1,2,2-Pentafluoropropano (HCFC -225ca)
1,3-Dicloro-1,1,2,2,3-Pentafluoropropano (HCFC -225cb)
1,1,1,2,3,4,4,5,5,5-Decafluoropentano (43-10mee)
Difluorometano (HFC-32)
Etilfluoruro (HFC -161)
1,1,1,3,3,3-Hexafluoropropano (HFC -236fa)
1,1,2,2,3-Pentafluoropropano (HFC -245ca)
1,1,2,3,3-Pentafluoropropano (HFC -245ea)
1,1,1,2,3-Pentafluoropropano (HFC -245eb)
1,1,1,3,3-Pentafluoropropano (HFC -245fa)
1,1,1,2,3,3-Hexafluoropropano (HFC -236ea)
1,1,1,3,3-Pentafluorobutano (HFC -365mfc)
Clorofluorometano (HCFC -31)
1-Cloro1-Fluoroetano (HCFC -151a)
1,2-Dicloro-1,1,2-Trifluoroetano (HCFC -123a)
1,1,1,2,2,3,3,4,4-Nonafluoro-4-Metoxi-Butano (C ₄ F ₉ OCH ₃)
2-(Difluorometoximetil)-1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropano ((CF ₃) ₂ CF ₂ OCH ₃)
1-Etoxi-1,1,2,2,3,3,4,4,4-Nonafluorobutano (C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅)
2-(Etoxidifluorometil)-1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropano ((CF ₃) ₂ CF ₂ OC ₂ H ₅)
Acetato de metilo

Fuente: NADF-011-AMBT-2007

4.2.2.2 Cambio de combustible para el control de Dióxido de azufre, Óxidos de Nitrógeno y Partículas menores a 10 micrómetros.

Este método incluye la sustitución de combustibles por otros más limpios, desarrollo y uso de energías alternas.

En lo que respecta a la sustitución de combustibles se tiene que los combustibles gaseosos presentan una combustión más eficiente, y tienen contenidos de azufre más bajos, con respecto a los combustibles líquidos, si bien tienen la desventaja actualmente de presentar un mayor costo y menor poder calorífico, en el aspecto ambiental son menos contaminantes. Por otra parte, con la finalidad de impulsar el uso de éstos, de acuerdo a la figura 27 se tiene un escenario por parte de la Secretaría de Energía (SENER) y Comisión Federal de Electricidad (CFE), donde se pretende disminuir los costos de gas natural e incrementar los de Diesel, de esta manera se podrá promover el uso de combustibles gaseosos.



Fuente: CFE,2004 y SENER, 2004

Figura 27.- Escenarios de costos de combustibles

Dentro de las energías alternas, se tiene el uso de bioenergéticos⁵, y en general, todo tipo de fuente de energía que no implique la quema de combustibles fósiles, que tenga menor efecto contaminante, y que presente posibilidad de renovación.

4.2.3 Cambio y/o mejoras de condiciones en el proceso y modificación de tecnologías.

Óxidos de Nitrógeno

Recirculación del gas de chimenea (RGC) (EPA, 2003).

La recirculación del gas consiste en que una porción del gas de chimenea es recirculado a la zona de combustión primaria; este sistema reduce la formación de NOx por dos mecanismos:

- × El calentamiento de los productos inertes, contenidos en los gases de recirculación de chimenea en la zona de combustión primaria, disminuye la temperatura pico de la flama, para reducir la formación de NOx térmico.
- × En menor grado los gases de recirculación de chimenea reducen la formación de NOx térmico por la baja concentración de O₂ en la zona primaria de la flama.

Los gases de recirculación de la chimenea pueden ser premezclados con el aire de combustión o inyectados directamente dentro de la zona de flama. La inyección directa permite un control mas preciso de la cantidad y localización de la recirculación del gas de chimenea.

Para reducir la formación de NOx, la recirculación del gas de chimenea debe introducirse en la zona de la flama.

⁵ Bioenergéticos: Combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades, agrícola, pecuaria, silvícola, acuicultura, algacultura, residuos de la pesca, domésticas, comerciales, industriales, de microorganismos, y de enzimas, así como sus derivados, producidos, por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente en los términos de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos; atendiendo a lo dispuesto en el artículo 1 fracción I de este ordenamiento (DOF, 2008).

La recirculación del gas de chimenea reduce las emisiones de NOx entre 20 y 50%, esta técnica es aplicada en calderas que utilicen combustibles gaseosos y líquidos.

Su uso tiene varias limitaciones. El decremento en la temperatura de la flama altera la distribución de calor y puede disminuir la eficiencia del combustible. Está técnica es aplicada principalmente empleando Gas Natural o Diesel.

Bajo exceso de aire (EPA, 2003)

El exceso de aire es la cantidad de oxígeno por encima del nivel estequiométrico requerido para llevar a cabo el 100% la combustión. Debido a que la mezcla de aire -combustible no es completa en todos los casos ni en todas las regiones del quemador se requiere de bajo exceso de aire para asegurar la combustión completa y así prevenir la formación de NOx, humos, hollín y CO.

El bajo exceso de aire se ajusta en el quemador llevando los registros de aire y/o las posiciones de la inyección del combustible o a través del control de los apagadores de calentamiento de aire. La concentración más baja de O₂ en la zona de combustión reduce la conversión del nitrógeno del combustible a NOx. La técnica de bajo exceso de aire reduce las emisiones de NOx en un 20%.

El exceso de aire puede incrementar las emisiones de CO y pueden reducir la estabilidad de la flama.

Calentamiento de aire por etapas (EPA, 2003)

Parcialmente retrasa y extiende el proceso de combustión, pues ésta se lleva a cabo en dos o más pasos. Un porcentaje del aire de combustión es desviado de los quemadores e inyectado a través del puerto por arriba de la capacidad máxima del quemador. Inicialmente el combustible es quemado en una zona de combustión primaria y rica en combustible. Posteriormente la combustión completa se lleva a cabo a bajas temperaturas en una zona de combustión secundaria y adicionando más combustible.

Este sistema reduce las emisiones de NOx entre 20 y 50%, sin embargo, proporciona una menor disposición de oxígeno en la zona de combustión primaria, si se incrementa el exceso de aire esto da como resultado: el incremento en las emisiones de CO y compuestos orgánicos volátiles, reduce la estabilidad de la flama, además de incrementar la corrosión.

Quemadores de Bajo NOx (QBN) (EPA, 2003)

Los quemadores de bajo NOx reducen la formación de los óxidos de nitrógeno por medio del control de la mezcla aire-combustible. Dependiendo del tipo de quemador se utilizan diferentes sistemas físicos para controlar la mezcla aire-combustible pero esencialmente todos los diseños están conformados por los dos métodos de reducción de NOx que son:

- ✦ Bajo exceso de aire
- ✦ Inyección de aire por etapas

Los Quemadores de bajo NOx reducen:

- ✦ El nivel de O₂ en la zona de combustión primaria para limitar la formación de NOx.
- ✦ La temperatura de la flama para limitar la formación de NOx térmico
- ✦ El tiempo de residencia de temperaturas elevadas limita la formación de NOx térmico.

Los quemadores de bajo NOx, están diseñados para reducir la turbulencia de la flama, retrasar la mezcla aire-combustible y establecer la zona rica del combustible para la combustión inicial reduciendo la disponibilidad del oxígeno en la zona de combustión primaria inhibiendo la formación de NOx.

El diseño mas común para el control de NOx es llevar la combustión por etapas.

Los quemadores de combustible por etapas primero mezclan una porción del combustible y todo el aire en la zona de combustión primaria. Los bajos niveles de exceso de aire logran temperaturas muy bajas en los picos de la flama alcanzados en la zona de combustión primaria reduciendo la formación de NOx térmico. El combustible secundario es inyectado a alta presión en la zona de

combustión a través de una serie de boquillas, las cuales están posicionadas alrededor del perímetro del quemador.

Comparados con otros quemadores convencionales, los quemadores de bajo NOx son muy eficientes al reducir las emisiones de NOx entre 40 a 60%.

Los quemadores de bajo NOx son aplicables a equipos de combustión tales como calderas, pero no se pueden emplear para hornos, y ciclones. La figura 28 ilustra un QBN en una caldera.

