



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Cálculo de factores de emisión vehicular para la zona urbana de Quito en base al análisis de los registros de la Revisión Técnica Vehicular del año 2012 y monitoreo en ruta de campo.**

**Lorena Elizabeth Ocaña Huerta**

**René Parra, PhD., Director de Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito  
para la obtención del título de Ingeniera Ambiental

Quito, diciembre 2014

**Universidad San Francisco de Quito  
Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Cálculo de factores de emisión vehicular para la zona urbana de Quito en base al análisis de los registros de la Revisión Técnica Vehicular del año 2012 y monitoreo en ruta de campo.**

**Lorena Elizabeth Ocaña Huerta**

René Parra, Ph.D.  
Director de Tesis

.....

María del Carmen Carzola, Ph.D.  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Pablo Dávila, Ph.D.  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Ximena Córdova, Ph.D.  
Decana de la Escuela de Ingeniería  
Colegio de Ciencias e Ingeniería

.....

Quito, diciembre 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre: Ocaña Huerta Lorena Elizabeth

C. I.: 1717358061

Fecha: Quito, diciembre de 2014

## **DEDICATORIA**

A mis padres por el apoyo incondicional durante toda mi carrera universitaria, a mi hermana por estar siempre a mi lado en todos los momentos, a todas la personas que han hecho de esta etapa de mi vida un camino llevadero y divertido.

## **AGRADECIMIENTOS**

Dr. René Parra por su guía durante mis años de estudiante, su apoyo y entrega para la elaboración de mi trabajo de titulación.

A mis profesores que han sido parte de este largo camino y me han enseñado que un buen trabajo y esfuerzo siempre es bien reconocido.

Al personal que forma parte de la Secretaria de Ambiente por aprobarme la solicitud y préstamo del equipo analizador de gases Montana OEM utilizado en este proyecto.

Ing. Jorge Kaslin, por su ayuda en el desarrollo de las pruebas prácticas en ruta.

A las personas que me facilitaron los vehículos de prueba y Edwin Calispa por ayudarme con el recorrido del vehículo durante toda la prueba.

## Resumen

Las emisiones producidas debido al tráfico vehicular en las zonas urbanas de Quito son responsables de la mayor cantidad de contaminantes del aire: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), material particulado menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>) y compuesto orgánicos volátiles (COVS). Se analizó la base de datos del año 2012 de los registros (456 675) de la Revisión Técnica Vehicular para determinar el tamaño del parque vehicular revisado, su clasificación y la variación de las emisiones de acuerdo al año de fabricación de los vehículos. La flota revisada fue de 390 326 vehículos, donde el 95.5 % utilizan gasolina y el 4.5 % usan diesel como combustible. El 78.72 % de los vehículos a gasolina son automóviles y el 50.49% de los vehículos a diesel corresponde al transporte de carga. Las emisiones de los vehículos a gasolina son mayores en los automotores antiguos, comparados con los de reciente fabricación. Un automóvil a gasolina, modelo 1990 o anterior, en ralentí emite 60.92 y 25.30 veces más de CO y HC respectivamente en relación a un automóvil del año 2012. En los vehículos a diesel no se encontró una relación entre el año de fabricación y la opacidad. Los factores de emisión obtenidos de la prueba dinámica para un Chevrolet Corsa 2004 son: 53.12 g/km CO, 5.69 g/km HC y 2.2 g/km NO<sub>x</sub> y para un Chevrolet Aveo 2013 2.32 g/km CO, 0.16 g/km HC, y 0.30 g/km NO<sub>x</sub>. Curvas de factor de emisión en función de la velocidad instantánea fueron analizadas para representar ecuaciones que modelan las curvas para los diferentes contaminantes (CO, HC y NO<sub>x</sub>). La composición en fracción del parque vehicular y las curvas propuestas de los factores de emisión en función de la velocidad, pueden ser utilizadas para mejorar la estimación de las emisiones del tráfico vehicular en la zona urbana de Quito.

## Abstract

Vehicles emissions produced in urban areas in Quito are responsible for the highest percentage of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), particulate matter less than 2.5 microns (PM<sub>2.5</sub>), and volatile organic compounds (VOCs). Database of 456 675 records from Revisión Técnica Vehicular year 2012 was analyzed to determine the size of the vehicle fleet, its classification and emission control. The total number of the fleet is 390 326 from which 95.5 % use gasoline and 4.5 % use diesel. Also, the 78.72% of gasoline vehicles are cars and the 50.49% of diesel vehicles corresponds to cargo category. Gasoline vehicle's emissions (CO and HC) are higher in old automobiles and lower in new and recent vehicles. A gasoline car, model 1990 or earlier at idling emits 60.92 and 25.30 more times CO and HC in comparison to an automobile in 2012. Diesel vehicles present no relationship between year of fabrication and opacity. The emission factors from Chevrolet Corsa 2004 obtained during the dynamic test are: 53.12 g/km CO, 5.69 g/km HC and 2.2 g/km NO<sub>x</sub> and for the 2013 Chevrolet Aveo 2.32 g/km CO, 0.16 g/km HC and 0.30 g/km NO<sub>x</sub>. Finally, based on the emission factor curves, trend equations were determine for emission factors of the different contaminants (CO, HC and NO<sub>x</sub>) vs. instantaneous velocity. The fraction composition of the vehicle fleet and the curves of the emission factors as a function of speed can be used to improve the estimation of emissions from vehicular traffic in Quito.

