



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

Determinación de los niveles de exposición a Monóxido de Carbono y Partículas PM_{2.5}, en los usuarios del transporte público del Periférico de la ciudad de Morelia, evaluando dos tipos diferente de transporte

Para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

Presenta

Ingeniero Bioquímico ARTURO RANGEL GONCE

Director de Tesis:

Doctor Ciencias Marco Antonio Martínez Cinco

Facultad de Ingeniería Química

Co-Director de Tesis:

Maestro en Ciencias Roberto Basaldud Cruz

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Doctor en Ciencias Crisanto Mendoza Covarrubias

Facultad de Ingeniería Mecánica

Morelia, Michoacán, Agosto del 2014



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO



Asunto: Aprobación de Impresión de Tesis

Oficio número 142/2014/2014.

Por este medio nos dirigimos a usted de la manera más atenta para notificarle que después de haberle dado seguimiento al desarrollo de la tesis: " DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN A MONÓXIDO DE CARBONO DE PARTICULAS $PM_{2.5}$, EN LOS USUARIOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO DEL PERIFÉRICO DE LA CIUDAD DE MORELA, EVALUANDO DOS TIPOS DIFERENTE DE TRANSPORTE" y revisado el manuscrito que presentó el alumno **ARTURO RANGEL GONCE** con matrícula 0832226F, concluimos que cumple con los requisitos académicos y con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado para el desarrollo de tesis.

Por lo anterior este Comité Tutorial da el aval para su impresión final.

Atentamente.
Morelia, Michoacán a 05 de Agosto de 2014.

Presidente o Asesor: Dr. Marco Antonio Martínez Cinco 02001403 *Marco Antonio Martínez Cinco*

Coasesor: Dr. Crisanto Mendoza Cobarrubias 87002701 *Crisanto Mendoza Cobarrubias*

Vocales:

Dr. Gabriel Martínez Herrera 83030689 *Gabriel Martínez Herrera*

Dr. José Apolinar Cortés 82033374 *José Apolinar Cortés*

Dr. Rafael Huirache Acuña 11000201 *Rafael Huirache Acuña*

Dr. Marco Antonio Martínez Cinco
Coordinador General de la Maestría en Ciencias en
Ingeniería Ambiental.



MCIA
Maestría en Ciencias
en Ingeniería Ambiental
UMSNH

Dedicatoria

A Jehová mi Dios por permitirme tener la vida, la fuerza, la mente y todo aquello que me ha dado para disfrutar por entero mi existencia, por su benignidad y amor reflejado en todo aquello que poseo que soy y seré en este mundo y en el nuevo orden, por permitirme tener todo lo mejor de la vida posible

A Yemi, mi esposa por siempre estar siempre conmigo y porque ahora espero en Jehová que tengamos el futuro de nuestra existencia juntos.

A mi Mamá por darme la vida y la oportunidad de irme superando en la vida como ser humano y por enseñarme a ser todo lo bueno que podría tener.

A mi hermano, mi cuñada y sobrino Edgar, Lorena y Pablo Daniel, así como a mis futuros sobrinos por darme la bendición de ser tío y por ello poder disfrutar más la vida.

A Tomy mi loro por darme alegrías con solo su existencia, siendo parte de mi familia, espero que vivas por muchos más años.

A todos los que colaboraron en mayor o menor grado en la elaboración del presente trabajo de tesis, el cual esperamos sea un precedente en materia de calidad de aire y el cual estamos seguros que será de utilidad para lograr medidas que mejoren la calidad de vida de los habitantes de Morelia.

*He llegado a saber que no hay nada mejor...
que regocijarse y hacer el bien durante la vida
de uno y también que todo hombre coma y realmente beba
y vea el bien por su duro trabajo. Es el don de Dios.
Eclesiastés 3:12-13*

Agradecimientos

Al CONACYT por la beca otorgada por estos dos años para la realización de la Tesis

Al Director de Tesis Dr. Marco Antonio Martínez Cinco Coordinador de la Maestría en Ciencias de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Química por la confianza y excelente colaboración, para hacer posible la obtención del equipo necesario para realizar la investigación y que hizo posible el alcance del presente trabajo de tesis.

Al Co-Director de Tesis M. en C. Roberto Basaldud Cruz SUBDIRECCIÓN DE ANALISIS INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático por todo el apoyo para la realización del trabajo sin su ayuda no hubiera podido definitivamente ser posible.

Al Dr. Crisanto Mendoza Covarrubias Director de la Facultad de Ingeniería Mecánica por el apoyo y el préstamo de los equipos para la investigación así como el apoyo prestado como las facilidades para la terminación de la maestría

A los alumnos de la licenciatura en Ingeniería Química Daniel, Anahí, Rubén y Fernando que colaboraron en la toma de muestras en el transporte público de Morelia de manera profesional y eficiente y que permitieron realizar las mediciones de las emisiones de Monóxido de Carbono y Partículas PM_{2.5}.

A Felipe Angeles y Valter por su paciencia y enseñanza durante mi estancia en el INECC, a mis abuelos por permitirme estar en su casa durante la estancia y disfrutar de su compañía.

A mis compañeros de maestría y maestros que realmente hicieron que estudiar fuera estimulante y bueno, algo que no experimentaba algunos años

A mis compañeros de la facultad de Mecánica en especial al maestro Hugo y mis compañeros del Tecnológico de Morelia

Resumen

Palabras clave: (Monóxido de carbono, carbono negro, PM_{2.5})

La contaminación en interiores es de especial interés de manera reciente, debido a que las personas pasan la mayor parte de su tiempo en lugares cerrados, que al medio ambiente en lugares abiertos, la mayoría de las personas en alguna parte del día, debe tomar algún medio de transporte para poder movilizarse y por lo general el medio más usado es el transporte público.

El transporte es una manera rutinaria una exposición de contaminantes por ello es importante, el saber cuáles pueden ser las concentraciones a las cuales una persona usuaria podría verse expuesta. En este trabajo se tomaron dos de los más importantes contaminantes criterio a los que nos exponemos: el *monóxido de carbono* que se fija a la hemoglobina disminuyendo su capacidad de intercambio de oxígeno que a concentraciones por encima de las 1600 ppm genera la muerte (COSUDE, 2007), sin embargo puede empezar a generar molestias a partir de concentraciones mucho menores; de las *partículas PM_{2.5}* han demostrado ser de gran interés por diferentes motivos principalmente de salud, se estima que hay 811,000 personas mueren prematuramente por elevadas exposiciones de partículas en las ciudades (RUSSELL, 2012), por su tamaño pueden permanecer más tiempo en el medio ambiente y una mayor porosidad, mayor área superficial para fijar mayor número de contaminantes, por otro lado este tamaño que las permite clasificarlas dentro de las partículas finas que penetran en áreas alveolares generando deposición, que a la larga produce reducción de la capacidad pulmonar, aunque actualmente tienen interés en el cambio climático por su efecto radiativo que algunas de estas partículas pueden generar en el medio ambiente (carbono negro).

En el presente trabajo se realizaron tres campañas de monitoreo en dos tipos diferentes de transporte público (camión, combi), sobre el Periférico de la ciudad de Morelia a diferentes horarios, con el fin de poder evaluar el medio de transporte sobre que el usuario se expone a mayor concentración, en que zona de la ciudad (norte, sur) y los horarios en los que una persona puede exponerse por mayor tiempo y concentración, donde básicamente se demostró que la combi presenta una mayor exposición de ambos contaminantes tanto de partículas PM_{2.5}, demostrándose que la combi presenta una mayor concentración de partículas por más de un 40% más alto en combi que en camión y a concentraciones de monóxido de carbono se demostró que casi 1 ppm es más elevada la exposición en combi que en camión, siendo el horario de la mañana (7:00-8:00 h) los de mayor exposición para ambos transportes junto con la zona norte también, además se realizó en la última campaña donde se demostró mediante el MEB que las partículas más pequeñas y con menor variación, se encontraban en combi y muchas de las partículas eran características del llamado carbono negro.

Abstract

Key Words: carbon monoxide, black carbon, PM_{2.5}

Indoor pollution has a recently special interest, because the people spend most of their time in the indoors environment rather than in the open, For another hand most of the people somewhere in the day should take some means of transport to move and usually the most used way is the public transport.

The transportation represent a daily routine and a widespread pollutant exposition is important to know what could be the concentrations at which a passengers may be exposed. This study focus in two of the most important pollutants to which we are exposed in a daily basis: carbon monoxide binds to hemoglobin exchange capacity decreasing oxygen concentrations, we know that above 1600 ppm produces death (SDC, 2007) but may start generating discomfort from in much lower concentrations; in the case of PM_{2.5} particles have proven to be of great interest for various reasons mainly health, it is estimated that 811,000 people die prematurely from high exposures of particles in cities (RUSSELL, 2012) since its aerodynamic size they can stay much time in the environment and represents a higher porosity that allows more surface area to fix a greater number of contaminants, on the other hand the size that allows classifying into fine particles that can penetrate into alveolar deposition areas to generate lung reduction capacity, but currently have interest in climate change because of their radiate effect that some of these particles can be generated in the environment (black carbon).

In this paper three monitoring campaigns were conducted in two different types of public transport (bus, "combi") on the Morelia Peripheral at different times, in order to assess the means of transportation on the passengers exposed to higher concentration in what area of the city (north, south) and the times at which a person can be exposed for a longer time and concentration, which basically showed that the combi has a greater exposure to both pollutants PM particles 2.5, demonstrating that the "combi" has a higher concentration of particles by over 40% higher than bus and carbon monoxide concentrations showed that about 1 ppm exposure is higher than in "combi" than bus, with the morning hours (7: 00-8: 00 h) the highest exposure for both transports is the northern zone also performed last monitoring where it was shown by MEB that smaller particles and less variation were in "combi" and many of the characteristics of particles look like black carbon.

INDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 HISTORIA	5
2.2 EMISIONES	6
2.3 CONTAMINANTES DEL AIRE	8
2.3.1 Monóxido de Carbono:	8
2.3.2 Mecanismo de formación de las emisiones de CO.	10
2.4 AEROSOLES ATMOSFERICOS.....	13
2.4.1 Partículas Menores de 10 micras (PM10).....	13
2.5 CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS	14
2.5.1 Partículas Según Su Origen	14
2.5.2 Partículas Según Su Tamaño.....	15
2.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS.....	18
2.7 PERMANENCIA DE LAS PARTÍCULAS EN LA ATMÓSFERA	20
2.8 IMPACTOS EN LA SALUD	22
2.8.1 Partículas	22
2.8.2 Monóxido de carbono	24
2.9 MÉTODOS PARA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN EN VEHÍCULOS.....	28
2.10 EL TRANSPORTE PÚBLICO Y SU DESAFÍO	29
2.11 CASO DE ÉXITO DEL DESARROLLO SUSTENTABLE	30
2.12 MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO (MEB).....	32
2.13 ESPECTROSCOPIA DE ENERGÍA DE DISPERSIÓN (EDS)	34
3 ANTECEDENTES	36
3.1 INVENTARIO DE EMISIONES.....	36
3.2 ESTUDIO DE ACTIVIDAD VEHICULAR	40
3.3 DATOS DE MONITOREO ATMOSFERICO	41
3.4 TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE MORELIA.....	46
3.5 ESTUDIOS SIMILARES.....	50
3.6 ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULARES EN MORELIA, MICHOCÁN.	53
4 ESTANCIA	57

4.1 ESTANCIA EN EL INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMATICO (INECC). EN EL CENTRO DE NACIONAL DE INVESTIGACION Y CAPACITACION AMBIENTAL (CENICA).....	57
4.2 UNIDAD UAM 1 IZTAPALAPA, MEXICO D.F.....	57
4.3 UNIDAD TECAMACHALCO, NAUCALPAN, EDO. DE MEXICO	59
5 JUSTIFICACIÓN	61
6 HIPÓTESIS	62
7 OBJETIVO	63
7.1 OBJETIVO GENERAL:.....	63
7.2 OBJETIVO ESPECIFICO:	63
8 METODOLOGIA	64
8.1 SELECCIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO Y RUTA	64
8.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	65
8.3 DISEÑO DE CAMPAÑA DE MUESTREO.	66
8.4 DISEÑO EXPERIMENTAL:	68
8.4.1 RUTA SELECCIONADA.....	68
8.5 EQUIPO EXPERIMENTAL.....	73
8.5.1 EXPOSICIÓN PERSONAL DURANTE TRAYECTO.....	73
8.5.2 NUMERO DE MUESTRAS.....	74
8.6 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN UTILIZADO DURANTE EL MUESTREO EN MICROAMBIENTE	76
8.6.1 EQUIPO DE COLECTA.....	77
8.6.2 SELECCIÓN DE FILTROS.....	79
8.7 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MUESTREO.....	80
8.8 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE LOS PORTAFILTROS.	81
8.9 DESCARGA DE LA MUESTRA.....	82
8.10 MÉTODOS DE LABORATORIO PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	82
8.10.1 Análisis Gravimétrico.....	82
9.0 RESULTADOS	84
9.1 Resultados del Análisis Gravimétrico.	84
9.1.1 Exposición Por Tipo De Transporte Público.	86
9.1.2 Exposición Por Tipo De Transporte Público Y Día De Medición.	88
9.1.3 Exposición de Concentración Por Horario	89
9.1.4 Exposición Por Día Y Por Horario Sin Tipo De Transporte	91
9.2 RESULTADO DE ANALISIS DE CONTEO DE PARTÍCULAS.....	92
9.2.1 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 0.3 μm	92

9.2.2 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 0.5 µm.	93
9.2.3 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 1 µm.	94
9.2.4 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 2 µm.	95
9.2.5 Distribución de Partículas	96
9.3 NUMERO DE PARTICULAS POR ESTACIÓN	99
9.3.1 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 0.3 µm.	101
9.3.3 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 1 µm.	102
9.3.4 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 2 µm.	103
9.3.5 Exposición Por Zonas De La Ciudad	104
9.4 RESULTADO DE ANALISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO	106
9.4.1 Exposición Por Tipo De Transporte Público.	106
9.4.2 Tiempo De Exposición De Monóxido De Carbono.	106
9.4.3 Exposición Por Tipo De Transporte Público Y Día De Medición.	107
9.4.4 Exposición Por Tipo De Transporte Público Y Horario Del Día.	108
9.4.5 Correlación De Temperatura Y Nivel De Concentración CO	109
9.4.6 Concentración De CO Por Zonas	110
9.5 MORFOLOGÍA Y COMPOSICIÓN DE LAS PARTICULAS	112
9.5.1 Resultados del MEB	112
9.6 RESULTADOS DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y DE TIEMPO Y SU CORRELACIÓN CON CO Y CONTEO DE PARTICULAS	117
9.6.1 Resultados De Temperatura	117
9.6.2 Resultados De Humedad Relativa	118
9.6.3 Resultados De Tiempo	118
10 ANALISIS DE RESULTADOS	120
11 CONCLUSIONES	122
12 RECOMENDACIONES	124
13 BIBLIOGRAFIA	125
ANEXO 1	129
ANEXO 2	131

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Crecimiento del Parque Vehicular en el Estado de Michoacán. Fuente: Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Estado de Michoacán, elaborada con datos de la Tesorería General del Estado (Dirección de Ingresos), http://suma.michoacan.gob.mx/	2
Ilustración 2 Días que las personas emplean su vehículo en la semana. Fuente: Tabla elaborada por el INE ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULARES EN MORELIA, MICHOACÁN. Publicado en Septiembre de 2010.....	3
Ilustración 3 Tipo de uso que se da al vehículo Fuente: Tabla elaborada por el INE ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULARES EN MORELIA, MICHOACÁN. Publicado en Septiembre de 2010.....	3
Ilustración 4 ¿Cuánto gasta a la semana en combustible? Fuente: Tabla elaborada por el INE ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULARES EN MORELIA, MICHOACÁN. Publicado en Septiembre de 2010.....	4
Ilustración 5 Fuentes de emisión de contaminantes de un automóvil Fuente:(http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/).....	6
Ilustración 6 Variación de la concentración de HC, CO y NO en los gases de escape de un MEP en relación con la relación de mezcla o dosado. Fuente (Seinfeld J. H., 1998).....	13
Ilustración 7 Proceso de formación de partículas secundarias (chriscolose.wordpress.com, 2008).....	15
Ilustración 8 Diferencias de tamaño de partículas. Fuente: (Agency, Sampling of Ambient Air for Total Suspended Particulate Matter (SMP), 1996).....	17
Ilustración 9 Partículas respirables obtenidas por el CENICA. Números 1, 3 y 8 son esferas; números 2, 4 y 7 corresponde a agrupaciones; 5 y 6 son platos; número 9 son figuras reticulares. Números 1–5 corresponde a la fracción gruesa.	19
Ilustración 10 Relación de la masa con relación al tamaño de partícula. Fuente: (Seinfeld J. H., 1998)	23
Ilustración 11 Metrobus de la ciudad de México que sea vuelto uno de los medio de transporte de los capitalinos preferidos. Fuente: (www.upct.es).....	32
Ilustración 12 Partes típicas que conforman a un microscopio electrónico de barrido, para poder conformar la imagen http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope	33

Ilustración 13 Microscopio electrónico de barrido http://www.upct.es/sait/sit/recursos_micro_barrido.html	34
Ilustración 14 Principio de Operación de una Espectroscopia de Energía de Dispersión http://epimtg.blogspot.mx/2012/12/energydispersive-x-ray-spectroscopy-edx.html	36
Ilustración 15 Contribución de emisión general por tipo de fuente. Fuente: Figura elaborada por LT Consulting, para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Zona Metropolitana de Morelia y 5 Municipios, 2008.	38
Ilustración 16 Distribución de emisión de fuentes móviles por tipo de contaminante. Fuente: Figura elaborada por LT Consulting, para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Zona Metropolitana de Morelia y 5 Municipios, 2008.	39
Ilustración 17 Distribución de emisión por tipo de vehículo y contaminante. Fuente: Figura elaborada por LT Consulting, para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Zona Metropolitana de Morelia y 5 Municipios, 2008.	40
Ilustración 18 Índice de Motorización de Morelia, Michoacán. Fuente: Estudio de emisiones y actividad vehiculares en Morelia, Michoacán. 2010.	41
Ilustración 19 Comportamiento diario de las PM10 en la Ciudad de Morelia. Fuente: Figura elaborada por Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008.	42
Ilustración 20 Comportamiento diario de las CO en la Ciudad de Morelia. Fuente: Figura elaborada por Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008.	43
Ilustración 21 Comportamiento diario de las CO en la Ciudad de Morelia. Fuente: Figura elaborada por Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008.	44
Ilustración 22 Comportamiento diario de las O3 en la Ciudad de Morelia. Fuente: Figura elaborada por Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008.	45
Ilustración 23 Comportamiento diario de las SO2 en la Ciudad de Morelia. Fuente: Figura elaborada por Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008	46
Ilustración 24 Índice de motorización de Morelia y algunas ciudades de la república mexicana. Fuente: Estudio de emisiones y actividad vehiculares en Morelia, Michoacán. 2010.	53
Ilustración 25 Edificio donde se localiza el CENICA en la UAM Iztapalapa.....	58
Ilustración 26 Dr. Valter Armando Barrera encargado del laboratorio de COV's	59
Ilustración 27 Estándar primario Nacional de Ozono	60
Ilustración 28 Mapa con el trayecto de muestreo, línea azul, en el libramiento. Fuente: (www.earthgolge.com , 2008.....)	65
Ilustración 29 En un mapa se muestran todas las estaciones de transporte público seleccionadas para realizar el primer muestreo. Fuente www.google.earth.com , elaboración propia.....	69

Ilustración 30 Camión de transporte público de Morelia	70
Ilustración 31 Combi del transporte público de Morelia	70
Ilustración 32 Monóxido de Carbono Fluke 973	76
Ilustración 33 Partículas Suspendedas PM 2.5	76
Ilustración 34 Impactador de PM 2.5.....	76
Ilustración 35 Contador de Partículas	77
Ilustración 36 Composición del MEP monitor de exposición personal de 2.5 μ . Fuente: (www.skcin.com).....	78
Ilustración 37 El estudiante Fernando lleva consigo un equipo SKC con el MEB	79
Ilustración 38 El estudiante Daniel lleva consigo un equipo SKC con el MEB.....	79
Ilustración 39 El estudiante Daniel lleva el Equipo de monitoreo en el lugar típico asignado para hacer el estudio en camión.....	81
Ilustración 40 Los estudiantes Daniel y Fernando se preparan para abordar de manera casi simultánea los dos diferentes tipo de transporte.....	81
Ilustración 41 Nomenclatura y forma de los portafiltros y la forma en la que se registraron para la cadena de custodia.....	81
Ilustración 42 Balanza analítica usada para el pesado de los filtros.....	83
Ilustración 43 Se muestra el cuarto de gravimetría con las básculas y los equipos de ambientación.....	83
Ilustración 44 Laboratorio de aire del CENICA.....	83
Ilustración 45 Concentración promedio de partículas PM2.5 en combi y camión.....	88
Ilustración 46 Concentraciones promedio por día de muestreo en combi y camión	89
Ilustración 47 Esposición de concentración promedio por horario de combi y camión	90
Ilustración 48 Concentración de partículas por día.....	92
Ilustración 49 Conteo de partículas de 0.3 μ m en tiempos horarios de combi y camión	93
Ilustración 50 Conteo de partículas de 0.5 μ m en tiempos horarios de combi y camión	94
Ilustración 51 Conteo de partículas de 1 μ m en tiempos horarios de combi y camión .	95
Ilustración 52 Conteo de partículas de 2 μ m en tiempos horarios de combi y camión .	96

Ilustración 53 Distribución normal de partículas de 0.3 en hasta 10 en entre combi y camión.....	97
Ilustración 54 Distribución normalizada de partículas en base a los diferentes horarios muestreados en combi	98
Ilustración 55 Distribución normalizada de partículas en base a los diferentes horarios muestreados en camión.....	98
Ilustración 56 Distribución de partículas de 0.3 μm en base a los diferentes estaciones seleccionadas de muestreo.	101
Ilustración 57 Distribución de partículas de 0.5 μm en base a los diferentes estaciones seleccionadas de muestreo.	102
Ilustración 58 Distribución de partículas de 1 μm base a los diferentes estaciones seleccionadas de muestreo.	103
Ilustración 59 Distribución de partículas de 2 μm base a los diferentes estaciones seleccionadas de muestreo.	104
Ilustración 60 Concentraciones promedio de monóxido de carbono en combi y camión.	106
Ilustración 61 Concentraciones promedio de monóxido de carbono en combi y camión por horario.	107
Ilustración 62 Concentraciones promedio de monóxido de carbono en combi y camión por día de la semana	108
Ilustración 63 Concentraciones promedio de monóxido de carbono en combi y camión por horario.	109
Ilustración 64 Correlación del promedio de temperatura y concentración de CO en el transporte público “combi”.....	110
Ilustración 65 Correlación del promedio de temperatura y concentración de CO en el transporte público “camión”.	110

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Concentración de los contaminantes producidos por los motores de gasolina y diesel. Fuente (C.P., 1974)	8
Tabla 2 Principales características de la composición de las partículas ultrafinas, finas y gruesas. Fuente: (Agency, Integrated Science Assessment for Particulate Matter, 2009).....	19
Tabla 3 Principales características de las partículas ambientales que influyen en su permanencia en la atmósfera Fuente: (Agency, Integrated Science Assessment for Particulate Matter, 2009)	21
Tabla 4 Principales fuentes de emisión de las partículas. Fuente: (Agency, Integrated Science Assessment for Particulate Matter, 2009)	21
Tabla 5 Penetrabilidad de las partículas en el tracto respiratorio según su tamaño. Fuente: (Borja Aburto V.H., 2000)	23
Tabla 6 : Relación de porcentaje de COHb en la sangre en función de la concentración de CO (ppm) en el ambiente. Fuente: Wark Kenneth y Warner Cecil F., 2003.	24
Tabla 7 Tiempo de exposición y concentración de CO (ppm) requeridos para un porcentaje de COHb de 2.5% en la sangre. Fuente: Efectos de la exposición prolongada al monóxido de carbono ambiental en población urbana de riesgo. Cercado Cochabamba.....	25
Tabla 8 Tabla de efectos en la salud por el tiempo de exposición y la concentración de CO en el aire. Fuente: Efectos de la exposición prolongada al monóxido de carbono ambiental en población urbana de riesgo. Cercado Cochabamba.	27
Tabla 9 Efectos sobre la salud en relación al porcentaje de COHb en la sangre. Fuente: Wark Kenneth y Warner Cecil F., 2003.....	28
Tabla 10Resumen general de emisión por tipo de fuente y contaminante. Fuente: Cuadro elaborado por LT Consulting, para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Zona Metropolitana Morelia y 5 Municipios, 2008. NA _ No aplica (no se estiman emisiones para estos contaminantes).....	37
Tabla 11 Rutas del transporte público “combi” en Morelia en el año 2000.Fuente: Programa parcial de desarrollo urbano del centro histórico de Morelia, Michoacán.2001.	49
Tabla 12 Rutas del transporte público “camión” en Morelia en el año 2000. Fuente: Programa parcial de desarrollo urbano del centro histórico de Morelia, Michoacán.2001	50
Tabla 13 Características generales de los vehículos de estudio.....	69

Tabla 14 Se muestran las diferentes Paradas de transporte público donde se realizaron las mediciones de conteo de partículas y de mediciones de monóxido de carbono. Fuente: www.google.maps.com	73
Tabla 15 Del número de muestras colectadas por punto de muestro	75
Tabla 16 Características principales de los filtros a utilizar	79
Tabla 17 Resultados obtenidos de las muestras realizadas en la semana del 17-22 de febrero de 2014.....	86
Tabla 18 Suma de concentración de partículas por tipo de transporte	87
Tabla 19 Promedio de concentración por tipo de transporte.....	87
Tabla 20 Promedio de concentración por día y por tipo de transporte.....	89
Tabla 21 Promedio de concentración por horario	90
Tabla 22 Promedio de concentración por horario	91
Tabla 23 Concentración horaria en gráfico	91
Tabla 24 Concentración de partículas por día	92
Tabla 25 Promedio de número de partículas por estación	100
Tabla 26 Promedios del diámetro aerodinámico de partículas por estaciones	105
Tabla 27 Promedios de diámetro aerodinámico por zonas	105
Tabla 28 Promedio de CO por zonas y estaciones	111
Tabla 29 Promedio de CO por zonas.....	112
Tabla 30 Resultados obtenidos de las muestras de PM 2.5	113
Tabla 31 Morfología de MEB de camión y combi, además de muestreo EDS.....	117
Tabla 32 Promedio de temperatura por tipo de transporte	117
Tabla 33 Promedio de temperatura de acuerdo a los diferentes horarios	117
Tabla 34 Promedio de HR% por horarios.....	118
Tabla 35 Promedio de HR% por zona	118
Tabla 36 Promedios de tiempo para cada uno de los transportes por horarios.....	119

TERMINOS

BRT Bus Rapid Transit (autobús de tránsito rápido)

°C Grados Celsius (Centígrados).

CAM Comisión Ambiental Metropolitana.

CENICA Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental.

CO Monóxido de Carbono.

COHb Carboxihemoglobina.

CONAPO Consejo Nacional de Población.

COSUDE Agencia suiza para el desarrollo y la cooperación.

COV Compuestos Orgánicos Volátiles.

DGCENICA Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental.

DGICUR Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional.

dp Diámetro de partícula

dSA Diámetro de área superficial

dv Diámetro volumétrico

EDS Espectroscopia de Energía de Dispersión

H₂O Agua.

H Hidrogeno

Hb Hemoglobina

HC Hidrocarburo.

mm Milímetros.

MEB Microscopio Electrónico de Barrido

INE Instituto Nacional de Ecología.

INEGI Instituto Nacional de Geografía, estadística e Informática.

NO₂ Dióxido de nitrógeno.

NO Monóxido de nitrógeno.

NOM Norma Oficial Mexicana

NO_x Óxidos de nitrógeno.

O₂ Oxígeno.

O₃ Ozono.

OHb Oxihemoglobina.

Pb Plomo.

PM_{2.5} Material particulado o partículas aerodinámicas con diámetro menor a 2.5 micras

PM_{10.0} Material particulado o partículas aerodinámicas con diámetro menor a 10 micras menor a 10.0 micras.

ppm partes por millón.

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SO₂ Dióxido de azufre.

SO_x Óxidos de azufre.

SSA Secretaría de salud y asistencia.

STPS Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

SUMA Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente.

SUV Vehículo utilitario (Sport Utility Vehicles).

SWISSCONTACT Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico

TEM Microscopio Electrónico De Transmisión

UNIMAT Unidad de Monitoreo Atmosférico de Morelia.

UMSNH Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Van vehículo para transportar grupos de personas.

WGA Asociación de gobernadores del oeste de los Estados Unidos. (Western Governors Association).

ZMMorelia Zona Metropolitana de Morelia.

ZMVM Zona Metropolitana del Valle de México

µm micrómetros

1 INTRODUCCIÓN

Las fuentes móviles en diversos libros y estudios han reflejado ser uno de los factores más importantes de contaminación sobre todo en las ciudades, la ciudad de Morelia no es la excepción, los pocos estudios que se han realizado, sus características urbanas y de parque vehicular, muestran que se puede agudizar el problema de contaminación atmosférica. Por otra parte el mejoramiento del transporte público en muchas ciudades ha demostrado ser una de las claves para mejorar la calidad del aire en las urbes.

Por ejemplo las redes de monitoreo instaladas en diferentes zonas metropolitanas y ciudades en México muestran que alrededor de 28 millones de personas están expuestas a contaminantes cuya toxicidad está clínicamente asociada a enfermedades respiratorias, cardiovasculares e incluso la muerte prematura, por la mala calidad del aire que respiran. Por ejemplo, en 2008, con relación a 2007, aumentó el número de días que registraron una concentración por arriba de los $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} en las zonas metropolitanas de México (12.3%), Monterrey (28.7%), Guadalajara (7.7%) y Toluca (41.3%); .con respecto al ozono, el mayor número de días que registraron una concentración por arriba de la norma en 2008, se presentaron en las zonas metropolitanas del valle de México (50.5%) y Guadalajara (16.7%) (INE, 2009).

De acuerdo con el inventario nacional de emisiones de México -1999 (INE, 2006), y los inventarios de emisiones de la zona metropolitana del valle de México (ZMVM), el transporte y los vehículos son la principal fuente antropogénica de emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV), sustancias precursoras de la formación de ozono. Asimismo, contribuyen de manera importante a la emisión de partículas suspendidas (PM) y monóxido de carbono (CO). Si bien estas emisiones son el resultado directo del uso de combustibles fósiles, como la gasolina y el diesel, existen otros factores determinantes en la cantidad de contaminantes que un vehículo automotor puede generar, como son la edad, la tecnología, el uso y el mantenimiento del vehículo.

Se ha observado que los vehículos en circulación de mayor edad, con un mantenimiento deficiente, sin tecnologías para el control de emisiones y de uso intensivo presentan mayores emisiones contaminantes a la atmósfera.

El problema que existe en la ciudad de Morelia del incremento del parque vehicular no es nuevo, es un problema general de todas las urbes, por ejemplo en el estado de Michoacán se presume un incremento del parque vehicular de más del 20% cada 3 años (de acuerdo al Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente) como se muestra en la gráfica siguiente:

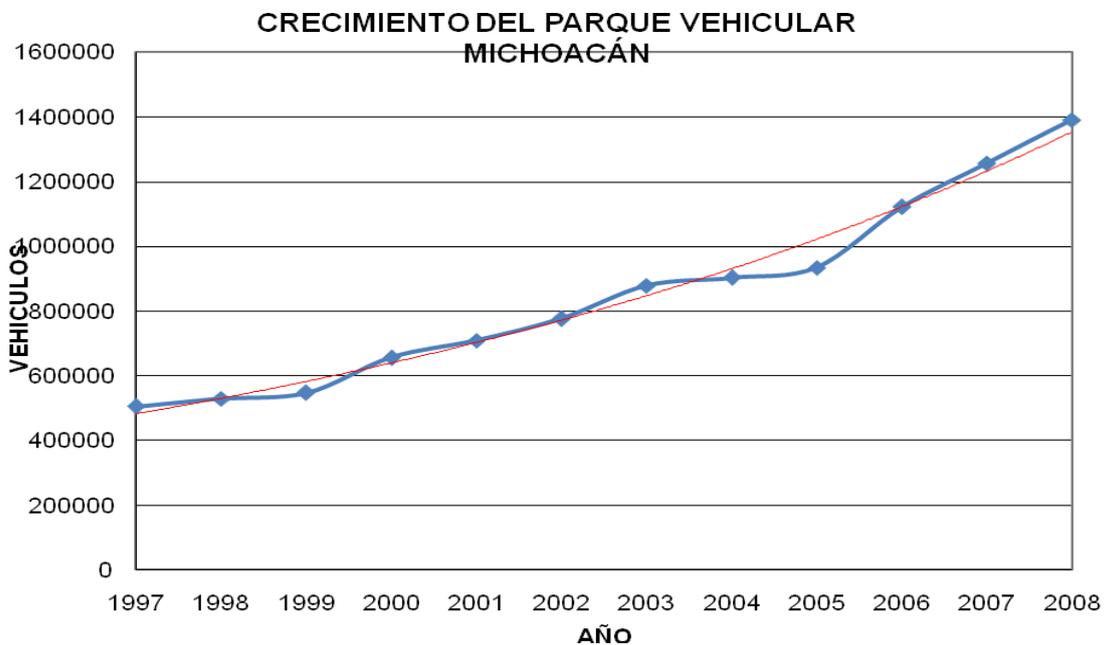


Ilustración 1 Crecimiento del Parque Vehicular en el Estado de Michoacán. Fuente: Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Estado de Michoacán, elaborada con datos de la Tesorería General del Estado (Dirección de Ingresos), <http://suma.michoacan.gob.mx/>

En el año de 2008 se realizaron trabajos de campo por parte del Instituto Nacional de Ecología (INE), para el estudio, llevado a cabo en la ciudad de Morelia, que tuvo como objetivo principal elaborar un diagnóstico, a través del uso de un equipo de detección remota y actividades complementarias, de las condiciones de emisión y actividad bajo las cuales circulan los vehículos automotores de la ciudad de Morelia, con la finalidad de generar información técnica que permita a las autoridades ambientales la toma de las mejores decisiones para la gestión de la calidad del aire¹. De donde se arrojaron la siguiente información.

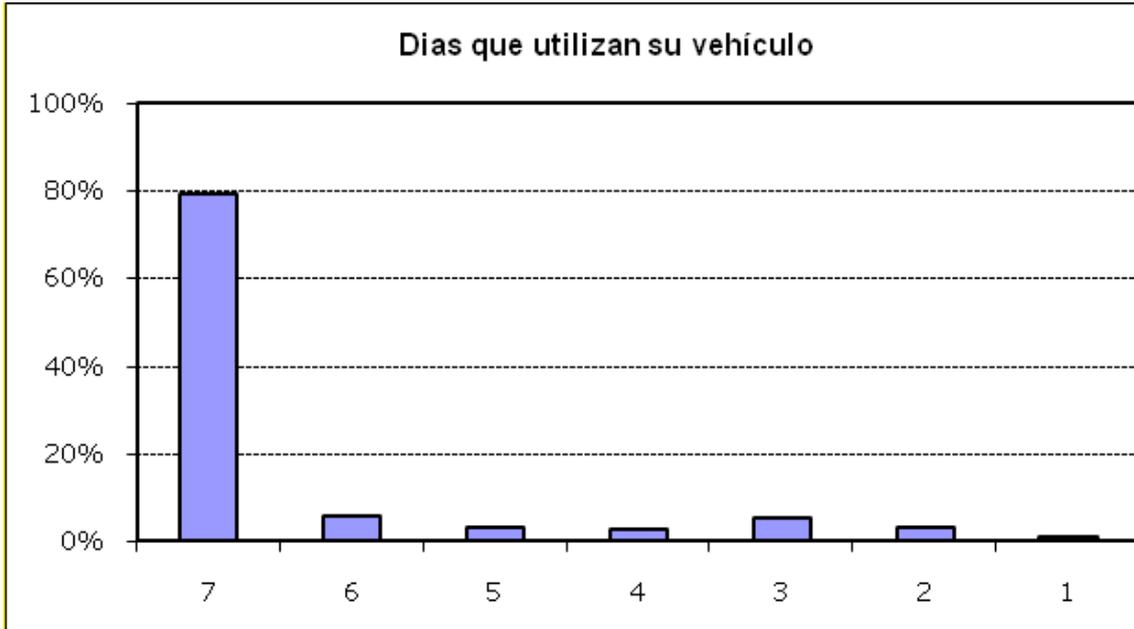


Ilustración 2 Días que las personas emplean su vehículo en la semana. Fuente: Tabla elaborada por el INE ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULARES EN MORELIA, MICHOACÁN. Publicado en Septiembre de 2010

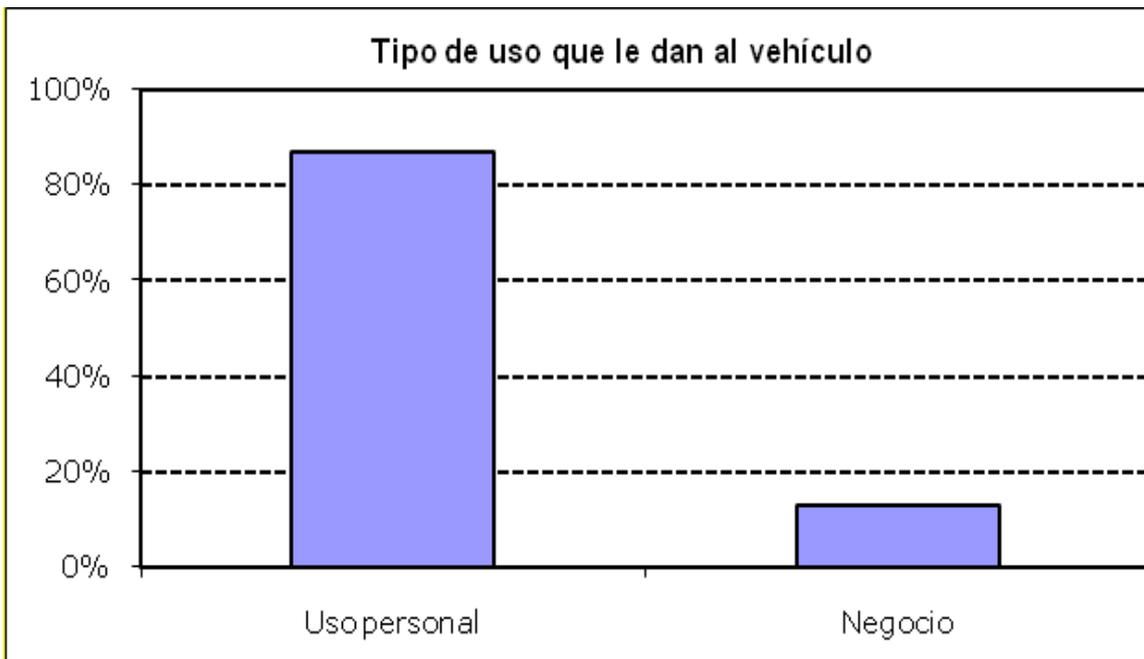


Ilustración 3 Tipo de uso que se da al vehículo Fuente: Tabla elaborada por el INE ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULARES EN MORELIA, MICHOACÁN. Publicado en Septiembre de 2010

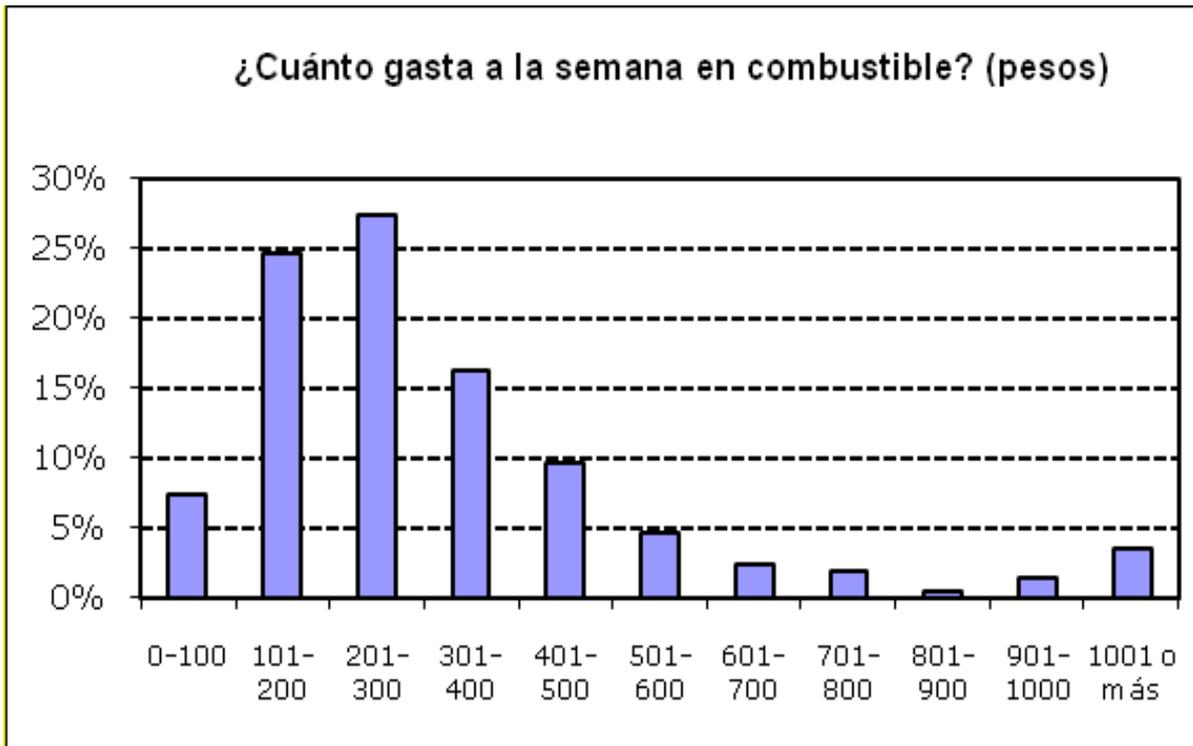


Ilustración 4 ¿Cuánto gasta a la semana en combustible? Fuente: Tabla elaborada por el INE ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULARES EN MORELIA, MICHOACÁN. Publicado en Septiembre de 2010

El estudio se basa en realizar mediciones en el transporte público de la ciudad en las horas que se consideran coloquialmente como las Horas pico (6:30-9:30) y tarde (17:30-20:30), donde se realizara trabajo de campo y se analizaran concentraciones de contaminantes criterio como partículas de la fracción respirable, benceno y monóxido y dióxido de carbono a las cuales están expuestos los usuario del transporte público de la ciudad de los dos principales medios que cuenta la ciudad, la combi y el camión urbano.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 HISTORIA

El problema de contaminación atmosférica es uno de los principales en la mayoría de las ciudades urbanas, especialmente por fuentes móviles, por ejemplo: durante la década de 1940 la contaminación de Los Ángeles se hizo tan problemática que los ciudadanos exigieron acciones para limpiar la atmosfera. Se observó que se formaban grietas en los neumáticos de caucho después de un año. El síntoma más evidente era una reducción de la visibilidad que iniciaba antes del medio día y continuaba a lo largo del día a pesar de las brisas constantes provenientes del océano, donde con el tiempo diversos científicos como Haagen-Smit empezaron a dilucidar los posibles contaminantes que provocaban estos daños, no obstante que actualmente no se comprende del todo la química atmosférica, si podemos identificar al automóvil como una fuente significativa de contaminantes que dan origen a la formación del esmog de Los Ángeles. El automóvil es la fuente más grande de óxidos de nitrógenoⁱⁱ(GLYNN HENRRY J., 1996), este y otros pululantes generan contaminación por una combustión ineficiente, la mayor parte procede del tubo de escape, también puede darse por evaporación de tanque de combustible y del cárter (<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx>). Se muestra en la ilustración 5, la distribución de contaminantes:

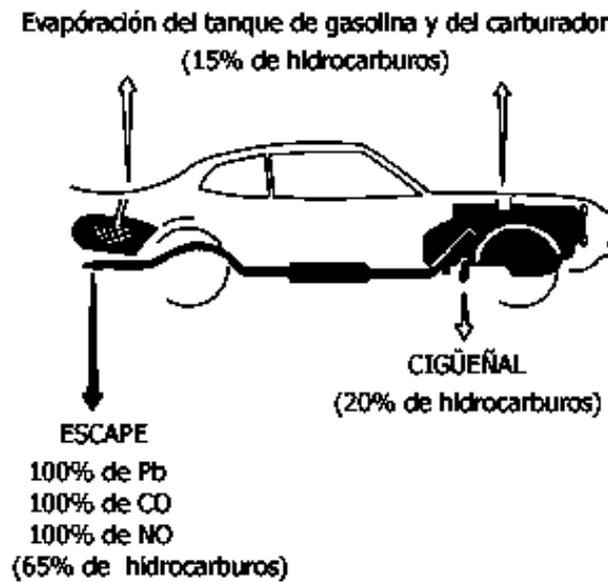


Ilustración 5 Fuentes de emisión de contaminantes de un automóvil
Fuente: (<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/>)

2.2 EMISIONES

Las cantidades de contaminantes de los gases de escape de un motor de encendido eléctrico son también en función de tamaño de vehículo, antigüedad y características de funcionalidad, la afinación del motor y si el motor está frío o caliente.