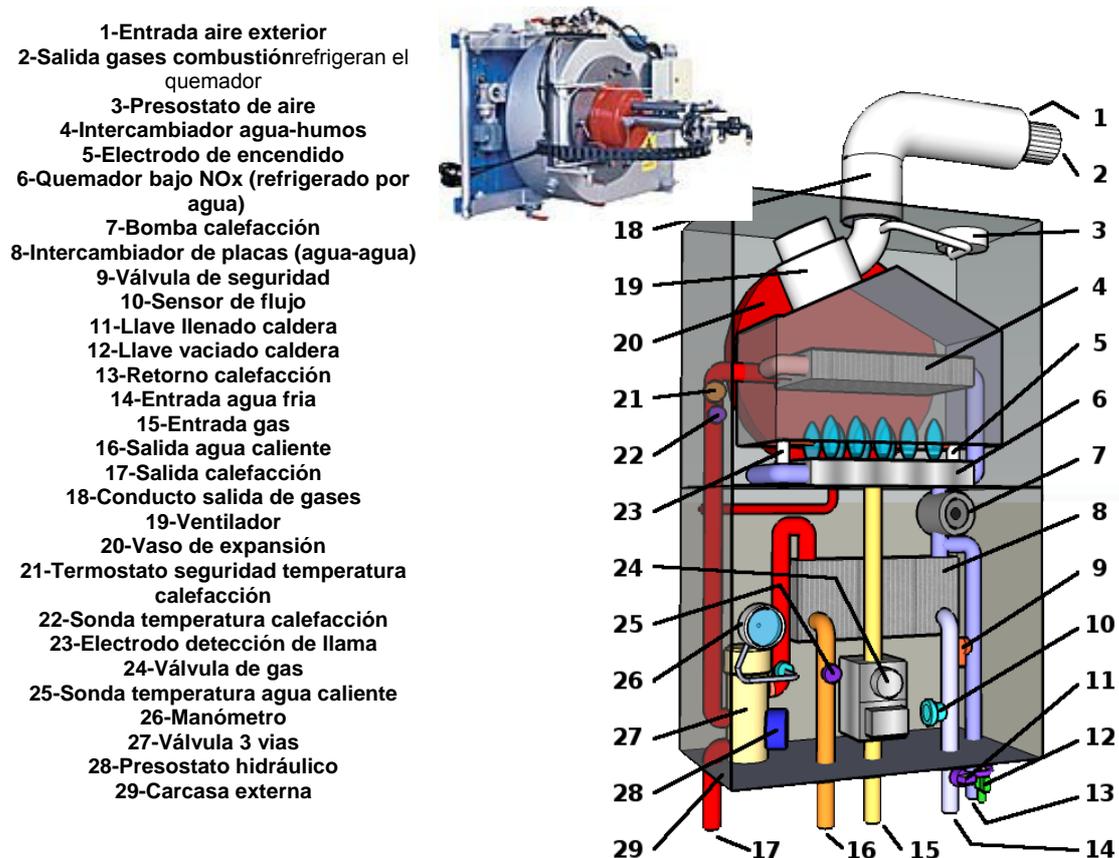


Figura 28.- Quemador de bajo NOx (QBN)

Los quemadores de aire por etapas prolongan la configuración de la flama, son aplicables solamente para instalaciones suficientemente grandes que eviten el desgaste en las paredes del horno. Las etapas en los quemadores de combustible son diseñadas solamente para gases inyectados.

Reducción Catalítica Selectiva (RCS) (EPA, 2003)

La Reducción Catalítica Selectiva se utiliza para reducir la formación de NOx, es el proceso más desarrollado y aplicado en la actualidad. Se emplea un agente reductor usualmente diluido con agua, vapor o aire, el cual es inyectado

en los ductos, corriente abajo de la unidad de combustión de una cama catalítica adjunta a un reactor. Sobre la superficie catalítica el reactivo reacciona con los NOx para formar nitrógeno molecular y vapor de agua. La reacción entre el reactivo y los NOx se incrementa por la presencia de exceso de oxígeno. La reducción catalítica selectiva es “selectiva” cuando el reactivo reacciona primeramente con los NOx y no con el O₂, u otros componentes del gas. El funcionamiento de un sistema de reducción catalítica selectiva se ve influenciado por cinco factores que son:

- Temperatura del gas de combustión
- Relación reactivo-NOx
- Concentración de NOx a la entrada de la reducción catalítica selectiva
- Gasto volumétrico (medida de la capacidad de alimentación volumétrica de un reactor de flujo continuo por unidad de tiempo de residencia)
- Condición del catalizador

La principal variable que afecta la reducción de los NOx es la temperatura. Por debajo del rango óptimo de la temperatura, la cual depende del tipo de catalizador utilizado, la actividad de éste se vera reducida ocasionando que el reactivo no reaccione, por otra parte, a temperaturas extremas se puede dañar el catalizador.

Está técnica de control reduce las emisiones de NOx entre 60 y 90% y se recomienda utilizar un catalizador adecuado, como el amoníaco (NH₃) o un derivado de amoníaco (como la urea).

La formulación del catalizador es lo más importante para la reducción catalítica, el catalizador debe reducir la emisión de NOx sin producir otros contaminantes u otros compuestos que puedan dañar al equipo corriente abajo. Las formulaciones de las fases activas del catalizador son propias, pero generalmente caen dentro de tres categorías de composición, que a continuación se describen:

- Catalizadores base metal, los cuales contienen típicamente óxidos de titanio y vanadio y algunos pueden contener molibdeno, tungsteno y

otros elementos. La base metal del catalizador se emplean en temperaturas entre los 232 a 427 ° C.

- Catalizadores de Zeolita, se emplean cuando hay altas temperaturas de operación entre 357 y 593 ° C.
- Catalizadores de metales preciosos los cuales contienen metales como el platino y el paladio, estos se utilizan en limpio a bajas temperaturas de operación entre 177 y 288 ° C.

La desactivación del catalizador y el amoniaco residual en el gas son dos consideraciones que se deben tener en cuenta en el sistema de la reducción catalítica selectiva.

Reducción Selectiva no Catalítica (EPA, 2003)

La Reducción Selectiva no Catalítica se utiliza para reducir la formación de NOx. Esta técnica de control algunas veces se denomina como inyección de amoníaco, aunque algunos sistemas actualmente utilizan la inyección de urea.

En la zona superior de la unidad de combustión se inyecta un agente reductor en el flujo de los gases de combustión a una temperatura específica. En el sistema de reducción selectiva no catalítica se requiere una mezcla propia de gas y de reactivo, esta mezcla debe tener un tiempo de residencia adecuado para que se lleven a cabo las reacciones de reducción.

Son necesarias altas temperaturas (760 a 1063 ° C) para mejorar la energía de activación suficiente para eliminar la necesidad del uso de catalizadores. Los Óxidos de Nitrógeno son reducidos a nitrógeno molecular y agua.

Está técnica de control reduce las emisiones de NOx entre 30 y 70%.

Bióxido de Carbono

De acuerdo a lo descrito en el capítulo 2, en lo que respecta a la elaboración de pan, derivado de la fermentación se produce tanto Compuestos orgánicos como CO₂, si bien estas emisiones no se pueden evitar, controlando algunos factores se puede disminuir la generación de estos gases.

Los factores que influyen en la retención de CO₂ son:

- ✓ Un suministro adecuado de azúcares
- ✓ El aumento en la concentración de la levadura
- ✓ Una temperatura adecuada de 26 a 27°C

Factores que reducen la producción de CO₂:

- ✓ El exceso de sal
- ✓ Temperaturas excesivamente altas o bajas
- ✓ Cantidades inadecuadas de levadura

4.2.4 Buenas prácticas Compuestos orgánicos volátiles

En el área de almacenamiento de sustancias con contenido de COV

- ✓ Mantener cerrados los recipientes para reducir las pérdidas de evaporación.
- ✓ Planificar la cantidad de pintura, solventes y otras sustancias con contenidos de COV para reducir la necesidad de desechar materiales fuera de especificaciones al no comprar material de más.

Para procesos que cuenten con áreas de pintado

- ✓ El ajuste perfecto de los colores reduce la necesidad de volver a aplicar el recubrimiento, reduciendo mano de obra y materiales.
- ✓ Mantener una biblioteca de color usando tarjetas de prueba para registrar las variantes y tintes de color.
- ✓ Utilizar recubrimientos con bajo contenido de COV.
- ✓ Considerar el uso de un sistema computarizado de mezcla para: controlar el uso de productos y COV.
- ✓ Considerar el uso de dosificadores automáticos de pintura para reducir al mínimo el sobrevertido.
- ✓ Revisar constantemente la operación de los equipos de aplicación de pintura.

- ✓ Operar el equipo de rociado dentro de los límites de presión reglamentarios.

Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)

Para áreas con posibles emisiones fugitivas de partículas

- ✓ El transporte por banda de cualquier materia prima, susceptible a dispersar partículas al aire, debe contar con una cubierta o encapsulado.
- ✓ El almacenamiento de las materias primas debe estar techado, pudiendo colocar cortinas hawaianas en las tolvas de agregados, y en el área de pesaje.
- ✓ Techar con mallas, el perímetro donde se encuentren localizadas las salidas de las chimeneas de los colectores, en el caso de tener partículas muy finas.

Capítulo 5. Escenarios y estimación de reducciones

5.1 Selección de métodos de control

Métodos de control por contaminante

La tabla 7 muestra a manera de resumen los métodos de control seleccionados por contaminante a partir de la mayor eficiencia y costo.

Tabla 7. Métodos de control propuestos para cada contaminante

Contaminante	Método de control propuesto
NO _x	RCS (>eficiencia)
	Cambio de combustible
	QBN (< costo calderas con menor capacidad)
	QBN+RGC (< costo calderas con mayor capacidad)
PM ₁₀	Filtros, Cambio de combustible
COV	Cambio de materia prima, adsorción y buenas prácticas
SO ₂	Cambio de combustible, energías alternas
CO ₂	Absorción química con MEA

Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Los equipos de combustión empleados en los diferentes procesos del sector industrial, generan los NO_x y de acuerdo a su capacidad, costos y eficiencia la tabla 8 presenta la elección de la mejor alternativa para reducir las emisiones por GN y GLP.

Tabla 8.- Tecnologías de control para calderas

Calderas que emplean GN y GLP			
Método de control	Eficiencia	Observaciones	
		Calderas pequeñas <3,000 CC	Calderas grandes >3,000 CC
QBN	50%	Menor costo	
RNCS	50%	Mayor costo	Mayor costo
QBN+RGC	60%		Menor costo
RCS	80%	Mayor eficiencia	Mayo eficiencia

Fuente: EPA, 1999

Finalmente, para el Diesel se planteó el escenario de cambio de combustible, con la finalidad de obtener también una reducción para los SOx.

Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)

El almacenamiento, manejo y procesamiento de materias primas como harinas, pigmentos, granos, entre otros, origina principalmente las PM₁₀, de acuerdo a esto, se tiene que los equipos de control permiten reducir las emisiones y a demás recuperar materiales con valor que pueden incorporarse al proceso, de entre todos los equipos y considerando las condiciones en las que son generadas las emisiones, la mejor opción es el uso de colectores de polvo con sistemas de filtros o cartuchos, derivado de su alta eficiencia de remoción, esta reducción se ve reflejada en la etapa de proceso. Por otra parte, para el caso de la etapa de combustión se obtiene una reducción en la sustitución de combustible líquido a gaseoso.

Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)

El uso de solventes orgánicos y una variedad de productos que los contienen (tintas, pinturas, barnices, lacas, esmaltes) en diferentes actividades como son: limpieza y mantenimiento de equipos, elaboración de productos, adelgazamiento de recubrimientos, entre otras; origina una evaporación de compuestos orgánicos volátiles que son emitidos directamente al aire, con la finalidad de reducir estas emisiones, se hace necesario en primer instancia conducir las emisiones hacia algún equipo de control, recomendando como mejor método la implementación de adsorbedores tanto para controlar las emisiones como para recuperar el solvente cuando éste represente algún valor, además de las altas eficiencias de remoción que permite alcanzar.

Por otra parte, la reducción de emisiones se ve reflejada mediante la aplicación de buenas prácticas que van desde un correcto almacenamiento, hasta una supervisión constante de posibles emisiones fugitivas de los recipientes que contienen estas sustancias, evitar su derrame en el suelo y agua, mantener un uso moderado y cuidadoso. Además de estos métodos, también se sugiere el cambio de materias primas (cuando el proceso lo permita) por sustancias con menos contenido de COV (tintas o pinturas base agua) o usar solventes orgánicos exentos.

Óxidos de azufre (SO_x)

La mejor opción de control de los óxidos de azufre resulta de la reconversión energética, derivado del costo de los combustibles líquidos, éstos aún son empleados, sin embargo, a pesar de que los combustibles gaseosos poseen un menor poder calorífico, resulta menos contaminante emplear éstos por ser más limpios.

No obstante, es indispensable promover el uso de energías alternas, que eviten la quema de combustibles fósiles, instalando celdas solares que minimicen la cantidad de combustible a emplear, usando bioenergéticos y finalmente teniendo un mantenimiento adecuado y constante de los diferentes equipos de combustión.

Dióxido de carbono (CO₂)

Originado en su mayoría en la etapa de combustión, se propone como mejor control la absorción química, este sistema es empleado para corrientes de gases en donde el CO₂ se encuentra en bajas concentraciones, este caso se da principalmente para aquellos equipos en los que se tiene como combustible al gas natural, debido a que éste produce la fracción de CO₂ más pequeña.

Esto excluye automáticamente el uso de membranas selectivas, porque su habilidad de separar un gas en una mezcla de gases se reduce considerablemente en concentraciones bajas y además se requieren membranas muy grandes. Además, algunas membranas se deben utilizar en niveles bajos de temperatura, y esto no es posible en gases procedentes de calderas, asimismo la elevada temperatura de los gases de salida descarta el uso de sistemas criogénicos en donde su efectividad se limita a gases a temperaturas bajas.

También se descartan los sistemas basados en la adsorción física, porque presentan problemas en gases con baja concentración de CO₂. Así pues, el mejor método resulta ser la absorción química.

Métodos de control por subsector

A partir del análisis y la descripción de cada método de control, descritos anteriormente, se resume en la tabla 9 todos los métodos aplicables para cada uno de los subsectores más contaminantes de acuerdo al control de sus emisiones más altas.

Tabla 9. Métodos de control aplicables para cada subsector

Subsector	Métodos de control	
	Etapa de Combustión	Etapa de Proceso
31	<ul style="list-style-type: none"> • Recirculación del gas de chimenea (3) • Bajo Exceso de Aire (3) • Calentamiento de aire por etapas (3) • Quemadores de Bajo NO_x (3) • Reducción Catalítica Selectiva (3) • Reducción Selectiva no Catalítica (3) • Absorción química (1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclones convencionales, de alta eficiencia y de alta capacidad (1) • Filtros (1) • Precipitadores (1) • Mejoras en el proceso (3) • Buenas prácticas (4)
32	<ul style="list-style-type: none"> • Absorción química (1) • Cambio de combustible (2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Adsorción (1) • Oxidación (1) • Buenas prácticas (4)
34		<ul style="list-style-type: none"> • Adsorción (1) • Cambio de materia prima (2) • Oxidación (1) • Buenas prácticas (4)
35 y 38		<ul style="list-style-type: none"> • Adsorción (1) • Solventes de menor reactividad (2) • Oxidación (1) • Almacenamiento adecuado de materias primas (4) • Control en el área de pintura (4)

Nota:

1 Equipo de control

2 Cambio de materia prima y/o combustibles o fuentes de energía alterna

3 Cambio y/o mejoras de condiciones en el proceso y modificación de tecnologías

4 Buenas prácticas

Con base en lo presentado en la tabla 9, se describe a continuación los métodos de control por subsector.

Subsector 31

Tal como quedó descrito en el capítulo 2, dentro del subsector 31 se encuentra la rama 3115 “Elaboración de productos de panadería”, destacando las emisiones de COV y de CO₂ derivadas de la fermentación de la levadura; los métodos de control apropiados para reducir la generación de estos

contaminantes son los equipos de control, y mejoras en las condiciones del proceso.

Para los NO_x derivados de la combustión y con una mayor contribución en las ramas 3121 "Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano", 3130 "Industria de las bebidas" y 3115 "Elaboración de productos de panadería" se recomienda la modificación de tecnologías, mientras que para las PM₁₀ provenientes en su mayoría de las ramas 3114 "Beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas", 3119 "Fabricación de cocoa, chocolate y artículos de confitería " y 3122 "Elaboración de alimentos preparados para animales" el mejor control serían las buenas prácticas y los propios equipos de control; finalmente el CO₂ derivado de la combustión principalmente de las ramas 3130 "Industria de las bebidas" y 3115 "Elaboración de productos de panadería" se controlaría a partir de equipos de control, teniendo de manera resumida lo que se presenta en la tabla 10.

