



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

INVENTARIO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA EN LA
ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO, PARA
EL SECTOR INDUSTRIAL DEL PLÁSTICO Y DEL HULE.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Q U I M I C O

P R E S E N T A :

DELFINO RAMIREZ CONTRERAS

ASESORES:

ING. ARIEL BAUTISTA SALGADO

ING. MOISES MAGDALENO MOLINA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES (CUAUTITLAN)
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

B. N. - M.
 FOLIO 123 DE 1234567
 DE 123456789

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán






Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Inventario de emisiones a la atmósfera en la Zona Metropolitana del Valle de México, para el sector industrial del plástico y del hule.
 que presenta el pasante: Delfino Ramírez Contreras
 con número de cuenta: 9756305-3 para obtener el título de: Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 28 de abril de 2004

PRESIDENTE Q. Celestino Silva Escalona 
 VOCAL IQ. Ariel Bautista Salgado 
 SECRETARIO Q. Arcadia Hernández Beltrán 
 PRIMER SUPLENTE IQ. Myriam Rivas Salgado 
 SEGUNDO SUPLENTE Q. José Guadalupe García Estrada 

A MIS PADRES

ESTEBAN Y FLORA

Porque me brindaron su amor incondicional. Por la confianza y libertad que me brindaron. Pero sobre todo, por agradecimiento al esfuerzo inmenso que hicieron al brindarme la oportunidad de tener una carrera profesional.

A MI ESPOSA E HIJO

ESTELA Y EVERARDO

Simplemente porque son parte de mi vida y la motivación más grande para seguir luchando por el logro de objetivos.

A MIS HERMANOS

**Irma
José Luis
Cristino
Rafael
Jaime**

Por el apoyo y optimismo que siempre me brindaron.

Deseo expresar mi agradecimiento al Ing. Moisés Magdaleno Molina por la confianza y oportunidad que me brindó y al Ing. Ariel Bautista Salgado por su revisión constante y acertada.

Agradezco a mis amigos de la FES Cuautitlán, Fernando, Mónica, Arturo, Federico, Josefina, Lilia, Ricardo, Mary, Teresa, Elizabeth, Violeta, Gil.

Por su amistad y apoyo que me brindaron.

CONTENIDO	PAGINA
INTRODUCCION	5
CAPITULO I. GENERALIDADES SOBRE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA E INVENTARIO DE EMISIONES	8
1.1. Contaminantes del aire.	8
1.1.1. Monóxido de carbono	9
1.1.2. Bióxido de azufre	10
1.1.3. Óxidos de nitrógeno	11
1.1.4. Partículas	13
1.1.5. Hidrocarburos	13
1.1.6. Gases de efecto invernadero	14
1.2. Inventario de Emisiones a la Atmósfera	15
1.2.1. Tipo de fuente emisora	16
1.2.2. Contaminantes del Inventario	17
1.2.3. Área geográfica del Inventario	17
1.2.4. Métodos de estimación de emisiones y año base del Inventario	21
1.3. Parámetros seguidos para la elaboración del Inventario de Emisiones a la Atmósfera.	22
CAPITULO II. PROCESOS INDUSTRIALES Y EMISIONES AL AIRE EN LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO	24
2.1. Fabricación de resinas sintéticas	24
2.1.1. Preparación de reactivos	25
2.1.2. Reacción de polimerización	26
2.1.3. Recuperación del polímero	27
2.1.4. Tratamiento y acabado	27
2.1.5. Operaciones de soporte	27

2.1.6. Emisiones al aire	27
2.2. Fabricación de productos de plástico	28
2.2.1. Moldeo por inyección	30
2.2.2. Extrusión	32
2.2.3. Termoformado	33
2.2.4. Procesamiento de espumas	34
2.2.5. Acabado de productos de plástico	35
2.2.6. Emisiones al aire	35
2.3. Fabricación de fibras sintéticas	41
2.3.1. Proceso de hilado	42
2.3.2. Tratamiento de la fibra	46
2.3.3. Emisiones al aire	47
CAPITULO III. PROCESOS INDUSTRIALES Y EMISIONES AL AIRE EN LA INDUSTRIA DEL HULE.	52
3.1. Producción de artículos de hule	52
3.1.1. Mezclado	52
3.1.2. Molienda	53
3.1.3. Extrusión	53
3.1.4. Calandreo	54
3.1.5. Ensamblado	54
3.1.6. Curado (vulcanizado)	54
3.1.7. Operaciones de acabado	54
3.1.8. Emisiones al aire	55
3.2. Fabricación de llantas neumáticas y cámaras	58
3.2.1. Preparación de compuestos específicos	59
3.2.2. Laminado	59
3.2.3. Ensamblado	60
3.2.4. Rociado de la llanta verde (Green-tyre spraying)	61
3.2.5. Moldeado y vulcanizado de la llanta	61

3.2.6. Acabado	61
3.3. Emisiones al aire	61
CAPITULO IV. DESARROLLO DEL INVENTARIO DE EMISIONES	65
4.1. Elaboración de base de datos generales	65
4.2. Localización de la planta productiva	65
4.3. Investigación de “datos de actividad” para la estimación de emisiones	66
4.4. Aplicación de encuestas	66
4.5. Búsqueda y selección de factores de emisión	67
4.6. Estimación de la cantidad de emisiones a la atmósfera	71
4.6.1. Ejemplo de estimación de emisiones generada por el proceso de manufactura	73
CAPITULO V. ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA	80
5.1. Distribución de la Industria del Plástico y del Hule en la ZMVM	80
5.2. Total de emisiones a la atmósfera	82
5.3. Emisiones debidas a equipos de combustión	85
5.4. Emisiones producidas por el proceso de fabricación	88
5.5. Análisis de las emisiones por tipo de contaminante	90
5.6. Distribución de los contaminantes en la ZMVM	104
5.7. Comparación con Inventario de Emisiones , realizado por la Comisión Ambiental Metropolitana (2000)	105
CONCLUSIONES	109
APENDICE	113
BIBLIOGRAFIA	120
ANEXOS	123

INTRODUCCION

INTRODUCCION.

A nivel nacional, la protección al ambiente representa uno de los mayores retos del presente. En el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) la protección al ambiente es importante por concentrar la mayor densidad de población a nivel mundial y por contar con la planta industrial más grande del país.

Un instrumento útil y efectivo para evaluar los contaminantes vertidos al aire es el Inventario de Emisiones a la Atmósfera, el cual sirve para saber el grado de contaminación de una zona determinada y consiste de información detallada sobre los compuestos emitidos a la atmósfera y la tasa de emisión de los mismos.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se presenta el siguiente

Objetivo:

- **Obtener un inventario de emisiones a la atmósfera para el sector industrial del plástico y del hule, establecido en la Zona Metropolitana del Valle de México.**

Este trabajo presenta un *Inventario de Emisiones estimado* para una parte de la Industria Química: *La Industria del Plástico y del Hule*, que se encuentra establecido dentro de los municipios conurbados que forman parte de la Zona Metropolitana del Valle de México y dentro del Distrito Federal. Presentando además la metodología seguida para su desarrollo, misma que es aplicable para cualquier giro industrial.

En el *Capítulo I*, se describen de manera general las principales sustancias responsables de la contaminación atmosférica, su origen y los daños que ocasionan. Presenta la definición de inventario de emisiones, los aspectos metodológicos para su elaboración, las técnicas disponibles para la estimación de emisiones, el tipo de empresas que incluye el inventario, como el área geográfica de estudio, así como el año base del mismo. Esta parte es muy importante ya que ella delimita el camino a seguir para lograr el objetivo.

Una parte fundamental para el desarrollo de un inventario de emisiones, es comprender los procesos industriales que se llevan a cabo, para que de esta manera se identifiquen los puntos de generación, así como el tipo de contaminantes que se emite. Por ello, el **Capítulo II** describe brevemente los procesos de producción llevados a cabo en establecimientos productores de resinas sintéticas, productores de fibras químicas y productores de artículos de plástico; y el **Capítulo III** describe los procesos de producción de artículos de hule y la fabricación de llantas neumáticas. *En estos, se hace primero una descripción general del proceso de manufactura, explicando posteriormente en forma pormenorizada los tipos de contaminantes generados asociados a cada etapa de manufactura.*

Una vez identificados el tipo de contaminantes y localizados los puntos de emisión, se presenta en el **Capítulo IV** la descripción de las técnicas utilizadas para la obtención de información necesaria para la elaboración del inventario, así como los métodos y formas de cálculo seguidos para estimar las emisiones contaminantes. Este capítulo es de vital importancia porque describe la ruta seguida durante el desarrollo de la investigación y da algunos ejemplos de como se estiman las emisiones contaminantes cuando no se cuentan con datos directos de medición.

El **Capítulo V** es la parte central del trabajo. En él se presenta las cantidades estimadas de contaminantes, además de un análisis de la contribución de cada tipo de actividad a la generación de contaminantes y se observa que actividades contribuyen en mayor medida, así como la distribución de los establecimientos industriales en la ZMVM.

De esta manera se llega a las **Conclusiones**, las cuales resumen los logros obtenidos, las dificultades encontradas en la elaboración del inventario, y algunas recomendaciones para disminuir la emisión de contaminantes producidos en la Industria del Plástico y del Hule.

Como parte imprescindible en este trabajo, también se presenta una tabla comparativa entre los valores obtenidos en la investigación y los que se publican en el Inventario de Emisiones a la Atmósfera en la Zona Metropolitana del Valle de México 2000, realizado por la SEMARNAT y la Comisión Ambiental Metropolitana.

CAPITULO I

CAPITULO I.

GENERALIDADES SOBRE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA E INVENTARIO DE EMISIONES.

1.1. Contaminantes del aire.

El aire es el alimento fundamental de los seres vivos. El hombre respira por día unos 20 metros cúbicos, es decir casi 25 kilogramos. Se comprende entonces que toda alteración en la pureza del aire repercute en la salud o en el bienestar de los seres vivos. Esta alteración es la llamada contaminación o estado contaminado del aire y es consecuencia de la emisión de gases, vapores y partículas sólidas y líquidas extrañas a la atmósfera. Este fenómeno implica riesgo y daño para los seres vivos, pero también provoca daños a la vegetación y a los materiales, como pueden ser obras de arte y construcciones.

La emisión de contaminantes tiene 2 fuentes de origen:

- *Natural*, debido a fenómenos de la naturaleza, tales como vientos, fuegos, nieblas, meteoritos, polen, vida animal, erupciones volcánicas, etc. y es inevitable, la naturaleza misma restablece el equilibrio cuando ha sido perturbado.
- *Artificial o antropogénico*, provocado por los procesos de combustión, la industria, el tránsito vehicular, y otras actividades del hombre, esto da lugar a que el aire de las ciudades este cada vez más contaminado por acumulación de humos, polvos y gases.

Una vez lanzados a la atmósfera, los contaminantes primarios (que se emiten directamente de la fuente emisora) no permanecen indefinidamente en ella, sino que experimentan complejos procesos de transporte, mezcla y transformación química catalizada por la luz solar, que dan lugar a una distribución variable de su concentración en el aire, tanto en el espacio como en el tiempo. Se forman entonces los llamados contaminantes secundarios (formados a partir de reacciones químicas llevadas a cabo en la atmósfera) ozono, ácido

sulfúrico y smog fotoquímico, entre los más importantes. Se provocan entonces problemas macroecológicos como son el efecto invernadero, lluvia ácida, así como reacciones fotoquímicas, destrucción de la capa de ozono y efectos tóxicos en los seres vivos.

En la industria química más que en cualquier otra, es en donde se encuentra una gran variedad de problemas de contaminación del aire. Las sustancias vertidas, ya sean productos intermedios y/o finales, no se recuperan totalmente debido al costo económico que ello representa y por tanto se emiten a la atmósfera.

Entre la larga lista de contaminantes existentes, destacan por su concentración y características los siguientes compuestos: *óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, bióxido de azufre, hidrocarburos y partículas*, mismos que ponen en peligro la salud y bienestar público; también se emiten los llamados gases de efecto invernadero: *bióxido de carbono y metano*. Se menciona en seguida las principales características de estos contaminantes, sus fuentes de emisión y sus efectos en el medio ambiente y en la salud, ya que son estos los contaminantes para los cuales se estima la tasa de emisión a la atmósfera.

1.1.1. Monóxido de carbono.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro, de menor densidad que el aire, inflamable, tóxico y muy estable (su vida media en la atmósfera es de 2 a 4 meses). Es producto intermedio en las combustiones, siendo máxima su emisión cuando se utilizan mezclas pobres de oxígeno. Una cantidad significativa del CO emitido en áreas urbanas es producida por los vehículos automotores. Se ha identificado también como resultado de la descomposición a elevada temperatura del CO₂ resultante. Por ello, un tratamiento adecuado requiere una buena aireación en los procesos de combustión y un control adecuado de la temperatura.

Representa una amenaza para la salud por su capacidad de reaccionar con la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina, con lo cual le disminuye su capacidad de transportar oxígeno, ya que la afinidad de la hemoglobina con el CO es aproximadamente

250 veces mayor que con el oxígeno. La asimilación se produce exclusivamente por inhalación, ya que el CO no se detecta por su olor, sabor, ni por irritación de las mucosas ni por otros efectos.

Para las plantas el CO no es tóxico ya que se oxida rápidamente a CO₂, sustancia que utilizan para la fotosíntesis, sin embargo, las puede afectar si sobrepasa una concentración de 100 partes por millón (p.p.m.). No afecta a los materiales.

1.1.2. Bióxido de azufre.

En la compleja mezcla de contaminantes de la atmósfera urbana está representada una amplia gama de compuestos de azufre, pero desde un punto de vista práctico, sólo importan el bióxido de azufre gaseoso (SO₂), el ácido sulfúrico (H₂SO₄), y los sulfatos como componentes de las partículas en suspensión.

El SO₂ es un gas incoloro con olor picante, irrita los ojos y el sistema respiratorio y afecta principalmente a enfermos con dolencias pulmonares o cardíacas, reduce las funciones pulmonares, agrava las enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema. En las plantas se producen áreas muertas de las hojas y lesiones crónicas caracterizadas por un amarilleo gradual de las hojas y reducción en la fotosíntesis.

Los daños en los materiales son causados por el ácido sulfúrico que se produce cuando el SO₂ se oxida catalíticamente en las gotas de agua. Es típico el ataque de la caliza donde los carbonatos se transforman en sulfatos que son solubles en agua y más voluminosos que los carbonatos. Corroe los metales, deteriora los contactos eléctricos, el papel, los textiles, las pinturas, los materiales de construcción y los monumentos históricos.

El trióxido de azufre (SO₃) es un gas muy reactivo que con la humedad atmosférica se hidrata rápidamente para formar ácido sulfúrico, provocando la acidez de las precipitaciones de lluvia y nieve, la ya temida *lluvia ácida*. En consecuencia, en el aire se

encuentra ácido sulfúrico en forma de aerosol, más bien que SO_3 , provocando las consecuencias propias del ácido mencionado.

Estos contaminantes se forman, sobre todo, por la combustión del azufre presente en el carbón, diesel, combustóleo, gasolina y petróleo, obteniéndose SO_2 y SO_3 . Más del 50% de SO_2 es producido en calderas para generación de vapor. También se generan en la fundición de betas metálicas ricas en azufre, procesos industriales y erupciones volcánicas.

Para un buen control de las emisiones de los SO_2 se observan las siguientes medidas: uso de combustibles con menos azufre tal como el gas natural y por lo tanto desulfuración de los combustibles.

1.1.3. Óxidos de nitrógeno.

De los más de 8 óxidos distintos que forman esta familia (NO_x), tres son los que están en el aire en cantidades apreciables, óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), y dióxido de nitrógeno (NO_2). El NO y el NO_2 son los más abundantes óxidos de nitrógeno producidos por el hombre en zonas urbanas. Estos se forman de dos maneras principales: Los NO_x producidos 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 aire de combustión.

El N_2O es un gas inerte de carácter anestésico que contribuye al efecto invernadero pues absorbe unas 200 veces más radiación infrarroja que el CO_2 , es el más común de los NO_x en la atmósfera. Es generado también por procesos anaerobios en el suelo y en las capas superficiales de los océanos. Si bien esta sustancia puede desempeñar un papel importante en la química estratosférica, reviste escasa relevancia en la atmósfera inferior y no tiene significación directa para la salud humana.

El NO es un gas incoloro e inodoro, tóxico a altas concentraciones y presente en el aire en menos de 0.50 p.p.m. Gran parte de los NO_x generados es como NO, el cual se oxida formando NO₂ cuando entra en contacto con el aire, de acuerdo a la siguiente reacción:



Por ello, la intoxicación por gases nitrosos se debe principalmente al NO₂. Se desconocen los efectos del NO sobre la salud humana.

El NO₂ es altamente tóxico e irrita la piel y las mucosas, penetra los alvéolos. La formación de ácido nitroso/nítrico en el tejido pulmonar daña las paredes. Las reacciones atmosféricas de NO₂ con los hidrocarburos no quemados (catalizadas por radiación solar) forman lo que se conoce como “smog fotoquímico”, el cual se caracteriza por un contenido relativamente alto de oxidantes que irritan ojos y garganta, ataca a las plantas, produce olores y disminuye la visibilidad.

El ozono es uno de los oxidantes mas potentes que se genera directamente por la acción de la luz solar sobre el dióxido de nitrógeno. La presencia de radicales hidroxilo y compuestos orgánicos volátiles incrementa la concentración de ozono. En las capas bajas de la atmósfera provoca efectos nocivos sobre el aparato respiratorio, las mucosas y el sistema nervioso, así como sobre la vegetación. En cambio, en las capas altas, el ozono es un componente natural y ejerce un efecto protector contra la radiación ultravioleta, la cual es perjudicial para casi todas las formas de vida.

Todos los gases nitrosos producen la formación de manchas entre pardas y pardo-negruzcas en el limbo foliar y en los bordes de las hojas. En agua los NO_x son poco solubles pero forman ácido nitroso o nítrico cuando entran en contacto con ella contribuyendo a la formación de lluvia ácida.

En equipos de combustión, el exceso de aire, así como el precalentamiento del mismo, incrementa la temperatura y por tanto es mayor la emisión de óxidos de nitrógeno. La recirculación de los gases de combustión fríos rebaja la temperatura y reducen las emisiones.

1.1.4. Partículas.

El término partículas (PM) se refiere a cualquier sustancia en fase sólida o líquida que se encuentre en el aire. Las Partículas Suspendidas Totales (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. Una fracción importante de las partículas son las suspendidas en su fracción respirable, es decir, de entre 0.3 y 10 micrómetros de tamaño (conocidas como PM_{10}) y pueden estar presentes en estado sólido o líquido, dispersas en la atmósfera, como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen.

Las PM_{10} tienen la particularidad de penetrar el aparato respiratorio hasta los alvéolos pulmonares. Sus fuentes principales de emisión son la combustión industrial y doméstica del carbón, combustóleo y diesel, y procesos industriales. Las partículas irritan las vías respiratorias, agravan el asma y las enfermedades cardiovasculares. En las plantas forman depósitos sobre las hojas y llegan, a veces, a penetrar en la cadena trófica. Hacen disminuir la visibilidad y la radiación total recibida. Además deterioran los materiales de construcción y otras superficies. A la cantidad de partículas producidas por combustión y por el procesamiento habría que sumar las emitidas de manera natural como son: condensación de procesos naturales como incendios forestales, erosión eólica, erupciones volcánicas, además de reacción de trazas de gases y materiales dispersados desde la superficie de la tierra.

1.1.5. Hidrocarburos.

De manera colectiva los compuestos comprendidos en las emisiones de hidrocarburos (HC's) se conocen como Compuestos Orgánicos Totales (COT), e incluyen todos los compuestos de carbono, excepto monóxido de carbono, bióxido de carbono, ácido carbónico y los carburos metálicos. Esta categoría incluye algunos aldehídos como el formaldehído, y el acetaldehído, y algunos compuestos carcinógenos como el benceno. Se incluye también a los clorofluorocarbonos, los cuales pueden "destruir el equilibrio en la

capa de ozono” en la estratosfera (especialmente los clorofluoro-metanos). Los compuestos químicos considerados reactivos se conocen como Gases Orgánicos Reactivos (GOR), Compuestos Orgánicos Reactivos (COR), o bien, Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's). En estas definiciones se contemplan a todos los hidrocarburos.

Los hidrocarburos son producto típico de los gases vehiculares o de fuentes industriales como solventes orgánicos utilizados en la industria química y farmacéutica. Algunos tipos de hidrocarburos son tóxicos, por ejemplo benceno (carcinógeno); y aldehídos como formaldehído y acetaldehído, los cuales son irritantes del tracto respiratorio.

Al nivel actual de nuestra atmósfera los hidrocarburos no representan por si mismos un potencial significativo para afectar la salud en forma adversa, sin embargo, contribuyen a la formación de ozono (O_3) y de esta manera a producir sus efectos negativos. La mayor parte de los efectos nocivos de los hidrocarburos son causados por los productos formados cuando estos sufren reacciones químicas en la atmósfera y generan los oxidantes fotoquímicos. Como se mencionó, al reaccionar los hidrocarburos con otras sustancias producen el “smog fotoquímico”.

Desde una perspectiva de la calidad del aire, es importante señalar que algunos de los gases orgánicos que se emiten a la atmósfera o no tienen reactividad fotoquímica o es muy baja. Por otra parte se encuentran los considerados reactivos, los cuales pueden contribuir a la formación de contaminación fotoquímica.

1.1.6. Gases de efecto invernadero.

Los dos componentes de la atmósfera de mayor importancia para el mantenimiento de la temperatura sobre la superficie del planeta son el bióxido de carbono y el vapor de agua, los cuales absorben gran parte de la radiación de onda larga que emite la superficie terrestre. Esta radiación atrapada cerca de la superficie es lo que sentimos como calor y sirve para mantener una temperatura que hace habitable su superficie. Sin embargo, la quema de combustibles fósiles tiende a aumentar la cantidad de CO_2 en la atmósfera lo que

ocasionaría que la temperatura global del planeta aumente, ocasionando cambios importantes en el clima mundial.

Aparte del bióxido de carbono y el agua, existen otros gases que contribuyen al efecto invernadero, estos son el metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y clorofluorocarbonos (CFC's). El metano es el hidrocarburo más abundante y estable de la atmósfera (11 años estimados de su tiempo de vida). Las reacciones químicas en las que participa pueden llevar a la formación de ozono, además de que resulta CO_2 como producto final de la oxidación del metano.

El óxido nitroso es prácticamente inerte y rara vez participa en reacciones químicas en la troposfera, tiene un periodo de vida en la atmósfera de 110-168 años. Además de las fuentes naturales, el N_2O tiene como fuentes de emisión la combustión de combustibles fósiles, la quema de biomasa, y la producción de ácido adípico. Ultimamente ha aumentado la emisión de N_2O debido a la combustión en fuentes móviles debido al uso de catalizadores de 3 vías.

Los clorofluorocarbonos incluyen a todas las sustancias artificiales compuestas por cloro, flúor y carbono. Son sumamente estables, no son inflamables ni tóxicos en bajas concentraciones, sin embargo, han sido identificados como gases con efecto invernadero y también como sustancias agotadoras de ozono.

1.2. Inventario de emisiones a la atmósfera.

Un Inventario de Emisiones a la Atmósfera es un conjunto de datos que caracteriza la emisión de contaminantes a la atmósfera a partir de los diferentes tipos de fuentes emisoras. En él se identifican el tipo y la tasa de emisión de contaminantes emitidos en un área determinada de estudio para un año base. Por medio del Inventario de Emisiones se evalúa la contaminación ambiental, así mismo, los datos recopilados en él son el bloque fundamental para la construcción de un plan de calidad del aire. Con él se pueden estimar impactos ambientales en conjunto con un modelo de dispersión.

Previo a la elaboración de un inventario de emisiones, deben establecerse ciertos parámetros que definirán las etapas a seguir para el desarrollo del inventario, estas son las siguientes:

1. Tipo de fuente emisora.
2. Contaminantes que incluirá el inventario.
3. Area geográfica de estudio.
4. Método(s) de estimación de las emisiones.
5. Año base del inventario.

A continuación se describe brevemente cada una de estas características.

1.2.1 Tipo de fuente emisora.

En un Inventario de Emisiones a la Atmósfera se manejan diferentes tipos de fuentes emisoras, las cuales se encuentran clasificadas de la siguiente manera:

Fuentes Puntuales. Se define como toda instalación establecida en un lugar que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales o actividades que puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. En esta categoría se incluyen los establecimientos industriales.

Fuentes móviles. Equipo y maquinaria no fijos con motores de combustión, que con motivo de su operación puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Este es el caso del sector transporte. Se consideran también las emisiones de aeronaves y locomotoras.

Fuentes de área. Son todos los establecimientos y actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas de contaminantes pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte considerable de emisiones contaminantes a la atmósfera y que no llegan a considerarse como fuentes puntuales. Por ejemplo, los sectores comercial, doméstico y de servicios como son panaderías, tortillerías, tintorerías, baños públicos, entre otros.

Fuentes naturales. Fenómenos o procesos que se presentan de manera natural en los ecosistemas y cuyas emisiones son el resultado de la acción de eventos meteorológicos, geológicos y/o procesos metabólicos. Por ejemplo, erosión eólica, erupciones volcánicas, incendios forestales.

La industria del plástico y del hule se encuentra integrada por todos los establecimientos que realicen las actividades mencionadas en la Tabla 1-1. Estas actividades se encuentran organizadas de acuerdo a un número de la Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP), misma que es utilizada por el INEGI y el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) para identificar el tipo de actividad realizada por las industrias. Esta clasificación será de utilidad en el capítulo V, en donde se mencionan para simplificar la descripción de actividades.

1.2.2. Contaminantes del inventario.

Para iniciar la elaboración de un inventario es indispensable definir el tipo de contaminantes que se investigarán. En la industria pueden observarse dos fuentes generales de contaminación:

Los contaminantes emitidos directamente de las diferentes etapas del proceso de manufactura. Estos son principalmente Hidrocarburos (HC's) y partículas (PM).

Los contaminantes emitidos de los procesos de combustión. Estos son principalmente 5 compuestos, los cuales son: bióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (incluye NO₂ y NO₃), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC's), y partículas totales (PM).

1.2.3. Área geográfica del inventario.