Los vehículos automotores, propulsados por motores de combustión interna, son una fuente-antropogénica-móvil (constituidos por los vehículos automotores que incluyen automóviles, camiones, autobuses, etc., diseñados para circular en la vía pública), producen en general emisiones de gases contaminantes por el tubo de escape que son producto de la quema del combustible, gasolina, diesel, gas LP, gas natural o biocombustibles, si la combustión en un motor *fuera perfecta*, el oxígeno (O_2) en el aire convertiría todo el hidrógeno (H_2) del combustible en agua y todo el carbono en dióxido de carbono. En la realidad, el proceso de combustión no es perfecto y, en consecuencia, los motores de los vehículos emiten varios tipos de contaminantes, tales como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV) y partículas suspendidas (material particulado, $PM_{2.5}$ y PM_{10}). Además de ciertos contaminantes

presentes en los combustibles como los óxidos de azufre (SOx) y, hasta hace algunos años, desde el año de 1996, que fue el año en que se dejó de comercializar la gasolina *nova* en México, el plomo (Pb), se liberaba al ambiente a través del proceso de combustión mediante algunos aditivos que se le incorporan a las gasolinas. (INE, SEMARNAT, WGA, 2007)

Cuando un motor está funcionando correctamente, las emisiones también cambian con el modo de conducir, por ejemplo las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos son mayores en un vehículo desacelerado, mientras que las emisiones de óxido de nitrógeno son más grandes bajo condiciones de aceleración y circulación. En vehículos no controlados las emisiones de contaminantes principales son el, monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, que se presenta mayormente en los motores Otto. La excepción principal es el nivel superior de emisiones en forma de partículas que emiten los motores diesel, aunque esto va en función de la carga sobre el motor y puede variar por un factor de veinte desde un valor menor que el motor Otto en tres cuartos de carga sobre el motor hasta un valor máximo en carga completa, además los motores diesel suelen también emitir grandes cantidades de dióxido de azufre.

Las emisiones de los automóviles contienen una cantidad y una variedad muy grande de hidrocarburos en comparación con los que se encuentran en el combustible original, incluyendo aldehídos, ácidos orgánicos y benzopireno. En el diesel, los hidrocarburos se asocian con el hollín y pueden ser mucho menores que las cifras que se presentan para el motor Otto (S.J.). En la tabla 1 se muestra de forma general la concentración de contaminantes que se generan dependiendo del tipo de combustible que se emplee.

Contaminante	Gasolina	Diesel
Partículas	0.1 g/m ³	0.01 g/m ³
Dióxido de azufre	25 ppm	400 ppm
Óxidos de nitrógeno	1200 ppm	200 ppm
Hidrocarburos	150 ppm	20 ppm
Monóxido de Carbono	3 %	-

Tabla 1 Concentración de los contaminantes producidos por los motores de gasolina y diesel.
Fuente (C.P., 1974)

Dadas las características de ambos motores, se puede observar que los motores son diferentes. El tipo de combustión que presentan los motores diesel hace que no haya tanta producción de monóxido de carbono, mientras la cantidad que se produce en los de los motores a gasolina es considerable. Lo mismo ocurre con los hidrocarburos sin quemar, además si se toma en cuenta que las gasolinas tienen presiones de vapor mayores que el gasóleo, por lo que el mismo llenado de los depósitos de combustible es una fuente importante de contaminación de estos compuestos.

Por otro lado, a mayor temperatura que se alcanza en los motores de gasolina producirá una mayor cantidad de óxidos de nitrógeno.

Sin embargo en los motores diesel, existen problemas en la generación de humo y de malos olores, en los cuales no se han identificado todavía a totalidad los compuesto químicos que originan estos malos olores por lo que se desconocen las reacciones que los originan.

Se ha encontrado que al liberarse estos contaminantes de la combustión de los vehículos al ambiente una parte de ellos es *atrapado* en el interior de los vehículos, lo que conlleva a que las personas (pasajeros y conductor) estén expuestas a estos contaminantes durante el tiempo que dura su trayecto a bordo del mismo; mientras que la otra parte se libera al ambiente.

2.3 CONTAMINANTES DEL AIRE

2.3.1 Monóxido de Carbono:

El CO es un gas invisible e inodoro que se produce por la combustión incompleta, principalmente de los escapes de los vehículos automotores. Su mayor concentración se encuentra en áreas con gran cantidad de tráfico y especialmente en los meses de invierno. Los límites máximos de concentración establecidos por la EPA son 35 ppm en promedio en una hora y 9 ppm para un tiempo mayor de 8 horas. Este compuesto es de los más peligrosos por su

especial capacidad para combinarse con la hemoglobina y causar asfixia química, que ocasiona reducción del oxígeno en el corazón y en el cerebro, lo cual es crítico para las personas que tienen padecimientos en el corazón, en los pulmones o de anemia, ya que al exponerse a esta sustancia les ocasiona dolores de cabeza, fatiga y reflejos retardados; es el único contaminante que produce un cambio en la fisiología humana que se puede relacionar con la concentración a la cual el sujeto se expone. La carboxihemoglobina (COHb) de la sangre se puede predecir a partir de las concentraciones atmosféricas de CO cuando se toma en cuenta el nivel de actividad del sujeto y la altura sobre el nivel del mar; esto hace mucho más fácil la cuantificación de la concentración y su efecto.

Sin embargo la intoxicación aguda, es mucho más conocida debido a la importancia de sus manifestaciones o efectos, que van desde dolor de cabeza, mareo, debilidad, náusea, confusión, desorientación, alteraciones visuales, coma y hasta la muerte. Por ejemplo una persona que está expuesta a un nivel de concentración de 3,200 ppm de CO de 5 a 10 minutos puede llegar a la inconsciencia y a los 20 minutos llegar a la muerte. (COSUDE, SWISSCONTACT, escuela técnica de salud boliviano japonés, instituto de investigaciones biomédicas de la Universidad Mayor de San Simón. 2007).

La muerte ocurre en humanos expuestos a concentraciones alrededor de 1,000 ppm correspondientes a niveles sanguíneos del 60% de COHb. Los niveles reales para habitantes urbanos en ciudades de moderadas a altamente contaminadas varían desde 0.8% a 3.7% de COHb, en no fumadores va de 1.2% a 9% con respecto a fumadores. Para su detección y análisis, existen gran cantidad de métodos para muestreo tanto intermitente como continuo, los cuales utilizan procesos gravimétricos, químicos, electroquímicos y colorimétricos. Los métodos para el monitoreo de la calidad del aire pueden ser infrarrojos no dispersivos y cromatografía de gases.

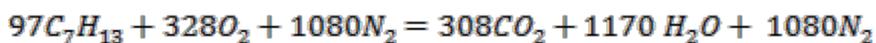
Las emisiones de monóxido de carbono son emitidas por el tubo de escape dependen de las características del vehículo, así como de su tecnología; los vehículos más pesados tienden a generar mayores emisiones. El estado de mantenimiento del vehículo y los factores operativos, la velocidad de

circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y las características del combustible juegan un papel determinante en las emisiones por el escape. (INE, SEMARNAT, DGICUR, DGCENICA, 2010).

2.3.2 Mecanismo de formación de las emisiones de CO.

En los motores convencionales de los vehículos, operan mediante una mezcla de aire y combustible, suministrada por el sistema de inyección que entra a la cámara de combustión durante la carrera de admisión del pistón, que luego es comprimida y encendida, durante la carrera de compresión. La mezcla se quema y los productos de la combustión se expanden cuando el pistón viaja hacia abajo, durante la carrera de expansión. Los productos de la combustión son expulsados del cilindro, durante la carrera de expulsión para llegar al sistema de escape.

Podemos estimar la cantidad teórica de aire requerida para quemar el combustible, si escribimos la ecuación de la reacción química empleando un combustible teórico sobre una base de masa en kilogramos mediante la reacción siguiente:



La combustión completa, teórica, mostrada por la reacción anterior se define como la total conversión del carbono en CO₂ y el hidrogeno en agua (H₂O). Dicha reacción se conoce como la reacción teórica o estequiométrica. Resulta conveniente definir la relación de mezcla o dosado. Esta es la relación de masa de aire requerida por masa de combustible requerido para la combustión.

$$\text{Relacion de mezcla o Dosado} = \left(\frac{A}{C} \right)_{\text{estequiométrica}} = \frac{\text{Masa de aire}}{\text{Masa de combustible}}$$

Es común usar el cociente de equivalencia, ϕ , definida por la siguiente ecuación para expresar la relación real entre el aire y combustible:

$$\phi = \frac{(A/C)_{\text{estequiométrica}}}{(A/C)_{\text{actual}}}$$

Cuando ϕ es menor de 1, significa que se está suministrando más aire del requerido, existe un exceso de aire y la mezcla se conoce como mezcla pobre. Por otro lado, si el valor de ϕ es mayor de 1, significa que la masa de aire suministrada es menor que la requerida y se dice que la mezcla es rica. (Wark Kenneth y Warner Cecil F. 2003)

Cuando un vehículo arranca instantáneamente se realiza la mezcla aire-combustible y la flama se propaga rápidamente por toda la cámara de combustión, a través de la mezcla sin quemar y en dirección a las paredes de la cámara. La cámara de combustión está a baja temperatura, debido a que son enfriadas por aire o agua (sistema de enfriamiento del motor) por la parte externa. Por tanto, la mezcla de combustible se enfría por contacto con estas superficies a menor temperatura. Este fenómeno hace que baje la temperatura de la mezcla aire-combustible hasta un grado en el que la flama se alcanza a apagar antes de que se haya consumido todo el combustible presente, lo que provoca la formación de una capa delgada de hidrocarburos sin quemar a lo largo de la pared de la cámara. Estos hidrocarburos no quemados se eliminan y se descargan junto con los gases de combustión.

El CO al igual que los HC no quemados, es el resultado de la combustión incompleta del combustible. Por tanto, las condiciones que promueven la total combustión tienden a reducir la cantidad de CO presente en el gas de escape del motor. Se puede intuir de lo expuesto que un método para reducir la emisión de CO consiste es hacer funcionar el motor con relaciones de mezcla pobre. Se ha encontrado también que el valor de la relación entre el aire y el combustible influye en la cantidad de HC no quemados emitidos por un motor, pues una mezcla pobre también mitiga la cantidad de HC no quemados en las emisiones del motor. Sin embargo, las emisiones de HC no quemados vuelven a incrementarse debido a problemas de apagado de la flama en algunas zonas de la mezcla que conducen adicionalmente una mala operación del motor, lo que eventualmente se conoce como falla de encendido. La mezcla es tan pobre que la combustión no se mantiene por la chispa de encendido.

Durante el arranque en frío y en el proceso de calentamiento del motor, se emiten grandes cantidades de HC no quemados y de CO debido, a la alta

volatilidad del combustible y a la mayor relación de mezcla que se requiere para que el motor arranque.

Los óxidos de nitrógeno se forman básicamente por reacciones entre el oxígeno y el nitrógeno atmosféricos admitidos al motor. El monóxido de nitrógeno (NO), se forma en la cámara de combustión en las zonas de alta temperatura por los gases quemados, debido a la oxidación del nitrógeno presente en el aire. En los motores, las emisiones de dióxido de nitrógeno (NO₂) son muy bajas, debido a que esta sustancia se forma por oxidación de monóxido de nitrógeno cuando hay exceso de oxígeno, que en condiciones normales de funcionamiento es muy escaso o no hay.

Se ve de lo expuesto, que la formación del NO y del CO se debe principalmente a fenómenos asociados a la química y cinética de la combustión, mientras que la formación de HC se debe principalmente a fenómenos físicos de apagado de la flama en las paredes del cilindro, es decir, su composición es básicamente combustible no quemado.

La relación de aire y combustible es el parámetro que más influye en la concentración de las emisiones de escape de un motor. Las tendencias que existen sobre la influencia del dosado sobre la concentración de CO, HC y NOx en los gases de escape en un motor convencional, se puede observar en la Ilustración 6. Las emisiones de NOx son máximas para una relación entre el aire y combustible cercano al valor estequiométrico, debido a que se conjuga una alta temperatura de combustión con un relativo exceso de oxígeno. El CO y los HC no quemados se reducen para bajas relaciones de mezcla, aunque para relaciones de mezcla por debajo de un valor crítico, las emisiones de HC no quemados vuelven a incrementarse debido a problemas como ya se mencionó anteriormente de apagado de flama, que conducen adicionalmente a una mala operación del motor.

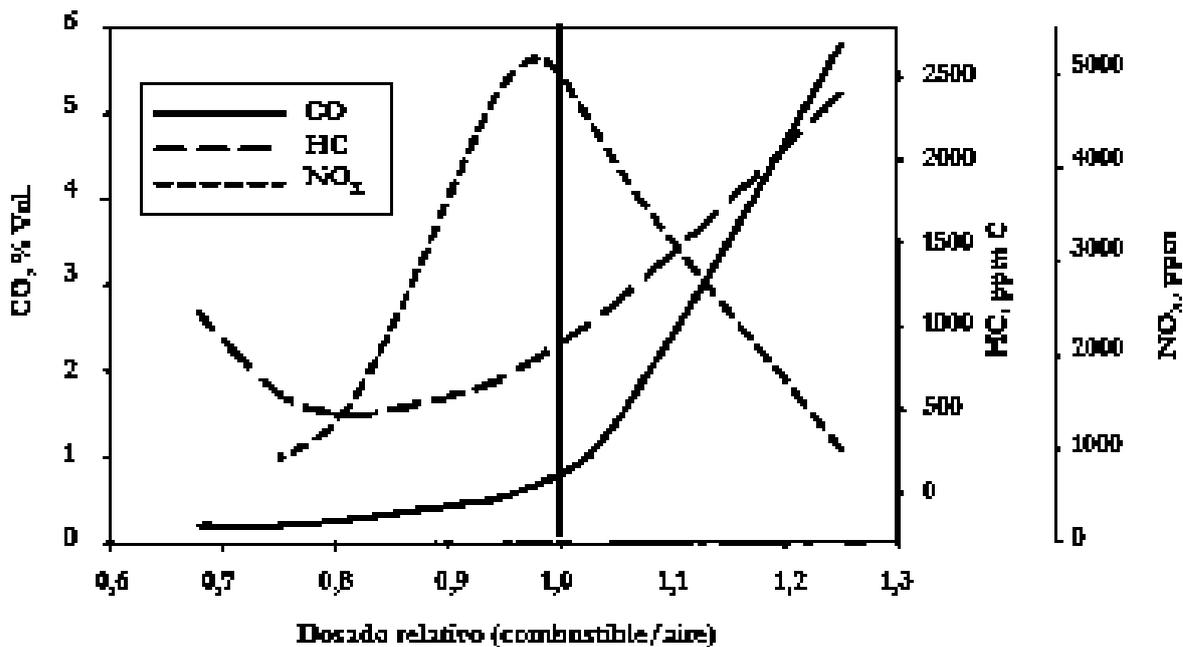


Ilustración 6 Variación de la concentración de HC, CO y NO en los gases de escape de un MEP en relación con la relación de mezcla o dosado. Fuente (Seinfeld J. H., 1998)

2.4 AEROSOLES ATMOSFERICOS

2.4.1 Partículas Menores de 10 micras (PM10)

El término aerosol atmosférico se define como un sistema relativamente estable disperso de líquidos o de partículas sólidas suspendidas dentro de sistema gaseoso, usualmente el aire. Dicha estabilidad debe ser al menos de algunos segundos y en algunos casos hasta de casi un año. El término aerosol y partículas o Particulate Matter (PM) generalmente se utilizan de manera indistinta en la literatura de la química atmosférica para referirse sólo a las partículas suspendidas. Dicho nombre se aplica a partículas con dimensiones inferiores a 50 μm ; sin embargo es frecuente que se utilice hasta para aquellas con 100 μm . Por lo cual, el parámetro más importante para clasificar y caracterizar el comportamiento de los aerosoles es el tamaño de partícula, debido a que todas sus demás propiedades se encuentran fuertemente vinculadas a éste, aunque no es el único que las gobierna.

El tiempo de residencia de los aerosoles está en función de la densidad, origen, tamaño de partícula y altitud o ubicación en las capas de la atmósfera. Para partículas en el intervalo de 0.1 μm a 10 μm de diámetro, el tiempo de

residencia en la tropósfera (Capa de la atmosfera más baja de entre 8 km a 18 km dependiendo de la latitud y la estación del año) es aproximadamente de una semana. Mientras que para el caso de las partículas que se encuentran en la estratósfera su tiempo varía de meses a años. La estratosfera se caracteriza por ser donde se filtran el 99% de los rayos ultravioleta (UV) provenientes de las radiaciones solares, debido a esta absorción de rayos UV, la temperatura asciende hasta cerca de los 0 °C; produciendo un perfil de temperaturas que permite a la estratósfera evitar turbulencias, y por esta razón ser una capa muy estable. Así el tiempo de residencia se hace mayor en función de la disminución de tamaño de las partículas y su variación con la altitud es consecuencia de diversos factores como la distribución del vapor de agua (que afecta a los procesos de remoción y conversión) y de la distribución vertical de un número de reactivos importantes que se producen fotoquímicamente, siendo el ozono (O₃) y el ion hidróxido (OH⁻) los más importantes.

2.5 CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS

Las partículas se pueden clasificar de muchas maneras de acuerdo con diferentes criterios; los más comunes se describen a continuación.

2.5.1 Partículas Según Su Origen

Esta es una de las clasificaciones más básicas de las partículas ambientales y de los demás contaminantes del aire; distingue entre partículas primarias y partículas secundarias conforme al siguiente criterio.

Partículas primarias: son aquellas que se emiten directamente a la atmósfera por diversas fuentes (por ejemplo, el humo oscuro que se observa en los escapes de coches y camiones, el polvo de las calles).

Partículas secundarias: son aquellas que se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas a partir de la presencia de materiales gaseosos, llamados precursores. Los principales gases precursores de las partículas son el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los

compuestos orgánicos volátiles (COV) y el amoníaco (NH_3), los cuales forman partículas de sulfatos y nitratos principalmente, así como partículas suspendidas secundarias orgánicas derivadas de la oxidación fotoquímica de los compuestos orgánicos (Environmental Canada and Health Canada, 1999) (European Commission, 2004). La ilustración 7 muestra de forma gráfica el proceso de formación de las principales partículas secundarias, donde se destacan sus principales fuentes.

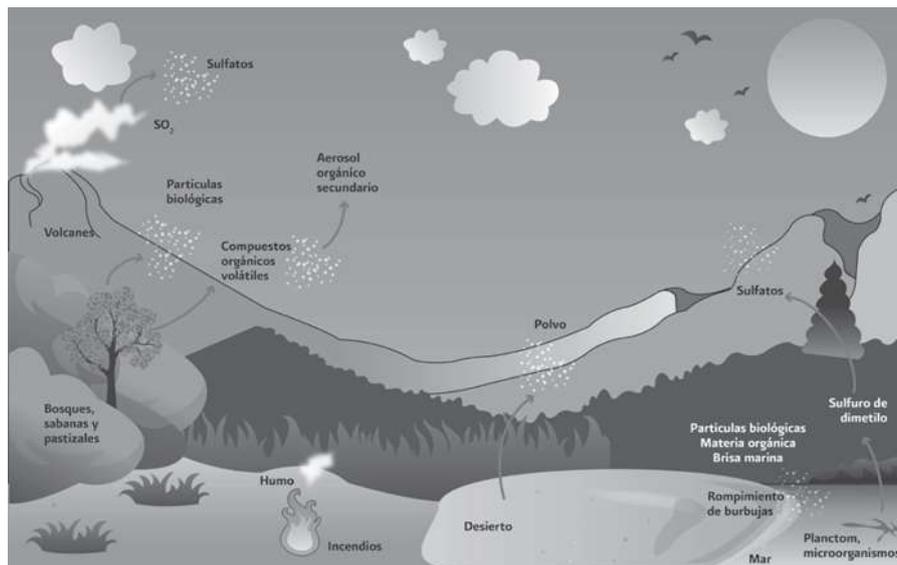


Ilustración 7 Proceso de formación de partículas secundarias (chriscolose.wordpress.com, 2008)

2.5.2 Partículas Según Su Tamaño

Las partículas suspendidas también se clasifican por su tamaño, pero como tienen una infinidad de formas no es posible caracterizarla con una sola dimensión geométrica real. Por ello, se utiliza el diámetro aerodinámico como un indicador del tamaño de la partícula; este indicador es igual al diámetro de una partícula esférica de densidad unitaria que tiene la misma velocidad terminal que la partícula considerada, independiente de su forma, tamaño o densidad bajo condiciones de temperatura, presión y humedad existentes (World Health Organization Europe, 2005). El uso de este concepto permite también determinar el transporte, los procesos de remoción en el aire y en superficies, así como la trayectoria de las partículas dentro del sistema respiratorio. El tamaño de las partículas suspendidas es una característica muy importante, porque mientras más pequeño sea su diámetro aerodinámico

mayor será su capacidad de penetrar a áreas más profundas del sistema respiratorio; por lo tanto, en función de esta característica, la clasificación de las partículas se ha ido modificando a lo largo del tiempo, debido principalmente a los resultados de numerosas investigaciones sobre los efectos de las partículas ambientales en la salud humana.

2.5.3 Distribución De Partículas

El diámetro de la partícula es muy importante en su consideración puesto que la distribución y la masa, como los datos de eficiencia fraccionaria, son en función del diámetro de partícula, esto suponiendo que las partículas de forma ideal tenga una forma esférica. No obstante las partículas por lo general no son esféricas sea cual sea su origen de proceso industriales o naturales. Por lo tanto la medición dimensional lineal que represente un diámetro, no resulta obvia. Además se puede definir un diámetro en términos de alguna otra característica física de una partícula. Por ejemplo, se podría considerar un área superficial o un diámetro superficial. El diámetro de una partícula, basado en un área superficial, d_{SA} , se define como el diámetro de una esfera que tenga la misma área superficial de la partícula considerada. El diámetro volumétrico de una partícula verdadera, d_v , se define como el diámetro de una esfera que tenga el mismo volumen que la partícula que se trata. También se puede definir un diámetro en términos de un tipo específico de comportamiento de partícula. Por ejemplo, se tienen otros dos diámetros de mención frecuente: El diámetro de Stokes y el diámetro aerodinámico equivalente. El diámetro de Stokes, d_s , es el diámetro de una esfera con la misma densidad de la partícula no esférica que cae libremente en un flujo laminar a la misma velocidad terminal que la partícula no esférica (F., 2003).

Para tratar el número o la distribución de datos de masa con una mayor amplitud, es útil establecer primero alguna notación y nomenclatura. Como las muestras de partículas contienen un número extraordinario de partículas, se supondría que los tamaños tienen una distribución continua. Esto significa que la colección de partículas se puede analizar en términos de un intervalo diferencial del tamaño de partículas, desde **(dp) a (dp + d(dp))**.

Se define **N(dp)** como el número de distribución acumulada esto es, como el número de partículas cuyos diámetros son iguales o menores que **dp** y **N** es el número total de partículas de todos los tamaños (F., 2003).

Con frecuencia es provechoso caracterizar toda una colección de partículas por medio de un solo diámetro. Los diámetros típicos utilizados con este fin son los modales, medianos y promedios o medios.

El diámetro modal se define como aquel diámetro dónde ocurre el mayor número de partículas

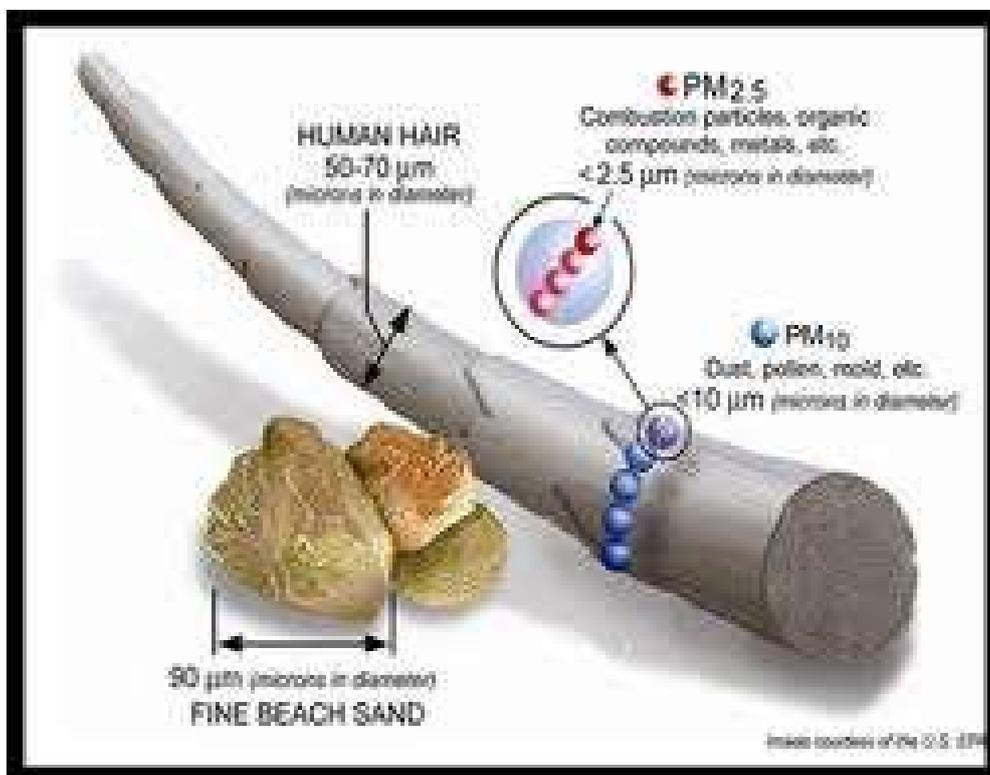


Ilustración 8 Diferencias de tamaño de partículas. Fuente: (Agency, Sampling of Ambient Air for Total Suspended Particulate Matter (SMP), 1996)

Originalmente, el indicador de la calidad del aire referente a las partículas era solo para las partículas suspendidas totales (PST), las cuales comprenden un rango de tamaño entre 0.005 y 100 micrómetros o micras (μm) de diámetro aerodinámico (Agency E. P., 1996) (Ecología); sin embargo, la mayoría de las partículas presentes en la atmósfera tienen un tamaño menor a 40 μm (Environmental Canada an Health Canada , 1999). Posteriormente, algunas

investigaciones sobre los efectos de las partículas ambientales en la salud se enfocaron en partículas que pueden ser inhaladas por el sistema respiratorio, y se encontró que las partículas de diámetro aerodinámico menor a 10 μm (PM10) tienen esta característica; a estas partículas se les conoce también como fracción respirable o inhalable. Sin embargo, actualmente la atención se ha centrado menos en las partículas gruesas y más en las partículas finas y ultrafinas, comprendidas dentro de las PM10. La fracción gruesa la componen las partículas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre 2.5 y 10 μm (PM2.5-10), la fracción fina comprende las partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm (PM2.5), y las ultrafinas se refieren a las partículas menores a 1 μm (PM1) (Instituto Nacional de Ecología, 2011). La ilustración 8 muestra mediante el grosor de un cabello el tamaño que estas partículas tienen en realidad y de esta forma tenemos una mejor idea mental.

Tanto las partículas finas como las partículas gruesas pueden ser primarias, es decir, emitidas directamente por la fuente; sin embargo, de manera general se considera que las partículas finas son mayoritariamente secundarias, o sea, formadas en la atmósfera a través de un proceso químico (Instituto Nacional de Ecología, 2011).

2.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS

Las partículas suspendidas tienen características únicas entre los contaminantes atmosféricos. Mientras que los contaminantes en fase gaseosa, como el dióxido de azufre, el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, son compuestos químicos bien definidos, las partículas varían en cuanto a su forma, tamaño, composición química y permanencia en la atmósfera. Estas tres características, así como la relación entre la masa y el volumen de las partículas se muestran en la tabla número 2, en donde se observa que dependiendo del tamaño de partícula se puede suponer su composición, de acuerdo a los estudios realizados previamente se destaca que todas las partículas que son menores a 2.5 μm tienen características más simples, esto debido a su tamaño y composición

	Tipo de Partícula		
	Ultrafinas PM 0.1	Finas (\leq PM _{2.5})	Gruesas (PM _{2.5} -PM ₁₀)
Composición	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfato • Carbón elemental • Compuestos metálicos • Compuestos orgánicos con baja saturación de presión de vapor a temperatura ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfato, nitrato, amonio, iones de hidrógeno • Carbón elemental • Gran variedad de compuestos orgánicos • Metales: compuestos de Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, etc. • Agua ligada a las partículas • Bacterias, virus 	<ul style="list-style-type: none"> • Nitratos, cloruros, sulfatos de reacciones de HNO₃, HCl y SO₂ con partículas gruesas • Óxidos de elementos de la corteza terrestre (Si, Al, Ti, Fe) • CaCO₃, CaSO₄, NaCl, sal marina • Bacterias, polen, moho, esporas de hongos, detritos de plantas y animales

Tabla 2 Principales características de la composición de las partículas ultrafinas, finas y gruesas. Fuente: (Agency, Integrated Science Assessment for Particulate Matter, 2009)

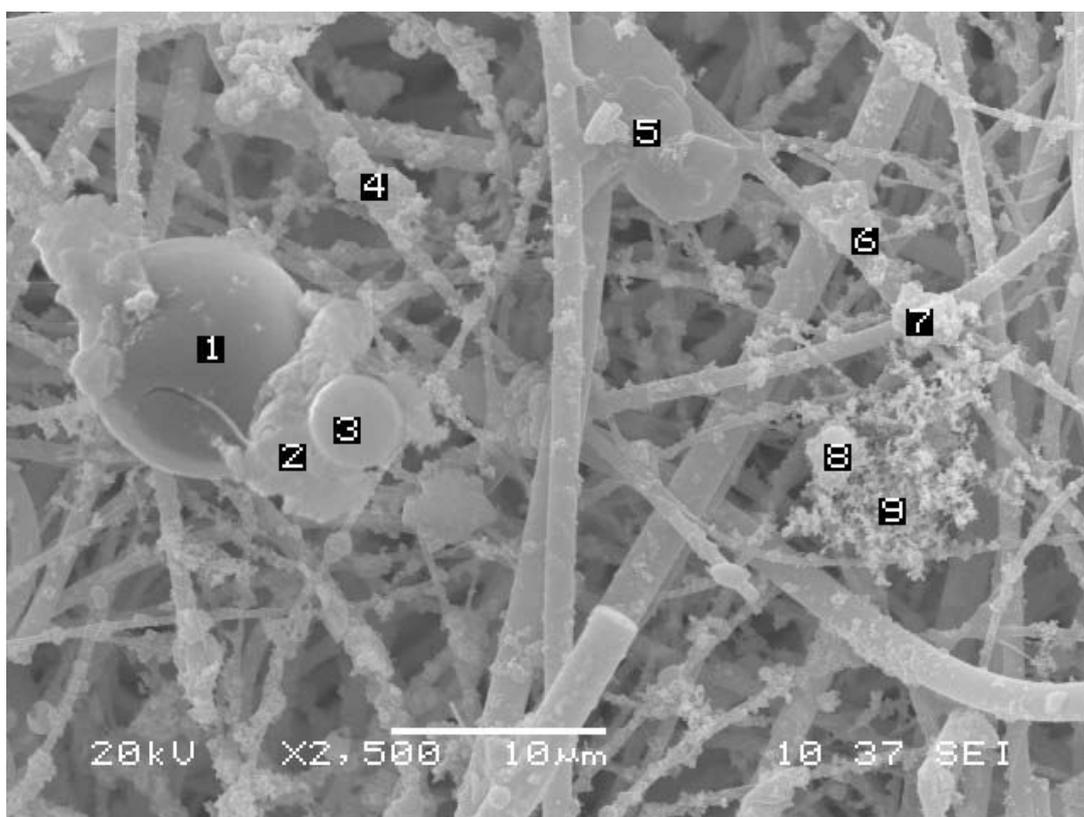


Ilustración 9 Partículas respirables obtenidas por el CENICA. Números 1, 3 y 8 son esferas; números 2, 4 y 7 corresponde a agrupaciones; 5 y 6 son platos; número 9 son figuras reticulares. Números 1–5 corresponde a la fracción gruesa.

2.7 PERMANENCIA DE LAS PARTÍCULAS EN LA ATMÓSFERA

Las partículas son removidas de la atmósfera a través de diferentes procesos, como la sedimentación y la precipitación, pero es también el tamaño de las partículas uno de los factores que determinan el tiempo de residencia de las partículas. Las partículas $>20 \mu\text{m}$ pueden permanecer suspendidas en la atmósfera durante algunas horas, mientras que las partículas entre 2 y $3 \mu\text{m}$ pueden permanecer de 2 a 4 días (Instituto Nacional de Ecología, 2011).

Las partículas en un rango de tamaño $0.1-1 \mu\text{m}$, es decir partículas en la moda de acumulación y partículas Aitken, son las que muestran el mayor tiempo de residencia, que varía desde días hasta varias semanas, y son removidas principalmente por precipitación pluvial. Además, las partículas en este rango de tamaño forman fácilmente gotas de lluvia en las nubes, por lo que su tiempo de residencia es muy similar al del agua, que es de 10 días. Las partículas carbonáceas y orgánicas son difíciles de mojar, por lo que antes de ser removidas por precipitación deben pasar por un periodo de oxidación superficial, lo que resulta en tiempos de residencia mayores cuando se comparan con las partículas inorgánicas, como los sulfatos. Cabe mencionar que el SO_2 tiene una constante de Henry muy alta; por esta razón, la formación de aerosol secundario resulta relativamente rápida para este compuesto.

Otros factores que afectan el tiempo de residencia de las partículas ambientales son sus propiedades termodinámicas, que se refieren a la distribución de la masa entre la fase gaseosa y de aerosol, lo cual depende de la temperatura y la humedad. Así, se espera que si hay cambios en la temperatura y la humedad en la atmósfera, también haya cambios en las concentraciones de partículas como sulfato de amonio y algunos aerosoles orgánicos. Por ejemplo, las concentraciones de partículas PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ asociadas con sulfatos de amonio son bajas en verano y altas en invierno. Como se resume en la tabla 3:

Características	Tipo de partículas		
	Ultrafinas (PM _{0.1})	Finas (≤ PM _{2.5})	Gruesas (PM _{2.5} -PM ₁₀)
Solubilidad	No están bien caracterizadas	Muy solubles, higroscópicas y delicuescentes	Muy insolubles y no higroscópicas
Vida media atmosférica	Minutos a horas	Días a semanas	Minutos a horas
Proceso de remoción	<ul style="list-style-type: none"> • Crecen en la moda de acumulación • Se difunden en gotas de lluvia y otras superficies 	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de nubes y lluvia • Precipitación Seca 	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación seca • Eliminación por gotas de lluvia
Distancia de transporte	De menos de uno a decenas de kilómetros	De cientos a miles de kilómetros	De menos de un kilómetro a decenas de kilómetros (de cientos a miles de kilómetros en tormentas de arena para la fracción de tamaños pequeños)

Tabla 3 Principales características de las partículas ambientales que influyen en su permanencia en la atmósfera Fuente: (Agency, Integrated Science Assessment for Particulate Matter, 2009)

El origen de las partículas (tabla 4), es indispensable para poder determinar las políticas públicas eficaces que pueden emplearse para disminuirlas y poder dar un seguimiento a su mitigación, ya que de lo contrario podríamos estar empleando esfuerzos de forma poco eficiente.

