



Simulación de dispersión de gases de combustión emitidos por tráfico vehicular

Juan Perón Pazmiño Salazar
Mary Liz Vergara Apolinario
Mariuxi Viviana Ruiz Arana
Raúl Ricardo Fernández Concepción

compAs

Simulación de dispersión de gases de combustión emitidos por tráfico vehicular

Autores:

Juan Perón Pazmiño Salazar
Mary Liz Vergara Apolinario
Mariuxi Viviana Ruiz Arana
Raúl Ricardo Fernández Concepción

Simulación de dispersión de gases de
combustión emitidos por tráfico vehicular

Autores:

Juan Perón Pazmiño Salazar
Mary Liz Vergara Apolinario
Mariuxi Viviana Ruiz Arana
Raúl Ricardo Fernández Concepción



Primera edición: noviembre 2018
© Ediciones Grupo Compás 2018
ISBN: 978-9942-33-081-9

Diseño de portada y diagramación:
Grupo Compás
Este texto ha sido sometido a un proceso de
evaluación por pares externos
con base en la normativa del editorial

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las
sanciones en las leyes, la producción o
almacenamiento total o parcial de la presente
publicación, incluyendo el diseño de la portada,
así como la transmisión de la misma por
cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico,
como químico, mecánico, óptico, de grabación
o bien de fotocopia, sin la autorización de los
titulares del copyright.

Cita.

Pazmiño, J, Vergara, M, Ruiz, M, Fernández, R (2018) Simulación de dispersión de
gases de combustión emitidos por tráfico vehicular, Editorial Grupo Compás,
Guayaquil Ecuador, 51 pag

PRÓLOGO

La estructura de la presente tesis consta de "Antecedentes" donde se presenta la situación problémica que da origen al proceso investigativo así como un resumen del diseño de la investigación donde se presentan el problema, los objetivos de la investigación, la hipótesis a defender así como los principales impactos que los resultados del proyecto generarán en el entorno científico – tecnológico y medioambiental del área objeto de estudio. Consta de tres capítulos, presentados de la siguiente forma:

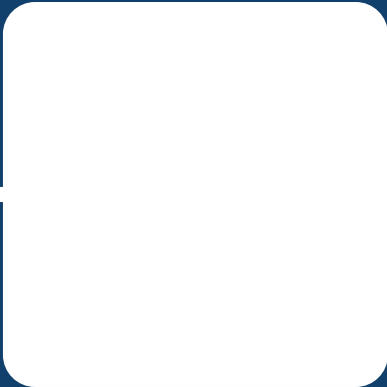
"Antecedentes y Fundamentos teóricos" donde se muestran los principales conceptos teóricos que fundamentan al proceso investigativo planteado para darle solución al problema científico definido.

"Metodología", donde se presentan además de la descripción del área objeto de estudio, los principales métodos utilizados para obtener la información requerida, así como los métodos para procesar la misma y compararla con resultados similares obtenidos por otros autores.

"Propuesta", donde se presentan los principales resultados de la investigación realizada, los cuales permitirán al final de la misma obtener el modelo de dispersión para gases determinado para la zona estudiada en cuestión.

El libro se completa con las conclusiones y recomendaciones planteadas por el autor de la misma a partir de los resultados obtenidos y el procesamiento de los mismos, así como con el listado

de la bibliografía consultada para conformar el marco teórico y reseñar los resultados de otras investigaciones con las cuales comparar los resultados alcanzados. Finalmente, se presentan una serie de Anexos los cuales complementan la información requerida para una correcta comprensión del informe de tesis presentado.



CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La emisión de contaminantes atmosféricos generalmente se encuentran sometidos a los siguientes procesos: la emisión, transmisión y la inmisión. El proceso de la emisión es la expulsión del contaminante desde una fuente fija o móvil a la atmósfera. Ejemplos de fuentes de emisión lo constituyen, las chimeneas, los escapes de vehículos, pero también existen fuentes naturales de emisión como son los casos de los volcanes, y los Geiser entre otros. El proceso de la transmisión de gases describe la distribución de los mismos, así como las posibles transformaciones químicas a las que pueden verse sometidos, donde se destaca la formación de los llamados contaminantes secundarios originados a partir del contaminante primario en la atmósfera. (Marshall, 2002; GeoEcuador, 2008)

Bajo el término inmisión se define la cantidad o la concentración del o de los gases contaminantes que es recibida por un receptor y por ende la cual puede ser registrada también por cualquier equipo de medición de los comúnmente utilizados para la medición de los niveles de contaminación atmosférica. Como ejemplo de receptores de estos gases se encuentran los seres humanos, las plantas, los animales, pero también se pueden incluir en este listado a otros bienes materiales.

Los modelos de dispersión para ser aplicados en la vida práctica, requieren como datos de entrada ("input"), información sobre la situación de las emisiones de los gases contaminantes. Diversos tipos de estos modelos – entre los que se cuentan los conocidos como modelos de Gauss – tienen en cuenta además determinada información meteorológica, partiendo de que esta disciplina es un factor importante que influye en el proceso de la transmisión de los

gases y por ende influye de manera decisiva en la distribución tridireccional de los contaminantes en el espacio.

Como resultado de la aplicación de un modelo de dispersión para un caso determinado, se obtiene la inmisión calculada del contaminante para uno o para múltiples puntos en el espacio. Por consiguiente un modelo de dispersión representa el eslabón entre el inicio (emisión) y el final calculado (inmisión) del contaminante, es decir, que los modelos de dispersión permiten simular el proceso de la transmisión. (Mordecai and Fox, 1959; Canter, 2008; Martino, 2013)

En una Tesis de Maestría de este mismo programa de la Facultad de Ingeniería Química, titulada *"ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AIRE EN SECTORES CENTRICOS DE GUAYAQUIL CONSIDERANDO LOS CONTAMINANTES PRIMARIOS DE LA COMBUSTION PRODUCIDOS POR TRÁFICO VEHICULAR"*, realizada hace aproximadamente dos años, (Pincay, 2013) se determinaron los niveles de concentración de los contaminantes CO, SO₂, NO₂ y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), en tres sectores urbanos de la ciudad de Guayaquil, demostrándose que el tráfico vehicular incidía directamente en los altos niveles de contaminación atmosférica en esos sectores. Tomando como base esos resultados y teniendo en cuenta que en el tiempo pasado la congestión vehicular se ha incrementado sensiblemente en Guayaquil, se ha tomado como objeto de estudio un sector de mayor afluencia de vehículos que los anteriormente estudiados y se realizará un estudio exhaustivo de los contaminantes más comunes para este tipo de caso, realizándose corridas de simulación de la dispersión de los contaminantes antes indicados en

el ambiente. Así mismo, se usarán datos meteorológicos del día y hora que se tomaron las muestras de los contaminantes.

Vale indicar, que para este estudio se usarán únicamente los gases generados por la reacción de combustión, es decir, CO, SO₂ y NO₂; y, que el mismo se limitará al sector de Urdesa, el cual se encuentra conformado por cuatro estaciones.

Situación problemática: De acuerdo a datos de la Comisión de Tránsito del Ecuador, en Guayaquil el crecimiento del parque automotor en los últimos 10 años es de aproximadamente 11 % anual, por lo que en esta última década se debe haber duplicado el número de vehículos circulando por las calles de la ciudad, emitiendo gases de combustión al ambiente de forma directamente proporcional a ese incremento. Con este escenario, es necesario que se estudie además de la generación de contaminantes gaseosos que emiten los vehículos que circulan por la ciudad, sino también la forma como estos se van a dispersar en el ambiente, ya que al ser emitidos estos gases a nivel de suelo, es de suponer que estos se enfriaran en corto tiempo, perdiendo por lo tanto fuerza de boyantes, lo que podría ocasionar que la dispersión se realice a baja altura, afectando a la población y a los diversos ecosistemas presentes en la ciudad.

Problema científico: No se cuantifican los gases emitidos en sitios de gran afluencia vehicular en la ciudad de Guayaquil, por lo que, no se conoce el impacto ambiental que en esos lugares se genera.

El hombre es el principal depredador ambiental del planeta tierra. Su accionar diario genera severos problemas de contaminación que

provocan el desbalance que va conduciendo al deterioro paulatino de las condiciones ambientales requeridas para la vida propia.

La circulación vehicular creciente, el no control de las emisiones gaseosas que esto genera, así como el desconocimiento de cómo estos gases liberados al medio interactúan y contaminan el aire y los efectos que sobre los humanos esta contaminación puede generar son temas a priorizar fundamentalmente en la ciudad de Guayaquil donde a diario se incrementa el flujo vehicular. El sector Urdesa es uno de los sitios de la ciudad donde la congestión vehicular es de grandes proporciones y se desconoce el impacto que esto genera sobre el ser humano y el entorno donde habita.