Se considera el Valle de México como parte de una cuenca, la cual tiene una elevación promedio de 2240 metros sobre el nivel del mar y una superficie de 9560 Km², misma que considera parte del Estado de México, sur del Estado de Hidalgo, Sureste de Tlaxcala y casi

la totalidad del Distrito Federal. Debido a la elevación de esta cuenca, los procesos de combustión son menos eficientes y por lo tanto más contaminantes, además de recibir una intensa radiación solar que favorece la formación de contaminantes fotoquímicos.

Tabla 1-1. Actividades realizadas en la Industria del Plástico y del Hule.

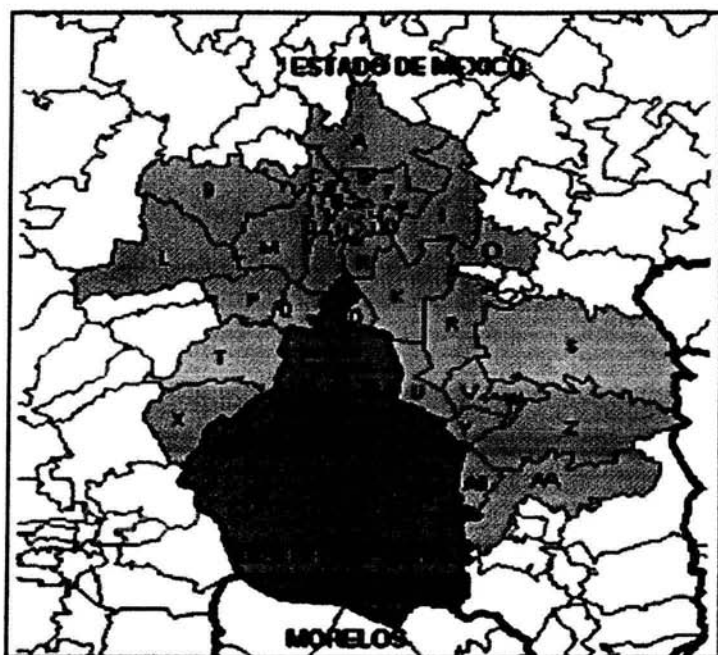
INDUSTRIA DEL HULE	
CMAP	Descripción de la actividad realizada.
351232	Fabricación de hule sintético o neopreno. Incluye productos relacionados con su elaboración.
355001	Fabricación de llantas y cámaras. Excluye las reparaciones de llantas y cámaras que se clasifican en la clase 961205 "Servicio de reparación menor de llantas y cámaras".
355002	Revitalización de llantas y cámaras. Incluye las plantas recubridoras de llantas. Excluye las reparaciones menores como pueden ser el parchado.
355003	Fabricación de piezas y artículos de hule natural o sintético. Incluye regeneración de hule y elaboración de botas, tacones, suelas de hule, linóleos, juguetes de hule, zapatos 100% de hule, etc. Excluye la fabricación de llantas que se clasifican en la clase 355001 "fabricación de llantas y cámaras".
INDUSTRIA DEL PLASTICO	
CMAP	Descripción de la actividad realizada.
351231	Fabricación de resinas sintéticas y plastificantes. Incluye a la bakelita como resina
351300	Fabricación de fibras químicas. Incluye papel celofán, cuerdas para llantas y rafias. Excluye a la fabricación de cordelerías de fibras químicas.
356001	Fabricación de película y bolsas de polietileno. Impresas o no impresas. Incluye la fabricación de película plástica tubular y plana, para envoltura y embalaje.
356002	Fabricación de perfiles, tubería y conexiones de resinas termoplásticas. Incluye la fabricación de mangueras.
356003	Fabricación de productos diversos de PVC. Incluye tapiz para muros, pisos, envolturas, tarjetas de crédito, etc.
356004	Fabricación de diversas clases de envases y piezas similares de plástico soplado. Incluye las formadas al vacío.
356005	Fabricación de artículos de plástico para el hogar. Incluye botones y peines, platos, vasos, y cubiertos de plástico.

.....Continuación de la Tabla 1-1

CMAP	Descripción de la actividad realizada.
356006	Fabricación de piezas industriales moldeadas con diversas resinas y los empaques de poliestireno expandible. Incluye las fabricadas por encargo y fleje de plástico.
356007	Fabricación de artículos de plástico reforzado. Poliéster con fibra de vidrio. Incluye muebles de este material.
356008	Fabricación de pieles y telas sintéticas además de laminados decorativos e industriales. Incluye formica, acrílicos, domos de plástico y anuncios acrílicos.
356009	Fabricación de espumas uretánicas y sus productos. Hule espuma.
356010	Fabricación de calzado de plástico. Incluye el moldeado 100% de plástico y partes para calzado de plástico.
356011	Fabricación de juguetes de plástico.
356012	Fabricación de otros productos no numerados anteriormente. Incluye plastificación de papeles decorativos como son manteles individuales, tarjetas de felicitación en 3ra. Dimensión y cromado de plástico.

En vista de que el Distrito Federal es el centro de poder político y económico del país, se ha favorecido la concentración de la población en este espacio geográfico; consecuentemente el crecimiento urbano de la ciudad rebasó sus límites, presentándose un proceso de conurbación con algunos municipios del Estado de México, surgiendo así la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). El crecimiento del área urbana ha obligado a incluir más municipios dentro de esta zona, mismos que se ven afectados por el fenómeno de la contaminación. A continuación se muestra el área que cubre actualmente la ZMVM.

De acuerdo a la información de la figura anterior, puede observarse que la ZMVM cuenta actualmente con las 16 delegaciones del Distrito Federal y 28 municipios del Estado de México.



No.	Delegaciones	Letra	Municipio	Letra	Municipios
01	Álvaro Obregón	A	Zaragoza	Q	Tlalpapantla
02	Acapulzalco	B	Tapatzotlán	R	Atenco
03	Benito Juárez	C	Teotihuacán	S	Tenexco
04	Coyoacán	D	Jalisco	T	Nauzalpan
05	Cuajimalpa de Morelos	E	Melchor Ocampo	U	Nezahualcóyotl
06	Cuauhtémoc	F	Nerópolis	V	Chimatluscán
07	Gustavo A. Madero	G	Cuautlilán	W	Chicoloapan
08	Iztacalco	H	Tultepec	X	Huixquilucan
09	Iztapalapa	I	Tecámac	Y	Los Reyes la Paz
10	La Magdalena Contreras	J	Toluca	Z	Ixtapaluca
11	Miguel Alemán	K	Ecatepec	AA	Chalco
12	Milpa Alta	L	Nicolás Romero	AB	Valle de Chalco
13	Mixtla	M	Cuautlilán Izcalli		
14	Tlalpan	N	Coccatco		
15	Venustiano Carranza	O	Acolman		
16	Xochimilco	P	Atzacán de Zaragoza		

Fig. 1.1. Área correspondiente a la Zona Metropolitana del Valle de México, 2001

1.2.4. Métodos de estimación de las emisiones y año base del inventario.

Para llevar a cabo la estimación de la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera se cuenta con varias técnicas:

Muestreo en la fuente (Medición directa). Mediciones directas de la concentración de contaminantes en un volumen conocido de gas y de la tasa de flujo del gas en las chimeneas del establecimiento. Se utiliza con mayor frecuencia para fuentes de emisión por combustión.

Modelos de emisión. Ecuaciones desarrolladas para calcular las emisiones contaminantes, cuando éstas no se relacionan directamente con un solo parámetro, pudiéndose utilizar computadoras para realizar los cálculos.

Balance de materiales. Parte del principio de que el material que entra debe ser igual al que se utiliza en el proceso más el que se emite. Este es adecuado para estimar emisiones asociadas con la evaporación de solventes y emisiones de compuestos que contienen azufre. Factores de emisión. Son relaciones directas entre la cantidad de contaminante emitido y una sola unidad de actividad. Los datos de actividad puede consistir en datos basados en procesos (producción, horas de producción, área superficial) o en datos basados en censos (por ejemplo, número de empleados). Un ejemplo de factor de emisión es Kg. de contaminante/ton de materia prima procesada.

Encuestas. Son cuestionarios diseñados para recopilar datos de actividad de los establecimientos.

Extrapolación. Consiste en el escalamiento de las emisiones de una fuente dada a otra con base en un parámetro de escalamiento conocido para ambas fuentes por ejemplo, producción, número de empleados, área del terreno, entre otras.

1.3. Parámetros seguidos para la elaboración del inventario de emisiones a la atmósfera:

Para efectos de este inventario solo se reportan las emisiones de monóxido de carbono, bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas, hidrocarburos no metánicos (hidrocarburos totales, excepto el metano, el cual se considera como gas de efecto invernadero). Y también las emisiones de bióxido de carbono y metano como gases de efecto invernadero.

Se estiman en este trabajo, la cantidad de contaminantes emitidos tanto de los procesos de combustión como del proceso mismo de manufactura y solamente para los establecimientos que se encuentran dentro de los límites establecidos en los municipios y delegaciones señalados en la figura 1.1.

Para la elaboración de este inventario se aplicaron las técnicas de encuesta, factores de emisión y extrapolación, tomándose al año 2001 como base de la investigación.

En los siguientes capítulos se da una explicación de los procesos de manufactura realizados en la Industria del Plástico y del Hule. Esto para comprender y localizar los puntos potenciales de emisión, así como el tipo de contaminantes emitidos durante el procesamiento. Con estos parámetros definidos y establecidos se sigue toda la metodología descrita en el capítulo IV.

CAPITULO II

CAPITULO II.

PROCESOS INDUSTRIALES Y EMISIONES AL AIRE EN LA INDUSTRIA DEL PLASTICO.

Actualmente resultaría difícil que alguno de los sectores de nuestra vida diaria pudiera prescindir del uso de los plásticos. Basta con observar nuestro alrededor y analizar cuantos objetos son sintéticos para visualizar la importancia de estos materiales. Su futuro se encuentra basado en proporcionar valor agregado al petróleo y petroquímica, riquezas naturales e industriales de nuestro país.

La industria del plástico incluye aquellos establecimientos productores de resinas plásticas, establecimientos productores de artículos de plástico y establecimientos recicladores. Para objeto de esta investigación, se incluye también la estimación de emisiones para la fabricación de fibras químicas.

Las emisiones de cualquier proceso industrial contienen potencialmente las sustancias que entran como materia prima, como material de consumo indirecto y las que se generan como productos. Partiendo de esta consideración, se describe brevemente en este y en el siguiente capítulo los procesos de producción, así como los puntos principales de emisión dentro de los procesos de producción en la industria del plástico y del hule.

2.1. FABRICACIÓN DE RESINAS SINTÉTICAS.

Las resinas sintéticas pueden clasificarse en dos grandes grupos desde el punto de vista fisicoquímico: las *termoplásticas* y las *termofijas*. Las primeras abaten su viscosidad al ser calentadas y pueden llegar a fluir libremente. Las termofijas en cambio tienen estructuras más rígidas que se degradan al aumentar la temperatura.

La fabricación de la mayoría de las resinas sintéticas consiste principalmente de la polimerización de los compuestos básicos (monómeros), usualmente gases o líquidos que

se convierten en sólidos de alto peso molecular. A pesar de la gran cantidad de resinas existentes, se tienen etapas básicas que son comunes en la mayoría de los procesos de elaboración, estos son los siguientes:

- a) Preparación de reactivos.
- b) Reacción de polimerización.
- c) Recuperación del polímero (Separación, purificación y secado)
- d) Tratamiento y acabado.
- e) Operaciones de soporte (lavado de equipo, almacenado de materias primas y productos).

2.1.1. Preparación de reactivos.

Muchos compuestos químicos pueden ser utilizados para fabricar las resinas, sin embargo, los más importantes son los monómeros, los catalizadores y los solventes.

Los catalizadores empleados en las reacciones de polimerización pueden clasificarse de la siguiente manera:

- De radicales libres, como peróxidos o compuestos azo.
- Iónicos, los cuales pueden ser catiónicos mediante el uso de un ácido, y aniónicos, mediante el uso de una base.
- Catalizadores Ziegler-Natta, que consisten de una sal de un metal de transición (el tricloruro de titanio es típico), y de un alquil-metal (por ejemplo, trietilaluminio).

Otros compuestos químicos usados en la polimerización incluyen agentes de suspensión y emulsificantes. Algunas veces es necesaria la purificación previa de los reactivos; su dilución con algún solvente; o bien, premezclados o tratados de otra forma antes de enviarlos al reactor.

2.1.2. Reacción de polimerización.

La polimerización se puede llevar a cabo por *cuatro métodos diferentes* dependiendo de la manera de controlar el *calor generado* en la reacción: en masa, en suspensión, en solución y en emulsión.

Polimerización en masa. En esta, el monómero puro se hace reaccionar consigo mismo, añadiendo solo catalizadores. Debido a que se utilizan pocos solventes u otros químicos, se generan emisiones menores que para el mismo polímero por otro método. La energía exotérmica constituye un problema, por lo cual es necesario controlar la temperatura y la transferencia de calor en forma estricta.

Polimerización en suspensión. El monómero y el catalizador, con ayuda de protectores y otros agentes de suspensión se suspenden en forma de gotitas en una fase continua, como el agua, este método generalmente usa reactores batch, se utiliza en alrededor del 90% de todo el PVC producido. Las gotitas tienen una superficie considerable con respecto a su volumen, por lo que *la transferencia de calor al agua es rápida.*

Polimerización en solución. El monómero se disuelve en un disolvente que la mayoría de las veces es orgánico, en presencia de un iniciador también soluble, *el disolvente utilizado absorbe el calor generado* y también reduce la viscosidad de la mezcla de reacción.

Polimerización en emulsión. El monómero se encuentra también en medio acuoso donde además se ha adicionado un emulsificante, lo que implica un lavado y secado del polímero para su obtención final.

Industrialmente se usan dos tipos de fabricación: el llamado “proceso batch” (por lotes), el cual sirve para producciones bajas, y el “proceso continuo” que sirve para producciones mayores. En el proceso batch todos los reactivos se adicionan al reactor y permanecen allí la misma cantidad de tiempo. En el “proceso continuo”, se alimenta el reactor continuamente y el efluente es removido de la misma forma.

2.1.3. Recuperación de polímero.

Una vez que se ha completado la polimerización, se produce la mezcla de reacción, la cual contiene polímero, monómero sin reaccionar, y cantidades traza de catalizador. Dependiendo del método de polimerización, son diferentes las etapas de recuperación. Sin embargo, la mezcla mencionada pasa por una serie de tres etapas de separación y purificación como son la separación del monómero; la separación de líquidos y sólidos (por centrifugado o filtrado y un lavado adicional); y por último una etapa de secado (en la que se remueve agua y solvente).

2.1.4. Tratamiento y acabado.

Después de la recuperación, el polímero es alimentado generalmente a un extrusor para su peletizado (formado de partículas de polímero). Pero también el tratamiento final de la resina varía de acuerdo al uso deseado, por ejemplo, las resinas para molduras son secadas y trituradas; las resinas usadas para revestimientos son transferidas a un tanque con agitación para adelgazamiento con disolvente y después almacenadas en tanques de acero equipados con sistemas de enfriamiento para prevenir pérdidas de disolvente a la atmósfera.

2.1.5. Operaciones de soporte.

Estas incluyen la descarga y almacenamiento de materias primas, y además la limpieza del equipo.

2.1.6. Emisiones al aire.

Las emisiones fugitivas pueden resultar de la volatilización de monómero, solvente y otros compuestos volátiles durante la polimerización; de la sublimación de sólidos; del tratamiento de aguas; y de la volatilización de solvente durante el almacenamiento y manejo de resinas. Pueden emitirse polvos y partículas cuando se alimenta la materia prima a los reactores. Además de estas, las emisiones fugitivas incluyen las que se generen de las

operaciones de carga y descarga; reactores; válvulas de seguridad, bombas y filtros entre otros. Además pueden emitirse intermitentemente de los sistemas de recuperación, secadores, y escapes del manejo de diversos sólidos. Las emisiones de puntos fijos se describen en la Tabla 2-1.

Adicional a las emisiones mencionadas, también se generan emisiones al aire por las operaciones de *producción de vapor*, las cuales generan *gases de combustión*. Es decir, las operaciones principales de generación durante la producción de resinas sintéticas son las reacciones de polimerización; el almacenamiento de materias primas y producto terminado, así como la quema de combustibles fósiles.

Tabla 2-1. Emisiones potenciales durante la fabricación de resinas sintéticas.

Etapas	Tipo de contaminante emitido.
Preparación de reactivos	Monómero y solventes volatilizados.
Polimerización	Monómero volatilizado, solventes, subproductos de reacción.
Recuperación de polímero	Solventes volatilizados y monómero sin reaccionar.
Extrusión de polímero	Solventes volatilizados y monómero sin reaccionar.
Limpieza del equipo	Solventes volatilizados y monómero sin reaccionar.
Descarga y almacenamiento de reactivos	Monómero volatilizado y solventes, partículas.
Transporte y almacenamiento de pellets	Monómero residual volatilizado o solventes de los pellets y partículas.

2.2. FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE PLÁSTICO.

La industria manufacturera de productos de plástico es relativamente amplia. La manufactura de las resinas no es una parte de esta actividad, sin embargo, algunas fábricas las producen en el mismo sitio en el que son procesadas. Las etapas comunes en los diversos procesos de producción son:

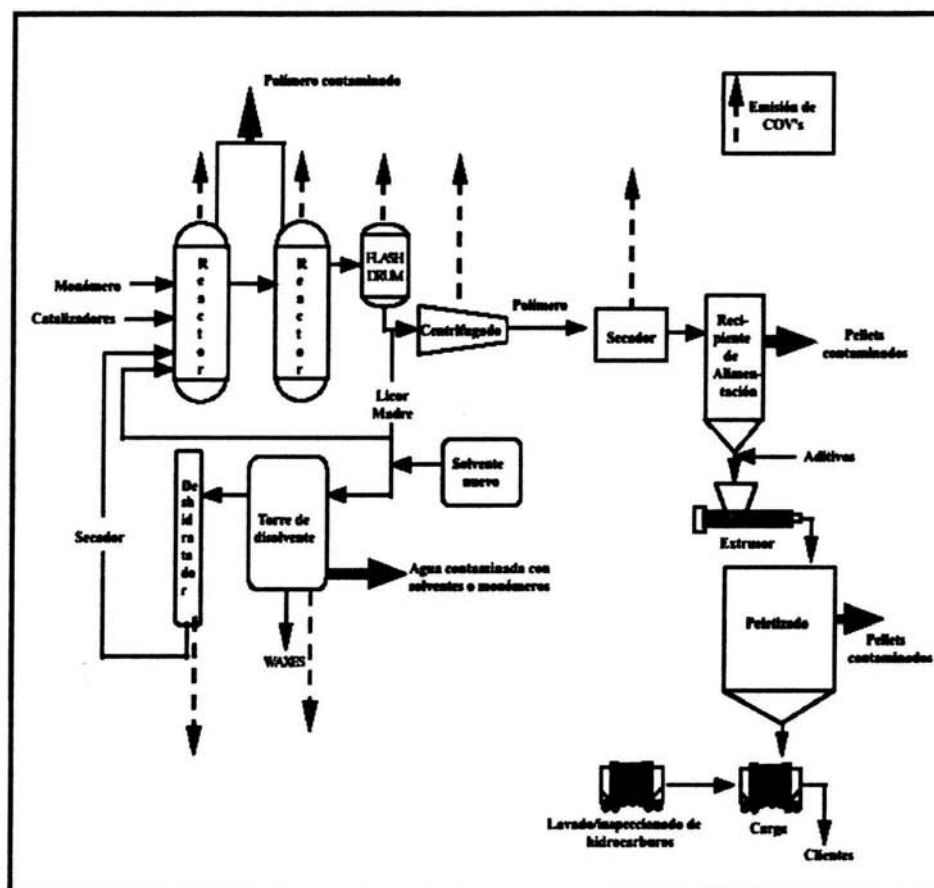


Figura 2.1. Emisiones potenciales en las operaciones de fabricación de resinas sintéticas

1. Impartición de las características apropiadas a la resina plástica mediante aditivos químicos.
2. Conversión de los materiales plásticos a partir de pellets, gránulos, polvos, láminas, fluidos o preformas, a formas plásticas finales o intermedias, mediante aplicación de

calor o presión y dándole la forma deseada al producto mediante diversas operaciones de moldeo.

3. Acabado del producto. Muchos productos plásticos necesitan de operaciones de acabado o mecanizado después de que han sido procesados para remover imperfecciones, reparar defectos, o decorar al producto. Las operaciones de acabado incluyen limado, esmerilado, pulido, aserrado, taladrado, entre otras; las operaciones de decorado incluyen pintado, recubrimiento, grabado o impresión entre otras operaciones.

Suelen emplearse para la producción de productos de plástico tanto resinas termofijas como termoplásticas. Pueden también encontrarse en el mercado, productos hechos con plásticos espumados. Estos últimos pueden producirse dentro del mismo establecimiento y ser transformados posteriormente o bien, adquirirse ya espumados para su posterior procesamiento.

Para obtener los productos de plástico se utilizan diversas técnicas de moldeo. La elección de la técnica de manufactura depende si la resina es termoplástica o termofija, además de las dimensiones, forma y cualidades físicas del producto deseado. En la Zona Metropolitana del Valle de México se utilizan diversas técnicas para obtener los productos, sin embargo, para fines de este trabajo, *solamente se describirán las técnicas más relevantes por su capacidad de transformación*, estas son:

2.2.1. Moldeo por inyección.

En este proceso una cantidad dosificada de material plástico fundido en forma homogénea es forzada por medio de altas presiones hacia la cavidad del molde relativamente frío. Tras un cierto período de tiempo solidifica la masa inyectada y la pieza puede extraerse del molde abierto. Una máquina de moldeo por inyección tiene dos secciones principales: la unidad de inyección y la unidad de cierre o prensa que aloja al molde. Se muestra a continuación el diagrama:

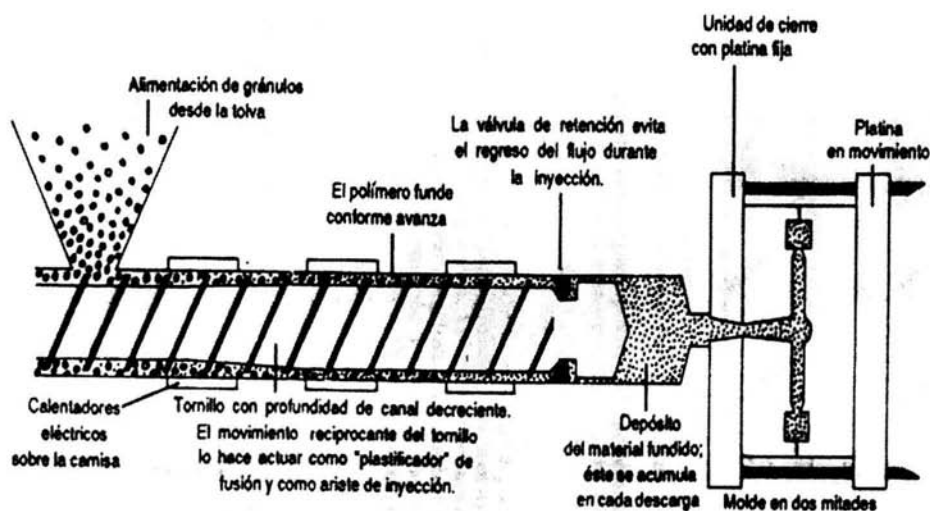


Figura 2.2. Moldeo por inyección.

Suele emplearse esta técnica de procesamiento en conjunto con el moldeo por soplado. Esta técnica así realizada recibe el nombre de **inyección-soplado** y es como sigue:

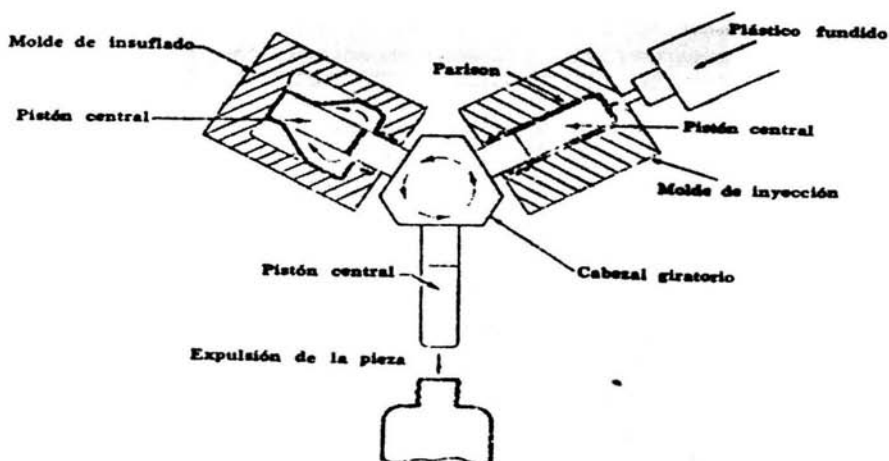


Figura 2.3. Moldeo por inyección-soplado.

Se usa una preforma moldeada por inyección (conocida como parísón). La preforma se moldea en un molde muy frío, se utiliza por lo común un líquido refrigerado para enfriarla rápidamente en su estado amorfo. Después el parísón se transfiere a un molde de soplado en el cual se recalienta hasta justo por encima de su temperatura de transición vítrea y se estira por soplado.

2.2.2 Extrusión.

Esta operación es la acción de pasar a través de un “dado” o “boquilla” un plástico o material fundido. Resultan formas plásticas muy largas, tales como tubos, láminas ó hilos recubiertos. Dentro de la máquina el polímero se funde y se homogeneiza. El polímero sólido se alimenta en un extremo y en el otro sale el material sometido a extrusión ya perfilado.

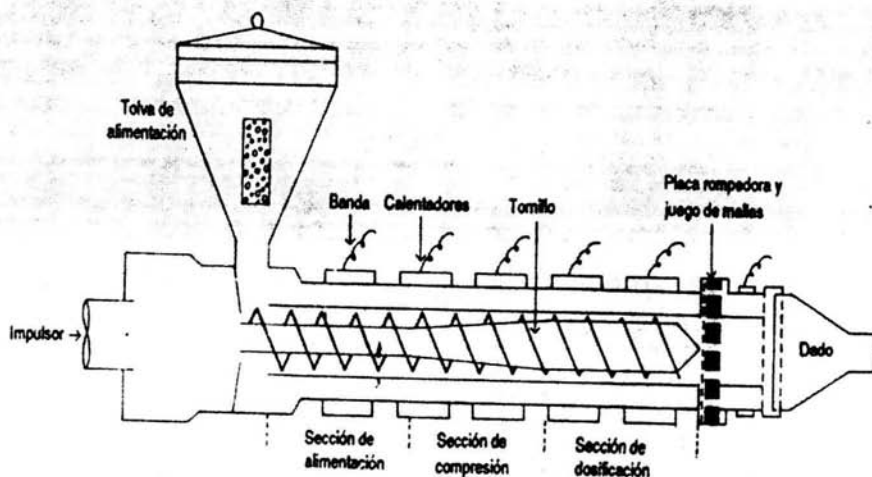


Figura 2.4. Extrusión.