	Tipo de Partículas		
	Ultrafinas (PM _{0.1})	Finas (≤ PM _{2.5})	Gruesas (PM _{2.5} -PM ₁₀)
Fuentes de Emisión	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión de alta temperatura • Reacciones atmosféricas de compuestos gaseosos primarios 	Combustión fósil y combustible de biomasa, temperatura alta de procesos industriales, fundidoras, refinерías, acereras, etc. <ul style="list-style-type: none"> • Oxidación atmosférica de NO₂, SO₂ y compuestos orgánicos, incluidos especies orgánicas biogénicas, por ejemplo, terpenos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resuspensión de partículas depositadas en las calles • Llantas, residuos de los caminos y de balatas de freno • Suspensión de suelos (cultivos, minería, calles no pavimentadas) • Construcción y demolición • Cenizas de combustión de carbón no controlado, petróleo y madera • Brisa marina

Tabla 4 Principales fuentes de emisión de las partículas. Fuente: (Agency, Integrated Science Assessment for Particulate Matter, 2009)

2.8 IMPACTOS EN LA SALUD

2.8.1 Partículas

Los efectos negativos de las partículas suspendidas en la salud humana parecen haber existido desde tiempos muy remotos. La primera evidencia documentada del impacto de este contaminante sobre la salud se remonta al año 1800 antes de nuestra era, cuando al examinar la momia encontrada en el desierto de Gobi, conocida como Beaty de Loulan, se observó que sus pulmones estaban muy dañados. Los arqueólogos atribuyeron su muerte a problemas respiratorios causados por emisiones de combustión de madera y por partículas de arena (mendocino, 2010).

Actualmente, numerosos estudios epidemiológicos realizados en muchos países del mundo han determinado que la exposición a la contaminación provocada por partículas $PM_{2.5}$ presenta asociaciones positivas entre este contaminante y las tasas de mortalidad y morbilidad de la población expuesta. Los efectos en la salud relacionados con la presencia de partículas suspendidas han sido observados a concentraciones que actualmente ocurren en diversos lugares del planeta. Por lo anterior, se considera que cuando las partículas suspendidas, y en especial las partículas $PM_{2.5}$, entran al medioambiente, constituyen o pueden constituir un peligro para la salud, e incluso para la vida humana (Enviromental Canada an Health Canada , 1999). Estudios recientes demuestran que el carbono negro forma parte de las $PM_{2.5}$, y que una vez emitido a la atmósfera puede causar diversos impactos tanto en el medioambiente como en la salud de las personas debido a su elevada toxicidad, a su porosidad y a su amplia superficie de contacto. Este contaminante puede adsorber una gran variedad de químicos durante el proceso de combustión, incluidos los hidrocarburos aromáticos policíclicos, que son carcinogénicos o mutagénicos (Jiang M, 2005). La tabla 5 demuestra que dependiendo del tamaño aerodinámico de partícula es su nivel de penetración en el organismo.

Es por ello que algunos países desarrollados han incorporado a sus inventarios de emisiones las de carbono negro, lo que permite a su vez la estimación de los impactos en la salud por la presencia de este contaminante en la atmósfera.

Tamaño de partícula (μm)			Región hasta donde puede ocurrir la Penetración
	>	11	Capturadas en orificios nasales; no penetran en la parte baja del tracto respiratorio
7	-	11	Pasaje nasal
4.7	-	7	Región de la laringe
3.3	-	4.7	Tráquea y región primaria bronquial
2.1	-	3.3	Región bronquial secundaria
1.1	-	2.1	Región bronquial terminal
0.65	-	1.1	Bronquiolos
0.43	-	0.65	Alveolos

Tabla 5 Penetrabilidad de las partículas en el tracto respiratorio según su tamaño. Fuente: (Borja Aburto V.H., 2000)

La ilustración 10 nos muestra la distribución de partículas respecto a la concentración, como se puede apreciar entre mayor sea el tamaño de partícula, su concentración tienen una distribución normal con menos sesgo, sin embargo cuando es menor su concentración puede variar dependiendo de la densidad y tipo de partícula.

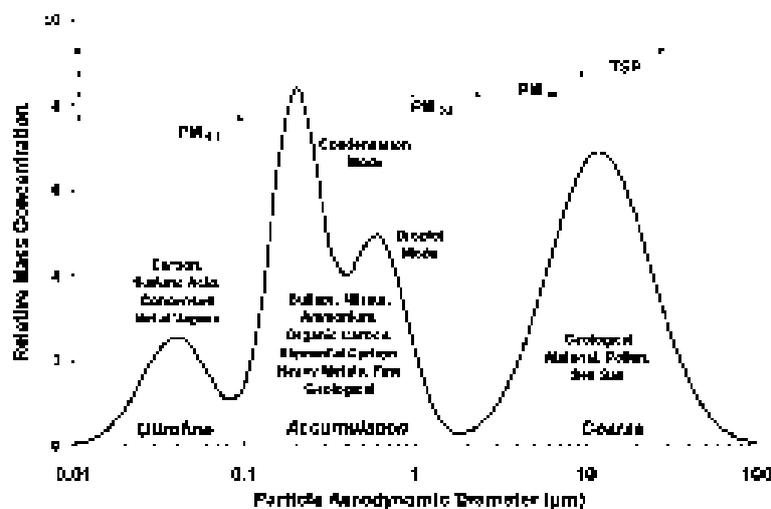


Ilustración 10 Relación de la masa con relación al tamaño de partícula. Fuente: (Seinfeld J. H., 1998)

2.8.2 Monóxido de carbono

Existen diversos estudios que demuestran que las altas concentraciones de CO pueden causar cambios fisiológicos y patológicos y finalmente la muerte. El monóxido de carbono es un veneno que inhalado priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario. De hecho la Organización Mundial de la Salud en 1999, recomendó que la exposición al CO en el aire ambiente exterior no sobrepase de 9 ppm para un periodo de 8 horas (ya que se ha encontrado que a esta concentración la sangre llega a tener hasta 2% de COHb, véase Tabla 6); mientras que para las exposiciones laborales los límites van desde 25 a 50 ppm en una jornada típica de 8 horas; como por ejemplo, la NOM-010-STPS-1999, que marca que para una jornada de 8 horas un trabajador puede estar expuesto a no más de 50 ppm. O la NOM-021-SSA1-1993, la cual indica que la concentración máxima en el ambiente exterior no rebasara las 11 ppm.

CO en la atmosfera		COHb estimado en % en la sangre
%	ppm	
0.001	10	2
0.007	70	10
0.012	120	20
0.022	220	30
0.035-0.052	350-520	40-50
0.080-0.122	800-1220	60-70
0.195	1950	80

Tabla 6 : Relación de porcentaje de COHb en la sangre en función de la concentración de CO (ppm) en el ambiente. Fuente: Wark Kenneth y Warner Cecil F., 2003.

El monóxido de carbono es imposible de detectar por una persona que este expuesta, ya que es incoloro, insípido e inodoro, y no irritante. Cuando se inhala, el CO se absorbe fácilmente por los pulmones al torrente sanguíneo; en altas concentraciones el monóxido de carbono puede causar la muerte. El monóxido de carbono con la hemoglobina de los glóbulos rojos de la sangre conduce a la formación de la carboxihemoglobina (COHb); mientras que la combinación del oxígeno y la hemoglobina producen la oxihemoglobina O₂Hb.

La hemoglobina tiene una afinidad por el CO aproximadamente de 200 a 250 veces más que al oxígeno. (Wark Kenneth y Warner Cecil F. 2003)

La presencia de COHb en la sangre disminuye la capacidad del transporte de oxígeno, reduciendo la disponibilidad de oxígeno a los tejidos del cuerpo que resulta en una hipoxia tisular. El suministro de oxígeno de los **tejidos** depende de la cantidad de sangre que el corazón bombea por minuto (gasto cardiaco) y del contenido de oxígeno arterial de dicha sangre, pero si este proceso se ve afectado, las células del organismo mueren, lo cual se conoce como **hipoxia tisular**.

Por tanto la cantidad de COHb es una función de la concentración del CO en el aire respirado. Afortunadamente, la formación del COHb en el torrente sanguíneo es un proceso reversible. Cuando cesa la exposición, el CO que se combinó con la hemoglobina es liberado espontáneamente, y la sangre queda libre de la mitad del CO, en pacientes saludables en un periodo de 3 a 4 horas. El nivel normal de COHb en la sangre oscila generalmente entre 0 y 3% en personas que no fuman, esto debido al CO producido dentro del cuerpo, independientemente de las fuentes externas; para que el nivel de Carboxihemoglobina no exceda de 2.5% en la sangre, la concentración del CO del aire no debe superar ciertas cantidades, en ciertos períodos de tiempo, según se aprecia en la Tabla 7. (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), SWISSCONTACT, escuela técnica de salud boliviano japonés, instituto de investigaciones biomédicas de la Universidad Mayor de San Simón. 2007)

Concentración de Monóxido de Carbono	Tiempo de Exposición
100 mg/m³ (87 ppm)	15 minutos
60 mg/m³ (52 ppm)	30 minutos
30 mg/m³ (26 ppm)	1 hora
10 mg/m³ (9 ppm)	8 horas

Tabla 7 Tiempo de exposición y concentración de CO (ppm) requeridos para un porcentaje de COHb de 2.5% en la sangre. Fuente: Efectos de la exposición prolongada al monóxido de carbono ambiental en población urbana de riesgo. Cercado Cochabamba.

Las personas pueden experimentar muy diferentes manifestaciones clínicas por la intoxicación de CO, incluso bajo condiciones de exposición similares; aunque estas manifestaciones clínicas están relacionadas con la duración de la exposición y la concentración de CO básicamente.

Muchos expertos opinan que el CO no es un veneno acumulativo, es decir, no ocurre envenenamiento crónico como resultado de la exposición a largo plazo a concentraciones relativamente bajas.

Así, personas que han estado expuestas a concentraciones de CO bajos, pero con periodos de exposición prolongados pueden presentar daños cardiovasculares y del sistema nervioso central, como, cefalea (dolor de cabeza), mareos, náuseas, vómitos, confusión, desorientación, alteraciones visuales, disnea (falta de aire al respirar), sueño o cansancio, aumento de pulso y frecuencia cardiaca (véase Tabla 8); mientras que para la exposición a concentraciones altas y tiempos de exposición cortos, los síntomas van desde inconciencia, convulsiones, paros cardiorrespiratorios, coma y la muerte. Sin embargo, poco se sabe sobre el envenenamiento crónico por CO, y es a menudo mal diagnosticado.

Concentración CO en el aire (ppm)	Tiempo de inhalación	Síntomas
50	8 horas	No hay efectos observables (OSHA)
200	2-3 horas	Ligero dolor de cabeza, cansancio, fatiga, náuseas.
400 (max. Concentración en gases de combustión según Norma EPA)	1-2 horas	Dolor de cabeza frontal.
800	45 minutos	Desvanecimiento, náuseas, convulsiones.
	2 horas	Inconsciencia
	2-3 horas	Muerte
1600	20 minutos	Desvanecimiento
	1 hora	Muerte
3200	5-10 minutos	Inconsciencia

	20 minutos	Muerte
--	------------	--------

Tabla 8 Tabla de efectos en la salud por el tiempo de exposición y la concentración de CO en el aire. Fuente: Efectos de la exposición prolongada al monóxido de carbono ambiental en población urbana de riesgo. Cercado Cochabamba.

Mecanismos no relacionados con la unión del CO con la hemoglobina pueden ser especialmente relevantes cuando se considera los riesgos de salud asociados con niveles bajos de CO (intoxicación crónica), se da gracias a que el CO se combina con la mioglobina (proteína parecida a la hemoglobina encargada de almacenar O₂ en los músculos cardiacos), citocromos y algunas enzimas encargadas de almacenar O₂ donde se requieren grandes cantidades para satisfacer la demanda energética de las contracciones, resultando en una hipoxia, por el transporte inadecuado de oxígeno, lo que provoca lesiones cardiacas y daños en los tejidos de los pulmones. (Raub James A, 1999).

Debido a esto personas que sufren de insuficiencia coronaria, llegan a sufrir de infarto al miocardio (tejido muscular del corazón, músculo encargado de bombear la sangre por el sistema circulatorio mediante contracción).

Un caso común de envenenamiento de CO en la población tiene que ver con el humo del cigarro. Un fumador de cigarrillos puede estar expuesto a 400-500 ppm de CO durante aproximadamente 6 minutos que es el tiempo que se necesita para fumar un cigarrillo típico. Los grandes fumadores pueden alcanzar niveles de COHb de hasta 15%, en comparación, con los no fumadores promedio que llegan a tener cerca de 1% de COHb en la sangre.

A continuación se presentan la Tabla 9; que muestra algunos de los efectos en la salud con respecto a los niveles de COHb en la sangre. Se ha encontrado que:

- 20% COHb: Comienzan a aparecer los síntomas de intoxicación por monóxido de carbono
- 30%COHb: Se presenta intoxicación grave por monóxido de carbono
- 50% a 80%COHb: ocasiona intoxicación mortal por monóxido de carbono.

Carboxihemoglobina	
Nivel de COHb (%).	EFFECTOS.
< 1.0	No hay efectos aparentes
1.0-2.0	Hay alguna evidencia de efectos sobre la conducta.
2.0-5.0	Efectos sobre el sistema nervioso central. Efectos en el discernimiento de los intervalos de tiempo, agudeza visual, discernimiento de la luminosidad, y algunas otras funciones psicomotoras
>5.0	Cambios funcionales cardiacos y pulmonares.
10.0-8.0	Dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, fallas respiratorias, muerte.

Tabla 9 Efectos sobre la salud en relación al porcentaje de COHb en la sangre. Fuente: Wark Kenneth y Warner Cecil F., 2003.

2.9 MÉTODOS PARA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN EN VEHÍCULOS

Entre las principales acciones para controlar la emisión de contaminantes a la atmósfera, se tienen las realizadas por los fabricantes de vehículos que han llevado a cabo una serie de modificaciones en el diseño de los mismos.

Control del Cártter:

El objetivo es impedir que los gases, por pérdida de compresión, escapen a la atmósfera. Existen varios sistemas de control que se basan en el principio de reciclar los gases de la pérdida de compresión desde la bomba de aceite del motor al sistema de toma de aire. El cual se le conoce como sistema de ventilación positiva del cárter.

Control de la evaporación:

Se han desarrollado dos métodos principalmente: El primero es el sistema de recuperación de vapor, en el cual el cárter se utiliza como depósito de los vapores procedentes del tanque de gasolina y del carburador. Y el segundo que consta además de un condensador y un separador vapor-liquido al que llega primero el vapor del tanque de gasolina, y una vez separado envía el vapor al cárter y el líquido de nuevo a la gasolina.

Cambios en el diseño de motor:

Los fabricantes para reducir las emisiones de CO y HC utilizan diferentes sistemas cuyas características comunes son dar una relación aire combustible, para reducir las emisiones de NOx, puede usarse una mezcla muy pobre aire-combustible ya que al disminuir la temperatura hay menor producción de NOx. Otro tipo de motor utilizado en los autos japoneses ha sido el motor rotatorio de Wankel en el que la combustión tiene lugar en una cámara por el árbol que gira. Tiene la ventaja de producir muy poco ruido y disminuir las concentraciones de NOx y las CO, aunque para los HC es conveniente el uso de un convertidor catalítico.

Convertidor Catalítico:

En México su uso se hizo obligatorio para todos los nuevos modelos a partir de 1991. El convertidor catalítico es un aditamento que se coloca en el sistema de escape del vehículo con la finalidad de disminuir la emisión de los gases contaminantes producidos en la combustión a través de catalizadores, generalmente de metales nobles, que provocan la oxidación del monóxido de carbono y los hidrocarburos y la reducción de los NOx.

Con el convertidor de tres vías se lleva por un lado la oxidación del CO y HC y por el otro lado la reducción de los NOx.

2.10 EL TRANSPORTE PÚBLICO Y SU DESAFÍO

El transporte es uno de los mayores retos, donde un factor determinante es replantear las políticas de desarrollo urbano, la parte más difícil para generar cambios a favor del transporte sustentable, radica en cambiar las costumbres locales menciona Helle Lis Soholt de representante de la firma Gehl Architects, es importante no favorecer la adquisición de automóviles, hace falta replantearse el impacto que podría tener el transporte público dentro de la calidad de vida de las personas más allá de satisfacer necesidad de movilidad.

La gente se mueve cada vez más en automóviles. Esta situación no solo ha derivado en un incremento del tránsito vehicular en las ciudades y en

detrimento en la calidad de vida de sus habitantes sino también en un problema de salud. Por ejemplo “la congestión vial en la ciudad de México ha llevado a la población a una pérdida de tiempo, al pasar en promedio cinco años de su vida en auto” comento Adriana Lobo directora del CTS.

El incremento de automóviles representa uno de los mayores problemas ambientales en cuanto a la contaminación atmosférica. De acuerdo con Leonora Rojas, directora de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional del INE en zonas urbanas, los vehículos son la principal fuente de emisiones, ya que generan 99 del CO, 82% de NOx, 57% de partículas finas y 50% de SO₂.

2.11 CASO DE ÉXITO DEL DESARROLLO SUSTENTABLE

Según mediciones verificadas por el Centro del Transporte Sustentable del INE, el grado de exposición de los usuarios del metrobus (Ilustración 11) a contaminantes como el CO, benceno y otros HC, se ha reducido en más de un 50% tras la instalación del sistema.

El Metrobus de la ciudad de México que circula por el corredor de insurgentes ha reducido en forma verificada y comprobada más de 70 mil toneladas de gases de efecto invernadero. Los especialistas en materia de movilidad en diferentes foros concluyeron que ante el panorama de crecimiento del parque vehicular se debe invertir en sistemas de transporte más eficientes para las zonas metropolitanas con mayor índice de población.

Un estudio realizado después de 2 años de operación de calificación con 8 al metrobus entre el los usuarios la cual fue realizada por la empresa ISA a solicitud de la CTS-Mexico la cual se aplicó a 3 mil 780 usuarios, los cuales consideran el Metrobus como confiable, eficiente y con instalaciones en buen estado físico.

Quienes son los usuarios

- La edad media de los usuarios es de 34 años y la población que lo utiliza es 51 masculina y 49% femenina

- El 77% de los usuarios curso educación media superior
- El Metrobus es usado por un nivel variado de nivel socioeconómico predomina aquellos con salarios de entre 3 y 10 salarios mínimos quienes suman un 65%

Como son los viajes de los usuarios

- El 63% de los usuarios realizan viajes rutinarios de manera diaria
- El 19% varias veces por semana
- El 63% lo hace con motivos de trabajo
- El 14% para ir a la escuela

Un dato importante es que el 6% de los antiguos usuarios de los vehículos particulares, prefieren viajar en este sistema de transporte público

Es así, que de acuerdo al Inventario Nacional de Emisiones para México – 1999 (INEM-1999), el transporte y los vehículos son la principal fuente antropogénica de emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV), sustancias precursoras de la formación de ozono. Asimismo, contribuyen de manera importante a la emisión de partículas suspendidas (PM) y monóxido de carbono (CO). Si bien estas emisiones son el resultado directo del uso de combustibles fósiles, como la gasolina y el diesel, existen otros factores determinantes en la cantidad de contaminantes que un vehículo automotor puede generar, como la edad, la tecnología, el uso y el mantenimiento del vehículo. Los vehículos en circulación de mayor edad, con un mantenimiento deficiente, sin tecnologías para el control de emisiones y de uso intensivo pueden presentar mayores emisiones contaminantes a la atmósfera.



Ilustración 11 Metrobus de la ciudad de México que sea vuelto uno de los medio de transporte de los capitalinos preferidos. Fuente: (www.upct.es)

2. 12 MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO (MEB)

El MEB es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos, entregando información morfológica del material analizado. A partir de él se producen distintos tipos de señal que se generan desde la muestra y se utilizan para examinar muchas de sus características. Con él se pueden realizar estudios de los aspectos morfológicos de zonas microscópicas de los distintos materiales con los que trabajan los investigadores de la comunidad científica y las empresas privadas, además del procesamiento y análisis de las imágenes obtenidas.

El equipo consistente en un microscopio electrónico que permite la observación y estudio de muestras sólidas y conductoras mediante la interacción de un haz de electrones con la superficie del material objeto de estudio, que proporciona imágenes de gran resolución de la topografía superficial de la muestra, que pueden ser tratadas y analizadas posteriormente. Para la preparación de muestras no conductoras, se dispone de un equipo de sputtering que deposita una fina capa de oro, cobre u otro material conductor sobre la superficie.

Un microscopio electrónico de barrido crea una imagen ampliada de la superficie de un objeto. Cada punto leído de la muestra corresponde a un píxel en un monitor de televisión. Cuanto mayor sea el número de electrones contados por el dispositivo, mayor será el brillo del píxel en la pantalla. A medida que el haz de electrones barre la muestra, se presenta toda la imagen de la misma en el monitor. Los microscopios electrónicos de barrido pueden ampliar los objetos 200.000 veces o más (ilustración 13). Este tipo de microscopio es muy útil porque, al contrario que los TEM (microscopio electrónico de transmisión) (www.es.wikipedia.org, 8) o los microscopios ópticos, produce imágenes tridimensionales realistas de la superficie del objeto.

El microscopio electrónico de barrido puede estar equipado con diversos detectores, entre los que se pueden mencionar: un detector de electrones secundarios para obtener imágenes de alta resolución SEI (Secondary Electron Image), un detector de electrones retrodispersados que permite la obtención de imágenes de composición y topografía de la superficie BEI (Backscattered Electron Image), y un detector de energía dispersiva EDS (Energy Dispersive Spectrometer) permite coleccionar los Rayos X generados por la muestra y realizar diversos análisis e imágenes de distribución de elementos en superficies pulidas. Sus principales elementos se muestran en la ilustración 12.

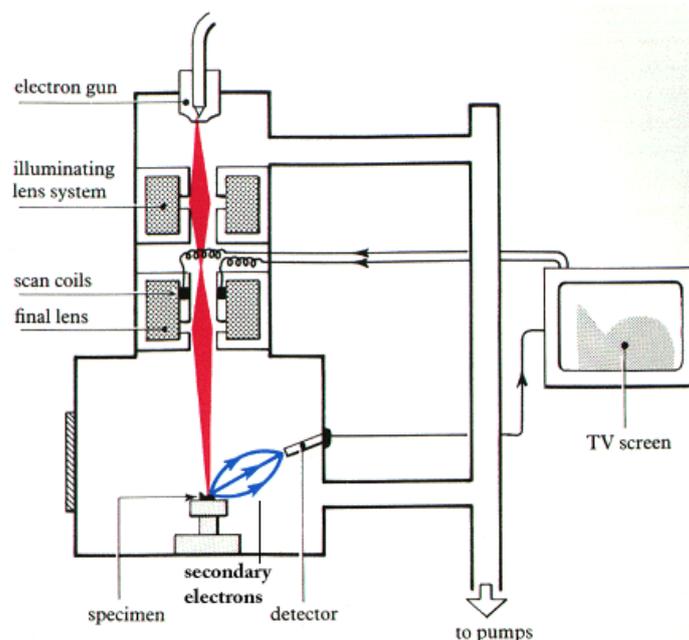


Ilustración 12 Partes típicas que conforman a un microscopio electrónico de barrido, para poder conformar la imagen http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope



Ilustración 13 Microscopio electrónico de barrido
http://www.upct.es/sait/sit/recursos_micro_barrido.html

2.13 ESPECTROSCOPIA DE ENERGÍA DE DISPERSIÓN (EDS)

El microscopio tiene integrado un sistema de microanálisis por espectroscopía de dispersión de energía de rayos X, EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy).

Fundamento:

Cuando el haz de electrones colisiona con los electrones de las capas más internas de los átomos de la muestra, saca un electrón de su sitio, creando una vacancia; ésta es ocupada por un electrón de las capas más externas. La transición de la capa externa a una interna genera radiación X. Si la transición se produce en las capas cercanas a la interna se llama radiación de tipo K y sus correspondientes subdivisiones de acuerdo a los subniveles de energía. Si la transición ocurre en las capas más externas a la capa interna, se llama transición L, M, N, etc. y tienen las mismas subdivisiones de K. Para que se originen todas estas transiciones, los átomos deben tener electrones suficientes para producir todas las capas necesarias de electrones. En la ilustración 14 se muestra la operación.

Funcionamiento:

El detector de rayos X de dispersión de energías recoge un único espectro emitido por todos los elementos de la muestra a la vez; pero genera un impulso eléctrico para cada fotón de rayos X incidente, cuya altura es equivalente a la energía del fotón. Cada impulso eléctrico generado es separado y almacenado de acuerdo a su valor mediante un analizador multicanal de alturas de impulsos.

Típicamente se realizan análisis cualitativos de los constituyentes mayoritarios de las áreas de interés (1mm). No obstante, en muestras pulidas es posible hacer análisis cuantitativos, comparando la intensidad de los rayos X obtenida con la intensidad producida por una muestra patrón de composición conocida. Los análisis cuantitativos tienen una precisión de $\pm 2\%$, con límites de detección de 100 ppm aproximadamente en análisis rutinarios.

Funciones: Análisis cualitativo (determina los constituyentes químicos de la muestra), Análisis cuantitativo (determina las cantidades y proporciones de los constituyentes químicos de la muestra). Adquisición de imagen: Barrido en línea. Mapeo de R-X por elementos (una imagen de puntos representa la distribución elemental individual de un área seleccionada de la muestra). Comparación de espectros: Auto identificación de picos. Servicios. (www.epimtg.blogspot.mx, 2012)

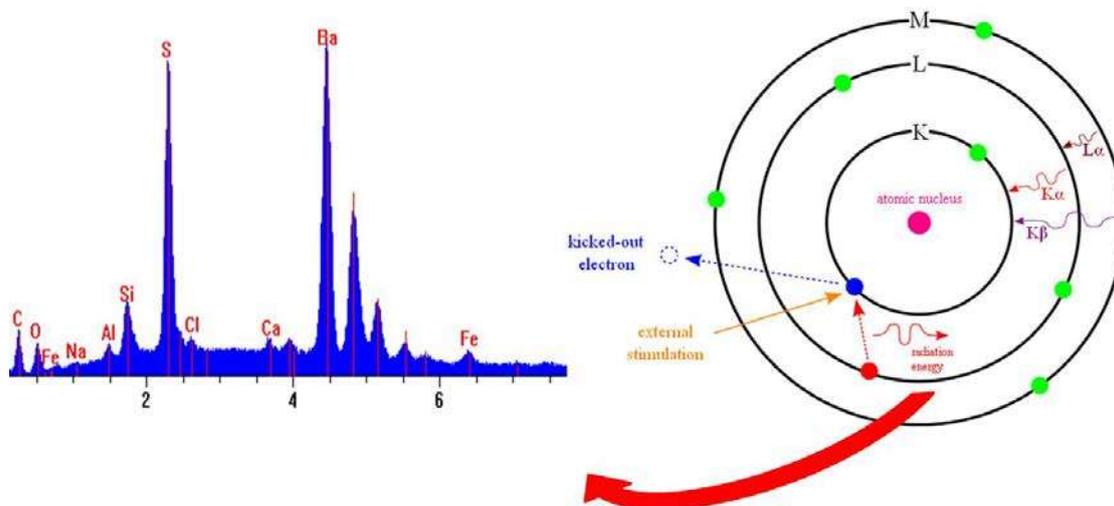


Ilustración 14 Principio de Operación de una Espectroscopia de Energía de Dispersión
<http://epimtg.blogspot.mx/2012/12/energydispersive-x-ray-spectroscopy-edx.html>

3 ANTECEDENTES

3.1 INVENTARIO DE EMISIONES

Para conocer la contribución de cada fuente de emisión a la contaminación atmosférica de una zona de interés, se han de desarrollar los inventarios de emisiones, los cuales son instrumentos de gestión ambiental que permiten identificar las fuentes de emisión, la cantidad y tipo de contaminantes que están emitiendo, así como dónde y cuándo se están emitiendo dichos contaminantes. Los inventarios de emisiones contaminantes son por sí solos, una herramienta importante para la toma de decisiones en la prevención y el control de la contaminación atmosférica, y también son útiles para jerarquizar (quien emite más contaminantes) las fuentes de emisión de contaminantes, con lo cual se pueden establecer prioridades para la regulación de las fuentes de emisión.

En la ciudad de Morelia de acuerdo al inventario de Emisiones Contaminantes a la Atmosfera para la Zona Metropolitana de Morelia y Cinco Municipios, que utilizó como año base 2005, dio como resultado que las gasolinas y las naftas consumen 12.323 pentajoules/año, de los cuales las fuentes móviles generan los siguientes contaminantes de acuerdo a la Tabla 10.

En cuanto a la emisión por tipo de fuente, la tabla 10 y la Ilustración 15 muestran los resultados generales del inventario de emisiones de la Zona Metropolitana de Morelia. La principal fuente de emisión de monóxido de carbono (CO), 99%; provienen de las fuentes móviles. Las fuentes móviles también contribuyen en forma importante con la emisión de óxidos de nitrógeno (NOx), ya que aportan el 75%; hidrocarburos totales (HC), 49%; y, partículas (PM10), 22%. Las fuentes de área son importantes emisoras de hidrocarburos (HC), ya que emiten el 14% de este contaminante; y son el principal emisor de PM10, ya que contribuye con el 48% de este contaminante. Por otra parte, las fuentes fijas son las principales emisoras de dióxido de azufre (SO₂), emiten el 94% de este contaminante, además del 30% de las partículas PM10.

Finalmente, las fuentes biogénicas son una de las principales emisoras de hidrocarburos (HC), ya que aportan el 37% del total, además de contribuir con el 21% de la emisión total de óxidos de nitrógeno (NOx).

Fuente de emisión	Emisión (Toneladas/año)				
	HC	CO	NOx	PM ₁₀	SO ₂
Fuentes móviles	40,658.96	462,863.30	15,668.83	232.13	403.67
Fuentes fijas	250.92	63.95	732.66	312.02	7,067.11
Fuentes de área	11,774.31	3,859.35	223.34	498.76	13.58
Fuentes biogénicas	30,759.17	NA	4,379.76	NA	NA
Total	83,443.35	466,786.59	21,004.59	1,042.91	7,484.36

Tabla 10 Resumen general de emisión por tipo de fuente y contaminante. Fuente: Cuadro elaborado por LT Consulting, para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Zona Metropolitana Morelia y 5 Municipios, 2008. NA _ No aplica (no se estiman emisiones para estos contaminantes)

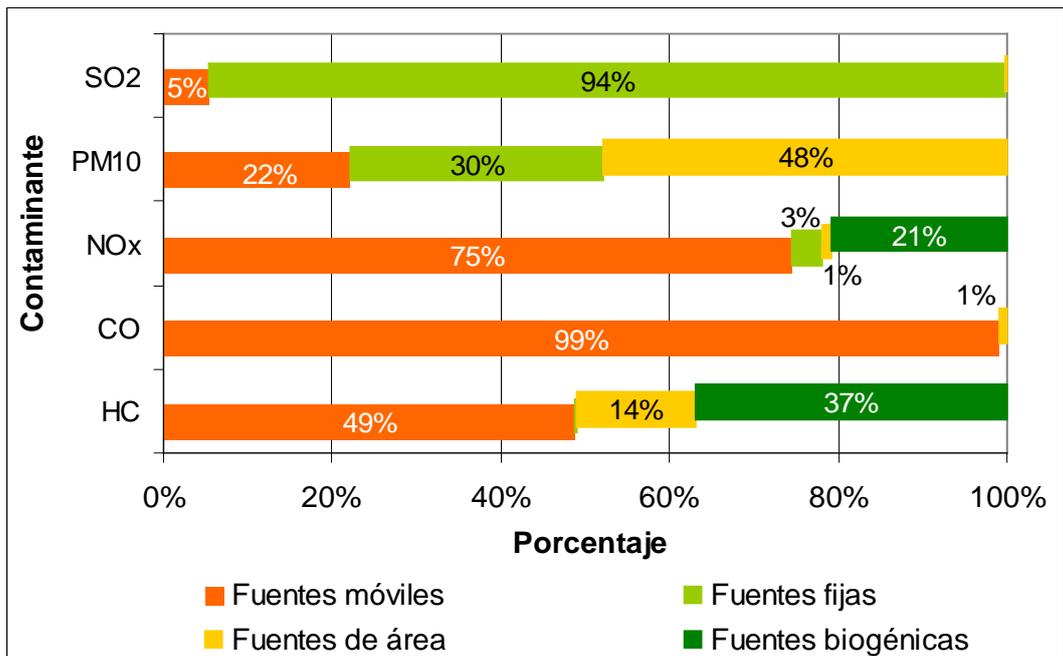


Ilustración 15 Contribución de emisión general por tipo de fuente. Fuente: Figura elaborada por LT Consulting, para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Zona Metropolitana de Morelia y 5 Municipios, 2008.

Los resultados del inventario de emisiones para fuentes móviles de la ZMMorelia muestran que el principal contaminante emitido por esta fuente es el monóxido de carbono (CO) con el 89%. El segundo contaminante en importancia emitido por las fuentes móviles en la ZMMorelia son los hidrocarburos con el 8%, seguido por los óxidos de nitrógeno con el 3% de la emisión total de contaminantes proveniente de las fuentes móviles. Los óxidos de azufre (SO₂) y el material particulado (PM₁₀) participan con menos del 1% de la emisión total de fuentes móviles en la Zona Metropolitana de Morelia (ilustración 16)

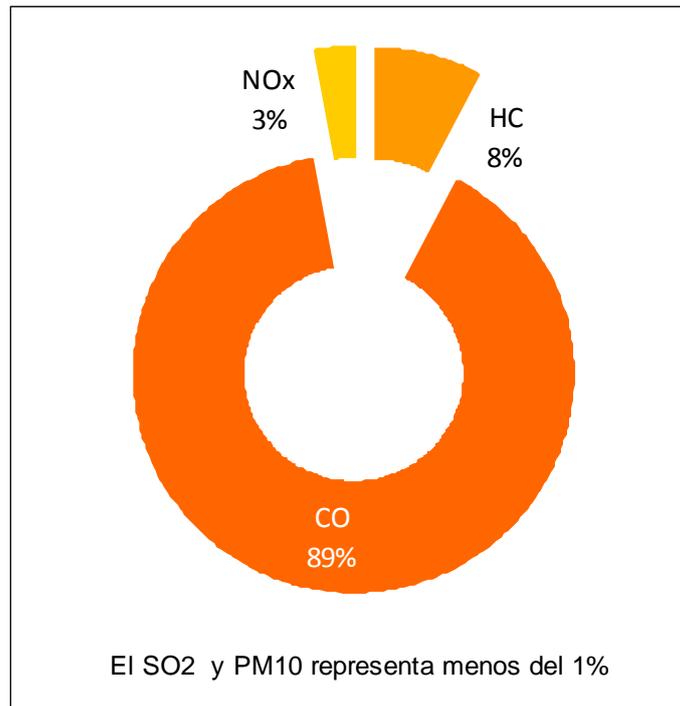


Ilustración 16 Distribución de emisión de fuentes móviles por tipo de contaminante. Fuente: Figura elaborada por LT Consulting, para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Zona Metropolitana de Morelia y 5 Municipios, 2008.

La emisión por tipo de vehículo muestra que la principal emisión de hidrocarburos (HC) se debe a los autos particulares (32.9%), seguido por los vehículos menores a tres toneladas (25.1%). El monóxido de carbono es generado principalmente por las pick up (42.4%) y los autos particulares a 3 toneladas (31.6%); mientras que los óxidos de nitrógeno son liberados a la atmósfera en forma importante por los autos particulares (31.8%) y las pick up (22%).

En lo que se refiere a la emisión de partículas PM10, éstas son liberadas principalmente por los vehículos mayores a 3 toneladas (33.6%), los autos particulares (22.7%) y las pick up (17.6%). Los autos particulares también emiten el 28.4% del dióxido de azufre (SO₂), otros generadores importante de este contaminante son las pick up con el 27.9% (ilustración 17).

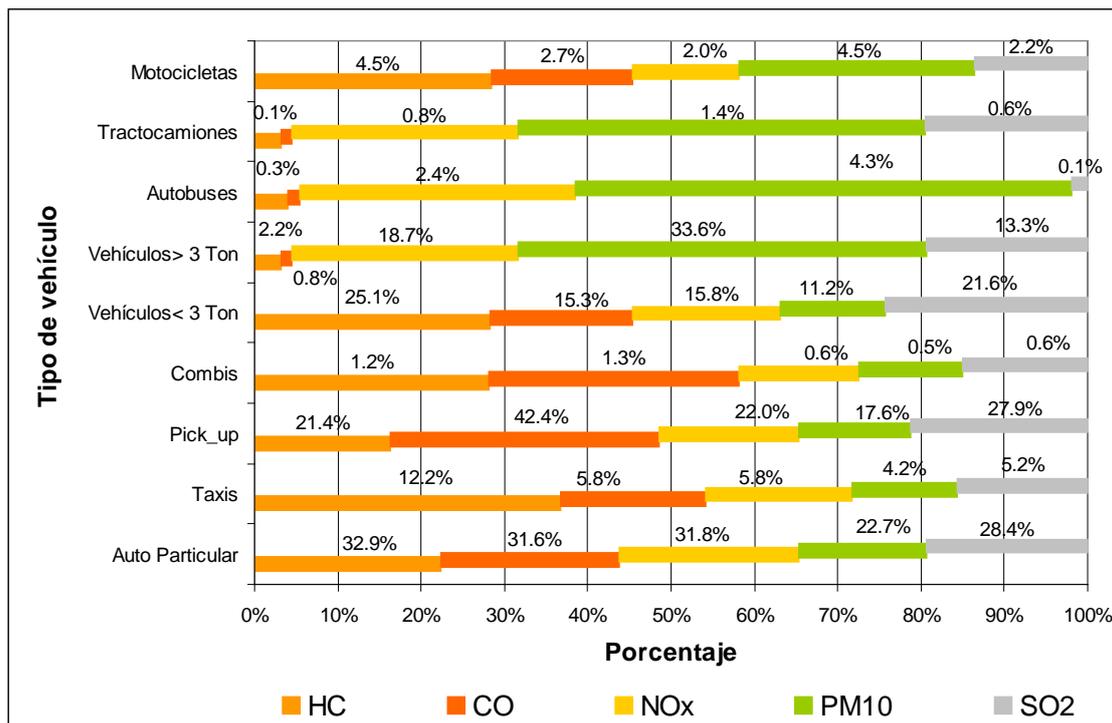


Ilustración 17 Distribución de emisión por tipo de vehículo y contaminante. Fuente: Figura elaborada por LT Consulting, para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Zona Metropolitana de Morelia y 5 Municipios, 2008.

3.2 ESTUDIO DE ACTIVIDAD VEHICULAR

En el Estudio sobre Emisiones y Actividad Vehicular en Morelia, Michoacán, los resultados preliminares muestran que de 32 vehículos registrados, 20 vehículos arrojaron los siguientes resultados:

El promedio de emisiones de CO de la flota en circulación en Morelia es 40% superior al promedio encontrado en la Zona Metropolitana del Valle de México (INE, septiembre de 2008)

El promedio de emisiones de HC de la flota en circulación en Morelia es 11% superior al promedio al promedio encontrado en la Zona Metropolitana del Valle de México (INE, septiembre de 2008)

De acuerdo con información del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI), acerca de los vehículos de motor registrados en circulación, del año 2000 al 2008 la flota vehicular de Morelia creció un 72%, es de decir, circulaban en esta ciudad más de 300,000 vehículos automotores. La

flota vehicular de Morelia representaba para el 2008, el 21% del parque vehicular en circulación del estado de Michoacán.

