

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA TERMODINAMICA



***IMPACTO ATMOSFÉRICO DE GAS LP UTILIZADO EN
PROCESOS DE COMBUSTIÓN EN FUENTE FIJA***

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA TERMODINAMICA

PRESENTA

MIGUEL ÁNGEL PASTRANA CORRAL

DIRECTOR

DR. GERARDO CÉSAR DÍAZ TRUJILLO

Mexicali, B. C.

Febrero 2011

AGRADECIMIENTOS

Dedico esta tesis a mi compañera, amiga y esposa, Aurora, por su apoyo incondicional para que este proyecto tomara la forma que hoy tiene.

A mis hijos, Miguel y Gadiel, por hacer más llevadero este difícil camino de una profesión, tan demandante cómo la preparación de futuros profesionistas.

A Dios por la oportunidad y retos que me presenta, y darme la fuerza y la entereza para poder superarlos.

Es mi deber y necesidad agradecer por la enorme oportunidad que me ha dado la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo para poder elevar un escalón más mi proyecto de vida como uno de sus integrantes y hacerme cada vez más merecedor de ser parte de esta institución de alto rendimiento.

Quiero agradecer de gran manera a mi compañero y amigo, el Dr. Fernando Wakida Kusuniki, por el apoyo en la realización de este trabajo de investigación.

Le agradezco al Dr. César Gerardo Díaz Trujillo, por el gran apoyo en este trabajo, y por su interés desmesurado en el buen termino del mismo.

A mis compañeros de estudios por su apoyo, Ana, Claudia, muchas gracias.

A todos aquellos que de una u otra manera colaboraron para hacer esto posible.

A Dolores, por la paciencia, gracias.

CONTENIDO

	Página
Lista de Figuras	i
Lista de Tablas	iii
Resumen	1
Objetivo	2
Justificación	3
1. Antecedentes	
1.1. Atmósfera y su composición	5
1.2. Contaminación del Aire Urbano	7
1.3. Clasificación de las fuentes de emisión	14
1.4. Sistemas de Lavanderías	17
1.4.1 Gas Licuado de Petróleo (GLP)	19
1.5. Normas de protección al medio ambiente (aire)	23
1.6. Inventario de Emisiones	28
2. Termodinámica de la Combustión	
2.1. Fuentes de emisión	33
2.2. Combustible	33
2.3. Combustión	35
2.3.1. Cuantificación de la combustión	36
2.3.2. Termodinámica de la combustión	40
2.4. Monóxido de Carbono	43

3. Materiales	
3.1. Equipo	45
4. Metodología	
4.1. Muestreo	47
4.2. Determinación de contaminantes del aire	50
4.3. Cálculos globalizados de contaminantes	52
5. Resultados	
5.1. Cálculos promediados por cada corrida de manera unitaria por unidad de volumen trabajado	55
5.2. Cálculos unitarios por hora promediados por corrida	56
5.3. Cálculos unitarios diarios promediados por corrida	57
5.4. Cálculo unitario anual promediado por corrida	59
5.5. Cálculo de contaminantes diario global en la ciudad	60
5.6. Cálculo de contaminantes anual global en la ciudad	62
6. Discusión de Resultados	64
7. Conclusiones	67
8. Referencias	70

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.- Capas de la atmósfera terrestre.	7
Figura 2.- Clasificación de las fuentes contaminantes.	9
Figura 3.- Londres, en un día con smog en 1952.	12
Figura 4.- Ciudad de Lanzhou, capital de la provincia de Gansu, China.	14
Figura 5.- Contaminación por vehículos.	15
Figura 6.- Maquinaria pesada.	16
Figura 7.- Incendio forestal.	16
Figura 8.- Servicio de lavandería convencional y secadora a gas.	18
Figura 9.- Estadísticas en Lavanderías al 2006 provistas por el municipio de Tijuana, B. C.	20
Figura 10.- Génesis de los contaminantes atmosféricos.	33
Figura 11.- a) Analizador de Gases de Combustión Bacharach, b) Analizador con bayoneta.	44
Figura 12.- Punto de Muestreo 1.	47
Figura 13.- Punto de Muestreo 2.	48
Figura 14.- CO unitario por hora.	55
Figura 15.- HC unitario por hora.	56
Figura 16.- CO unitario diario.	57
Figura 17.- HC unitario diario.	57
Figura 18.- CO unitario anual.	58
Figura 19.- HC unitario anual.	59

Figura 20.- CO diario global.	60
Figura 21.- HC diario global.	60
Figura 22.- CO global anual.	61
Figura 23.- HC global anual.	62
Figura 24.- Por ciento de GLP consumido en la ciudad de Tijuana, B.C.	65
Figura 25.- Porcentaje de GLP desperdiciado anualmente.	65

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1.- Propiedades fisicoquímicas del GLP.	23
Tabla 2.- Valores límite para los contaminantes atmosféricos normados en México.	25
Tabla 3.- Normas Oficiales Mexicanas para el control de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas.	26
Tabla 4.- Propuestas de medidas incluidas en los distintos «Proaires» relacionadas con la reducción de emisiones de hidrocarburos.	28
Tabla 5.- Primeros miembros de la serie de los alcanos de cadena recta.	34
Tabla 6.- Composición del aire natural seco a nivel del mar.	35
Tabla 7.- Valores de calores de combustión mínimos (H_{CL}), máximos (H_{CH}) y energía libre de Gibbs ($-\Delta G$).	41
Tabla 8.- Propiedades físicas del GLP, en sus componentes.	42
Tabla 9.- Concentraciones de especies en la Tropósfera limpia y en el aire urbano contaminado.	43
Tabla 10.- Resultados promediados por corrida.	54

Este proyecto se encaminó a medir las emisiones gaseosas contaminantes, óxidos de nitrógeno (NO_x) óxidos de azufre (SO_x), monóxido de carbono (CO), e hidrocarburos volátiles (HC) generadas por fuentes fijas comerciales y de servicios como lo son los servicios de lavandería en la zona urbana de la ciudad de Tijuana, Baja California, las cuales consumen fuentes energéticas como el GLP (licuado de petróleo). Se seleccionaron diversos puntos de la ciudad, aplicándose mediciones se empleó la técnica del muestreo sistemático de servicios de lavanderías comerciales de la ciudad de Tijuana.

De los diversos contaminantes estudiados, sólo los valores del monóxido de carbono y de los hidrocarburos volátiles presentan valores significativos en el instrumento empleado en las mediciones.

La interpretación estadística de estos resultados, de una forma globalizada (extrapolación), logran determinar cuánto es el aporte promediado en compuestos gaseosos en la atmósfera que afectan la calidad del aire en la región urbana de la ciudad de Tijuana, se estima más de 70 toneladas de CO extrapoladas a un concepto anual y un poco más de 5,057 toneladas de HC emitidos a la atmósfera, en su conjunto dándonos una panorámica más real del impacto ambiental que esto implica, así como ofrecer una colaboración con la base de datos, respecto al inventario de emisiones de la zona.

Palabras clave: atmósfera, GLP, gases contaminantes, combustión, Tijuana.

General

Evaluar los contaminantes atmosféricos generados en procesos de combustión por en giros comerciales y de servicios en la ciudad de Tijuana, específicamente las lavanderías comerciales, para así con esta información poder realizar un análisis de manera objetiva y más precisa del impacto que provocan dichas emisiones al medio ambiente.

Específicos

1). Establecer factores de emisión de contaminantes, tales como CO y los hidrocarburos (HC), que se generen a partir del análisis de los gases de combustión de GLP de los giros estudiados.

2). Determinar la cantidad de CO generados de procesos de combustión específicos, para lavanderías comerciales, mediante el análisis de los datos provenientes de las secadoras de ropa.

3). Establecer la magnitud de HC liberados a la atmósfera en los procesos en estudio, para así evaluar sus múltiples implicaciones tanto ambientales como económicas.

Colaborar, si es posible con la base de datos, respecto al inventario de emisiones de la zona, en CO, NO_x, SO_x y en HC.

4). Recabar información y establecer las bases para elaborar, posteriormente, un estudio termodinámico integral sobre estos procesos en estudio.

La degradación de la calidad del aire está ligada a las actividades humanas, ya que generarán residuos contaminantes, lo cual a la larga, de no existir un adecuado control de estos desechos, terminan por impactar tanto al medio ambiente como a nosotros mismos. La contaminación debido a la actividad humana es compleja, ya que hay una gran cantidad de fuentes que los generan y por lo tanto son de difícil identificación.

Este tipo de problemas en gran escala se presentan en las grandes ciudades, como en la Zona Metropolitana del Valle de México, el gran crecimiento urbano y demográfico son factores determinantes en esto, pues provoca como consecuencia que se asienten los grandes generadores de industrias, comercios y servicios y en el uso de vehículos.

El consumo de energéticos empleados en los sectores productivos y el transporte, incluyendo al sector doméstico, producen la mayor parte los contaminantes emitidos a la atmósfera, debido que están íntimamente ligados ya que para sus actividades requieren de la combustión de diferentes tipos de combustibles fósiles.

El realizar un balance del consumo de combustibles nos puede proporcionar información, no solamente de la actividad económica que ocurre en la zona, si no también nos ayuda a conocer como el consumo de estos combustibles modifica la calidad del aire.

De acuerdo a lo anterior se vuelve más imperativo la adecuada clasificación de las fuentes contaminantes, en la actualidad esto aumenta el requerimiento en la

instrumentación y aplicación de métodos mejor delineados que permitan estimar que tipo de contaminantes y en que cantidad se incorporan a la atmósfera.

Un instrumento importante en esta tarea lo constituye el inventario de emisiones a la atmósfera, mediante el cual es posible identificar tanto a las fuentes emisoras, como el tipo y cantidad de contaminantes generados como resultado de la realización de procesos industriales, actividades específicas y la circulación de vehículos.

Aunque en la actualidad en el estado de Baja California ya se están realizando estudios constantes que determinan la calidad del aire en las zonas urbanas en el estado de Baja California (1), este proyecto planea establecer la contribución específica de los servicios de lavandería públicas en el impacto ambiental de la calidad del aire en zonas urbanas del Estado de Baja California, ya que en sus procesos se involucra la quema de hidrocarburos, tales como el gas licuado de petróleo (GLP), implicando la emisión de calor y gases contaminantes.

Tales resultados nos permitirán medir de una manera más directa y específica los contaminantes emitidos al aire en el rubro de empresas de servicios, que hará más eficiente y completo el inventario de emisiones en cada zona, creando más conciencia en los sectores involucrados y preocupados con su entorno.

1.1. Atmósfera y su composición

Existe una mezcla de gases que rodea a la Tierra llamada atmósfera (proveniente del vocablo griego que significa "esfera de aire"), el campo gravitacional del planeta evita que estos gases escapen al espacio, logrando que se mantenga prácticamente constante la mezcla de sus componentes gaseosos, permitiendo y protegiendo la vida en el planeta tal y como la conocemos.

El aire o mezcla de gases que constituyen la atmósfera está compuesto principalmente por nitrógeno y oxígeno. El nitrógeno representa el 78% del volumen atmosférico y se mantiene con una estructura diatómica homogénea hasta los 200 km de altitud. El oxígeno, que ocupa el 21% del volumen de la atmósfera, presenta distintas estructuras atómicas en función de la altitud e interviene de modo decisivo en los procesos respiratorios de los seres vivos. Otros componentes de la atmósfera son el argón, el dióxido de carbono y en más pequeñas cantidades, el hidrógeno y gases inertes como el neón, el xenón, el helio, el criptón y el radón.

Generalmente se considera que la atmósfera tiene un espesor aproximado de 1,000 km, aunque la delgada capa inferior, hasta los 20 km de altitud, concentra el 99% de la densidad atmosférica total (2). La atmósfera se estratifica en capas, los meteorólogos definen a estas capas en primer lugar por la variación de la temperatura con la altitud. Las sucesivas capas, desde la más baja a la más alta, son la tropósfera, la estratósfera, la mesósfera y la termósfera, a las que hay que añadir lo que está por encima de esta última y que se conoce como exósfera.

Tropósfera, en ella las temperaturas disminuyen con la altitud a un promedio de unos 6 °C cada kilómetro, contiene el 80% del peso de la atmósfera y presenta un grosor promedio de 12 km, en ella se producen distintos movimientos verticales y horizontales, los cuales dan a lugar a los fenómenos meteorológicos que constituyen el tiempo atmosférico.

Estratósfera, se sitúa entre los 12 y los 50 km, su concentración de vapor de agua es muy baja y su temperatura se mantiene constante. En su parte inferior fluye la corriente en chorro que, conocida como jet stream, ejerce una considerable influencia en la meteorología de las zonas templadas.

Mesósfera, se sitúa entre los 50 y 90 km, se caracteriza porque en ella se produce una rápida disminución de la temperatura hasta los –90 °C (Figura 1).

Termósfera, también conocida como ionosfera, continúa a partir de la mesósfera hasta los 500 km. En este estrato los átomos aislados de oxígeno y nitrógeno entran en reacción al absorber las radiaciones solares de onda corta (rayos X y gamma) y se disocian en iones, los cuales absorben a su vez partes de la radiación ultravioleta. Su temperatura oscila entre los 400 y 2,200 °C, según la hora del día y la fase del ciclo de las manchas solares.

Exósfera, se extiende desde los 500 km, hasta más allá de los 1,000 km de altura. En esta zona se producen las auroras boreales y se tiene lugar el intercambio entre las

moléculas de gases atmosféricos y se produce el choque de micrometeoritos del espacio exterior (3).