Propiedades y características de los combustibles utilizados en los motores de combustión interna en Guayaquil

La gasolina, el petróleo, el diésel (todos de origen fósil), así como los biocombustibles y la electricidad, son los principales combustibles que se utilizan en la actualidad en los vehículos y equipos de todo tipo que circulan por las carreteras, caminos, mares y cielos de todo el mundo.

Para el caso específico de la gasolina (existen diversos tipos en función de su octanaje), se pueden definir como las características de mayor importancia a la densidad y al índice de octanos. (Barriga, 2008)

La combustión de los combustibles fósiles

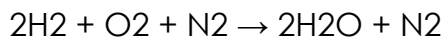
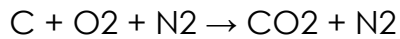
La combustión, es una rápida reacción química de oxidación de cualquier material que se clasifica como material combustible. Por oxidación se representa la adición del oxígeno en la reacción química. Por combustible, se define cualquier material, el cual se combina rápidamente con oxígeno bajo condiciones favorables. Para el presente estudio se tendrá en cuenta básicamente la combustión de combustibles de origen fósiles como la gasolina y el diésel., los cuales son los más utilizados en la actualidad por los medios de transporte que circulan en el Ecuador.

Los combustibles de origen fósiles son clasificados como combustibles de hidrocarburos, es decir contienen en su constitución moléculas formadas principalmente por carbono e hidrógeno. Estos combustibles de acuerdo a la definición inicial, combinarán el carbono e hidrógeno con el oxígeno.

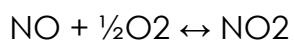
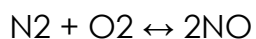
Si se contara con carbón puro por combustible y una atmosfera de oxígeno puro, la reacción seria: $C + O_2 \rightarrow CO_2$

Esta es una reacción química que produce un nuevo compuesto y genera calor, siendo este último producto el propósito del uso de estos combustibles en los motores de transportación. En condiciones normales, el oxígeno no llega a los motores en forma pura, sino que lo que llega es aire, el cual contiene 20.9 % de oxígeno en su composición y 78.9 % de nitrógeno aproximadamente. Como se dijo los hidrocarburos están compuestos de carbono e hidrogeno en

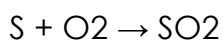
proporciones aproximadas de 86 % de C y 14 % de H₂ por peso. Por lo tanto, el aire que se proporciona para quemar el combustible con el oxígeno, formará no solamente CO₂, sino también H₂O, a partir de la ecuación química:



La combustión del hidrógeno también libera calor, de acuerdo a lo señalado en la ecuación, cuyo producto final es agua. La presencia de N₂ y O₂ en el interior de la cámara de combustión a las condiciones proporcionales del aire, es decir el O₂ a 20.9 % y el N₂ a 78.8 % y a las condiciones altas de presión y temperatura, provoca una reacción la cual tiene como productos de esta combustión al NO y al NO₂, compuestos estos que salen al ambiente. Esta reacción se produce de acuerdo a las siguientes ecuaciones:



Adicionalmente, hay que considerar que los combustibles de origen fósil tienen en su composición azufre metálico, el cual en contacto con el O₂ del aire se combustiona, generando SO₂ de acuerdo a la siguiente ecuación:



Todos estos gases resultantes de la combustión de la gasolina y/o el diésel al ser emitidos al medio sin tratamiento previo, se convierten en contaminantes que deterioran la calidad del aire no solo en el sitio donde se generan, sino que al incrementar sus concentraciones y dispersarse, trasladan esta contaminación a otros sitios con sus consabidas consecuencias. La lluvia ácida, el efecto invernadero, el deterioro de la capa de ozono, enfermedades bronco respiratorias, irritaciones de la piel y los ojos y otras muchas manifestaciones, se producen con la emisión continua de estos gases de forma incontrolada a la atmósfera. (Mujica, 2000; Buczynska, 2005; Barriga, 2008; Amrita, 2011)

Del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, publicado en el Registro Oficial # 464 del Martes 7 de Junio de 2011, cuyo título es "Norma de Calidad Aire Ambiente de Inmisión", que aparece en el Libro VI Anexo 4, se toma los valores de las normas de calidad para Dióxido de Azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Dióxido de Azufre (SO₂).- La concentración de SO₂ en 24 horas no deberá exceder ciento veinticinco microgramos por metro cúbico (125 µg/m³), la concentración de este contaminante para un período de 10 minutos, no debe ser mayor a quinientos microgramos por metro cúbico (500 µg/m³). El promedio aritmético de la concentración de SO₂ de todas las muestras en un año no deberá exceder de sesenta microgramos por metro cúbico (60 µg/m³).

Monóxido de Carbono (CO).- La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un periodo de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico ($10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no más de una vez al año. La concentración máxima en (1) una hora de monóxido de carbono no deberá exceder treinta mil microgramos por metro cúbico ($30.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no más de una vez al año.

Dióxido de Nitrógeno (NO_2).- El promedio aritmético de la concentración de dióxido de nitrógeno determinado en todas las muestras del año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por metro cúbico ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentración máxima en (1) una hora no deberá exceder de doscientos microgramos por metro cúbico ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Los modelos de dispersión

Los contaminantes atmosféricos están generalmente sometidos a tres procesos: emisión, transmisión e inmisión. La emisión es la expulsión del contaminante desde una fuente a la atmósfera. Ejemplos de fuentes de emisión son chimeneas o escapes de vehículos, pero existen también fuentes naturales como son los volcanes.

La transmisión describe la distribución y las posibles transformaciones químicas (formación de los llamados contaminantes secundarios) del contaminante en la atmósfera.

Bajo el término inmisión se entiende la cantidad o concentración del contaminante que es recibido por un receptor y por ende es registrado también por cualquier equipo de medición de contaminación atmosférica. Receptores son los seres humanos, las plantas, los animales, pero también edificios y otros bienes materiales.

Los modelos de dispersión requieren como datos de entrada ("input"), información sobre la situación de las emisiones de los contaminantes. Varios tipos de modelos – también los llamados modelos de Gauss – toman en cuenta adicionalmente datos meteorológicos, ya que la meteorología es un factor importante de la transmisión y por ende influye de manera decisiva en la distribución de los contaminantes en las tres direcciones del espacio. El resultado de un cálculo con un modelo de dispersión es la inmisión calculada del contaminante para cualquiera o para miles de puntos en el espacio. El modelo es entonces el eslabón entre el inicio (=emisión) y el final calculado (=inmisión) del contaminante, es decir que los modelos de dispersión simulan el proceso de la transmisión. (Mickley and Sherwood, 1957; Mordecai and Fox, 1959; Canter 2008; Paz *et al.*, 2011)



CAPÍTULO II METODOLOGÍA

Ubicación geográfica del sector estudiado

Para seleccionar el sitio de muestreo, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones o premisas:

Que la intercepción presente diferentes caudales de flujo de tránsito vehicular, es decir tenga tránsito de intensidad alta, mediana y baja.

Que haya flujo de vehículos livianos y tránsito de Buses, los cuales usan gasolinas y diesel respectivamente.

Que cuente con sistema de regulación de tránsito por semáforo, lo cual regulariza la toma de datos.

Que sea un lugar lo suficientemente seguro en lo físico y puedan tomarse los datos con comodidad y seguridad.

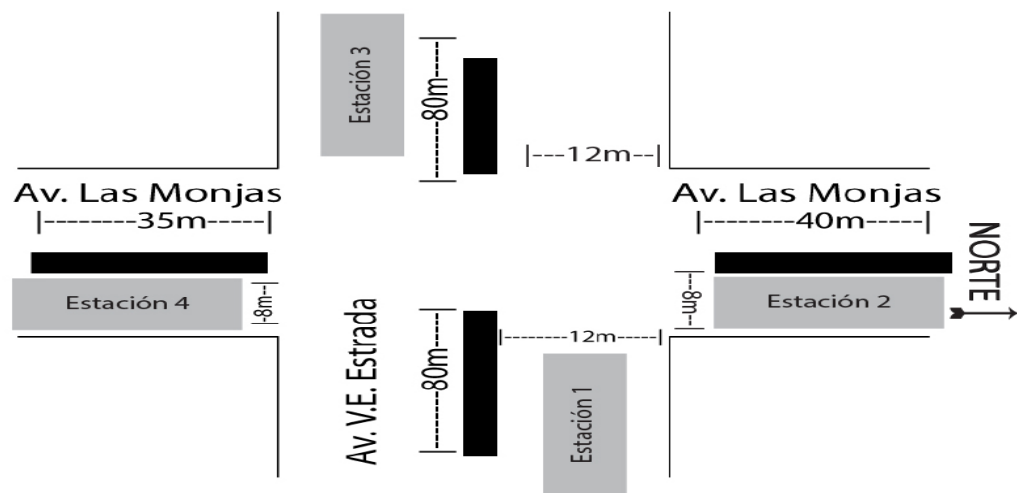
El lugar seleccionado está ubicado en las Avenida Víctor Emilio Estrada y Avenida Las Monjas, ésta intercepción tiene tránsito vehicular en los cuatro sentidos, de este a oeste, de oeste a este, de norte a sur y de sur a norte. Los datos de inmisión de CO, SO₂ y NO₂ fueron tomados para cada caso, y se han complementado con los datos de tránsito en el tiempo de toma de concentración de los gases.