A partir de la información de número de habitantes y vehículos, en la ciudad de Morelia, y en general en el estado de Michoacán, se obtuvo el índice de motorización. Podemos mencionar, por ejemplo que en el año 1990 el índice de motorización promedio en Michoacán era prácticamente el doble que en Morelia véase Ilustración 18.; sin embargo, conforme ha avanzado el tiempo, este índice cada vez se ha ido acercando entre la motorización a nivel estatal y municipal.

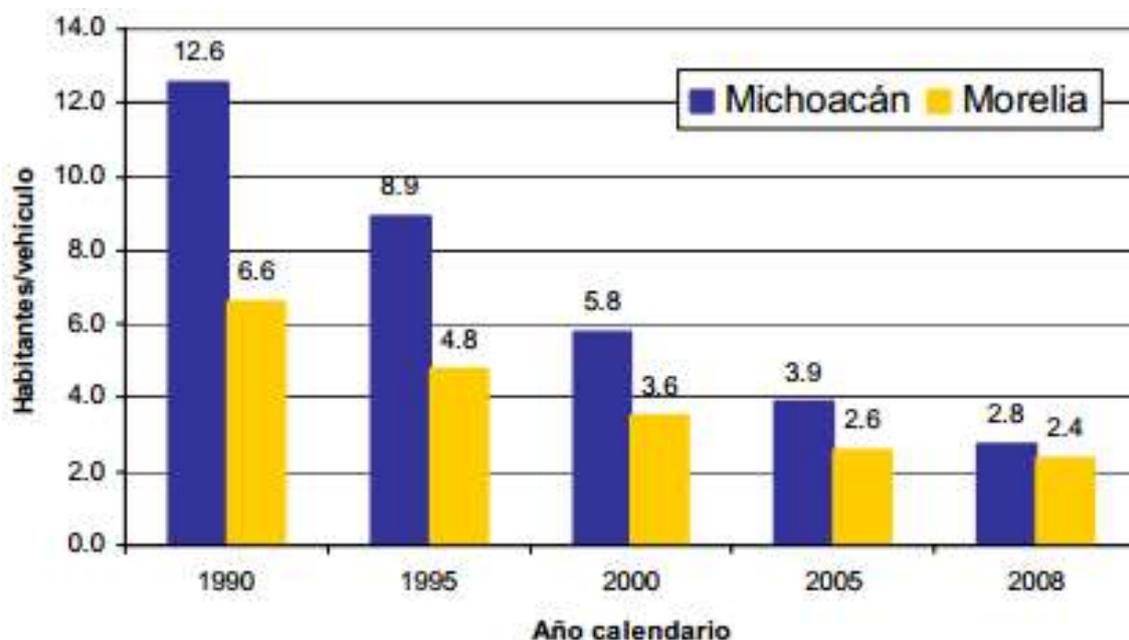


Ilustración 18 Índice de Motorización de Morelia, Michoacán. Fuente: Estudio de emisiones y actividad vehiculares en Morelia, Michoacán. 2010.

3.3 DATOS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

En el 2008 la estación de monitoreo de la ciudad de Morelia ubicada en Palacio Municipal en el Centro Histórico, obtuvo los siguientes resultados de los contaminantes criterio.

Partículas Menores De 10 Micras

La composición química de las partículas varía de acuerdo a la población, actividad urbana, industrial, vehicular, geografía, topografía, la falta de áreas

verdes entre otras, la concentración de este contaminante no rebaso la norma en promedio mensual, que es $120 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, por lo que su categoría en términos IMECA es buena, la tendencia de este contaminante es a incrementarse en los meses de mayor actividad vehicular, lo que provoca que el viento arrastre este tipo de partículas. De 07:00 a 12:00 horas se presenta la mayor concentración, abril fue el mes que presento mayor concentración de partículas, mientras que los demás meses, como julio, fueron los más bajos.

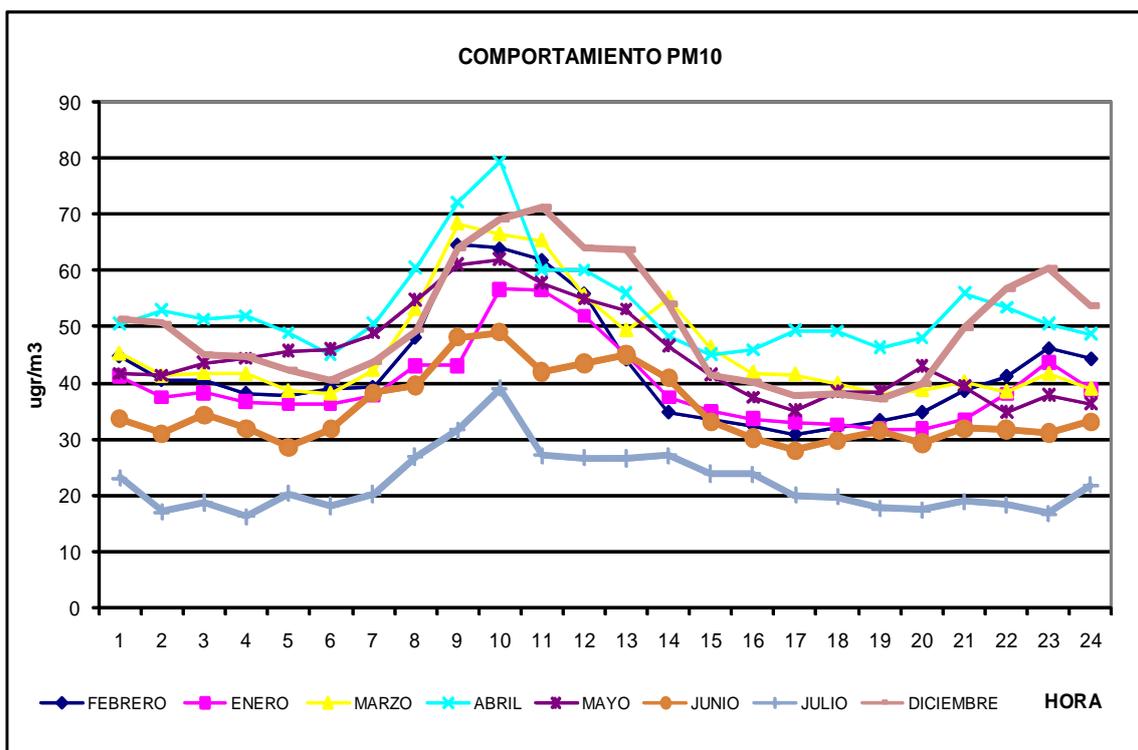


Ilustración 19 Comportamiento diario de las PM10 en la Ciudad de Morelia. Fuente: Figura elaborada por Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008.

Monóxido De Carbono

En el año 2008 no se rebaso la norma, que es de 11 ppm, la concentración de este gas en términos de IMECA se mantuvo como bueno, muestra una tendencia a incrementarse en el mes de enero debido a las bajas temperaturas, en la gráfica se observa un comportamiento típico de la concentración durante el día, siendo de 06:00 a 9:00 horas las de mayor concentración y se vuelve a generar un pequeño incremento de 18:30 a 21:30 horas.

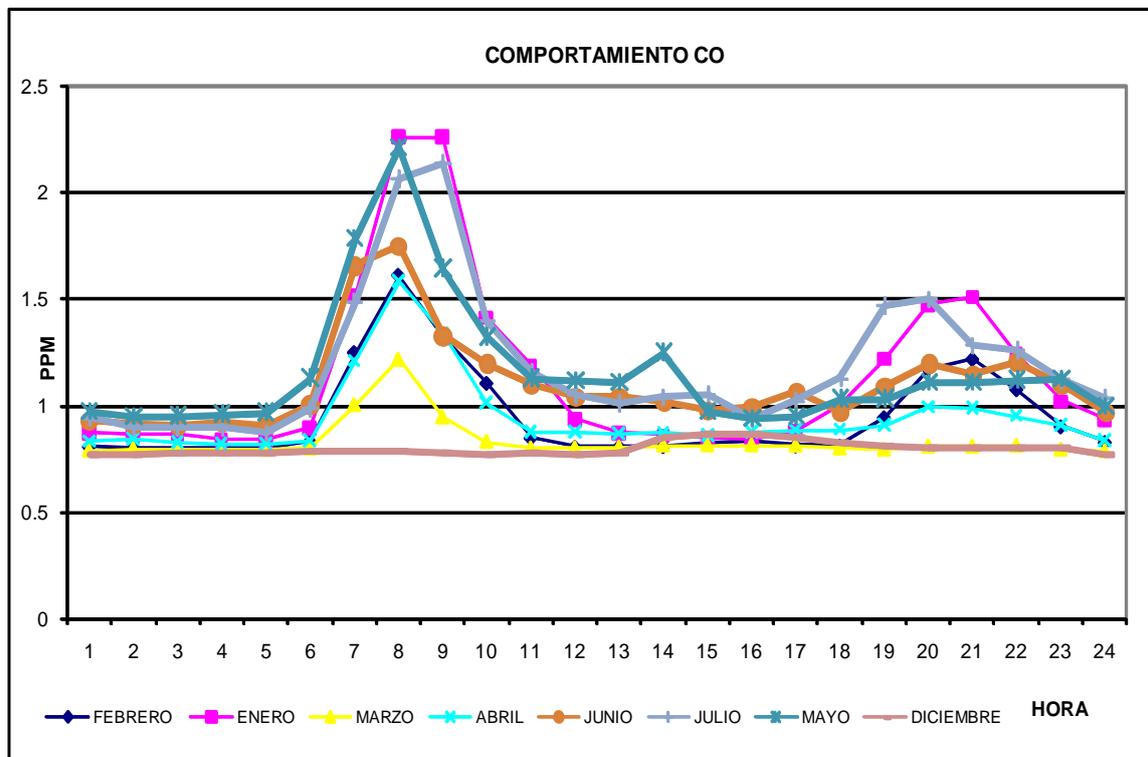


Ilustración 20 Comportamiento diario de las CO en la Ciudad de Morelia. Fuente: Figura elaborada por Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008.

Bióxido De Nitrógeno

La concentración de este gas no rebaso la norma que establece 0.21 ppm, por lo que su categoría en términos de IMECA es buena, la gráfica muestra un comportamiento típico diario del NO₂, no se observó mucha variabilidad, se puede puntualizar cuales son las horas de mayor actividad vehicular en la zona del centro y la distribución de este gas a lo largo del día, siendo de 07:00 a 10:00 horas, las que presentan mayor actividad, disminuyendo a partir de las 10:30 horas debido a la acción de la luz solar para convertirse en ozono (O₃).

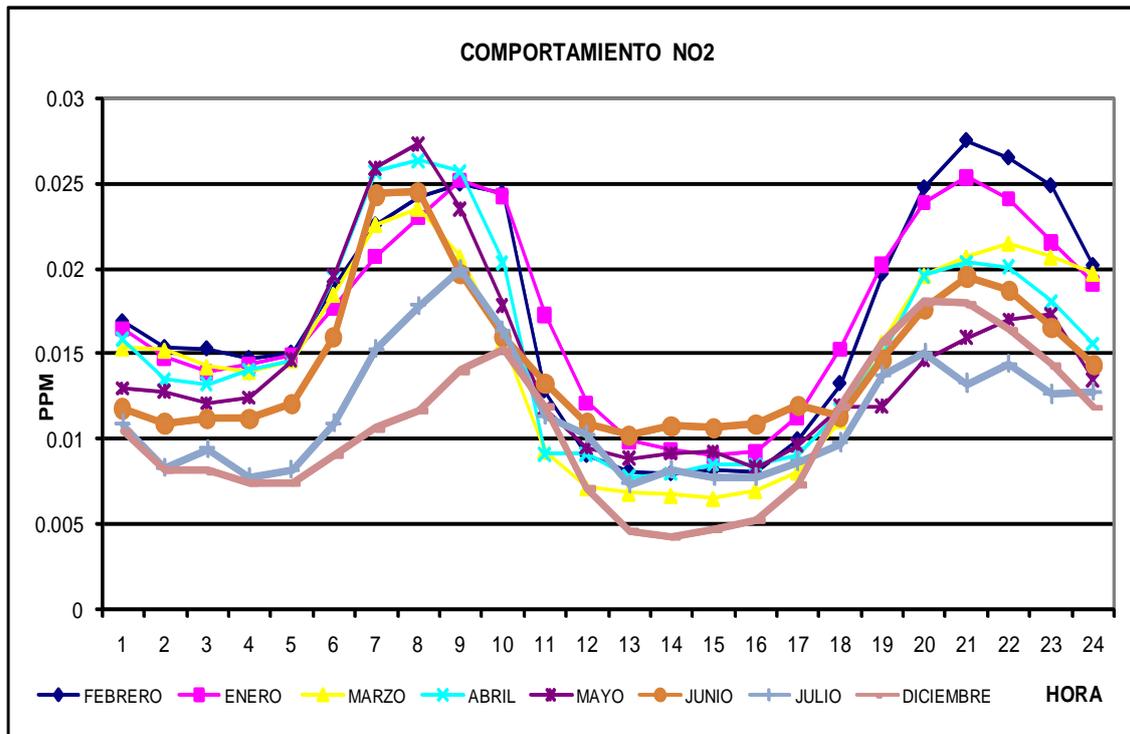


Ilustración 21 Comportamiento diario de las CO en la Ciudad de Morelia. Fuente: Figura elaborada por Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008.

Ozono

En el año se destaca que todo el mes de abril se rebaso la norma que es de 0.11 ppm, en términos de IMECA queda dentro de la categoría de no satisfactoria, la tendencia de este gas es a incrementarse en los meses de mayor actividad solar como es marzo, abril y mayo, se observa en la gráfica un comportamiento típico del ozono el cual refleja que el mes de abril fue el de mayor actividad en la generación de ozono, se puede observar que todos los días en el horario de 09:00 a 20:00 horas, la actividad del ozono es elevada, presentándose los picos más altos en el horario de las 13:00 a las 18:00 horas.

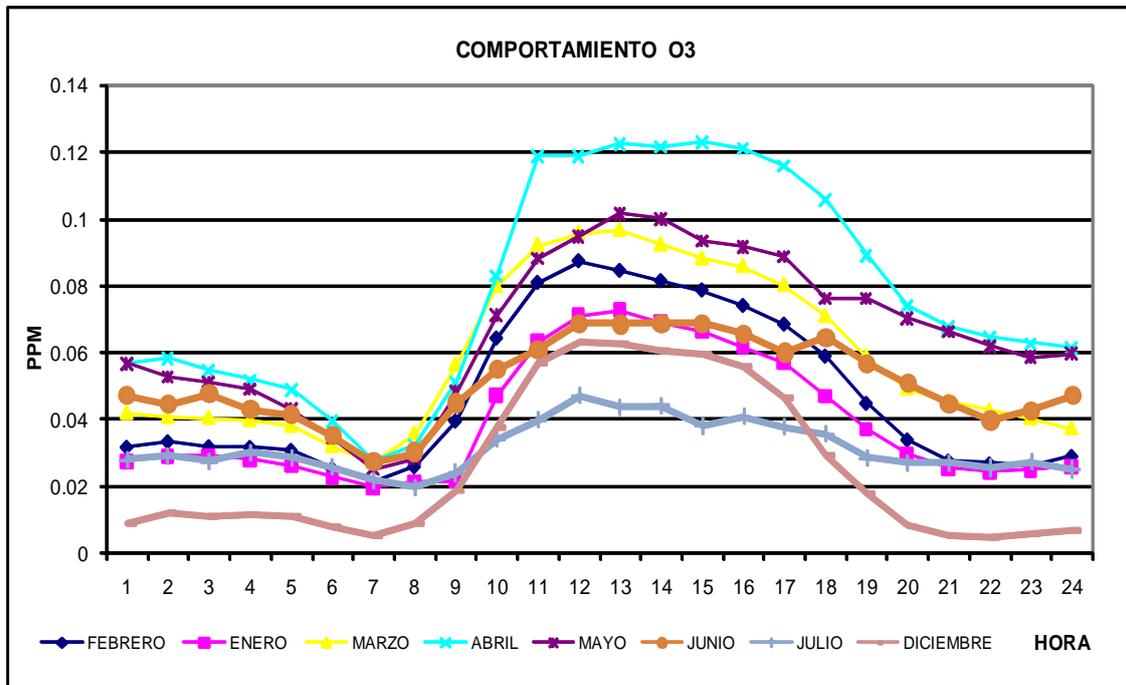


Ilustración 22 Comportamiento diario de las O₃ en la Ciudad de Morelia. Fuente: Figura elaborada por Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008.

Bióxido De Azufre

Durante el año no se rebaso la norma que es de 0.13 ppm, en términos de IMECA se mantuvo en categoría de bueno, presenta una tendencia a aumentar en los últimos meses, en la gráfica se puede observar un comportamiento típico de este gas, el mes de junio fue el que presentó una mayor concentración y los meses de marzo, abril y febrero los de menor concentración, las horas de mayor actividad son de las 05:00 a 10:00 horas, probablemente debido a la actividad industrial.

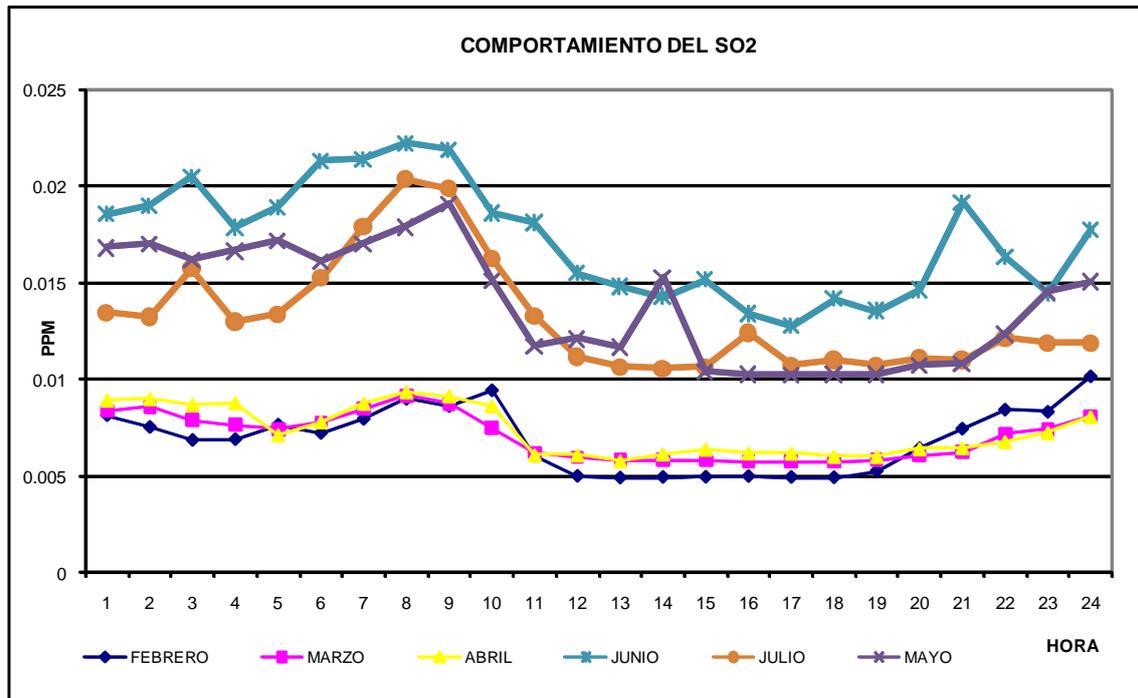


Ilustración 23 Comportamiento diario de las SO₂ en la Ciudad de Morelia. Fuente: Figura elaborada por Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008

3.4 TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE MORELIA.

En el año 2000 el sistema de transporte público, de Morelia se componía de 13 grandes rutas con 49 sub-rutas del transporte público urbano ("combi") y de 35 rutas urbanas y suburbanas dependientes del transporte público de Michoacán, que funcionan con unidades de microbuses, minibuses y autobuses, a las cual

englobaremos en el tipo de transporte público “camión” debido a la diversidad de vehículos de este tipo de transporte público.

Las rutas de transporte público “combi” contaban con un total de 1,342 unidades en servicio, para el año 2000, en la Tabla 11 (elaborada por la jefatura de operaciones de la dirección de transportes del estado en febrero de 1999) se señalan las rutas y sus sub-rutas, las cuales se distinguen por color, números y letras; así como también se describen brevemente el origen y destino de cada una.

Se puede observar de la Tabla 11, que para la ruta de transporte público “combi” “gris uno”, en el año 2000 apenas contaba con 64 unidades.

Rutas	Unidades en servicio	Origen	Destino
Amarilla 1	34	Av. Francisco J. Mujica (Frente a Cd. Universitaria).	Av. Francisco J. Mujica (Frente a Cd. Universitaria).
Amarilla 2	36	Fernando Soto, Colonia Tierra y libertad.	Batalla de Churubusco, Colonia Chapultepec
Azul A	32	Manuel Besanilla, Fracc. Michelena.	Av Camelinas (Frente a Palacio del arte)
Azul B	28	Melocoton (Esq. Calzada La Huerta).	Fray Aparicio (Esq. Casa de moneda), Fracc. Buena Vista.
Azul C	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Café 1	40	Huatapera (Esq. Carlos Rubirosa), Colonia Tierra y libertad.	Matias de Bocanegra (Esq. Hernan Gonzales de Eslava), Fracc. Fray Antonio de Mendoza.
Café 1 A	17	Francisco de Barreda en Quinceo.	Centro.
Café 2	38	Tierra, Colonia Lomas del Punhuato.	Piloto Juan Pablo Aldasoro, Colonia Jardines de Guadalupe.
Café 2 A	34	Migue Osorio, Colonia Rafael Carrillo.	Colonia San Rafael.
Café 2 B	20	Soldado de zaragoza, Colonia Leandro Valle.	Centro.
Coral 1	40	Sta. Maria de los Urdiaes, Colonia las Margaritas.	Blv. Fray Antonio de San Miguel, Colonia Fray Antonio de San Miguel
Coral 2	41	23 de Mayo (Esq. Fco. Luna), Colonia Nueva Primo Tapia.	Mercado de Abastos.
Coral 2 A	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Crema 1	31	Av. Solidaridad, Colonia Solidaridad.	Felipe Paramo, Colonia Primo Tapia.
Crema 2 A	16	Av. Solidaridad, Colonia Solidaridad.	Felipe Paramo, Colonia Primo Tapia.
Crema 2	29	Lic. Jesus Ramirez Mendoza, Colonia Primo Tapia.	Nazas (Esq. Balsas), Colonia Lago.
Crema 2 B	16	Lic. Jesus Ramirez Mendoza, Colonia Primo Tapia.	Nazas (Esq. Balsas), Colonia Lago.
Guinda 1	54	Av. Las Palmas, Colonia Colinas del sur.	Issac Calderos, Colonia La Soledad.
Guinda 2	19	Gral. Fco. Villa (Esq. Lic. Mariano de Jesus Torres), Colonia Dr. Miguel Silva.	Egipto, Colonia Rector Diaz Rubio.

Gris 1	64	Av. Siervo de la Nacion, Colonia Sentimientos de la Nacion.	Av. Siervo de la Nacion, Colonia Sentimientos de la Nacion.
Gris 2	54	Av. Siervo de la Nacion, Colonia Sentimientos de la Nacion.	Centro.
Gris 3	42	Av. San Juanito Itzicuario, Colonia Margarita Maza de Juarez.	Fco. Matos Coronado (Esq. Juan de Oñate), Colonia Lazaro Cardenas.
Gris 4	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Morada 1	28	Circuito Uacusecha, Fracc. Xangari.	Jose Maria Pino Suarez, Poblacion La Aldea.
Morada 2	34	Cap. Mariano Anzures, Fracc. Fuentes de Valladolid.	Lomas de las villas, Fracc. Lomas de Morelia.
Naranja 1	39	Trabajadores de la educacion (Esq. Trabajadores de Gobernacion), Colonia FOVISSTE.	Circuito Uacusecha, Fracc. Xangari.
Naranja 2	12	Trabajadores mexicanos, Colonia FOVISSTE.	Centro.
Naranja 3	49	Juan de Dios, Colonia Lomas de sta. Maria.	Arrocena (Esq. Avena), Frac. Los Angeles.
Naranja 3 Erandeni	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Naranja 3 Galaxia	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Negra	25	Av. Del Obispo. Col. Manantiales del obispo.	Ahuizotl, Colonia Ejidal Ocolucen.
Oro-verde	42	Colonia Trincheras.	Circuito Trabajadores de la educacion, Col. La Soledad.
Roja 1	50	Carlos Roviroza (Esq. Jose del Rio), Col. Tierra y Libertad.	Chicalote (Esq. Linaza), Col. Lomas del Punhuato.
Roja 2	Sin datos.	Sin datos	Sin datos.
Roja 2 Oken	25	Periban (Esq. Caracuaro), Fracc. FOVISSTE Acueducto.	Loma del Rey, Col. Lomas del Valle.
Roja 3	25	Av. Michoacan (Esq. Cantera), Fracc. INFONAVIT la Colina.	Fray Antonio de Lisboa, Col. Fray Antonio de Lisboa.
Roja 3 A	26	Adolfo R. Cortinez (Esq. U. Profesional Zacatenco), Col. Irrigacion	Futurama.
Roja 3 B	26	Doceava, Col. Guadalupe.	Batazar Echaviz, Fracc. Ejidal
Roja 4	23	Florentino Mercado (Esq. Lic. Luis Couto), Col. la Quemada.	Benito Muños (Esq. Nueva Tepeyac), Col. Nueva Punhuato.
Roja 4 A	23	Ahuehuete (Esq. Beleño), Col. Nicolas Romero.	Maria Manuela Medina, Col. Niño Artillero.
Roja 4 M	20	Ahuehuete (Esq. Beleño), Col. Nicolas Romero.	Manantiales del Quinceo (Esq. Manataiales del onispo), Col. Manataiales de Morelia.
Roja 4 Zindurio	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Rosa 1	34	Holanda (Esq. Viena), Fracc. INFONAVIT Valle Quieto.	M. Romero (Esq. Albino Zertuche), Col. El Realito.
Rosa 2	24	Av. El Vivero, Fracc. El Vivero.	Guadaupe Victoria (Esq. Cerro de Zitacuaro), Fracc. INFONAVIT Loma Bonita.
Rosa 2 B	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Rosa 3	20	Joaquin Guerra (Esq. Circuito Ignacio Rayon), Col. Torreon Nuevo.	Centro.
Verde 1	36	Av. Del Campestre (Esq. Av. Camelinas)	Av. Siervo de la Nacion, Col. Sentimientos de la Nacion (SEP).
Verde 2	36	Av. Del Campestre (Esq. Av. Camelinas)	Av. Siervo de la Nacion, Col. Sentimientos de la Nacion (SEP).
Verde 3	18	Circuito Mintzita, Fracc. Manantiales de Morelia.	Centro.

Verde 4	41	Jose Nicolas de Michelena, Fracc. Michelena.	Lic. Natalio Vazquez Pallares (Esq.Alberto Coria), Col. Primo Tapia.
Verde 4 B	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.

Tabla 11 Rutas del transporte público “combi” en Morelia en el año 2000. Fuente: Programa parcial de desarrollo urbano del centro histórico de Morelia, Michoacán.2001.

Con respecto a las rutas urbanas y suburbanas que funcionan con unidades de transporte público “camión”, el parque vehicular sumaba para el año 2000, 454 unidades de transporte urbano; 240 microbuses, 194 minibuses y 20 camiones.

En la Tabla 12, (elaborada por la jefatura de operaciones de la dirección de transportes del estado en febrero de 1999); se observan por número, las rutas dependientes del transporte público “camión”, así como una descripción breve de su origen y destino.

Nótese de la Tabla 12, que el transporte público “camión” ruta no. 1 “circuito periférico” constaba de 47 unidades divididas en dos categorías “A y B”.

No. Ruta	Ruta	No. Unidades	Origen	Destino
1	Circuito Periferico A.	24	INFONAVIT Manatiales.	Crucero Salida Charo.
2	Circuito Periferico B.	23	INFONAVIT Manatiales.	Crucero Salida Charo.
3	Centros Comerciales.	32	Col. Leandro Valle.	Gigante.
4	Alberca A (Col. M. Ocampo).	30	Col. Gertrudis Sanches.	Gigante.
5	Alberca B (Col. Industrial).	Sin datos.	Col. Gertrudis Sanches.	Gigante.
6	Circuito Carrillo.	22	Col. Adolfo Lopez Mateos.	Gigante.
7	Circuito San Juan.	1	San Juanito Itzicuaró.	Gigante.
8	Santa Maria.	15	Col. Trincheras de Morelos.	Col. Obrera.
9	Magisterio A (P. Juarez).	Sin datos.	Fracc. Xangari.	Merc. San Juan.
10	Magisterio B (SEP).	Sin datos.	Fracc. Xangari.	Merc. San Juan.
11	Santiaguito A (R. del Ch.).	21	Col. La Soledad.	C.U.
12	Santiaguito B (F. del R.).	Sin datos.	Col. La Soledad.	C.U.
13	Industrial.	20	La Aldea.	Col. Jacarandas.
14	Panteon.	21	Col. Colinas del Sur.	Col. 20 de noviembre.
15	Lago.	20	Hospital del ISSSTE.	Fracc. Valle Quieto.
16	Tenencia Morelos.	6	Tenencia Morelos.	Antonio Alzate.
17	Directo.	20	Jose Maria Morelos.	Cruzera a Mil Cumbres.
18	Popular.	21	Fracc. Xangari.	Hospital del ISSSTE.
19	Exp. Cd. Universitaria A.	16	C.U.	Bucareli.
20	Exp. Trincheras-San Fco.	18	Col. Trincheras de Morelos.	San Francisco.
21	Exp. Torrecillas-San Fco.	Sin datos.	Col. Torrecillas.	San Francisco.
22	Exp. Indeco A.	5	Bosque Cuahutemoc.	Direcc. de Pol. y

				Tto.
23	Exp. Indeco B.	Sin datos.	Bosque Cuahutemoc.	Direcc. de Pol. y Tto.
24	Exp. L. de Morelia-San Fco.	10	Fracc. Lomas de Morelia.	San Francisco.
25	Exp. Cd. Industrial-San Fco.	Sin datos.	Ciudad Industrial.	San Francisco.
26	Exp. Punhuato-E. Ruiz.	25	Sindurio Norte.	Col. Punhuato.
27	Exp. P. Verdes A.-San Fco.	7	Col. Solidaridad.	San Francisco.
28	Exp. P. Verdes B.-San Fco.	6	Col. Solidaridad.	San Francisco.
29	Exp. Soleada-San Fco.	Sin datos.	Col. Soledad.	San Francisco.
30	Exp. Cd. Universitaria B.	16	C. U.	Bucareli.
31	Exp. Carrillo-J. del Monte.	9	Carrillo.	Jesus del Monte.
32	Exp. L. del Ped.-San Fco.	13	Col. Tanganxoan.	San Francisco.
33	Exp. Niño Artillero-San Fco.	Sin datos.	Col. Niño Artillero.	San Francisco.
34	Exp. I.T.A 7-Balc. De Morelia.	Sin datos.	I.T.A. 7.	Fracc. Balc. de Morelia.
35	Exp. Torrecillas-San Juanito Itzicuaró.	Sin datos.	Col. Torrecillas.	San Juanito Itzicuaró.
36	Atecuaro.	1	Carrillo.	Atecuaro.
37	Joyitas.	1	Fracc. Xangari.	Joyitas.
38	San Bernabe.	1	Fracc. Xangari.	San Bernabe.
39	San Jose Itzicuaró.	1	Fracc. Xangari.	San Jose Itzicuaró.
40	San Juanito Itzicuaró.	6	Fracc. Xangari.	San Juanito Itzicuaró.
41	Torreon Nuevo.	Sin datos.	San Jose.	Gertrudis Sanches.
42	Lucio Cabañas.	Sin datos.	Carrillo.	Col. Lucio Cabañas.
43	Las Palomas.	1	Carrillo	Las Palomas.
44	Carrillo-San Miguel del M.	1	Carrillo	San Miguel del Monte.
45	Carrillo-San Jose de las T.	1	Carrillo	San Jose de las Torres.
46	Punhuato-Niños heroes.	Sin datos.	Sindurio Norte.	Punhuato.
47	Nueva Esperanza-San Fco.	8	Col. Nueva Esperanza.	San Francisco.
48	El Durazno.	Sin datos.	El Durazno.	Col. Obrera.

Tabla 12 Rutas del transporte público "camión" en Morelia en el año 2000. Fuente: Programa parcial de desarrollo urbano del centro histórico de Morelia, Michoacán.2001

3.5 ESTUDIOS SIMILARES.

Muchos estudios similares al que se está realizando en este trabajo se han realizado a nivel global, sin embargo cabe resaltar los estudios que por su similitud se han desarrollado en México.

Fernández-Bremauntz, Adrian A. y Ashmore, Michael R (1991), realizaron el primer estudio de medición de concentraciones de CO en el interior de

vehículos de uso de transporte público en la Ciudad de México, es fundamental ya que ha sido pionero, pues en su mayoría los trabajos realizados hasta entonces en Estados Unidos se centraron en medir los niveles de exposición de CO en el interior de los vehículos particulares, que son el tipo de transporte más usual en dicho país.

En este trabajo las mediciones se efectuaron en el invierno de 199,1 de enero a marzo, la recolección de datos se efectuó en el interior de cinco diferentes tipos de transporte público, minivan(“combi”) ,minibús, autobús (“camión”) trolebús y metro (o tren ligero) y en el transporte privado (vehículos de cuatro cilindros); las mediciones se efectuaron a lo largo cinco rutas de trayectos diferentes, seleccionadas debido a que por ellas circulan por lo menos dos tipos de transporte publico diferentes y poseían una carga diferente de tráfico, además abarcaban zonas donde se a conglomeraba la gente.

Las mediciones se hicieron de lunes a viernes, en dos sesiones por día, en horas pico durante la mañana y la tarde, de 06:30 a 09:30 horas y de 17:30 a 20:30 horas, con diferentes direcciones, de norte a sur en la mañana y de sur a norte en la tarde, los recorridos se hicieron de ida y de vuelta.

Las muestras se tomaron, tanto para el transporte público, como para el vehículo particular en la parte delantera del vehículo, los viajes en coche se hicieron tratando de sincronizarlos con los viajes del transporte público.

Los coches y vehículos del transporte público siempre que circularon lo hicieron con la ventanilla del piloto a la mitad y las otras cerradas, sin calefacción ni aire acondicionado, además que en el transporte público siempre hubo algunas ventanillas abiertas.

Los resultados obtenidos fueron: las concentraciones más altas de CO se obtuvieron en los vehículos que circulan con gasolina, es decir, en las minivan (“combi”) y en los vehículos particulares siendo este último el que presentaba un nivel de concentración mayor; mientras que los niveles de CO, fueron menores en los vehículos que circulan con diesel, autobús (“camión”) y trolebús, mientras que las concentraciones más bajas se obtuvieron en el metro.

Se observó que las diferencias en las concentraciones de CO que se encontraron entre los diferentes tipos de transporte, pueden deberse a factores tan diversos como, la altura del vehículo y el carril por el que circulan los diferentes tipos de transporte.

Wöhrensimmel Henry, Zuk Miriam, y colaboradores (2005) realizaron otro estudio en la Ciudad de México, que consistió en medir en el interior del vehículo las concentraciones de CO, benceno, PM_{2.5} y PM₁₀, antes y después de implantar en la ciudad la red de transporte público, metro-bus, BRT por sus siglas en inglés (Bus Rapid Transit); y que demostró que se abaten los tiempos de traslado y se mejora realmente la calidad del aire que respira la gente mientras viaja en el interior del metro-bus.

En el año 2005 se puso en funcionamiento el BRT (metro-bus) el cual opera a lo largo de 20 km sobre la avenida Insurgentes, con 98 autobuses articulados de alta capacidad (160 pasajeros) con motor diesel moderno y que viaja en carriles separados.

Este estudio consistió básicamente de dos periodos de medición el primero de mayo a agosto del 2004 el cual se efectuó en el interior de minibuses y autobuses a lo largo de la misma avenida; mientras que el segundo periodo de medición se efectuó de agosto a octubre del 2005, ya con el BRT en funcionamiento y los minibuses y autobuses fuera de servicio. Los dos periodos de medición se efectuaron solo por las mañanas de 7:30 a 9:00 horas. En este estudio se comprobó que las concentraciones promedio de CO son mayores para los minibuses y autobuses en comparación con las del metro-bus. Así como también una reducción significativa del tiempo de viaje.

Las reducciones observadas después de este cambio en el sistema de transporte público fueron considerables y significativos para CO, benceno y PM_{2.5}, que son contaminantes asociados principalmente con las emisiones vehiculares. Para estos contaminantes, las reducciones después de la implementación del BRT representaron en promedio el 45%, 69% y 30% menos en relación a los minibuses respectivamente y un promedio de 25%, 54% y 20% menos respectivamente, en relación a los autobuses.

A partir de estos resultados se concluyó que las exposiciones de los pasajeros a los contaminantes del aire durante los desplazamientos se podrían reducir de manera efectiva por los sistemas BRT, este resultado puede ser debido a la optimización de la ventilación de los metro-buses, la altura de su entrada, y la distancia que rodea a las fuentes vehiculares, ya que el metro-bus circula por una carril especial, al cual solo tiene acceso el propio metro-bus.

3.6 ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULARES EN MORELIA, MICHOACÁN.

En noviembre de 2008, el INE realizó una serie de trabajos de campo en la ciudad de Morelia, con la finalidad de obtener información que permitiera elaborar un diagnóstico de las condiciones de las emisiones y actividades bajo las cuales circulaban los vehículos automotores de dicha ciudad. Los trabajos de campo consistieron en la medición de emisiones vehiculares y la recopilación de datos de la composición y actividad de la flota vehicular.

El índice de motorización de la ciudad era de 303 vehículos por cada mil habitantes, esto es comparable con otras ciudades del país, para ese mismo año, 2008, por ejemplo la ZMVM contaba con una tasa de 390 vehículos por cada mil habitantes, véase Ilustración 24.

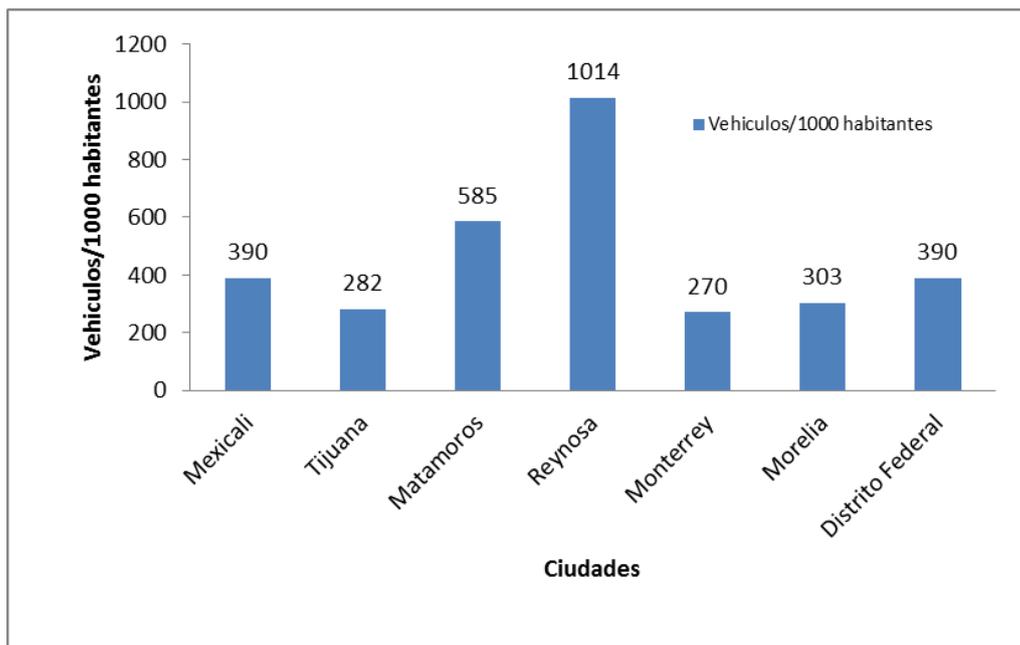


Ilustración 24 Índice de motorización de Morelia y algunas ciudades de la república mexicana.
Fuente: Estudio de emisiones y actividad vehiculares en Morelia, Michoacán. 2010.