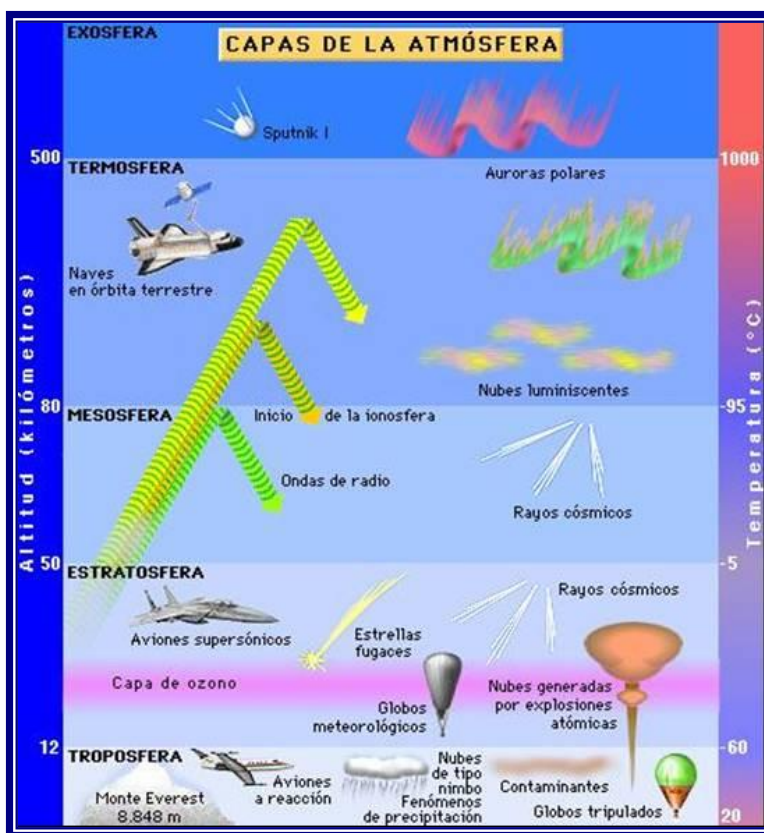


Figura 1.- Capas de la atmósfera terrestre (4).

1.2. Contaminación del Aire Urbano

Un elemento clave para gran parte de los seres vivos del planeta es el aire, un ser humano promedio pasa a través de sus pulmones 6 litros de esta mezcla de gases cada minuto (5). Desde tiempos remotos los seres humanos están concientes de que una atmósfera que contenga elementos contaminantes representa un riesgo a la salud, ya sea que estos contaminantes provengan de un proceso de contaminación “natural” como erupciones volcánicas, incendios forestales o simplemente por efecto del polen y

esporas liberadas en la época primaveral, o que sean generados de actividades humanas conocida como contaminación antropogénica. En si, un contaminante del aire es toda aquella sustancia que se presenta en la atmósfera y que afecta de forma negativa la salud en seres humanos, plantas, animales y vida microbiana; además de dañar materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables y afectar el uso de propiedades y terrenos.

Los contaminantes en general pueden dividirse en dos tipos: primarios y secundarios (Figura 2). Los primarios, son aquellos contaminantes emitidos directamente a la atmósfera por las fuentes que lo generan: dióxido de azufre (SO_2), óxido de nitrógeno (NO), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), amoniacos (NH_3), hidrocarburos (HC), halógenos y partículas suspendidas. Por otra parte los contaminantes secundarios son los que han estado sujetos a cambios químicos, o son el producto de la reacción de dos o más contaminantes primarios en la atmósfera: trióxido de azufre (SO_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ozono (O_3), cetonas y aldehídos, y dióxido de nitrógeno (NO_2)

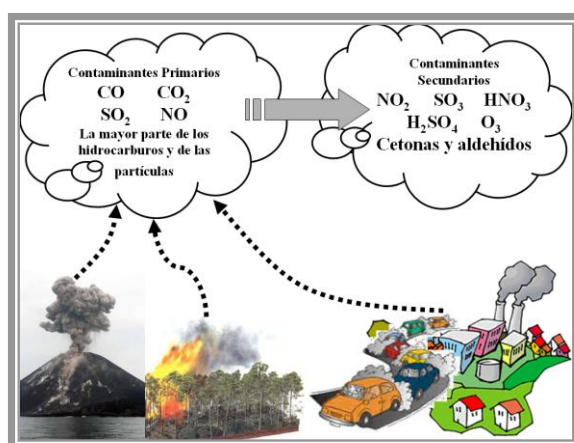


Figura 2.- Clasificación de las fuentes contaminantes (6).

Cuando la humanidad se encontraba en su etapa preindustrial, se limitaba a actividades de producción tipo artesanal y agropecuario, estos contaminantes generados no eran significativos, siendo absorbidos por el medio ambiente sin grandes repercusiones.

Con la llegada de la primera y segunda Revolución Industrial el problema de la contaminación atmosférica adquiere toda su magnitud, ya que se agregaron al ambiente gran cantidad de productos químicos y agentes físicos:

- 1 Emisiones industriales, comerciales y de servicios, de tipo gaseosas (CO, CO₂, NO, SO_x)
- 2 Emisiones de vehículos de motor, cuya alta densidad en las regiones urbanizadas determina una elevada contaminación atmosférica,(CO, hidrocarburos, NO, SO₂, Pb)
- 3 Emisiones Industriales en polvo (cementos, yeso, etc)
- 4 Basureros (metano, malos olores)
- 5 Quema de basura (CO₂ y gases tóxicos)
- 6 Incendios forestales (CO₂)
- 7 Fumigaciones aéreas (líquidos tóxicos en suspensión)
- 8 Derrames de petróleo (incluyendo hidrocarburos gaseosos)

La historia de la contaminación industrial se inicia prácticamente en Inglaterra, ya que ahí fue la cuna de la primera sociedad de este tipo en el siglo XVIII, aunque curiosamente en 1272 bajo el reinado del Rey Eduardo I de Inglaterra, el Parlamento

ordenó torturar y ahorcar a un hombre que vendía y consumía el carbón ya que este generaba un olor pestilente (6).

Como era de esperarse, muchas de las consecuencias de esta contaminación generada nunca se sospecharon e incluso cuando se presentaron observaciones al respecto, estas advertencias fueron menospreciadas. Por ejemplo en 1661 en Londres, John Evelyn proponía que se ubicaran en una misma zona las actividades industriales, comerciales y que estas estuvieran rodeadas de “cinturones verdes” para filtrar la contaminación generada, obviamente no encontró respuesta a su llamado (7). A lo largo del siglo XIX y a inicios del siglo XX, el carbón estaba colocado como el principal participante en la contaminación ambiental a nivel mundial, ya que conforme iba creciendo y diversificando la industria se aceleraba en igual proporción la quema de este combustible debido a que era fuente de calor y energía.

Ya en 1859 uno de los primeros pozos petroleros fue perforado y comenzó a generar ganancias comerciales y a inicios del siglo XX se inició la refinación de petróleo y la industria automovilística a escalas comerciales, las cuales traían consigo otras industrias secundarias, como el acero y la fabricación de caucho.

Estas industrias secundarias tuvieron un incremento muy significativo con la llegada de la Segunda Guerra Mundial, y por lo tanto el CO no era el único y más importante contaminante en el ambiente sino también se generaron grandes cantidades SO₂ y NO,

debido al gran auge en la industria metalúrgica comenzó a prosperar y desplazó al carbón como la fuente principal de SO_2 en el aire atmosférico.

En Londres, Inglaterra en 1873 un total de 268 muertes se atribuían a la contaminación ambiental generada por las industrias y en 1922 se estableció que las muertes en el área urbana aumentaban un 11.8 % cuando había periodos de niebla intensa, que con el tiempo se le denominó con el nombre de smog (palabra compuesta de “smoke” humo y “fog” niebla). En 1952 (Figura 3) hubo 3 días de niebla intensa que provocaron más de 4,000 decesos (8).



Figura 3.- Londres, en un día con smog en 1952. (9)

En la década de 1940, en la ciudad de los Ángeles, California, E.E.U.U. la ciudadanía reclamaba ya acciones para reducir la contaminación en el aire, ya la visibilidad en el mismo se reducía la mayor parte del día y se observaba una directa relación en la irritación sistemática de ojos, nariz y garganta en los habitantes (10).

En la actualidad los problemas debidos a la contaminación ambiental del aire siguen en aumento y se hacen esfuerzos a nivel mundial para reducir estos impactos, como los de la Unión Europea (UE) que recientemente, tras varios años de negociaciones aplicará el Protocolo de Kyoto, que busca reducir la emisión de los gases causantes del calentamiento terrestre (efecto invernadero como lo son el CO_x, NO_x, metanos, compuestos fluorocarbonados entre ellos los gases refrigerantes y el ozono), este programa busca en casi todos los países industrializados reducir en 5% respecto a 1990 sus emisiones de este tipo de gases. Algunas previsiones científicas alertan que de no frenarse el cambio climático, la temperatura aumentaría 5.8 grados más en 2100, “con impactos nefastos en nuestros ecosistemas, nuestras economías y la humanidad” (11).

Este tipo de acciones son buenas aunque no suficientes, el problema de la contaminación del aire apenas está creando conciencia a nivel general, la falta de acciones debido a las posibles implicaciones económicas, políticas, corrupción, e incluso una escasa conciencia ecológica debido a una pobre cultura ambiental, hacen que los esfuerzos por reducir estos problemas sean pocos y lentos, e incluso tomar acciones erróneas que podrían rayar en lo ridículo, como por ejemplo en la pequeña ciudad de Lanzhou, China (Figura 4), que está localizada en el corazón mismo de una gran petroquímica y refinería de petróleo, es considerada una de las ciudades más contaminadas de ese gran país. Se ha proyectado rebajar la altura de una montaña para facilitar la circulación de vientos y nubes de forma que se despeje la contaminación atmosférica. El proyecto contará con un presupuesto de 12 millones de

dólares y moverá más de 30 millones de metros cúbicos de tierra de la montaña "Daqing" (12).

Esta ciudad es la capital de la provincia de Gansu, ubicada prácticamente en el centro geográfico de China, aunque la población urbana es de 9.2 millones de habitantes, la provincia posee 280 millones de individuos.

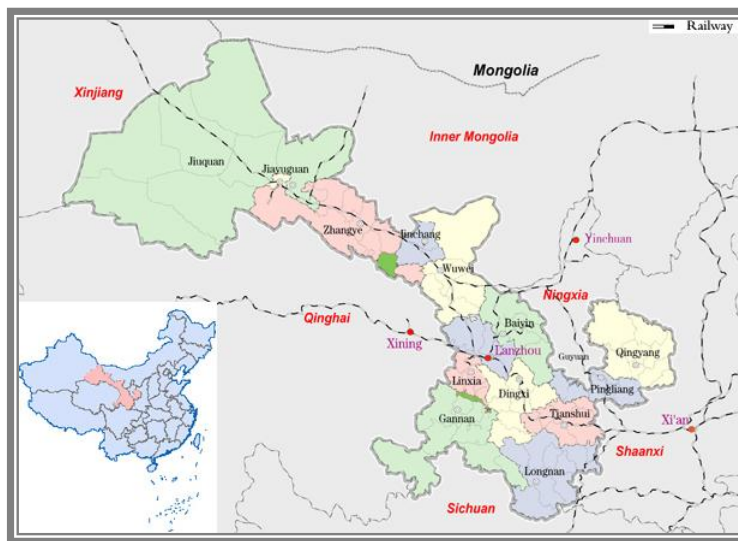


Figura 4.- Ciudad de Lanzhou, capital de la provincia de Gansu, China. (13)

Pero como han dicho algunos eruditos en materia de protección ambiental, la respuesta no está en diluir los contaminantes, sino controlarlos y reducirlos haciendo más eficientes los procesos generadores de dicha contaminación. Es claro que no es posible frenar el desarrollo de la tecnología que desafortunadamente produce estos contaminantes, pero es necesario aprender a aplicarla reduciendo sus efectos secundarios.

1.3. Clasificación de las fuentes de emisión

Las fuentes de emisión de contaminantes pueden ser agrupadas de la manera siguiente:

- A. Fuentes puntuales: sector industrial;
- B. Fuentes móviles: sector transporte;
- C. Fuentes de área o difusa: sector doméstico, comercial y de servicio;
- D. Fuentes naturales: suelos y vegetación.

A.- Fuentes Puntuales o Fijas. Son fuentes donde hay actividades generadoras de contaminantes tóxicos, como la producción de energía, la industria química, en general, las artes gráficas, la industria metalúrgica entre otras. (14)

B.- Fuentes móviles. Es todo vehículo automotor (Figura 5) que transita por vías de circulación como calles, carreteras, caminos y avenidas. Como ejemplo se pueden mencionar a los automóviles, camionetas pick up, vehículos de carga, autobuses y motocicletas (15).



Figura 5.- Contaminación por vehículos. (16)

C.- Fuentes de área. Son todos aquellos establecimientos o lugares donde se desarrollan actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas de contaminantes, pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte considerable de contaminantes a la atmósfera y que no llegan a considerarse como fuentes puntuales. En esta categoría se incluyen la mayoría de los establecimientos comerciales y de servicios y los hogares. Como ejemplos, se pueden mencionar a las panaderías, tintorerías, fabricación de tabiques, uso de combustibles y productos en el hogar, uso de pinturas y tintas, manejo de maquinaria de construcción (Figura 6), tractores, locomotoras, extracción de arena y grava y almacenamiento de combustibles, entre otros (17).



Figura 6.- Maquinaria pesada. (18)

D.- Fuentes naturales. Son 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. En este tipo de fuentes se encuentran los suelos erosionados, las emisiones volcánicas, las emisiones generadas

por los incendios forestales (Figura 7), por la cría de ganado y por procesos metabólicos de la vegetación (19).



Figura 7.- Incendio forestal. (20)

Clasificación de las fuentes de área:

Por pérdidas evaporativas por transporte y almacenamiento de combustible, son por distribución y almacenamiento de gasolina, carga en aeronaves y almacenamiento de combustibles.

Por evaporación de solventes por fuentes de área, son por lavado en seco, limpieza y desengrase, artes gráficas, consumo comercial de solventes, recubrimientos industriales, superficies arquitectónicas, pintura automotriz, pintura de tránsito, esterilización en hospitales e incineración de residuos hospitalarios.