Tabla 10. Métodos de control por contaminante en el subsector 31

Subsector 31		
Contaminante	Método de control	Ramas con control
COV	Equipos de control Mejoras en las condiciones del proceso	3115, 3121
NO _x	Modificación de tecnología	3121, 3130 y 3115
PM ₁₀	Equipos de control	3114, 3119 y 3122
CO ₂	Equipos de control Mejoras en las condiciones de proceso	3115 y 3121

Subsector 32

El subsector de Textiles, prendas de vestir e industria del cuero genera emisiones principalmente por tres ramas, la 3212, 3214 y 3220 con aportaciones de COV, NO_x y PM₁₀. Los COV necesitan ser controlados a partir de la conducción de sus emisiones provenientes de las tintas y pinturas hacia un equipo de control, asimismo es indispensable llevar a cabo buenas prácticas en el uso de solventes orgánicos empleados en la limpieza de la propia

maquinaria, por lo que también es recomendable la sustitución de sustancias cuyo impacto al medio ambiente sea menor.

Los NOx generados en la combustión pueden ser minimizados a través de la sustitución de combustibles gaseosos, ya que este subsector es el que presenta un mayor consumo de combustibles líquidos, de igual forma, las empresas con un consumo alto de GN como GLP al incorporar tecnologías como quemadores de bajo NOx y recirculadores de gas contribuirán con la reducción de emisiones. El CO₂ se reducirá a través de equipos de control.

Finalmente un manejo adecuado de los pigmentos que incluya evitar el almacenamiento al aire libre, así como la aplicación de éstos en un lugar cerrado o con extracción permitirá que las PM₁₀ sean controladas y/o prevenidas.

La tabla 11 presenta un resumen de los métodos de control apropiados para este subsector así como sus respectivas ramas.

Tabla 11.- Métodos de control por contaminante en el subsector 32

Subsector 32		
Contaminante	Método de control	Ramas con control
COV	Equipos de control Buenas prácticas Cambio de materia prima	3212
NOx	Modificación de tecnología Cambio de combustible	3212, 3214 y 3220
PM ₁₀	Equipos de control Buenas prácticas	3212 y 3214
CO ₂	Equipos de control	3212, 3214, 3220

Subsector 34 y Subsector 35

Los COV es el principal contaminante emitido dentro de estos subsectores derivado de las rama 3420, para el caso del subsector 34 y 3560 para el subsector 35; se recomienda la implementación de equipos de control para el área de impresión y secado, el cambio de materias primas por el uso de tintas y pinturas base agua, el uso de diluyentes con una baja MIR y contemplar buenas prácticas en las áreas de almacenamiento de materia prima.

El CO₂ al igual que en los demás subsectores se reducirá con la implementación de equipos de control.

Subsector 38

Para el control de los COV se recomienda tanto el cambio de materia prima, como la aplicación de buenas prácticas y en el último de los casos la implementación de equipos de control para aquellas ramas con un gran consumo de solventes que demanda el propio proceso principalmente de la rama 3841.

5.2 Estimación de reducciones por la aplicación de métodos de control

5.2.1 Óxidos de Nitrógeno

Los NO_x como se ha descrito en el capítulo 2, se generan principalmente en la etapa de combustión, para la estimación de reducción de emisiones y de acuerdo a los métodos de control seleccionados, se consideraron cuatro escenarios:

Primer escenario: Reconversión energética a GN para aquellas empresas con consumo de Di, más incorporación de la tecnología de menor costo para los equipos que consumen Gas Natural y GLP (QBN para calderas pequeñas y QBN+RGC para calderas grandes).

Segundo escenario: Reconversión energética a GN para aquellas empresas con consumo de Diesel, más incorporación de la tecnología de mayor costo pero de mayor eficiencia para los equipos que consumen GN y GLP (RCS tanto para calderas grandes como para pequeñas).

Tercer escenario: Primer escenario pero sólo contemplando las 100 empresas más emisoras de este contaminante (85 % de la emisión de NO_x)

Cuarto escenario: Segundo escenario pero sólo contemplando las 100 empresas más emisoras de este contaminante (85 % de la emisión de NO_x)

Consideraciones:

La reconversión a GLP implica un aumento de emisiones (menos del 1% con respecto a las generadas por el Diesel), por lo tanto, no fue considerado.

Las empresas con reconversión no fueron contempladas para la incorporación de tecnologías.

Los poderes caloríficos empleados para la reconversión se aprecian en la tabla 12.

Tabla 12. Poderes caloríficos para GLP, Diesel y Gas Natural

Combustible	Poder calorífico
Diesel	5,952 MJ/barril
GLP	4,251 MJ/barril
Gas Natural	37,296 KJ/m ³

Fuente: SENER, 2008

5.2.2 Material particulado menor a 10 micrometros (PM₁₀)

Las PM₁₀ son generadas en la etapa de combustión y en la etapa de proceso.

Para la primera etapa se consideraron los siguientes escenarios:

Primer escenario: Reconversión energética de Diesel a GN

Segundo escenario: Reconversión energética de Diesel a GLP

En lo que respecta a la etapa de proceso se tienen los siguientes escenarios:

Primer escenario: Considerando la incorporación de equipos de control en las empresas que no contemplan ningún control.

Segundo escenario: Considerando el cambio de filtros o cartuchos de mayor eficiencia para todos los equipos ya existentes.

Tercer escenario: Primer escenario más segundo escenario

Cuarto escenario: Considerando las 100 empresas más emisoras contemplando las dos etapas de generación y aplicando la combinación de tercer escenario para la etapa de proceso y primer escenario de etapa de combustión.

Observaciones:

Las buenas prácticas son recomendadas como métodos de control de este contaminante, sin embargo, no es posible cuantificar la reducción de emisiones por la aplicación de éstas.

5.2.3 Óxidos de azufre (SO₂)

Los SO_x generados en la etapa de combustión y principalmente de combustibles líquidos como es el diesel contempla los siguientes escenarios.

Primer escenario: Reconversión energética de Diesel a GN.

Segundo escenario: Reconversión energética de Diesel a GLP.

Tercer escenario: Primer escenario pero considerando las 100 empresas más emisoras de este contaminante (88% de las emisiones de SOx)

Cuarto escenario: Segundo escenario pero considerando las 100 empresas más emisoras de este contaminante (88 % de las emisiones de SOx)

Observaciones:

Como método de control se hace mención de equipos de control, sin embargo, implica una mayor inversión y que ésta mejor podría ser empleada para la instalación de celdas solares para disminuir el consumo de combustibles fósiles, así como en la investigación de bioenergéticos que pueden satisfacer las necesidades que demanda el proceso.

5.2.4 Bióxido de carbono (CO₂)

El CO₂ es generado principalmente en la etapa de combustión por lo que se plantea lo siguiente:

Primer escenario: Considerando la implementación de un equipo de control (absorción química)

Segundo escenario: Primer escenario contemplando a las 100 empresas más emisoras de este contaminante (85% de las emisiones)

Observaciones:

En la etapa de proceso específicamente para la rama de panaderías se recomienda mejoras en las condiciones de proceso, para controlar las emisiones de CO₂, sin embargo, no es posible cuantificar una reducción.

5.2.5 Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Generado principalmente en la etapa de proceso, se tiene lo siguiente:

Primer escenario: Instalación de equipos de control para aquellas empresas con un gran consumo de solventes orgánicos, así como el cambio de materias primas como son tintas y pinturas de base solvente a base agua.

Segundo escenario: Primer escenario contemplando las 100 empresas más emisoras de este contaminante (87% de las emisiones de COV)

Consideraciones:

Los contenidos de COV (de acuerdo a las hojas técnicas de los productos que consume el sector industrial) se encuentran entre un rango de un 40 a 80%, y

se tiene que los contenidos de COV en formulaciones base agua representan un 10%, a partir de estos datos se estimó una reducción.

Observaciones:

El uso de sustancias exentas para sustituir el uso de solventes orgánicos más reactivos, está considerado como método de control, sin embargo, en términos de emisión no es posible estimar una reducción ya que se continuaría emitiendo COV pero éstos serían menos dañinos, por lo que, es importante su inclusión como técnica de control, además de las buenas prácticas.

Por otra parte, y tal como se aprecia en la figura 11, los COV en la etapa de combustión representa un pequeño porcentaje, pero se tiene que al realizar la reconversión del Diesel se tiene un aumento de COV que es menor al 5%, pero las reducciones para los demás contaminantes es considerable por lo que si sería factible realizar el cambio.

Resumiendo la aplicación de los escenarios en la tabla 13 se presentan los rangos entre los que se encuentra la estimación de reducciones por contaminantes para cada una de las dos etapas.