Como área objeto de estudio para la presente investigación, se decidió estudiar la intersección formada por la calle Víctor Emilio Estrada y la avenida Las Monjas, por ser este sitio un lugar que cumple con las premisas planteadas para esta investigación las que han sido establecidas

previamente. Además y como aspecto básico para la selección de esta zona se tiene que para la misma existe un estudio de concentraciones de gases (CO, SO₂, NO₂) generados por el tráfico vehicular, realizado por Pincay, (2013), cuyos resultados servirán de base para la determinación de los modelos de dispersión mediante el presente estudio con el objetivo de determinar las áreas afectadas y proponer acciones para su rehabilitación.

FIGURA No.1

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LAS ESTACIONES # 1, 2, 3 Y 4



Fuente: tesis Pincay 2013

Los monitoreos para la toma de los datos de concentración de gases, fueron realizados por Pincay, (2013) en horas de la mañana y la tarde, en momentos cuando el tránsito presenta características de flujo promedio.

Características de los sitios de muestreo

En la Tabla No.1 se presentan las características geométricas principales de las cuatro estaciones de monitoreo, el ancho de las estas corresponde a la vía misma, el largo se considera la longitud que ocupa la hilera de vehículos al momento de estar estos en condición estática con luz roja.

TABLA No. 1

CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DONDE SE REALIZARON LOS MONITOREOS

Dirección de la Estación	Volumen (m³)	número de hilera de vehículos	Tiempo de luz roja, en segundos	Tiempo de luz verde, en segundos	Tráfico de Bus	Intensidad de transito	Código de la estación
Av. V. E. E y Av. Las Monjas, sur-oeste	2880 m³	4	80	25	Si	Alta	1
Av. V. E. E. Av. Las Monjas, nor-oeste	720 m³	2	90	30	no	Baja	2
Av. V. E. Estrada y Av. Las							

Monjas, nor-este	2880 m ³	4	80	30	Si	Alta	3
Av. V. E. Estrada y Av. Las Monjas, sur-este	840 m ³	4	67	25	No	Mediana	4

Fuente: Investigación de Campo

Elaborado por: Ing. Juan Pazmiño Salazar

Cuantificación del tráfico vehicular en los sitios de muestreo

El flujo vehicular se estableció por el conteo visual de los vehículos que transitan en los sitios monitoreados, en el tiempo de monitoreo, anotando estos datos en el cuaderno de registro de este trabajo, además de la fecha, hora y condiciones del tiempo, estos datos se dividen para el tiempo en segundos, el cociente se constituye en el flujo vehicular. El conteo se hace para vehículos regulares que incluyen el tránsito ligero, y los buses en las intercepciones donde transitan estos.

La toma de datos se realizó siguiendo el siguiente protocolo:

Primero se toman los datos de fecha, dirección de la estación de monitoreo, datos del semáforo, los tiempo en luz verde y luz roja.

Se prenden los equipos de medición y se anota la hora de inicio,

El muestreador se ubica los equipos a una altura de 1.5 metros de altura del suelo. Para medición en luz roja, el muestreador se introduce por el carril central entre los vehículos detenidos y avanza toda la

longitud del volumen de control, y regresa a la parte delantera de la columna, cuando va a cambiar la luz del semáforo, se retira a un sitio alejado unos 20 metros para esperar la siguiente luz roja, repitiendo el procedimiento anteriormente descrito. Para la toma de datos con luz roja y luz verde se introduce de la misma manera primero con luz roja y luego al cambio a luz verde el muestreador se mantiene lo más cercano al tránsito de los vehículos, con las precauciones del caso.

Combustible utilizado por los automotores muestreados

En Guayaquil los vehículos livianos usan como combustible la gasolina *Super* (de 90 a 92 octanos) y la gasolina *Extra* (de 81 a 87 octanos). Estos combustibles están formados por un gran número de hidrocarburos que en su composición molecular tienen principalmente carbono e hidrógeno, además de azufre a concentración de 500 ppm, compuesto que al combustionarse con el oxígeno del aire produce el SO_2 , gas contaminante del ambiente, la tendencia en el mundo es reducir la concentración de este elemento para disminuir el impacto ambiental que genera al ser combustionado.

El diésel es el combustible que usan los buses y camiones, y también algunos vehículos livianos, tales como las camionetas de doble cabina y los 4 x 4, en este combustible la concentración en el Ecuador y especialmente en Guayaquil llegan a los 7000 ppm, lo que se constituye en un foco de contaminación de SO_2 . De acuerdo a las estadísticas un 7 % del parque automotor consume este combustible,

sin embargo, por la alta concentración de azufre en este combustible, representa un motivo de preocupación por su alto aporte de masa de SO_2 al ambiente.

GLP es un combustible que es usado exclusivamente por los taxis que han instalado el equipamiento apropiado para usar este producto a condiciones seguras. Este combustible es una mezcla de los hidrocarburos Butano/Propano, en proporciones variadas. Este compuesto no contiene azufre, por ser sus componentes gases a condiciones naturales de presión y temperatura, por lo que obviamente no genera gases de azufre, además que por sus propias condiciones naturales su combustión es limpia, es decir no genera CO .

Concentración de CO , NO_2 y SO_2 en la zona estudiada

Como se planteó con anterioridad, la concentración de gases producto del tránsito vehicular en el sector Urdesa, específicamente en la intersección de las Calles Víctor Emilio Estrada y Las Monjas, fue estudiado por Pincay, (2013). Los resultados de ese estudio en cuanto a la concentración de los tres gases estudiados, servirán como base para la obtención de los modelos de dispersión requeridos en la presente investigación.

Datos primarios y calculados de CO , NO_2 y SO_2 .

En las Tablas No.2 y No.3 se presentan los datos de concentración de CO , NO_2 y SO_2 , calculados a partir de los resultados reportados por los equipos de medición, estos complementan su información con datos de fecha y hora y sitio de monitoreo.

TABLA No. 2

DATOS PRIMARIOS DE CO, NO₂, SO₂ A CONDICIÓN ESTÁTICA CON
LUZ ROJA DE SEMÁFORO

Fecha del monitoreo	Código de Dirección	Concen. promedio de CO, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concen. Promedio de NO ₂ , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concen. Promedio de SO ₂ , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hora de monitoreo
Oct. 04/ 2012	1	10,742.9	374.7	1,567.3	10:11-11:30
Oct. 05/ 2012	2	6,742.9	374.7	783.7	9:52-11:30
Oct. 05/ 2012	3	ND	ND	ND	12:01-13:33
Oct. 07/ 2012	4	9,942.9	374.7	1,306.1	14:41-16:02
Oct.11/ 2012	5	5,942.9	374.7	261.2	10:27-11:42
Oct. 12/ 2012	6	8,342.9	749.4	783.7	11:30-12:50

Oct. 14/ 2012	7	5,942.9	562.0	261.2	11:25- 12:32
Oct. 15/ 2012	8	2,171.4	374.7	ND	12:24- 13:30
Oct. 18/ 2012	9	1,484.9	ND	ND	11:11- 12:33
Oct. 23/ 2012	1	879.0	374.7	659.0	10:29- 11:34
Dic. 22/ 2012	1	14,285.7	936.7	1,306.1	14:19- 15:40
Dic. 23/ 2012	2	1,142.9	187.4	2,612.2	10:08- 11:31

Fuente: Pincay, (2013)

En esta tabla se tomaron datos de inmisión con los carros detenidos, es decir, en condiciones estáticas, a una altura de 1,50m. Los equipos presentan los datos de concentración en partes por millón (ppm), que luego se transforman a flujo másico (gr/s).