Por fuentes evaporativas de hidrocarburos, son por rellenos sanitarios, tiraderos a cielo abierto, distribución de GLP, uso de asfalto, panaderías y plantas de tratamiento de agua residual.

Por fuentes móviles no carreteras, son por locomotoras foráneas, locomotoras de patio, aeropuerto (operaciones de aeronaves).

Por fuentes de combustión, son por combustión habitacional, combustión comercial-institucional (21).

1.4. Sistemas de Lavanderías

En general, las lavanderías, comerciales (Figura 8) consisten de un grupo de lavadoras de diversos tamaños, provistas de agua caliente mediante calentadores de agua (boilers) o calderas. Dependiendo de la capacidad instalada del establecimiento, estos se ubican en la parte posterior o superior del establecimiento. En el caso de las secadoras, estas manejan en su sistema de calentamiento como combustible al GLP, principalmente. Para eliminar los gases exhaustos de la combustión en este proceso se usan ductos que funcionan tanto de forma individual, o grupal, los cuales dirigen a estos gases hasta la azotea del local, para ser dispersados en el medio ambiente circundante.



Figura 8.- Servicio de lavandería convencional y secadora a gas. (22)

Las secadoras funcionan aspirando el aire de donde se encuentran instaladas y calentándolo antes de que pase por la ropa húmeda, que se halla dentro de un receptor que no deja de girar aireando toda la ropa al mismo tiempo, consiguiendo así un secado uniforme. El ciclo funciona mediante un sistema mecánico movilizado a base de energía eléctrica, el proceso de calentamiento de aire puede ser provisto por combustible o por resistencia eléctrica, en la mayor parte de las lavanderías se utiliza el calentamiento mediante la combustión del GLP tipo comercial.

Hay dos tipos de secadoras en función del sistema de eliminado de la humedad, siendo la más diversificada en su uso la secadora de evacuación. En este tipo el aire caliente húmedo que se genera en el proceso de secado se expulsa a través de un tubo que se dirige, ya sea por la ventana o a través de un orificio en la pared. En el caso de existir varias secadoras, los tubos individuales suelen conectarse a un tubo principal que conduce el aire al exterior del establecimiento (23).

Los servicios de lavanderías están ampliamente distribuidos a los largo de la mancha urbana de la ciudad de Tijuana, hasta Marzo del 2006, existían un total de 223 servicios de lavanderías (Figura 9), de las cuales en promedio manejan 26 secadoras, así como calderas y calentadores de agua de tamaño regular en casos de lavanderías pequeñas.

Como puede apreciarse en el gráfico en la Figura 9, a finales del siglo pasado y a inicios de este, se registra un incremento significativo de estos giros comerciales, ocasionado en gran parte al incremento poblacional en la ciudad.

El INEGI reporta para 1990 747,381 habitantes, y para el 2005 se registran 1,410,687 o sea en un lapso de 15 años la población aumentó alrededor del 90 % (24).

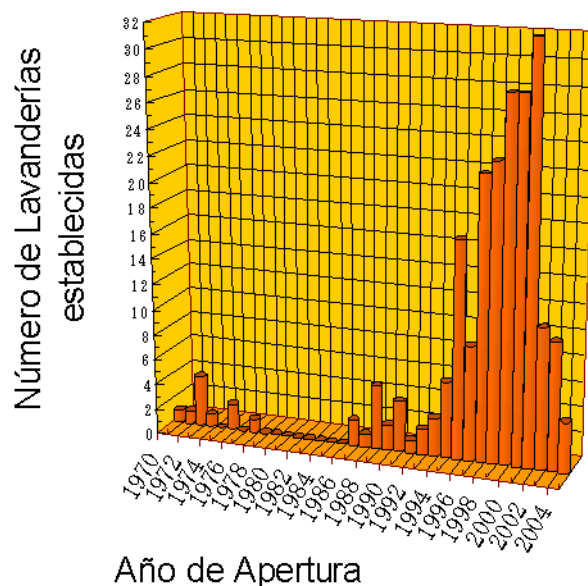


Figura 9.- Estadísticas en Lavanderías al 2006 provistas por el municipio de Tijuana, B. C.

1.4.1. Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Se le llama GLP a las diversas mezclas de propano y butano que alcanzan el estado gaseoso a temperatura y presión atmosférica, y que tienen la propiedad de pasar a estado líquido a presiones relativamente bajas, propiedad aprovechada para su almacenamiento y transporte en recipientes a presión. Tiene su origen en los Estados Unidos entre los años 1900 y 1912 donde se comprobó que la gasolina natural no refinada tenía una gran tendencia a evaporarse debido a la presencia de estos

hidrocarburos ligeros. A final de los años 30 eran ya varias empresas las que habían entrado en este mercado, y como innovaciones técnicas de esta época tenemos los primeros vagones para transporte del GLP por ferrocarril y el establecimiento de plantas de llenado de botellas por todo Estados Unidos, ya para 1934 en Francia se vendía la primera botella con este gas.

A presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20 °C), el GLP se encuentra en estado gaseoso. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0.5 °C y la del propano a -42.2 °C. En cambio, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter a presión. Para el butano, la presión debe ser de más de 2 atmósferas. Para el propano, la presión debe ser de más de 8 atmósferas.

Un litro de líquido se puede transformar en 272.6 litros de gas en el caso del propano y 237.8 litros de gas para el butano. En su estado puro, una de sus propiedades físicas es que tanto el butano como el propano son inodoros; sin embargo, por razones de seguridad y hacerlos fácilmente detectables en el caso de fugas, se les añade un compuesto odorizador (sulfuro de mercaptano) que los hace perceptibles por el olfato antes de que la mezcla GLP-aire pueda llegar a niveles explosivos.

Tanto el propano como el butano no son tóxicos, aunque al ser mas pesados que el aire tienden a desplazarlo y pueden provocar la muerte por asfixia al impedir que el aire llegue a los pulmones y oxigene la sangre (25).

El GLP es uno de los principales energéticos para la población mexicana. Es un combustible que tiene un gran impacto social, ya que alrededor del 62% del consumo nacional se destina al sector residencial, y el 80% de los hogares mexicanos utilizan este combustible.

Además, el consumo de GLP como carburante ha aumentado de manera considerable en los últimos años. La oferta mundial de GLP ha visto un incremento desde 1990, año en el que la producción mundial de GLP fue de 4.3 millones de barriles por día, y en el año 2002 ascendió a más de 6.5 millones de barriles diarios (26).

El origen y naturaleza del GLP parte de los tipos y características de los yacimientos de hidrocarburos con que cuenta el país. La principal fuente de obtención actual, cerca del 89% por ciento, es el procesamiento del gas natural proveniente de los pozos petroleros, básicamente gas asociado, en tanto que el porcentaje restante se deriva del proceso de refinación del crudo.

La composición del gas varía dependiendo del tipo y características de cada uno de los yacimientos de donde es obtenido. En México, el 72% del gas se extrae actualmente en forma asociada al crudo, con una proporción de líquidos cercana al 30 % en promedio, lo que limita la proporción de metano a casi el 65%, el porcentaje restante lo constituyen los gases inorgánicos.

El gas licuado de petróleo en México (Tabla 1) es una mezcla de hidrocarburos con un contenido de 60% en volumen de propano y 40% de butanos, cuando se encuentra en fase líquida. Se obtiene a partir del procesamiento de gas, en los Centros Procesadores de Gas (CPG) de PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB) ubicados a lo largo del Golfo de México, cerca de los centros de producción (27).

Tabla 1.- Propiedades fisicoquímicas del GLP (28)

Peso Molecular	49.7
Temperatura de Ebullición @ 1 atm	-32.5 °C
Temperatura de Fusión	-167.9 °C
Densidad de los Vapores (Aire=1) @ 15.5 °C	2.01 (Dos veces más pesado que el aire)
Densidad del Líquido (Agua=1) @ 15.5 °C	0.540
Presión Vapor @ 21.1 °C	4,500 mm Hg
Relación de Expansión (Líquido a Gas @ 1 atm)	1 a 242 (Un litro de gas líquido, se convierte en 242 litros de gas fase vapor, formando con el aire una mezcla explosiva de 11,000 litros aproximadamente).
Solubilidad en Agua @ 20 °C	0.0079 % en peso (Insignificante; menos del 0.1%).
Apariencia y Color	Gas incoloro e insípido a temperatura y presión ambiente. Tiene un odorizante que le proporciona un olor característico, fuerte y desagradable para detectar las fugas.

1.5. Normas de protección al medio ambiente (aire)

La degradación del aire en el medio ambiente donde hay gran conglomeración de actividades humanas, como lo son las zonas urbanas, se debe directamente en gran parte a los diversos procesos industriales, las actividades de producción y de población, siendo además esto incrementado por aspectos no antropogénicos, como son las condiciones meteorológicas (locales y globales) y fisiográficas que modifican la química atmosférica.

El deterioro ambiental del aire impacta de manera negativa, no sólo al ser humano con sus consabidos efectos en la salud, sino que afecta a flora y fauna locales, así como los gastos que generan la aplicación de medidas para controlar dicha polución.

En los últimos años a lo largo del mundo el concepto de que solo las grandes urbes tenían problemas de contaminación ambiental ha cambiado, en México se consideraba que este deterioro era exclusivo de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Si bien es cierto que la gravedad del problema de la contaminación varía entre ciudades, también lo es que a la fecha la lista de urbes con problemas de calidad del aire incluyen a la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), a la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), a las ciudades de Minatitlán, Coatzacoalcos, Puebla, Saltillo, Monclova, Lázaro Cárdenas, Ciudad Juárez, Tijuana y la Zona Lerma-Toluca (ZMVT), debido al crecimiento poblacional e industrial acelerado en los últimos años (29).

La calidad del aire se determina en función del tipo y concentración de los diferentes contaminantes gaseosos, aerosoles y materiales particulados que se presentan en la atmósfera. En nuestro país, los instrumentos regulatorios para la calidad del aire incluyen la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), el Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para el control de los niveles de emisiones de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas.

Existen además reglamentos a nivel nacional, que establecen los procedimientos técnico-administrativos a los que están sujetas las fuentes de contaminantes de jurisdicción federal, como lo son las licencias de funcionamiento y las cédulas de operación anuales.

Por último, existen normas de calidad del aire para los contaminantes atmosféricos, estas normas son emitidas por la Secretaría de Salud y se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2.- Valores límite para los contaminantes atmosféricos normados en México. (22)

Contaminantes Atmosféricos	Valores Límite			Normas Oficiales Mexicanas
	Exposición aguda		Exposición crónica	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima Aceptable	Para protección de la población susceptible	
Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 hr)	1 vez cada 3 años	-	NOM-020-SSA1-1993
Dióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm (24 hr)	1 vez al año	0.03 ppm	NOM-021-SSA1-1993
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm (1 hr)	1 vez al año	-	NOM-022-SSA1-1993
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 hr)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-1993
Partículas suspendidas totales (PST)	260 µg/m ³ (24 hr)	1 vez al año	75 µg/m ³	NOM-024-SSA1-1993
Partículas fracción respirable (PM10)	150 µg/m ³ (24 hr)	1 vez al año	50 µg/m ³	NOM-025-SSA1-1993
Plomo (Pb)	-	-	1.5 µg/m ³	NOM-026-SSA1-1993

Las normas son observadas por las autoridades federales y locales que tengan a su cargo el desarrollo y aplicación de los programas de política ambiental para que garanticen la salud de la población en general, incorporando siempre un margen de seguridad.

Por su parte, la Secretaria de Marina y Recursos Naturales (Semarnat) emite una serie de Normas Oficiales Mexicanas (NOM), como se muestra en la Tabla 3, que regulan las emisiones de contaminantes provenientes de fuentes fijas, su propósito es la protección a la salud de la población y la de los ecosistemas, lo cual se logra regulando la calidad del aire en las cuencas atmosféricas.

Tabla 3.- Normas Oficiales Mexicanas para el control de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas. (30)

NORMA OFICIAL MEXICANA	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN ATMOSFÉRICA
NOM-039-ECOL-1993	Dióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico en plantas productoras de ácido sulfúrico.
NOM-046-ECOL-1993	Dióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico en plantas productoras de ácido dodecibencensulfónico.
NOM-092-ECOL-1993	Requisitos de los sistemas de vapores de gasolina en estaciones de servicio y autoconsumo ubicadas en el valle de México.
NOM-093-ECOL-1993	Eficiencia de laboratorio de los sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y autoconsumo.
NOM-097-ECOL-1995	Material particulado y óxidos de nitrógenos en los procesos de fabricación de vidrio en el país.
NOM-EM-118-ECOL-1997	Especificaciones de protección ambiental que deben de reunir el gas licuado de petróleo que se utiliza en las fuentes fijas ubicadas en la zona Metropolitana de la Ciudad de México.

A fin de mejorar la calidad del aire en diversas ciudades mexicanas, desde principio de la década de 1990 se han implementado en diferentes ciudades programas para el mejoramiento de la calidad del aire, conocidos informalmente como «Proaires».

Los «Proaires» constituyen uno de los instrumentos fundamentales desarrollados para revertir las tendencias del deterioro de la calidad del aire en las principales ciudades de México, además incluyen medidas concretas para el abatimiento y control de las emisiones de contaminantes y se basan en la relación que existe entre las emisiones de contaminantes por fuentes específicas y el impacto que ocasionan en la calidad del aire y el consecuente deterioro en la salud y el ecosistema.

Considerando que estos programas se elaboran con base en un diagnóstico específico de la ciudad en cuestión y en función de ello se identifican una serie de estrategias, instrumentos y medidas, existen semejanzas y diferencias entre los mismos. En la Tabla 4 se enlistan algunas de las medidas consideradas en los diferentes «Proaires», tanto para la industria como para los servicios, que impactarían en una reducción de las emisiones de hidrocarburos.

De acuerdo con el inventario de emisiones de la ZMVM (1998), esta zona emite a la atmósfera anualmente aproximadamente 2.5 millones de toneladas de contaminantes, de los cuales aproximadamente el 19% (475 mil toneladas) son hidrocarburos (29).