Tabla 13. Estimación de reducciones por contaminante y por etapa

Contaminante	Método de control propuesto	Reducción estimada por contaminante	
		Etapas de combustión	Etapas de proceso
NO _x	RCS (>eficiencia)	47 a 75 %	N/A
	Cambio de combustible QBN (< costo calderas con menor capacidad)		
	QBN+RGC (< costo calderas con mayor capacidad)		
PM ₁₀	Filtros, Cambio de combustible	N/S al 16 %	47-97%
COV	Cambio de materia prima, adsorción, buenas prácticas	- 5%	77-89%
SO ₂	Cambio de combustible	83-89%	N/A
CO ₂	Absorción química con MEA	72- 85%	

Nota: el signo negativo implica un aumento en las emisiones
N/A: No aplica

Las reducciones para cada subsector y a para los diferentes escenarios se aprecian en la tabla 14.

Tabla 14.- Estimación de reducciones por contaminante y escenario para todos los subsectores

Contaminante	Escenarios	Subsectores									Porcentaje de reducción total por contaminante y escenario	
		31	32	33	34	35	36	37	38	39		
PM ₁₀	E _{1c}	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
	E _{2c}	6	3	N/S	1	6	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	16
	E _{1p}	22	8	2	2	3	1	1	8	N/S	N/S	47
	E _{2p}	37	0	1	N/S	3	2	N/S	6	N/S	N/S	49
	E _{3p}	59	8	3	2	7	3	1	14	N/S	N/S	97
	E _{4pc}	56	5	3	1	9	2	1	11	0	N/S	88
NO _x	E _{1c}	28	7	N/S	2	5	1	N/S	11	1	N/S	55
	E _{2c}	37	9	N/S	2	7	2	N/S	17	1	N/S	75
	E _{3c}	25	5	0	1	4	1	N/S	10	1	N/S	47
	E _{4c}	32	7	0	2	5	1	N/S	15	1	N/S	63
COV	E _{1p}	14	10	2	29	25	2	N/S	7	N/S	N/S	89
	E _{2p}	13	9	1	26	22	2	N/S	4	N/S	N/S	77
SO ₂	E _{1c}	30	18	1	4	32	1	0	1	1	N/S	88
	E _{2c}	30	18	1	4	33	1	0	1	1	N/S	89
	E _{3c}	28	16	1	4	31	1	0	1	1	N/S	83
	E _{4c}	28	17	1	4	32	1	0	1	1	N/S	85
CO ₂	E _{1c}	36	12	N/s	3	10	2	N/s	20	2	N/S	85
	E _{2c}	33	9	0	2	8	2	N/S	17	1	N/S	72

N/S: Reducción no significativa

E_{ic}: Escenario "i" en la etapa de combustión

E_{ip}: Escenario "i" en la etapa de proceso

E_{ipc}: Escenario "i" combinando etapa de proceso y etapa de combustión

Como se observa en la tabla 14 la reducción es con respecto a toda la emisión que aportan los nueve subsectores, obteniéndose diferentes porcentajes dependiendo al escenario aplicado y el contaminante evaluado, por otra parte, se puede apreciar que los subsectores que no fueron descritos totalmente en este documento (subsectores 33, 36, 37 y 39) debido a su baja aportación en las emisiones, se tendría que en caso de aplicar métodos de control no representarían reducción de emisiones significativas.

De esta manera la tabla 15 presenta las reducciones que se tendrían al considerar los subsectores más contaminantes.

Tabla 15.- Estimación de reducciones por contaminante y escenario de los subsectores más contaminantes

Contaminante	Escenarios	Subsectores					Reducción por contaminante y escenario
		31	32	34	35	38	
		Reducciones (%)					
PM₁₀	E_{1c}	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
	E_{2c}	6	3	1	6	N/S	16
	E_{1p}	22	8	2	3	8	43
	E_{2p}	37	0	N/S	3	6	46
	E_{3p}	59	8	2	7	14	90
	E_{4pc}	56	5	1	9	11	82
NOx	E_{1c}	28	7	2	5	11	53
	E_{2c}	37	9	2	7	17	72
	E_{3c}	25	5	1	4	10	45
	E_{4c}	32	7	2	5	15	61
COV	E_{1p}	14	10	29	25	7	85
	E_{2p}	13	9	26	22	4	74
SO₂	E_{1c}	30	18	4	32	1	85
	E_{2c}	30	18	4	33	1	86
	E_{3c}	28	16	4	31	1	80
	E_{4c}	28	17	4	32	1	82
CO₂	E_{1c}	36	12	3	10	20	81
	E_{2c}	33	9	2	8	17	69

Como se aprecia en las tablas 14 y 15 los porcentajes totales de reducción no representan una gran variación; de esta manera se tiene, que el mejor escenario para PM₁₀ en la etapa de combustión es el segundo escenario que implica la reconversión energética de Diesel a GN, en lo que concierne a la etapa de proceso se tiene que el tercer escenario resulta ser el mejor con 90% de reducción, este escenario se refiere a la implementación de equipos de control y el cambio de filtros con una mayor eficiencia con respecto a los equipos existentes, sin embargo, el escenario E_{4pc} enfoca la reducción en tan solo 100 empresas donde se obtiene una reducción del 82% por lo que, al prestar la atención en éstas empresas se podría alcanzar un buen beneficio.

Para el caso de los NOx, el mejor escenario es el que implica la reconversión a GN y la incorporación de equipos de control de mayor eficiencia para las empresas cuyo consumo de combustible es GLP y GN, no obstante, las demás reducciones son considerables.

Para los COV no existe mucha diferencia entre el primer escenario y el segundo, por lo que, enfocando la reducción en las 100 empresas más emisoras de este contaminante se alcanzaría una reducción del 74%.

El control de los SOx también no muestra mucha variación en los cuatro escenarios estimados, por lo que, la reconversión energética en las empresas más emisoras, implicaría una reducción adecuada.

Finalmente las emisiones de CO₂ controlándolas en todo el sector industrial conlleva a una reducción del 81% y de un 69% para las más emisoras.

CAPITULO 6.- Beneficios al sector industrial

Ante el escenario de emisiones, que en los últimos años se ha presentado se ha manifestado la preocupación por implementar métodos que minimicen la generación de contaminantes a la atmósfera, por lo que, tanto a nivel local como a nivel federal se han elaborado reformas, programas y hasta instrumentos económicos⁶ que incentiven a aquellas empresas que se comprometen ambientalmente a través de acciones que favorezcan la calidad del medio ambiente. Entre los beneficios se encuentran; la Exención a la Fase I del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas, estímulos e incentivos fiscales, otorgamiento de certificados de industria limpia, recuperación de ingresos a través de la venta de CO₂, por mencionar los más importantes. A continuación se describen cada uno de éstos.

6.1 Exención de la Fase I del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas

Una contingencia ambiental es una situación eventual y transitoria declarada por las autoridades competentes, cuando se presenta o se prevé con base en análisis objetivos o en el monitoreo de la contaminación ambiental, una concentración de contaminantes o un riesgo ecológico derivado de actividades humanas o fenómenos naturales que afectan la salud de la población o al medio ambiente de acuerdo con las normas oficiales mexicanas (GODF, 2008).

El Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas cuyo propósito es fortalecer las medidas orientadas a disminuir las emisiones contaminantes durante una precontingencia⁷ y contingencia, establece como obligación a los propietarios, representantes legales, gerentes y operadores de las fuentes fijas

⁶ Se consideran instrumentos económicos los mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado, mediante los cuales las personas asumen los beneficios y costos ambientales que generen sus actividades económicas, incentivándolas a realizar acciones que favorezcan el ambiente. Se consideran instrumentos económicos de carácter fiscal, los estímulos fiscales que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental. En ningún caso, estos instrumentos se establecerán con fines exclusivamente recaudatorios. Artículo 22 LGEEPA"

⁷ Precontingencia ambiental.- Situación eventual y transitoria declarada por las autoridades competentes cuando la concentración de contaminantes en la atmósfera alcance niveles potencialmente dañinos a la salud de la población más vulnerable tales como niños, adultos mayores y enfermos de vías respiratorias (GODF,2008)

de la industria manufacturera, reducir sus emisiones entre un 30 y 40% de su línea base de emisiones de manera inmediata a la declaratoria de la FASE I de contingencia ambiental por ozono o por PM₁₀ y hasta el momento que se declare su conclusión a excepción de aquellas empresas que cuenten con el trámite de exención y que hayan cumplido con los criterios que establece la solicitud, a través de haber demostrado el cumplimiento integral de la normatividad ambiental vigente aplicable en materia de emisiones atmosféricas.

Por lo que, la solicitud a la Exención de la Fase I del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas tiene la ventaja de que todas las empresas inscritas a éste, no tienen la obligación de reducir o afectar su producción de manera imprevista (cada vez que sea declarada una precontingencia) puesto que ya han demostrado previamente una reducción de sus emisiones, para lo cual, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal expide un oficio resolutivo con vigencia de un año que avala el cumplimiento de los criterios establecidos.