TABLA No. 3

DATOS PRIMARIOS DE CO, NO₂, Y SO₂ A CONDICIÓN DE MOVIMIENTO DE TRÁFICO Y ESTÁTICA CON LUZ ROJA DE SEMÁFORO

Fecha de monitoreo	Código de Dirección	Concen. promedio de CO, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concen. Promedio de NO ₂ , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concen. Promedio de SO ₂ , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hora de monitoreo
Feb. 09/13	1	7,085.7	562.0	783.7	14:25-16:02
Feb. 16/13	4	571.4	187.3	ND	14:56-15:39
Feb. 16/13	2	8,571.4	374.7	1,306.1	15:44-16:55
Feb. 17/13	3	9,942.9	374.7	1,306.1	14:41-16:02
Feb. 19/13	6	3,200.0	374.7	783.7	10:53-12:03
Mar. 03/13	7	3,200.0	374.7	0.0	11:15-11:51
Mar. 03/13	8	8,800.0	749.4	522.4	11:56-12:29
Mar. 03/13	5	10,857.1	936.7	783.7	12:40-13:13
Mar. 22/13	9	18,971.4	748.2	1,567.3	11:21-11:59

Mar. 22/13	10	12,571.1	749.0	1,306.1	12:06- 12:53
Mar. 22/13	11	6,057.1	374.7	261.2	13:21- 14:05
Mar. 31/13	1	10,057.1	187.3	522.4	13:32- 14:18
Mar. 31/13	2	800.0	374.7	ND	14:23- 15:07
Mar. 31/13	3	2,742.9	374.7	ND	15:44- 16:42
Mar. 31/13	4	6,514.3	374.7	1,306.1	16:47- 17:19

Fuente: Pincay, (2013)

En esta tabla se tomaron datos de inmisi3n de forma continua, con los veh3culos en movimiento, cuando se detienen por la luz roja del sem3foro y nuevamente en movimiento al cambiar la luz del sem3foro, es decir, en condiciones din3mica, est3tica y din3mica.

En las Tablas No. 4 y No. 5 se reportan los datos de CO, NO₂ y SO₂ en µg/m³ para contrastarlos con los datos m3ximos permitidos por la norma ambiental, valores que se presentan a continuaci3n:

CO, en una hora de monitoreo la concentraci3n m3xima < 30 000.00 µg/m³

NO₂, en una hora de monitoreo la concentración máxima < 200 µg/m³

SO₂, para un período de 10 minutos < 500 µg/m³

TABLA No. 4

TABLA DE DATOS PROMEDIOS REPORTADOS DE CO, NO₂ Y SO₂

Fecha de muestreo	Código de Dirección de muestreo	Conc. Promedio de CO en 1 hora µg/m ³	Conc. Promedio de NO ₂ en 1 hora µg/m ³	Conc. Promedio de SO ₂ en 10 minutos µg/m ³
Oct. 4/2012	1	8 151.2	284.6 *	198.4
Oct. 5/2012	2	4 128.3	229.4 *	78.0
Oct. 7/2012	4	7 365.1	227.6 *	161.2
Oct. 11/2012	5	4 754.3	299.8 *	34.8
Oct. 12/2012	6	6 257.2	562.1 *	98.0
Oct. 14/2012	7	5 322.0	503.3 *	39.0
Oct. 15/2012	8	1 974.0	340.6 *	ND

Dic. 22/2012	1	10 582.0	693.9 *	965.5 *
Dic. 23/2012	2	826.2	135.5	314.7

Fuente: Pincay, (2013)

* > Máximo dispuesto por la norma ambiental

La tabla No. 4 ha sido elaborada a partir de los datos primarios de la Tabla No. 2, considerando la concentración máxima que establece la norma ambiental, para cada compuesto químico.

TABLA No. 5

CO, NO₂ Y SO₂ A CONDICIONES ESTÁTICA CON LUZ ROJA Y DINÁMICA
CON LUZ VERDE

Fecha	Código de Dirección de muestreo	Conc. Máxima de CO en 1 hora µg/m ³	Conc. Máxima de NO ₂ en 1 hora µg/m ³	Conc. Máxima de SO ₂ en 10 minutos µg/m ³
Feb. 9/2013	1	4 382.9	347.6 *	80.8
Feb. 16/2013	4	836.2	274.1 *	ND
Feb. 16/2013	2	7 243.4	316.6 *	184.0

Feb. 17/2013	3	7 365.1	277.5 *	161.2
Feb. 19/2013	6	2 742.9	321.2 *	671.7 *
Mar. 03/2013	7	5 333.3	624.5 *	ND
Mar. 03/2013	8	16 000.0	1 362.5 *	949.8 *
Mar. 03/2013	5	19 740.2	1 703.1 *	1 429.9 *
Mar. 22/2013	9	29 954.8	1 181.4 *	2 474.7 *
Mar. 22/2013	10	16 048.2	957.2 *	1 667.4 *
Mar. 22/2013	11	8 259.7	474.1 *	356.2
Mar. 31/2013	1	15 085.6	280.9 *	783.6 *
Mar. 31/2013	2	1 021.3	478.3 *	ND
Mar. 31/2013	3	2 837.5	387.6 *	ND
Mar. 31/2013	4	12 214.3	702.6 *	2 448.9 *

Fuente: Pincay, (2013)

* > Máximo dispuesto por la norma ambiental

ND: No Determinado

A partir de los datos primarios de la Tabla No. 3, se elabora esta Tabla No. 5, considerando la concentración máxima que establece la norma ambiental, para cada compuesto químico.

Determinación del modelo de dispersión

¿Qué son modelos de dispersión?

Los contaminantes atmosféricos están generalmente sometidos a tres procesos: emisión, transmisión e inmisión.

La emisión es la expulsión del contaminante desde una fuente a la atmósfera. Ejemplos de fuentes de emisión son chimeneas o escapes de vehículos, pero existen también fuentes naturales como son los volcanes.

La transmisión describe la distribución y las posibles transformaciones químicas (formación de los llamados contaminantes secundarios) del contaminante en la atmósfera.

Bajo el término inmisión se entiende la cantidad o concentración del contaminante que es recibido por un receptor y por ende es registrado también por cualquier equipo de medición de contaminación atmosférica. Receptores son los seres humanos, las plantas, los animales, pero también edificios y otros bienes materiales.

Los modelos de dispersión requieren como datos de entrada ("input"), información sobre la situación de las emisiones de los contaminantes. Varios tipos de modelos – también los llamados modelos de Gauss – toman en cuenta adicionalmente datos meteorológicos, ya que la meteorología es un factor importante de la transmisión y por ende influye de manera decisiva en la distribución de los contaminantes en las tres direcciones del espacio. El resultado de un cálculo con un modelo de dispersión es la inmisión calculada del contaminante para cualquiera o para miles de puntos en el espacio. El modelo es entonces el eslabón entre el inicio (=emisión) y el final calculado (=inmisión) del contaminante, es decir que los modelos de dispersión simulan el proceso de la transmisión.

Teoría del software de principio gaussiano

El modelo de difusión turbulenta

El modelo de difusión turbulenta se constituye en el punto inicial del desarrollo de un modelo para estudiar la dispersión de gases en la atmósfera. La ecuación básica es matemáticamente muy compleja, pero haciendo suposiciones sencillas, se llega a la siguiente ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = K_{xx} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) + K_{yy} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + K_{zz} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (2.1a)$$

Donde C es concentración, t tiempo y las magnitudes de K_{ii} son los coeficientes de difusión turbulentas en la dirección de los tres ejes de coordenadas. Esta es la ecuación de difusión de Fick. Sin embargo, esta ecuación es de difícil aplicación en el estudio de la difusión

gaseosa en la atmósfera. Por lo tanto, se harán las siguientes suposiciones adicionales:

La concentración del contaminante se emite de una fuente puntual continua.

El proceso es de estado estacionario, donde $\frac{dC}{dt} = 0$

Se escoge la principal dirección de transporte debido al viento para que vaya a lo largo del eje de las x .

Se selecciona la velocidad del viento u , para que sea constante en cualquier punto del sistema de coordenadas x, y, z .

El transporte de contaminantes debido al viento en la dirección x predomina sobre la difusión descendente, esto es, $u \left(\frac{dC}{dx} \right) \gg K_{xx} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right)$

La ecuación de la difusión de Fick se reduce a

$$u \left(\frac{dC}{dx} \right) = K_{yy} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + K_{zz} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (2.1b)$$

Donde $K_{yy} \neq K_{zz}$. La solución de esta ecuación debe cumplir con las siguientes condiciones de frontera:

$C \rightarrow \infty$, cuando $x \rightarrow 0$ (una gran concentración en la fuente puntual).

$C \rightarrow 0$, cuando $x, y, z \rightarrow \infty$ (concentración es cero a una gran distancia de la fuente).

$K_{zz} \left(\frac{\partial C}{\partial z} \right) \rightarrow 0$, cuando $z \rightarrow 0$ (no hay difusión en la superficie).