Otro dato importante que se obtuvo fue la composición de la flota vehicular pues proporcionaba información acerca del tipo de vehículos que circulaban, de acuerdo a su carrocería; es decir, si son vehículos automotores compactos, SUV, van, pick up y camiones pesados. Esta clasificación del parque vehicular es importante, debido a que cada tipo de vehículo tiene características muy particulares, como: peso, sistema de control de emisiones, número de cilindros, cilindrada, tipo de combustible que utilizan, entre otros, los cuales influyen directamente en la cantidad y el tipo de contaminantes que emiten a la atmósfera. Los resultados obtenidos fueron que del 100% de vehículos que se tomaron en cuenta durante el estudio el 64.37% eran automóviles particulares; 18.1% eran pick up; 2.8% van; 14.24% SUV y 0.43% camiones pesados.

Se obtuvo además el modelo de 19,772 vehículos fotografiados. La antigüedad promedio de todo el parque vehicular que circulaba en Morelia. De acuerdo con los resultados obtenidos, el 65% de los vehículos tenían una antigüedad menor o igual a 10 años y el 35% mayor a 10 años de antigüedad.

Un análisis importante que no debemos pasar por alto, por los resultados obtenidos, es el de la edad de la flota vehicular por el tipo de servicio que ofrecían, es decir, si se utilizaba para servicio particular o de servicio público (taxis y “combis”, que son del tipo autos compactos SUV y van respectivamente), dicho análisis muestra que los vehículos de servicio público son comparativamente más nuevos que los de servicio particular, pues de éstos, el 62% tenía menos de 10 años de edad, mientras que del servicio particular, el 83% presentaba edad mayor a 10 años.

Para el análisis del comportamiento de las emisiones vehiculares de la ciudad de Morelia, el análisis se dividió en dos categorías que consideraba los siguientes grupos vehiculares: 1) antigüedad de diez años o más (1998 y anteriores) y 2) antigüedad menor a diez años (1999 y posteriores). El análisis de las emisiones bajo esta clasificación tenía la finalidad de observar la relación entre las emisiones y la antigüedad y tecnología del vehículo.

En cuanto para las emisiones del CO se obtuvo, que del total de las lecturas de emisiones utilizadas para este análisis, 38% corresponden a vehículos 1998 y anteriores; y el 62% a vehículos modelo 1999 y posteriores. Después del

análisis de estos datos se pudo concluir que el 98% de los vehículos más antiguos emiten 3 veces más CO, que el 98% de los más recientes.

Uno de los principales factores que influyen en la emisión de contaminantes provenientes de los vehículos automotores es la actividad del vehículo, es decir, la distancia que recorre en un determinado periodo de tiempo. Por ejemplo, generalmente los vehículos de uso intensivo como los del transporte público recorren distancias más grandes que los vehículos de uso particular.

Con la finalidad de observar el comportamiento de las emisiones en vehículos de uso particular y público para la ciudad de Morelia, se compararon las emisiones de los vehículos de uso particular y los de uso público, "taxis". Para llevar a cabo esta comparación, se hizo la estratificación de los vehículos particulares (vehículos compactos, de lujo y deportivos) y los "taxis" en dos grupos de nuevo, 1998 y anteriores y 1999 y posteriores. Los resultados del promedio por estrato vehicular muestran que los taxis 1999 y posteriores emiten, en promedio, 80% más CO que los vehículos particulares del mismo estrato, lo cual puede explicarse debido al desgaste que sufren los taxis. Sin embargo, en el estrato 1998 y anteriores, los vehículos de uso particular emiten en promedio 53% más CO que los taxis, lo cual se podría explicarse debido a la edad del parque vehicular, ya que están en circulación vehículos de uso particular más antiguos que los taxis.

El interés por comparar las emisiones provenientes de las SUV y van de uso particular y público, de la ciudad de Morelia es debido a que es uno de los principales medios de transporte público, las "combis" (categorizadas como SUV/van por su capacidad y peso), por lo que resulta importante observar el comportamiento de las emisiones para vehículos de uso intensivo contra otros con un uso menos intenso. El análisis de emisiones se realizó también para dos estratos vehiculares: 1998 y anteriores y 1999 y posteriores.

Se obtuvo que las SUV/van de servicio público para los estratos 1998 y anteriores, y 1999 y posteriores, emiten 119.8% y 168.2% más CO, respectivamente, que las SUV/Van de uso particular. Esta diferencia en emisión puede explicarse por la actividad y el desgaste que sufren las SUV/van

de servicio público con respecto a las de uso particular. (INE, SEMARNAT, DGICUR, DGCENICA, 2010).

4 ESTANCIA

4.1 ESTANCIA EN EL INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMATICO (INECC). EN EL CENTRO DE NACIONAL DE INVESTIGACION Y CAPACITACION AMBIENTAL (CENICA).

Con el fin de poder recibir capacitación de tipo práctico- teórico, en el área de contaminación atmosférica, realice una estancia en el INECC en el CENICA que es un centro regional de referencia en monitoreo y contaminantes atmosféricos, sustancias tóxicas y desechos peligrosos para apoyo del manejo del medioambiente en México, Centro América y el Caribe.

La misión de esta institución es generar información técnica y científica para apoyar las decisiones en materia de política pública y dar peso a sus decisiones, así como mejorar las habilidades de los técnicos y servidores públicos de México.

El CENICA tiene una participación activa en programas nacionales e internacionales para poder generar información confiable en temas como exposición de las personas a contaminantes atmosféricos, manejo y tratamiento de residuos, tratamiento seguro de sustancias químicas, métodos analíticos y desarrollo de programas de intercalibración y entrenamiento de servicio técnico.

4.2 UNIDAD UAM 1 IZTAPALAPA, MEXICO D.F.

Realice una estancia en el INECC en el laboratorio del CENICA supervisado por mi asesor de tesis M.C. Roberto Basaldud Cruz, del 15 de julio al 16 de agosto de 2013 con el objetivo de capacitarme.

El CENICA es un centro desarrollado entre los gobiernos de México y el de Japón, el Instituto Nacional de Ecología, la Universidad Autónoma Metropolitana y la Agencia de Cooperación Internacional (JICA); cuyo fin es promocionar la experimentación en diferentes áreas como es:

- Contaminación atmosférica
- Residuos
- Sustancias Tóxicas

- Sitios Contaminados
- Transgénicos entre muchos otros.

La unidad que se localiza en Iztapalapa que se conoce como Edificio de Ciencia y Tecnología Ambiental, que se especializa en contaminación atmosférica, para lo cual cuenta con una serie de laboratorios que analiza cada una de las áreas de la contaminación atmosférica para lo cual cuenta con los siguientes laboratorios:

- Laboratorio de Estabilización y desarrollo de métodos
- Laboratorio de compuestos volátiles
- Laboratorio de aire
- Laboratorio de absorción atómica
- Laboratorio de Cromatografía de líquidos
- Laboratorio de físico-químicos
- Laboratorio de cromatografía de gases



Ilustración 25 Edificio donde se localiza el CENICA en la UAM Iztapalapa

La capacitación que recibí fue en los laboratorios de aire, de cromatografía de gases y laboratorio de compuestos volátiles, donde se me oriento a los estudios de exposición personal, tanto de equipo de campo como equipo de laboratorio especializado, la capacitación estuvo a cargo del M.C. Roberto Basaldud Cruz asesor y subdirector del área y del Ing. Felipe Ángeles técnico de los equipos muestreadores de partículas, Biol. Salvador Blanco Jefe de laboratorios, Valter Armando Barrera jefe del laboratorio de COVs así como del Dr. Miguel Magaña de Cromatografía de gases.



Ilustración 26 Dr. Valter Armando Barrera encargado del laboratorio de COV's

4.3 UNIDAD TECAMACHALCO, NAUCALPAN, EDO. DE MEXICO

Además realice una breve estancia en la unidad de CENICA que se ubicada en Tecamachalco en el Laboratorio de Calibraciones y Transferencia de Estándares, la cual se especializa en la calibración de equipo automático de monitoreo atmosférico mediante analizadores, donde se encuentra el estándar primario de ozono y se da apoyo mediante una estación móvil de meteorología y de analizadores de contaminantes criterio, la capacitación estuvo a cargo del ingeniero Miguel Noyola Poblete



Ilustración 27 Estándar primario Nacional de Ozono

5 JUSTIFICACIÓN

La ciudad de Morelia es una ciudad con graves problemas viales y de urbanismo, además de transporte público ineficiente, por lo tanto es de gran interés conocer el tipo y calidad de aire a la que están expuestos los usuarios diariamente.

El municipio de Morelia se caracteriza por ser una de las ciudades de mayor crecimiento demográfico, se suma a ello un crecimiento no controlado del parque vehicular y particularmente del transporte público. También existen problemas muy serios, como la insuficiencia de avenidas, calles, arterias viales, etc., en relación con los automóviles que circulan diariamente. Todo esto contribuye al aumento de las emisiones del monóxido de carbono y de partículas $PM_{2.5}$, lo que conlleva un alto grado de exposición de las personas (choferes y pasajeros) que usan diariamente el transporte público.

La falta de estudios realizados sobre la exposición del monóxido de carbono y de $PM_{2.5}$ de los usuarios en el interior del transporte público, pueden llegar a concientizar y contribuir a minimizar los impactos que a largo plazo podría incidir en la salud general, así como en la productividad de la población expuesta. De ahí, surge la necesidad de conocer la exposición al CO y de $PM_{2.5}$ en los lugares donde la población está más expuesta, que son las avenidas de gran circulación vehicular.

Además de poder establecer políticas a futuro o sistemas de transporte público más sustentable; lo requiere que sea tecnológica y eficiente en términos que minimice el tiempo de viaje, que abarate los costos de traslado y disminuya las emisiones de contaminantes a la atmosfera.

Este trabajo está encaminado a determinar las concentraciones de los contaminantes monóxido de carbono y de partículas $PM_{2.5}$, a los que se expone un usuario normal, en los dos tipos principales de transporte público que hay en el libramiento (“combis” y “camión”), en un trayecto completo, que realiza la ruta en diferentes horas y encontrar tanto las diferencias como las posibles similitudes.

6 HIPÓTESIS

La población usuaria del transporte público en el Periférico o libramiento de la ciudad de Morelia, presentan diferencia de niveles de exposición de contaminantes, en base a dos tipos diferentes de transporte público, que tienen exactamente la misma ruta en base principalmente al tipo de vehículo.

7 OBJETIVO

7.1 OBJETIVO GENERAL:

Determinar la concentración del contaminante monóxido de carbono y partículas menores a 2.5 μm y conteo de partículas, a los que se expone la población usuaria del transporte público combis y microbuses en el Periférico de Morelia y evaluar cuales es más contaminante.

7.2 OBJETIVO ESPECIFICO:

- Determinar las zonas o sitios del Periférico en donde la gente se expone a una concentración más elevada de contaminantes.
- Desarrollar una campaña monitoreo donde se determine mediante el conteo y concentración de partículas y mediciones de niveles de CO en los dos tipos de transporte público.
- Determinar los diferentes niveles de exposición de partículas $\text{PM}_{2.5}$ y CO a lo largo del trayecto para los dos tipos de transporte público evaluarlos y compararlos.
- Determinar el nivel de exposición de contaminantes en diferentes horarios y determinar los horarios de mayor exposición.
- Determinar el nivel de exposición de contaminantes representativos de hora, semana, día.
- Realizar mediante microscopio electrónico de barrido la revisión de los filtros(muestras), para determinar la morfología de algunas de las partículas encontradas, diferencia de morfología y composición de las partículas mediante el MEB

8 METODOLOGIA

8.1 SELECCIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO Y RUTA

La campaña se realizara en la ciudad de Morelia, se contemplaran dos tipos de vehículos que se emplean como transporte público, las “combis” y los “camiones”, que típicamente son los llamados microbuses (figura 25), que de acuerdo a estudios realizados la flota vehicular que circula en la ciudad tiene un poco más de 2, 200 unidades; y en las “combis”, que es el medio de transporte que presenta menos espacio en comparación con el “camión” por pasajero, en ocasiones con menos ventilación y con una flota más abúndate que los “camiones”.

La ruta que se seleccionó es el libramiento o Periférico Independencia (figura 25), debido a que esta ruta rodea la ciudad de Morelia y es una de las arterias principales de la ciudad para cualquier salida hacia otro estado o Municipio, ya que cuenta con las salidas al municipio de Quiroga, la salida a la ciudad de Guadalajara, a zona de Mil cumbres y al municipio de Pátzcuaro, entre otros. El libramiento también conecta a muchas de las calles y avenidas principales de la ciudad, como la avenida Madero, Periodismo, Ventura Puente, Solidaridad, Calzada Juárez, Santa María, Metrópolis, Quinceo entre otras, además conecta con algunas de las principales zonas comerciales de la ciudad como Plaza Fiesta Camelinas, Plaza las Americas, Plaza Morelia, etc, la central de Autobuses de Morelia, Mercado de abastos, algunas oficinas de gobierno como Casa de Gobierno, Centro de Convenciones, CONAFOR, Poder Judicial de la Federación.

Debido a esto el libramiento es una de las arterias con mayor circulación movilidad de personas en toda la ciudad de Morelia.

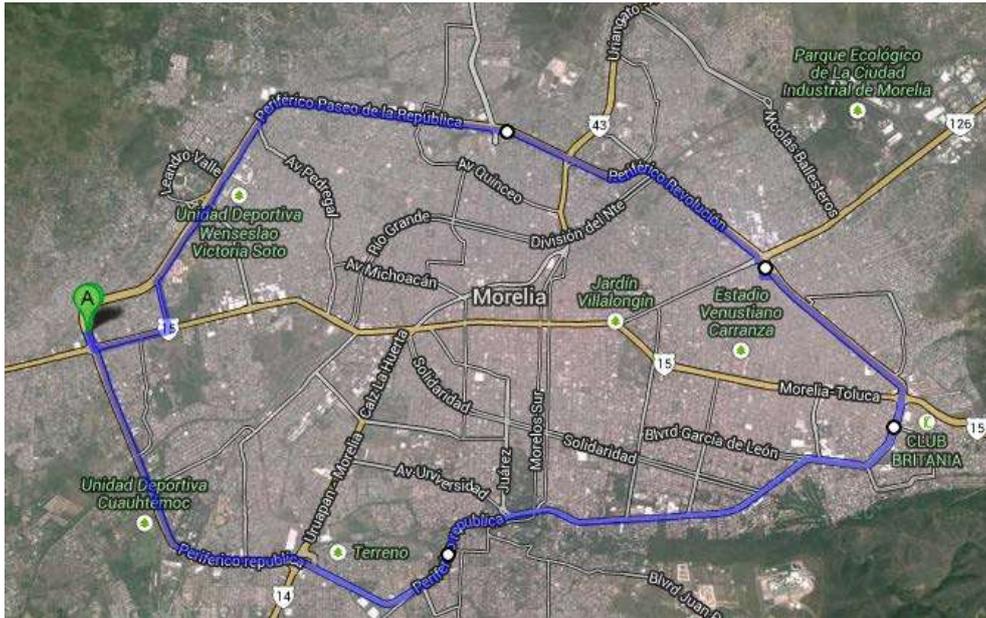


Ilustración 28 Mapa con el trayecto de muestreo, línea azul, en el libramiento. Fuente: (www.earth goolge.com , 2008)

8.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

La ciudad de Morelia es la más poblada del estado de Michoacán de Ocampo, la más importante del estado, desde el punto de vista social, económico, cultural y político.

La principal actividad económica de Morelia son los servicios y turismo este último de gran importancia ya que anualmente se realizan múltiples eventos turísticos, sociales y culturales, por ejemplo los festivales internacionales de cine, música etc,

La ciudad se encuentra geográficamente en un valle, rodeado de lomas y colinas; las más representativas son el cerro de Punhuato, el cerro del Quinceo y la loma de Santa María. La ciudad de Morelia es la tercera ciudad más poblada de la Región Bajío, solo superada por León y Querétaro (www.inegi.gob.mx, 2010).

La distancia del periférico es de aproximadamente de 26.8 km (www.earth goolge.com , 2008) y su tiempo de recorrido depende de la hora del día a la que se haga, además de las condiciones meteorológicas.

Las características geográficas, meteorológicas y climáticas de una región, representan los principales factores que condicionan la acumulación y la poca dispersión de los contaminantes. Otros factores a considerar cuando se requiere llevar a cabo un monitoreo de partículas suspendidas, son:

- Precipitación pluvial, y humedad relativa.

Resulta recomendable evitar la temporada de lluvias e incluso la humedad relativa alta en la capa límite, debido a que se presenta la disminución de los niveles de dichos contaminantes, como los provenientes de la resuspensión del suelo.

- Movimientos del viento.

Es necesario considerar los movimientos de velocidad y dirección ocasionados por el viento, ya que en función de ellos, se identifican las condiciones meteorológicas que afectan a determinado lugar. Además, la intensidad del viento puede determinar si los contaminantes en capas cercanas a la superficie, se acumulan o se dispersan. La dispersión vertical de los gases contaminantes en la atmósfera depende en gran medida de la estabilidad y turbulencia de la zona, además del calor y la fricción producida por los vientos y la superficie del suelo.

Se establecen los procedimientos empleados con el fin de cumplir con los objetivos propuestos al inicio de este estudio, por medio de la colecta de muestras de aerosoles atmosféricos, conteo de partículas, caracterización de partículas y determinación de concentraciones de monóxido de carbono.

8.3 DISEÑO DE CAMPAÑA DE MUESTREO.

La recolección de datos, se realizó en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

Primera Etapa: Del 21 al 26 de octubre de 2013, la primera semana se empleó para realizar la medición en “combi” y la segunda semana se realizó en “camión”, ya que solo se tiene un equipo de cada uno, se hicieron mediciones para determinar la concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de

carbono (CO₂) y conteo partículas (PM_{2.5}). Se analizaron y midieron los niveles de exposición de CO, de conteo de partículas menores a 10 micras y de 2.5, temperatura, humedad relativa y del tiempo del trayecto completo, en el interior de los dos tipos de vehículos de transporte público seleccionados durante el viaje como pasajero, a lo largo de una ruta de libramiento. Se seleccionaron 5 tipos diferentes de horarios, con el fin de poder establecer los más críticos para el usuario, 2 por la mañana (07:00 a 08:00 y 10:00 a 11:00 horas), 2 horarios por la tarde (13:00 a 14:00 y 16:00 a 17:00 horas) y por último uno de noche (19:00 a 20:00 horas), para determinar los horarios de mayor exposición y los tiempos de duración, durante 6 días de muestreo de lunes a sábado, suponiendo que el domingo es el día de menor exposición, así como las diferencias microambientales de los usuarios, para lo cual se emplearon los formatos de los anexo 1.

Segunda Etapa: La segunda etapa consistió en realizar un muestreo del 17 de febrero al 22 de febrero de 2014, la recolección de partículas suspendidas de la fracción respirable (PM_{2.5}) en el transporte público que circula sobre Libramiento o Periférico de la ciudad de Morelia, por medio de dos bombas personales tipo SKC las cuales se ajustaron a un flujo de 4 l/min, calibradas por medio de un estándar primario del CENICA y con un muestreador PEM (personal exposition monitoring) de 2.5 µm para un flujo de 4 l/min, para poder obtener concentración de partículas, con un filtro de teflón marca PAL, pre pesado y acondicionado en el laboratorio de aire del CENICA, el muestreo se trató de realizar de forma casi simultánea en los dos tipos de transporte a lo largo de todo el libramiento, tomando como referencia la salida Quiroga (Tabla 14, foto 24), para ello se seleccionaron solo los 3 horarios que presentaron mayor exposición a los contaminantes, de acuerdo a lo realizado en la campaña número uno, que fueron: 07:00 a 08:00 horas, 14:00 a 15:00 horas y de 19:00 a 20:00 horas, para lo cual se emplearon 3 filtros por día para un total de 6 días por semana, en los dos tipos de transporte seleccionados, una vez obtenidas las muestras, fueron llevadas al CENICA para ser acondicionados y pesados nuevamente y obtener los pesos finales y concentraciones, para ello se empleó una cadena de custodia de acuerdo al anexo 2.

Tercera Etapa: Esta última etapa se realizó con el fin de obtener muestras para mandar al MEB (microscopio electrónico de barrido) y para determinar la morfología de las partículas en ambos tipos transportes, para ello se empleó filtros de cuarzo los cuales fueron proporcionados por el CENICA, para lo cual se utilizó la misma bomba que en la campaña dos, el mismo PEM y a la misma presión de 4 l/min para emular las mismas condiciones, a los horarios de la campaña anterior, se utilizó un solo filtro para todos los horarios con el fin de concentrar la muestra en un periodo de una semana, uno para cada tipo de transporte, una vez realizado el muestreo se procedió a realizar la preparación de las muestras para que fueran llevadas al MEB.

El objetivo futuro de este estudio es determinar las concentraciones de contaminantes antes de la implementación de un sistema de transporte público de carriles confinados, como un transporte sustentable y evaluar el efecto de dicha medida en la concentración de contaminantes a los que están expuestos los usuarios del sistema y reducir el impacto en la salud (como el que existe en otros estados como en el Edo. De México y el D.F.).

8.4 DISEÑO EXPERIMENTAL:

En esta sección se describen los procedimientos empleados para el muestreo y medición y los métodos empleados para el análisis en laboratorio.

8.4.1 RUTA SELECCIONADA

El sitio seleccionado es el Libramiento o Periférico de la ciudad de Morelia, fue recomendado como estudio inicial, ya que tiene características importantes como:

- Rodea la ciudad conurbada de Morelia.
- Todas las entradas y salidas de la ciudad convergen en el libramiento como es la salida Quiroga, salida Salamanca, salida Mil Cumbres y salida Uruapan, salida Charo
- Es hacia donde convergen la mayoría de las calles principales de la ciudad como Avenida la Huerta, Periodismo, Ventura Puente, Calzada Juárez, Av. Madero Poniente y Oriente, Santa María, El Rio etc.
- La mayoría de las personas toman parcial o completamente el libramiento para ir a su destino.



Ilustración 29 En un mapa se muestran todas las estaciones de transporte público seleccionadas para realizar el primer muestreo. Fuente www.google.earth.com, elaboración propia

Las rutas seleccionadas son “camión” (conocido como Ruta 1) y “combi” (conocida como combi gris 1) y tienen las siguientes características en su parque vehicular:

Ruta	Tipo de Vehículo	Combustible	Tecnología	No de Horas que operan al día	Armadora	No personas que transporta
Ruta 1	Microbús de > 3 ton	Diésel y gas	Inyección electrónica	Variable	GMC y otros	19 sentados 15 parados
Gris 1	Combis y urban	Gasolina	Fuel inyección	Variable	Nissan, VW y Toyota	15 sentados 7 parados

Tabla 13 Características generales de los vehículos de estudio



Ilustración 30 Camión de transporte público de Morelia



Ilustración 31 Combi del transporte público de Morelia

Las paradas seleccionadas para realizar el muestreo de la primera etapa de muestreo que se observan en la tabla 14, se seleccionaron de acuerdo a cubrir primeramente la ciudad de manera equitativa en dos secciones la zona norte 12 estaciones y la zona sur 13 estaciones, otro criterio de selección fue la representatividad y la fácil ubicación de dichas estaciones y por último que presentara condiciones distintas relacionado con el flujo vehicular que existe en el lugar. Las mediciones se llevaron a cabo de lunes a sábado, en la hora pico y mayor demanda de transporte público 07:00 a 8:00 horas, 10:00 a 11:00 horas, de 14:00 a 15:00 horas, 16:00 a 17:00 horas y de 19:00 a 20:00 horas, de la segunda etapa fue de 07:00 a 08:00 horas, 14:00 a 15:00 horas y de 19:00 a 20:00 horas, durante 6 días y la última etapa en los mismos horarios pero solo 3 días.



1.- Salida



2.- Pepsi



3.- Xangari



4.- Costco



5.- C de gobierno



6.- Zoológico



7.- Bodega Aurrera



8.- IMSS



9.- Office Depot.



10.- Plaza las Américas.



11.- Plaza Morelia.



12.- Mil Cumbres.



13.- Lancaster



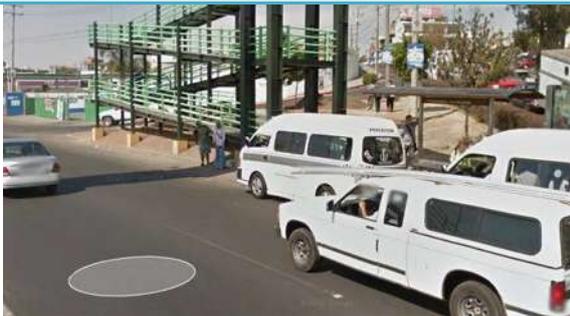
14.- San Rafael



15.- Motel Inn



16.- Salida Charo



17.- M. de Abastos



18.- Tec. de Morelia



19.- Torreón Nuevo



20.- Av. Huaniqueo



21.- Walmart



22.- Central de Autobuses



Tabla 14 Se muestran las diferentes Paradas de transporte público donde se realizaron las mediciones de conteo de partículas y de mediciones de monóxido de carbono. Fuente: www.google.maps.com

8.5 EQUIPO EXPERIMENTAL

8.5.1 EXPOSICIÓN PERSONAL DURANTE TRAYECTO

Para la medición de exposición personal en transporte público y privado se utilizó un equipo Fluke de monóxido y dióxido de carbono modelo 975; el cual se verificaba su operación todos los días antes de realizar las mediciones por medio de una determinación en condiciones normales, dos bombas de succión para el muestreo de partículas suspendidas, marca SKC, modelo 224-PCXR8, uno cuenta con un certificado de calibración vigente debido a que fue adquirido en el 2014 y ambos equipos fueron ajustados a un flujo de 4 l/min por medio de un estándar primario de medición de flujo marca BIOS del CENICA, dos muestreadores personales marca SKC, MSP-Corp, modelo 200 para la determinación de $PM_{2.5}$, un monitor portátil de conteo de partículas marca Fluke modelo 983 para conteo de partículas de $PM_{2.5}$. El pesado de los filtros fue realizado por el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) en el laboratorio de Gravimetría con condiciones de humedad y temperatura controladas por medio de una microbalanza de 5 dígitos marca Cahn y modelo C-35 (Ilustración 42).

8.5.2 NUMERO DE MUESTRAS

En la tabla 15 se presenta un resumen de las muestras colectadas durante las campañas de muestreo en el Libramiento para los distintos contaminantes

Fecha	Horario	Tipo	Fecha	Horario	Tipo
Primera campaña de muestreo					
02/12/2013	07:00	Combi	09/12/2013	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
03/12/2013	07:00	Combi	10/12/2013	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
04/12/2013	07:00	Combi	11/12/2013	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
05/12/2013	07:00	Combi	12/12/2013	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
06/12/2013	07:00	Combi	13/12/2013	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
07/12/2013	07:00	Combi	14/12/2013	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
Segunda campaña de muestreo					
17/02/2014	7:00	Combi	17/12/2014	7:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
18/02/2014	7:00	Combi	18/02/2014	7:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
19/02/2014	7:00	Combi	19/02/2014	7:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
20/02/2014	7:00	Combi	20/02/2014	7:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
21/02/2014	7:00	Combi	21/02/2014	7:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
22/02/2014	7:00	Combi	22/02/2014	7:00	Camión

	14:00	Combi		14:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
Tercera campaña de muestreo					
31/03/2014	Tres horarios campaña 2	Combi	25/03/2014	Tres horarios campaña 2	Camión
02/04/2014	Tres horarios campaña 2	Combi	27/03/2014	Tres horarios campaña 2	Camión
04/04/2014	Tres horarios campaña 2	Combi	29/03/2014	Tres horarios campaña 2	Camión

Tabla 15 Del número de muestras colectadas por punto de muestro

8.6 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN UTILIZADO DURANTE EL MUESTREO EN MICROAMBIENTE



Ilustración 32 Monóxido de Carbono
Fluke 973

Monóxido de Carbonoⁱⁱⁱ: Es un equipo que permite medir Temperatura, Velocidad, Humedad, CO₂, CO y es capaz de medir con precisiones de CO de

Rango: 0 a 500 ppm
Resolución de la pantalla: 1 ppm
Precisión: $\pm 5\%$ o ± 3 ppm, la mayor de ambas, a 20 °C y 50% H.R.

Y de CO₂ de

Rango: 0 a 5000 ppm
Resolución de la pantalla: 1 ppm
Precisión: Tiempo de calentamiento 1 min (5 minutos para la especificación completa) 2,75% + 75 ppm



Ilustración 33 Partículas Suspendidas PM 2.5

Partículas Suspendidas PM 2.5^{iv}

Se usó una bomba de succión para el muestreo de partículas suspendidas, marca SKC, modelo 224-PCXR8 con muestreadores personales marca MSP-Corp, modelo 200. La bomba succiona aire a través de un filtro de teflón, colocado en el impactador, sobre el cual se acumulan las partículas suspendidas. Se usó durante las mediciones en vehículos de transporte público y privado, así como en el punto fijo.



Ilustración 34 Impactador de PM 2.5

Impactador de PM 2.5^{xxxii} es un pequeño dispositivo de peso ligero, y personal de muestreo consiste en un impactador de una sola etapa y un después del filtro. Las partículas de aerosol se muestrean a través del impactador de una sola etapa para eliminar las partículas por encima del 50% del punto de corte de 2,5 ó 10 micras de diámetro aerodinámico. Estas partículas grandes se recogen en un anillo engrasado y se desechan después del muestreo. Las partículas más pequeñas que el 50% al punto de corte a través del impactador y se recogen en un post-filtro de 37 mm.



Ilustración 35 Contador de Partículas

Contador de Partículas PM 2.5^{xxxi} mide y representa en pantalla, simultáneamente, y en seis canales la distribución de tamaño de partículas, temperatura y humedad
Eficiencia del Recuento: 50% a 0,3 μm ; 100% para partículas > 0,45 μm (según JIS B9921:1997)
Caudal: 0,1 cfm (2,83 l/min) controlado por bomba interna
Canales: 0,3; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 μm

8.6.1 EQUIPO DE COLECTA

Para llevar a cabo un análisis efectivo de las partículas suspendidas de la segunda campaña, es primordial obtener una buena colecta para lo cual, se debe considerar el tipo de material y la cantidad de material que queremos captar, así como de la técnica analítica a emplear. Lo anterior influye en el equipo a seleccionar, ya que otro parámetro principal resulta la eficiencia de sus curvas de colecta, es decir que el equipo a lo largo del estudio pueda mantener la misma presión y flujo aunque exista una obstrucción en el filtro colector de muestra; por lo tanto es importante propiciar el muestreo con la misma velocidad a lo largo del evento. Esta situación es más preponderante cuando se trabaja con PM_{2.5}, debido a que la capacidad de colecta de estas partículas se vuelve muy sensible en función de la cantidad de materia que se desea absorber y de que en la actualidad existen técnicas analíticas como las descritas en este trabajo, con gran sensibilidad para el estudio de las partículas, que se han orientado de manera consistente a obtener información cada vez mejor y más precisa acerca de la composición química de los aerosoles, en particular de los antropogénicos (R., Analytical Chemistry of Aerosols, 1999).

En el compartimento inferior del PEM se localiza un anillo desmontable de plástico con base metálica donde se coloca el filtro de depósito previamente pesado, después el anillo se ensambla nuevamente en el compartimento

inferior y se enrosca al cuerpo cilíndrico. El siguiente paso es colocar la boquilla selectiva, para este estudio la correspondiente a $PM_{2.5}$, la cual se coloca en su base con unas gotas de una solución de grasa de silicio. Esta solución se evapora en unos cuantos minutos y tiene como finalidad la retención de partículas no seleccionadas (J., 1999). Posteriormente, se ensambla la boquilla en el compartimento superior y se ajusta una tapa de protección. Es necesario incluir junto a las cajas una hoja de registro de los filtros (ilustración 36). En las ilustraciones 37 y 38 se observa la forma correcta en la que se emplea este dispositivo junto con sus bombas, cabe señalar que para la colecta se empleó un cabezal de mini volt con el seleccionador de $PM_{2.5}$ para utilizarlo como control.

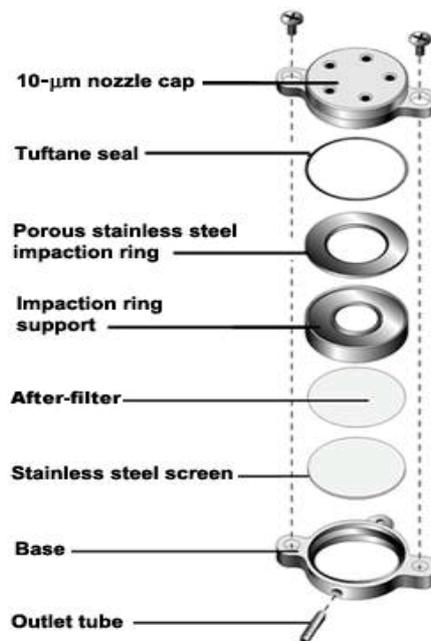


Ilustración 36 Composición del MEP monitor de exposición personal de 2.5μ . Fuente: (www.skcin.com)



Ilustración 37 El estudiante Fernando lleva consigo un equipo SKC con el MEB



Ilustración 38 El estudiante Daniel lleva consigo un equipo SKC con el MEB

8.6.2 SELECCIÓN DE FILTROS.

Para la segunda y tercera etapa, resulta necesario que el equipo de monitoreo cuente con un particular tipo de filtros de colecta que permitan su mejor funcionamiento y que permita efectuar un análisis óptimo.

Los filtros consisten en mezclas de material fibroso o membranas plásticas que permiten la colecta de material en ellos por medio de la incrustación, intercepción o depósito. Se debe considerar que presenten las siguientes características; estabilidad mecánica en el equipo, estabilidad química (no deben reaccionar), estabilidad a la temperatura (no deben cambiar en sus propiedades). No deben variar químicamente, cuando son analizados, capacidad de carga y resistencia al flujo, además de costo y disponibilidad (R., Analytical Chemistry of Aerosols, 1999).

Los filtros seleccionados y que responden adecuadamente a las cualidades anteriores se describen en la tabla 16.

Característica	Fracción Fina	Fracción Fina
Material del filtro	Teflón	Cuarzo
Diámetro	37 mm	37 mm
Tamaño de poro	0.2 en	0.2 en
Marca	Pall	Pall
Recomendado	Toma de muestra	Microscopio electrónico

Tabla 16 Características principales de los filtros a utilizar

8.7 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MUESTREO.

Las principales condiciones para realizar este monitoreo consistieron en:

- Se seleccionó la determinación de la concentración de Monóxido de carbono, temperatura, humedad relativa, mediante el equipo Fluke 975 (ver figura 32) y el conteo de partículas $PM_{2.5}$ se realizó mediante el equipo Fluke 983 (ver figura 35).
- Se trabajó con un flujo de operación a 4 l/min a través del portafiltros del SKC (ver figura 33 y 34), en el cual se coloca el filtro para la captura de $PM_{2.5}$. Para ello fue necesario efectuar su calibración, mediante un estándar primario BIOS de flujo.
- Se realizaron tres periodos de muestreo en el primer muestreo para determinación de número de partículas y concentración de monóxido y dióxido de carbono en los siguientes horarios se realizó de lunes a sábado y se colectaron de 7:00 a 8:00, 10 a 11:00, de 13:00 a 14:00, de 16:00 a 17:00, 19:00 a 20:00 para poder ubicar las horas pico en un período de dos semanas, en la primera se muestreo combi y en la segunda camión.
- En el segundo se seleccionó el periodo de una semana de mañana y tarde, para la colecta de las muestras de manera simultánea con dos bombas SKC en combi y en camión para ello se seleccionaron solo tres horarios en un periodo de una semana de lunes a sábado.
- El muestreo se realizó de lunes a sábado y se colectaron de 07:00 a 08:00 horas de 13:00 a 14:00 horas, de 19:00 a 20:00 horas que fueron las horas pico y de mayor exposición a contaminantes.
- La tercera se realizó en solo tres días para poder encontrar algunas de las partículas características de las partículas encontradas en solo 3 días con 3 horas de recorrido en las horas mencionadas del muestreo dos.



Ilustración 39 El estudiante Daniel lleva el Equipo de monitoreo en el lugar típico asignado para hacer el estudio en camión



Ilustración 40 Los estudiantes Daniel y Fernando se preparan para abordar de manera casi simultánea los dos diferentes tipo de transporte

8.8 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE LOS PORTAFILTROS.

Los filtros obtenidos en el muestreo dos se enviaron de manera protegida, mediante portafiltros desechables perfectamente identificados (cajas Petri) y cerrados en caja, que se muestran en la ilustración 41, para poder evitar manipular las muestras y evitar la contaminación, además para que fuera practico su transporte a la ciudad de México al laboratorio del CENICA, para que pudieran pesarse e identificarse para ello se realizó una cadena de custodia Anexo 2, es importante mencionar que se utilizó un filtro como control para el transporte de las muestras.

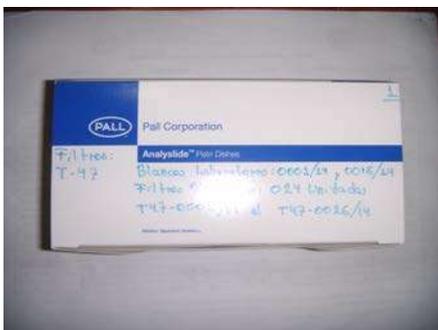


Ilustración 41 Nomenclatura y forma de los portafiltros y la forma en la que se registraron para la cadena de custodia

8.9 DESCARGA DE LA MUESTRA.

Una vez, terminado el periodo de muestreo, se desmontan los portafiltros del equipo, se toma nota de las condiciones meteorológicas nuevamente, se revisa que la hoja de registro contenga todos los datos necesarios, se guardan en sus cajas y se enviarán al laboratorio de CENICA. Los filtros expuestos se retiran del portafiltro en un lapso no mayor a tres días y son colocados en cajas Petri perfectamente selladas, con su clasificación correspondiente. Las cajas se almacenan para su posterior análisis.

8.10 MÉTODOS DE LABORATORIO PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS

A continuación se describen los métodos analíticos que se emplearon para el análisis de las muestras, obtenidas durante la campaña de muestreo en el Libramiento, el CENICA guardo 2 filtros de las cajas para control.

8.10.1 Análisis Gravimétrico

Para el desarrollo del presente estudio se emplearon filtros de teflón de 37 mm, los cuales fueron acondicionados y pesados antes y después del muestreo, el pesaje de los filtros se realizó en los laboratorios de la DGCENICA-INE con una ultra microbalanza analítica (CAHN C-35, con una resolución mínima de 1.0 µg, incertidumbre de ± 0.005 mg, precisión: 1.0 µg, exactitud: 0.0012%) de acuerdo al procedimiento acreditado ante la EMA. El control de calidad en laboratorio incluye: (1) acondicionamiento durante 24 horas antes y 48 horas después del monitoreo a una temperatura de 22°C ($\pm 3^\circ\text{C}$) y una humedad relativa de 40% ($\pm 5\%$); (2) uso de pulsera y tapete antiestáticos, así como barras de Polonio 210 para quitar las cargas electrostáticas; (3) uso de filtros como blancos de laboratorio.



Ilustración 42 Balanza analítica usada para el pesado de los filtros



Ilustración 43 Se muestra el cuarto de gravimetría con las básculas y los equipos de ambientación



Ilustración 44 Laboratorio de aire del CENICA

9.0 RESULTADOS

Al concluir con el monitoreo en sitios de la libramiento, correspondientes a la zona norte y zona sur, de la primera etapa de monitoreo se obtuvieron un total de 750 muestras de CO, temperatura y humedad relativa (HR) por tipo de transporte es decir 1500 por ambas, por parámetro, 3,000 de conteo de partículas por tipo de transporte, es decir 6,000 por ambos, durante el periodo de 2 al 14 de diciembre de 2013.