En cuanto a las fuentes de emisión de los hidrocarburos totales se distribuyen como sigue: el 52%, fuentes puntuales, el 5%, la vegetación, suelos el 3% y las fuentes móviles 40%.

Como puede apreciarse, la mayor parte de las emisiones de hidrocarburos provienen de fuentes de área y móviles, de ahí que las medidas de control estén enfocadas directamente a ellas. Sin embargo, en el Proaire 2002-2010 no se especifican las tecnologías para lograr la reducción de estas emisiones, salvo en algunos casos como base de cálculo. Resulta indispensable, por lo tanto, identificar aquellas que su implementación sea costo-efectiva para cada caso (29).

**Tabla 4.- Propuestas de medidas incluidas en los distintos «Proaires»
relacionadas con la reducción de emisiones de hidrocarburos. (29)**

<i>Proaire</i>	<i>Medida</i>		<i>Meta para reducción de HC</i>	<i>Comentarios</i>
	<i>Industria</i>	<i>Servicios</i>		
ZMVM 2002-2010	Control de emisiones de contaminantes emitidos por la industria Instrumentación de programas de industria más limpia	Reducción de emisiones de hidrocarburos en lavanderías de lavado en seco Verificación de los sistemas de recuperación de vapores instalados en las estaciones de servicio	de 5,953 ton de HC por año	El programa incluye a 200 empresas y considera un costo de 1.2 millones de dólares con filtros de carbón activado como método de control Instalación de sistemas de recuperación de solventes Considera a las emisiones fugitivas de hidrocarburos principalmente
Ciudad Juárez	Convenir con maquiladoras la implementación de programas de reducción de emisiones de COVs	Reducir las emisiones de COVs en tintorerías y talleres de pintura automotriz	27% de reducción de las emisiones	Capacitación para usar pistolas de bajas emisiones, casetas de pinturas y técnicas de ahorro para reducir emisiones de COVs en talleres de pintura automotriz.
Mexicali	Reducir las emisiones de las empresas más contaminantes a través de la instalación de equipos de control y de reingeniería de procesos, y convenir con la industria maquiladora en la reducción de COV's	No especificado	25% de reducción de las emisiones	Reducción estimada para el 2004
Tijuana-Rosarito	Impulsar un programa de reducción de COV's	Impulsar un programa de reducción de compuestos volátiles orgánicos	No especificado	Meta estimada para el 2005

1.6. Inventario de Emisiones

Un inventario de emisiones tiene como propósito de contar con la información que indique la situación actual, en cuanto al aporte de contaminantes a la atmósfera de los

diferentes giros industriales, de los sectores doméstico, comercial y de servicios, así como de los vehículos de combustión interna; además de considerar las emisiones naturales que se registran en el área (emisiones biogénicas y erosivas).

A la par de lo anterior también con este es posible evaluar las acciones y estrategias contempladas en los programas de reducción de emisiones como el de ProAire, el cual constituye uno de los principales instrumentos desarrollados para revertir las tendencias de deterioro de la calidad del aire en las principales ciudades de México. Este programa incorpora medidas concretas para el abatimiento y control de las emisiones de contaminantes y se fundamenta en la relación existente entre la emisión de los contaminantes por las fuentes que los producen y el impacto que ocasionan en la calidad del aire y sobre la salud de las personas (31).

Para cuestiones de precisión los datos de pruebas de emisiones específicas de fuentes o monitoreos continuos de emisiones son generalmente los mejores, sin embargo, los datos de las pruebas de fuentes individuales no están siempre disponibles y aun así, ellas podrían no reflejar los patrones generales para las emisiones extraordinarias actuales.

Aun así, los cálculos de emisiones son generalmente el método más utilizado para estimar emisiones, sin embargo existen limitaciones en seleccionar los factores de emisión necesarios para los cálculos. Un factor de emisión es un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera de un tipo

de actividad. Esos factores son generalmente expresados como kilogramos por Megagramo (kg/Mg) de material particulado emitido.

Algunas bases de datos pueden ser de gran utilidad, ya que pueden aplicarse para diversos países debido a que emplean tecnología, condiciones económicas o el combustible característico similares (32).

El cálculo de las emisiones de las fuentes de área se realizó empleando los siguientes métodos:

- 1 factores de emisión
- 2 modelos matemáticos
- 3 sistematización en hojas de cálculo.

Un factor de emisión refleja la cantidad de un contaminante que es emitido al realizar una actividad. En el caso de las fuentes de área, el factor considera la cantidad de materia prima consumida, la cantidad de producto elaborado, el consumo de combustible, el número de empleados y la densidad de población, entre otros datos.

Se desarrollan programas de cómputo contienen modelos matemáticos con fines específicos para calcular las emisiones de ciertos tipos de contaminantes.

Dependiendo del modelo a utilizar se requerirá información relacionada con las características y parámetros de operación de los equipos, tales como: tipos de

calderas, tanques de almacenamiento, tipo de locomotoras, entre otros; asimismo, los modelos requieren de: información meteorológica, geográfica, de uso de suelo, altitud, cantidad y tipo de combustibles utilizados, kilómetros recorridos y características fisicoquímicas de los materiales. Por ejemplo, el programa TANKS 3.0 se utiliza para estimar las emisiones por evaporación en diversos tipos de tanques de almacenamiento de combustible (33). Dependiendo del análisis que se desee realizar, es necesario obtener información sobre población, número de obreros y empleados, materiales utilizados, factores de emisión, etc (21).

A nivel nacional, de 1988 a 1992, el gobierno federal instrumentó un programa de capacitación ambiental relacionado con los inventarios de emisiones, el cual contempló varias ciudades del país. Posteriormente el programa se amplió de tal manera, que para 1994 se contaba con información preliminar de fuentes emisoras para 29 ciudades del país (31).

De manera general, el crecimiento de la ciudad de Tijuana, puede comprenderse mejor como el resultado de la interacción de cuatro factores importantes:

- 1 El crecimiento natural de la población;
- 2 La migración de propia de una ciudad fronteriza, incluyendo la población flotante;
- 3 Concentración de industrias maquiladoras y de servicios
- 4 La movilidad espacial de la población dentro de la misma ciudad.

Para una adecuada actualización del inventario de emisiones se recomiendan tres metodologías, descritas en las técnicas de estimación de emisiones para fuentes puntuales en el Manual de Inventario de Emisiones para México (31):

1.- Muestreo en fuente. Es una técnica en la que se realiza la medición de la concentración y flujo volumétrico de los contaminantes directamente en la fuente. Esta información es utilizada para calcular las emisiones en unidades de masa de los diferentes contaminantes y es comúnmente empleada en fuentes de combustión (calderas, hornos, turbinas, entre otros). Esta técnica es la más confiable, pero debido a la complejidad del muestreo y del equipo utilizado, hace que su empleo sea costoso.

2.- Factores de emisión. Los factores de emisión, empleados en la estimación de emisiones para el sector industrial, se obtienen de mediciones y datos de procesos que se combinan con los datos de actividad recopilados en el formato de la Cédula de Operación y la Licencia de Funcionamiento (m^3 de combustible, toneladas de materia prima, toneladas de producto, etc.)

3. Balance de Material. En esta técnica las emisiones estimadas se obtienen mediante la diferencia entre la cantidad de material que entra a un proceso y los productos y subproductos que se obtienen. Esta técnica se utiliza comúnmente cuando no se cuenta con datos provenientes de muestreos, con factores de emisión o cualquier otra técnica específica para el cálculo de las emisiones (34).

2.1. Fuentes de emisión

La contaminación del aire se define como a cualquier condición atmosférica en la cual existen sustancias en concentraciones por arriba de los niveles ambientales normales, que puedan producir efectos notables sobre el hombre, animales, vegetación o en los materiales, se debe examinar a profundidad el origen de esta y sus implicaciones termodinámicas en el medio ambiente.

Este análisis puede simplificarse a tres componentes básicos (Figura 10):

En general, las mayores fuentes de emisión son: a).- transporte, b).- generación de energía eléctrica, c).- quemado de desechos, d).- quemado de combustible domestico e industrial y e).- procesos industriales (35).



Figura 10.- Génesis de los contaminantes atmosféricos. (35)

2.2. Combustible

Cualquier material que pueda quemarse para liberar energía recibe el nombre de combustible, la mayoría de los combustibles conocidos se componen principalmente de hidrógeno y carbono, recibiendo el nombre genérico de hidrocarburos (C_nH_m).

Estos hidrocarburos existen prácticamente en todas las fases, como el carbón, gasolina, GLP, y el gas natural (36). Fundamentalmente, existen tres distintos tipos de componentes en una combustión, el combustible, el oxidante y los diluyentes.

Los hidrocarburos se pueden dividir en cuatro tipos generales, de acuerdo con las clases de enlaces carbono-carbono presentes en las moléculas, que son alcanos, alquenos, alquinos e hidrocarburos aromáticos. Cada átomo de carbono tiene invariablemente cuatro enlaces.

Los alcanos son hidrocarburos que contienen sólo enlaces sencillos, contienen el número más grande posible de átomos de hidrógeno por átomo de carbono. Muchos de estos alcanos son conocidos debido a su amplio uso, en la Tabla 5 se presenta una lista de los alcanos más sencillos.

Tabla 5.- Primeros miembros de la serie de los alcanos de cadena recta. (37)

Fórmula molecular	Fórmula estructural	Nombre	Punto de Ebullición (°C)
CH ₄	CH ₄	metano	-161
C ₂ H ₆	CH ₃ CH ₃	etano	-89
C ₃ H ₈	CH ₃ CH ₂ CH ₃	propano	-44
C ₄ H ₁₀	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	butano	-0.5
C ₅ H ₁₂	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	pentano	36
C ₆ H ₁₄	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	hexano	68

El origen y naturaleza del GLP parte de los tipos y características de los yacimientos de hidrocarburos con que cuenta el país, la principal fuente interna de suministro –cerca del 88 %– proviene del procesamiento del gas natural húmedo, básicamente gas asociado. El porcentaje restante se deriva del proceso de refinación del crudo, el GLP producido en México es una mezcla que contiene en promedio 60 % volumen de propano y 40 % de butano (26).

2.3 Combustión

Una reacción química durante la cual se oxida un combustible y se libera energía recibe el nombre de combustión. El oxidante empleado con mayor frecuencia en los procesos de combustión es el aire, debido a que no cuesta y es fácil de conseguir (36).

Tabla 6.- Composición del aire natural seco a nivel del mar. (38)

Componente	Volumen (%)	Ppm
Mayoritarios		
Oxígeno	20.94	209,400
Nitrógeno	78.09	780,900
Minoritarios		
Argón	0.93	9,300
Dióxido de carbono	0.0318	318
Trazas		
Neón	-	18
Helio	-	5
Metano	-	2
Hidrógeno	-	0.5

Oxido nitroso	-	0.2
Monóxido de carbono	-	0.2
Ozono	-	0.05
Amoníaco	-	0.01

2.3.1. Cuantificación de la combustión

El GLP está compuesto principalmente de propano y butano, en una base molar o de volumen, el aire seco (Tabla 6) puede considerarse aproximadamente como 21 % de O_2 , y 79 % de N_2 en números molares en el análisis de los procesos de combustión, el argón en el aire se trata como nitrógeno, en tanto que los gases que existen en cantidades pequeñas se desprecian, por consiguiente:



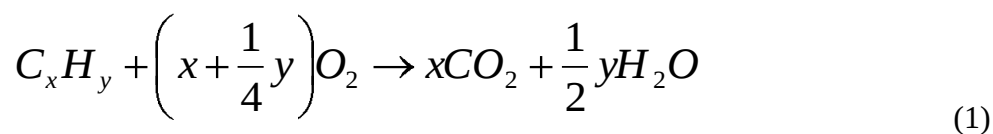
Durante la combustión el N_2 se comporta como un gas inerte y no reacciona con otros elementos químicos más que para formar pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno, siendo los principales el N_2O (óxido de nitrógeno propiamente dicho), el NO (óxido nítrico) y el NO_2 (dióxido de nitrógeno).

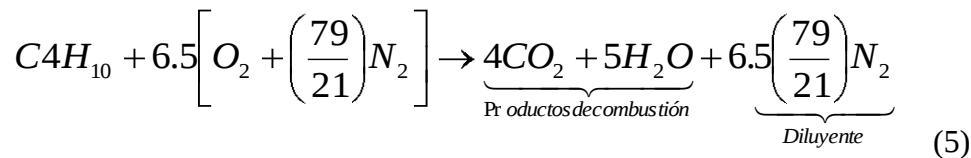
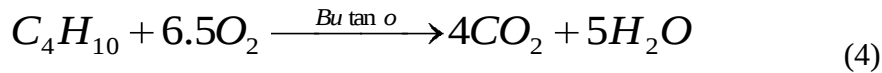
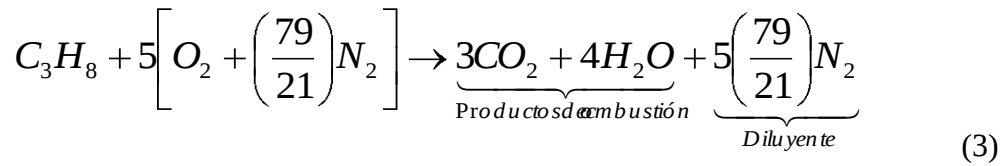
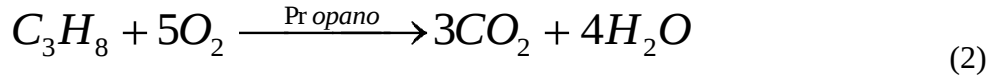
- El N_2O es producido en pequeñas cantidades debido a la actividad bacteriana (un aproximado de 600 millones de toneladas por año) y por las descargas eléctricas naturales. Las aportaciones de este debido a fuentes artificiales son importantes, pero, debido a su carácter inocuo, no representan un daño significativo.