$\int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty uC(x, y, z) dy dz = Q, \quad x > 0$ (la tasa de transporte del contaminante en la dirección del viento es constante e igual a la tasa de emisión Q del contaminante en la fuente).

Lowry y Boubel (1967), dan la siguiente solución aproximada para la ecuación anterior

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi x(K_{yy}K_{zz})^{1/2}} \exp \left[\frac{-u}{4x} \left(\frac{y^2}{K_{yy}} + \frac{z^2}{K_{zz}} \right) \right] \quad (2.2)$$

A nivel del suelo, a lo largo de la línea del centro, la ecuación 2.2 se reduce a:

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{4\pi x(K_{yy}K_{zz})^{1/2}}$$

Por tanto, la solución aproximada de la ecuación teórica simplificada indica que el valor de C a nivel del suelo y a lo largo de la línea de centro de la pluma es inversamente proporcional a x e independiente de la velocidad del viento, μ .

La distribución Gaussiana o Normal

Para estimar la concentración de los contaminantes gaseosos desde una fuente en dirección a la que sopla el viento, es posible varios enfoques básicos del problema, necesitando ciertos números de simplificaciones a fin de obtener una solución aplicable. De esto resulta que todas estas teorías tienden a llegar a la misma función de distribución para la concentración del contaminante, esto es una

función de distribución gaussiana. Para comprender el significado de este tipo de función de distribución en el contexto de la contaminación del aire, es conveniente revisar algunas de las características generales de la distribución gaussiana.

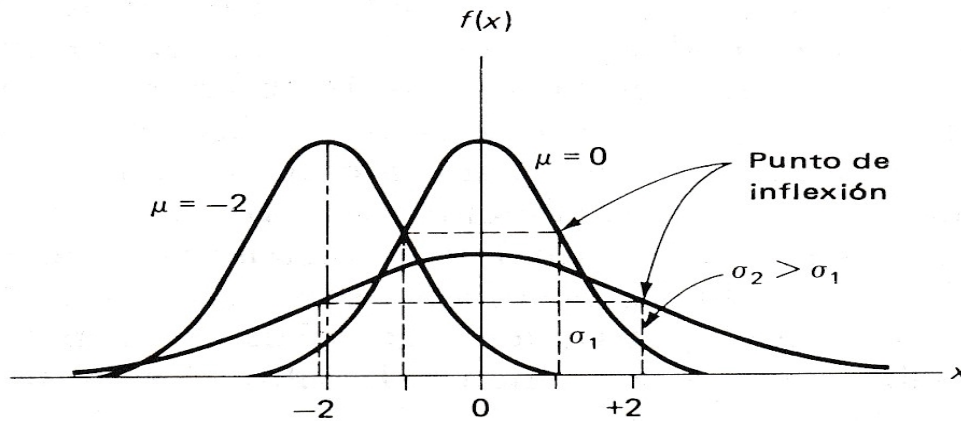
Se dice que una variable x está normalmente distribuida si la función de densidad $f(x)$ satisface la relación

$$f(x) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp \left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (2.3)$$

Dónde: μ es cualquier número real y σ es cualquier número real con un valor mayor que cero. La magnitud σ se conoce como la desviación normal. La naturaleza de esta función se capta más fácilmente si se consulta la figura No. 2.

FIGURA No. 2

LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN GAUSSIANA O NORMAL PARA DIFERENTES VALORES DE μ Y σ



Fuente: Contaminación del aire.- Wark - Warner

El valor $f(x)$ es la altura vertical sobre el eje horizontal. El valor de μ establece la situación del valor máximo de $f(x)$ sobre el eje x , y la curva es simétrica con respecto a la posición de μ . Cuando $\mu=0$, la curva es simétrica alrededor del eje $x = 0$.

La función de distribución normal o gaussiana, representada por la ecuación 2.3 está en forma normalizada. Esto es, el área bajo la curva tiene un valor igual a la unidad. El papel de σ es el de ensanchar o estrechar la forma de la curva, pero manteniendo siempre un área unitaria bajo la curva. La desviación normal, σ es una medida de la posición del punto de inflexión a cada lado de la curva.

Este aumento en la amplitud de la función de distribución, según aumenta σ tiene un importante significado físico en la dispersión atmosférica de los contaminantes.

Es importante recordar el papel de μ y σ en la determinación y posiciones generales de la función de distribución gaussiana, según se desarrolla las ecuaciones de la dispersión atmosféricas para las diversas situaciones. En general, estas ecuaciones de dispersión tomarán el formato de una doble dispersión gaussiana. Una doble distribución gaussiana en dos direcciones de coordenadas, como y i z , es sencillamente el producto de las distribuciones sencillas en cada una de las direcciones de las coordenadas.

Por tanto,

$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp \left[\left(\frac{-(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2} + \frac{-(z-\mu_z)^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] \quad (2.4)$$

$\sigma_y, \sigma_z, \mu_y, \mu_z$ tienen la misma interpretación que en la ecuación (2.3)

2.6.2 Modelo Gaussiano de dispersión

Un modelo matemático de dispersión atmosférica debe tratar de simular el comportamiento en conjunto de las plumas emitidas desde fuentes a nivel del terreno o a la altura de chimenea.

Fuentes lineales

En algunas situaciones como en el caso de intenso tráfico a lo largo del tramo recto de una vía, el problema de la contaminación se puede modelar como una fuente lineal, continua de emisión infinita. Cuando la dirección del viento es normal a la línea de emisión, la concentración a nivel del suelo en la dirección del viento está dada por

$$C(x, 0) = \frac{2q}{(2\pi)^{1/2} \sigma_z \mu} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

Donde q es fuerza de la línea por distancia unitaria, se expresa en término de $g/s \cdot m$. La desviación normal horizontal, σ_y , está ausente de la ecuación, ya que la difusión con el viento cruzado desde diversas porciones de los gases emitidos, deberán ser autocompensante. Nótese también que y no aparece en la ecuación (2.5), ya que la concentración debe ser uniforme en la dirección y a una distancia x determinada. Cuando la dirección del viento no sea perpendicular a la fuente lineal, Turner (1970) sugiere que la ecuación (2.5) se divida por $(\sin \phi)$ donde ϕ es el ángulo entre la fuente lineal y la dirección del viento. Esta corrección no debe usarse cuando ϕ sea menor de 45° .

Cuando la fuente lineal de emisión continua tiene una longitud relativamente corta, se deberán tener en cuenta los efectos de borde causado por los dos extremos de la fuente. Estos efectos de borde resultan importantes, en el sentido en que se amplía a mayores

distancias del viento transversal, conforme aumenta la distancia desde la fuente en la dirección del viento. Si la fuente lineal es perpendicular a la dirección del viento, entonces es conveniente definir el eje x en la dirección del viento, y que también pase por el punto de muestreo en la dirección del viento. Los extremos de la fuente lineal se encuentran en dos posiciones, y_1 e y_2 en la dirección del viento cruzado, donde y_1 es menor que y_2 . La concentración a lo largo del eje x , estará dada por la expresión

$$C(x, 0) = \frac{2q}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z\mu} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \exp(-0,5p^2) dp \quad (2.6)$$

Donde $p_1 = y_1/\sigma_y$ y $p_2 = y_2/\sigma_y$.



CAPÍTULO III PROPUESTA

Propiedades y características de los combustibles utilizados en los motores de combustión interna en Guayaquil

Las características de mayor importancia que tienen las gasolinas son la densidad y el índice de octanos. Las Tablas No. 6, la No. 7 y la No. 8 detallan las especificaciones técnicas de la gasolina *Super* de la *Extra* así como del Diésel, que son los combustibles más utilizados por los vehículos (autos livianos, motos, camionetas y Buses) que transitan diariamente por el área objeto de estudio de la presente investigación y que lo es, la intersección de la Calle Víctor Emilio Estrada y la avenida Las Monjas en el sector Urdesa de la ciudad de Guayaquil.