Para la segunda realizada del 17 al 22 de febrero de 2014, de la campaña de monitoreo se obtuvieron un total de 36 muestras en filtros de teflón de las cuales se invalidaron 2 por parte del analista, por lo que quedo un total de 34 muestras, para aseguramiento de calidad el CENICA se quedó con 2 muestras en el laboratorio al azar y nosotros utilizamos un blanco para el transporte.

Por último para la tercera campaña realizada del 25, 27, 29 de marzo del 2014 para camión y 31 de marzo, 2 y 4 de abril del 2014 para combí se obtuvieron solo 2 muestras uno de cada tipo de transporte de manera concentrada en filtros de cuarzo.

9.1 Resultados del Análisis Gravimétrico.

Se presenta en la tabla 17 los resultados de concentración de partículas de la campaña

<i>Horario</i>	<i>Día de muestreo</i>	<i>Tipo de vehículo</i>	<i>Concentración Real ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	<i>Minutos muestreados</i>
7:00 - 8:00 h	17/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	158.56	75
14:00 – 15:00 h	17/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	52.85	81
19:00 – 20:00 h	17/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	74.50	83

7:00 - 8:00 h	18/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	45.61	73
14:00 – 15:00 h	18/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	70.13	78
19:00 – 20:00 h	18/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	58.01	82
7:00 - 8:00 h	19/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	108.10	77
14:00 – 15:00 h	19/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	33.57	85
19:00 – 20:00 h	19/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	21.07	79
7:00 - 8:00 h	20/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	67.95	70
14:00 – 15:00 h	20/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	9.38	76
19:00 – 20:00 h	20/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	39.64	78
7:00 - 8:00 h	21/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	54.36	70
14:00 – 15:00 h	21/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	44.39	75
19:00 – 20:00 h	21/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	49.42	77
7:00 - 8:00 h	22/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	62.95	68
14:00 – 15:00 h	22/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	85.88	72
19:00 – 20:00 h	22/02/2014	Combi gris R-1(circuito)	51.53	60
7:00 - 8:00 h	17/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	inválido	75
14:00 – 15:00 h	17/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	26.426	81
19:00 – 20:00 h	17/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	5.63	83
7:00 - 8:00 h	18/02/2014	Camión rojo	48.06	73

R-1(circuito)				
14:00 – 15:00 h	18/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	26.99	78
19:00 – 20:00 h	18/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	8.55	82
7:00 - 8:00 h	19/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	45.56	77
14:00 – 15:00 h	19/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	52.28	85
19:00 – 20:00 h	19/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	35.53	79
7:00 - 8:00 h	20/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	73.51	70
14:00 – 15:00 h	20/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	61.55	76
19:00 – 20:00 h	20/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	inválido	78
7:00 - 8:00 h	21/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	66.83	70
14:00 – 15:00 h	21/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	40.54	75
19:00 – 20:00 h	21/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	27.34	77
7:00 - 8:00 h	22/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	34.39	68
14:00 – 15:00 h	22/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	38.98	72
19:00 – 20:00 h	22/02/2014	Camión rojo R-1(circuito)	7.79	60

Tabla 17 Resultados obtenidos de las muestras realizadas en la semana del 17-22 de febrero de 2014

9.1.1 Exposición Por Tipo De Transporte Público.

En los vehículos del transporte público “combi” encontró una mayor cantidad de nivel de exposición de partículas $PM_{2.5}$, en comparación con los vehículos de transporte público “camión”. En la *ilustración 15* se resume el promedio de

las concentraciones de partículas PM_{2.5}, tomadas durante todo el periodo de monitoreo, en “combi” y en “camión”.

La concentración de partículas es de 38.4% más alto en la combi, que en el camión respectivamente en promedio, por lo que concuerda con la concentración y el número de partículas reportado anteriormente en una fecha y condiciones diferentes.

Lo que se puede apreciar en la tabla 18 es que una persona se expone a una mayor concentración acumulada de partículas si usa diariamente la combi

Tipo de transporte	Suma de Concentración Real (µg/m3)
COMBI GRIS	1087.97
MICRO RUTA 1	600.04
Total general	1688.01

Tabla 18 Suma de concentración de partículas por tipo de transporte

En la tabla 19 vemos que los promedios son más altos en combi y rebasa la media por más de 10 µg/m3

Tipo de transporte	Promedio de Concentración Real (µg/m3)
COMBI GRIS	60.44
MICRO RUTA 1	37.50
Total general	49.64

Tabla 19 Promedio de concentración por tipo de transporte

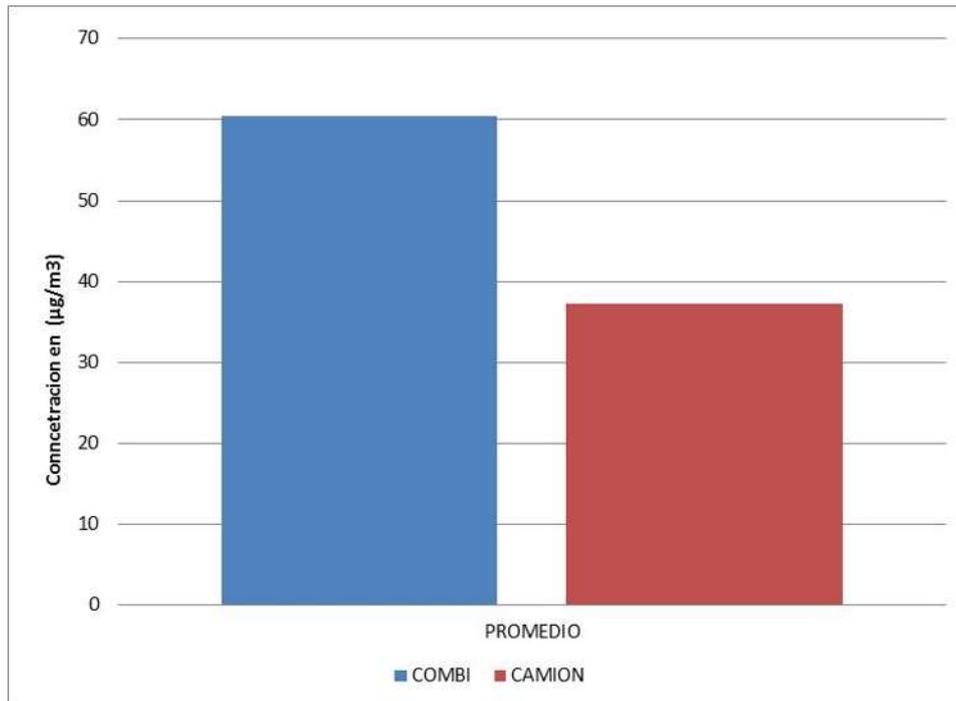


Ilustración 45 Concentración promedio de partículas PM2.5 en combi y camión

9.1.2 Exposición Por Tipo De Transporte Público Y Día De Medición.

De la Ilustración 46, se puede observar, que aunque no se presenta una tendencia marcada para la exposición de partículas PM_{2.5}, para los dos tipos de transporte público, los días lunes y miércoles son días en el cual la combi tiene un valor promedio de exposición de más alto que los demás días de la semana; además, el día viernes 21 de febrero, fue el día que presento las concentraciones más bajas de exposición de partículas, para “combi”, y el día lunes para “camión”, esto se pudiera deber a que la preferencia por el uso de la combi se acentúa los días lunes por creer que va mucho más rápido que el camión.

Tipo de transporte y día de la semana	Promedio de Concentración Real (µg/m3)
COMBI GRIS	60.44
17/02/2014	95.30
18/02/2014	57.91
19/02/2014	54.25
20/02/2014	38.99
21/02/2014	49.39

22/02/2014	66.79
MICRO RUTA 1	37.50
17/02/2014	16.03
18/02/2014	27.87
19/02/2014	44.46
20/02/2014	67.53
21/02/2014	44.90
22/02/2014	27.06
Total general	49.64

Tabla 20 Promedio de concentración por día y por tipo de transporte

En la tabla 20 podemos apreciar que las concentraciones son más altas por lo general en combi y nos muestra los valores que se obtuvieron de las tres mediciones que se realizaron por día a excepción del 17 que se invalidó una muestra de 07:00 a 08:00 horas.

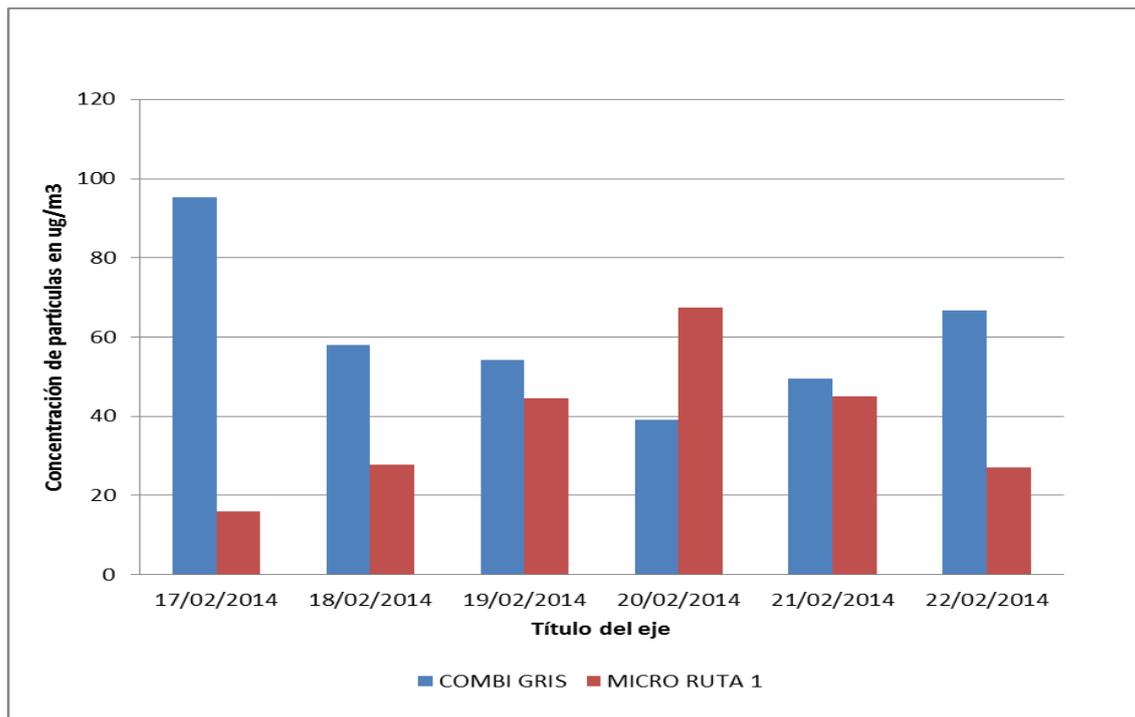


Ilustración 46 Concentraciones promedio por día de muestreo en combi y camión

9.1.3 Exposición de Concentración Por Horario

De la *Gráfica 47*, se puede observar, que hay una tendencia marcada para la exposición de partículas $PM_{2.5}$, más alto durante la mañana, para los dos tipos de transporte público, de 07:00 a 08:00 horas ambos tienen un valor promedio

de exposición de más alto que los demás días de la semana; por otro lado se observa que la diferencia más grande entre ambas es el turno nocturno que puede estar relacionado con la forma de conducir de la combi, mientras que el horario donde existe menos contraste es en la tarde debido probablemente a que la movilidad y la forma de conducir es muy similar.

Tipo de Transporte y horarios	Promedio de Concentración Real ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
COMBI GRIS	60.44
14:00-15:00	49.37
19:00-20:00	49.03
07:00-08:00	82.92
MICRO RUTA 1	37.50
14:00-15:00	41.13
19:00-20:00	16.972
07:00-08:00	53.67
Total general	49.64

Tabla 21 Promedio de concentración por horario

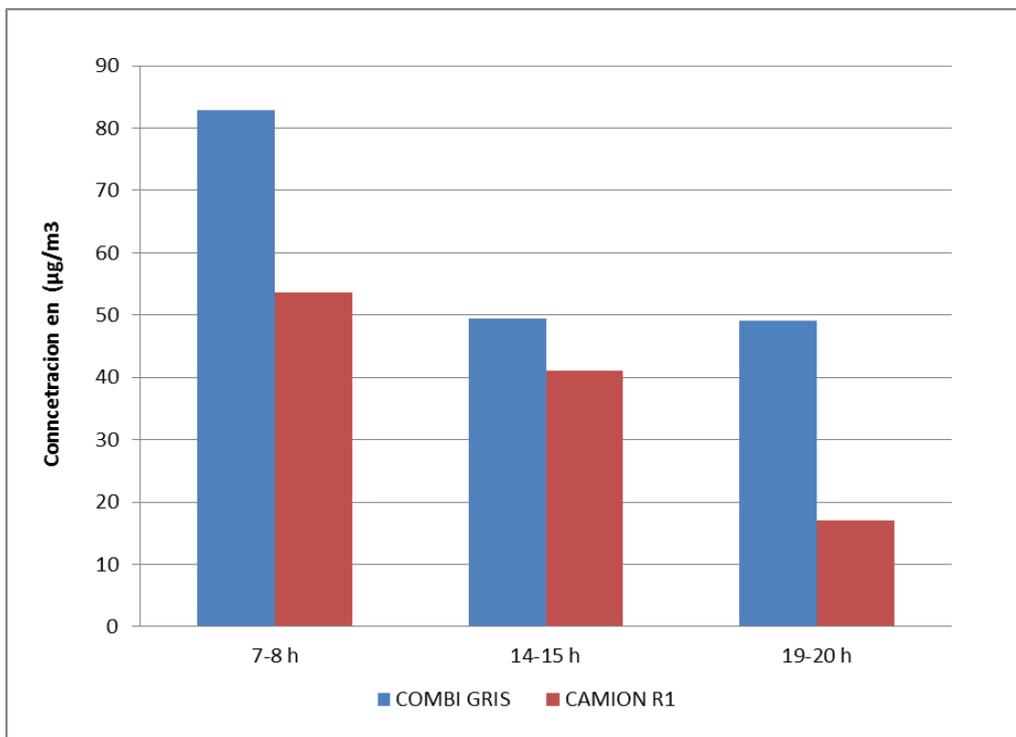


Ilustración 47 Exposición de concentración promedio por horario de combi y camión

9.1.4 Exposición Por Día Y Por Horario Sin Tipo De Transporte

De la tabla podemos observar que el horario de mañana independientemente del tipo de transporte público es el alto en exposición que una persona usuario podría tener durante el día y que es mucho más alto que el promedio general de exposición, seguido del horario vespertino de medio día el cual estaría por debajo de la media promedio y el de menor exposición es el de la noche

Horarios muestreados	Promedio de Concentración Real ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14_15	45.25
19_20	34.45
7_8	69.63
Total general	49.64

Tabla 22 Promedio de concentración por horario

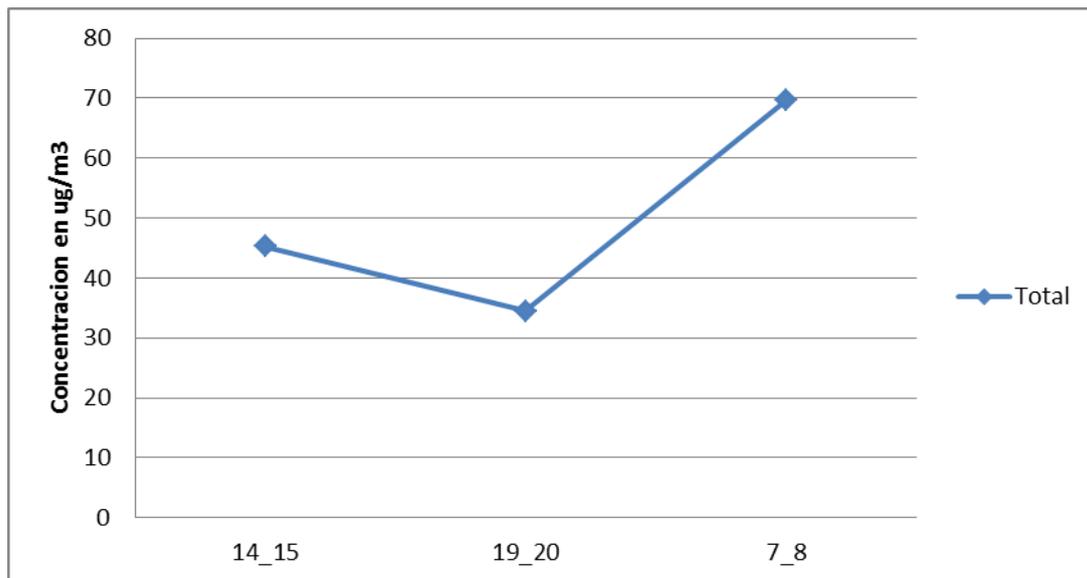


Tabla 23 Concentración horaria en gráfico

De la tabla y de la grafica que se muestran, se aprecia que los días lunes son los días en los que una persona usuaria puede llegar a exponerse a una mayor concentración ya que rebasa la media, mientras que los demás días de martes a sábado se mantiene sin mayor significancia la concentración la cual se observa con gran similitud disminuyendo de manera más significativa el día martes

Días muestreados	Promedio de Concentración Real ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
17/02/2014	63.59
18/02/2014	42.89
19/02/2014	49.35
20/02/2014	50.41
21/02/2014	47.15
22/02/2014	46.92
Total general	49.64

Tabla 24 Concentración de partículas por día

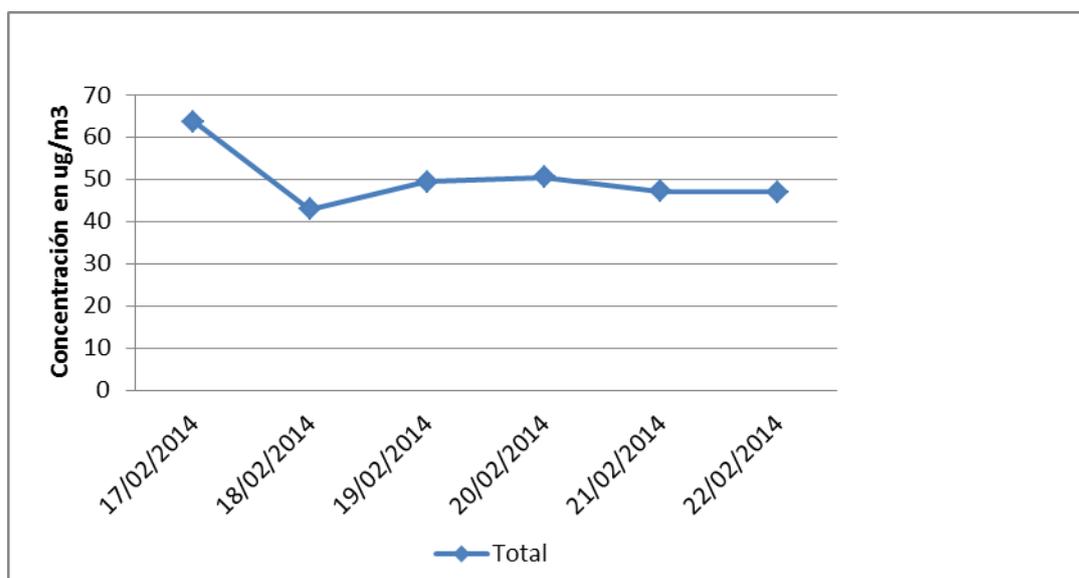


Ilustración 48 Concentración de partículas por día

9.2 RESULTADO DE ANALISIS DE CONTEO DE PARTÍCULAS

9.2.1 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A $0.3 \mu\text{m}$.

En los vehículos del transporte público “combi” se encontró un mayor número de partículas menores a $0.3 \mu\text{m}$, en comparación con los vehículos de transporte público “camión”. En la Ilustración 49 se resume el promedio del conteo de partículas tomadas durante todo el periodo de monitoreo, en “combi” y en “camión”.

Se aprecia que el número de partículas es consistentemente más alto en la “combi” aunque su diferencia no es mayor a 20% y que se genera un patrón en el “camión” respecto a los diferentes horarios, siendo el más alto el de la mañana.

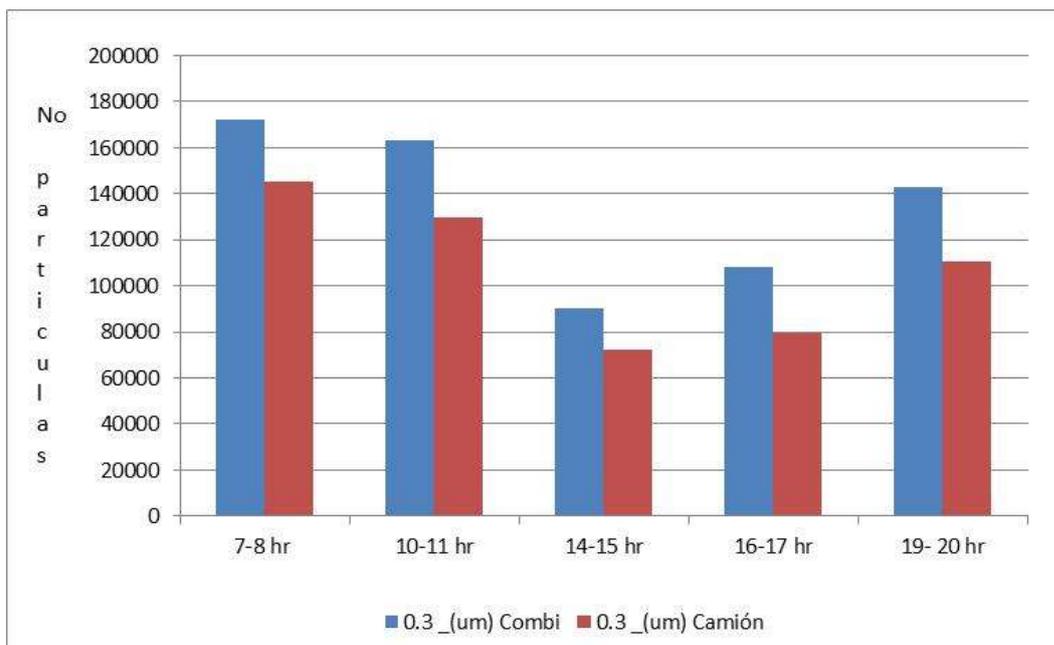


Ilustración 49 Conteo de partículas de 0.3 μm en tiempos horarios de combi y camión

9.2.2 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 0.5 μm .

En los vehículos del transporte público “combi” se encontró un mayor número de partículas menores a 0.5 μm , en comparación con los vehículos de transporte público “camión”. En la Ilustración 50 se resume el promedio del conteo de partículas tomadas durante todo el periodo de monitoreo, en “combi” y en “camión”.

El número de partículas es más elevado en los horarios de mañana y existe una importante disminución después de las 14:00 horas y se vuelve a incrementar en el horario nocturno.

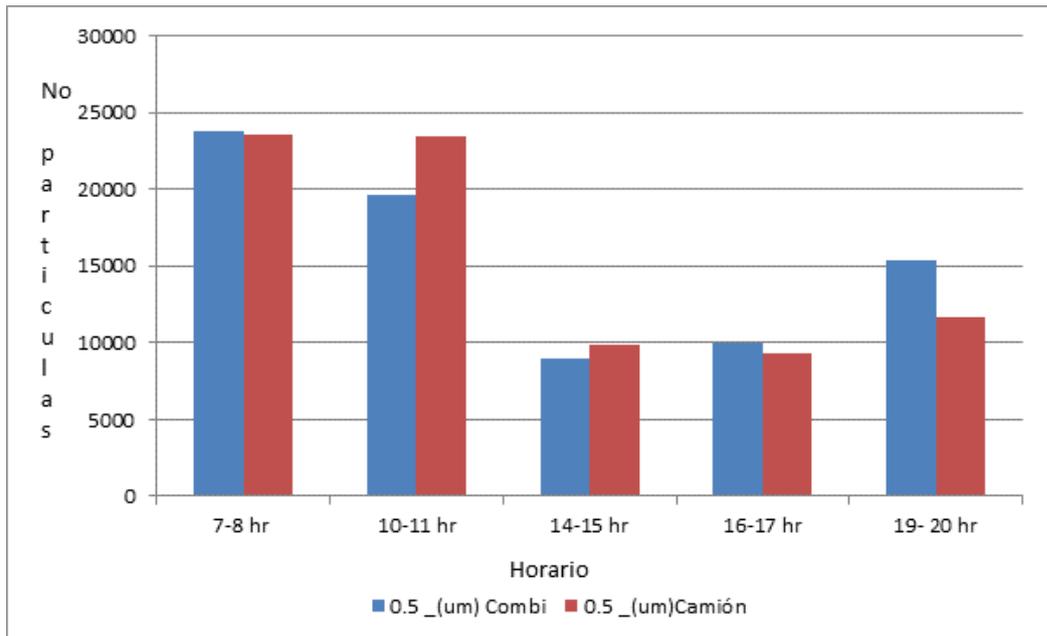


Ilustración 50 Conteo de partículas de 0.5 µm en tiempos horarios de combi y camión

9.2.3 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 1 µm.

En los vehículos del transporte público “camión” se encontró un mayor número de partículas de un 1 µm, en comparación con los vehículos de transporte público “combi”. En la Gráfica 51 se resume el promedio del conteo de partículas tomadas durante todo el periodo de monitoreo, en “combi” y en “camión”.

El número de partículas es más elevado en los horarios de mañana y existe una importante disminución después de las 14:00 horas y se vuelve a incrementar en el horario nocturno donde la “combi”, que por primera vez tiene un número mayor de partículas que el “camión”.

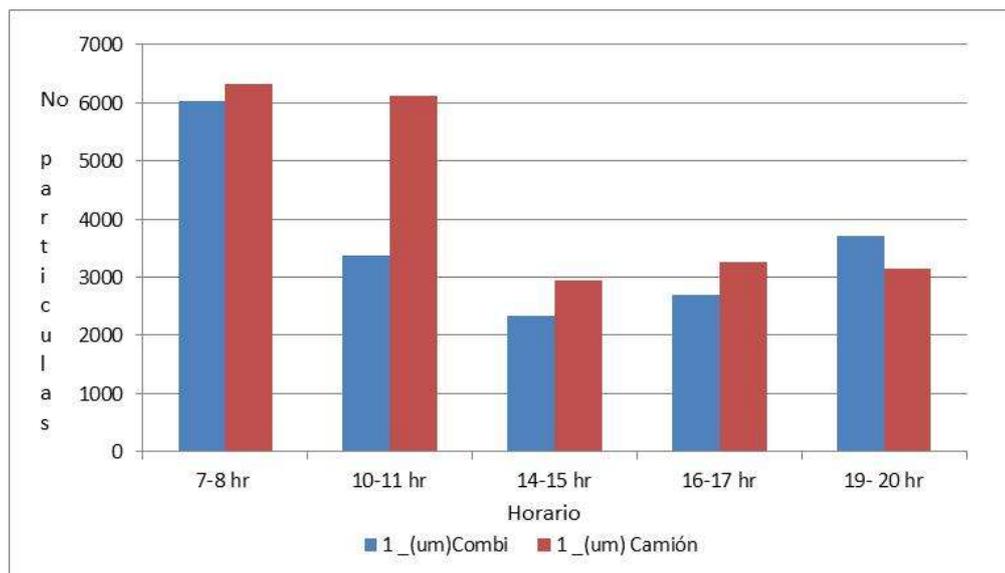


Ilustración 51 Conteo de partículas de 1 µm en tiempos horarios de combi y camión

9.2.4 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 2 µm.

En los vehículos del transporte público “camión” se encontró un mayor número de partículas de 2 µm, en comparación con los vehículos de transporte público “combi”. En la Gráfica 52 se resume el promedio del conteo de partículas tomadas durante todo el periodo de monitoreo, en “combi” y en “camión”.

El número de partículas es más elevado en los horarios de mañana y existe una importante disminución después de las 14:00 horas, se vuelve a incrementar en el horario nocturno y la “combi” por primera vez tiene un número mayor de partículas que el “camión” en una proporción mayor que la de 1 µm en.

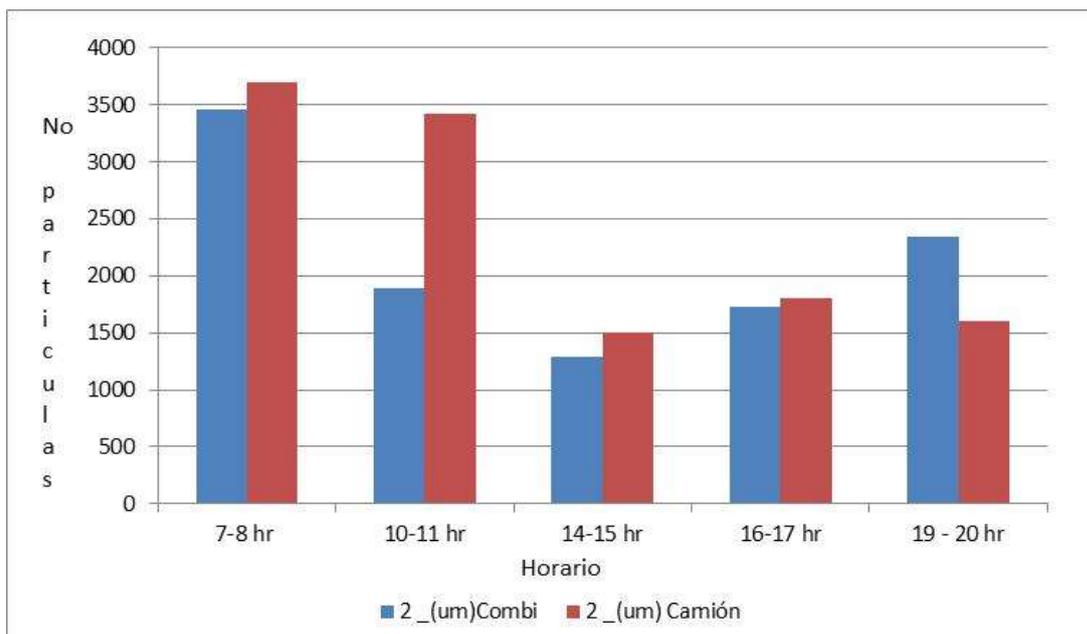


Ilustración 52 Conteo de partículas de 2 μm en tiempos horarios de combi y camión

9.2.5 Distribución de Partículas

En los vehículos del transporte público se presenta en general una distribución de partículas por su diámetro, es muy similar utilizando la técnica de distribución normal. En la Ilustración 53 se aprecia una casi idéntica sobrepuesta.

La distribución solo es un poco más alta en partículas menores de 1 μm, lo cual ha sido comprobado con las gráficas anteriores

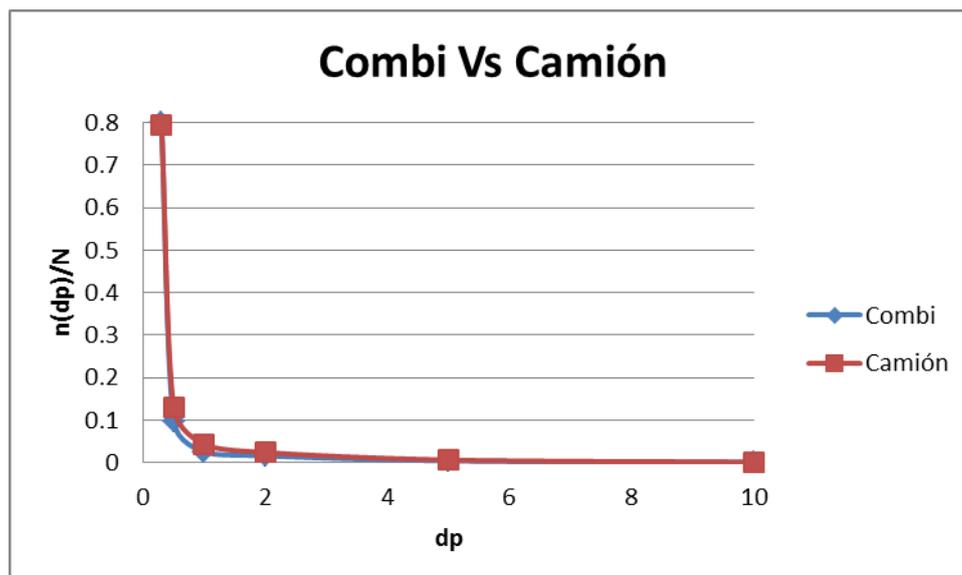


Ilustración 53 Distribución normal de partículas de 0.3 en hasta 10 en entre combi y camión

Si se observa la distribución individual de las gráficas de distribución de partículas en cada una de las modalidades de transporte se puede apreciar de una manera mucho más visual el comportamiento de manera horaria. Se puede apreciar que ambos tipos de transporte presenta una distribución normal muy similar de número de partículas por tamaño, en “combi” hay un incremento importante en el número partículas de 2 μm en sobretodo en el horario de mañana de 07:00 a 08:00 horas, mientras que el comportamiento de 10:00 a 11:00 horas de la mañana en “camión”, refleja un incremento en las partículas que están en el rango de 2 - 4 μm.

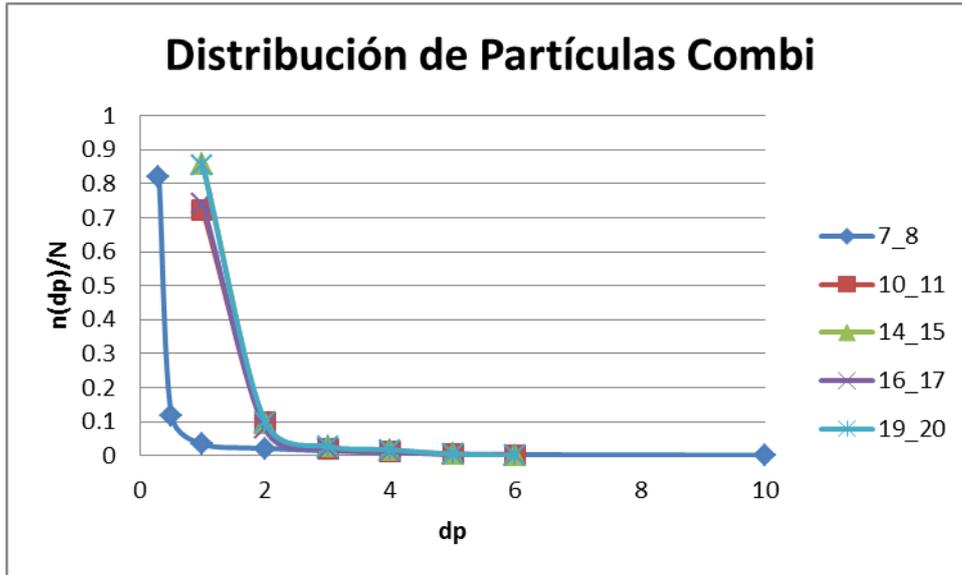


Ilustración 54 Distribución normalizada de partículas en base a los diferentes horarios muestreados en combi

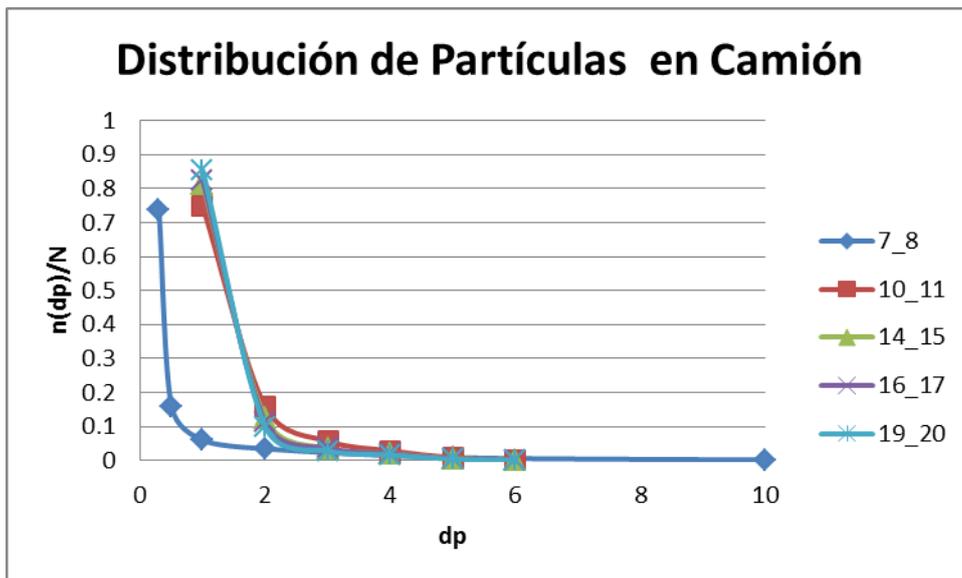


Ilustración 55 Distribución normalizada de partículas en base a los diferentes horarios muestreados en camión

9.3 NUMERO DE PARTICULAS POR ESTACIÓN

En la tabla se muestra el número de partículas de acuerdo a cada una de las estaciones diferenciadas donde se realizó el conteo, para diámetro aerodinámico menor a $PM_{2.5}$ en donde se aprecia que las de menor diámetro son las que abundan más en el transporte tipo combi

Estación	Promedio de 0.3 μm	Promedio de 0.5 μm	Promedio de 1 μm	Promedio de 2 μm
AURRERA				
Camión	107316.8333	19895.36667	6788.466667	3823.733333
Combi	130270.2333	14192.06667	3738.266667	2488.433333
AV. HUANIQUEO				
Camión	132654.1667	20473.86667	5075.966667	2771.566667
Combi	159000.2	22337.66667	3631.233333	1947.933333
BASE				
Camión	151531.5667	32407.55	13446.45	7719.333333
Combi	140449.6333	19364.1	7378.1	4954.366667
CASA DE GOBIERNO				
Camión	104586.5333	16920.93333	4971.933333	2831.3
Combi	132779.0667	14803.73333	3484.966667	2084.533333
CENTRAL				
Camión	113777.4333	22315.43333	7282.8	3919.666667
Combi	125811.5667	19948.36667	5379.266667	3618.166667
COSTCO				
Camión	123361.7667	23717.23333	6632.433333	3693.133333
Combi	143068.8	16258	3651.966667	2052.966667
IMSS				
Camión	100953.3333	19382.73333	6732.5	4679.066667
Combi	131229.5667	17129.93333	6517.666667	4688.9
LANCASTER				
Camión	119227.7667	17472.83333	4587.066667	2776.966667
Combi	145303.2333	16157.7	3828.033333	2256.6
LAS AMERICAS				
Camión	103904.4333	15817.26667	4983.666667	2936.666667
Combi	141983.1333	16005.3	4503.866667	2931.5
MANANTIALES				
Camión	105435.0333	19252.73333	6981.5	5600.833333
Combi	134403.1	16699.16667	4621.366667	2926.7
MERC. DE ABASTOS				
Camión	127392.6	18287.3	5124.2	2871.166667
Combi	142885.6667	18252.83333	5230.1	3156
MILCUMBRES				

Camión	126886.4667	20979.36667	5679.933333	2245.333333
Combi	165703.2	15464.03333	3006.1	1987.2
MOTEL INN				
Camión	108882.5333	18819	5779.933333	2859.533333
Combi	139891.3333	16414.1	3598.133333	1912.533333
OFFICE DEPOT				
Camión	102966.1	16303.43333	4572.066667	3218.133333
Combi	149119.8	17792.8	5251.866667	3706.166667
PEPSI				
Camión	145098.9	29027.83333	22264.13333	8774.733333
Combi	138994.4	16112.03333	4164.866667	3211.1
PLAZA MORELIA				
Camión	96031.36667	13842.26667	3472.233333	1720.233333
Combi	150397.5333	18283.2	2927.533333	1680.3
SALIDA CHARO				
Camión	95232.86667	17628.76667	5454.166667	2967.366667
Combi	138234.8333	15685.83333	3492.166667	2059.3
SALIDA QUIROGA				
Camión	112981.9	20053.03333	7338.433333	4661.2
Combi	135077.3	18024.5	5993.766667	3761.633333
SAN RAFAEL				
Camión	117630.1	18904.56667	6342.966667	3673.033333
Combi	144866.4667	17413.06667	4662.766667	2813.566667
SCT				
Camión	104177.3667	22013.53333	7510.733333	4062.133333
Combi	131764.4333	20652.06667	5686.833333	3548.6
TEC				
Camión	140835.3	22651.16667	5475.633333	2597.7
Combi	133784.8	17323.56667	3942.5	2148.666667
TORREON NUEVO				
Camión	113859.2	22671.73333	5183.9	2515
Combi	142601.3667	15340.36667	2885.333333	1495.033333
WALMART				
Camión	121797	19252.03333	6183.833333	3043.933333
Combi	135695.9	17540.83333	5326.1	3329.8
XANGARI				
Camión	139123.3	24210.33333	8888.766667	5528.033333
Combi	157809.5667	20860.6	5604.133333	3267.5
ZOOLOGICO				
Camión	119733.4667	17328.06667	4929.966667	2341.533333
Combi	141558	15537	3190.433333	1758.633333
Total general	130000.8013	19134.47885	5850.107692	3390.214744

Tabla 25 Promedio de número de partículas por estación

9.3.1 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 0.3 μm .