- El NO se produce por acción bacteriana (un aproximado 430 millones de toneladas) o por fuentes artificiales. Esta última está relacionada con las combustiones a temperaturas elevadas (por arriba de 1,300°C). El NO se elimina naturalmente por conversión en ácido nítrico (HNO₃) y sales de nitratos o se absorbe a través de las precipitaciones, produciendo lluvias ácidas.
- El NO₂ es casi inexistente en la naturaleza, si existe en el aire es debido a procesos artificiales, tales como la combustión a altas temperaturas (por encima de 1,500°C). Es muy tóxico y es eliminado bajo la forma de óxido nítrico (NO) (39).

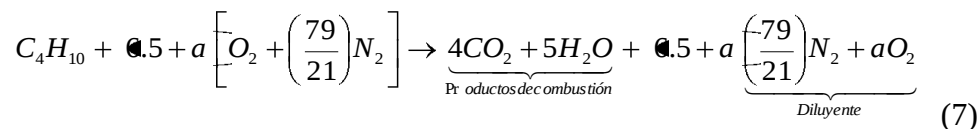
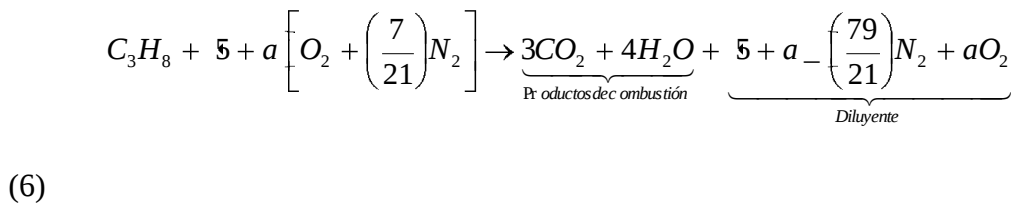
Aun por lo anterior, la presencia de nitrógeno influye de manera considerable en el resultado de un proceso de combustión, pues el nitrógeno suele entrar a una cámara de combustión en grandes cantidades a temperaturas bajas, y salir a temperaturas considerablemente altas, absorbiendo una gran porción de la energía química liberada durante la combustión. Hay que considerar, sin embargo, que para la mayoría de los casos el nitrógeno permanecerá inerte ya que sólo en las máquinas de combustión interna, una pequeña fracción reacciona con oxígeno, formando gases como el óxido nítrico (36).

La relación estequiométrica se determina de la siguiente ecuación:





En una combustión normalmente no se administra el oxígeno de manera estequiométrica, en la realidad este se presenta en exceso o de manera deficiente a la realmente requerida, si la cantidad de O_2 en la mezcla está en exceso, se le conoce como mezcla diluida, si el hidrocarburo está en exceso se le conoce como mezcla enriquecida, en general en los procesos de combustión el O_2 está en exceso para asegurar la máxima combustión de los combustibles, como se muestra en las siguientes ecuaciones tanto para el propano como el butano.



La concentración de hidrocarburos sin quemar en los gases de salida, pueden ser estimados asumiendo una fracción f de combustión incompleta. Ya que C_xH_y de combustible conduce a x moles de CO_2 y $(y/2)$ moles de agua, además de $[x + (1/4)y] (79/21)N_2$, asumiendo que no se alteran durante la reacción, siendo así:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol de combustible con } F &= 4.76[x + (1/4)y] && \text{de aire conduce a} \\ M &= x + (1/2)y + 3.76[x + (1/4)y] && \text{moles de productos} \end{aligned}$$

Si la fracción del combustible sin quemar, entonces la fracción molar del combustible sin quemar en la salida es $f/[M + f(1 + F - M)]$ (40).

$$f_p = 0.6f \quad (8)$$

$$f_b = 0.4f \quad (9)$$

Estos cálculos proveen de un estimado para los niveles de concentración de los hidrocarburos no quemados en el proceso de combustión.

Aunado a los hidrocarburos sin consumir, el segundo mayor contaminante del aire por combustión de hidrocarburos es el CO, y esta generación de CO es favorecida por las altas temperaturas y por la operación realizada en presencia de una mezcla enriquecida del combustible (35).

El CO es un gas incoloro, inodoro y venenoso, que se produce por la combustión incompleta del carbono de los combustibles. Aproximadamente dos terceras partes del CO de la atmósfera es producido por lo motores de combustión interna, en cantidad

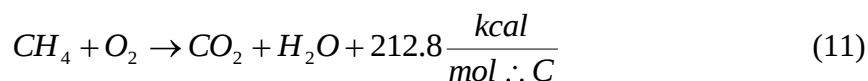
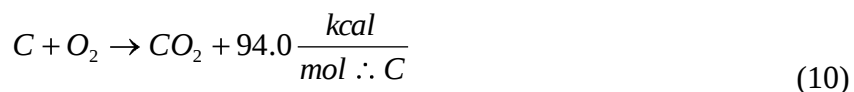
abrumadora por los vehículos de motor de gasolina (41). Es un gas muy estable y tiene una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses, Las emisiones globales del CO son grandes de las que aproximadamente el 20 % es obra del hombre (42).

2.3.2. Termodinámica de la combustión

La Termodinámica, es una herramienta útil en el estudio de la combustión, esta revela información de los cambios físicos y químicos que ocurren durante la combustión.

Un combustible contiene enlaces de alta energía como carbono-carbono, carbono-hidrógeno o hidrógeno-hidrógeno, durante la combustión, estos son oxidados y su energía química potencial es transformada en térmica y algunas veces parcialmente en energía mecánica.

La energía liberada cuando una molécula de un hidrocarburo con una cantidad teóricamente correcta de oxígeno lleva a la completa oxidación de los productos, se le conoce como Calor de Combustión;



El calor de combustión ($-\Delta H_c$) se escribe con un signo negativo, ya que sta es una convención termodinámica que indica que la energía fluye fuera del sistema (gases reactantes).

Por su naturaleza reactiva el proceso de combustión implica que la composición química del sistema al final del proceso no es la misma que al inicio, por cuestión de precisión y para mayor efectividad en los cálculos es necesario tener un estado de referencia en común para todas las sustancias. El estado de referencia elegido es a 25 °C y a 1 atmósfera de presión, que se conoce como estado de referencia estándar. Los valores de las propiedades en el estado de referencia estándar se indican mediante un superíndice (°) (como h° y u°).

La entalpía se representa con el símbolo H , que engloba las propiedades $U + PV$, es muy empleada en el análisis de cierto tipo de procesos, particularmente en la generación de potencia y en la refrigeración, la energía interna se representa con una U , engloba todas las formas microscópicas de energía de la materia, tales como la energía de los enlaces moleculares, energías de vibración, translación en los átomos, etc.

Un proceso de combustión es una reacción exotérmica, o sea que libera calor, la transferencia de calor durante este proceso debe ser igual a la diferencia de entalpía entre la entalpía de de los productos y la entalpía de los reactivos.

$$\Delta H_C = \sum_{j=1}^m H_{f,j} - \sum_{i=1}^p H_{f,i} \quad (12)$$

$H_{f,i}$, son los calores de formación de las moléculas del combustible desde sus elementos, donde i es el número de las especies combustibles. Así mismo $H_{f,j}$, son el calor de formación en condiciones estándar de las moléculas de los productos, y j es el número de especies de los productos (40).

El calor de combustión (H_C) se puede presentar en Tablas en valores mínimos (H_{CL}), como en valores máximos (H_{CH}), como puede apreciarse en la Tabla 7, así como ver las propiedades fisicoquímicas del GLP en la Tabla 8.

Tabla 7.- Valores de calores de combustión mínimos (H_{CL}), máximos (H_{CH}) y energía libre de Gibbs ($-\Delta G$). (43)

Combustible (fase)	H_{CL} (kJ/mol)	H_{CH} (kJ/mol)	$-\Delta G$ (T°, P°) (kJ/mol)
Metano (g)	802.3	890.4	818.0
Etano (g)	1,427.9	1,559.9	1,467.5
Propano (g)	2,044.0	2,220	2,108.4
Butano (g)	2,658.5	2,878.5	2,747.8
Pentano (g)	3,272.1	3,536.1	3,386.9
Pentano (l)	3,245.5	3,509.5	3,385.8

Tabla 8.- Propiedades físicas del GLP, en sus componentes. (29)

FÓRMULA	PROPANO	BUTANO
	C_3H_8	C_4H_{10}

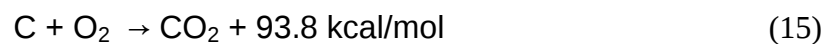
PRESIÓN NORMAL (A TEMP. AMBIENTE)	9 Kg/Cm ²	2 Kg/Cm ²
PUNTO DE EBULLICIÓN	-42 °C	0 °C
PODER CALORÍFICO	11,657 Cal/Kg	11,823 Cal/Kg
PESO ESPECÍFICO	508 g/ L	584 g/ L

2.4. Monóxido de Carbono

Uno de los gases contaminantes más extendidos en el mundo en la actualidad es el monóxido de carbono (CO), éste no tiene color, olor, combinándose con la hemoglobina de la sangre bloqueando el sistema transporte de oxígeno en el cuerpo. La principal fuente de CO es de la combustión incompleta de los hidrocarburos. Esto ocurre cuando el oxígeno es insuficiente o el tiempo en la combustión es muy pequeño como para poder completar su combustión y llegar a CO₂ (44).

A concentraciones altas, > 1,000 ppm (vol), pueden ser letales como consecuencia de la asfixia que este provoca. A bajas concentraciones (algunos cientos de ppm) puede ocasionar síntomas de tipos neurológicos, incluyendo dolor de cabeza, fatiga, nauseas y en algunos casos vómitos. Estos síntomas son generalmente causados por exposiciones ocasionadas en instalaciones donde se presente la combustión de hidrocarburos en zonas pobremente ventiladas (45).

De la manera que ocurra la producción de este gas, no toda la energía acumulada en las moléculas de los hidrocarburos es liberada, se puede entender fácilmente observando el calor liberado por la oxidación del carbono primeramente a monóxido de carbono, y luego de monóxido de carbono a dióxido de carbono.



Cuando el combustible es sólo parcialmente oxidado, algunos enlaces continúan sin romperse, reteniendo parte de la energía potencial de las especies oxidadas (45).

El CO es una de las especies más importantes dentro de los contaminantes atmosféricos, como se muestran sus concentraciones en la Tabla 9.

Tabla 9.- Concentraciones de especies en la Tropósfera limpia y en el aire urbano contaminado. (42)

<i>Especies</i>	<i>Tropósfera limpia (ppb)</i>	<i>Aire contaminado (ppb)</i>
SO ₂	1 – 10	20 – 200
CO	120	1,000 – 10,000
NO	0.01 – 0.05	50 – 750
NO ₂	0.1 – 0.5	50 – 250
O ₃	20 – 80	100 – 500
HNO ₃	0.02 – 0.3	3 – 50
NH ₃	1	10 – 25
HCHO	0.4	20 – 50
HCOOH(ácido fórmico)		1 – 10

HNO ₂	0.001	1 – 8
NMHC (hidrocarburos no metano)		500 – 1,200

3.1. Materiales

3.1. Equipo

Las mediciones se realizaron utilizando un Analizador de gases de combustión marca Bacharach modelo ECA 450 (Figura 11a), que consiste de un sistema de recolección de los gases de combustión mediante una bayoneta (ver Figura 11b). Puede registrar de manera automática y manual la concentración de NO_x, SO_x, CO y HC, mediante un procesador digitalizado. Se encuentra provisto de una batería la cual permite el uso de este dispositivo hasta 8 horas continuas sin necesidad de estar conectado a corriente directa. Lo anterior lo hace muy adecuado ya que en algunos casos en las áreas de medición no existen conexiones de corriente eléctrica al alcance.

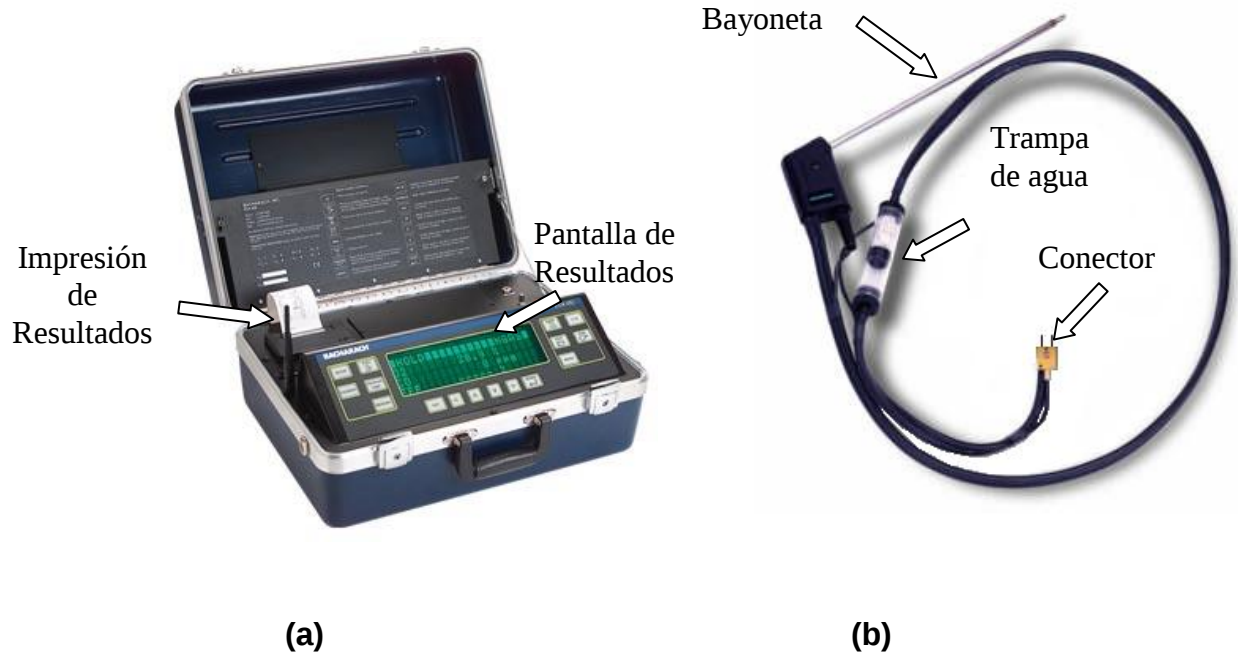


Figura 11.- a) Analizador de Gases de Combustión Bacharach, b) Analizador con bayoneta. (41)

Para medir la velocidad de salida de los gases se empleo un Monitor Climático de Bolsillo, Modelo A-99756-16, además de medir la presión barométrica, altitud, temperatura, humedad y otros factores, rango de 0.7 a 89 MPH con precisión $\pm 3 \%$.