Al igual que en la técnica de inyección, la extrusión se combina frecuentemente con un proceso de post-extrusión tal como el soplado (*extrusión-soplado*). Esta última usa un extrusor para formar el parison (tubo hueco). El molde cierra alrededor del parison y se inyecta aire para expandir la resina. El molde se abre tan pronto como está lo suficientemente frío para expulsar la pieza.

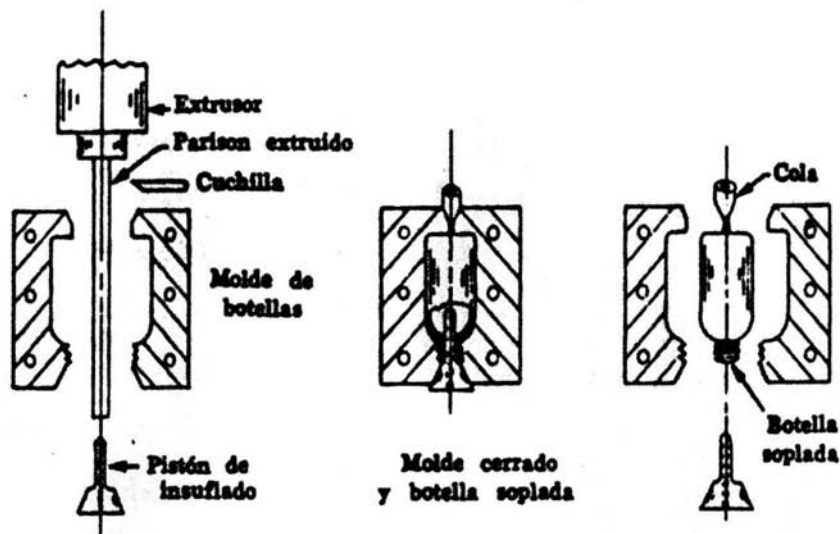


Figura 2.5. Extrusión-soplado.

2.2.3. Termoformado.

Este método consiste en calentar una lámina termoplástica al punto de ablandamiento y presionarla a través de un medio neumático contra un molde contorneado. El medio neumático puede consistir en un vacío entre el plástico y el molde, o compresión, o bien, una combinación de los dos. Este proceso es popular porque la compresión es relativamente barata.

Como se mencionó, estas técnicas son relevantes por su capacidad para transformar grandes cantidades de resina. Sin embargo, en la ZMVM también se emplean otras técnicas de

procesamiento, tales como el moldeo rotacional, moldeo por compresión, y moldeo por contacto. Así también se utilizan diversas técnicas de recubrimiento, como son el calandreo, laminación, y recubrimiento por inmersión.

La primera técnica se refiere a la formación de láminas plásticas que son presionadas entre rodillos calentados sobre una película de material; la laminación consiste de la unión y fusión de varias capas mediante calor y presión, o mediante algún adhesivo; y la última se refiere a que el sustrato es sumergido en una solución de resina.

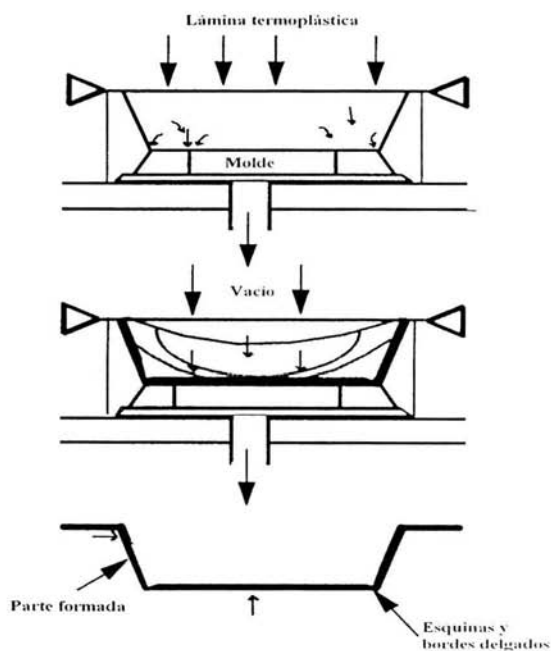


Figura 2.6. Termoformado

2.2.4. Procesamiento de espumas.

Varias de las técnicas usadas para la manufactura de productos de plástico sólido pueden ser utilizadas también para el procesamiento de espumas. Sin embargo, la manufactura de productos de plástico espumado requiere de etapas especializadas donde se introduce aire a

la mezcla plástica, o bien, agentes físicos químicos de expansión, para producir una estructura celular única. Dos espumas de mayor uso son las de poliuretano y las de poliestireno. La aplicación principal de la espuma de poliuretano es el bondeado, proceso que consiste en pegar la espuma con diferentes telas y vinilos, ya sea a la flama o mediante la unión con adhesivos. En la ZMVM se emplean en su mayoría los plásticos espumados poliestireno y poliuretano.

2.2.5. Acabado de productos de plástico.

Una vez formado el producto de plástico, ha de aplicarse un tratamiento posterior a las piezas moldeadas que incluyen entre otras, la eliminación de rebabas, ranurado, limado, y recocido. Además de las operaciones de acabado, a los productos obtenidos también se les aplica algún tipo de decoración. *En la ZMVM se utilizan como técnicas de decoración el pintado, grabado e impresión de los productos.*

2.2.6. Emisiones al aire.

En este punto se describirán la producción de artículos de poliestireno expandible, producción de espuma de poliuretano, producción de artículos de plástico reforzado, al igual que la impresión de artículos flexibles y rígidos de plástico por ser estos los que mayormente contaminan en la industria del plástico.

Básicamente durante las etapas de procesamiento para la obtención de productos de plástico se emiten *hidrocarburos y partículas*. En el siguiente esquema se muestra el tipo de contaminante, así como el punto potencial de emisión.

Las emisiones dependen grandemente de la composición química de las materias primas (resinas, aditivos) y del tipo de procesamiento utilizado. Las salidas de contaminantes durante el proceso de manufactura incluyen las siguientes: derrames, escapes y emisiones fugitivas de productos químicos; emisión de pellets de plástico al ambiente previo al moldeo; así también emisiones fugitivas provenientes de las máquinas de moldeo y

extrusión. Adicional a estos, se encuentran los contaminantes emitidos por los equipos de combustión y por los procedimientos secundarios durante las etapas de acabado y decoración.

Las emisiones contaminantes pueden ser generalmente clasificadas como sigue:

2.2.6.1. Hidrocarburos (HC's) y Contaminantes Peligrosos del Aire (CPA) resultantes de la volatilización de monómero libre o solvente durante el procesamiento de la mezcla primaria de polímero. Puede emitirse monómero libre cuando una resina sólida es calentada durante operaciones de extrusión o moldeo, por ejemplo, estireno durante la extrusión de resinas ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno), o durante el moldeo de plástico reforzado con fibra de vidrio. Pueden esperarse también emisiones de monómero libre durante el manejo de resinas suspendidas en un medio disolvente. De igual forma también podrían esperarse emisiones del solvente usado, tal es el caso de manejo de resinas termofijas, las cuales son comúnmente manejadas en forma de monómero antes de la solidificación. Se describe la fabricación de artículos de plástico reforzado con fibra de vidrio.

2.2.6.1.1. Emisiones al aire durante la producción de artículos de plástico reforzado.

Los plásticos reforzados consisten de cuerpos de fibra mezclados en la matriz de un plástico, que tiene mucho mejores propiedades mecánicas que la fibra o el plástico usados separadamente. Los materiales que se utilizan en grandes cantidades en la ZMVM son la *resina poliéster insaturada* y la *fibra de vidrio*, y en menor cantidad resinas acrílicas.

Adicionalmente se utilizan *cargas* como carbonato de calcio, talco, o mica; los *catalizadores* son generalmente peróxidos; *iniciadores* como naftenato o acetato de cobalto, dimetilnilina, etilnilina, lauril mercaptano; *agentes de desmoldeo*, como son ceras, emulsiones de ceras, soluciones acuosas de alcohol polivinílico, soluciones en solventes orgánicos; y *gel coat*. El medio de reticulación lo ofrece el medio de disolvente orgánico de la resina, el cual es *estireno*, aunque puede utilizarse también *metilmetacrilato* y *vinil tolueno*.

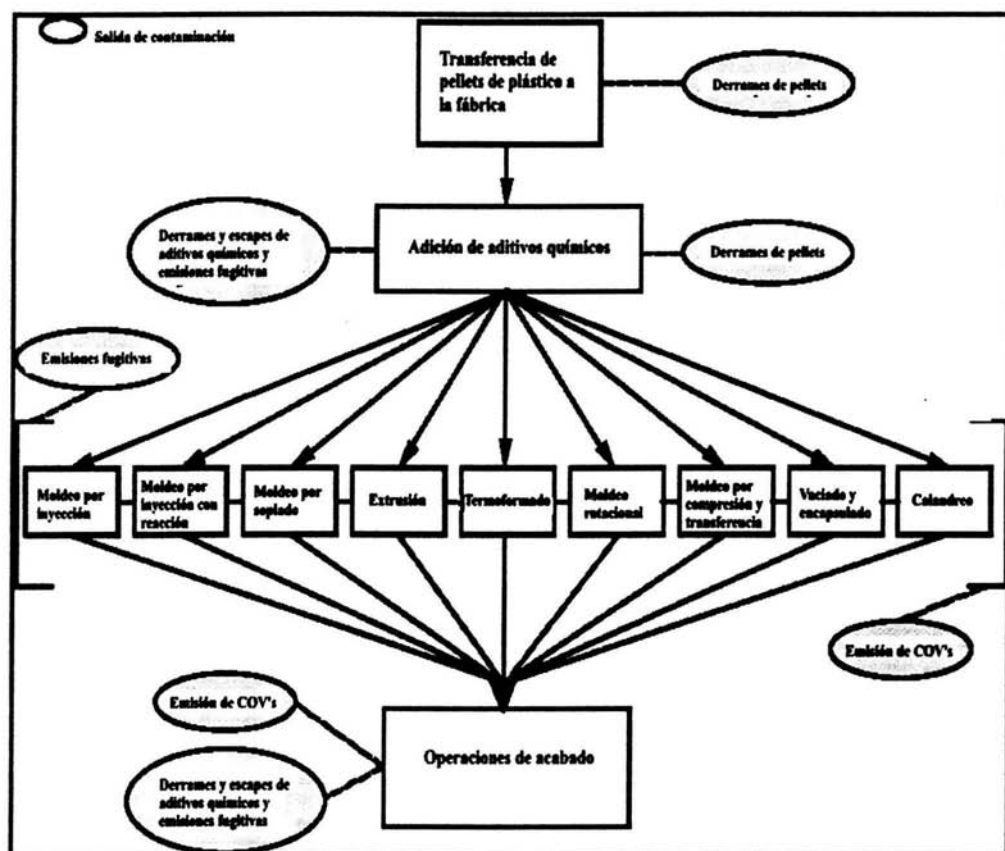


Figura 2.7. Contaminación generada en la producción de artículos de plástico.

Aunque en la industria las líneas de producción varían significativamente de una a otra, el proceso de moldeo es muy similar. La mayoría de las fábricas utilizan las siguientes etapas:

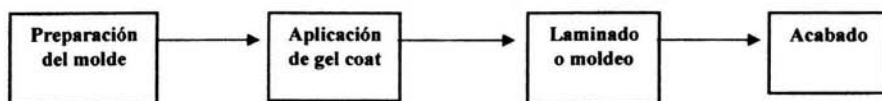


Figura 2.8. Etapas en el proceso de fabricación de artículos de plástico reforzado.

Adicionalmente se utilizan las operaciones de limpieza de equipo y de sistemas secundarios como filtración, ventilación, almacenamiento y transferencia de materias primas.

En general, las emisiones generadas en este tipo de establecimientos son *estireno*, *metilmetacrilato*, *partículas*, y *compuestos orgánicos volátiles*. El estireno y metil metacrilato se generan de la resina poliéster y del gel coat. Las partículas se generan de las operaciones de acabado, como son esmerilado, taladrado, pulido, entre otros. Principalmente de la operación de lavado de equipo se generan hidrocarburos como acetona, tolueno, xileno y diversos alcoholes.

2.2.6.2. Hidrocarburos y Contaminantes Peligrosos del Aire, los cuales resultan de los materiales de procesos secundarios, tales como agentes de expansión, aditivos, lubricantes (compuestos liberadores del molde) y solventes. Un ejemplo de esto es el siguiente proceso:

2.2.6.2.1. Emisiones al aire durante la producción de artículos de poliestireno expandible.

Las operaciones de moldeo de artículos de poliestireno expandible (EPS) generan principalmente emisiones del agente de expansión *pentano*. Este proceso consta de 3 etapas principales:

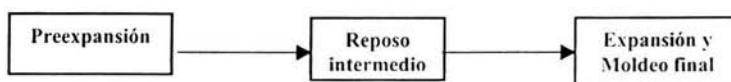


Figura 2.9. Proceso de producción de artículos de poliestireno expandible.

En la etapa de preexpansión la materia prima se calienta con vapor de agua (entre 80 y 100 °C) con lo que disminuye la densidad aparente del material de unos 630 kg/m³ a densidades que oscilan de entre 10-30 kg/m³. Las perlas compactas de poliestireno se convierten en perlas de plástico celular con pequeñas celdillas que contienen aire en su interior. Saliendo de esta etapa, la materia prima se conduce a silos ventilados en los que reposa por un tiempo, durante el cual se compensa con aire el vacío creado en las esferas durante la etapa

de preexpansión. Terminada la etapa de reposo, la materia prima se conduce hacia equipos moldeadores, en los cuales mediante acción de vapor, las perlas de poliestireno se expanden nuevamente y sueldan entre sí, tomando la forma del molde. Las emisiones de pentano ocurren de la siguiente manera:

Tabla 2-2. Emisión de pentano en las diversas etapas de producción de artículos de poliestireno expandible.

Etapa del proceso	Pentano emitido (%)	
	Fuente: CITEPA ¹	Fuente: EEA ²
Transporte/almacenamiento de materia prima		8
Preexpansión	29 a 37	27
Reposo intermedio	5 a 20	17
Expansión y moldeo final	4 a 6	25
Pentano residual en el producto	40 a 55	23

Otro ejemplo de emisiones de agente de expansión se muestra con la *fabricación de espumas de poliuretano*. En la manufactura de espumas flexibles, generalmente se usa agua; en las espumas rígidas generalmente se utilizan líquidos orgánicos, tal como clorofluorocarbonos, que ahora comienzan a ser reemplazados por alcanos. *Estos compuestos orgánicos son volatilizados principalmente de los equipos de reacción*. De acuerdo a una estimación en Alemania, solamente del 15 al 25% del total de agente de expansión aplicado es lanzado inmediatamente y el resto, queda almacenado en las células de la espuma y es lanzado eventualmente, puede tardar años para que todo el agente de expansión sea lanzado a la atmósfera.

Otro ejemplo de emisión al aire son las sustancias que son rociadas en la cavidad del molde como agentes de lubricación, los cuales previenen que el material plástico quede adherido a sus superficies. Algunos de estos agentes de separación contienen vehículos solventes, que se evaporan inmediatamente cuando son rociados en la cavidad del molde.

¹ Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, 2002.

² Environment European Agency, 1999.

2.2.6.2.2. Emisiones al aire durante la producción de artículos de plástico impresos.

La impresión de películas plásticas es una *fuerza importante* de contaminación por la *emisión de hidrocarburos*, emitidos principalmente de la preparación de tinta, laminado e impresión, en donde se utilizan adhesivos base agua y base solvente y *disolventes tales como acetato de etilo, tolueno, alcohol etílico, alcohol isopropílico y thinner o acetona*. Para materiales plásticos flexibles (bolsas, manteles, etc.) se utilizan principalmente las técnicas de flexografía y rotograbado, y para los plásticos rígidos (vasos, platos, envases, etc.) se utiliza principalmente serigrafía.

2.2.6.3. Hidrocarburos, CPA y Partículas (PM). Los Hidrocarburos y CPA pueden ser generados de las reacciones químicas que ocurren como parte directa de los procesos, como en el caso de procesamiento de resinas termofijas; o como resultado indirecto de los procesos en el medio ambiente. Puede haber también degradación térmica de aditivos.

Las emisiones fugitivas de los procesos de moldeo pueden representar una preocupación ambiental porque diversos aditivos (incluyendo cadmio y plomo) pueden ser lanzados durante la aplicación de calor elevado y presión; también subproductos formados por reacciones químicas o formadas durante el calentamiento de resinas. Por ejemplo: *formación de ácido clorhídrico en la degradación de policloruro de vinilo durante su calentamiento, lo mismo que en las operaciones de termoformado*. Otro ejemplo es la emisión de diversos hidrocarburos durante la extrusión de polietileno (de alta, baja, media densidad), o la emisión de estireno durante el cortado con alambre caliente de placas de poliestireno expandido.

2.2.6.4. Partículas.

Estas son generadas durante el manejo de materias primas y durante las operaciones de acabado. Una preocupación ambiental durante los procesos de manufactura de productos de plástico es la descarga potencial de aditivos químicos antes del moldeo y durante los procesos de terminado. Debe observarse que no todos los productos de plástico

manufacturados usan aditivos porque muchos pellets comprados ya contienen los aditivos necesarios, haciendo este tipo de contaminación irrelevante para muchos establecimientos.

Las partículas emitidas están compuestas de partículas sólidas y de aerosoles a base de hidrocarburos. Las partículas sólidas son generadas durante el pulido, cortado, aserrado, taladrado, lijado, entre otros; también son producidas durante el transporte manual y neumático, y el subsecuente manejo de materiales poliméricos (pellets) y aditivos.

Aunque los productos químicos usados en la manufactura de productos plásticos son adicionados usualmente en pequeñas cantidades, algunos de los aditivos pueden ser tóxicos y por lo tanto aún en pequeñas cantidades pueden presentar problemas significativos. Los aditivos usados incluyen: lubricantes, antioxidantes, antiestáticos, agentes de expansión, pigmentos, retardantes de flama, estabilizadores de calor, peróxidos orgánicos, plastificantes y estabilizadores de UV.

2.2.6.5. Sustancias emitidas por procesos de combustión.

Además de los contaminantes mencionados, se emiten principalmente por combustión: monóxido de carbono, bióxido de azufre, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. También bióxido de carbono y metano como gases de efecto invernadero. Todos ellos provenientes de los equipos de combustión como pueden ser mezcladoras, máquinas de rotomoldeo, oxidadores térmicos (para control de la contaminación), y calderas para generación de vapor.

2.3. FABRICACIÓN DE FIBRAS SINTÉTICAS.

La palabra fibra designa filamentos que poseen considerable resistencia a la tracción, gran tenacidad y mucha flexibilidad. Es una estructura cuyo diámetro no suele ser superior a 0,05 cm., siendo su longitud más de 100 veces mayor que su diámetro. Los materiales que han sido útiles como fibras son los polímeros con un alto grado de orden lateral (cristalinidad) y fuerte interacción de cadenas adyacentes.

Hay dos tipos de fibras sintéticas:

1. Las semisintéticas o celulósicas. Por ejemplo rayón viscosa, acetato de celulosa.
2. Las verdaderamente sintéticas. Estas son las fibras poliéster, nylon, acrílico y modacrílico, y las poliolefinas.

Los polímeros son centrales para la manufactura de fibras sintéticas. Por ello, en las plantas de fabricación de fibras, los equipos de polimerización pueden estar unidos directamente a los procesos de hilado.

2.3.1. Proceso de hilado.

Las fibras sintéticas se forman forzando un fluido viscoso o una solución de polímero a través de los orificios o capilares de un hilador y solidificando o precipitando inmediatamente los filamentos resultantes.

Hay dos métodos fácilmente distinguibles para su fabricación:

a) Hilado en fundido.

Este proceso usa *calor* para fundir el polvo o pellets de polímero hasta una viscosidad apropiada para la extrusión, o bien, se usa el polímero fundido que proviene directamente del proceso de polimerización. Durante la polimerización o la extrusión se pueden añadir diversos aditivos. El polímero fundido es bombeado hacia un filtro el cual puede retener precipitado de catalizador o aditivos, así como partículas de gel o sólidos. El polímero fundido es extruido a alta presión a través del hilador en un flujo de aire relativamente frío, el cual solidifica los filamentos (Fig. 2.10). Los lubricantes y los aceites de acabado son aplicados a las fibras en la celda de hilado, lo cual sirve para proveerles ciertas propiedades necesarias para operaciones subsecuentes. Estas operaciones incluyen: estirado, lubricación, rizado, cortado, y trenzado.

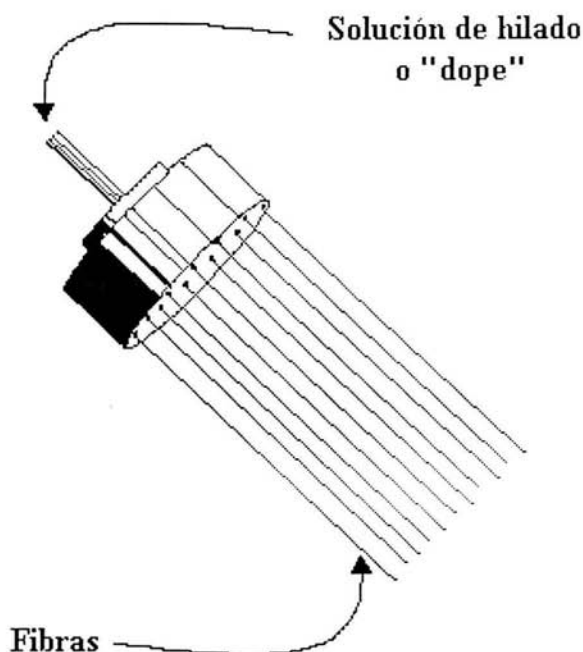


Figura 2.10. Producción de fibras mediante hilado en fundido.

Dado que el hilado en fundido no requiere del uso de solventes, las emisiones de hidrocarburos son significativamente menores que las de procesos de hilado en solvente (seco o húmedo). Los lubricantes y aceites aplicados se vaporizan, condensan y calecen como aerosoles, primeramente de las operaciones de hilado, aunque ciertas operaciones de post-hilado podrían también aumentar esas emisiones.

b) Hilado en solvente.

Este usa grandes cantidades de solventes orgánicos (los cuales son recuperados usualmente por razones económicas) para disolver el polímero en una solución de fluido adecuada para el hilado. Las operaciones de hilado en solvente pueden ser: *hilado en seco* o *hilado en húmedo*.

Hilado en seco. Este proceso es usado para polímeros que se disuelven fácilmente, tal como acetato de celulosa, acrílicos y modacrílicos. El proceso comienza disolviendo el polímero en un solvente orgánico. Esta solución es mezclada con aditivos y es filtrada para producir una solución viscosa de polímero, conocida como "dope". La solución de polímero es entonces extruída a través del hilador en una zona de gas o vapor caliente.

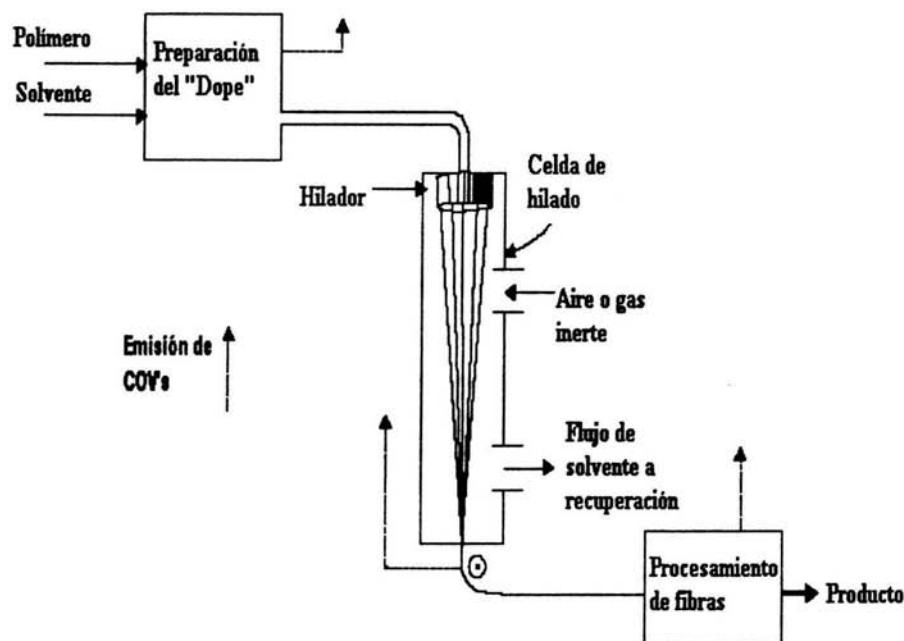


Figura 2.11. Diagrama general del hilado "en seco".

El solvente evapora en un flujo de gas (típicamente aire o nitrógeno) y deja solidificados los filamentos. Posteriormente los filamentos son pasados a un baño de agua para remover el solvente residual. El agua usada para tal propósito comúnmente es reciclada. Estos baños pueden ser seguidos por sistemas de carbón activado para adsorber el solvente del aire del proceso.

El hilado en seco es el proceso de formación de fibras que potencialmente emite la mayor cantidad de hidrocarburos por tonelada de fibra producida. Las emisiones al aire incluyen

monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, y otros compuestos orgánicos usados en el procesamiento de fibras. La mayor cantidad de solvente no recuperado es emitido del hilado y secado de las fibras.

Otras fuentes de emisión incluyen la preparación del dope (disolución del polímero, mezclado y filtración del dope), procesamiento de fibras, (estiramiento, lavado, y rizado) y la recuperación de solventes.

Hilado en húmedo.