El número de partículas por estación reflejo que es más elevada en “combi” en todas las estaciones en donde se realizó la medición, siendo la diferencia más marcada en las estaciones del libramiento desde Aurrera hasta la Av. Huaniqueo, donde se presentó el número más alto

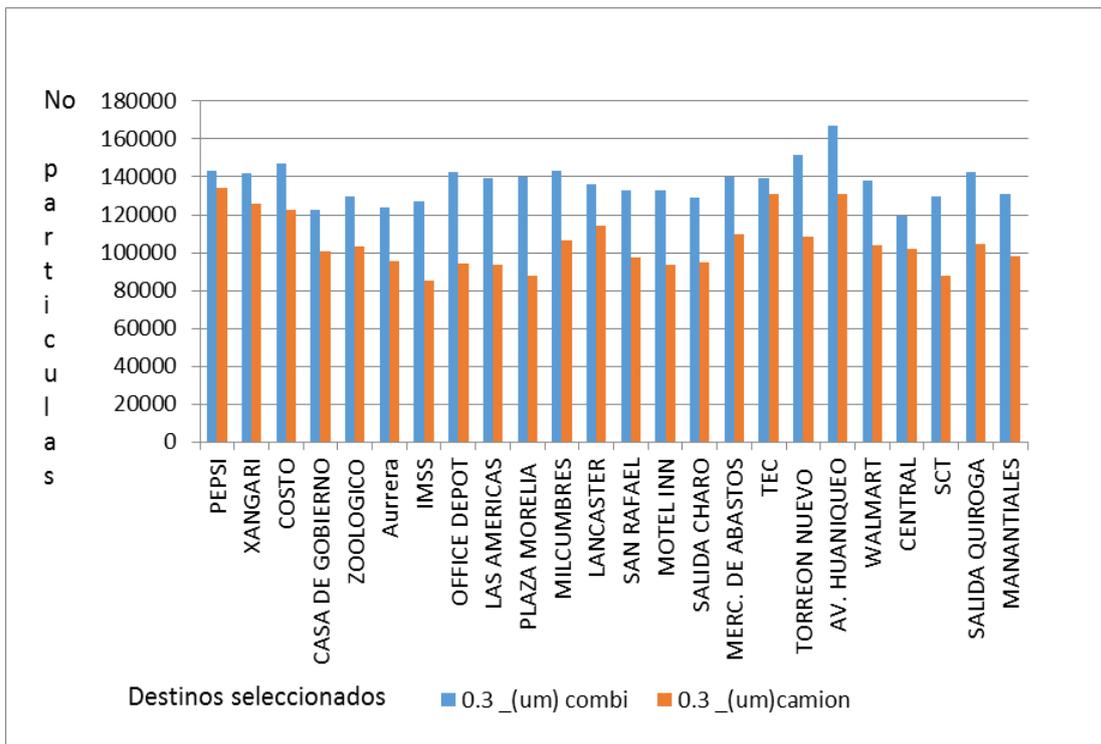


Ilustración 56 Distribución de partículas de 0.3 μm en base a los diferentes estaciones seleccionadas de muestreo.

9.3.2 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 0.5 μm .

El número de partículas por estación reflejo un número muy similar en algunas de las estaciones y en otras es más marcado que el “camión” tiene un mayor número de partículas, aunque la combi en algunas estaciones presenta, de forma más discreta, un número mayor de partículas de 0.5 μm .

Se puede apreciar además que las estaciones donde se presentó un mayor número fueron en la zona norte de la ciudad

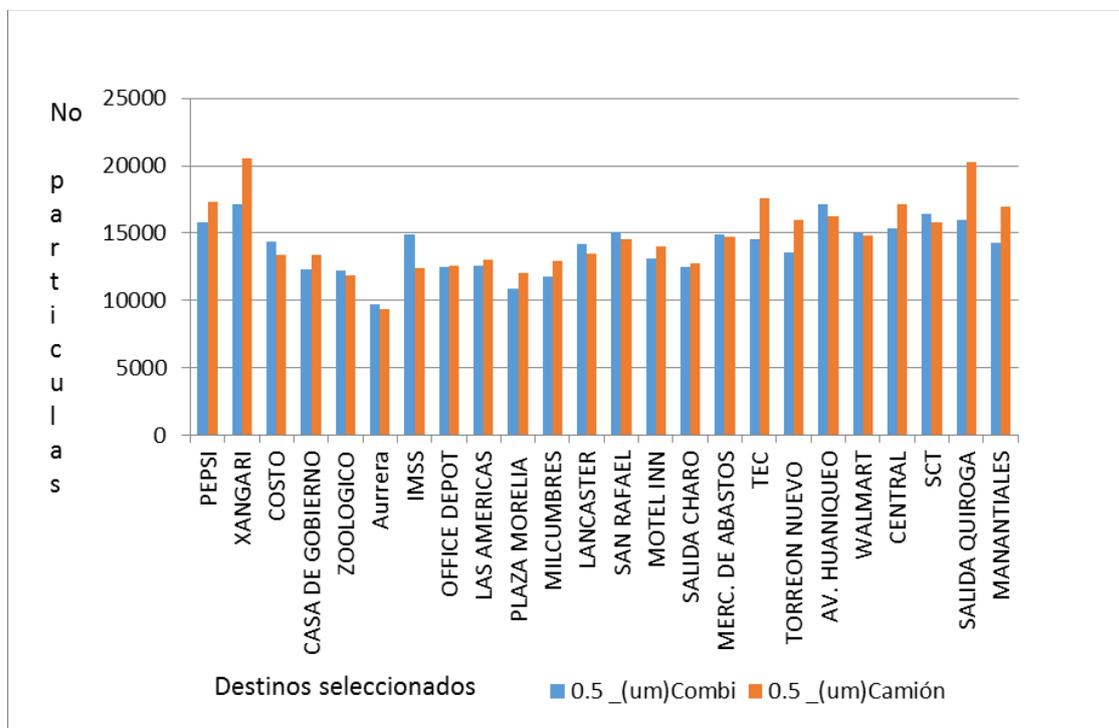


Ilustración 57 Distribución de partículas de 0.5 μm en base a los diferentes estaciones seleccionadas de muestreo.

9.3.3 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 1 μm .

El número de partículas por estación reflejo una marcada diferencia en algunas de las estaciones, el más marcado es el “camión” que tiende a tener un mayor número de partículas.

Se puede apreciar además que las estaciones donde se presentó un mayor número fue en la zona norte de la ciudad al igual que las partículas de 0.5 μm .

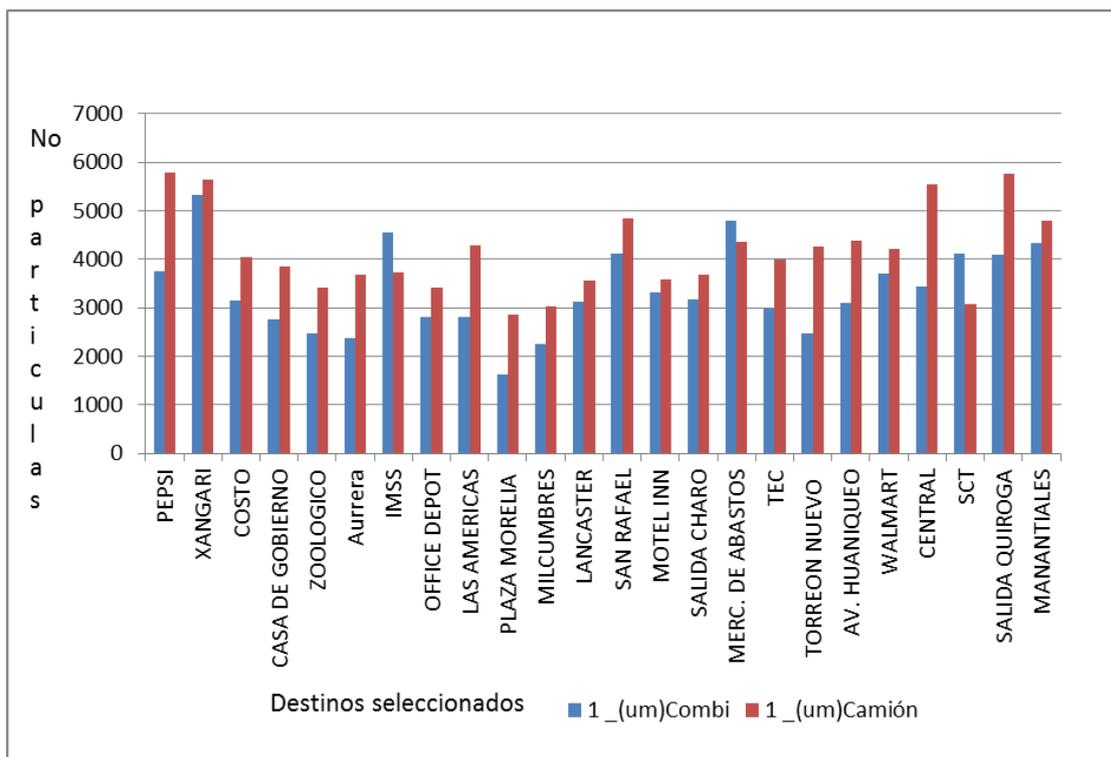


Ilustración 58 Distribución de partículas de 1 µm base a los diferentes estaciones seleccionadas de muestreo.

9.3.4 Exposición Por Tipo De Transporte Público De Partículas Menores A 2 µm.

El número de partículas por estación reflejo una marcada diferencia en algunas de las estaciones, el más marcado es el “camión” que tiende a tener un mayor número de partículas.

Se puede apreciar además que las estaciones donde se presentó una mayor número fue en la zona norte de la ciudad al igual que las partículas de 0.5 µm.

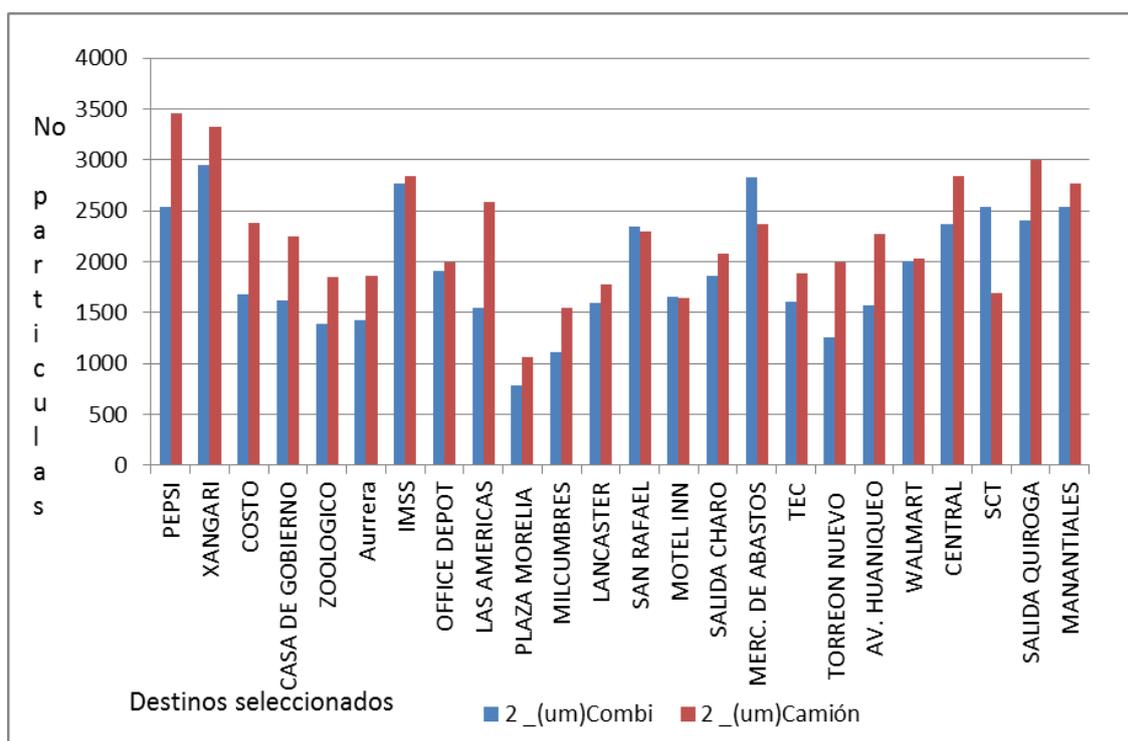


Ilustración 59 Distribución de partículas de 2 µm base a los diferentes estaciones seleccionadas de muestreo.

9.3.5 Exposición Por Zonas De La Ciudad

En la tabla se muestra el número de partículas diferenciado y se observan la división por zonas de la ciudad, fueron más las estaciones que se midieron en la zona sur (13 estaciones) que en la norte (12 estaciones) aun así el promedio de número de partículas es más alto en esta última para partículas menores a 3 µm y más baja para las demás.

Estaciones	Promedio de 0.3_(µm)	Promedio de 0.5_(µm)	Promedio de 1_(µm)	Promedio de 2_(µm)
norte				
AV. HUANIQUEO	145827.1833	21405.76667	4353.6	2359.75
CENTRAL	119794.5	21131.9	6331.0333	3768.91667
LANCASTER	132265.5	16815.26667	4207.55	2516.78333
MERC. DE ABASTOS	135139.1333	18270.06667	5177.15	3013.58333
MILCUMBRES	146294.8333	18221.7	4343.0167	2116.26667
MOTEL INN	124386.9333	17616.55	4689.0333	2386.03333
SALIDA CHARO	116733.85	16657.3	4473.1667	2513.33333

SAN RAFAEL	131248.2833	18158.81667	5502.8667	3243.3
SCT	117970.9	21332.8	6598.7833	3805.36667
TEC	137310.05	19987.36667	4709.0667	2373.18333
TORREON NUEVO	128230.2833	19006.05	4034.6167	2005.01667
WALMART	128746.45	18396.43333	5754.9667	3186.86667
sur				
AURRERA	118793.5333	17043.71667	5263.3667	3156.08333
BASE	145990.6	25885.825	10412.275	6336.85
CASA DE GOBIERNO	118682.8	15862.33333	4228.45	2457.91667
COSTCO	133215.2833	19987.61667	5142.2	2873.05
IMSS	116091.45	18256.33333	6625.0833	4683.98333
LAS AMERICAS	122943.7833	15911.28333	4743.7667	2934.08333
MANANTIALES	119919.0667	17975.95	5801.4333	4263.76667
OFFICE DEPOT	126042.95	17048.11667	4911.9667	3462.15
PEPSI	142046.65	22569.93333	13214.5	5992.91667
PLAZA MORELIA	123214.45	16062.73333	3199.8833	1700.26667
SALIDA QUIROGA	124029.6	19038.76667	6666.1	4211.41667
XANGARI	148466.4333	22535.46667	7246.45	4397.76667
ZOOLOGICO	130645.7333	16432.53333	4060.2	2050.08333
Total general	130000.8013	19134.47885	5850.1077	3390.21474

Tabla 26 Promedios del diámetro aerodinámico de partículas por estaciones

En la tabla se muestra como en la zona norte es más alta en número de partículas para diámetro aerodinámico igual a 0.3 μm aunque en los demás diámetros la zona sur es más alta

Zona de la Ciudad	Promedio de 0.3 μm	Promedio de 0.5 μm	Promedio de 1 μm	Promedio de 2 μm
norte	130328.992	18916.6681	5014.57083	2774.03333
sur	129719.495	19321.1738	6566.28214	3918.37024
Total general	130000.801	19134.4788	5850.10769	3390.21474

Tabla 27 Promedios de diámetro aerodinámico por zonas

9.4 RESULTADO DE ANALISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO

9.4.1 Exposición Por Tipo De Transporte Público.

En los vehículos del transporte público “combi” se encontró una mayor cantidad de nivel de exposición de CO, en comparación con los vehículos de transporte público “camión”. En la Ilustración 60, se resume el promedio de las concentraciones de CO generales tomadas durante todo el periodo de monitoreo, en “combi” y en “camión”.

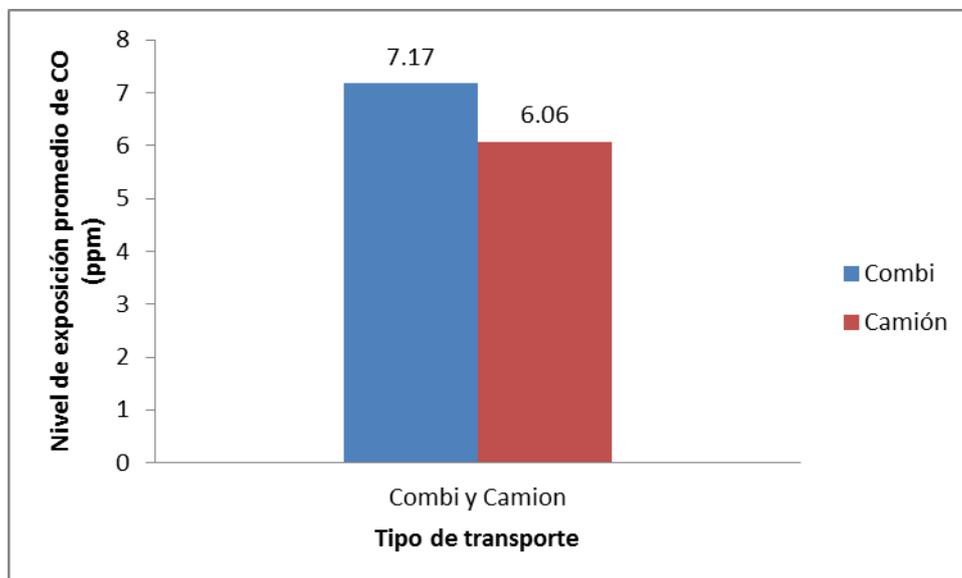


Ilustración 60 Concentraciones promedio de monóxido de carbono en combi y camión.

9.4.2 Tiempo De Exposición De Monóxido De Carbono.

En cuanto a los tiempos de exposición, estos se estimaron por el promedio de tiempo durante el trayecto de ruta del recorrido por horarios del día, véase Ilustración 61, de los cuales podemos determinar el horario que presenta un mayor tiempo de exposición de CO, y por tanto un tiempo mayor de trayecto de recorrido del transporte público, que es de las 14:00 horas tanto para “combi” como para “camión”, lo cual se puede deberse a varios factores, el más importante es el del incremento en la carga vehicular que circula por el circuito periférico de Morelia.

Además, es bueno observar que estos son tiempos promedios estimados para el recorrido de una vuelta en el circuito periférico y que por consiguiente, es mínima la cantidad, por no decir nula, de usuarios que llega a hacer este recorrido en un horario determinado del día, a excepción del conductor. Ya que en teoría el usuario, que completa el recorrido de una vuelta en el circuito periférico, lo llega a hacer en diferentes horarios del día, puesto que es el medio para dirigirse al lugar donde realizara sus actividades cotidianas. Y que este promedio solo nos sirve como una medida de comparación.

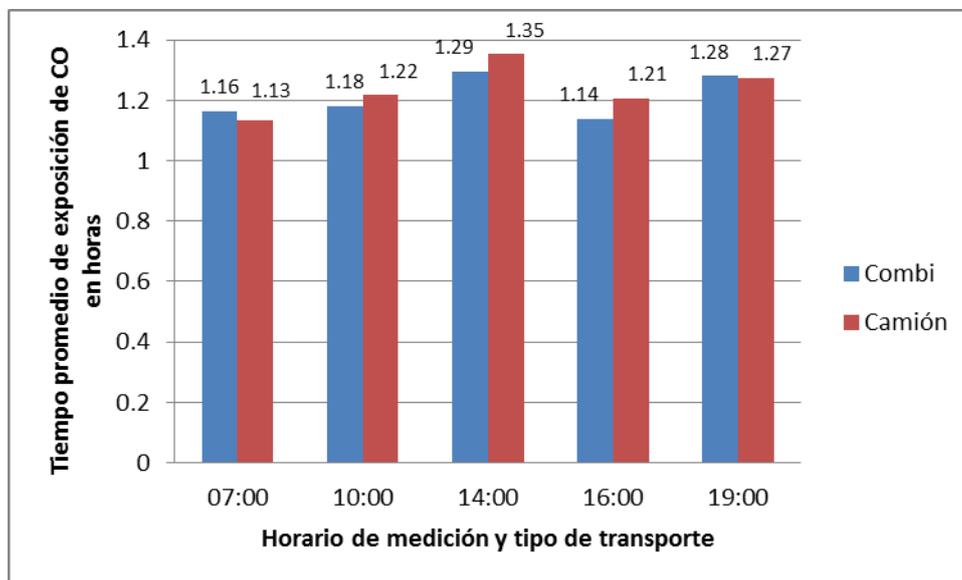


Ilustración 61 Concentraciones promedio de monóxido de carbono en combi y camión por horario.

9.4.3 Exposición Por Tipo De Transporte Público Y Día De Medición.

En la ilustración 62, se puede observar, que aunque no se presenta una tendencia marcada para la exposición de CO, para los dos tipos de transporte público, los días miércoles y viernes son los días en que ambos tienen un valor promedio de exposición de CO alto; además como se mencionó, el día jueves 12 de diciembre, fue el día que presentó el valor más bajo de exposición de CO, tanto para “combi”, como para “camión”, esto puede ser debido a que fue

un día festivo religioso, marcado como no oficial y conocido como día de la virgen de Guadalupe.

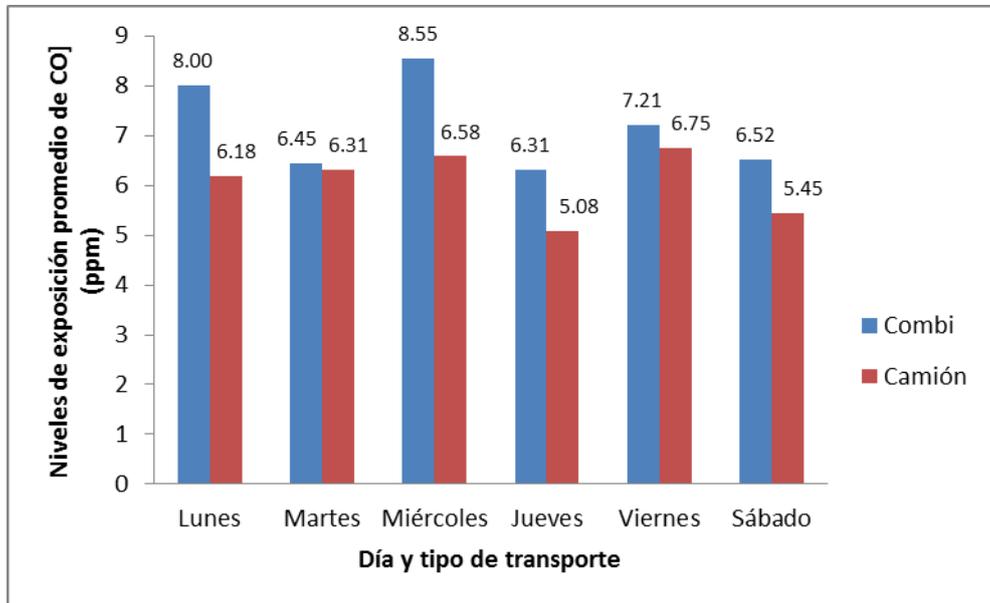


Ilustración 62 Concentraciones promedio de monóxido de carbono en combi y camión por día de la semana

9.4.4 Exposición Por Tipo De Transporte Público Y Horario Del Día.

Por el horario del día, se obtuvo que durante los horarios pico de, 07:00, 14:00 y 19:00 horas (véase, *ilustración 63*), los niveles promedio de concentración de CO fueron mayores; en comparación con los horarios no pico; 10:00 y 16:00 horas, sin embargo, el valor promedio más alto de exposición al CO, se dio durante el horario de las 07:00 horas, seguido del horario de las 19:00 horas y 14:00 horas, este comportamiento se mantiene tanto para el tipo de transporte público “combi”, como para el “camión”. En todos los casos, en forma consistente para los diferentes horarios, los niveles de exposición de CO, fueron mayores en el tipo de transporte “combi” que en el tipo de transporte “camión”.

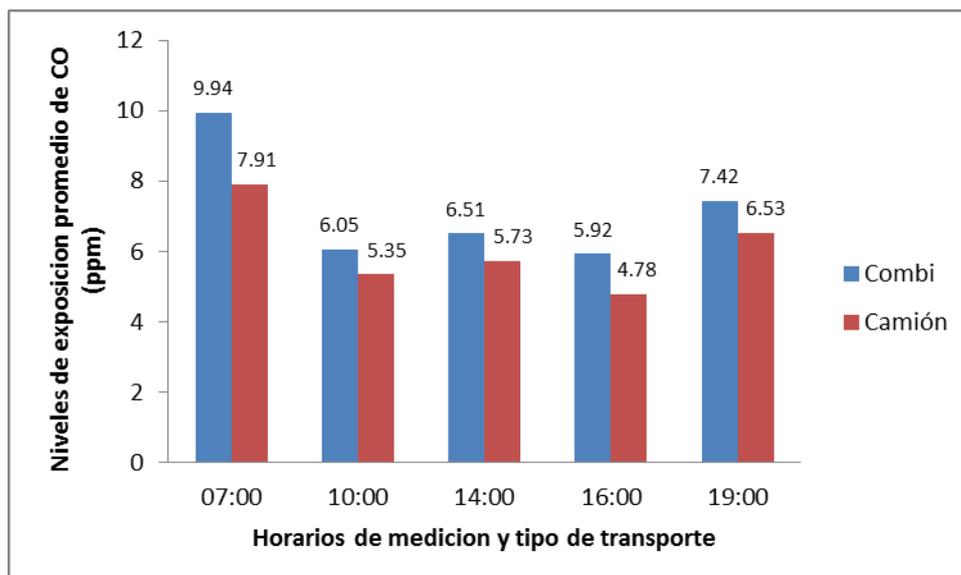


Ilustración 63 Concentraciones promedio de monóxido de carbono en combi y camión por horario.

9.4.5 Correlación De Temperatura Y Nivel De Concentración CO

Las correlaciones que se efectuaron respecto a la temperatura dentro del vehículo de transporte público con la exposición de CO, se hicieron por horario del día, durante todo el periodo de medición en “combi” y en “camión”, debido a que durante el día hay una variación sensorial en la temperatura exterior (ambiente), mientras que en el interior del vehículo el cambio de temperatura no se hace tan notable. Como se muestra en la ilustración 64, se puede observar la variación de la temperatura en correlación con el nivel de exposición de CO en la “combi” y en el “camión”, obsérvese que presenta una tendencia similar.

Mientras tanto la ilustración 65 nos da información general acerca de la relación de la temperatura y los niveles de exposición de CO en el interior del vehículo transporte público. Se puede observar que presentan una aparente tendencia inversamente proporcional, es decir, a menor temperatura, mayor es el grado de nivel de exposición de CO y viceversa; esto es tanto para “combi” como para “camión”.

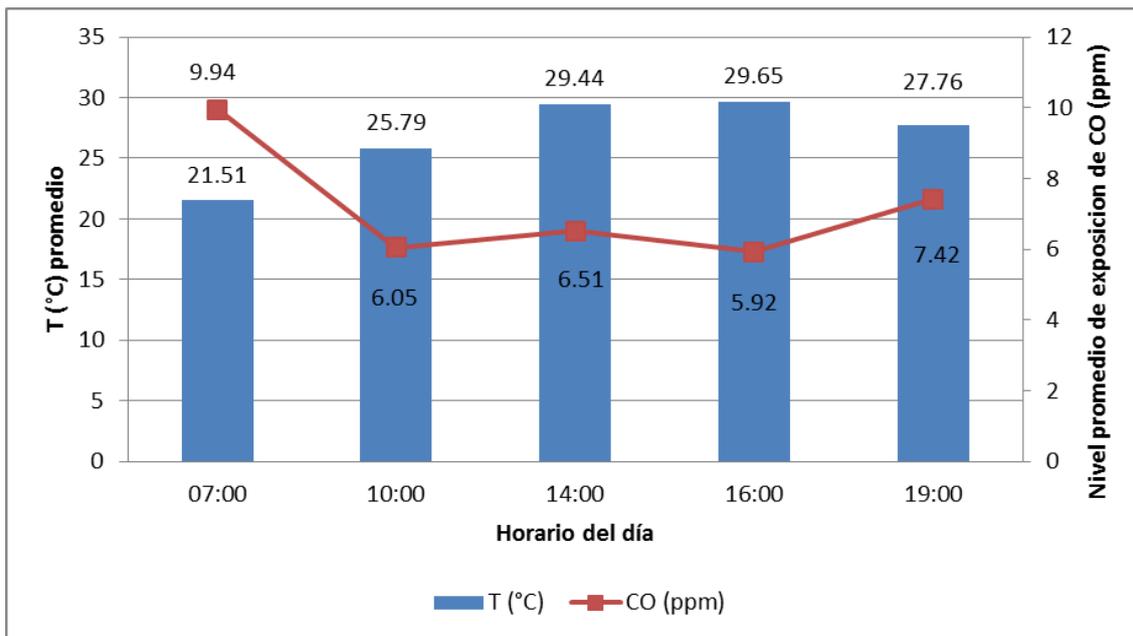


Ilustración 64 Correlación del promedio de temperatura y concentración de CO en el transporte público “combi”.

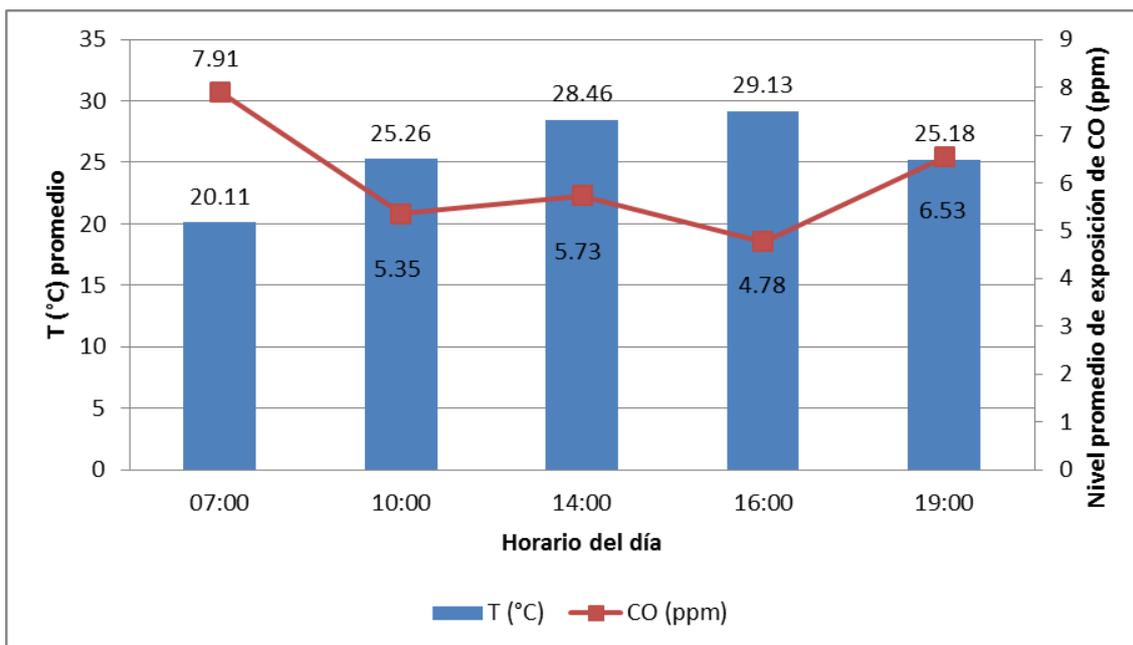


Ilustración 65 Correlación del promedio de temperatura y concentración de CO en el transporte público “camión”.

9.4.6 Concentración De CO Por Zonas

Cuando se analiza la concentración de CO por zonas se aprecia que la zona norte es la que en términos generales presenta una concentración mayor de

CO especialmente la avenida Huaniqueo y el Mercado de Abastos, mientras que en la zona sur es el área de Costco y de Xangari

Estaciones por zonas	Promedio de CO (ppm)
norte	
AV. HUANIQUEO	8.53
CENTRAL	6.01
LANCASTER	7.91
MERC. DE ABASTOS	8.71
MILCUMBRES	7.91
MOTEL INN	5.60
SALIDA CHARO	6.06
SAN RAFAEL	6.91
SCT	5.13
TEC	8.50
TORREON NUEVO	6.10
WALMART	8.45
sur	
AURRERA	5.63
BASE	6.00
CASA DE GOBIERNO	6.40
COSTCO	7.48
IMSS	6.85
LAS AMERICAS	5.65
MANANTIALES	5.75
OFFICE DEPOT	5.85
PEPSI	6.10
PLAZA MORELIA	5.03
SALIDA QUIROGA	4.45
XANGARI	7.20
ZOOLOGICO	5.98
Total general	6.54

Tabla 28 Promedio de CO por zonas y estaciones

En la tabla se muestra que los promedios más altos de exposición son en la zona norte para ambos tipos de transporte y en particular para el transporte público combi, es casi un ppm es más elevado en promedio la concentración por cada uno, eso significa que por tomar la combi una persona se expone a una ppm en general

Promedio de CO (ppm)			
Etiquetas de fila	Camión	Combi	Total general
norte	6.65	7.65	7.15
sur	5.55	6.50	6.02
Total general	6.06	7.03	6.54

Tabla 29 Promedio de CO por zonas

9.5 MORFOLOGÍA Y COMPOSICIÓN DE LAS PARTICULAS

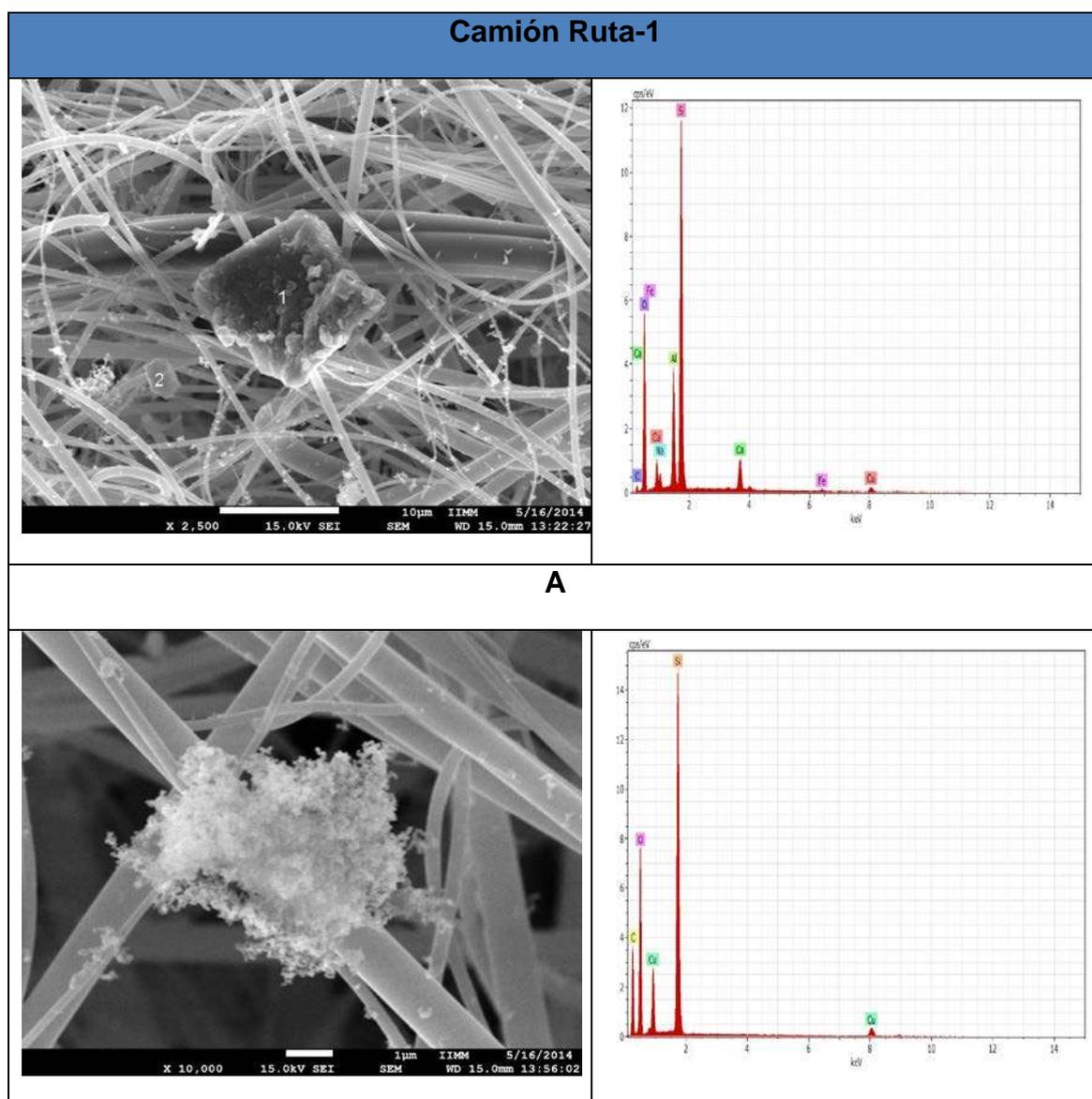
9.5.1 Resultados del MEB

La morfología que se observó en las muestras obtenidas fue muy variada, se realizó el muestreo en tres días, pero sin embargo comparten en común el hollín (black carbón), se encontraron con mayor frecuencia en “combi”, más que en “camión”. Por otro lado en este tipo en particular se encontró una mayor variedad de partículas que por la composición y forma se determinó que su origen es de los suelos, esto puede estar ligado a la altura y a que, por lo general, hay más ventanas abiertas, esto puede explicar su mayor variedad, lo que se observa es que las partículas que se recopilaron por lo general son menores 10 μm , en la tabla 18 se muestra un condensado de los datos obtenidos