6.2 Estímulos e incentivos fiscales

En términos de lo establecido por la Suprema Corte de Justicia de la Nación, los estímulos son instrumentos creados para fomentar el empleo, la inversión en actividades industriales prioritarias y el desarrollo regional, y tienen como finalidad dar al particular un beneficio o premio para que los pueda aplicar contra impuestos federales o locales según sea el caso (Yosef B, 2009).

La LGEEPA en su artículo 22 Bis, considera ciertas actividades como prioritarias para el otorgamiento de los estímulos fiscales, entre éstas en materia de prevenir y/o evitar la contaminación del aire se encuentran:

I.- La investigación, incorporación o utilización de mecanismos, equipos y tecnologías que tengan por objeto evitar, reducir o controlar la contaminación o deterioro ambiental, así como el uso eficiente de recursos naturales y de energía.

II.- La investigación e incorporación de sistemas de ahorro de energía y de utilización de fuentes de energía menos contaminantes.

Si bien a nivel federal la Ley del Impuesto Sobre la Renta incorpora algunos estímulos, cada entidad, con la finalidad de beneficiarse ha incluido en su

propia normatividad el fomento a la participación en este rubro; en el Distrito Federal en su Código Fiscal los estímulos a los que se hace referencia se contemplan en el Impuesto sobre Nómina y el Impuesto predial tal como se cita en el artículo 277, en el que se expresa lo siguiente: *Las empresas o instituciones que cuenten con programas comprobables de mejoramiento de condiciones ambientales tendrán derecho a una reducción respecto del Impuesto Sobre Nóminas, en los términos siguientes:*

I. Del 20%, cuando disminuyan sus condiciones normales de operación de un 30% hasta 44%;

II. Del 30%, cuando disminuyan sus condiciones normales de operación de un 45% hasta 59%, y

III. Del 40%, cuando disminuyan sus condiciones normales de operación de un 60% hasta 100%.

Tratándose de acciones relacionadas con el consumo de agua potable, combustible o energía eléctrica, o minimización o manejo adecuado de residuos mediante rediseño de empaques y embalajes y/o la utilización de materiales biodegradables y/o fácilmente reciclables, se deberá acreditar disminuir el valor original determinado antes de la aplicación del programa de Autorregulación y Auditoría Ambiental, además de precisar el tipo de acciones que realizan y los beneficios que representan para mejorar el medio ambiente. Las empresas industriales o de servicios ubicadas en el Distrito Federal que adquieran, instalen y operen tecnologías, sistemas, equipos y materiales o realicen acciones que acrediten prevenir o reducir las emisiones contaminantes establecidos por las normas oficiales mexicanas y las ambientales para el Distrito Federal, podrán obtener una reducción respecto del Impuesto Predial, en los términos siguientes:

I. Del 10%, cuando adquieran, instalen y operen tecnología, sistema, equipos y materiales que reduzcan sus emisiones contaminantes de un 30% hasta 39%;

*II. Del 15%, cuando adquieran, instalen y operen tecnología, sistema, equipos y materiales que reduzcan sus emisiones contaminantes de un 40% hasta 49%,
y*

III. Del 20%, cuando adquieran, instalen y operen tecnología, sistema, equipos y materiales que reduzcan sus emisiones contaminantes de un 50% hasta 100%.

Las empresas o instituciones a que se refiere este artículo, para efectos de las reducciones, deberán presentar una constancia expedida por la Secretaría del Medio Ambiente, en la que se precise, resultado de la acreditación de su programa de autorregulación y auditoría ambiental, el tipo de programas que realizan y los beneficios que representan para mejorar el medio ambiente, así como la tecnología que aplican para fomentar la preservación, restablecimiento y mejoramiento ambiental del Distrito Federal, o bien, con la que se acredite que realizan las actividades a que se refiere el párrafo segundo de este artículo. Además para la reducción del Impuesto Predial se deberá presentar la evaluación de emisiones de contaminantes correspondiente.

La reducción por concepto del Impuesto sobre Nóminas se aplicará durante el ejercicio fiscal en que fue emitida la constancia respectiva. La correspondiente al Impuesto Predial sólo se aplicará respecto del inmueble donde se desarrollen las actividades motivo por el cual se otorga la reducción.

El monto de las reducciones que se aplican en el presente artículo, en ningún caso podrán rebasar el monto total de la inversión realizada en las acciones por las que se otorga el beneficio (Código Financiero del Distrito Federal, 2010).

6.3 Otorgamiento de certificados ambientales

Los Certificados Ambientales son aquellos que acreditan la exitosa implementación y ejecución de las acciones de cumplimiento y autorregulación. Actualmente existen 6 distintos tipos de Certificados a nivel federal:

- I. Calidad Ambiental;
- II. Calidad Ambiental Verde;
- III. Industria Limpia;
- IV. Cumplimiento Ambiental;
- V. Calidad Ambiental Turística; y
- VI. Distintivo de Excelencia Ambiental.

Aunque la naturaleza de cada certificado es la misma, hay diferencias entre cada uno de ellos, las cuales abarcan desde el nivel de cumplimiento al que uno se está sometiendo, hasta el ramo al cual va dirigido. A pesar de dichas diferencias, todos los certificados acreditan a quien se somete al proceso de Auditoría y lleva a cabo las acciones preventivas y correctivas recomendadas para obtener los beneficios fiscales correspondientes.

Por lo que, para obtener estímulos fiscales muchas veces es necesario someterse de manera voluntaria a la Auditoría⁸ y una vez concluida su etapa final, la autoridad competente ya sea a nivel local o federal, según corresponda, emitirá un documento acreditando que se ha obtenido el certificado; y como consecuencia de la obtención del certificado, se podrán obtener los beneficios fiscales que las leyes en la materia otorguen.

6.4 Comercialización de CO₂

Una vez que el CO₂ es recuperado, éste puede purificarse hasta el grado que exija su posterior uso. Las aplicaciones del CO₂ son muchas y varían dependiendo al estado en el que se encuentre este gas, de acuerdo a lo que se detalla a continuación.

CO₂ en estado gaseoso: Una gran proporción de todo el CO₂ recuperado (alrededor del 50%) se utiliza en la producción de productos químicos comerciales, principalmente urea y metanol. Una de las aplicaciones más importantes acerca del punto de producción es la de aumentar la recuperación del petróleo, aplicación desarrollada en Estados Unidos, el resto de CO₂ se utiliza en forma líquida o sólida (Sánchez *et al*, 2006).

CO₂ en estado líquido: Los usos son los más variados, previamente a la licuefacción del CO₂, éste ha de purificarse. Se utiliza carbón activo para eliminar olores y sabores. También es importante el secado del gas, mediante alúmina activada o gel de sílice. Una aplicación extendida del CO₂ es la obtención de atmósferas inertes. En el manejo y transporte de alimentos envasados, la pérdida de aroma o el crecimiento de bacterias se puede prevenir mediante el uso de CO₂, embotellado y transporte de cerveza, empaquetado de café, transporte de frutas, vegetales y cereales son claros

⁸ Auditoría Ambiental: Examen exhaustivo de los equipos y procesos de una empresa, así como de la contaminación y riesgo que misma genera, que tiene por objeto evaluar el cumplimiento de sus políticas ambientales y requerimientos normativos, con el fin de determinar las medidas preventivas y correctivas necesarias para la protección del ambiente y las acciones que permitan que dicha instalación opere en pleno cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, así como conforme a normas extranjeras e internacionales y buenas prácticas de operación e ingeniería aplicables. (Reglamento LGEEPA en Materia de Auditoría Ambiental Art. 2 frac. II)

ejemplos donde, además, de la naturaleza no tóxica del CO₂ es obviamente muy importante compitiendo con el nitrógeno en esta aplicación.

El CO₂ es muy útil en la extinción de incendios porque es más pesado que el aire y extremadamente estable, puede ser utilizado en aquellos fuegos en los que el agua no sea eficaz, por ejemplo, en los de origen eléctrico, dado que no es tóxico y se evapora sin dejar residuo, no daña ni contamina los materiales sobre los que actúa. También se ocupa como gas de protección de soldaduras, cuya función es proteger la zona a soldar del ataque del oxígeno nitrógeno o hidrógeno. Una aplicación derivada de la acción en la naturaleza, es la mejora del crecimiento de las plantas, seguida sobre todo en el Reino Unido y Holanda por los agricultores de frutas y verduras, introducen el gas en sus invernaderos para aumentar los niveles que normalmente se encuentran en el aire, las plantas responden asimilando una mayor cantidad de CO₂ con aumentos del rendimiento de hasta un 15% (Sánchez *et al*, 2006).