Este proceso también usa solvente para disolver el polímero y preparar el "dope". Los solventes utilizados comúnmente son dimetilformamida (DMF), dimetilacetamida (DMAc), o acetona, tal y como se hacen en el hilado en seco; aunque también puede usarse un ácido inorgánico débil, como cloruro de zinc, o tiocianato de sodio acuoso.

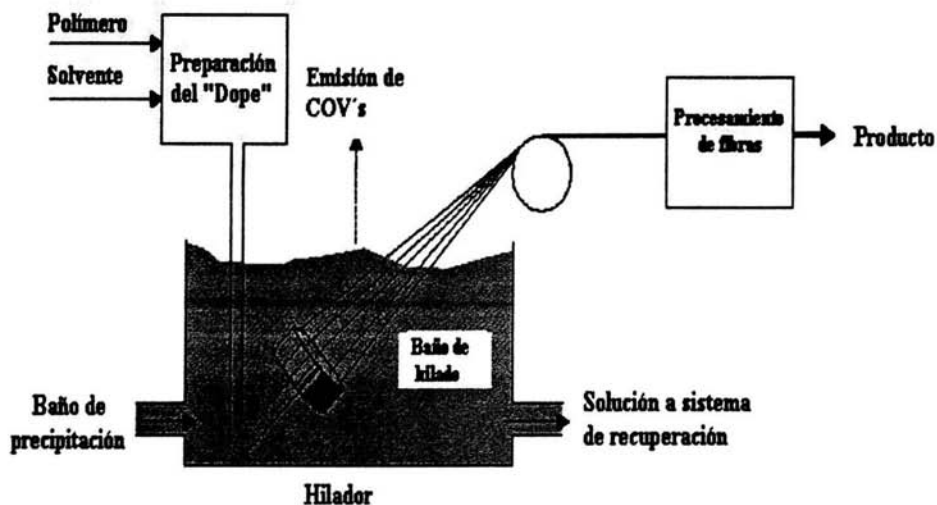


Figura 2.12. Diagrama general del hilado "en húmedo".

En este tipo de hilado la solución es extruída dentro de un baño de precipitación que contiene un coagulante (o un precipitante), tal como dimetilacetamida acuoso o agua. La precipitación o coagulación ocurre por difusión del solvente fuera de la hebra y por difusión del coagulante al interior de la hebra. Los filamentos obtenidos se pasan a través de baños adicionales para lavar y remover solvente residual, los filamentos también pueden ser sometidos a uno o más procesos de tratamiento adicionales, como los ya mencionados.

Los puntos de emisión de contaminación al aire son similares a los descritos para el hilado en seco. Los procesos en húmedo que utilizan soluciones de ácido o sales inorgánicas para disolver el polímero no emiten solventes, solamente monómero sin reaccionar y son por lo tanto, relativamente limpias desde el punto de vista de la contaminación del aire.

Un tercer método, el *hilado con reacción*, también se usa pero es mucho menos extenso. Este proceso involucra la formación de filamentos de prepolímeros y monómeros que son posteriormente polimerizados y unidos después de que el filamento es formado. Este método es típicamente usado para fabricar spandex y rayón.

Las fibras sintéticas adquieren mayor orden lateral durante el proceso de estirado e hilatura, cuando las cadenas de polímero se orientan y se acercan entre sí de manera que interactúan fuertemente.

El proceso de hilado para un polímero en particular es determinado por el punto de fusión del polímero, la estabilidad del fundido y la solubilidad en solventes orgánicos y/o inorgánicos.

2.3.2. Tratamiento de la fibra.

Una vez que se ha formado la fibra en la mayoría de los casos se le da un tratamiento para impartirle ciertas cualidades. El acabado del proceso de hilado incluye la aplicación de lubricantes y aceites de acabado para facilitar las posteriores etapas de tratamiento. Las fibras pueden ser procesadas ya sea como *filamento continuo* o como *filamento corto*.

Filamento continuo. En la base de los orificios del hilador, una hebra guía converge los filamentos individuales para producir un hilo de filamento continuo, que típicamente está compuesto de entre 15 y 100 filamentos. Una vez formado, el hilo puede ser inmediatamente enredado en bobinas o tratado para darle ciertas características deseadas de uso final. Los filamentos son comúnmente estirados para alinear y orientar las moléculas del polímero. Se puede aplicar el texturizado a resinas termoplásticas, el cual incluye ondulado, y trenzado o enliado.

Filamento corto. Estas son hilos cortados en longitudes específicas, para uso de las manufactureras textiles. Para esto, se formada una estopa por acumulación de cientos de filamentos continuos en un manojo. El cual es posteriormente extendido sobre una banda para ser estirado, después de lo cual, la fibra puede ser calentada y rizada para cambiarle sus propiedades tangibles. Esta puede ser convertida en filamento corto por simple cortado en longitudes específicas, usualmente entre 1.5 y 6 pulgadas.

2.3.3. Emisiones al aire.

Por cada libra de fibra producida con el proceso de hilado en solvente, un kilogramo de polímero es disuelto en alrededor de 3 kilogramos de solvente. Debido al valor económico de la gran cantidad de solvente usado, la captura y recuperación de estos solventes son una parte integral de los procesos de hilado en solvente. A continuación se muestran los contaminantes y puntos representativos de emisiones al aire, de acuerdo al tipo de fibra fabricado:

En la actualidad, del 94 al 98 % de los solventes usados en la formación de fibras son recuperados. En ambos procesos (seco y húmedo) los sistemas de captura con subsecuente recuperación de solventes, son aplicados mas frecuentemente solamente a las operaciones de hilado de fibras, debido a que esta contiene la más alta concentración de solvente y por lo tanto, poseen el mas alto potencial económico y de eficiencia de recuperación.

Tabla 2-3. Tipo de emisión en las etapas de fabricación de fibras sintéticas.

Método de hilado	Tipo de fibra producida	Emisión al aire
Hilado en fundido	Poliéster	Agentes de acabado (p.ej. lubricantes, aceites).
	Nylon 6	Agentes de acabado (p.ej. lubricantes, aceites).
	Nylon 66	Agentes de acabado (p.ej. lubricantes, aceites).
	Poliiolefina	Agentes de acabado (p.ej. lubricantes, aceites).
Hilado en solvente		
Hilado en "seco"	Acetato de celulosa	Monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, agentes de acabado.
	Triacetato de celulosa	Monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, agentes de acabado.
	Acrílico	Monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, agentes de acabado.
	Modacrílico	Monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, agentes de acabado.
	Vinyon	Monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, agentes de acabado.
	Spandex	Monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, agentes de acabado.
Hilado en "húmedo"	Acrílico	Monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, agentes de acabado.
	Modacrílico	Monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, agentes de acabado.
Hilado con reacción	Spandex	Monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, agentes de acabado.
	Rayón (proceso viscoso)	Monómero residual volatilizado, solventes orgánicos, aditivos, agentes de acabado.

La cantidad de flujo de aire relativamente alto que es requerido para reducir la concentración de solvente y monómero alrededor de las líneas de proceso para tener límites aceptables de salud y seguridad hacen que la recuperación sea económicamente inactiva.

La mayor cantidad de emisiones de Hidrocarburos del pre-hilado (preparación del dope, por ejemplo) y de las operaciones de post-hilado (lavado, estirado, rizado) típicamente no son recuperadas para su rehuso. En muchos casos, las emisiones de estas operaciones son capturadas por los toldos o completamente encerradas para prevenir la exposición de los trabajadores a los vapores de solvente y monómero sin reaccionar.

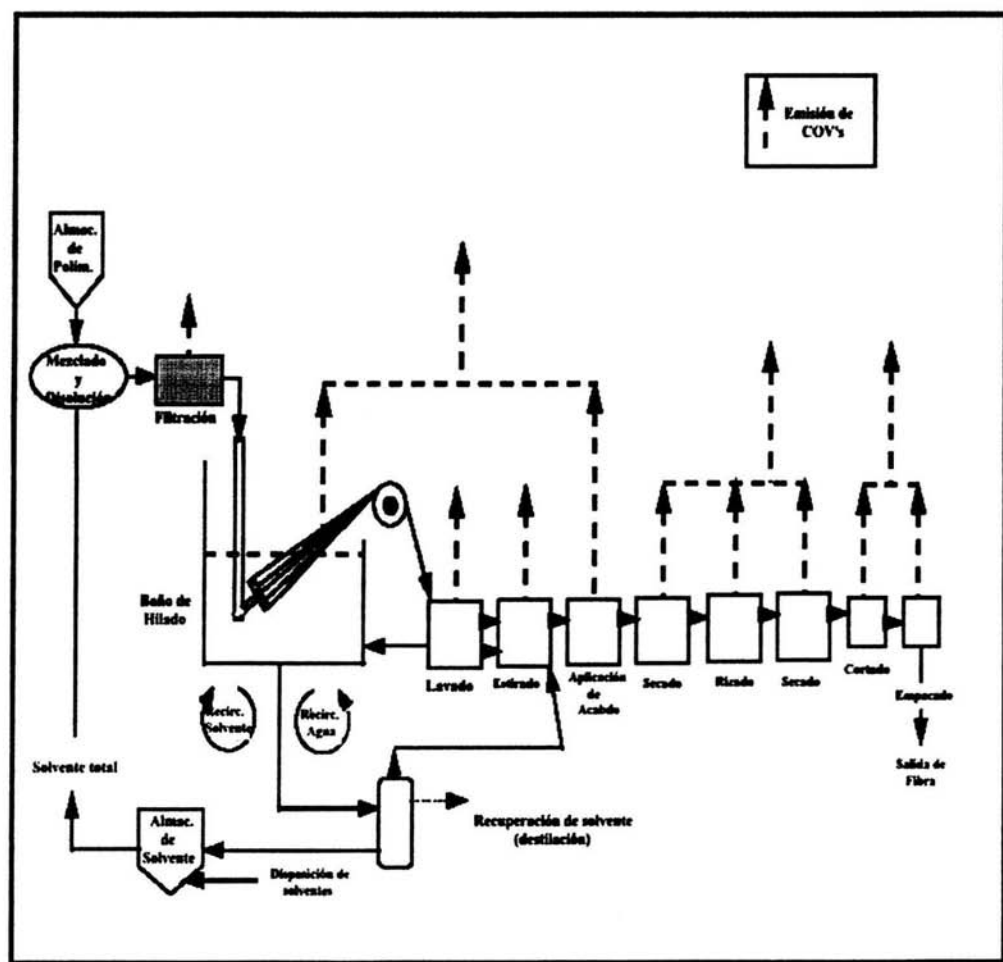


Figura 2.13. Emisión de hidrocarburos durante las operaciones de fabricación de fibras sintéticas.

El examen de emisiones contaminantes de hidrocarburos de la industria de las fibras sintéticas se ha concentrado recientemente en aquellos procesos de producción de fibras que usan solventes orgánicos para disolver el polímero para extrusión o que usen algún solvente orgánico en algún otro camino durante la etapa de formación de filamento. Tales procesos, los cuales representan tan solo el 20% del total de la producción industrial, genera alrededor del 94% del total de las emisiones de hidrocarburos en la industria. La emisión de partículas de las plantas de fibras es *relativamente baja*, en un orden de magnitud mas bajo que la emisión de hidrocarburos.

Recuperación de solventes. Los sistemas de recuperación usados incluyen adsorción, condensación y destilación, y son específicos para un tipo particular de fibra o método de hilado. Por ejemplo, la destilación es típica en el proceso de hilado en húmedo para recuperar el solvente del baño de hilado, estiramiento, y lavado, mientras que los condensadores (scrubbers) son típicos en el proceso de hilado en seco para la recuperación de solvente de la celda de hilado.

CAPITULO III

CAPITULO III.

PROCESOS INDUSTRIALES Y EMISIONES AL AIRE EN LA INDUSTRIA DEL HULE.

Por ser un material plástico, el hule se puede extender, cementar, calandrar, moldear, extruir, aplicar con pistola, hacer masilla, o envolver para producir casi cualquier forma. Se puede recubrir sobre tela, plástico o metal, y se puede obligar a penetrar en ranuras.

La industria del hule es tan variada como la diversidad de productos producidos. Los productos de hule son principalmente neumáticos y otros artículos de hule como bandas, cinturones, correas, mangueras, productos moldeados, sellos o empaques y productos para techado. Comenzaremos con una breve explicación del proceso de fabricación de artículos de hule.

3.1. PRODUCCIÓN DE ARTÍCULOS DE HULE.

En los procesos de manufactura de estos artículos se pueden identificar etapas que son comunes a las empleadas por la mayoría de las empresas. Estas son las siguientes:

3.1.1. Mezclado.

Previamente a la etapa de mezclado, se lleva a cabo la *trituration y el apisonamiento* (la cual no se muestra en el diagrama). Con esto se previene la formación de calor durante la etapa de mezclado, ya que si las láminas de hule que llegan como materia prima se pasaran directamente al mezclador banbury, este realizaría un gran esfuerzo y simplemente no se podría llevar a cabo la operación.

El proceso de manufactura comienza con la producción de una mezcla de hule, negro de carbón (primer relleno usado en la elaboración de la mezcla), aceites de extendido y

diversos productos químicos como ayudantes de proceso, agentes de vulcanización, activadores, aceleradores, antioxidantes, suavizantes y materiales especiales.

El mezclado de hule involucra el pesado y acarreado de los ingredientes apropiados dentro de un mezclador interno conocido como “mezclador banbury”, el cual es usado para combinar estos ingredientes. Los polímeros y productos químicos se introducen manualmente dentro del depósito de alimentación del mezclador, mientras que el negro de carbono y los aceites son inyectados directamente dentro de la cámara de los sistemas de almacenamiento. El mezclador crea una masa homogénea de hule mediante el uso de dos rotores. Esta acción mecánica también añade considerable calor al hule.

La masa de hule es descargada en un molino, el cual forma una tira o una lámina. El hule caliente y pegajoso pasa a través de una solución antiadherente base agua que evita que las láminas queden juntas cuando se enfrían a temperatura ambiente. Las láminas son puestas sobre una banda transportadora, sobre la cual por aplicación de aire o agua fría, baja la temperatura de las láminas de hule. *Los procesos de mezclado de hule incluyen todas estas etapas: mezclado banbury, molino (u otro medio de laminado), cubierta de solución anti-adherente, y enfriamiento.*

3.1.2. Molienda.

Después del enfriamiento las hojas de hule son enviadas a otros molinos. Estos son los encargados de preparar el hule para el proceso posterior, ya sea extrusión o calandrado. Algunos extrusores pueden ser alimentados en frío, haciendo esta etapa innecesaria.

3.1.3. Extrusión.

La extrusión transforma el hule en varias formas o perfiles. La extrusión calienta el hule y permanece así hasta que entra a un baño de agua o un rociador donde es enfriado.

3.1.4. Calandreo.

El calandreo involucra la aplicación de hule sobre acero o fibras, usando un cierto número de rodillos.

3.1.5 Ensamblado.

Los componentes de hule extruídos y calandrados son combinados con alambre, poliéster, aramidas, y otros materiales de refuerzo para la obtención de varios productos. Algunas veces se usan adhesivos (cementos) para reforzar la unión de las capas del producto. El ensamblado, operaciones de refuerzo, pre-curado, y los procesos de unión son referidos todos juntos como la etapa de *ensamblado*.

3.1.6 Curado (vulcanización).

Todos los productos de hule se someten a la vulcanización (curado). La vulcanización es completada en moldes calientes a presión, en recipientes calentados con vapor a presión (autoclaves), o con aire caliente y hornos de microondas, o bien, en varias unidades de lecho fluidizado. Durante el proceso de curado, se forma un producto durable, elástico y termofijo.

3.1.7. Operaciones de acabado.

Las operaciones de acabado pueden incluir *esmeritado*, *impresión*, *lavado*, *secado*, y *pulido*. Como se indicó inicialmente, debido a la diversidad de productos e instalaciones, no todas las etapas mencionadas son necesarias para cada producto. Por ejemplo, muchas plantas no mezclan el hule, sino que lo compran en otras fábricas.

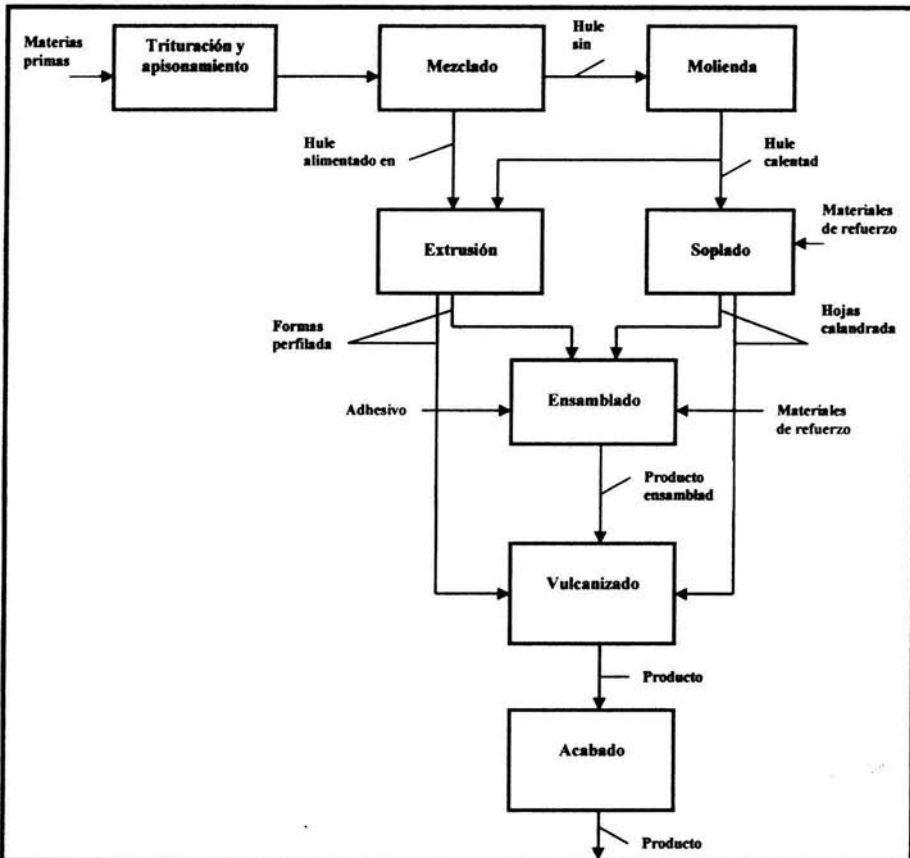


Figura. 3.1. Proceso de manufactura de artículos de hule.

3.1.8. Emisiones al aire.

En la industria del hule principalmente se encuentran emisiones fugitivas, emisión de residuos sólidos y residuos peligrosos. Los puntos potenciales de emisión se muestran en la Figura 3.2.

En el área de compuesto, se pesan los productos químicos (secos), y se ponen en contenedores antes del mezclado. Esta área puede ser una *fuentes de emisiones fugitivas* y posiblemente también de *derrames y escapes*. Los productos químicos son puestos en

compartimentos abiertos a gran escala, incrementando así el potencial de emisiones fugitivas de *polvos*.

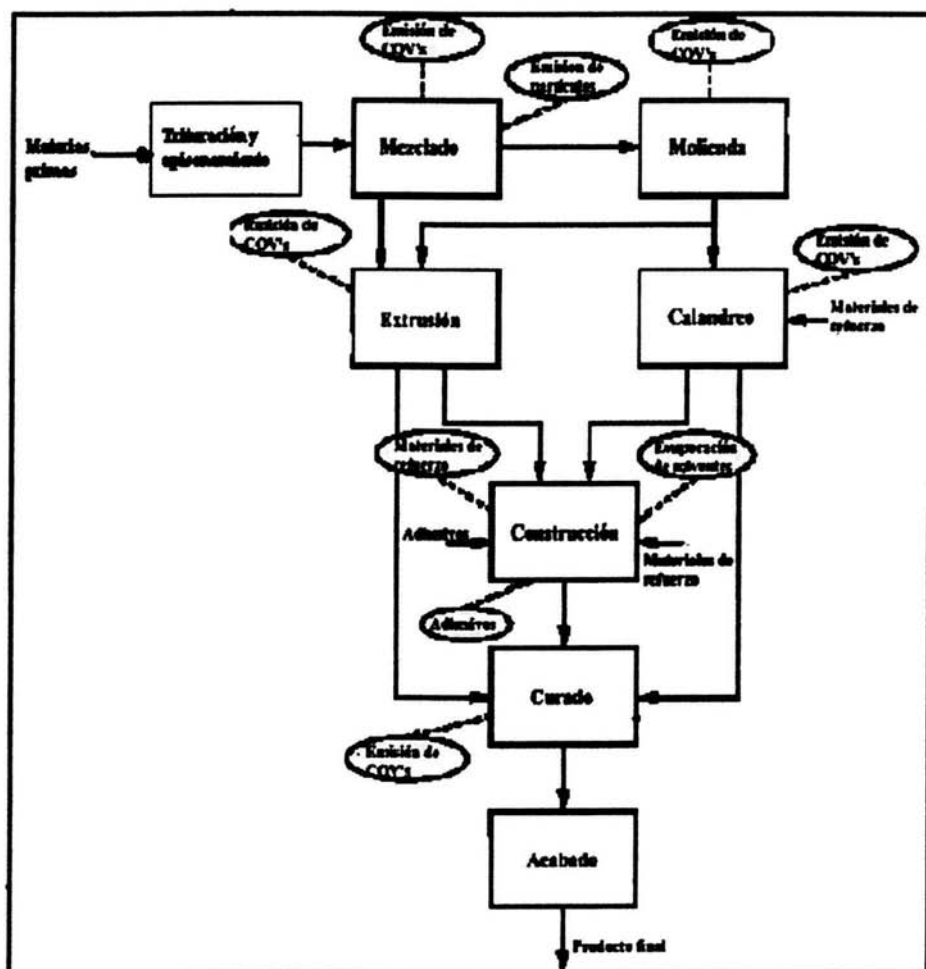


Fig. 3.2. Puntos de emisión durante la manufactura de artículos de hule.

La mayoría de establecimientos han eliminado este problema comprando sus productos químicos en pequeñas cantidades prepesadas y en bolsas selladas de polietileno. Estas,

se colocan directamente en el Banbury, eliminando así una operación formadora de polvo. Si los productos químicos no están en bolsas prepesadas, se producen emisiones fugitivas cuando estos son cargados en el mezclador.

La siguiente lista incluye los productos químicos mayormente usados en los compuestos de hule y los procesos de mezclado, los cuales pueden constituir emisiones fugitivas:

- Ayudantes de proceso. Compuestos de zinc.
- Aceleradores. Compuestos de zinc, tiourea etileno, dietanolamina.
- Activadores. Compuestos de níquel, hidroquinona, fenol, alfa-naftilamina, p-fenilendiamina.
- Restauradores de envejecimiento. Compuestos de selenio, zinc, y de plomo.
- Iniciadores. Peróxido de benzoilo.
- Activadores aceleradores. Compuestos de zinc, de plomo y de amonio.
- Plastificantes. Dibutilftalato, dioctilftalato, y bis (2 etil hexil adipato).
- Ingredientes diversos. Bióxido de titanio, compuestos de cadmio, colorantes orgánicos, compuestos de antimonio.

La emisión de hidrocarburos (HC's) son una preocupación ambiental en los procesos de manufactura de productos de hule. Se tienen datos de emisiones de hidrocarburos resultantes del mezclado, molienda, extrusión, calandreo, vulcanización y pulido. Aunque se encontraron emisiones extremadamente bajas de hidrocarburos por cada libra de hule procesado, los grandes establecimientos procesan también grandes cantidades de hule, mostrando el potencial significativo de emisiones de hidrocarburos.

La evaporación de solventes es otra fuente de emisión de hidrocarburos. Los solventes se usan en distintas cantidades durante la manufactura de productos de hule. Por ejemplo, son usados para desengrasar equipos y herramientas; y como un tipo de pegamento durante el ensamblado. En algunos establecimientos, se rocía en las cavidades de los moldes algunos compuestos como agentes desmoldantes, produciendo emisiones fugitivas significativas.

Además de las emisiones provenientes de la línea de producción, se suman aquellas provenientes de los equipos de combustión para la producción de vapor necesario para la vulcanización.

3.2. FABRICACIÓN DE LLANTAS NEUMÁTICAS Y CÁMARAS.

El neumático no solo es la piedra angular de la industria del hule, sino de la mayoría de las superestructuras. El neumático está constituido aproximadamente por 50% de hule en peso, y de éste, 35% se encuentra en la banda de rodamiento, 15% en la pared, 35% en la carcasa, y 15% en el revestimiento. En la Figura 3.3 se aprecian las partes que conforman una llanta neumática.

El revestimiento está formado por hule butílico por su impermeabilidad al aire. La banda de rodamiento de los neumáticos de automóviles está formada por hule butadieno-estireno (SBR) y hule de polibutadieno en proporción de 3:1 aproximadamente. La carcasa, debido a sus requerimientos de flexibilidad, está hecha de una mezcla de hule natural y SBR. Entre los otros componentes se encuentran el negro de humo y las cuerdas.

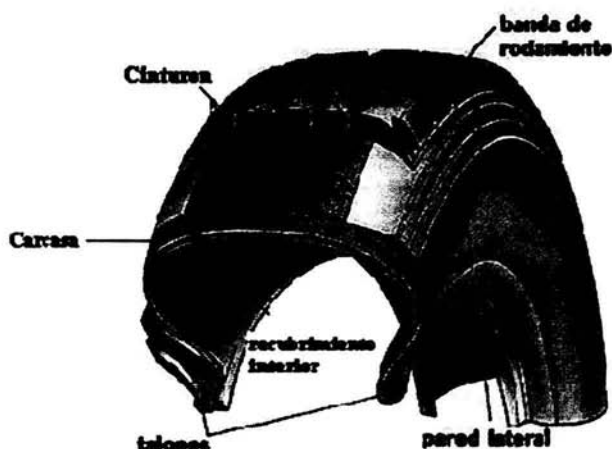


Figura 3.3. Partes constituyentes de una llanta neumática.

El proceso de manufactura de llantas neumáticas es similar al de fabricación de productos de hule, la mayor diferencia es que el proceso de ensamblado de la llanta es mucho más complejo porque involucra varios componentes de hule. El proceso de fabricación incluye las siguientes etapas:

3.2.1. Preparación de compuestos específicos.

Esta etapa incluye como primer paso el mezclado de elastómeros, negro de humo, pigmentos, y otros compuestos químicos tales como agentes de vulcanizado, aceleradores, plastificantes, e iniciadores, todos previamente pesados. Esto se realiza en la sala de mezclas, en donde los ingredientes se pasan mediante una cinta transportadora a la cámara de mezclas; en ésta, la mezcla se amasa constantemente hasta obtener una masa homogénea.