4.1. Muestreo

El primer paso es obtener información del número de unidades por establecimientos de servicios de lavandería, para después seleccionar estos para ir a muestrearlos in situ.

Un muestreo aleatorio es lo más indicado en este estudio, ya que en general tanto las encuestas telefónicas, como las encuestas realizadas directamente en los establecimientos, se obtuvieron respuestas negativas de los empleados o encargados de los mismos, ya que temían que la investigación fuera una especie de auditoría ambiental que los afectara de alguna manera ante las autoridades municipales.

En la ciudad de Tijuana, así como ciudades de similar tamaño, los servicios de lavanderías automáticas son muy parecidos, tanto en forma, equipo y en tamaño (número de equipo y servicios que ofrecen), se realizó una encuesta telefónica para determinar el número de unidades de secado, llegando a determinar 26 unidades en promedio por servicio de lavandería.

Debido a las limitantes de disponibilidad para realizar las mediciones en los establecimientos se procedió a seleccionar 2 servicios de lavanderías de tamaño promedio ubicados en distintas zonas de la mancha urbana. La característica predominante en estas dos zonas, como en la mayor parte de la ciudad, es que presenta una gran concentración de zonas habitacionales como lo son fraccionamientos y edificios departamentales, los cuales generalmente están

subarrendados, aparte que también se encuentran en las cercanías plantas industriales maquiladoras. Familias de nueva creación y mano de obra atraída por la industria maquiladora, en particular requieren más servicios de lavandería que en otras zonas de la ciudad.

La primer lavandería se localizada en Blv. Insurgentes No. 2120, local 1, Col. Cerro Colorado, Primera Sección, C. P. 22450, Tijuana, B. C., ver Figura 12, la segunda en cuestión, se localiza en Ave. Lic. José López Portillo No. 162, Col. Nueva Tijuana, C. P. 22435, TIJUANA, B. C., ver Figura 13.



Figura 12.- Punto de Muestreo 1



Figura 13.- Punto de Muestreo 2

Las mediciones se realizaron en los meses de febrero, marzo, julio, septiembre, octubre y noviembre del 2006, tomándose de 3 sesiones por establecimiento.

Cada sesión constó de 2 días de visitas al establecimiento, tomándose cada día un promedio de 6 mediciones realizadas, espaciadas por un tiempo de 15 minutos. Por lo anterior entonces, significa que cada sesión corresponde a 12 mediciones individuales.

Al momento de hacer la medición, se tomó en cuenta si la chimenea de salida de los gases de combustión corresponde a una salida de una sola secadora o una salida en grupo. En caso de ser grupal, en cada medición se contabilizaron el número de secadoras que trabajaban en ese momento para realizar un cálculo promediado para la determinación del aporte de gases por unidad.

Cada visita fue realizada preferentemente el sábado o domingo, ya que son los días de mayor afluencia de los usuarios a los servicios de lavanderías, basándonos en los comentarios de los mismo empleados de los establecimientos y del sentido común, tomándose preferencialmente el horario de 12 a 2 p.m.

Para razones de cálculos promediados se decidió muestrear a los servicios de lavanderías para obtener un número representativo general de secadoras por establecimiento, dicho muestreo se llevó a cabo mediante una encuesta sencilla vía telefónica. Además para reforzar el análisis de los resultados se solicitó en el padrón de causantes de H. ayuntamiento de Tijuana estaban registrados un total de 223 servicios de lavanderías con fecha a marzo del 2006.

4.2. Determinación de contaminantes en aire

En general, la metodología empleada para la determinación de los contaminantes del aire, primeramente debe hacerse especificando la composición del aire atmosférico en su estado puro o sea seco y limpio.

Ya establecidos dichos parámetros se pueden identificar, en las muestras a examinar de aire "contaminado", los componentes que excedan las cantidades normales, así como ayudar a diferenciar otros componentes que no sean clasificados como componentes normales. Es necesario además establecer que el analizador de gases, cada vez que se enciende se calibra automáticamente con el aire atmosférico circundante en el momento previo antes de realizar las mediciones.

Normalmente, ni el dióxido de carbono ni el vapor de agua no combinado se clasifican como contaminantes. Pero debido a que en la actualidad, estas sustancias son descargadas en cantidades cada vez mayores, podría resultar en un cambio significativo de la temperatura atmosférica global.

Es común expresar la cantidad de un contaminante gaseoso presente en el aire como partes por millón (ppm), de la siguiente manera:

$$\frac{1 \text{ volumen de contaminante gaseoso}}{10^6 \text{ volúmenes de (contaminante + aire)}} = 1 \text{ ppm} \quad (16)$$

$$0.0001 \% \text{ en volumen} = 1 \text{ ppm} \quad (17)$$

La masa de un contaminante se expresa como microgramos de contaminantes por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

$$\frac{m_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}}} = \frac{\rho_{\text{cont}} V_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}}} * \frac{PM_{\text{cont}}}{\rho_{\text{cont}} R_u T} = \frac{V_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}}} * \frac{PM_{\text{cont}}}{R_u T} \quad (18)$$

donde:

m_{cont} = masa de gas contaminante

V_{aire} = Volumen del aire muestreado

V_{cont} = Volumen del gas contaminante

ρ_{cont} = densidad del gas contaminante

P = presión a la que se encuentra el aire muestreado

M_{cont} = Masa molar del gas contaminante

R_u = Constante universal del gas ideal

Considerando condiciones estándar y que este se comporta como un gas ideal, entonces la Presión (P) equivale a 1 atmósfera, la temperatura (T) es 298 K y tomando el valor de R_u en 0.08208 atm m³/kmol K.

Queda la ecuación reducida a:

$$\frac{m_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}}} = \frac{V_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}}} * \frac{M_{\text{cont}}}{24.5} \quad (19)$$

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = \frac{\text{ppm} \times \text{pesomolecu lar}}{24.5} 10^3 \quad (20)$$

4.3. Cálculos globalizados de contaminantes

Una vez determinado el contenido másico del contaminante en un muestreo, lo que procede es tomar el dato del contaminante seleccionado y establecer un valor promediado para tener un valor representativo, esto es tomar los valores promediados en los estudios para tener una concentración volumétrica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sobre la cual trabajar.

Sobre dicho valor este se multiplica por el volumen manejado (m³) para así determinar la masa total en dicho volumen.

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \times \text{Volumen} \cdot a \cdot \text{considerar} \left(\text{m}^3 \right) = \mu\text{g} \cdot \text{del} \cdot \text{conta min ante} \quad (21)$$

Como por ejemplo, si tomamos un valor de una concentración de un contaminante de CO, y lo multiplicamos por los metros cúbicos, promediados, generados en un día por una secadora, entonces tendremos las descargas másicas en μg de CO.

En el presente estudio los cálculos a realizar para los diversos contaminantes, son en base:

1. Aportación unitaria horaria por corrida: explica las aportaciones de los contaminantes promediados de los muestreos, englobadas en una corrida, por cada unidad de secado por hora de funcionamiento efectivo.
2. Aportación unitaria diaria por corrida: explica las aportaciones de los contaminantes promediados de los muestreos, englobadas en una corrida, por cada unidad de secado por día de funcionamiento efectivo.
3. Aportación unitaria anual por corrida: explica las aportaciones de los contaminantes promediados de los muestreos, englobadas en una corrida, por cada unidad de secado por año de funcionamiento efectivo.
4. Aportación diaria global en la ciudad: explica las aportaciones de los contaminantes promediados de las corridas, globalizando el efecto de todas unidades de secado consideradas en la ciudad por día de funcionamiento efectivo.

5. Aportación anual global en la ciudad: explica las aportaciones de los contaminantes promediados de las corridas, globalizando el efecto de todas unidades de secado consideradas en la ciudad por año de funcionamiento efectivo.

Para el presente estudio se realizaron 6 sesiones de mediciones de gases emitidos por unidades de secado de ropa en diferentes lavanderías representativas en dos áreas de la ciudad, a continuación se presentan los resultados en la Tabla 10. Las primeras tres sesiones corresponden al punto de muestreo 1, y las tres restantes al punto de muestreo 2.

5.1. Cálculos promediados por cada corrida de manera unitaria por unidad de volumen trabajado.

Aquí se presenta un promedio de las distintas mediciones, considerando en cada caso el número de unidades en funcionamiento, para obtener así la masa de los contaminantes contenida por unidad de volumen.

Tabla 10.- Resultados promediados por corrida.

Lectura	1	2	3	4	5	6	G
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO	12542	504	1095	2319	587	356	2900.5
NO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NO₂	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NO_x	470	ND	ND	536	ND	ND	167.7
SO₂	96.76	ND	ND	ND	ND	ND	16.1
HC	614,547	45,680	96,178	119,496	56,922	65,619	16,6407.0

Donde ND es valor no detectado; valor mínimo detectado $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Como se puede apreciar en la Tabla, las lecturas para NO_x y SO_2 , no son valores apreciables y significativos, por lo anterior en los siguientes análisis y Tablas no se hará mención de estos últimos parámetros.

5.2. Cálculos unitarios por hora promediados por corrida

Para poder realizar estos cálculos y los subsecuentes, es necesario tomar en cuenta un valor de flujo volumétrico unitario de referencia para todos los casos y así poder generalizar y generar resultados en base a una extrapolación.

Al momento de realizar las mediciones y contabilizar las unidades que se encontraban en funcionamiento durante este proceso, también se hizo la medición de las áreas de las chimeneas o ductos por donde salía el gas de combustión y la velocidad del gas de salida, obteniendo un flujo volumétrico (Figura 14 y 15) promediado unitario generalizado de $0.2025 \text{ m}^3/\text{s}$.

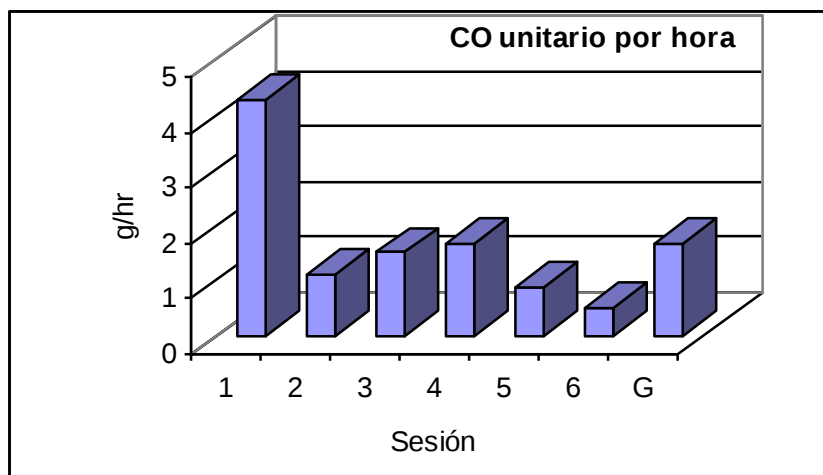


Figura 14.- CO unitario por hora.

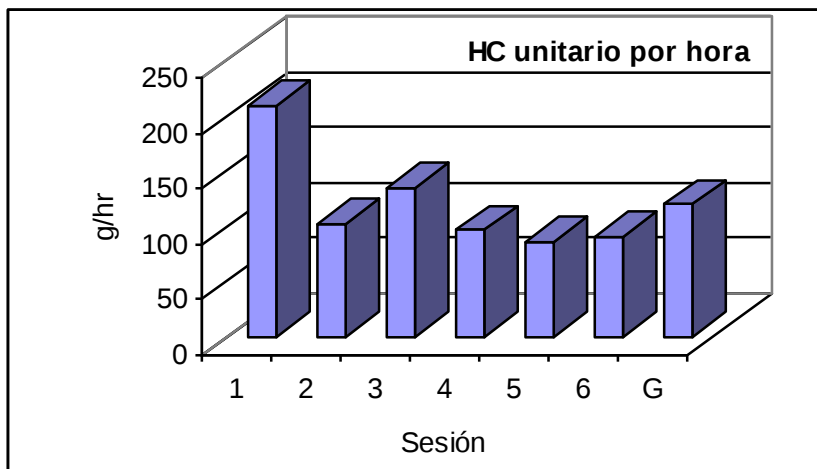


Figura 15.- HC unitario por hora.

5.3. Cálculos unitarios diarios promediados por corrida

En esta parte, el volumen generado de manera unitaria de forma diaria, se hace en base a un flujo volumétrico promediado ya determinado. Se toma como base que cada unidad opera el 80% del tiempo en que permanece en abierto el local, se toma en cuenta en parte por comentarios de los empleados y propietarios de los locales y en observaciones propias, estos en general tienen un horario de 7 a 9 p.m.

Lo anterior nos da 11.2 horas de funcionamiento al día, generándose un volumen de aire con los gases de combustión de $8,164.8 \text{ m}^3$.

Tomando como base este valor del volumen y la concentración promedio contaminante se obtienen las masas generadas por cada contaminante.

Cálculos unitarios diarios promediados por corrida para el CO

Como se muestra en la gráfica de la figura 16, kg/día por sesión, el promedio global (G) de las sesiones para el gas CO es de 0.02326 kg/día.