CO₂ en estado sólido: Se usa en estado sólido porque no deja ningún residuo al evaporarse, no es pesado y puede ponerse en contacto directo con los alimentos, sin embargo, el estado líquido empezó a sustituir al sólido en muchas aplicaciones. Los usos en los que aún está favorecido el CO₂ en estado sólido son muy pocos, donde el peso es un factor importante, como en el transporte de alimentos refrigerados por carretera o aire.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

De acuerdo con los recientes inventarios de emisiones de contaminantes criterio, el sector industrial contribuye con el 23 % de todas las emisiones que se generan por todas las fuentes, la finalidad de tener una estimación es la de tomar las medidas y políticas que permitan el mejoramiento de la calidad del aire.

Actualmente el sector industrial representa una parte fundamental de las medidas, retos y acciones que se tienen contempladas para asegurar la calidad ambiental.

Como parte de los programas que se proponen, éstos se soportan o fundamentan con base a los beneficios que se pueden obtener, para lo que es necesario plantear un escenario de reducción de emisiones. En este trabajo se estimó de manera general una reducción de emisiones que varía del 16 al 90 % dependiendo del contaminante y del escenario aplicado.

En lo que respecta al análisis por subsector se encontró que de los 9 subsectores que contempla la industria local del distrito federal, cinco son los que representan alrededor del 94% de todas las emisiones generadas para contaminantes criterio, mientras que para gases de efecto invernadero son cuatro subsectores los que contribuyen con el 92% de las emisiones. Por lo que, el trabajo se enfoca solamente a estos casos.

A través de las propuestas de implementación de métodos de control descritos en esta tesis se tiene que para el subsector 31 se estimaron reducciones que varían desde un 6 a un 59% dependiendo del contaminante; un rango de reducción del 3 al 18% para el subsector 32; para el subsector 34 del 1 al 29%, mientras que para el 35 y 38, una reducción de 4 a 33% y de 1 a 20% respectivamente, estas reducciones contemplan toda la emisión que se genera en la industria local y aunque en algunos casos se aprecian rangos con un bajo porcentaje al realizar un análisis por contaminante se obtuvo para el caso de las PM_{10} que se tendría hasta una reducción del 90%, para los NO_x de hasta 72%, los COV presentan una reducción de hasta el 85%, de SO_2 una reducción mínima de 80% y máximo de 86%. Finalmente, para el CO_2 se estiman reducciones entre un 69% a un 81%.

De los métodos de control considerados se tiene que de las cuatro clasificaciones que se hicieron: equipos de control, cambio de materia prima y/o combustibles o fuentes de energía alterna, cambio y/o mejoras de condiciones en el proceso y modificación de tecnologías y buenas prácticas, el más recomendado para todos los contaminantes son los equipos de control y el cambio de materia prima. Ya que éstos métodos permiten cuantificar de una manera más precisa las reducciones que se pueden alcanzar.

Por otra parte, se tiene que la incorporación de métodos de control trae consigo beneficios para la propia industria, como lo son, los estímulos e incentivos fiscales, otorgamiento de certificados de industria limpia, exención a Programas de contingencia ambiental, así como la recuperación de materias primas o sustancias que pueden venderse o incorporarse al proceso.

Finalmente se puede decir que la reducción de emisiones por parte del sector industrial necesita forzosamente una cooperación entre gobierno e industria, como parte fundamental.

Recomendaciones

La industria de competencia local del Distrito Federal es tan solo una muestra de todo un sector a nivel nacional, por lo que, para lograr mejores beneficios es necesario ampliar el marco de acciones a nivel federal y local de otras entidades, con la finalidad de lograr una participación que refleje un mejoramiento de la calidad del aire, que no sólo contemple una región. Si bien el esfuerzo debe ser mayor para aquellas zonas en donde por sus propias condiciones se ve limitada la dispersión de sus contaminantes que genera, el resto del país no debe ser ajeno a la toma de decisiones y ejecución de medidas correspondientes. Cuando se logre una homologación en los programas y criterios, se verá reflejado la mejora de la calidad del aire y por ende se reducirán las enfermedades que trae consigo la deposición de contaminantes en la atmósfera y el propio deterioro de los ecosistemas. Industrias de competencia federal como son las termoeléctricas, las cementeras y la industria petroquímica contribuyen con aportaciones de contaminantes que perjudican el medio ambiente, si bien la solución no es cerrarlas ya que representan una fuente de servicios y de trabajo, es

importante que en coordinación con el gobierno adopten métodos de control y/o prevención, como parte de las medidas que contempla el PROAIRE 2011-2020 se pretende fortalecer las políticas que conlleven a una reducción de emisiones por parte del sector industrial.

Por otra parte, existen beneficios que puede recibir el industrial al incorporar sistemas que reduzcan o en el mejor de los casos prevengan las emisiones, sin embargo, no hay mucho interés de participación, en algunos casos por el desconocimiento que se tiene de los estímulos e incentivos que existen, en otros por la dificultad o demora que implica el o los trámites, por lo que, es necesario motivar más la participación a través de beneficios de más interés, financiamientos a corto, mediano y largo plazos, agilidad en los trámites, difusión de éstos, cursos que permitan concientizar a la propia empresa de los daños que ocasiona su proceso al medio ambiente, así como brindar las recomendaciones y asesorías necesarias que permitan cumplir con los objetivos que se plantean en dichos programas.

Finalmente muchas industrias son usuarios de productos que tienen una composición definida, por lo que, también es importante elaborar normas que regulen contenidos de COV en recubrimientos, así como fomentar el uso de pinturas y tintas base agua que brinden el mismo resultado que sustancias base solvente.

Glosario

Afluente: entrada de un flujo que desemboca en otro.

Alcanolaminas: Compuesto que tiene un átomo de nitrógeno unido a un alcohol lineal.

Clorosis y necrosis: Tanto la clorosis como la necrosis son parte de los principales síntomas que presentan las plantas por falta de nutrientes, la primera se trata de un amarillamiento de las hojas ocasionado por el déficit de clorofila mientras que la necrosis es la muerte de alguna parte de la planta.

Contaminante criterio: De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología (INE) los contaminantes criterio se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos y han recibido este nombre porque fueron objetos de estudios de evaluación publicados en documentos de criterios de calidad del aire. Para estos contaminantes se ha establecido una normatividad en las que se han establecido las concentraciones máximas permisibles durante un período, con el propósito de proteger la salud del ser humano y que no ocasionen un riesgo para éste.

Efluente: La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.

Estomas: pequeños poros de las plantas localizadas en la superficie de sus hojas.

Gases de Efecto invernadero: Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuye al efecto invernadero.

Hawainas: Cortina en material plástico o neopreno que evita la dispersión de partículas.

Hidrófobo: que repela al agua.

Higroscópico: es la capacidad de algunas sustancias de absorber o ceder humedad al medio ambiente. Son higroscópicos todos los compuestos que atraen agua en forma de vapor o de líquido de su ambiente, por eso a menudo son utilizados como desecantes.

Materiales alcalinotérreos: Materiales fabricados con alguno de los elementos que se encuentran situados en el grupo 2 de la tabla periódica y son los siguientes: berilio(Be), magnesio(Mg), calcio(Ca), estroncio(Sr), bario(Ba) y radio(Ra). Este último no siempre se considera, pues tiene un tiempo de vida media corto. El nombre de alcalinotérreos proviene del nombre que recibían sus óxidos, tierras, que tienen propiedades básicas (alcalinas). Poseen una electronegatividad $\leq 1,3$ según la escala de Pauling.

MIR: Reactividad Máxima incremental (por sus siglas en inglés) , es una escala de reactividad que permite cuantificar los impactos de las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) para formar ozono.

Permear: Penetrar en un cuerpo o traspasarlo.

Poliiolefinas: Se denomina poliolefina a todo aquel polímero obtenido mediante la polimerización de olefinas.

Bibliografía

AWMA, 1992. Air & Waste Management Association, Air Pollution Engineering Manual, Van Nostrand Reinhold, New York.

Bread Preparation Processes, s/a. Disponible en: <http://food.oregonstate.edu/learn/pop/bread4.html> [Abril de 2009]

Billings, 1970. Handbook of Fabric Filter Technology Volume I: Fabric Filter Systems Study, GCA Corp., Bedford MA, December.