3.2.2. Laminado.

Esto se lleva a cabo moliendo el compuesto en un molino de rodillos, extruído en láminas o granulado. El material laminado puede recubrirse con una solución antiadherente que previene que este se pegue durante el almacenamiento.

El lote de hule formulado y mezclado debe transformarse en alguna de las partes finales de la llanta. Esto consiste de 3 procesos paralelos:

3.2.2.1. Formación de banda lateral y de rodamiento.

La formación de la banda de rodamiento incluye el molido, extrusión, enfriado y formación de la banda.

3.2.2.2. Producción de talón.

El núcleo del talón lo constituyen cables de acero especial retorcidos y con forma de anillo. Para su formación se realiza el recubrimiento con hule de estos cables de acero y su posterior recorte. Los anillos son completados por un método de elaboración que se realiza a máquina.

3.2.2.3. Producción de cuerdas y cinturones.

La carcasa está compuesta de varias capas de fibras textiles, o bien, de varias capas de acero recubiertos con hule. Para su obtención se recubren telas con hule por medio de calandreo, siguiendo posteriormente el recorte con guillotina para alcanzar el ancho deseado de lo que será el cinturón de la llanta. Estas se añaden posteriormente al cinturón de acero real, que llega a tener dos o más capas en diversas direcciones. El exceso de hule del recorte se recicla al molino de alimentación.

3.2.3. Ensamblado.

Los productos obtenidos en los pasos anteriores se unen para ensamblar la llanta sobre un bastidor rotatorio colapsable. En este se introduce el material a mano anticipadamente confeccionado y exactamente ajustado. Las capas de la carcasa se colocan de una sola vez, el cinturón es encementado para proporcionar resistencia adicional. Los dos talones se empujan por ambos lados encima de la carcasa, que todavía se encuentra en forma cilíndrica y se fijan doblando los extremos de la capa de recubrimiento.

En esta etapa las bandas laterales y las bandas de rodamiento son enrolladas alrededor del tambor sobre el cinturón. En ese momento se produce el abombamiento (forma redonda de la carcasa). La presión del aire es quien abomba a cada una de las capas hasta llegar al alma interior del cinturón. Posteriormente se adicionan las capas de recubrimiento y el perímetro correspondiente de rodadura. El resultado es el neumático en bruto llamado "neumático verde", el cual no es elástico ni resistente y aún no tiene dibujo.

3.2.4. Rociado de la llanta verde (Green-tyre spraying).

Se lubrica (mediante rociado) el “neumático verde” (green-tyre spraying) con agentes desmoldantes que favorecen la separación después del curado. Estos agentes pueden ser base agua o base solvente.

3.2.5. Moldeado y vulcanizado de la llanta.

Durante esta etapa el neumático obtiene su aspecto definitivo, es decir, se le añade el dibujo. Esto se logra mediante calor y presión con vapor o gas inerte (nitrógeno) en prensas automáticas. Después del curado, el neumático es enfriado montándolo sobre un aro y desinflando para reducir la tensión interna.

3.2.6. Acabado.

Se da el acabado final al producto. Este involucra “desvirado”, en el cual se remueve el exceso de hule que escapó a través del molde; también se incluye el pulido, balanceo, y una inspección del control de calidad.

Por otra parte, el proceso de producción de cámaras es muy similar al que se emplea en la producción de llantas. La producción de cámaras consta de 3 etapas fundamentales:

- Preparación y mezclado de la materia prima.
- Formación del tubo.
- Moldeo y vulcanización.

3.3. Emisiones al aire.

En el siguiente cuadro se observan los puntos de emisión durante la manufactura de neumáticos. Posteriormente se presenta una tabla de las fuentes de emisión identificadas durante el proceso de fabricación.

Tabla 3-1. Emisiones al aire en el proceso de manufactura de neumáticos.

Fuente	Tipo de emisiones
Área de mezclado	Polvos, por ejemplo, Óxidos de zinc.
Área de molinos	Partículas y/ neblinas de aceite
Área de ensamble	Compuestos Orgánicos Volátiles
Área de vulcanizado	Neblinas de aceite
Sistemas de colección de polvos	Negro de humo
Sistemas para generación de vapor y calentamiento de agua	Gases de combustión

Al igual que en la fabricación de artículos de hule, se suman las emisiones producidas en la línea de manufactura, aquellas producidas por la los equipos de combustión.

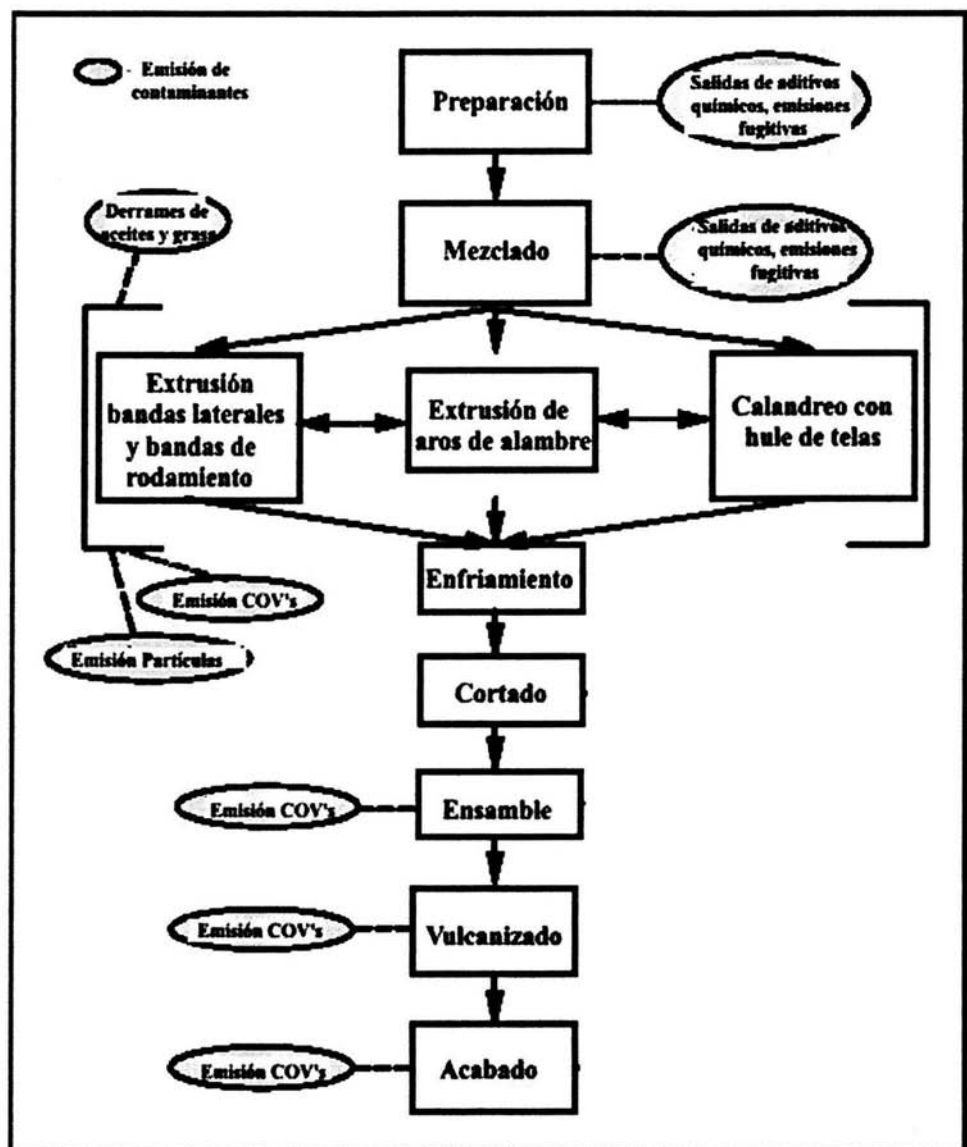


Figura 3.4. Puntos de emisión en el proceso de manufactura de llantas neumáticas.

CAPITULO IV

CAPITULO IV.

DESARROLLO DEL INVENTARIO DE EMISIONES.

Etapas en la elaboración del inventario

A continuación se hace una descripción general de las etapas involucradas para el desarrollo del inventario de emisiones. Técnicamente, los pasos seguidos para la elaboración del inventario de emisiones son los siguientes:

4.1. Elaboración de Base de Datos Generales.

En esta etapa se elaboró una base de datos con empresas de la industria del plástico y del hule, la cual se integró buscando información general sobre las industrias como domicilio, teléfono, fax, número de empleados, número de obreros, entre otros datos. Esta información se buscó en Internet en las páginas Web de Cámaras Empresariales; en anuarios estadísticos; en directorios industriales y en la sección amarilla, además de la información contenida en 4 bases de datos, propiedad del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Las páginas Web consultadas fueron principalmente las de Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM), Banco Mexicano de Comercio Exterior (BANCOMEXT), Mecánica Tecnomaq S.A. de C.V. (TECNOMAQ), Asociación Nacional de Industriales del Plástico (ANIPAC), Asociación de Industriales del Estado de México (AIEM), y Centro Empresarial del Plástico (antes Instituto Mexicano del Plástico Industrial, IMPI).

4.2. Localización de la planta productiva.

Una vez obtenidos los datos generales sobre las empresas, se localizó la dirección de la planta productiva. Muchas veces la información obtenida en el paso anterior correspondía únicamente a la dirección fiscal de las empresas, o bien, a la dirección de las bodegas. Esta operación se realizó principalmente por vía telefónica preguntando directamente a las empresas, y también mediante búsqueda en la página en Internet de cada empresa, o bien, en directorios industriales y en la página de Internet de las asociaciones mencionadas en el

punto 4.1. Muchas empresas se negaban a dar la dirección de la planta de producción. En ocasiones fue necesario ir a la dirección encontrada en Internet, para asegurarse de la localización de la planta.

4.3. Investigación de “datos de actividad” para la estimación de emisiones.

Entre estos datos se incluyen: *tipo y cantidad de materias primas utilizadas, tipo y cantidad de productos fabricados, tipo y cantidad de combustibles consumidos, datos de equipo de proceso y de combustión, tipo y cantidad de combustibles petrolíferos utilizados, así como número de empleados y obreros*. Esta información se buscó principalmente en el anuario estadístico de la industria química (publicado por la Asociación Nacional de la Industria Química, ANIQ), también en las estadísticas de la industria del plástico publicadas por el Centro Empresarial del Plástico (anteriormente Instituto Mexicano del Plástico Industrial) y en los censos industriales del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI); también en la página de Internet de la Secretaría de Marina y Recursos Naturales (SEMARNAT) y en la página de Internet del Instituto Nacional de Ecología (INE).

En los casos en que existía información diversa para una misma empresa se analizaba y consideraban los datos más coherentes con el tipo de actividad y el tamaño de la misma.

4.4. Aplicación de encuestas.

En apoyo a las actividades del punto 4.3, se aplicaron varias encuestas a empresas del plástico, en las cuales se solicitaba datos de consumo de materias primas; tipo y cantidad de productos fabricados; tipo y cantidad de solventes consumidos; tipo y cantidad de combustibles fósiles utilizados, así como datos de los equipos de combustión; también se solicitaba el número de empleados y obreros.

Durante la aplicación de la encuesta se solicitaba una breve explicación del proceso de producción. Esto último sirvió de mucho para la visualización de los puntos potenciales de emisión de contaminantes dentro del proceso de manufactura.

En los anexos se puede consultar la encuesta utilizada. Estas encuestas fueron enviadas por mensajería, correo electrónico, fax, así como por aplicación directa en el domicilio de la planta productiva. Los procesos llevados a cabo en las empresas visitadas fueron la fabricación de artículos de plástico reforzado con fibra de vidrio; fabricación de envases de plástico mediante el proceso de extrusión-soplado; fabricación de artículos de poliestireno expandible; fabricación de empaques de película de PVC, poliestireno, y polietileno por medio de termoformado.

Además, por medio de las encuestas se obtuvo información sobre empresas productoras de artículos de plástico para el hogar (cubetas, frascos, etc.); productoras de mangueras de plástico y de hule; fabricación de botones de poliéster; fabricación de artículos de poliestireno expandible; fabricación de bolsas de plástico impresas; fabricación de artículos de plástico reforzado; fabricación de artículos de espuma de poliuretano y fabricación de artículos moldeados por rotomoldeo. Muchas empresas se negaron a ser visitadas, así mismo a proporcionar información alguna sobre emisiones contaminantes.

4.5. Búsqueda y selección de Factores de Emisión.

Estos factores de emisión para un proceso en particular se obtienen con datos estadísticos provenientes del estudio detallado del mismo, en el cual se consideran las condiciones ambientales, las capacidades de los equipos utilizados, las propiedades de los materiales utilizados, entre otras variables.

Por ello, fue necesario buscar factores de emisión de diversas fuentes para un mismo proceso. Esta operación se llevo a cabo para los procesos de producción y para los de combustión llevados a cabo en las industrias del plástico y del hule.

Básicamente se buscó en Internet en las páginas Web de asociaciones nacionales e internacionales dedicadas al estudio de la contaminación del aire, tales como la Secretaría de Marina y Recursos Naturales (SEMARNAT, México), Instituto Nacional de Ecología (INE, México), United State Environmental Protection Agency (USEPA, Estados Unidos),

European Environment Agency (EEA, Europa), **Comisión Nacional del Medio Ambiente** (Chile) y National Pollution Inventory (NPI, Australia).

Con los factores de emisión obtenidos se hizo una base de datos, de la cual previamente se seleccionaron aquellos que tuvieran las condiciones de proceso similares a las condiciones para la cual fue obtenido el factor de emisión. En las tablas de factores de emisión encontradas se citaban las condiciones en las que fueron obtenidos y se asignaban de esta manera a un proceso específico.

De acuerdo a los Manuales del Inventario de Emisiones (Radian International, 1996), la técnica de estimación de emisiones preferida para las fuentes puntuales es el muestreo en fuente (medición directa). Dado que muchas empresas no realizan esto, o bien, lo hacen con un intervalo muy distanciado de tiempo, la técnica preferida en segundo orden es usar factores de emisión. Para las emisiones por combustión se utilizaron factores de emisión obtenidos de la US EPA AP-42: Emission factors for external combustion Sources. Compilation of air pollutant emission factors. (EPA, 2003) y Balances de materia para combustión de combustibles líquidos realizados por el IMP, 2003.

Tabla 4-1. Factores de emisión para equipos de combustión.

Combustible	Capacidad del equipo (mj/hr)	Contaminante (kg/m ³ de combustible)						
		PM	SO ₂	CO	NO _x	HCNM	CO ₂	CH ₄
Combustible industrial	10543 a 105435	0.2400	8.3680	0.6000	2.4000	0.0240	2623.3	0.0259
Combustible industrial	316 a 10400	0.2400	8.3680	0.6000	2.4000	0.0408	2623.3	0.0259
Combustible	Capacidad del equipo (mj/hr)	Contaminante (kg/m ³ de combustible)						
		PM	SO ₂	CO	NO _x	HCNM	CO ₂	CH ₄
Diesel	10543 a 105435	0.2400	0.8368	0.6000	2.4000	0.024	2623.3	0.0259
Diesel	316 a 10400	0.1296	0.8368	0.6000	2.4000	0.0408	2623.3	0.0259

Continuación de la Tabla 4-1

Combustible	Capacidad del equipo (mj/hr)	Contaminante (kg/m ³ de combustible)						
Gas LP	10543 a 105435	0.0720	0.1484	0.3840	2.2800	0.0360	1588.6	0.0240
Gas LP	316 a 10400	0.0480	0.1484	0.2280	1.6800	0.0360	1588.6	0.0240
Combustible	Capacidad del equipo (mj/hr)	Contaminante (g/m ³ de combustible), CO ₂ en kg/m ³ de combustible						
Gas Natural	10543 a 105435	0.1216	0.5160	1.3440	1.6000	0.1392	1.9400	0.0300
Gas Natural	316 a 10400	0.1216	0.5160	1.3440	1.6000	0.1392	1.9200	0.0300

En la siguiente tabla se incluyen factores de emisión para varios procesos, preparados con información de Compilation of air pollutant emission factors (EPA, 2003); US EPA. AP-42, Compilation of air pollutant emission factors; FIRE: Factor Information Retrieval (EPA, 2000); Emission estimation technique manual for rubber products manufacture (Environment Australia, 1998); Guidance for processes described for air pollution control; Manufacture of fiber reinforced plastics (Environment and Heritage Service, 1997); y de Emission estimations technique manual for glass and glass fiber product manufacturing. (Environment Australia, 1999).

Tabla 4-2. Factores de Emisión para diversos procesos en la Industria del Plástico y del Hule (Kg/Unidad de medida).

Fabricación de resinas					
PROCESO	PM	SO ₂	NOx	HCNM	UNIDAD DE MEDIDA
Resinas epóxicas				2.55	Tonelada de producto
Resinas urea-formaldehído				7.35	Tonelada de producto
Resinas poliéster				0.25	Tonelada de producto
Manejo de pigmentos en la fabricación de pinturas	8.51				Tonelada de pigmento procesado
Fabricación de barnices alquídicos				80.08	Tonelada de barniz procesado
Resinas melánicas				25.02	Tonelada de producto
Resinas de PVC y derivados	17.50	0.01	100	8.50	Tonelada de producto
Resinas fenólicas				7.31	Tonelada de producto

.....Continuación de la Tabla 4-2

Fabricación de resinas					
PROCESO	PM	SO₂	NOx	HCNM	UNIDAD DE MEDIDA
Resinas acrílicas, general				0.6	Tonelada de producto
Resinas poliamídicas			0.5	0.8	Tonelada de producto
Proceso TPA para producción de PET				3.6	Tonelada de resina producida
Fabricación de fibras sintéticas					
PROCESO	PM	SO₂	NOx	HCNM	UNIDAD DE MEDIDA
Nylon 6 hilado en fundido, fibra corta	0.10			3.93	Tonelada de producto
Nylon 66 hilado en fundido sin control	0.50			2.13	Tonelada de producto
Fibra poliéster hilado en fundido, hilo continuo	0.03			0.05	Tonelada de producto
Acrílico hilado en seco, emisiones no controladas				40.00	Tonelada de producto
Acrílicos, modacrílicos, hilado en húmedo				6.75	Tonelada de producto
Fabricación de llantas					
PROCESO	PM	SO₂	NOx	HCNM	UNIDAD DE MEDIDA
Encementado cara lateral y área de huella				114.8	1000 llantas producidas
Vulcanizado de cuerdas				9.2	1000 llantas producidas
Ensamblado de la llanta				36.3	1000 llantas producidas
Rociado de la "llanta verde"				150.9	1000 llantas producidas
Curado de la llanta				2.2	1000 llantas producidas
Fabricación de productos de hule					
PROCESO	PM	SO₂	NOx	HCNM	UNIDAD DE MEDIDA
Mezclado	0.321			0.1060	Ton de hule procesado
Molienda				0.1530	Ton de hule procesado
Extrusión				0.0247	Ton de hule procesado
Calandreo				0.0922	Ton de hule procesado

.....Continuación de la Tabla 4-2

Fabricación de productos de hule					
PROCESO	PM	SO₂	NO_x	HCNM	UNIDAD DE MEDIDA
Curado con aire caliente				5.2900	Ton de hule procesado
Pulido (durante el acabado)				6.0000	Ton de hule procesado
Fabricación de artículos de plástico impresos					
PROCESO	PM	SO₂	NO_x	HCNM	UNIDAD DE MEDIDA
Rotograbado				1296	Tonelada de tinta usada
Flexografía				800	Tonelada de tinta usada
Serigrafía				935	Tonelada de tinta usada
Barnizado				363	Tonelada de tinta usada
Limpieza con solventes				140	Tonelada de tinta usada
Fabricación de empaques de EPS					
PROCESO	PM	SO₂	NO_x	HCNM	UNIDAD DE MEDIDA
General				36	Tonelada de EPS (nuevo) procesado
Artículos de plástico reforzado					
PROCESO	PM	SO₂	NO_x	HCNM	UNIDAD DE MEDIDA
Moldeo continuo de hojas (o láminas) y pultrusión				40	Tonelada de resina procesada
Productos de Plástico reforzado				4.10%	Respecto a la cantidad de estireno usado
Espuma de poliuretano y sus productos					
PROCESO	PM	SO₂	NO_x	HCNM	UNIDAD DE MEDIDA
Reacción de polimerización				26	Tonelada de poliuretano producido

4.6. Estimación de la cantidad de emisiones a la atmósfera.

Este es un proceso complejo que requiere una revisión minuciosa de los datos de actividad obtenidos, a fin de reducir el grado de incertidumbre de las estimaciones y asegurar así la calidad del inventario. La estimación de las emisiones se llevó a cabo mediante la

aplicación de factores de emisión y el uso de la técnica de escalamiento, la cual consiste en agrupar y aplicar datos de actividad que se tienen para algunas industrias y extrapolarlos (en base a un dato de actividad, como el número de obreros, la cantidad de materia prima utilizada, o bien, la producción anual de cada empresa) a otras para las que no cuentan con dichos datos. Este punto se describe más adelante en los ejemplos de estimación de emisiones utilizando la técnica de escalamiento.

De acuerdo a la información contenida en las bases de datos del IMP, se observó principalmente que los establecimientos de la industria del plástico y del hule, contaban solamente con equipos de control para el control de partículas generados por el proceso de manufactura. No contaban con equipos de control para las emisiones provenientes de los equipos de combustión.

Para la estimación de las emisiones generadas tanto por el proceso de manufactura como por los equipos de combustión, se aplican una serie de etapas:

- Establecer las características generales del establecimiento.
- Analizar los datos de actividad existentes.
- Selección del factor de emisión apropiado para la estimación.
- Utilización de la ecuación general:

$$E = (FE)*(DA)*[(1-EC)/100]$$

En donde:

E = Cantidad emitida del contaminante criterio y/o gas de efecto invernadero.

FE = Factor de Emisión [Cantidad de contaminante emitido/(consumo de combustible, consumo de materia prima, producción)].

DA = Dato de actividad. Por ejemplo, consumo de combustible (consumo/año), producción (cantidad de producto/año), uso de materias primas (consumo/año).

EC = Eficiencia de control de la emisión contaminante (expresada en por ciento) por medio de un equipo de control.

4.6.1. Ejemplo de estimación de emisiones generadas por el proceso de manufactura:

- Sea una empresa que produce artículos de plástico reforzado con fibra de vidrio por medio de moldeo por contacto.
- No cuenta con equipo de control para sus emisiones de hidrocarburos, solamente con 5 equipos para el control de partículas.
- Esta empresa consume 30.0 ton/año de resina poliéster,
21.0 ton/año de fibra de vidrio,
10.86 ton/año de estireno y
3.0 ton/año de una mezcla thinner-acetona.
- Como terminado de sus productos utiliza pulido, taladrado y esmerilado.
- Como decorado de sus productos emplean la técnica de pintado a mano con brocha.
- El factor de emisión (Tabla 4-2) indica que se emiten **4.1%** de estireno respecto a la cantidad total usada de este compuesto en la formulación.
- $E = 10.86 \text{ ton/año} * (4.1\%/100) = 0.445 \text{ ton/año}$ de hidrocarburos emitidos.
- Esta empresa consume 3.0 toneladas por año de una mezcla thinner-acetona para la limpieza del equipo. La suposición más simple en un balance de materia es que todo el solvente se evapora. De esta manera esta empresa emite en total:
- $E = (0.445 + 3.0) = 3.445 \text{ ton/año}$ de hidrocarburos.

Además se debería calcular las emisiones de hidrocarburos provenientes de la etapa de pintado. Por desgracia no se cuenta aún con esos factores de emisión. Lo deseable en la planta es que además de controlar los polvos también se controlara las emisiones de estireno y de hidrocarburos diferentes a éste, generados durante el pintado. Las partículas producidas se controlan con 5 equipos de control de partículas llamados precipitadores electrostáticos.

4.6.1.1. Ejemplo de estimación de emisiones generadas por combustión:

- Sea una empresa que produce artículos de poliestireno expandible.

- Transforma 900 ton/año de poliestireno por el método general de moldeo, el cual consiste de máquinas inyectoras de esferas de poliestireno, y moldeo por medio de presión y calor. La empresa no cuenta con equipos de control para compuestos orgánicos ni partículas.
- Esta empresa utiliza dos equipos para generación de vapor de 125 y 150 caballos caldera (CC) respectivamente.
- Ambas utilizan diesel como combustible.
- El primer equipo utiliza 350 m³/año de combustible y el segundo 520 m³/año.
- No hay ningún equipo de control de las emisiones asociados a los equipos.
- Para calcular la cantidad de *partículas* totales emitidas por combustión se utiliza el siguiente *factor de emisión* (Tabla 4-1): **0.1296 Kg/m³** de combustible consumido.

$$E = (350 + 520) \text{ m}^3/\text{año} * 0.1296 \text{ kg/m}^3 = 112.75 \text{ kg de partículas}$$

112.75 Kg/año de partículas equivalen a **0.11275 ton/año** emitidas por los equipos de combustión

Además de las emisiones por combustión, al transformar el poliestireno se emite pentano gaseoso. La cantidad emitida se estima de la siguiente manera:

Factor de emisión (Tabla 4-2): **36 Kg/ton de Poliestireno nuevo procesado.**

Cantidad total de poliestireno transformado: 900 ton/año

$$E = 900\text{ton/año} * 36\text{kg/ton} = 32400 \text{ Kg/año de pentano emitido}$$

32400 Kg/año equivalen a **32.4 ton/año.**

De esta manera, se llegó a la estimación de las emisiones contaminantes generadas tanto por el proceso de manufactura como por los equipos de combustión. En el siguiente capítulo se muestra la cantidad de contaminantes generada por cada tipo de actividad, y también su distribución dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Para el caso de la técnica de escalamiento, con los datos recopilados se obtuvieron gráficas del tipo:

F(x) = Dato de actividad vs. Número de obreros.

4.6.1.2. Ejemplo de utilización de la técnica de escalamiento:

Ejemplo a.

Para el caso de la industria productora de artículos de hule se agruparon los datos de cantidad de hule procesado. Se observó en éstos una relación directa con el número de obreros de cada empresa. Para estos datos se obtuvo una gráfica en la que se tiene además la ecuación de regresión lineal.