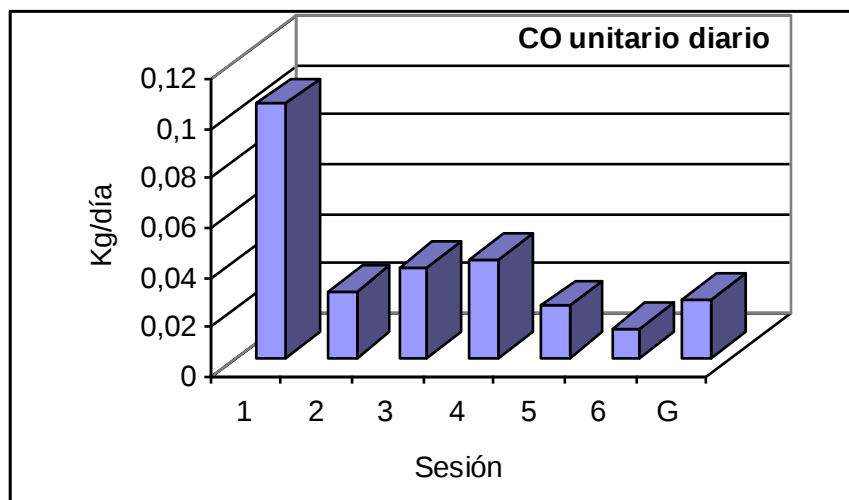


Figura16.- CO unitario diario.

Cálculos unitarios diarios promediados por corrida para los HC

Como se muestra en la gráfica de la figura 17, kg/día por sesión, el promediado global (G) de las sesiones para los Hidrocarburos volátiles (HC) es de 2.86kg/día.

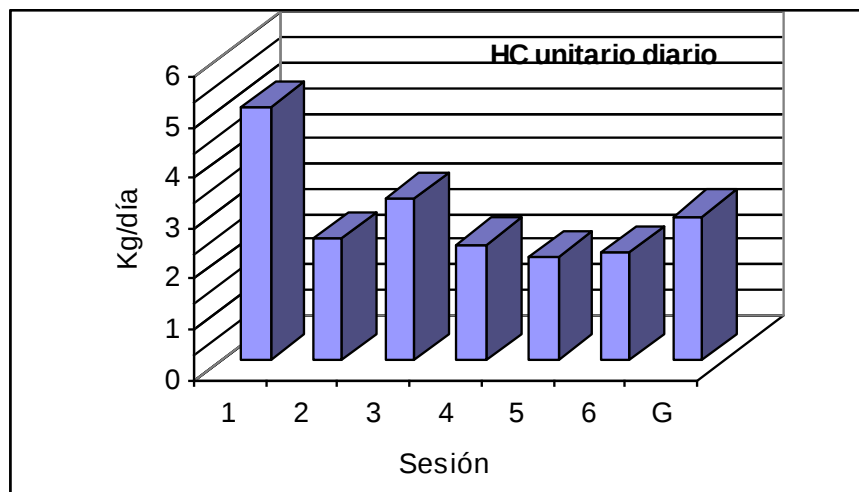


Figura 17.- HC unitario diario.

5.4. Cálculo unitario anual promediado por corrida

En esta parte, se hacen cálculos unitariamente generados anualmente, para ello se toma como base el volumen generado de manera unitaria de forma diaria, tomando en cuenta sólo 300 días hábiles en el año, tomando en cuenta en los cálculos 1 día de descanso en la semana y los días festivos inhábiles en el año, para cada uno de los contaminantes, consiguiéndose los siguientes resultados.

Cálculo unitario anual promediado por corrida para CO

Como se muestra en la gráfica (Figura 18), kg/año por sesión, el promediado global (G) de las sesiones para el gas CO es de 12.09 kg/año.

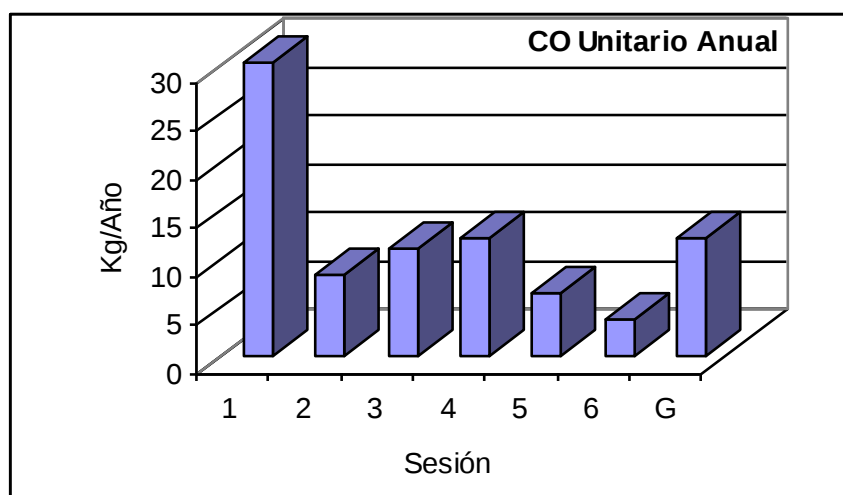


Figura 18.- CO unitario anual.

Cálculo unitario anual promediado por corrida para los HC

Como se muestra en la gráfica (figura 19), kg/año por sesión, el promediado global (G) de las sesiones para los Hidrocarburos volátiles (HC) es de 0.87kg/año.

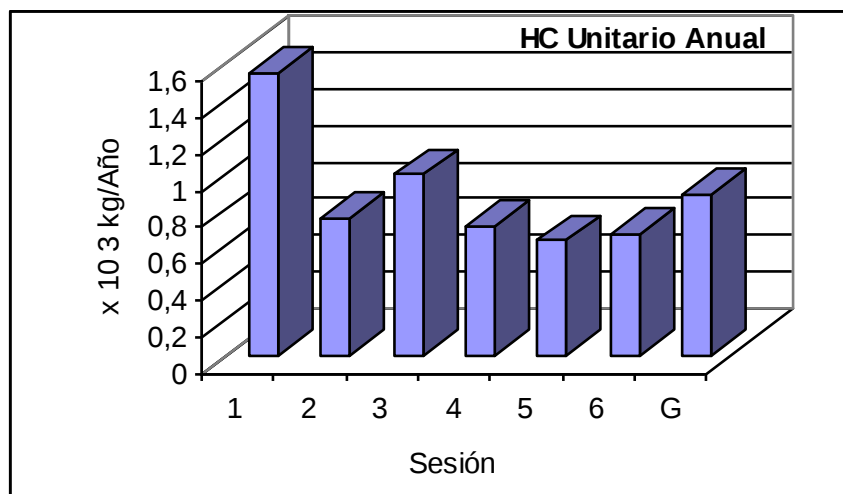


Figura 19.- HC unitario anual.

5.5. Cálculo de contaminantes diario global en la ciudad

En esta parte, se hacen cálculos al igual que en la sección 4.2., o sea tomando las aportaciones unitarias diarias, pero globalizando la existencia de 26 secadoras por lavandería, y tomando de la Figura 9 un total de 223 servicios de lavanderías, dando un total de 5,798 secadoras. Para cada uno de los contaminantes, se hace una extrapolación para la determinación del aporte de contaminantes diario global en la ciudad, proveniente de todas las secadoras consideradas en cuestión.

Cálculo de contaminantes diario global en la ciudad para el CO

Como se muestra en la gráfica (Figura 20), kg/día por sesión, el promediado global (G) de las sesiones para el gas CO es de 229.83 kg/día.

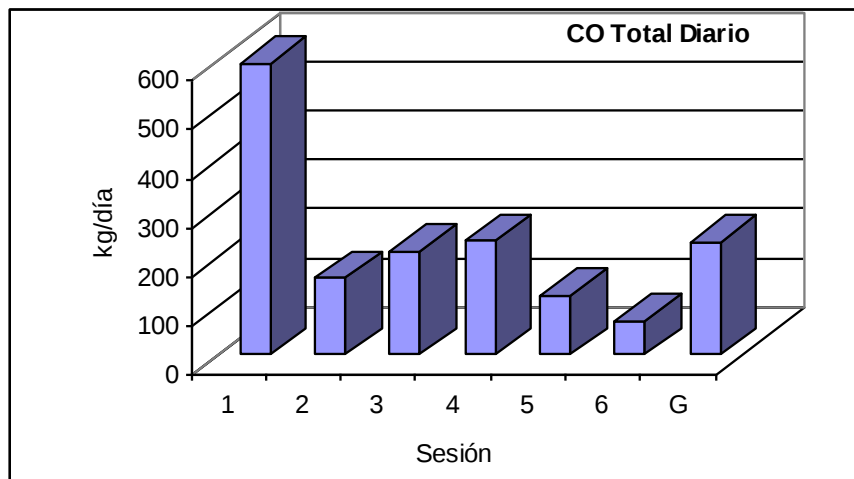


Figura 20.- CO diario global.

Cálculo de contaminantes diario global en la ciudad para los HC

Como se muestra en la gráfica (Figura 21), kg/día por sesión, el promediado global (G) de las sesiones para los Hidrocarburos volátiles es de 16,581.97 kg/día.

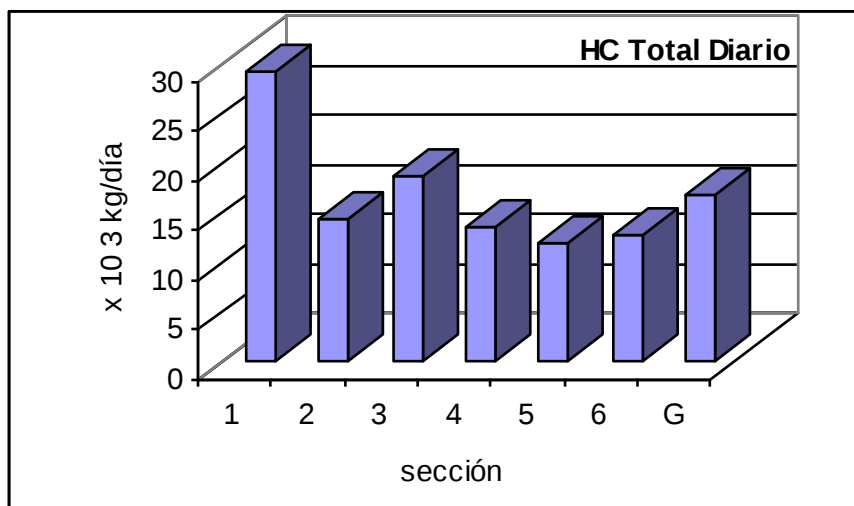


Figura 21.- HC diario global.

5.6. Cálculo de contaminantes anual global en la ciudad

En esta parte, se hacen cálculos al igual que en la sección 4.3., o sea tomando las aportaciones unitarias anuales, pero globalizando la existencia de 26 secadoras por lavandería, y tomando de la Figura 9 un total de 223 servicios de lavanderías, dando un total de 5,798 secadoras. Para cada uno de los contaminantes, se hace una extrapolación para la determinación del aporte de contaminantes anuales globales en la ciudad, proveniente de todas las secadoras consideradas en cuestión.

Cálculo de contaminantes anual global en la ciudad para el CO

Como se muestra en la gráfica en la figura 22, kg/año por sesión, el promediado anual (G) de las sesiones para el gas CO es de 70,098.93 kg/año.

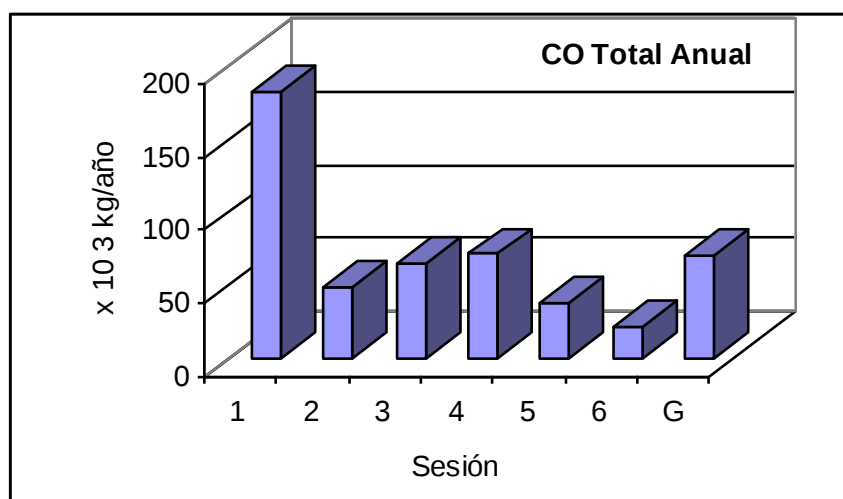


Figura 22.- CO global anual.

Cálculo de contaminantes anual global en la ciudad para los HC

Como se muestra en la gráfica en la figura 23, kg/año por sesión, el promediado anual (G) de las sesiones para los Hidrocarburos volátiles (HC) es de 5'057,499.56 kg/año.

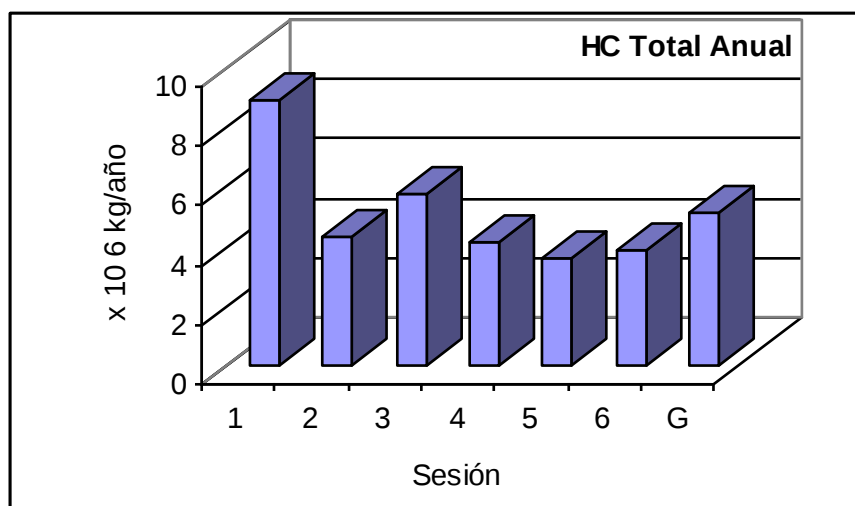


Figura 23.- HC global anual.