TABLA No. 6

ESPECIFICACIONES DE LA GASOLINA *SUPER*

DETERMINACIÓN	UNIDAD	PROCEDIMIENTO	ESPECIFICACIÓN INEN 235
Análisis PONA Aromáticos Olefinas Saturados	% V	ASTM D 1339	30 25 ---
Azufre	% S	ASTM D 129	0.20
Corrosión a la lámina	U. Corrosión	ASTM D 130	1
Densidad API	° API	ASTM D287	—
Número de Octanos	—	ASTM D908	89
Poder Calórico Bruto	Kcal/Kg	ASTM D240	—
Plomo	g/l	ASTM D3708	+0.013
Presión de Vapor Reid	KPa	ASTM D323	56

Fuente: Pincay 2013

TABLA No. 7

ESPECIFICACIONES DE LA GASOLINA EXTRA

DETERMINACIÓN	UNIDAD	PROCEDIMIENTO	ESPECIFICACIÓN INEN 935
Análisis PONA Aromáticos Olefinas Saturados	% V	ASTM D1339	20 20 —
Azufre	% S	ASTM D129	0.20
Corrosión a la lámina	U. corrosión	ASTM D130	1
Densidad API	° API	ASTM D287	—
Número de Octanos	—	ASTM D908	80
Poder calórico bruto	Kcal/Kg	ASTM D240	—
Plomo	g/l	ASTM D3708	+0.013
Presión de Vapor Reid	KPa	ASTM D323	56

Fuente:

TABLA No. 8

ESPECIFICACIONES DEL DIÉSEL 2

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉTODO
Punto de inflamación	° C	51	—	INEN 1493
Corrosión lámina de Cobre	—	—	N ° 3	INEN 927
Temperatura de Destilación 90%	° C	—	370	INEN 926
Agua y Sedimentos	% V	—	0.05	INEN 1434
Índice de Cetano Calculado	—	45	—	INEN 1495

Residuo Carbonoso sobre el 10 % de Residuo	% Peso	—	0.15	INEN 1491
Cenizas	% Peso	—	0.01	INEN 1492
Viscosidad Cinemática 38 °C	cSt	2.5	6.00	INEN 810
Azufre	% Peso	—	0.7	INEN 1490
Poder calorífico	—	—	—	—

Fuente:

Combustión en motores de combustión interna.

Estudio de los gases contaminantes generados por motores de combustión interna

Como producto directo de la combustión de los combustibles de origen fósiles con el oxígeno del aire sale al ambiente el monóxido de carbono (CO). Asociados a este compuesto se generan también el monóxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO₂), además del dióxido de azufre (SO₂) que se produce por la presencia de azufre en los combustibles.

Monóxido de carbono (CO)

Es un compuesto incoloro e inodoro, es muy estable químicamente y tiene una vida media en la atmosfera de 2 a 4 meses. Se estima que de las emisiones globales de este compuesto, el 20 % corresponde a actividades del hombre. En el año 1968 las emisiones

de este compuesto fueron 350 millones de toneladas. Por lo general, el CO se oxida a CO₂ en la atmósfera.

El monóxido de carbono se forma como un producto intermedio de la reacción química entre combustibles carbonados y el oxígeno. Cuando se provee una cantidad insuficiente de oxígeno (mezcla rica), se produce CO como un producto final de la combustión. En las mezclas pobres, se produce CO por alguna de las siguientes razones: a) pudo haber una mezcla defectuosa del combustible y el aire en la zona de reacción, de forma que las regiones de dicha zona se comportan como ricas en combustible, a pesar de que la mezcla sea pobre, b) el CO se puede originar en regiones a alta temperatura de la zona de combustión, donde el equilibrio químico impone que deberá ocurrir la disociación del CO₂ en CO. Por lo tanto, los efectos del cociente combustible a aire, el grado de mezcla y la temperatura pueden llevar a la formación significativa de CO en la parte caliente de la zona de combustión.

Dióxido de Azufre (SO₂)

El SO₂ es un gas incoloro, no flamable y no explosivo que produce una sensación gustatoria a concentraciones de 0.3 a 1.0 ppm en el aire. A concentraciones mayores de 3.0 ppm, el gas tiene un olor acre e irritable. El SO₂ se convierte parcialmente a trióxido de azufre y ácido sulfúrico y a sus sales mediante procesos fotoquímicos o catalíticos en la atmósfera. Los óxidos de azufre en combinación con las partículas y la humedad del aire producen los efectos más perjudiciales atribuidos a la contaminación del aire. (Wark y Warner, 2002)

Las partículas en suspensión reducen el rango visual al dispersar y absorber la luz. Como los aerosoles del ácido sulfúrico y otros sulfatos constituyen del 5 al 20 % de las partículas en suspensión en el aire urbano, contribuyen significativamente a la reducción de la visibilidad.

Investigaciones realizadas por North, (2006) indican que mucha de la neblina atmosférica se debe a la formación de varios aerosoles resultantes de las reacciones fotoquímicas entre el SO_2 , las partículas, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos presente en la atmosfera. Mediciones realizadas, indican que una importante fracción del sulfato presente en el aire urbano tiene un tamaño efectivo de menos de $2\text{ }\mu\text{m}$, con el pico de distribución del tamaño de alrededor de $0.2\text{ a }0.9\text{ }\mu\text{m}$. Como la longitud de onda del rango visible del espectro electromagnético varía aproximadamente de $0.4\text{ a }0.8\text{ }\mu\text{m}$, la presencia de aerosoles de este tipo puede causar una marcada reducción de la visibilidad. El rango típico de las concentraciones de SO_2 en áreas urbanas es de $0.01\text{ a }0.2\text{ ppm}$. (de Nevers, 1998)

Según referencias publicadas el día 7 de septiembre del año 2005 por el periódico Universo, en la ciudad de Guayaquil se tiene un dato de inmisión de SO_2 de 1.09 ppm de promedio y 2.3 ppm como máximo tomado en las calles Aguirre y Pedro Carbo, lo cual supera con creces el límite establecido en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire el cual es de 0.13 ppm .

Óxidos de nitrógeno

El óxido nítrico (NO) es un gas incoloro y su concentración ambiental es por lo general menor a 0.5 ppm. El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas pardo rojizo constituyéndose en importante contaminante del aire, sin que cause daños directos a los materiales, El NO_2 absorbe la luz visible y a una concentración de 0.25 ppm causa apreciable reducción de la visibilidad en el ambiente. En combinación con los hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógeno reaccionan con la luz solar y formar el smog fotoquímico. (de Nevers, 1998)

A una concentración de 1 ppm de NO_2 es probable que se lo detecte a simple vista. El daño real presentado por el NO_x a las concentraciones presente en áreas metropolitanas, se basa en el papel que tiene en las reacciones de formación del smog fotoquímico. Los productos de estas reacciones tienen efectos adversos directos sobre los seres humanos y las plantas. (Noor, 2003)

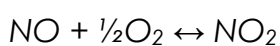
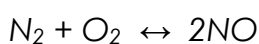
Más del 90% de todos los óxidos de nitrógeno producido por el hombre se originan por el consumo de combustible, en USA, aproximadamente la mitad del NO_x proviene de fuentes móviles. Mediante numerosos estudios se ha llegado a determinar que las máximas concentraciones de los NO_x en las principales áreas urbanas pueden alcanzar niveles de 0.3 a 1.4 ppm, para tiempos promedios de 1 día o menos. El nivel promedio del NO_x en la atmosfera de áreas urbanas de California cargadas de smog es alrededor de 0.25 ppm, con una máxima concentración 3.5 ppm. En algunas circunstancias, el NO_x pudiera estar a condiciones altas de

concentración, y sin embargo no reaccionar para la formación de smog, debido a que están ausentes otras condiciones necesarias para la reacción. (Capiello, 2002)

La cantidad de NO_x dispersada en el ambiente se puede reducir de dos maneras. El método primario consiste en controlar la reacción que produce el contaminante. El segundo método consiste en remover el contaminante luego que se ha formado. La aplicación de estos métodos requiere una comprensión de la química, termodinámica y cinética de las reacciones de formación.

Existen dos fuentes de nitrógeno que contribuyen a la formación de los óxidos de nitrógeno en las reacciones de combustión. La reacción entre el combustible y el aire, siendo el propio aire que contiene nitrógeno y oxígeno moleculares en una relación de 3.75:1. El nitrógeno contenido en el propio combustible en su estructura molecular puede aportar fracciones apreciables de nitrógeno que luego aparece como NO_x en los gases producto de la reacción. (Carter, 1999)

Las dos reacciones globales de importancia son aquellas que producen NO y NO₂. A condiciones de equilibrio son:



En Guayaquil existen muy pocos datos de inmisión de contaminación, de estos se tiene un dato de 0.27 ppm de NO₂ en las calles Aguirre y Pedro Carbo, en el centro de la ciudad, publicado en el periódico el Universo el 7 de septiembre del año 2005, el cual comparado con la concentración máxima de acuerdo a la legislación ecuatoriana para 24 horas y que es de 0.08 ppm, se aprecia que supera este valor significativamente.

Impactos de los gases contaminantes y sus consecuencias en la salud y el ambiente

Los principales gases contaminantes; como se ha venido planteando a lo largo del presente estudio; que se producen a partir de la combustión de los combustibles fósiles utilizados por los diferentes medios de transporte que utiliza el hombre son los óxidos de carbono, azufre y nitrógeno. Está demostrado que los mismos generan diversos efectos tanto sobre el hombre como sobre los diversos ecosistemas con los que estos interactúan. (Martino, 2013)

Monóxido de carbono (CO).