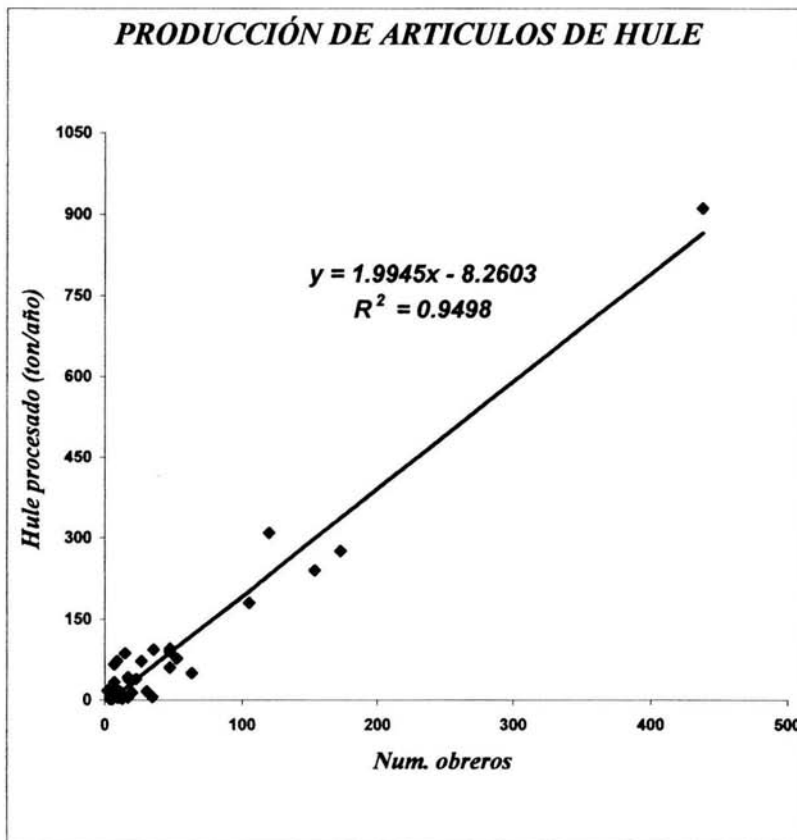


Figura 4.1. Cantidad de hule procesado (ton/año) vs. Número de obreros.

Con esta información se asignó un consumo de hule anual a las empresas que no contaban con ello. Este procedimiento se hizo de la siguiente manera:

Sea una empresa que presenta las siguientes características:

- Cuenta con 50 obreros,
- No cuenta con equipos de control para ningún contaminante.

Aplicando la *ecuación de regresión lineal* que aparece en la Figura 4.1. La cantidad de hule *aproximado* procesado anualmente es:

$$\begin{aligned}\text{Ton hule/año} &= (1.9945)(50) - (8.2603) \\ &= \mathbf{91.4647} \text{ ton/año de hule.}\end{aligned}$$

Así es como se asignó un dato estimado de cantidad de hule procesado a varias empresas.

Con este dato estimado se puede hacer una estimación de los contaminantes producidos por las diversas etapas del procesamiento basándose en factores de emisión (Tabla 4.2.). Por ejemplo:

Para la misma empresa con 50 obreros:

- Cantidad de hule procesado = **91.4647** ton/año.
- Equipos de control para Hidrocarburos: Ninguno.
- *Factor de emisión* para la cantidad de Hidrocarburos emitidos por el proceso de curado: **5.29** Kg/ton de hule procesado (Tabla 4-2.).
- Cantidad *estimada* de hidrocarburos emitidos por el proceso de curado con aire caliente = $(5.29 \text{ Kg/ton}) * 91.4647 = 483.8482 \text{ Kg}$.
- Y 483.8482 Kg es equivalente a **0.4838 ton.** de hidrocarburos emitidos por el proceso de curado con aire caliente.

Este método se siguió utilizando para estimar emisiones en las demás etapas mencionadas en la tabla 4-2.

Ejemplo b.

Otra relación encontrada y utilizada para la elaboración de este inventario fue en la producción de artículos de plástico impresos por flexografía.

Para una fábrica con 125 obreros y utilizando la ecuación de regresión lineal que aparece en la figura 4.2 se tiene:

- Cantidad de obreros: 125
- Cantidad estimada de tinta utilizada = $(0.2265)(125) - (1.9699)$
= 26.3426 ton/año de tinta.
- Equipos de control para hidrocarburos: Ninguno
- Factor de emisión para la cantidad de hidrocarburos emitida por la impresión por flexografía (Tabla 4.2.) = 800 Kg/ton. de tinta usada.
- Cantidad *estimada* de hidrocarburos por el proceso de flexografía de acuerdo al consumo de tinta = 26.3426 ton. de tinta * (800 Kg/ton de tinta) = 21074 Kg de hidrocarburos emitidos.
- 21074 Kg de hidrocarburos equivalen a **21.074 ton/año** de hidrocarburos emitidos por el proceso de impresión de bolsas de plástico por la técnica de flexografía.

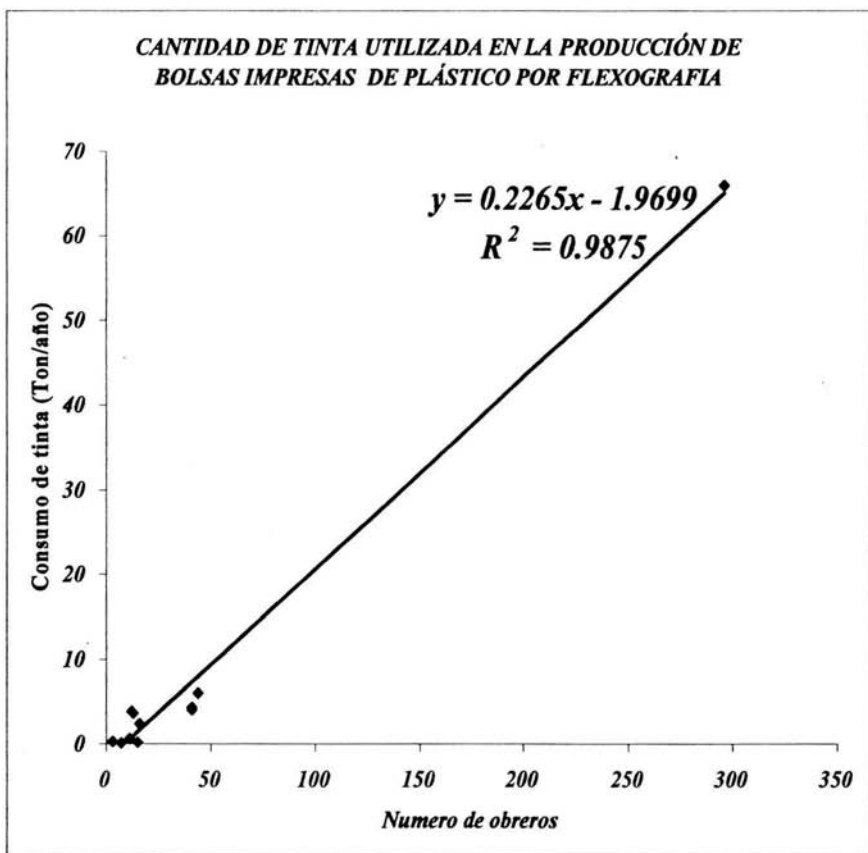


Figura 4.2. Consumo de tinta (ton/año) vs. Número de obreros.

Es así como se obtuvieron valores estimados de emisión de contaminantes para empresas de las cuales no se había obtenido información sobre sus datos de actividad.

CAPITULO V

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO V.

ANALISIS DEL INVENTARIO DE EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA.

5.1. Distribución de la industria del plástico y del hule en la ZMVM.

En este capítulo se presenta la distribución de las empresas de estudio dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la cantidad total emitida de contaminantes y gases de efecto invernadero, y el análisis de la contribución de cada tipo de actividad a sus emisiones. En la primera tabla se muestra la cantidad de industrias de acuerdo al tipo de actividad realizada y su número correspondiente de clasificación CMAP (mencionadas en Tabla 1-1).

Tabla 5-1. La industria del plástico y del hule en la ZMVM.

NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS				
CMAP	ACTIVIDAD	En los Municipios de la ZMVM	En el Distrito Federal	Total
355001	Fabricación de llantas y cámaras	2	6	8
355002	Revitalización de llantas y cámaras	1	2	3
355003	Fabricación de piezas y artículos de hule	45	31	76
351231	Fabricación de resinas sintéticas	15	10	25
351300	Fabricación de fibras químicas	1	1	2
356001	Fabricación de bolsas de polietileno	30	31	61
356002	Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	12	9	21
356003	Fabricación de productos de PVC	15	15	30
356004	Fabricación de envases de plástico	27	54	81
356005	Fabricación de artículos para el hogar	19	32	51
356006	Fabricación de artículos de poliestireno expandible	15	18	33
356007	Fabricación de artículos de plástico reforzado	13	16	29
356008	Fabricación de pieles y telas de plástico	13	5	18

.....Continuación de la Tabla 5-1

NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS				
CMAP	ACTIVIDAD	En los Municipios de la ZMVM	En el Distrito Federal	Total
356009	Fabricación de espumas de poliuretano y sus productos	12	6	18
356010	Fabricación de calzado de plástico	2	2	4
356011	Fabricación de juguetes de plástico	5	24	29
356012	Fabricación de otros artículos de plástico	60	59	119
	Total	287	321	608

Se localizan mayor número de empresas dentro del Distrito Federal que dentro de los municipios que forman parte de la ZMVM. Se estimó la cantidad de contaminantes emitidos por 608 empresas, de las cuales 287 se encuentran dentro de los municipios que forman parte de la ZMVM y 321 dentro de las delegaciones del Distrito Federal.

De acuerdo a la tabla anterior, las actividades representativas por el número de empresas que agrupa son las siguientes:

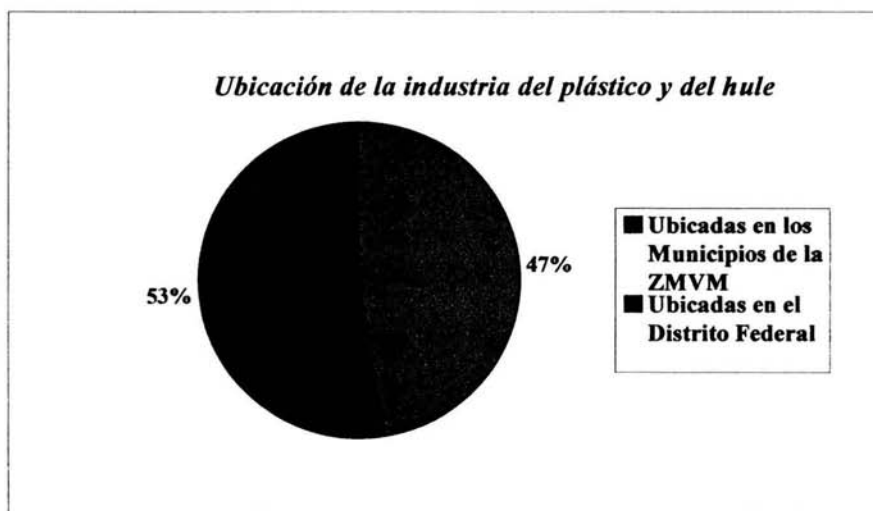


Figura 5.1. Concentración de la industria del plástico y del hule en la ZMVM.

Fabricación de piezas y artículos de hule (76 empresas), fabricación de película y bolsa de polietileno (61 empresas), fabricación de envases de plástico (81 empresas), fabricación de artículos para el hogar (51 empresas).

Sin embargo, la fabricación de llantas y cámaras, la fabricación de resinas sintéticas y la fabricación de fibras químicas son las actividades que agrupan a las empresas de mayor tamaño. Es notorio el caso de fabricación de llantas neumáticas, para el que la mayor parte de las instalaciones se encuentra en el Distrito Federal; esta actividad es importante porque consume grandes cantidades de combustible al igual que la fabricación de telas y pieles sintéticas de plástico.

5.2. Total de emisiones a la atmósfera.

Las emisiones provenientes del proceso de manufactura incluyen principalmente partículas e hidrocarburos no metánicos (HCNM) y las provenientes de los equipos de combustión principalmente óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, bióxido de carbono, hidrocarburos (metano y no metánicos), monóxido de carbono y partículas.

El total de las emisiones contaminantes se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5-2. Emisiones totales de contaminantes y gases de efecto invernadero, 2001 (ton/año).

Contaminantes del aire					Gases de efecto invernadero	
PM	SO ₂	CO	NO _x	HCNM	CO ₂	CH ₄
98.1	253.9	155.5	516.4	5814.9	323808.9	5.0
TOTAL					6838.7	323813.0

En suma, la Industria del Plástico y del Hule emite alrededor de 6838.7 toneladas de los contaminantes que más afectan a la Zona Metropolitana del Valle de México: Partículas, bióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos diferentes de

metano. Y se emiten 323813 ton/año de gases de efecto invernadero. De la primera cantidad, 5814.9 toneladas corresponden a hidrocarburos diferentes de metano (HCNM), mismos que representan el 85% del total.

Se emiten 516.4 toneladas de óxidos de nitrógeno, representando el 7.5%. El 3.7% corresponde a emisiones de bióxido de azufre (253.9 ton/año) y 98.1 % corresponde a emisiones de partículas. Estas cantidades muestran que los compuestos orgánicos se emiten en gran proporción debido al uso extendido de solventes, adhesivos y compuestos orgánicos en reacciones de polimerización en este tipo de industria. Los óxidos de nitrógeno son emitidos principalmente por los equipos de combustión, debido a las altas temperaturas de operación.

Siguen presentándose emisiones de bióxido de azufre debidas al uso de combustibles petrolíferos que contienen azufre, aunque la cantidad emitida es mucho menor que los compuestos orgánicos y óxidos de nitrógeno. En cuanto a los gases de efecto invernadero se refiere, el que se emiten en mayor proporción es el bióxido de carbono. A continuación se presenta la contribución de cada actividad a las emisiones contaminantes.

Tabla 5-3.Total de emisiones contaminantes por tipo de actividad (ton/año).

INDUSTRIA DEL PLASTICO							
CMAP	PM	SO ₂	CO	NO _x	HCNM	CO ₂	CH ₄
Fabricación de resinas sintéticas	21.20	142.80	24.93	103.89	346.08	54830.57	0.78
Fabricación de fibras químicas	14.93	18.81	48.99	118.00	207.79	70901.05	1.34
Fabricación de bolsas de plástico	0.25	4.16	1.08	5.30	628.29	5119.46	0.06
Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	0.20	1.26	0.91	4.15	0.06	4031.69	0.04
Fabricación de productos de PVC	0.63	2.81	6.51	21.38	0.66	10317.13	0.18
Fabricación de envases de plástico	1.39	5.76	2.04	10.43	420.98	11578.39	0.20
Fabricación de artículos para el hogar	0.04	0.12	0.18	1.31	94.02	1238.56	0.02

.....Continuación de la Tabla 5-3

INDUSTRIA DEL PLASTICO							
CMAP	PM	SO₂	CO	NO_x	HCNM	CO₂	CH₄
Fabricación de artículos de poliestireno expandible	2.16	15.41	6.40	25.21	586.47	20058.55	0.27
Fabricación de artículos de plástico reforzado	0.04	0.12	0.19	1.38	489.83	1309.27	0.02
Fabricación de telas y películas de plástico	3.00	15.50	29.60	98.30	589.54	51934.50	0.96
Fabricación de poliuretano y sus productos	7.73	0.35	0.43	2.86	1345.31	2717.09	0.04
Fabricación de calzado de plástico	0.00	0.01	0.02	0.15	0.00	142.11	0.00
Fabricación de juguetes de plástico	0.02	0.06	0.09	0.65	5.71	614.17	0.01
Fabricación de otros artículos de plástico	1.58	11.78	1.59	8.46	157.02	8039.30	0.09
INDUSTRIA DEL HULE							
CMAP	PM	SO₂	CO	NO_x	HCNM	CO₂	CH₄
Fabricación de llantas neumáticas	35.67	9.88	20.40	69.66	887.00	37097.70	0.62
Revitalización de llantas y cámaras	0.10	4.45	0.46	2.48	0.04	1365.16	0.03
Fabricación de piezas y artículos de hule	9.23	20.59	11.76	42.83	56.15	42513.98	0.53
Total	98.1	253.9	155.6	516.6	5814.8	323808.9	5.0

Para comprender mejor los datos anteriores, se presenta la contribución porcentual de las emisiones producidas por combustión, así como las emisiones producidas por el proceso de manufactura.

5.3. Emisiones debidas a equipos de combustión.

Para el caso de las emisiones producidas por los equipos de combustión se presenta a continuación la cantidad emitida por cada una de las diferentes actividades. Se muestran tanto los contaminantes como a los gases de efecto invernadero, seguido por una tabla con las contribuciones en porcentaje de cada tipo de actividad y por cada tipo de contaminante.

Tabla 5-4. Cantidad de contaminantes emitidos por combustión (ton/año).

INDUSTRIA DEL PLÁSTICO							
CMAP	PM	SO ₂	CO	NO _x	HCNM	CO ₂	CH ₄
Fabricación de resinas sintéticas	4.4	142.8	24.9	87.9	2.5	54830.6	0.8
Fabricación de fibras químicas	4.4	18.8	49.0	118.0	5.1	70901.1	1.3
Fabricación de bolsas de plástico	0.2	4.2	1.1	5.3	0.1	5119.5	0.1
Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	0.2	1.3	0.9	4.2	0.1	4031.7	0.0
Fabricación de productos de PVC	0.6	2.8	6.5	21.4	0.7	10317.1	0.2
Fabricación de envases de plástico	0.6	5.8	2.0	10.4	0.6	11578.4	0.2
Fabricación de artículos para el hogar	0.0	0.1	0.2	1.3	0.0	1238.6	0.0
Fabricación de artículos de poliestireno expandible	1.1	15.4	6.4	25.2	0.7	20058.5	0.3
Fabricación de artículos de plástico reforzado	0.0	0.1	0.2	1.4	0.0	1309.3	0.0
Fabricación de telas y películas de plástico	3.0	15.5	29.6	98.3	3.1	51934.5	0.9
Fabricación de poliuretano y sus productos	0.1	0.3	0.4	2.9	0.1	2717.1	0.0
Fabricación de calzado de plástico	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	142.1	0.0
Fabricación de juguetes de plástico	0.0	0.1	0.1	0.6	0.0	614.2	0.0
Fabricación de otros artículos de plástico	0.3	11.8	1.6	8.4	0.1	8039.3	0.1
Subtotal	15.1	219.0	122.9	385.3	13.1	242831.9	4.0
INDUSTRIA DEL HULE							
CMAP	PM	SO ₂	CO	NO _x	HCNM	CO ₂	CH ₄
Fabricación de llantas neumáticas	2.1	9.9	20.4	69.7	2.1	37097.7	0.6

.....Continuación de la Tabla 5-4

INDUSTRIA DEL HULE							
CMAP	PM	SO ₂	CO	NOX	HCNM	CO ₂	CH ₄
Revitalización de llantas y cámaras	0.1	4.4	0.5	2.5	0.0	1365.2	0.0
Fabricación de piezas y artículos de hule	2.0	20.6	11.8	42.8	1.1	42514.0	0.5
Subtotal	4.2	34.9	32.6	115.0	3.3	80976.8	1.2
Total	19.3	253.9	155.5	500.3	16.4	323808.7	5.2

Tabla 5-5. Contribución porcentual de las diferentes actividades a las emisiones por combustión.

Contribución en la industria del plástico (%)							
CMAP	PM	SO ₂	CO	NOx	HCNM	CO ₂	CH ₄
Fabricación de resinas sintéticas	22.8	56.2	16.0	17.6	15.1	16.9	15.2
Fabricación de fibras químicas	23.0	7.4	31.5	23.6	31.1	21.9	26.0
Fabricación de bolsas de plástico	1.3	1.6	0.7	1.1	0.5	1.6	1.1
Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	1.0	0.5	0.6	0.8	0.4	1.2	0.8
Fabricación de productos de PVC	3.3	1.1	4.2	4.3	4.1	3.2	3.6
Fabricación de envases de plástico	3.3	2.3	1.3	2.1	3.9	3.6	3.8
Fabricación de artículos para el hogar	0.2	0.0	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4
Fabricación de artículos de poliestireno expandible	5.7	6.1	4.1	5.0	4.5	6.2	5.2
Fabricación de artículos de plástico reforzado	0.2	0.0	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4
Fabricación de telas y películas de plástico	15.0	6.1	19.0	19.6	19.2	16.0	18.0
Fabricación de poliuretano y sus productos	0.5	0.1	0.3	0.6	0.4	0.8	0.8
Fabricación de calzado de plástico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

.....Continuación de la Tabla 5-5

Contribución en la industria del plástico (%)							
CMAP	PM	SO₂	CO	NO_x	HCNM	CO₂	CH₄
Fabricación de juguetes de plástico	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
Fabricación de otros artículos de plástico	1.8	4.6	1.0	1.7	0.9	2.5	1.8
Contribución en la industria del hule (%)							
Fabricación de llantas neumáticas	11.1	3.9	13.1	13.9	12.6	11.5	11.9
Revitalización de llantas y cámaras	0.5	1.8	0.3	0.5	0.3	0.4	0.6
Fabricación de piezas y artículos de hule	10.3	8.1	7.6	8.6	6.7	13.1	10.4
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Se muestra con **negritas** los valores que representan un mayor porcentaje, para cada tipo de contaminante.

En cuanto a las emisiones producidas *por combustión*, se observa principalmente que son 5 las actividades que mayormente utilizan de estos equipos y por consiguiente generan la mayor cantidad de contaminantes. Estas son la fabricación de resinas sintéticas, fabricación de fibras químicas, fabricación de telas y pieles sintéticas de plástico, fabricación de llantas neumáticas y fabricación de piezas y artículos de hule. Si bien, durante la fabricación de neumáticos se consume mayor cantidad de combustibles que para las otras actividades, la menor cantidad de contaminantes generada se debe a que en los últimos años estas empresas han optado por el uso de gas natural, el cual presenta una combustión más limpia.

Se observa que para el bióxido de azufre, mas del 50% de su emisión se debe a la fabricación de fibras sintéticas, esto se debe a que las empresas que fabrican tales productos, son de gran tamaño y utilizan combustible industrial (líquido) como principal fuente de energía, el cual contiene mayor cantidad de azufre que el gas LP, y gas natural, en

tanto que las empresas que fabrican fibras químicas han cambiado también al uso de gas natural.

5.4. Emisiones producidas por el proceso de fabricación.

Se muestran a continuación los contaminantes emitidos *por el proceso de fabricación* en las diferentes etapas del proceso de manufactura. Estas son como se verá más adelante, principalmente partículas e hidrocarburos no metánicos (HCNM). Con **negrilla** se marcan las actividades que tienen los mayores porcentajes de contribución a las emisiones contaminantes.

Tabla 5-6. Cantidad de contaminantes emitidos por el proceso de manufactura (ton/año).

Emisiones en la industria del plástico			
Actividad	PM	NOx	HCNM
Fabricación de resinas sintéticas	16.8	16.0	343.6
Fabricación de fibras químicas	10.5	0.0	202.7
Fabricación de bolsas de plástico	0.0	0.0	628.2
Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	0.0	0.0	0.0
Fabricación de productos de PVC	0.0	0.0	0.0
Fabricación de envases de plástico	0.7	0.0	420.3
Fabricación de artículos para el hogar	0.0	0.0	94.0
Fabricación de artículos de poliestireno expandible	1.1	0.0	585.7
Fabricación de artículos de plástico reforzado	0.0	0.0	489.8
Fabricación de telas y películas de plástico	0.0	0.0	586.3
Fabricación de poliuretano y sus productos	7.6		1345.3
Fabricación de calzado de plástico			
Fabricación de juguetes de plástico	0.0	0.0	5.7
Fabricación de otros artículos de plástico	1.2	0.1	156.9
Subtotal	38.0	16.1	4858.6

.....Continuación de la Tabla 5-6

Emisiones en la industria del hule			
Actividad	PM	NOx	HCNM
Fabricación de llantas neumáticas	33.5		884.9
Revitalización de llantas y cámaras	0.0		0.0
Fabricación de piezas y artículos de hule	7.3		55.1
Subtotal	40.8	0.0	940.0
Total	78.8	16.1	5798.6

Tabla 5-7. Contribución porcentual de las diferentes actividades a las emisiones por proceso.

Contribución en la industria del plástico (%)			
Actividad	PM	NOx	HCNM
Fabricación de resinas sintéticas	21.3	99.4	5.9
Fabricación de fibras químicas	13.3	0.0	3.5
Fabricación de bolsas de plástico	0.0	0.0	10.8
Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	0.0	0.0	0.0
Fabricación de productos de PVC	0.0	0.0	0.0
Fabricación de envases de plástico	0.9	0.0	7.2
Fabricación de artículos para el hogar	0.0	0.0	1.6
Fabricación de artículos de poliestireno expandible	1.4	0.0	10.1
Fabricación de artículos de plástico reforzado	0.0	0.0	8.4
Fabricación de telas y películas de plástico	0.0	0.0	10.1
Fabricación de poliuretano y sus productos	9.7	0.0	23.2
Fabricación de calzado de plástico	0.0	0.0	0.0
Fabricación de juguetes de plástico	0.0	0.0	0.1
Fabricación de otros artículos de plástico	1.6	0.6	2.7

.....Continuación de la Tabla 5-7

Contribución en la industria del hule (%)			
Actividad	PM	NOx	HCNM
Fabricación de llantas neumáticas	42.6	0.0	15.3
Revitalización de llantas y cámaras	0.0	0.0	0.0
Fabricación de piezas y artículos de hule	9.2	0.0	0.9
TOTAL	100.0	100.0	100.0

En el caso de las emisiones producidas por proceso, se generan principalmente partículas e hidrocarburos no metánicos, aunque se emite una pequeña cantidad de óxidos de nitrógeno durante la fabricación de resinas vinílicas, así como en la actividad “fabricación de otros artículos de plástico”.