Los dispositivos de calentamiento que emplean gases como combustibles, como lo son las secadoras empleadas en los centros estudiados, poseen aspectos similares en su mezcla combustible-aire y combustión, que los hacen ser predecibles en cuanto a su funcionamiento.

Como puede apreciarse en los resultados, los valores de CO y HC son detectables y variables por el instrumento, como era de esperarse por la naturaleza del combustible que se quema y su ineficiencia de combustión dentro del proceso.

En caso contrario no se observaron resultados significativos para emisiones de NO_x y SO₂.

- En lo referente a los NO_x, existen los medios para su formación en el proceso de combustión, ya que existe suficiente N₂ en el aire y la temperatura máxima del propano y butano cuando se queman en aire es de 1,980 °C y 1,991 °C respectivamente, rebasándose las temperaturas de formación de los más característicos NO_x, pero aún así los datos obtenidos no son indicativos realmente.
- En lo relacionado con el SO₂, la única fuente de formación de este producto se encuentra dentro del combustible empleado, y debido a la baja cantidad contenida dentro de él, se refleja en las nulas lecturas arrojadas (46).

Los prácticamente nulos resultados emisiones de NO_x y SO₂ corresponden a las características relacionadas al GLP empleado para los procesos de secado, además que la manera como se desechan los contaminantes al ser diluidos en aire para ser expulsados por el método de chimeneas (individuales o grupales) contribuyen que los niveles sean tan bajos para poder ser registrados por el instrumento. Los bajos niveles de S, además obedecen las características del GLP, que es relativamente amigable al medio ambiente en comparación de otros combustibles fósiles combustible.

Como era de esperarse los contaminantes debido a la quema de GLP, corresponden a HC y CO (ver Tabla 10), los cuales están directamente relacionados a una ineficiencia en el proceso de combustión.

Surge de este estudio una cantidad de más de 70 toneladas de CO extrapoladas a un concepto anual, las cuales serán de gran importancia a considerar dentro de los estudios en lo que respecta a un eficiente inventario de emisiones en la ciudad y su empleo para otras zonas de similares características.

Un impacto calculado de poco más de 5,057 toneladas de HC lanzado a la atmósfera, además de completar más eficientemente el inventario de emisiones, logra darnos una mejor dimensión de los peligros ecológicos que esto implica aun estando este material diluido en el aire.

Tomando la información al año de 1998 (ver Tabla 1) de todos los combustibles empleados en la ciudad de un total de 1.18 millones de m^3 , el 35 % corresponde al GLP (Figura 24).

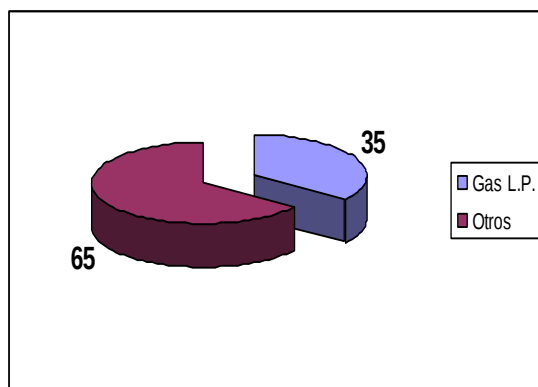


Figura 24.- Por ciento de GLP consumido en la ciudad de Tijuana, B.C.

La densidad relativa del GLP es de 0.540 o sea una densidad de 540 kg/m^3 , lo cual permite transformar las toneladas de HC emitidos a la atmósfera en 413 mil m^3 de este

combustible, lo cual corresponde a un 3.9% de GLP (Figura 25) empleado en la ciudad anualmente.



Figura 25.- Porcentaje de GLP desperdiciado anualmente.

La protección del medio ambiente, en especial el aire atmosférico en las grandes urbes, es un tema de gran importancia, ya que sino es posible eliminar los contaminantes producidos por los diferentes procesos industriales es indispensable poder medirlos y saber su procedencia para que nos permita poder tomar acciones encaminadas en su control para así minimizar su impacto.

Los servicios de lavanderías estudiados, no sólo abarcan los servicios de lavandería que comúnmente se ofrecen al público de manera comercial, sino que también existe una gran gama de servicios de secado a nivel industrial, en hoteles y por supuesto a nivel residencial.

Este trabajo sólo explora un aspecto de esta perspectiva y aún así se puede apreciar el impacto en los contaminantes que se lanzan a la atmósfera en las áreas estudiadas.

Comparando los resultados a un nivel general, entonces podemos observar que es necesario un estudio más a fondo en este rubro, un control estadístico, así como perfeccionar estudios y encuestas, ya que no monitorear estos procesos y no buscar su eficiencia se contribuye significativamente en la contaminación ambiental global de la ciudad.

Se espera poder contribuir a la refinación en los inventarios de emisiones en los rubros concernientes a este tipo de emisiones y su procedencia, con la finalidad de apoyar los programas de mejora de calidad del aire establecidos en la zona de Tijuana.

Es necesario crear conciencia que aunque se consideran pequeñas las pérdidas en particular, en global pueden representar factores difíciles de ignorar.

Por un lado el aspecto económico debido al desperdicio inevitable combustibles debido a los procesos involucrados, y por el otro el aspecto de más impacto e importancia, el enorme potencial contaminante de estas emisiones cantidades de contaminantes generados, en especial los hidrocarburos liberados.

No olvidar que aparte del potencial contaminante de estas emisiones en su estado primario, existe más riesgos por su degradación secundaria en la atmósfera, ya que ahí sus efectos negativos para el entorno son más de consideración y sus preocupantes efectos son más impredecibles al combinarse con otra serie de contaminantes en la alta atmósfera.

En esta disertación se buscaron investigaciones similares al respecto y no se encontró mucha información al respecto, si bien gran parte de la contaminación en las grandes ciudades provienen de las fuentes móviles, como lo son los automóviles, es necesario que en futuros estudios se involucren más a fondo en las áreas de fuentes fijas pequeñas que en forma individual.

Los inventarios de emisiones hacen aproximaciones y globalizaciones en estos aspectos, pero ante las cantidades de los otros contaminantes principales, pueden parecer no ser tan importantes para detallar sus aportaciones contaminantes de

fuentes fijas en áreas, por lo tanto debe buscarse mejorar y diversificar los estudios, técnicas de monitoreo y control estadístico, para que este tipo de estudios pueda arrojar resultados más elocuentes y sean de mayor impacto en la conciencia de los involucrados con la divulgación de la información generada, recordando que “lo que no se puede medir, no se puede controlar”.

- 1.- Quintero Muñoz Margarito Coordinador; Contaminación y medio ambiente en Baja California (Pág. 9 y 157); Coordinador Miguel Ángel Porrúa editor; Primera edición 2006, Serie conmemorativa 50 aniversario de la UABC.
- 2.- Enciclopedia Hispánica, Tomo 2, Encyclopaedia Británica Publishers, Inc. 1999, Primera edición, USA.
- 3.- Enciclopedia Universal, Tomo 4; Editorial Carroggio, S.A. de ediciones, España, 2001.
- 4.- (http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/profesor/galeria_imagenes/images/atmosfera%20capas.jpg)
- 5.- Guyton Arthur C. y Hall John E.; Tratado de Fisiología Médica; Editorial: McGraw-Hill; México 2001.
- 6.- Wark Kenneth y Warner Cecil F.; Contaminación del Aire, Origen y Control; Editorial LIMUSA, S.A. de C.V; México 2007.
- 7.- Stern Arthur C.; Air Pollution; second Edition; Vol. I; Academic Press S.A.; USA 1968.
- 8.- Alley E. Roberts & Associates, Inc.; Manual de Control de Calidad del Aire; Editado por McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.; México 2001.
- 9.- (http://www.eoearth.org/article/London_smog_disaster,_England)
- 10.- Air Pollution (World Health Organization); Columbia University Press, New York; USA, 1961.
- 11.- (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>) o Perossa, Mario Luís "Cambio Climático: de Adán al Protocolo de Kyoto", mayo 2006. Texto completo en <http://www.eumed.net/ce/>

- 12.-** (http://www.panamundo.com/ecolo-china_monte.html)
- 13.-** (http://www.chinatrekking.com/UserFiles/Image/Maps/Gansu_map/gansu_map.jpg)
- 14.-** Ruiz Ramírez María Cristina y Rodríguez Rivera Saúl Coordinadores; Inventario de Contaminantes Tóxicos del Aire en la ZMVM,2004; Gobierno del Distrito Federal; Secretaria del Medio Ambiente; Dirección de Gestión Ambiental del Aire; México, D.F.; 2006.
- 15.-** SEMARNAP y RADIANT (1997). Mexico Emissions Inventory Program Manuals. Vol. VI. Mobile Source Inventory Development.
- 16.-** (<http://www.aztecadeportes.com/beijing/2007/08/1748549.shtml>)
- 17.-** SEMARNAP y RADIANT (1997); Mexico Emissions Inventory Program Manuals. Vol. V.
- 18.-** (<http://mexico.cat.com/cda/layout?m=163632&x=9>)
- 19.-** Boubel Richard W., Fox Donald L., Turner D. Bruce and Stern Arthur C.; Fundamentals of Air Pollution; Third Edition;; Academic Press; USA, 1994.
- 20.-** (<http://www.mineville.ca/L4-2008-fire.html>)
- 21.-** U.S. Environmental Protection Agency (1995). Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I Stationary Point and Area Sources; Office of Air Quality Planning and Standards; Office of Air and Radiation; AP-42 Fifth Edition.
- 22.-** (http://www.maytaglavanderias.com/MDE_MDG16CS%20Spec.pdf)
- 23.-** Copyright © 2009 Whirlpool Corporation. All rights reserved.
<http://www.maytagcommerciallaundry.com/>;
- 24.-** XI Censo de Población y Vivienda 1990 y II Censo de Población y Vivienda 2005; <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=10202>
- Derechos reservados © 2009 INEGI.

25.- Jiménez Francisco, Director de Seguridad, Calidad y Medio Ambiente Repsol-YPF; La Seguridad en la distribución y manipulación del G.L.P; Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial; Publicación subvencionada por el Ministerio de Industria y Energía dentro de la iniciativa Atyca; España 2003.

26.- Prospectiva del Mercado del Gas Licuado de Petróleo 2003-2012, de la Dirección General de Formulación de Política Energética, Sener; Talleres Gráficos del INEGI; México 2003.

27.- Prospectiva del Mercado de Gas Licuado de Petróleo 2001-2010, de la Dirección General de Formulación de Política Energética, Sener, México 2001.

(<http://www.worldlpgas.com/what-is-lp-gas>)

28.- Hoja de Seguridad de Gas L. P.; proporcionada por PEMEX GAS, Rosarito, Baja California; Septiembre del 2008.

(http://www.gas.pemex.com/NR/rdonlyres/D3D851A9-FDE6-4F68-8FD1-3CC6E50163E4/0/HojaSeguridadGasLP_v2007.pdf)

29.- Cárdenas González Beatriz, Revah Moiseev Sergio, Hernández Jiménez, Martínez Sánchez Sergio Avril y Gutiérrez Avedoy Víctor; Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas; Publicaciones del Instituto Nacional de Ecología; Primera edición,; México 2003.

30.- Programa para Mejorar la Calidad del aire Tijuana-Rosarito 2000-2005; México 2000; Gobierno del Estado de Baja California.

31.- Inventario de emisiones a la atmósfera en la ZMVM; Comisión Ambiental Metropolitana; y Secretaría de Medio Ambiente, 1996; México 1999, Impreso por el Gobierno del Distrito Federal y el Estado de México.

- 32.-** Elbir Tolgan, Muezzinnoglu Aysen and Bayram Abdurrahman; Evaluation of some air pollution indicators in Turkey; Environmental International, 26 (2000), 5-10, Elsevier.
- 33.-** <http://www.epa.gov/ttnchie1/software/tanks>
- 34.-** SEMARNAP y RADIANT; Mexico Emissions Inventory Program Manuals; Vol. IV – Point Source Inventory Development; Mexico 1996.
- 35.-** Seinfeld, John H.; Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution; Wiley Interscience Publication John Wiley & Sons; USA, 1986.
- 36.-** Cengel Yunus A., Boles Michael A.; Termodinámica; Quinta Edición; Editorial McGraw-Hill; México 2006.
- 37.-** Brown Theodore L., LeMay H. Eugene, Bursten Bruce E.; Química, La ciencia central; Séptima edición; Editorial: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.; México 1998.
- 38.-** Vega de Kuyper; Química del Medio Ambiente; 2da. Edición; México 1007, Alfaomega Grupo Editor, SA de CV.
- 39.-** Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de San Pablo; El aire que respiramos; Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico y de la Defensa del Medio ambiente (CETESB); 1992; San Pablo, Brasil.
- 40.-** Russell Lynn D. y Adebisi George A.; Termodinámica Clásica; Editorial Addison Wesley de México S.A.; México, 2000.
- 41.-** Simple Operation Manual. Complete Analysis; The New ECA 450 from Bacharach; Instruction 24-9400; USA. (<http://www.bacharach-inc.com/eca-450.htm>)
- 42.-** Edwards, John B.; Combustion, formation and emission of trace species; Ann Arbor Science Publishers Inc.; USA 1974.

43.- Bejan Adrian; Advanced Engineering Thermodynamics; Published by John Wiley & Sons, Inc. , Third Edition; USA; 2006.

44.- The U.S. Mexican Border Enviroment; Edited by Alan Sweedler; San Diego State University Press; USA, 2003.

45.- Ross R.D. Edited; Air Pollution and Industry; Van Nostrand Reinhold Company; Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series; USA, 1972.

46.- Air Pollutant Emission Factors, Final Report, Contract No. CPA-22-69-119, Resources Research, Inc., Reston, VA, Durham, NC, April 1970.