Hay numerosos estudios que demuestran que las altas concentraciones de CO pueden causar en el hombre cambios fisiológicos y patológicos, y finalmente la muerte. Se conoce que el CO puede causar la muerte de una persona en corto periodo de tiempo cuando se encuentra expuesta a altas concentraciones (> 750 ppm). En la sangre la combinación con CO lleva a la formación de la carboxihemoglobina COHb; la combinación del oxígeno con la hemoglobina produce la oxihemoglobina, O₂Hb. La hemoglobina tiene una afinidad por el CO que es aproximadamente 210 veces su

afinidad por el oxígeno. Es decir, la presión parcial del CO requerido para saturar totalmente la hemoglobina es solo 1/200 a 1/250 veces de la presión parcial del oxígeno requerido para la completa saturación con el O₂. (Carter, 1999)

El CO no parece tener efectos perjudiciales sobre la superficie de los materiales. Los resultados de numerosos experimentos han demostrado que el CO no produce efectos dañinos de clase alguna en las formas de vida de las plantas a concentraciones menores a 100 ppm, durante exposiciones de de 1 a 3 semanas. Las concentraciones ambientales del CO rara vez alcanzan este nivel, ni siquiera en periodos cortos. (de Nevers, 1998)

Dióxido de azufre

Varias especies de mamíferos, incluyendo el hombre sufren de bronco-constricción ante el SO₂, la mayoría de los individuos mostrarán una reacción al SO₂ a concentraciones de 5 ppm o mayores, y algunos individuos sensibles muestran efectos a 1 o 2 ppm.

Greenwald (1954), citado por Carter (1999), realizó un estudio completo de los efectos fisiológicos del SO₂ y SO₃ sobre el hombre y los animales. Este informe indica que el SO₂ actúa como un gas acre, sofocante e irritante en su efecto sobre la parte superior del tubo respiratorio durante una exposición moderada. Otros estudios indican que se requieren concentraciones por encima de 1 ppm de SO₂ antes de que se pueda esperar efectos graves o significativos sobre la salud de individuos afectados o no afectados.

Se considera al SO_2 el contaminante más perjudicial entre los que contribuyen a la corrosión del metal. La temperatura y la humedad relativa influyen significativamente en las tasas de corrosión.

El efecto sobre las hojas por exceso de SO_2 en la atmósfera aparece como una lesión celular en el área esponjosa del parénquima en el mesófilo, seguido por lesiones en la región de palizada. Durante el ataque inicial la hoja aparece como empapada de agua.

Al secarse aparece un color blanquecino en las áreas afectadas. Existe aparentemente un valor de umbral por debajo del que la hoja es capaz de consumir el gas sin que le cause daño, siendo este valor de 0,3 ppm durante 3 horas continuas. Concentraciones de 0,3 a 0,5 ppm durante varios días causan lesiones crónicas en las plantas sensibles.

Óxidos de nitrógeno

Se conoce que el NO_2 no es un contaminante primario en el sentido que afecta a la salud, a menos que esté presente a condiciones elevadas de concentración. El riesgo ambiental del NO_2 está asociado principalmente con los efectos sobre los pulmones.

Individuos sanos expuestos a concentraciones entre 0.7 y 5.0 ppm durante 10 a 15 minutos han desarrollado condiciones anormales en los conductos pulmonares. La exposición a 15 ppm de NO_2 causa

irritación en los ojos y nariz, habiéndose notado trastornos en los pulmones a 25 ppm, para exposición de menos de 1 hora. Estos resultados no tienen mayor trascendencia, ya que se determinaron a condiciones de 5 a 20 veces la concentración promedio de NO₂ en la atmosfera. De los datos anteriores se puede ver, que la contaminación del aire asociada con el NO_x y los conocimientos médicos, no se considera per se un riesgo para la salud. (Martino, 2013)

El NO₂ actúa como un fuerte irritante y a iguales concentraciones es más dañino que el NO. El NO₂ puede reaccionar con la humedad presente en la atmosfera para formar ácido nítrico que causa corrosión en las superficies metálicas.

Determinación de la dispersión de gases en el área estudiada.

Como objetivo central de la presente investigación se pretende determinar cómo se manifiesta la dispersión de los gases emanados en el área seleccionada como objeto de estudio. Para desarrollar el cálculo de la dispersión, se han considerado los datos de concentración (ug/m³) y de flujo másico (g/s), de la Tesis de Maestría en Gestión Ambiental, del ingeniero Guillermo Pincay Romero sustentada en el año 2013, los mismos que constan dentro del presente trabajo.

Para ejecutar una corrida experimental de los modelos de dispersión, se seleccionaron tres días específicos: un día soleado (radiación entrante fuerte), un día moderado (con radiación entrante moderada) y un día nublado o radiación entrante ligera.

Los datos de flujo másico y de concentración para esos tres días se presentan en la tabla No. 9

TABLA No. 9

DATOS DE CONCENTRACIÓN Y DE FLUJO MÁSIKO PARA LOS TRES DÍAS SELECCIONADOS

FECHA	TIPO DE DÍA	CONCENTRACIÓN INICIAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			FLUJO MÁSIKO (g/seg.)		
		CO	NO ₂	SO ₂	CO	NO ₂	SO ₂
04/10/2010	Nublado (radiación entrante ligera)	10742,9	374,7	1567,3	0,39	0,01	0,042
17/02/2011	Moderado (radiación entrante moderada)	9942,9	374,7	1306,1	0,48	0,027	0,027
03/03/2011	Soleado (radiación entrante fuerte)	8800,0	749,4	522,4	0,22	0,02	0,017

Fuente: Pincay, (2013)

Para definir los modelos a utilizar para la materialización de las corridas experimentales con los datos obtenidos para los días seleccionados, se utilizó como referencia el libro "Contaminación del aire: origen y control" de Wark Warner de la editorial LIMUSA, del cual se utilizan:

Figura 4.7 sirve para calcular la Desviación normal σ_z en la dirección vertical, como una función de la distancia en la dirección del viento. (Wark.Warner, pag.157)

Tabla 4.1 Clave de las categorías de estabilidad, en la cual se considera la velocidad del viento y el estado del tiempo durante el día y la noche. (Wark.Warner, pag.157)

También se recurrió a la ecuación 4.26, explicada en Wark.Warner, pag.177, en la cual se reconoce que el término exponencial de esta ecuación es igual a la unidad para una fuente a nivel del suelo. (Wark.Warner, pag.179)

Hay que resaltar que para calcular la dispersión de los tres gases de combustión interna CO, SO₂ y NO₂, en la fórmula utilizada se tiene como variable el σ_z , el cual variará de conformidad a la distancia que se calcule.

Los resultados de esta corrida experimental se muestran en los Anexos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9.

De los resultados obtenidos, se puede inferir de los gráficos de dispersión, que para el día soleado (radiación entrante fuerte), la dispersión para los gases monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂) tienen un comportamiento similar. En los primeros 300 metros se produce la mayor dispersión, donde prácticamente el 99 por ciento del volumen de gases se dispersan totalmente. De los 300 hasta los 1000 metros se sucede una dispersión de alrededor del 73% de los gases resultantes y ya a los 10000 metros prácticamente solo se contabilizan trazas de la concentración inicial de los tres gases.

Una situación similar ocurre cuando se analizan los gráficos de dispersión para los tres gases en el día moderado (radiación entrante moderada), donde se repiten los patrones de dispersión y se tiene para los 300 metros que más del 99% de la concentración inicial se dispersa y ya a los 10000 metros los niveles de concentración son prácticamente ínfimos con respecto a la concentración inicial de los tres gases en el punto 0.

Al analizar los gráficos de dispersión para el caso del día nublado (radiación entrante ligera), se repite que la mayor dispersión ocurre en los primeros 300 metros, sin embargo los niveles de gases dispersos no son superiores al 90% de la concentración inicial. De los 300 metros hasta los 1000 metros se dispersan alrededor del 50% de los gases resultantes, inferior al 73 % que se dispersa en las dos condiciones anteriores de radiación entrante fuerte y moderada. A los 10.000 metros aún se contabilizan concentraciones significativas de los tres gases analizados.

De los resultados obtenidos se puede concluir que a medida que la intensidad de la radiación entrante disminuye (desde un día soleado hasta un día nublado), la dispersión disminuye, por lo que se puede afirmar que la intensidad de la radiación influye significativamente en los niveles de dispersión de gases emanados por el tráfico vehicular para las condiciones del sitio estudiado.