En el caso de las partículas, la fabricación de llantas neumáticas, genera el 42.6% del total, debido principalmente a la etapa de mezclado de materias primas. Las emisiones producidas en la fabricación de resinas sintéticas y fibras químicas tienen un aporte significativo, con el 21.3 y el 13.3% respectivamente, siguiendo en orden descendente, la fabricación de poliuretano y sus productos (9.7%), y la fabricación de piezas y artículos de hule (9.2%). En cuanto a los óxidos de nitrógeno, estos son generados casi en su totalidad durante la fabricación de resinas sintéticas (99.4%); un pequeño porcentaje se emite durante la “fabricación de otros artículos de plástico”. Para el caso de los HCNM, la actividad en la que se emite la mayor cantidad es la Fabricación de poliuretano y sus productos con el 23.2%, le sigue la fabricación de llantas neumáticas con el 15.3%, y en ordenes similares, la fabricación de bolsas impresas de plástico (10.8%), fabricación de artículos de poliestireno expandible (10.1%), y la fabricación de pieles y telas sintéticas de plástico (10.1%).

5.5. Análisis de las emisiones por tipo de contaminante.

A continuación se presenta un análisis de cada tipo de actividad para identificar cuales contribuyen en mayor medida a la emisión de un contaminante en particular.

5.5.1. Partículas.

De este tipo de contaminante se emiten 98.1 toneladas, de las cuales 19.3 son producidas por equipos de combustión y 78.8 toneladas son generadas durante las etapas de manufactura. Los contaminantes generados por este último medio se mencionaron ya en los capítulos 2 y 3.

Tabla 5-8. Total de partículas emitidas en la ZMVM (ton/año)

CMAP	Actividad	PM	%
351231	Fabricación de resinas sintéticas	21.2	21.6
351300	Fabricación de fibras químicas	14.9	15.2
356001	Fabricación de bolsas de plástico	0.2	0.3
356002	Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	0.2	0.2
356003	Fabricación de productos de PVC	0.6	0.6
356004	Fabricación de envases de plástico	1.4	1.4
356005	Fabricación de artículos para el hogar	0.0	0.0
356006	Fabricación de artículos de poliestireno expandible	2.2	2.2
356007	Fabricación de artículos de plástico reforzado	0.0	0.0
356008	Fabricación de telas y películas de plástico	2.9	3.0
356009	Fabricación de poliuretano y sus productos	7.7	7.9
356010	Fabricación de calzado de plástico	0.0	0.0
356011	Fabricación de juguetes de plástico	0.0	0.0
356012	Fabricación de otros artículos de plástico	1.6	1.6
355001	Fabricación de llantas neumáticas	35.7	36.4
355002	Revitalización de llantas y cámaras	0.1	0.1
355003	Fabricación de piezas y artículos de hule	9.2	9.4
	Total	98.0	100.0

Como se observa, las actividades que contribuyen en mayor medida a la emisión de partículas son la fabricación de resinas sintéticas, fabricación de fibras químicas.

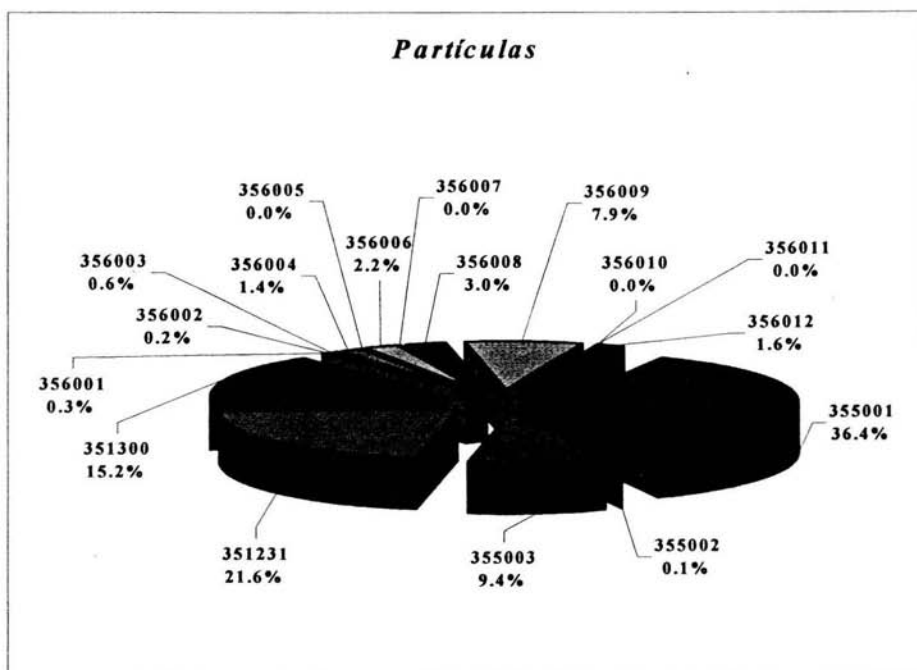


Figura 5.2 Contribución porcentual de cada tipo de actividad a la emisión de partículas.

Le siguen la fabricación de poliuretano y sus productos, fabricación de llantas neumáticas, y fabricación de piezas y artículos de hule. Estas actividades emiten en conjunto el 90.4 % del total. De ellas, la fabricación de llantas neumáticas, es la que emite mayor cantidad durante los procesos de mezclado y “rociado de la llanta verde”.

5.5.2. *Bióxido de azufre.*

El bióxido de azufre se emite en la industria del plástico y del hule exclusivamente por los equipos de combustión, emitiéndose en total 253.9 toneladas. La mayor contribución se debe a las siguientes actividades: fabricación de resinas sintéticas, fabricación de fibras

químicas, fabricación de artículos de poliestireno expandible, fabricación de pieles y telas sintéticas de plástico y a la fabricación de piezas y artículos de hule.

Tabla 5-9. Total de bióxido de azufre emitido en la ZMVM (ton/año)

CMAP	Actividad	SO₂	%
351231	Fabricación de resinas sintéticas	142.8	56.2
351300	Fabricación de fibras químicas	18.8	7.4
356001	Fabricación de bolsas de plástico	4.2	1.6
356002	Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	1.3	0.5
356003	Fabricación de productos de PVC	2.8	1.1
356004	Fabricación de envases de plástico	5.8	2.3
356005	Fabricación de artículos para el hogar	0.1	0.0
356006	Fabricación de artículos de poliestireno expandible	15.4	6.1
356007	Fabricación de artículos de plástico reforzado	0.1	0.0
356008	Fabricación de telas y películas de plástico	15.5	6.1
356009	Fabricación de poliuretano y sus productos	0.3	0.1
356010	Fabricación de calzado de plástico	0.0	0.0
356011	Fabricación de juguetes de plástico	0.1	0.0
356012	Fabricación de otros artículos de plástico	11.8	4.6
355001	Fabricación de llantas neumáticas	9.9	3.9
355002	Revitalización de llantas y cámaras	4.4	1.8
355003	Fabricación de piezas y artículos de hule	20.6	8.1
	Total	253.9	100.0

Se observa la mayor contribución de la actividad fabricación de fibras sintéticas, lo cual corresponde al uso extendido de combustible industrial, que contiene azufre y que por combustión se emite como bióxido de azufre. Le siguen en orden descendente las actividades: fabricación de piezas y artículos de hule, la fabricación de pieles y telas sintéticas de plástico, y también la fabricación de artículos de poliestireno expandible.

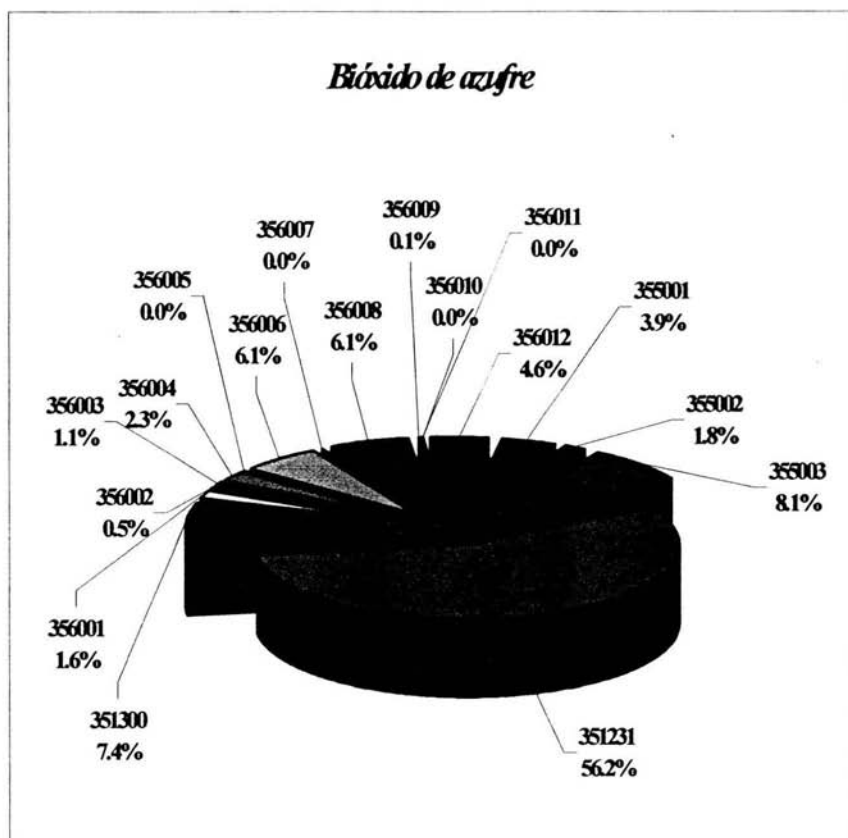


Figura 5.3. Contribución porcentual de cada tipo de actividad a la emisión de bióxido de azufre.

5.5.2. Monóxido de carbono

Tabla 5-10. Total de monóxido de carbono emitido en la ZMVM (ton/año)

CMAP	Actividad	CO	%
351231	Fabricación de resinas sintéticas	24.9	16.0

.....Continuación de la Tabla 5-10

CMAP	Actividad	CO	%
351300	Fabricación de fibras químicas	49.0	31.5
356001	Fabricación de bolsas de plástico	1.1	0.7
356002	Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	0.9	0.6
356003	Fabricación de productos de PVC	6.5	4.2
356004	Fabricación de envases de plástico	2.0	1.3
356005	Fabricación de artículos para el hogar	0.2	0.1
356006	Fabricación de artículos de poliestireno expandible	6.4	4.1
356007	Fabricación de artículos de plástico reforzado	0.2	0.1
356008	Fabricación de telas y películas de plástico	29.6	19.0
356009	Fabricación de poliuretano y sus productos	0.4	0.3
356010	Fabricación de calzado de plástico	0.0	0.0
356011	Fabricación de juguetes de plástico	0.1	0.1
356012	Fabricación de otros artículos de plástico	1.6	1.0
355001	Fabricación de llantas neumáticas	20.4	13.1
355002	Revitalización de llantas y cámaras	0.5	0.3
355003	Fabricación de piezas y artículos de hule	11.8	7.6
	Total	155.5	100.0

En la gráfica siguiente se muestra que la mayor aportación a este contaminante es por parte de las empresas que se dedican a la fabricación de fibras químicas (31.5%), la fabricación de pieles y telas sintéticas de plástico (19%), fabricación de resinas sintéticas (16%) y la fabricación de llantas neumáticas (13.1%). En menor porcentaje contribuyen la fabricación de piezas y artículos de hule, la fabricación de artículos de PVC, y la fabricación de artículos de poliestireno expandible.

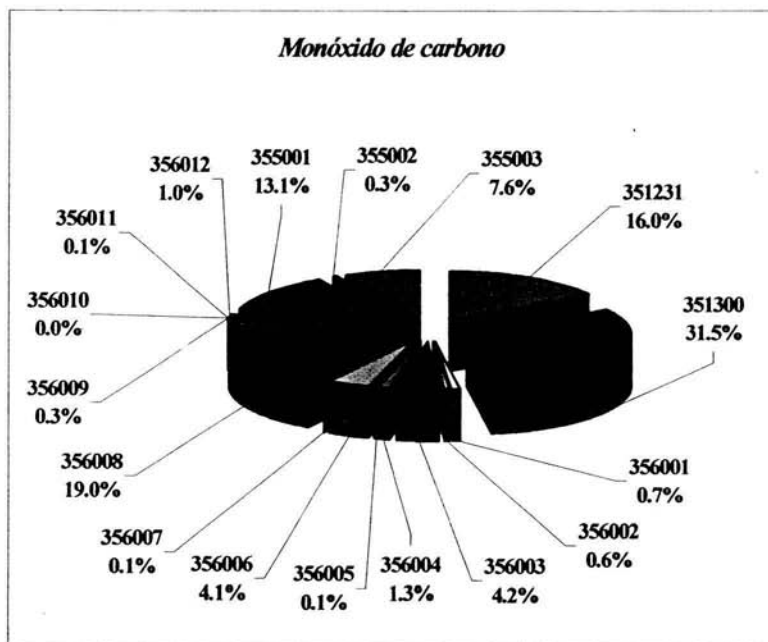


Figura 5.4. Contribución porcentual de cada tipo de actividad a las emisiones de monóxido de carbono.

5.5.3. Óxidos de nitrógeno

Como puede verse a continuación, se emiten 516.4 toneladas de este compuesto. La mayor parte es producida casi exclusivamente por los equipos de combustión.

Tabla 5-11. Total de óxidos de nitrógeno emitidos en la ZMVM (ton/año).

CMAP	Actividad	NOx	%
351231	Fabricación de resinas sintéticas	103.9	20.1
351300	Fabricación de fibras químicas	118.0	22.9
356001	Fabricación de bolsas de plástico	5.3	1.0

.....Continuación de la Tabla 5-11

CMAP	Actividad	NOx	%
356002	Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	4.2	0.8
356003	Fabricación de productos de PVC	21.4	4.1
356004	Fabricación de envases de plástico	10.4	2.0
356005	Fabricación de artículos para el hogar	1.3	0.3
356006	Fabricación de artículos de poliestireno expandible	25.2	4.9
356007	Fabricación de artículos de plástico reforzado	1.4	0.3
356008	Fabricación de telas y películas de plástico	98.3	19.0
356009	Fabricación de poliuretano y sus productos	2.9	0.6
356010	Fabricación de calzado de plástico	0.2	0.0
356011	Fabricación de juguetes de plástico	0.6	0.1
356012	Fabricación de otros artículos de plástico	8.5	1.6
355001	Fabricación de llantas neumáticas	69.7	13.5
355002	Revitalización de llantas y cámaras	2.5	0.5
355003	Fabricación de piezas y artículos de hule	42.8	8.3
	Total	516.4	100.0

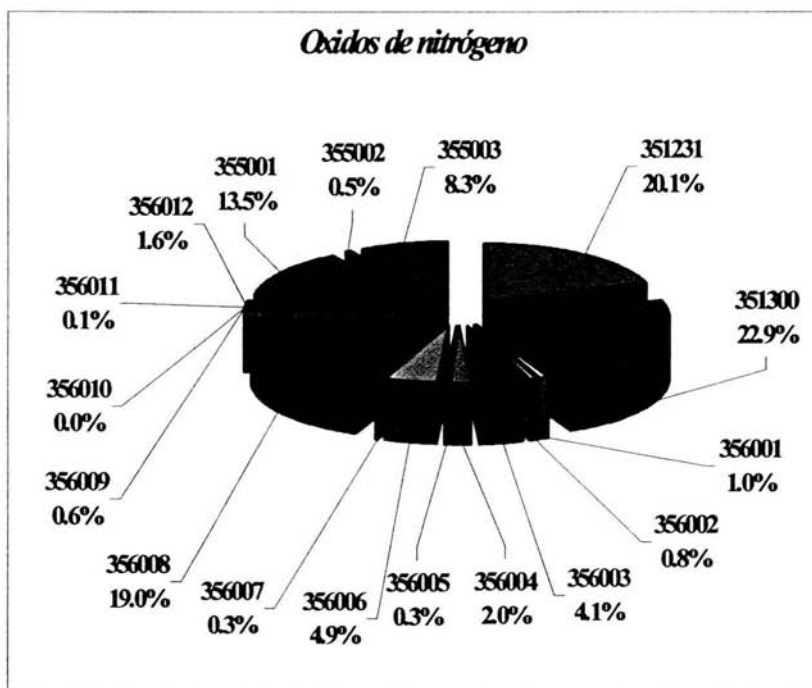


Figura 5.5. Contribución porcentual de cada tipo de actividad a las emisiones de óxidos de nitrógeno

En cuanto a los óxidos de nitrógeno, la mayor aportación a las emisiones es por parte de la fabricación de fibras químicas con el 22.9%, fabricación de resinas sintéticas con el 20.1%, fabricación de telas y películas de plástico con el 19%, fabricación de llantas neumáticas con el 13.5%, y fabricación de piezas y artículos de hule con el 8.3%. A estas actividades se debe el 83.8% de las emisiones, las demás actividades emiten en cantidades menores.

5.5.4. Hidrocarburos no metánicos.

Estos son, como se dijo en el capítulo 1, compuestos orgánicos, excluyendo el metano, el cual se considera un gas de efecto invernadero y que para su análisis se agrupa en los mismos. Las emisiones de HCNM se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5-12. Total de emisiones de hidrocarburos no metánicos en la ZMVM (ton/año)

CMAF	Actividad	HCNM	%
351231	Fabricación de resinas sintéticas	346.1	6.0
351300	Fabricación de fibras químicas	207.8	3.6
356001	Fabricación de bolsas de plástico	628.3	10.8
356002	Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	0.1	0.0
356003	Fabricación de productos de PVC	0.7	0.0
356004	Fabricación de envases de plástico	421.0	7.2
356005	Fabricación de artículos para el hogar	94.0	1.6
356006	Fabricación de artículos de poliestireno expandible	586.5	10.1
356007	Fabricación de artículos de plástico reforzado	489.8	8.4
356008	Fabricación de telas y películas de plástico	589.5	10.1
356009	Fabricación de poliuretano y sus productos	1345.3	23.1
356010	Fabricación de calzado de plástico	0.0	0.0
356011	Fabricación de juguetes de plástico	5.8	0.1
356012	Fabricación de otros artículos de plástico	157.0	2.7
355001	Fabricación de llantas neumáticas	887.0	15.3
355002	Revitalización de llantas y cámaras	0.0	0.0
355003	Fabricación de piezas y artículos de hule	56.2	1.0
	Total	5814.9	100.0

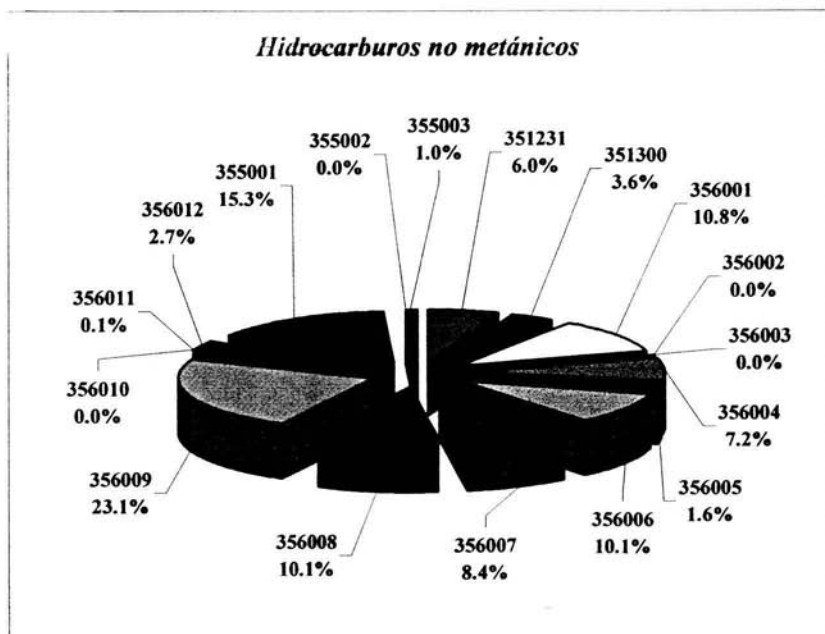


Figura 5.6. Contribución porcentual de cada tipo de actividad a las emisiones de hidrocarburos no metánicos.

Como se observa, los compuestos orgánicos son los que se emiten en mayor proporción, debido a que la industria del plástico y del hule consume gran cantidad de solventes. También durante la producción de los plásticos, en los que se emite los monómeros que se utilizan como materias primas.

De las 5814.9 toneladas que se emiten de compuestos orgánicos, el 23.1% es emitido durante la producción de poliuretanos y sus productos, en la que la contaminación generada se debe principalmente a la emisión de agente de expansión y de isocianatos en el proceso de reacción, y también por los procesos de laminado y bondeado, en donde se consumen adhesivos y se utiliza combustión. El 15.3% es emitido durante la fabricación de llantas neumática. En cantidades similares, la producción de telas y pieles sintéticas de plástico, la

fabricación de bolsas impresas de plástico y la fabricación de artículos de poliestireno expandible, emiten alrededor del 10% cada uno.

5.5.5. *Bióxido de carbono y metano*

Se emiten alrededor de 323808.7 toneladas, siendo la contribución de las diferentes actividades como se muestra a continuación.

Tabla 5-13. Cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (ton/año)

CMAP	Actividad	CO ₂	%	CH ₄	%
351231	Fabricación de resinas sintéticas	54830.6	16.9	0.8	15.2
351300	Fabricación de fibras químicas	70901.1	21.9	1.3	26.0
356001	Fabricación de bolsas de plástico	5119.5	1.6	0.1	1.1
356002	Fabricación de perfiles, tubería y conexiones	4031.7	1.2	0.0	0.8
356003	Fabricación de productos de PVC	10317.1	3.2	0.2	3.6
356004	Fabricación de envases de plástico	11578.4	3.6	0.2	3.8
356005	Fabricación de artículos para el hogar	1238.6	0.4	0.0	0.4
356006	Fabricación de artículos de poliestireno expandible	20058.5	6.2	0.3	5.2
356007	Fabricación de artículos de plástico reforzado	1309.3	0.4	0.0	0.4
356008	Fabricación de telas y películas de plástico	51934.5	16.0	0.9	18.0
356009	Fabricación de poliuretano y sus productos	2717.1	0.8	0.0	0.8
356010	Fabricación de calzado de plástico	142.1	0.0	0.0	0.0
356011	Fabricación de juguetes de plástico	614.2	0.2	0.0	0.2
356012	Fabricación de otros artículos de plástico	8039.3	2.5	0.1	1.8
355001	Fabricación de llantas neumáticas	37097.7	11.5	0.6	11.9
355002	Revitalización de llantas y cámaras	1365.2	0.4	0.0	0.6
355003	Fabricación de piezas y artículos de hule	42514.0	13.1	0.5	10.4
	Total	323808.7	100.0	5.2	100.0

Los gases de efecto invernadero son emitidos en proporciones parecidas por las diferentes actividades. Las que más contribuyen se marcan con negrita en la tabla anterior. Son la fabricación de resinas sintéticas, la fabricación de fibras químicas, la fabricación de artículos de poliestireno expandible, la fabricación de telas y pieles sintéticas de plástico, la fabricación de llantas neumáticas y la fabricación de piezas y artículos de hule, las actividades que mas generan estos gases de efecto invernadero. En las gráficas siguientes se observa la contribución de cada actividad a la emisión d bióxido de carbono y metano.

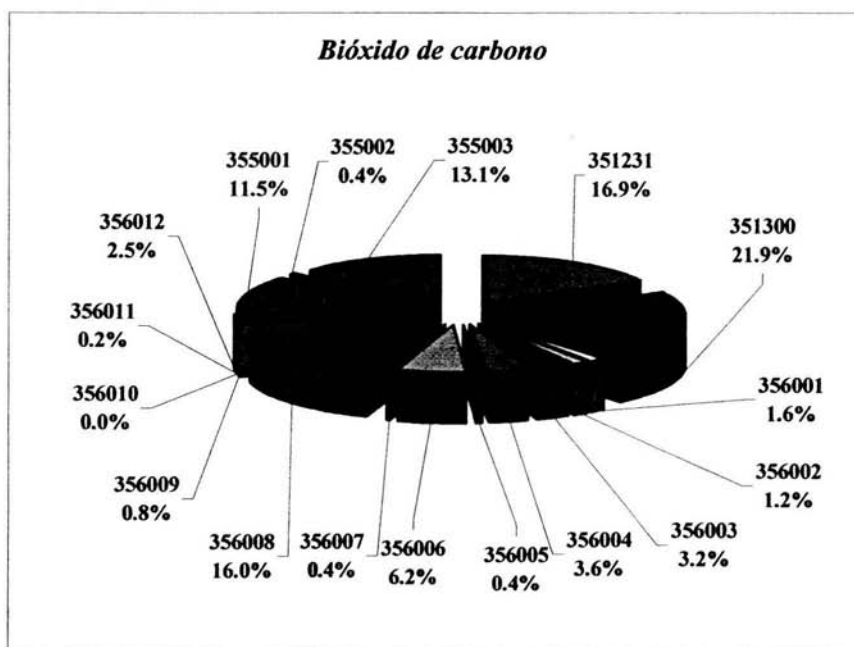


Figura 5.7. Contribución porcentual de cada tipo de actividad a las emisiones de bióxido de carbono.

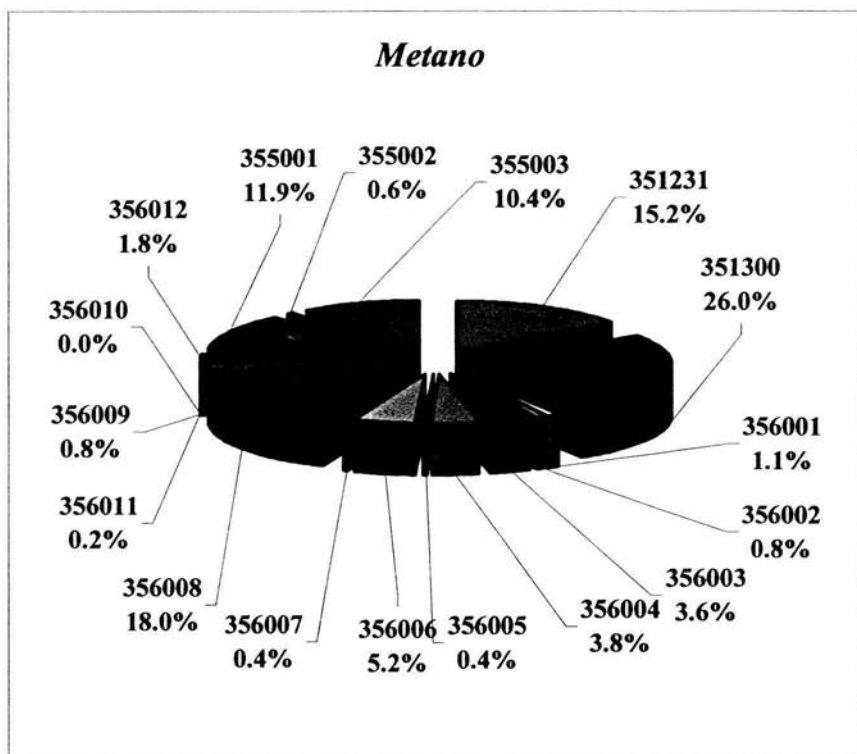


Figura 5.8. Contribución porcentual de cada tipo de actividad a las emisiones de metano.