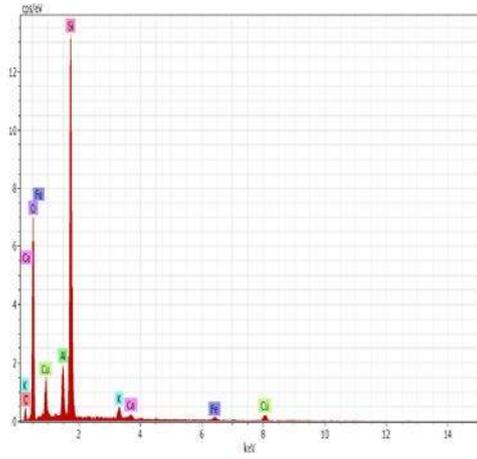
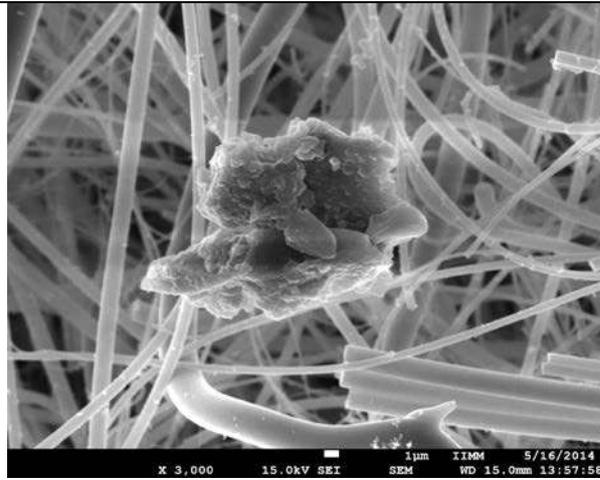
Letra	Composición	Tipo	Lugar	Origen	Diámetro
A	Na, Fe, C, Ca, Al	Inorgánico	Camión	Suelo	10 μm
B	C	Black carbón	Camión	Combustión especialmente de carbón, diesel, biocombustibles y biomasa	< 1 μm solo en conjunto 10 μm
C	C, K, Ca, Fe, Al	Inorgánico	Camión	Suelo	10 μm
D	C, K, S, Ca, Fe, Al	Inorgánico	Camión	Suelo	10 μm
E	C (mala operación)	Inorgánico	Camión	Suelo	20 μm
F	C, K	Orgánico	Camión	Ser vivo	10 μm
G	C, K, Ca, Fe, Na,	Inorgánico	Camión	Suelo	5 μm

	Al				
H	C, Fe	Inorgánico	Combi	Suelo	8 μm
I	C	Black carbom	Combi	Combustión especialmente de carbón, diesel, biocombustibles y biomasa	15 μm individual < 1 μm
J	C	Inorgánico	Combi	Suelo	1 μm
K	C, N, Cl, K, S, Ca, Fe, Na, Al,	Inorgánico	combi	Suelo	20 μm
L	C, K, Ca, Fe, Al	Inorgánico	Combi	Suelo	10 μm

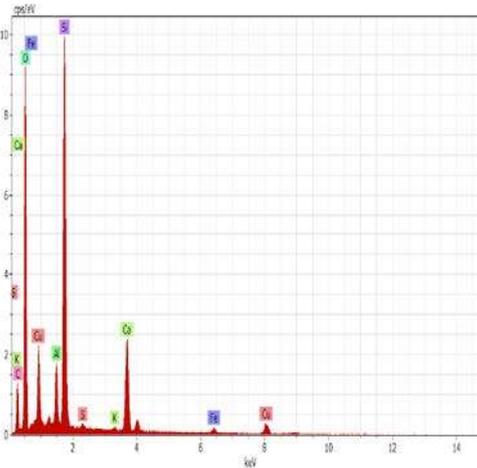
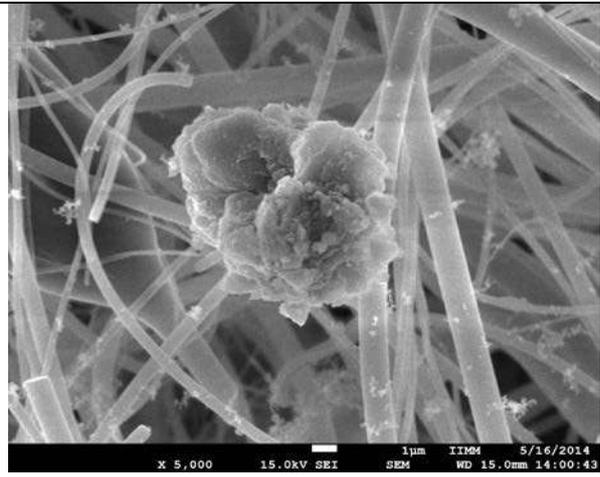
Tabla 30 Resultados obtenidos de las muestras de PM 2.5



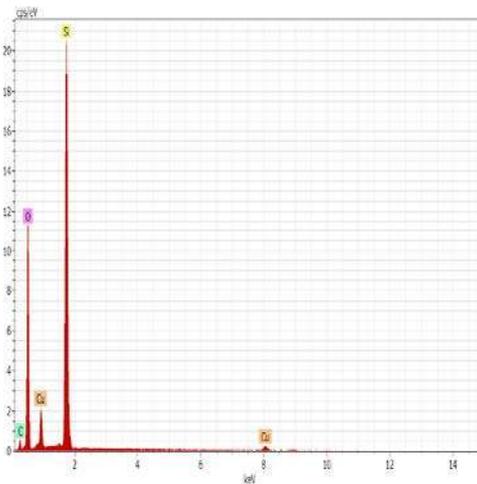
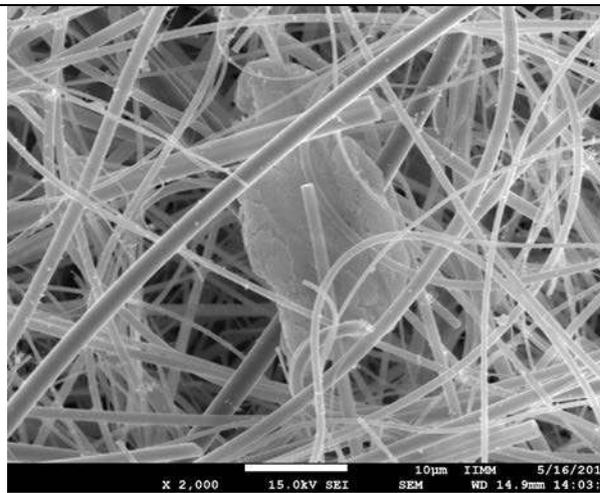
B



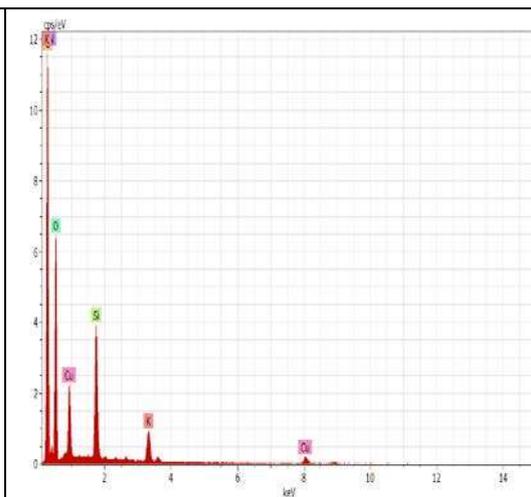
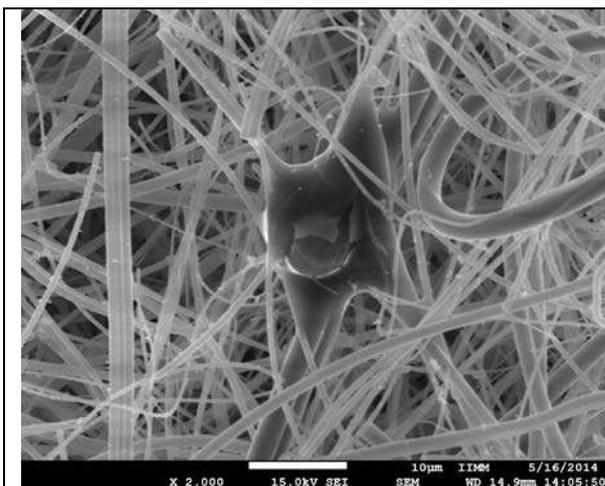
C



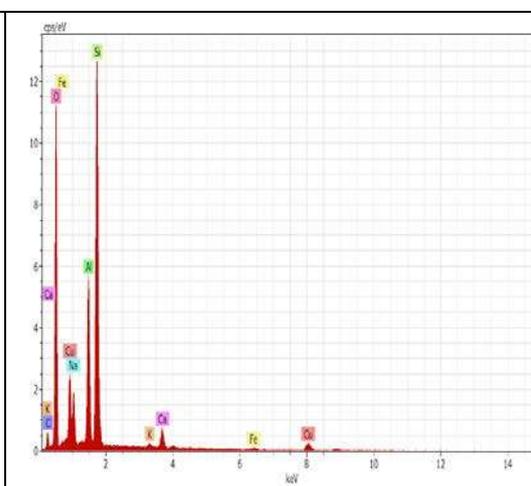
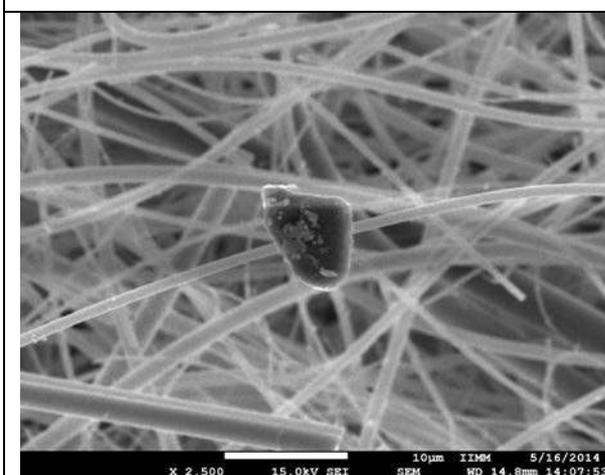
D



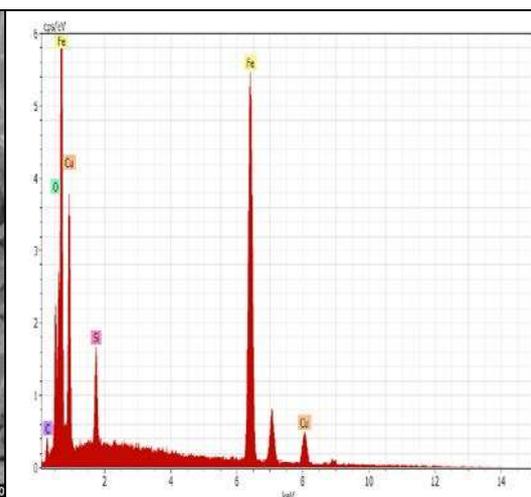
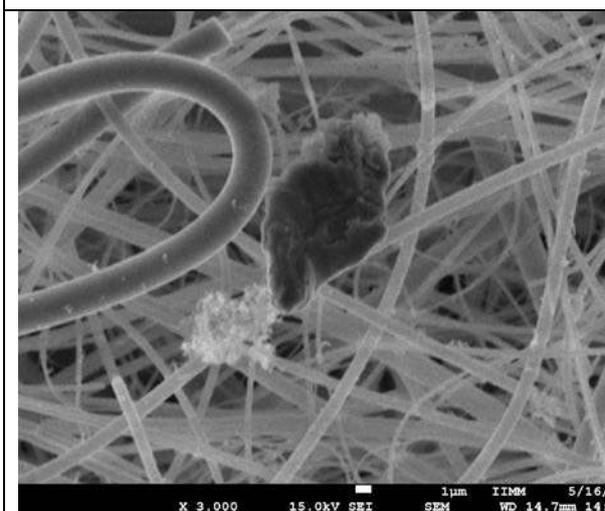
E



F

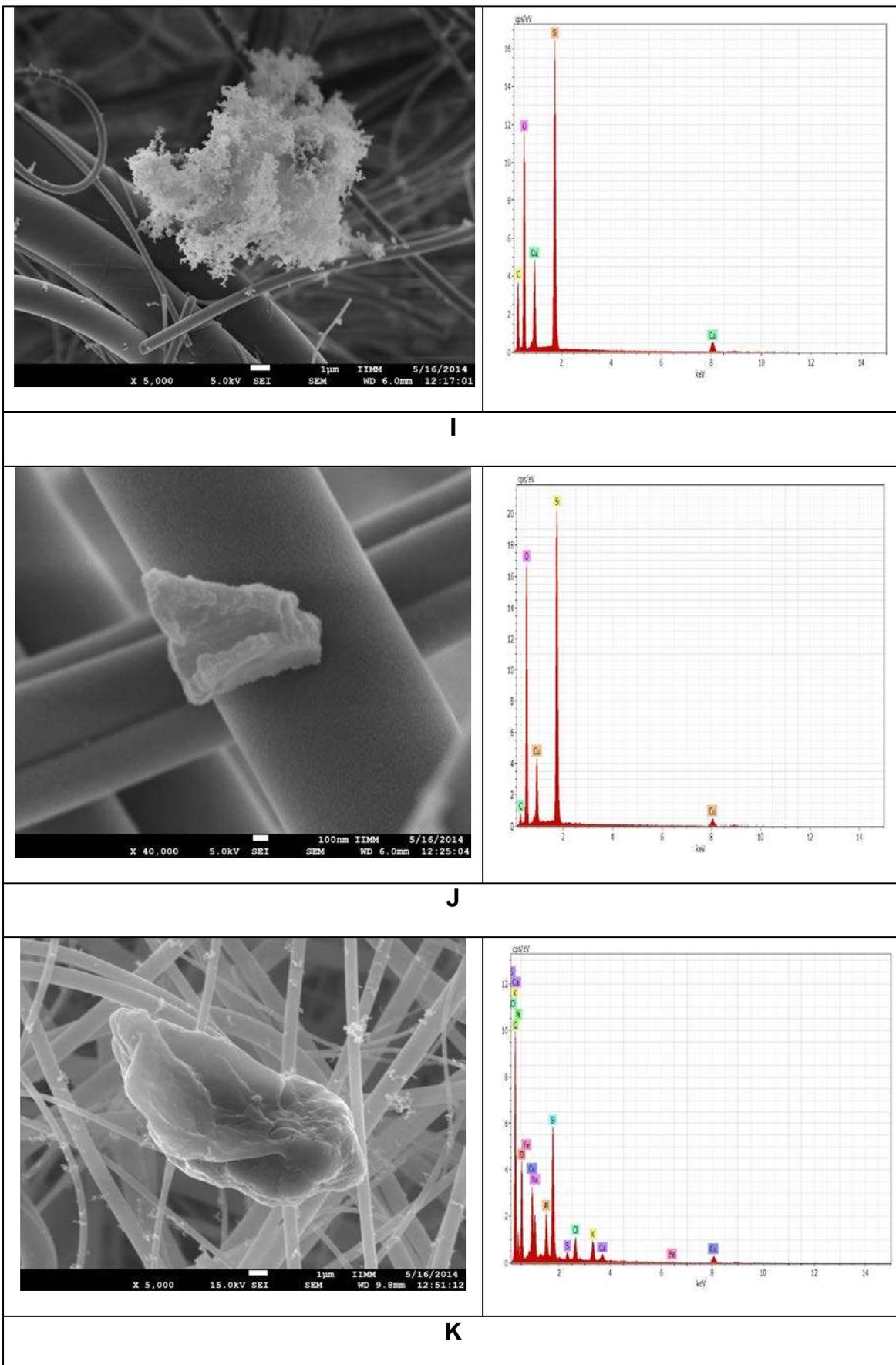


G



H

COMBI GRIS R-1



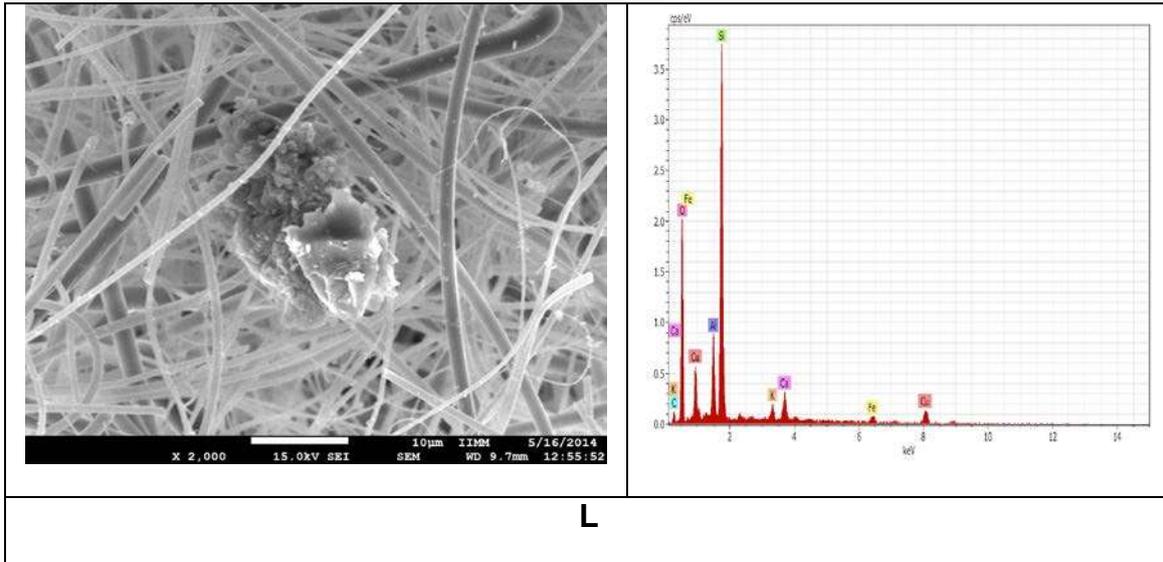


Tabla 31 Morfología de MEB de camión y combi, además de muestreo EDS

9.6 RESULTADOS DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y DE TIEMPO Y SU CORRELACIÓN CON CO Y CONTEO DE PARTÍCULAS

9.6.1 Resultados De Temperatura

Como se puede apreciar la temperatura, como era de esperarse, es más baja en el camión esto es entendible si consideramos el tamaño del camión y la proximidad de las personas que están abordo tienen entre ellos.

Tipo de transporte	Promedio de T (°C)
Camión	25.62
Combi	27.14
Total general	26.38

Tabla 32 Promedio de temperatura por tipo de transporte

En la tabla se observa de manera marcada que la temperatura en la mañana es la más fría de todas las registradas en los demás horarios, siendo las temperaturas más altas en el interior en los horarios de 14:00 a 15:00 y de 16:00 a 17:00 con una diferencia menor a un grado.

Tipo de transporte	Promedio de T (°C)
10_11	25.55
14_15	28.94
16_17	29.39
19_20	26.47
7_8	21.56
Total general	26.38

Tabla 33 Promedio de temperatura de acuerdo a los diferentes horarios

9.6.2 Resultados De Humedad Relativa

La humedad relativa se define como el porcentaje de saturación de vapor de agua de un gas de aire, como se puede observar a lo largo del día la saturación en la época del año de invierno en la que se realizó la campaña la HR% es de poca variación dentro del transporte público

Tipo de transporte	Promedio de H.R. %
10:00 – 11:00	49.96
14:00 – 15:00	50.31
16:00 – 17:00	51.49
19:00 – 20:00	50.20
07:00 – 08:00	49.5
Total general	50.29

Tabla 34 Promedio de HR% por horarios

La HR% se determina por zonas de exposición y se encuentra de igual manera que los horarios, su variación es muy pequeña lo que sugiere que la humedad no es un factor de gran variación para distinguir alguna afectación en alguno de los transportes.

Tipo de transporte	Promedio de H.R. %
norte	49.68
sur	50.82
Total general	50.29

Tabla 35 Promedio de HR% por zona

9.6.3 Resultados De Tiempo

Un factor importante para la percepción del usuario es el tiempo que alguno de ellos puede tomar, sin embargo se puede pensar que la “combi” es el transporte que realiza menos tiempo, sin embargo a la luz de los resultados se aprecia que los tiempos promedios son similares en casi todos los horarios a excepción del horario de las 16:00 a 17:00 horas, esto es muy importante para los periodos de exposición.

Camión		Combi	
Horario	Promedio de Tiempo en min	Horario	Promedio de Tiempo en Min
10:00 – 11:00	1.13	10:00 – 11:00	1.12
14:00 – 15:00	1.22	14:00 – 15:00	1.17
16:00 – 17:00	1.125	16:00 – 17:00	1.08
19:00 – 20:00	1.16	19:00 – 20:00	1.17
07:00 – 08:00	1.08	07:00 – 08:00	1.08
Total general	1.14	Total general	1.12

Tabla 36 Promedios de tiempo para cada uno de los transportes por horarios

10 ANALISIS DE RESULTADOS

En el análisis de resultados se puede ver interesante información, que nos das una idea del grado y diferencia de exposición en las dos modalidades de transporte público al que un usuario puede enfrentarse.

En la ciudad de Morelia el uso de estos dos tipos de transporte ha sido las principales formas de transporte público existiendo una marcada preferencia por el uso de la “combi”, por considerarla más rápida que el camión aunque en realidad, la diferencia de tiempos es en promedio de solo aproximadamente 5 minutos.

De los datos obtenidos sea observado que tanto la concentración como el número de partículas menores a $PM_{2.5}$ μm es usualmente mayor en la modalidad de “combi”, al igual que las fotos del MEB que se encontró principalmente partículas de hollín y no una variedad tan amplia como la que se observó en el “camión” esto puede ser porque en general en el hay más ventanas abiertas y una altura mayor tanto las ventanas como el mismo transporte.

De la misma forma se aprecia además que el horario en el cual las personas usuarias tienen una mayor exposición a los contaminantes analizados es en los horarios de la mañana como es de las 07:00 a 08:00 horas, presentándose un ligero incremento nuevamente en los horarios de 19:00 a 20:00 horas, esto podría ser probablemente a la falta de diversidad de horarios de trabajo y de ingreso a las escuelas, por lo que en las tardes hay más variedad de horarios de salidas del trabajar.

Además de acuerdo a los datos obtenidos se encontró que de manera general las áreas o paradas donde llega a existir una mayor concentración de contaminantes es en la zona del libramiento norte, debido probablemente a que existe una velocidad más alta en estas avenidas y a que existe un tránsito mayor de vehículos pesados sobretodo en el área del mercado de abastos, la

central camionera y avenida Huaniqueo, además otra influencia puede ser que la zona norte presenta más desertificación que la zona sur del libramiento.

Con respecto a la concentración de monóxido de carbono se observó un patrón muy similar al que se vio en partículas, sin embargo debido a que es un gas mucho de su comportamiento está ligado tanto a la presión atmosférica como a la temperatura, donde efectivamente a menor temperatura, que regularmente fue en las mañanas la concentración de CO aumento, sin embargo también hay una marcada tendencia en el transporte “combi”, a una mayor concentración de CO que en el “camión” de manera general, esto puede deberse a la diferencia de combustibles que se utilizan para cada uno en el caso de “combi” usualmente es gas y en el caso de “camión” es el uso de diesel, por lo que la combustión generalmente es más ineficiente en gasolina que en diesel, lo cual además puede estar muy ligado a las formas de conducir del chofer.

11 CONCLUSIONES

De acuerdo a la información recopilada por esta investigación podemos decir puntualmente que el transporte público “combi” sobre el libramiento, representa para los usuarios normalmente una mayor exposición de contaminantes de monóxido de carbono y partículas menores a $PM_{2.5}$

Esto en base a que una persona se expone en promedio a 38% mayor concentración de partículas en el uso de la combi, en lugar del camión

De los cinco horarios que se ensayaron y los resultados obtenidos se puede concluir que los horarios en los que la población se encuentra más expuesta son en la mañana de 07:00 a 08:00 horas y posteriormente en que presento mayores niveles de exposición fueron de 19:00 a 20:00 horas.

La exposición en la mañana de partículas $PM_{2.5}$ es 50% más alto que en el horario de 14:00 a 15:00 horas y un 35% más alto que en el de la noche de 19:00 a 20:00 horas, lo cual se relaciona al número de partículas

El día en que una persona se expone a mayor concentración de partículas son los lunes con un 20% mayor al día que le sigue que es el jueves.

En el número de partículas en la zona norte presentó un mayor número de las partículas de diámetro aerodinámico de $0.3 \mu m$ en un 0.04% mientras que los demás resultaron ser más altos en la zona sur

Las zonas de la ciudad que presentaron además los mayores niveles de concentración fueron la zona norte del libramiento, la concentración de CO fue en promedio 6% más alto que en la zona sur.

La concentración de CO fue 14% más alto en el uso de la “combi” que en el “camión”.

Los horarios de 07:00 a 08:00 horas representaron los de mayor exposición con respecto a los demás en un 17% más alto que el siguiente horario que es el de las 19:00 a 20:00 horas y hasta un 40% más que el de las 16:00 a 17:00

horas en camión. En “combi” la diferencia no es tan amplia ya que solo es 21% y 31% de los horarios más cercano y lejano que corresponden a 19:00 a 20:00 horas y de 16:00 a 17:00 horas respectivamente.

El tiempo que las personas se exponen en promedio en el transporte mostro ser 2 minutos más tardado en camión que en combi y los tiempos más largos son en el horario de 14:00 a 15:00 horas.

Gracias a lo mostrado por las fotografías del MEB se pudo determinar que el tipo de partículas que existe en el “camión” presenta una mayor variedad que las que se encontraron en la “combi”, que es mayoritariamente carbono orgánico.

12 RECOMENDACIONES

Algunas de las recomendaciones propuestas son que de este trabajo aún se pueden ligar muchos estudios con la información y con las muestras obtenidas, además, la misma ciudad se presta para poder realizar aún más estudios referentes a la misma línea de investigación comparándola con otras rutas de y generar información útil para la toma de decisiones en materia ambiental y de transporte público, considerando la importancia turística y cultural de la ciudad de Morelia es importante alinear los esfuerzos para lograr una mejor calidad del aire y encaminar esfuerzos para alcanzar la sustentabilidad.

13 BIBLIOGRAFIA

- chriscolose.wordpress.com*. (13 de 04 de 2008). Recuperado el 15 de noviembre de 2010, de the-uncloudy-cretaceous
- www.earth goolge.com* . (2008). Recuperado el 14 de 03 de 2014
- www.ine.gob.mx*. (26 de octubre de 2010). Obtenido de componenet/content/article/73-dica/523-calairecont-criterio
- www.inegi.gob.mx*. (2010). Recuperado el 19 de 05 de 2014, de principales resultados por localidad 2010 (ITER)
- www.epimtg.blogspot.mx*. (12 de 2012). Recuperado el 11 de 07 de 2014, de energydispersive-x-ray-spectroscopy-edx.html
- www.es. wikipedia.org*. (2010 de 8 de 8). Recuperado el 7 de 15 de 2014, de wiki/Microscopio_electrónico_de_transmisión
- Agency, E. P. (1996). Sampling of Ambient Air for Total Suspended Particulate Matter (SMP). En *Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air* (pág. 625).
- Agency, E. P. (1996). Sampling of Ambient air for Total Suspended Particulate Matter (SPM). En *Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air* (págs. EPA/625/R-96/010A).
- Agency, E. P. (2009). Integrated Science Assessment for Particulate Matter. EPA.
- Agency, E. P. (10 de noviembre de 2010). *www.epa.gov*. Obtenido de *airsince/quick-finder/particulate-matter-image.html*
- Arturo, R. G. (2008). *Reporte de Monitoreo Atmosferico 2008*. Morelia: SUMA.
- B.M., H. (1998). *Handbook of Chemical Technology and Pollution Control*. USA: Academia Press.
- Borja Aburto V.H., R. C.-M. (2000). Evaluation of Health Effects of Pollution. En *Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation* (págs. 275-341). Washinton D.C.: OECD Publication.
- C., H. W. (1999). *Aerosol Technology, Properties Behavior and Measurement of Airborne Particles*. New York, USA: John Wiley.
- C.P., B. R. (1974). *Handbook of enviromental Control Vol 1 Air pollution*.
- C.R., P. (1993). *Aerosol Science and Technology*. USA: Mc Graw Hill.
- COSUDE, S. (2007). *Efectos de la exposición prolongada al monóxido de carbono ambiental en población urbana de riesgo*. Cochabamba, Bolivia : , escuela técnica de salud boliviano

- japonés, instituto de investigaciones biomédicas de la universidad mayor de San Simón.
- COSUDE, S. (s.f.). Efectos de la exposición prolongada al monóxido de carbono ambiental en población urbana de riesgo. *escuela técnica de salud boliviano japonés, instituto de investigaciones biomédicas de la universidad mayor de San Simón*.
- DGICUR (Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional), D. (. (2008). Estudio de emisiones y actividad vehiculares en Morelia, Michoacán.
- Ecología, I. N. (s.f.). Recuperado el 2010 de Octubre de 26, de www.ine.gob.mx/component/content/article/73-dica/523-calaire-cont-criterio
- Ecología, I. N. (2008). *Estudio sobre Emisiones y Actividad Vehicular en Morelia, Michoacán*. Mexico D.F. : INECC.
- Enviromental Canada an Health Canada . (1999). *Priority Substances List Assessment Report, Respirable Particulate Matter Less than or Equal to 10 Microns*. Canada: Canadian Enviromental Protection Act.
- European Commission . (2004). *Second Position Paper on Particulate Matter*. CAFE working group particulate matter.
- F., W. y. (2003). *Contaminación del aire*. México D.F: Limusa, pag. 40-45 y 533-579.
- Fernández-Bremauntz, A. A. (1995). Exposure of commuters to carbon monoxide in Mexico City – I. Measurement of in-vehicle concentrations. *Atmospheric Environment*, 29, 525–532.
- Figuroa, M. A. (1996). *Contaminación Ambiental Causas y Control*. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Finlayson- Pitts, B. (s.f.). *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*. San Diego, USA: Academic Press.
- Fluke. (s.f.). www.fluke.com. Recuperado el 15 de 02 de 2014, de [fluke/mxes/Instrumentos-para-climatización y Calidad del aire en Interiores/Medidores de aire?Fluke](http://www.fluke.com/mxes/Instrumentos-para-climatización-y-Calidad-del-aire-en-Interiores/Medidores-de-aire?Fluke)
- Glynn H. J., H. W. (s.f.). *Ingeniería Ambiental*. Mexico, D.F.: Pearson.
- Gobierno del estado de Michoacán, s. d. (noviembre de 2008). Inventario de emisiones contaminantes a la atmosfera y cinco municipios.
- H., V. J. (2007). *Aerosol Sampling Science, Standards, Instrumentation and Applications*. New York, USA: Jonh Wiley.
- Heinke W.G., H. J. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México, D.F.: Prentice Hall.
- <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx>. (s.f.). Recuperado el 5 de 2014, de [/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec_11.htm](http://sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec_11.htm)

- <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/>. (s.f.). Recuperado el 07 de 05 de 2014, de sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec_11.htm
- INE, S. (s.f.). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*. México D.F. .
- Instituto Nacional de Ecología, S. d. (2011). *Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM 2.5*. Tlanepantla, edo de México: Punto Final Gráficos.
- J., M. (1999). *Protocolo para el Análisis Elemental de Aerosoles Atmosféricos empleando Acelerador de Partículas* . México: UNAM .
- Jiang M, M. L. (2005). Vehicle fleet emissions of black carbon, polycyclicaromatic hydrocarbons and the pollutants measured by a mobile laboratory in Mexico City . *Atmosphere Chemistry and Physics* , 3377-3387.
- Kaur S., N. M. (febrero de 2007). Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments. *Atmospheric Environment*, 41, 4781–4810.
- Marta Patricia Sierra Vargas, A. M. (s.f.). Airborne particulate matter PM 2.5 from Mexico City affects the generation of reactive oxygen species by blood neutrophils from asthmatics.
- mendocino. (19 de septiembre de 2010). *co.mendocino.ca.us*. Obtenido de www.co.mendocino.ca.us/aqmdAQhistory.htm
- Morelia, H. A. (2011). *Programa parcial de desarrollo urbano del centro histórico de Morelia, Michoacán*. Morelia, Michoacán.
- R., S. K. (1999). *Analytical Chemistry of Aerosols*. USA: Lewis Publishers.
- R., S. K. (1999). *Analytical Chemistry of Aerosols*. USA: Lewis Publishers.
- Raub James A, M. N. (1999).
- Raub James A., M.-N. H. (17 de noviembre de 1999). Carbon monoxide poisoning-a public health perspective.
- RUSSELL, A. G. (2012). A Focus on Particulate Matter and Health. *Environmental Science and Technology*, 4620-4625.
- S.J., S. W. (s.f.). *Contaminación del Aire, Causas, Efectos y Soluciones*. México D.F.: Trillas.
- Sans F. R., R. J. (s.f.). *Ingeniería Ambiental Contaminación y Tratamiento*. Colombia: Alfaomega.
- Seinfeld J. H., P. S. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics*. New York, USA: John Wiley.
- SEMARNAT, I. (2010). *Estudio de Emisiones y Actividades Vehiculares en Morelia*. Morelia: SEMARNAT.

Wöhrensimmel Henry, Z. M.-V. (28 de Julio de 2008). The impact of a Bus Rapid Transit system on commuters' exposure to Benzene, CO, PM2.5 and PM10 in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 42, 8194.

World Health Organization Europe. (2005). *Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide*. USA: Air Quality Guidelines. Global Update.

www.investigaciones.uniandes.edu.co. (s.f.). Recuperado el 7 de 7 de 2014, de [index.php/es/centro de microscopia/microscopio -electronico-de-barrido-meb/equipos/74-sistema-de-micronalisis-eds-inca-nergy-250](http://index.php/es/centro-de-microscopia/microscopio-electronico-de-barrido-meb/equipos/74-sistema-de-micronalisis-eds-inca-nergy-250)

www.skcin.com. (s.f.). Recuperado el 03 de 05 de 2014, de prod/761-200.asp

www.upc.edu. (s.f.). Recuperado el 5 de 07 de 2014, de sct/es/equip/714/microscopio-electronico-barrido-meb-sem.html

www.upct.es. (s.f.). Recuperado el 11 de 07 de 2014, de [sait/sit/recursos micro barrido.html](http://sait/sit/recursos-micro-barrido.html)

www.wikipedia.org. (s.f.). Recuperado el 23 de 06 de 2014, de [wiki/Scanning electron microscope](http://wiki/Scanning-electron-microscope)

ANEXO 1



MEDICIÓN DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN TRANSPORTE PÚBLICO

MODELO: _____ NÚMERO: _____ FECHA: ____/____/____ HORA DE INICIO: _____ HORA FINAL: _____

PARADAS	Transporte Combi o Camión								Filtro Teflon			Cuarzo			Fibra de vidrio					
	T(°C)	% H. R.	CO	HORA	CRONOM.	T(°C)	% H. R.	CO	HORA	CRONOM.	T(°C)	% H. R.	CO	HORA	CRONOM.	T(°C)	% H. R.	CO	HORA	
BASE																				
PEPSI																				
XANGARI																				
COSTCO																				
CASA DE GOBIERNO																				
ZOOLOGICO																				
AURRERA																				
IMSS																				
OFFICE DEPOT																				
LAS AMERICAS																				
PLAZA MORELIA																				
MIL CUMBRES																				
LANCASTER																				
SAN RAFAEL																				
MOTEL INN																				
SALIDA CHARO																				
ABASTOS																				
TEC.																				
TORREÓN NUEVO																				
AV. HUANIQUEO																				
WALMART																				
CENTRAL																				
SCT																				
SALIDA QUIROGA																				
MANIAITALES																				
BASE																				

Elaboro: Víctor Daniel Sandoval García _____ Reviso: Arturo Rangel Gonze _____
 Anahí Guadalupe Solís Castro _____ Aprobó: Dr. Marco Antonio Martínez Cinco _____
 Rubén Ramos García _____



MEDICIÓN DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN TRANSPORTE PÚBLICO

MODELO: _____ NÚMERO: _____ FECHA: ____/____/____ HORA DE INICIO: _____ HORA FINAL: _____

PARADA	OBSERVACIONES					
	TRAFICO*	BASE**	TIEMPO DE BASE	COMPETENCIA***	TRANSPORTE PESADO #	HUMO VISIBLE @
BASE						
PEPSI						
XANGARI						
COSTCO						
CASA DE GOBIERNO						
ZOOLOGICO						
AURRERA						
IMSS						
OFFICE DEPOT						
LAS AMERICAS						
PLAZA MORELIA						
MIL CUMBRES						
LANCASTER						
SAN RAFAEL						
MOTEL INN						
SALIDA CHARO						
ABASTOS						
TEC.						
TORREÓN NUEVO						
AV. HUANIQUEO						
WALMART						
CENTRAL						
SCT						
SALIDA QUIROGA						
MANIAITALES						
BASE						

Símbolo	Significado
@	HV = Humo Blanco HN = Humo Negro
#	T = Tráiler P = pipa V = Volteo R = Remolque A = Autobús
***	B = Camión C = Combi misma ruta C1 = Combi otra ruta
**	Haciendo Para recibir Pasaje
*	No. de coches Ad. At. ← C →

Elaboro: Víctor Daniel Sandoval García _____ Reviso: Arturo Rangel Gonze _____
 Anahí Guadalupe Solís Castro _____ Aprobó: Dr. Marco Antonio Martínez Cinco _____
 Rubén Ramos García _____



MEDICIÓN DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN TRANSPORTE PÚBLICO



Calibración

Hora	FECHA	CONTADOR DE PARTÍCULAS						MEDIDOR DE CO Y CO2 (ppm)					
		T (°C)	% H. R.	0.3 (µm)	0.5 (µm)	1.0 (µm)	2.0 (µm)	3.0 (µm)	10.0 (µm)	T(°C)	% H. R.	CO	CO ₂

Elaboro: Víctor Daniel Sandoval García _____ Revisó: Arturo Rangel Gonco _____
 Anahí Guadalupe Solís Castro _____ Aprobó: Dr. Marco Antonio Martínez Cínco _____
 Rubén Ramos García _____



MEDICIÓN DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN TRANSPORTE PÚBLICO



MODELO: _____ NÚMERO: _____ FECHA: ____/____/____ HORA DE INICIO: _____ HORA FINAL: _____

Pasajero Monitor * Ventana Abierta +Puerta

En el centro del esquema se colocara el número de personas totales que están en el transporte público con la siguiente simbología 15/2 donde 15 son sentados y 2 parados donde H=hombre, M=Mujer, N=Niño, J=jóvenes y V= viejos

ANEXO 2



**INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA
Y CAMBIO CLIMÁTICO**

CADENA DE CUSTODIA

Av. San Rafael Atlixco No 186, Col Vicentina, Del. Iztapalapa C. P. 09340 México, D. F.
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Edificio "W" de Ciencia y Tecnología Ambiental, 2º Piso
Tel. 57244600 ext. 2592 tel. /fax 56133821

FOLIO:

Solicitante: ARTURO RANGEL GONCE de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Maestría en Ciencias de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Química	Muestreo realizado por:
Domicilio: Avenida Francisco J. Mugica S/N Ciudad Universitaria	ARTURO RANGEL GONCE
Ciudad: Morelia Estado: Michoacán C. P. 58030	
Tel: 443-316-45-52 Fax: CORREO ELECT. arturorangelunoh@gmail.com	
Fecha: 21 de abril de 2014	

ANÁLISIS SOLICITADOS

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	CLAVE DE IDENTIFICACIÓN INTERIA	FECHA Y HORA DE MUESTREO	TIPO	MATRIZ	CONTENEDOR	No	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	GRAVIMETRÍA	CO I C E				
T-37 002	Blanco V	21/02/14 7-8 H					Muestra obtenida con muestreador PEM SKC, filtro de latex Ball de 37 mm, en el Libramiento de la Ciudad de Morelia, con Combi ruta gris 1 circuito	X					
T-37 003	Blanco I	19/02/14 14-15 H					Muestra obtenida con muestreador PEM SKC, filtro de latex Ball de 37 mm, en el Libramiento de la Ciudad de Morelia, con Combi ruta gris 1 circuito	X					
T-37 004	Blanco Ju	20/02/14 19-20 H					Muestra obtenida con muestreador PEM SKC, filtro de latex Ball de 37 mm, en el Libramiento de la Ciudad de Morelia, con Combi ruta gris 1 circuito	X					
T-37 006/14	G1 L	17/02/14 7-8 H					Muestra obtenida con muestreador PEM SKC, filtro de latex Ball de 37 mm, en el Libramiento de la Ciudad de Morelia, con Combi ruta gris 1 circuito	X					
T-37 007/14	G1 L	17/02/14 14-15 H					Muestra obtenida con muestreador PEM SKC, filtro de latex Ball de 37 mm, en el Libramiento de la Ciudad de Morelia, con Combi ruta gris 1 circuito	X					
T-37 008/14	G1 L	17/02/14 19-20 H					Muestra obtenida con muestreador PEM SKC, filtro de latex Ball de 37 mm, en el Libramiento de la Ciudad de Morelia, con Combi ruta gris 1 circuito	X					