Conclusiones

De los resultados de la presente tesis se arriban a las siguientes conclusiones:

El incremento paulatino del flujo vehicular en la zona de Urdesa incide de forma directa en los niveles de contaminación atmosférica de dicho sector. El gran número de buses que en esa zona circulan son los principales responsables del aumento de la concentración de gases contaminantes que ahí se generan.

Los mayores índices de dispersión ocurren en los primeros 300 metros a partir del punto de generación, donde prácticamente el 99% de esa concentración inicial se dispersa en días soleados y en días moderados y más aproximadamente el 90% se dispersa en días nublados.

Entre los 300 y los 1000 metros se dispersa los mayores volúmenes de gases aún no dispersos (más del 70%) en días soleados y moderados y alrededor del 50% en días nublados). A los 10000 metros solo se encuentran trazas de CO, NO₂ y SO₂ para días soleados y moderados y se contabilizan aún concentraciones significativas de estos gases para días nublados.

Los resultados obtenidos permiten aseverar que a medida que se incrementa la intensidad de la radiación entrante, los índices de dispersión para los gases CO, NO₂ y SO₂ aumentan proporcionalmente a la radiación solar.

Recomendaciones

Los resultados de la presente investigación permiten recomendar lo siguiente:

Profundizar en los estudios realizados, actualizando la base de datos de concentración inicial de CO, NO₂ y SO₂ a las condiciones de flujo vehicular actuales en el sector Urdesa y procediendo a nuevas corridas de los modelos de dispersión. Extender el estudio a otros gases de interés.

Utilizar el presente estudio como base de consulta para estudiantes de pregrado y de posgrado en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.



BIBLIOGRAFÍA

Amrita Talapatra, A. S. (2011): "Ambient Air Non-Methane Volatil Organic Compound (NMVOC) Study initiative in India-a Review". Journal of Environmental Protection, 2011, 2, 21-36. Published online March 2011. Disponible en: <http://www.SciRP.org/journal/jep>

Barriga, A. (2008): "Estudio de Impacto Ambiental del Plan Piloto de Formulación y Uso de Gasolina Extra con Etanol Anhidro en la ciudad de Guayaquil. ESPOL-CEMA. Noviembre, 2008.

Buczynska, A., et. al. (2005): "Concentration of VOCs in the area of intense traffic in Antwerpen, Belgium. Universiteit Antwerpen. October, 2005.

Canter, L. W. (2008): "Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de estudios de impacto". McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U. ISBN. 84-481-1251-2

Capiello, A. (2002): "Modeling traffic flow emissions. Department of Civil and Environmental Engineering. Massachussetts Institute of Technology. June, 2002.

Carter, W. P. L. (1999): "Atmospheric Chemistry and Chemical Mechanisms". Environment Canada. University of California, Riverside. March, 1999.

de Nevers, N. (1998): "Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire". McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V. 1998.

GeoEcuador, (2008). "Informe sobre el estado del medio ambiente". Capítulo II "Estado del Aire". SERIE: Coediciones. Fecha de edición: 2008-11-01. No. de páginas: 192. ISBN: 978-9978-67-1

Levy, J.I., Spengler, J.D., Hlinka., D., Sullivan, D., and Moon, D. (2002): "Using CALPUFF to evaluate the impacts of power plant emissions in Illinois: model sensitivity and implications", Atmospheric Environment, 36:1063-1075, Elsevier Science, Ltd.

Lowry, W.P. y Boubel, R.W. "Meteorological concepts in Air Sanitation." Corvallis, Ore.: Ore-gon State University (1967).

Marshall, J. D. (2002): "Expose to Motor Vehicle Emissions": En Intake Fraction Approach. Energy and Resources Group, University of California at Berkeley. May 22, 2002.

Martino A., and *et. al.*, (2013): "Assessment of Impact Produced by Anthropogenic Source in a Little city near an important industrial area (Modugno, Southern Italy) The Scientific World Journal, volume 2013, Article 150397, 10 pages. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/150397>

Mickley, H., and Sherwood, T. (1957): "Applied Mathematics in Chemical Engineering". McGraw-Hill Bokk Company. Second Edition. 1957.

Mordecai, E., and Fox, K. (1959): "Methods and Correlation and Regression Analysis". *Ed. John Wiley & Sons*. Third Edition, 548 pages. ISBN-10: 0471250147. ISBN-13: 9780471250142.

Mujica, V. (2000): "Volatil organic compounds emissions from gasoline and diesel powered vehicles". Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Mexico, D. F. July, 2000.

Noor Zaitum, Yahaya. (2003): "Air Pollution from motor vehicles a Mathematics Model Analysis: Case study in Ipoh City, Perak, Malaysia". Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Vol. 5, October, 2003.

North, R. J. (2006): "Assessments of real-world pollutant emissions from a light-duty diesel vehicles. Department of Civil and Environmental Engineering. Imperial College London, London. United Kingdom. December, 2006.

Paz Ortega, E., Rivero Oliva, J. J., Turtós Carbonell, T., Sánchez Gácita, M., Meneses Ruiz, E., Díaz Rivero, N., y Píre, S. (2011): "Modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por el tráfico vehicular en una vía de Ciudad de La Habana". Consultado en Junio/2015. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar23/HTML/articulo06.htm>

Pincay Romero, G. A. (2013): "Estudio de la calidad de aire en sectores céntricos de Guayaquil considerando los contaminantes primarios de la combustión

producidos por tráfico vehicular”. Tesis de Maestría. Facultad Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil. Guayas, Ecuador. Noviembre/2013

Turner, D. B., (1970): “Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates”. U.S. Environmental Protection Agency (Office of Air Programs).

Wark, K., y Warner, C. (2002): “Contaminación del Aire, Origen y Control”. Limusa, Noriega Editores, México, D. F. 2002.

Juan Perón Pazmiño Salazar

CUARTO NIVEL: MAGISTER EN INGENIERIA AMBIENTAL (Universidad de Guayaquil). TERCER NIVEL: Ingeniería Civil (Universidad de Guayaquil) Docente Titular por concurso, materia Matemáticas, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial. Matemáticas I, II, III. Cálculo Integral, Álgebra, Trigonometría y Geometría Analítica. Consultor contratado como Ingeniero Civil - Ambiental. elargentinoperon@hotmail.com; juan.pazminos@ug.edu.ec

Mary Liz Vergara Apolinario

CUARTO NIVEL: MAGISTER EN SISTEMAS DE PRODUCCION Y PRODUCTIVIDAD (Universidad de Guayaquil). TERCER NIVEL: Ingeniería Industrial (Universidad de Guayaquil). "IMPORTANCIA DEL DISEÑO DE MODELO DE CUADRO DE MANDO INTEGRAL" –LIBRO ISBN 978-9942-760-65-4 (mes Agosto 2017). "Desarrollo de las propuestas de solución para el mantenimiento y operación de una imprenta KOPPERS 5" – ARTICULO ISSN: 2588-073X Vol. 1, núm.4, septiembre 2017. "Diagnóstico de la disminución del tiempo improductivo mediante la aplicación de las 5'S para el mantenimiento y operación de una imprenta KOPPERS 5" -ARTICULO ISSN: 2588-073X. Vol. 1, núm.4, septiembre 2017. Docente Contratado desde Mayo 2017 hasta la presente fecha en la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial, Carrera de Ingeniería Industrial. Gestión de la Producción, Procesos de Manufactura, Computación, Tecnología de los Materiales. Coordinadora de Control de Calidad, empresa SERVITERRA S.A.; Inspector de Seguridad Industrial y Medio Ambiente, empresa SALICA DEL ECUADOR S.A., Supervisor de Producción área de Empaque, empresa PRONACA PLUMROSE.

mary.vergaraa@ug.edu.ec; maryliz_vergara@hotmail.com

Mariuxi Viviana Ruiz Arana

CUARTO NIVEL: MAGISTER EN PROCESAMIENTO Y CONSERVACION DE ALIMENTOS (Universidad de Guayaquil). TERCER NIVEL: Ingeniería Química (Universidad de Guayaquil). Elaboración de Bebida Fermentada Tipo Kéfir Caucasiense a partir de la Fruta Vaccinium Myrtillus (Arándano) artículo científico Revista Ingeniería Química y Desarrollo 2015 ISSN 1390- 9428, N° 1, Enero – Julio 2015 pp.6-11. Elaboración de una Conserva de Atún, usando como materia prima la Carne Sanguinolenta (Sangacho) artículo Revista Científica Dominio de LAS CIENCIAS Dom.Cien., ISSN: 2477-8818 Vol. 3, núm. 4 julio. 2017, pp. 297-309. Docente Titular por concurso, materia Termodinámica, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial. Química General, Química de los Alimentos, Termodinámica

mauxvivi@hotmail.com , mariuxi.ruiza@ug.edu.ec

ISBN: 978-9942-33-081-9



compAs