En total se emite las siguientes cantidades de cada compuesto:

Tabla 5-14. Cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, 2001 (ton/año).

Emisiones de gases de efecto invernadero	
CO ₂	CH ₄
323808.7	5.2

No es difícil observar que el compuesto principal de efecto invernadero emitido es el bióxido de carbono.

5.6. Distribución de los contaminantes en la ZMVM.

Se muestra a continuación una tabla de la distribución de contaminantes en la ZMVM. Se muestra el tipo de contaminante y la cantidad emitida en el Distrito Federal y en la parte correspondiente al Estado de México.

Tabla 5-15. Distribución de emisiones contaminantes en la ZMVM (ton/año)

Distribución de las emisiones contaminantes en la ZMVM							
Entidad Federativa	PM	SO ₂	CO	NO _x	HCNM	CO ₂	CH ₄
Municipios integrantes del Estado de México	57.7	80.9	93.0	319.0	4208.4	197468.4	3.2
Distrito Federal	40.4	172.9	62.6	197.4	1606.5	126340.3	2.0
Total	98.1	253.8	155.6	516.4	5814.9	323808.7	5.2

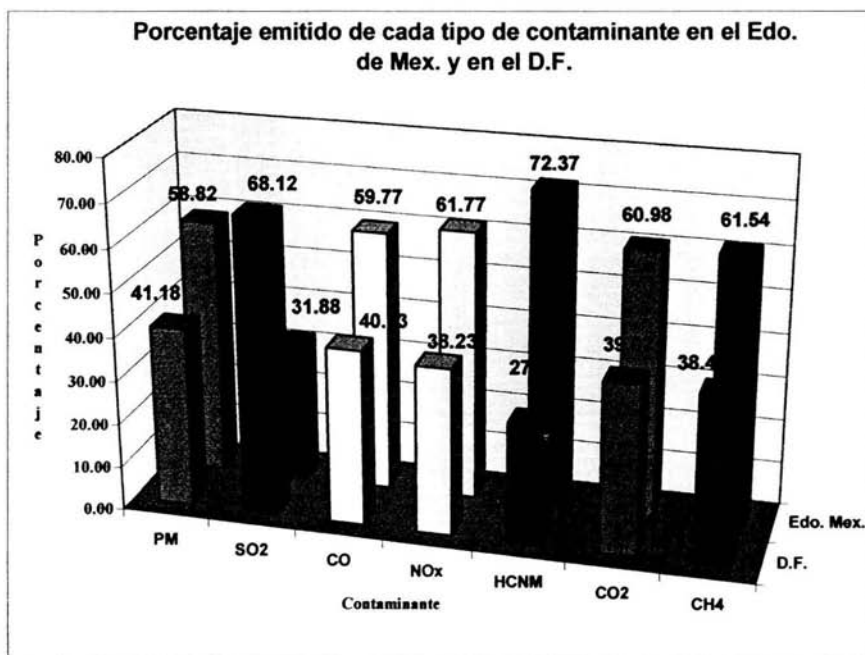


Figura 5.9. Distribución de las emisiones contaminantes en la ZMVM.

Como se observa en la tabla anterior, las emisiones producidas por la Industria del Plástico y del Hule, se distribuyen en igual proporción para la mayoría de los contaminantes, excepto para el bióxido de azufre y los compuestos orgánicos. Se observa una emisión mayoritaria emitida en el Estado de México, con aproximadamente el 60% para el caso de las partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de carbono y metano. En el caso de SO₂ se emite en mayor porcentaje en el Distrito Federal debido al uso de combustibles con azufre. Para el caso de los hidrocarburos, se generan mayores emisiones en los 28 municipios que forman parte de la ZMVM que en el Distrito Federal, 72.4 % contra 24.6% respectivamente.

5.7. Comparación con inventario de emisiones, realizado por la Comisión Ambiental Metropolitana (2000).

Se presenta a continuación una tabla donde se comparan los resultados de las emisiones estimadas en este trabajo de tesis y los obtenidos por la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) para el año 2000, en su publicación más reciente. Se muestra comparación para dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos totales y metano para los sectores 3560 (Elaboración de productos de plástico), 3550 (Industria del Hule) y 3513 (Fabricación de fibras artificiales). Esta comparación no tiene el propósito de tomar como incorrectos unos valores y tomar a otros como los correctos, simplemente se trata de una comparación para mostrar que los resultados obtenidos en esta investigación no se disparan respecto a lo reportado por una institución tan importante en el estudio de la contaminación como es la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM). Como ejemplo, tal vez la CAM no tuvo la necesidad de hacer escalamiento de datos de actividad, como se hizo en este caso, debido a que todos los datos de actividad de una empresa aparecen en la llamada Cédula de Operación Anual, misma que se entrega a la SEMARNAT y que constituye una fuente muy importante de información para la CAM. En este trabajo por ejemplo, se tuvieron que hacer varias aproximaciones y escalamiento de resultados, en cambio la CAM tiene la opción de tomar directamente los datos reportados por las empresas. **Es así como se presenta únicamente para fines comparativos y para reafirmar que este trabajo presenta la opción y la metodología para estudiar un sector**

con mayor detalle y estimar las emisiones contaminantes que puede presentar, así como recomendar algunas medidas de control de las emisiones contaminantes que han funcionado en otros países.

Tabla 5-16. Comparativo entre las emisiones estimadas en la tesis y las obtenidas por la Comisión Ambiental Metropolitana.

	Rama	Descripción	No. de Industrias	Emisiones [ton/año]				
				SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄
CAM**	3513	Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas.	17	575	79	131	185	2
TESIS	3513	Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas.	Se desconoce	18.8	49	118	209.1	1.3
CAM	3550	Industria del hule.	117	151	58	107	524	1
TESIS	3550	Industria del hule.	Se desconoce	34.9	32.7	115	944.3	1.1
CAM	3560	Fabricación de productos de plástico	303	64	877	76	2764	2
TESIS	3560	Fabricación de productos de plástico	Se desconoce	57.4	49	179.7	4319.8	1.8

**CAM = Comisión Ambiental Metropolitana

Se observan algunas diferencias significativas, por ejemplo en la rama 3513 (fabricación de fibras textiles). Estas diferencias pueden deberse al número de empresas de estudio, ya que se desconoce el número de empresas que estudio la CAM para estas actividades.

En cuanto al valor de monóxido de carbono estimado en la investigación de tesis, se revisó cuidadosamente el factor de emisión utilizado, así como el método de estimación y no se encontró ninguna anomalía durante las estimaciones.

La discrepancia en cuanto a los compuestos orgánicos puede deberse principalmente, a que se consideró que los solventes que se utilizaron como materia prima se emitieron *totalmente* a la atmósfera y para los cuales no se utilizaba ningún equipo de control.

A pesar de las diferencias, se puede observar que este procedimiento es válido y comparable con el que realiza una Institución dedicada al estudio de la contaminación como es la SEMARNAT y la Comisión Ambiental Metropolitana. Así mismo este procedimiento podría aplicarse a sectores poco estudiados en el tema de la contaminación por ejemplo, hoteles, restaurantes, tortillerías, baños públicos, combustión habitacional, comercial e institucional, entre otros.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La cantidad de emisiones contaminantes generadas por 608 industrias ubicadas dentro de la ZMVM son en total 6838.7 toneladas de los contaminantes: partículas (PM), óxidos de nitrógeno (NOx), bióxido de azufre (SO₂), hidrocarburos diferentes de metano (HCNM) y monóxido de carbono (CO); y generan 323808.7 toneladas de los gases de efecto invernadero, bióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄)

De hidrocarburos no metánicos se emiten 5814.9 ton/año, representando el 83.9% del total. Le siguen en magnitud los óxidos de nitrógeno (516.4 ton/año) y el bióxido de azufre (253.9 ton/año). De los gases de efecto invernadero, el bióxido de carbono es el que se emite en mayor cantidad debido principalmente a la quema de combustibles fósiles, se emiten en total 323808.7 ton/año.

En general, las actividades que más contribuyen a la generación de contaminantes y de gases de efecto invernadero en la Industria del Plástico y del Hule son la fabricación de poliuretano y sus productos, la fabricación de pieles y telas sintéticas de plástico; la fabricación de resinas sintéticas, la fabricación de artículos de poliestireno expandible, la fabricación de bolsas de plástico impresas, la fabricación de llantas neumáticas, y la fabricación de piezas y artículos de hule.

En cuanto a las emisiones de hidrocarburos, éstas se deben principalmente a los procesos de impresión y laminación en donde se consumen gran cantidad de solventes y adhesivos y la mayoría de empresas no cuentan con equipos de control. En el caso de la Industria del Hule, la mayor cantidad de emisiones se debe a la fabricación de llantas y cámaras en las que se consumen cementos, adhesivos y solventes, y de las cuales es el mayor porcentaje de hidrocarburos emitidos. Le sigue la fabricación de piezas y artículos de hule, en la que los procesos de vulcanizado generan la mayor cantidad de hidrocarburos.

Algunas acciones para disminuir la contaminación en la industria del plástico y del hule incluyen el mejoramiento y adición de sistemas de ventilación, los cuales proveen aire

limpio en el lugar de trabajo y mejorar la eficiencia en la aplicación de solventes para disminuir así la cantidad utilizada. El uso de solventes también puede reducirse con el desarrollo de adhesivos y recubrimientos base agua y la sustitución adecuada de materia prima. Una buena opción es el reemplazo de solvente para limpieza de equipos con una de las siguientes opciones: equipos limpiadores con agua a alta presión; limpiadores con soluciones cáusticas; y la sustitución de solventes con limpiadores basados en solventes cítricos. Implementar técnicas de control y captura, en donde se utilizan spray base solventes orgánicos. Así mismo se recomienda para las operaciones de rociado de la llanta verde, cambiar a spray basado en agua.

En el caso de las emisiones de partículas es recomendable para evitar derrames y fugas de productos químicos cubrir los contenedores, y así mismo instruir a los empleados para un manejo y disposición adecuada de los productos químicos. Una acción indiscutible es la mejora de los métodos de captura de pellets o su implementación en caso de que no se tenga y recordar a los empleados la importancia de no derramarlos.

Para el caso de la industria del hule una buena práctica sería adquirir los compuestos químicos pesados previamente en bolsas de polietileno, los cuales formarían parte misma del compuesto de hule, eliminando así una operación formadora de polvos. Así mismo se podría reducir el uso de productos químicos por vía reformulación (revisión de la fórmula), y el uso de contenedores sellados para disminuir las fugas y los derrames de materiales.

En cuanto a las emisiones de dióxido de azufre, estas pueden disminuirse cambiando al uso de gas natural o gas LP, ya que el diesel y combustible industrial contienen mayor cantidad de azufre. Las emisiones de NOx pueden disminuir si se usan equipos con quemadores de bajo NOx y las emisiones de monóxido de carbono mediante una buena aireación de los equipos de combustión y un mantenimiento constante.

El mayor obstáculo que se presenta para el desarrollo del inventario de emisiones es la falta de cooperación de los industriales para proporcionar datos suficientes para una buena estimación. Muchas veces, la información que prestan es incompleta, o bien, presentan

valores incoherentes respecto al establecimiento. Por ejemplo, algunas veces proporcionan el dato de consumo de combustible, y se observa que éste no corresponde a la capacidad del equipo ni a las horas de operación del mismo.

Considerando las limitantes que tiene alguien ajeno a las instituciones especializadas en el estudio de la calidad del aire para realizar un estudio detallado sobre la contaminación generada por un tipo de industria en particular, y observando la comparación realizada entre los datos publicados por la Comisión Ambiental Metropolitana y los datos obtenidos en esta investigación, se puede observar la coherencia entre la mayoría de ellos, demostrando así que la metodología seguida para el logro del objetivo es aceptable.

Queda claro también que esta última puede utilizarse para incursionar en otros sectores que aún no han sido estudiados a un nivel de profundidad como el que se ha seguido para los sectores que agrupan a las grandes industrias. La metodología seguida ofrece una opción para toda aquella persona interesada en estudiar la contaminación generada por la industria del plástico y del hule, y también la generada por cualquier tipo de industria.

Es así como se concluye que los valores estimados son confiables como una fuente de información muy útil respecto a las emisiones contaminantes a la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México y que puede ser utilizada para seguir este tipo de estudios, en los que seguramente se podrán hacer mejoras significativas.

APENDICE

APENDICE

Seguridad y riesgos en el área laboral.

En la mayoría de las industrias, los empleados están expuestos a un gran número de peligros potenciales contra su salud y seguridad. Los riesgos pueden ser físicos, biomecánicos o químicos.

En la industria del hule y plástico se presentan los 3 tipos. En el caso de la inhalación y la absorción a través de los pulmones en este sector suman el 90% de los casos de intoxicación.

De los plásticos que se transforman en grandes cantidades, los termoplásticos fabricados con poliestirenos merecen especial atención por la presencia de estireno monomérico durante la degradación termooxidante de estas resinas. En una planta de moldeo por inyección de poliestireno puede haber de 1 a 7 partes por millón (p.p.m) de estireno.

Sin embargo, los peligros del estireno en resinas termoplásticas son mínimas en comparación con el riesgo que suponen las resinas de poliéster. En la producción de artículos de plástico reforzado (poliéster) con fibra de vidrio, sea cual sea la aplicación, el trabajo a molde abierto, expone al trabajador a los vapores de estireno. Las resinas poliéster contienen aproximadamente un 35% en peso de estireno. Para evitar respirar estos vapores se requiere de una máscara especial, misma que es dada a los trabajadores solo en algunas compañías, otras únicamente se conforman con los equipos de ventilación. Si estos sistemas de ventilación no son adecuados, se puede superar fácilmente el umbral actual, el cual es de 50 p.p.m. En las operaciones de moldeo cerrado se producen exposiciones menores, por lo que algunas empresas están reconvirtiendo todas sus operaciones en técnicas de moldeo cerrado.

Los plásticos no son reactivos en condiciones normales. Sin embargo, la mayoría de ellos pueden degradarse al calentarse suficientemente. Algunos plásticos comienzan a degradarse a la temperatura de tratamiento normal, mientras que otros lo hacen cuando sobrepasa este

valor de temperatura. De una o de otra forma pueden producirse vapores que serán perjudiciales para las personas por inhalación.

De esta forma, se emiten vapores de cloruro de hidrógeno por degradación de PVC; formaldehído por degradación de polioximetileno; amoníaco, formaldehído y fenol por degradación de resinas fenólicas; caprolactama por degradación térmica de nylon 6; y el polimetacrilato de metilo produce emisiones de metacrilato de metilo debido a su degradación.

INCENDIO Y EXPLOSION

Como la mayoría de los plásticos peletizados (particulados) no son explosivos, el peligro mayor que presentan es el incendio. De su combustión, los peligros presentes son la emisión de monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno y amoníaco. Las muertes provocadas por incendios son principalmente por quemaduras directas, falta de oxígeno y exposición a sustancias químicas tóxicas. Por ejemplo, en la siguiente tabla se reporta la toxicidad producida por la combustión de algunos polímeros:

Tabla 1. Toxicidad relativa por llama de polímeros y fibras seleccionadas

Material	Tiempo aproximado para muerte (min.)	Tiempo aproximado para incapacitación (min.)
ABS	12	11
Espuma flexible de poliuretano	14	10
Espuma rígida de poliuretano	15	12
Fibra de poliéster, 100%	11	8
PVC	17	9
Poliestireno	23	17
Polietileno	17	11
Polietileno clorado	26	9
Polimetacrilato de metilo	16	13

Como se observa en la tabla anterior, los vapores emitidos por llama de fibra poliéster, PVC y el polietileno clorado, son los que tienen menor tiempo para que la persona quede incapacitada. Y la fibra de poliéster y el polímero ABS, son los que tienen menor tiempo para provocar muerte por contaminación de sus vapores.

Tabla 2. Características de explosividad e ignición de algunos compuestos seleccionados.

Tipo de polvo	Temperatura de ignición (°C)	Explosividad	Sensibilidad de ignición
Caucho sintético, duro	320	Grave	Grave
Caucho, en bruto	350	Fuerte	Fuerte
Compuesto moldeado de poliestireno	560	grave	Grave
Compuesto de metacrilato de metilo-acrilato de etilo-estireno	440	Grave	Grave
Copolímero de metacrilato de metilo-estireno-butadieno-acrilonitrilo	480	Grave	Grave
Espuma de poliuretano	510	Grave	Grave
Fibra mixta de estireno-poliéster modificado-vidrio	440	Fuerte	Fuerte
Polietileno, proceso alta presión	450	Grave	Grave
Polímero de metacrilato de metilo	480	Fuerte	Grave
Polímero de nylon	500	Grave	Grave
Polipropileno	420	Grave	Grave

Como se observa, la mayoría de los compuestos utilizados en la industria del plástico y del hule tienen características de explosividad y son muy sensibles a la ignición. Es notable la temperatura baja de ignición del caucho sintético.

RIESGOS A LA SALUD

Las vías más comunes de entrada de sustancias tóxicas en el ser humano son ingestión, inhalación, piel y ojos.

En cuanto a **ingestión** se refiere, muchas empresas afirman que la ingestión de pellets (gránulos) “no es una vía de exposición probable” ya que muchos plásticos son bastante inertes.

La **inhalación** de pellets de plástico es poco probable, sin embargo, la de polvos, gases y vapores es objeto de gran preocupación. Muchos gases son detectados por el hombre con facilidad a bajas concentraciones, indicando su presencia y por lo tanto, alertándolo de la exposición a este material. Sin embargo, otros no son detectados a bajas concentraciones, representando un problema de exposición, y peor aún si se trata de un material peligroso. Durante la fabricación de espumas de poliuretano, se polimerizan isocianatos perjudiciales para el ser humano. Los límites de exposición a estos materiales son muy bajos, y durante su manejo requiere de un gran esfuerzo mantener estos niveles.

Los pellets de plástico no pueden penetrar en la piel (**exposición dérmica**), pero si pueden producir irritación cutánea o dermatitis, sobre todo cuando el material contiene fibras abrasivas como el vidrio. El contacto de la piel con plásticos fundidos puede causar quemaduras graves. Los materiales líquidos son potencialmente muy peligrosos para la piel. Por ejemplo, un catalizador utilizado en resinas epóxicas (dietilen triamina) puede penetrar la piel, por lo que su manejo exige de precauciones especiales.

En **ojos**, puede ocurrir irritación mecánica ocular si llegasen a entrar los polvos en el ojo de una persona. Por lo regular, los plásticos pelletizados no están regulados como **carcinógenos**, aunque algunos monómeros residuales pueden tener relación con el cáncer, tal como el acetato de vinilo.

Tabla 3. TLV** y umbrales de olor de algunos productos químicos

Nombre	TLV (p.p.m)	Umbral olor del aire (p.p.m)
Acetaldehído	STEL 25	0.05
Acetato de vinilo	10	0.5
Acrilonitrilo	2	17

Amoniaco	25	5.2
1,3-butadieno	2	1.6
Cianuro de hidrógeno	10	0.58
Cloruro de hidrógeno	5	0.77
Cloruro de vinilo	5	3000
Estireno	50	0.32
Fenol	5	0.040
Formaldehído	0.3 tope	0.83
Metacrilato de metilo	100	0.083

**TLV = Valor límite de umbral, media ponderada en el tiempo aceptable par una jornada de 8 horas, como parte de una semana laboral de 40 horas.

STEL = Límite de exposición a corto plazo.

Entre mas alto sea el valor umbral olor del aire, significa que será percibido solamente en mayores cantidades y por consiguiente, tendrá un riesgo mucho mayor de afectar la salud del trabajador. Así, se observa que el cloruro de vinilo, acrilonitrilo, amoniaco, y 1,3-butadieno tienen los valores más altos de umbral; mientras que los TLV más bajos corresponden a acrilonitrilo y 1,3-butadieno. Debido a ello, estos dos últimos compuestos son los que se percibirían solo en grandes cantidades pero en pequeñas cantidades dañan el organismo.

Medidas de protección en el trabajo.

Debido a los peligros potenciales mencionados anteriormente es necesario mantener una ventilación adecuada en el área de tratamiento. El personal debe usar gafas o anteojos de seguridad, guantes, auriculares para el oído, mascarillas de respiración, siempre que los gases estén fuera de control. Estas mascarillas habrán de usarse también durante las operaciones de triturado, lijado y aserrado, en las que se forman cantidades considerables de polvo.

Se debe poner sobre aviso a las personas alérgicas sobre los posibles agentes irritantes bronquiales y de la piel. Además cualquier síntoma de irritación cutánea, ocular, nasal o de garganta deberá tratarse de inmediato.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. Centro Empresarial del Plástico, 2002. Estadísticas de la Industria del Plástico.
2. Secretaría de energía, 2001. Anuario Estadístico Petroquímica 2001.
3. Secretaría de Marina y Recursos Naturales (SEMARNAT), 1998. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998.
4. Sistema de Información Empresarial Mexicano. Guías Industriales para la Industria del Plástico.
5. Radian International LLC, 1997. Fundamentos del Inventario de Emisiones. Vol. II al IV.
6. Instituto Nacional de Ecología, 1998. Guía para el reporte de emisiones de la industria de la fabricación de resinas sintéticas y plastificantes.
7. AUSTIN, George T. Manual de Procesos químicos en la industria. 1ra. Edición Ed. McGraw Hill, D.F. México, 1992.
8. Environmental Protection Agency, 1997. Profile of the plastic resin and manmade fiber industries.
9. DRIVER, Walter E. Química y tecnología de los plásticos. Ed. Compañía Editorial Continental, 1982. México D.F.
10. MORTON-JONES. Procesamiento de plásticos. Ed. Limusa, 1997. México D.F.
11. RICHARDSON & LOKENSGARD, Industria del Plástico. Plástico Industrial. Ed. Paraninfo, 2000.
12. Environmental Protection Agency, 1995. Synthetic fibers.
13. Environmental Protection Agency, 1995. Profile of the rubber and plastics industry. U.S.A.
14. National Pollutant Inventory, 1999. Emissions Estimation Technique Manual for Fibreglass Product Manufacturing.
15. Environment and Heritage Service, 1997. Processes for the manufacture of fibre reinforced plastics.
16. Centre Interprofessionel Technique d'Estudes de la Pollution Atmosphérique, 2002. Polystyrene Processing.
17. European Environment Agency, 1999. Solvent and other product use.

18. CRUZ, Rosas María del Carmen. Tesis: Evaluación de las emisiones y técnicas de control de compuestos orgánicos volátiles generados en la impresión de envolturas plásticas. D.F. México, 1998.
19. Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana (Chile), 1999. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Industria Gráfica.
20. Delgado E. Nemesio. La impresión de películas plásticas. Mecánica Tecnomaq SA de CV.
21. National Pollutant Inventory, 2002. Emission Estimation Technique Manual for Rubber Product Manufacturing.
22. Environmental Protection Agency, 2000. Compilation of Air Pollution Emission Factors.
23. Eastern Research Group, 2001. Uncontrolled Emission Factor Listing for Criteria Air Pollutants.
24. Development of Emission Factors for polyethylene processing. Journal of Air & Waste Management Association, 46:569-580.
25. Instituto Mexicano del Plástico Industrial 1997. Estadísticas de la Industria del Plástico.
26. Instituto Nacional de Ecología, 1998. Guía para el reporte de emisiones de la industria de la fabricación de llantas neumáticas y cámaras.
27. Environmental Protection Agency, 1998. Preferred and alternative methods for estimating air emissions from plastic product manufacturing.
28. J. BUONICORE, Anthony and Wayne T. Davis. Air Pollution Engineering Manual. Ed. Van Nostrand Reinhold. 1992, New York.
29. F. LUND, Herbert. Manual para el control de la contaminación industrial. Ed. Mc. Graw Hill. 1971, New York.
30. Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía. Automovilista eficiente, fabricación del neumático.
31. Inventario de Emisiones a la Atmósfera en la Zona Metropolitana del Valle de México 2000. Comisión Ambiental Metropolitana.
32. Brown, Theodore L. Et.al. Química. La ciencia central. 5ta.ed. Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana. 1993. México.

ANEXOS

EJEMPLO DE ENCUESTA



Respondió encuesta:

Empresa:

Fecha:

ENCUESTA SOBRE USO DE MATERIAS PRIMAS, PRODUCCIÓN, EMPLEO Y USO DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO.

MATERIAS PRIMAS Y PRODUCCIÓN				
Polímero	Cantidad de polímero producido (kg/mes, ton/mes u otra unidad) ¹	Cantidad de polímero transformado (kg/mes, ton/mes, u otra unidad) ²	Cantidad de productos plásticos(kg/mes, ton/mes, u otra unidad)	Método de transformación ³
Polietileno				
Poliestireno				
PVC				
Poliuretano				
Polipropileno				
PET				
ABS				
Policarbonato				
Resinas fenólicas(bakelita)				
Resinas acrílicas				
Resinas epóxicas				
Resinas poliéster				
Resinas urea-formaldehído				
Latex				
Fibra de vidrio				
Otra (indicar abajo)				
Composición: Nombre químico			Cantidad utilizada (lt/mes, kg/mes, u otra unidad)	
Pigmento utilizado				
Solvente utilizado				
EMPLEO				
Número de empleados			Número de obreros	
Horario de trabajo	Lunes a viernes		Sábado	Domingo
USO ENERGÉTICO				
Nombre del equipo que utiliza combustible	No. de equipos	Capacidad del equipo (BTU/hr; u otra unidad)	Nombre del combustible	Cantidad utilizada (lt/mes, kg/mes,)
Nombre del equipo que utiliza energía eléctrica	No. de equipos	Consumo mensual de energía (kw/mes, u otra unidad)		

¹ En caso de ser establecimiento productor de la resina.

² En caso de ser establecimientos transformadores de resinas.

³ Por ejemplo, inyección; inyección-soplado, extrusión; extrusión-soplado, moldeo por compresión; u otro (indicar).