Carr, 1984, Fabric Filter Technology for Utility Coal-Fired Power Plants, Part V: Development and Evaluation of Bag Cleaning Methods in Utility Baghouses, J. Air Pollution Control Assoc, May.

CFE. 2004. Reference Costs and Parameters for Project formulation in the electric sector 2004. Generation. COPAR 2004. (in Spanish). Gerencia de Evaluación y Programación de Inversiones, Comisión Federal de Electricidad, México, D.F.

Código Financiero del Distrito Federal, 2010, Libro primero de los ingresos titulo primero del presupuesto de ingresos capitulo I Disposiciones Generales. Disponible en: <http://www.finanzas.df.gob.mx/codigo/libroPrimero.pdf>

Control y eliminación de los SO_x, s/a. Disponible en <http://libros.redsauce.net/CentralesTermicas/PDFs/34CT.pdf>

Constancia de Reducción Fiscal a la que se refiere los artículos 293 y 294 del Código Financiero del Distrito Federal.

Cooper, 1994, Air Pollution Control: A Design Approach, Second Edition, Waveland Press, Inc. IL.

Cooper, 2002. Air Pollution Control : A Design Approach. Waveland Press, Inc. Prospect Heights, IL, 2002.

Desarrollo y planificación ambiental (Deplan), 2008. Emisión de compuestos orgánicos volátiles: técnicas de depuración. España. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/Articulo.asp?A=25979> [Marzo de 2009]

Descarbonización, 2009. disponible en: ec.europa.eu/environment/climat/campaign/pdf/gases_es.pdf

DOF, 2008, Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, publicada el 1° de febrero de 2008.

EPA, 1998. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter," EPA-452/R-97-001, Research Triangle Park, NC., October.

EPA, 1998a. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter," EPA-452/R-97-001, Research Triangle Park, NC., October.

EPA, 1998b. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "OAQPS Control Cost Manual," Fifth Edition, Chapter 5, EPA 453/B-96-001, Research Triangle Park, NC. December.

EPA, 1999. U.S. EPA, Óxidos de Nitrógeno (NO_x), ¿por qué y cómo se controlan?, Clean Air Technology Center .

EPA, 2000. "How to incorporate the effects of air pollution control device efficiencies and malfunctions into emission inventory estimates" Volume II: Chapter 12. Emission Inventory Improvement Program.. Disponible en <http://www.epa.gov/ttn/chief/eiip/techreport/volume02/ii12.pdf> [Febrero de 2009]

EPA, 2002. Sección 4 - Controles para óxidos de nitrógeno (NO_x). Actualizada al julio de 2002. EUA. Disponible en: http://www.epa.gov/ttn/catc1/cica/atech_s.html#999 [Abril de 2008]

EPA, 2003. Hojas de datos acerca de tecnologías de control de contaminación de aire. Actualizada al julio de 2003. EUA. Disponible en: http://www.epa.gov/ttnca1/cica/atech_s.html#14 [Mayo de 2008]

GODF, 2008. Decreto por el que se expide el programa para contingencias ambientales atmosféricas en el distrito federal. Disponible en: http://www.sma.df.gob.mx/tramite_exencion/descargas/gaceta_decreto_pcaa%2030_jun_08.pdf

ICAC, 1999. Institute of Clean Air Companies internet web page www.icac.com, Control Technology Information - Electrostatic Precipitator, page last updated January 11, 1999.

INEGI, 1997. Clasificación Mexicana de Actividades y productos (CMAP). Censos económicos 1994. México

INE, S/A. Contaminantes criterio disponible en <http://www.ine.gob.mx/calair-indicadores/523-calair-cont-criterio>

INE, 2007. Gases de efecto invernadero Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/ruiz.html>

IPCC, 2007. [en línea]. 2. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. En Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007, The Physical Science Basis* (pp. 129-234). Consultado en 2009 de: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2.html

IPCC, 1993. *Preliminary IPCC National GHG Inventories: In-Depth Review, Part III*. Intergovernmental Panel on Climate Control. Presentado en el Taller de Trabajo de la IPCC/ODCE sobre los Inventarios Nacionales de GHG: Transparencia en la Estimación y el Reporte. The Hadley Centre, Bracknell, Reino Unido, Octubre 1.

Ley del impuesto sobre la renta, 2010. Disponible en :<http://www.cddhcu.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/82.pdf>

LGEEPA, 2010. Ley general del Equilibrio Ecológico Y LA Protección al Ambiente Última reforma publicada DOF 06- 04-2010 <http://www.cddhcu.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf>

Metodología para la implementación de programas de producción más limpia, 2008. Disponible en: <http://sena-ambiente.blogspot.com/2008/04/produccion-mas-limpia.html> [Marzo de 2009]

Panis Nostrum, 2010. Proceso de fermentación, disponible en <http://panisnostrum.blogspot.com/2009/10/procesos-fermentacion-primaria.html>

Perry, 1984. "Perry's Chemical Engineers' Handbook," edited by Robert Perry and Don Green, 6th Edition, McGraw-Hill, New York, NY, 1984.

Plásticos y Aplicaciones – Caso Práctico en la UPIICSA Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos13/plapli/plapli.shtml> [Abril de 2009]

Pope CA, III, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, *et al.*, 2002 Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA; 287:1132–1141

Radian International LLC, 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México Volumen II – Fundamentos de inventarios de emisiones Final.

Radian International LLC, 1998. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México Volumen IV, Desarrollo del inventario de fuentes puntuales. E.U.U. Consultado en 2009 de <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/puntual4.pdf>

Sánchez Gabriela, Vega Elizabeth, Reyes Elizabeth y Mugica Violeta, 2004. Distribución de fuentes de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera de la

ciudad de México. Instituto mexicano del Petróleo y Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. Disponible en: <http://www.conacyt.mx/comunicacion/revista/ArticulosCompletos/pdf/COV.pdf>

Sánchez Juan Antonio, Oliver Ramon, Estrany Francesc, 2006. Planta para la recuperación del dióxido de carbono de los gases de combustión <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/21/35/a35.pdf>

Schenelle, 2002. Air Pollution Control Technology Handbook. CRC Press LLC. Boca Raton, FL. 2002.

Seinfeld, 1986. Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, New York.

SENER. 2004. (Secretaría de Energía) Subsecretaría de Planeación y Desarrollo Tecnológico. Unidad de Promoción de Inversiones. Gas Natural Licuado en Manzanillo o Lázaro Cárdenas, México.

SENER, 2008. Balance Nacional de Energía

Sistema de Impresión Flexográfica. Procesos en artes graficas. Disponible en: <http://www.hera.cnice.mecd.es> [Abril de 2009]

SMA-GDF, 2010a. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

SMA-GDF, 2010b. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008, México, D.F.

SMA-GDF, 2007. Agenda Ambiental de la Ciudad de México. Programa de Medio Ambiente 2007-2012, Primera Edición, pp.90-92, México, 2007.

Srivastava, 2001. "Flue Gas Desulfurization: The State of the Art". Air and Waste Management Assoc., 51:1676-1688, 2001.

STAPPA/ALAPCO, 1996. State and Territorial Air Pollution Program Administrators and Association of Local Air Pollution Control Officials, "Controlling Particulate Matter Under the Clean Air Act: A Menu of Options," July.

State Compensation insurance Fund, s/a. Monóxido de carbono. disponible en <http://www.statefundca.com/safety/safetymeeting/SafetyMeetingArticle.aspx?ArticleID=149>

Textos científicos, 2006a. Los óxidos de azufre disponible en <http://www.textoscientificos.com/quimica/inorganica/azufre/oxidos-azufre>.

Textos científicos, 2006b Los óxidos de nitrogeno <http://www.textoscientificos.com/node/610>

Vatavuk, 1990. W.M. Vatavuk, "Estimating Costs of Air Pollution Control," Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1990.

Velasco E., Lamb B., Westberg H., Allwine E., Sosa G., Arriaga Colina, Jonson B.T., Alexander M.L., Prazeller P., Knighton W.B., Rogers T.M., Grutter M., Herndon S.C., Kolb, Zavala M., B. de Foy, Volkamer R., Molina L.T., Molina M.J. , 2005. Distribution, magnitudes, reactivities, ratios and diurnal patterns of volatile organic compounds in the Valley of Mexico during the MCMA 2002 & 2003 field campaigns.

WMO, 1992. scientific assessment of ozone depletion: 1991. WMO/UNEP, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 25, Ginebra, Suiza.

Yosef B, 2009 .Estímulos Fiscales Y El Desarrollo Sustentable, disponible en http://www.vironlaw.com.mx/pdf_articulos/vironlaw_articulo_esp_02est.pdf