## Tabla de contenido

Resumen .....	7
Abstract .....	8
1. Introducción .....	15
2. Objetivos .....	18
2.1. Objetivo General .....	18
2.2. Objetivos Específicos .....	19
3 Marco Teórico .....	20
3.1 Inventario de emisiones del DMQ.....	20
3.2 Modelo básico para el cálculo de emisiones .....	22
3.3 Revisión técnica vehicular (RTV).....	23
3.4 Contaminación vehicular.....	26
3.5 Funcionamiento de los motores a Gasolina y Diesel.....	26
3.5.1 Motor a Gasolina.....	26
3.5.1.1 Relación Aire-combustible.....	28
3.5.1.2 Sistema de control de emisiones .....	29
3.5.2 Motor a Diesel.....	30
3.6 Productos de la combustión de los vehículos.....	31
3.6.1 Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ):.....	31
3.6.2 Material Particulado menor a 2.5 micras (PM <sub>2.5</sub> ):.....	31
3.6.3 Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ): .....	32
3.6.4 Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).....	33
3.6.5 Monóxido de Carbono (CO).....	34
3.7 Ciclos de conducción .....	35
3.8 Prueba dinámica para el control de emisiones .....	36
4 Método .....	37
4.1 Base de datos RTV del año 2012 .....	37
4.2 Programas Informáticos .....	37
4.2.1 Microsoft Office Excel 2007.....	37
4.2.2 IBM SPSS Statistics Data Editor.....	37
4.2.3 Matlab.....	38
4.3 Ruta establecida.....	38
4.4 Equipos experimentales.....	39

4.4.1	Analizador de gases Montana OEM.....	39
4.4.2	GPS Speed Tracker .....	41
4.5	Caracterización del parque vehicular .....	41
4.6	Análisis Estadístico de los registros de emisiones de la RTV .....	45
4.7	Pruebas dinámicas en ruta .....	45
4.8	Análisis de los datos tomados en ruta .....	48
5	Resultados y discusión .....	48
5.1	Clasificación General del Parque Vehicular .....	48
5.2	Inventario por año/modelo de los vehículos.....	53
5.3	Análisis de las emisiones vehiculares de la RTV año 2012 .....	59
5.3.1	Vehículos a Gasolina.....	59
5.3.2	Motocicletas .....	66
5.3.3	Vehículos a Diesel.....	68
5.4	Análisis de las emisiones vehiculares de la prueba dinámica .....	70
5.4.1	Velocidades medias de la ruta de conducción.....	70
5.4.2	Ruta de conducción recorrida: Chevrolet Corsa 2004.....	71
5.4.3	Ruta de conducción: Chevrolet Aveo 2013.....	74
5.5	Factores de emisión, tasas de consumo y factores del consumo de combustible.....	78
5.6	Cálculo de factores de emisión teóricos .....	83
6	Conclusiones .....	91
7	Recomendaciones.....	93
8	Propuestas de continuidad.....	94
	Bibliografía .....	95

## Índice de tablas

Tabla 1: Emisiones anuales del año 2007 para el DMQ (t/año) (CORPAIRE, 2009) .....	21
Tabla 2: Porcentajes de las emisiones anuales del año 2007 para el DMQ (CORPAIRE, 2009) .....	21
Tabla 3: Emisiones de las fuentes móviles separados en tráfico vehicular y aéreo (t/año) (CORPAIRE, 2009) .....	22
Tabla 4: Aporte porcentual de las fuentes móviles en relación al total de emisiones (CORPAIRE, 2009) .....	22
Tabla 5: Concentraciones permisibles en la RTV para vehículos a gasolina .....	25
Tabla 6: Concentraciones permisibles en la RTV para vehículos a diesel.....	25
Tabla 7: Clasificación del ciclo de trabajo en la zona urbana de Quito para pruebas dinámicas en ruta.....	38
Tabla 8: Características del ciclo de trabajo para la prueba dinámica en ruta.....	39
Tabla 9: Características del vehículo 1: Modelo Corsa Evolution marca Chevrolet.....	45
Tabla 10: Características del vehículo 2: Modelo Aveo Activo marca Chevrolet .....	46
Tabla 11: Clasificación y caracterización general del parque vehicular de la base de datos de la RTV del año 2012.....	48
Tabla 12: Clasificación de los Vehículos Livianos a Gasolina para el año 2012 presentados en la RTV .....	49
Tabla 13: Clasificación de los Vehículos Pesados a Gasolina para el año 2012 presentados en la RTV .....	49
Tabla 14: Clasificación de los Vehículos Livianos a Diesel para el año 2012 presentados en la RTV .....	50
Tabla 15: Clasificación de los Vehículos Pesados a Diesel para el año 2012 presentados en la RTV .....	51
Tabla 16: Comparación por tipo de vehículo con los registros de la AEADE (AEADE, 2012).....	52
Tabla 17: Porcentaje total de vehículos a gasolina y diesel según la RTV (2012) y el INEC (2012). El INEC incluye categorías de gas licuado y eléctrico que completan el 100%.....	53
Tabla 18: Distribución de los vehículos a gasolina clasificados por años y tipo de vehículo de acuerdo a los registros de la RTV del 2012.....	55
Tabla 19: Porcentajes de la composición de vehículos a gasolina de acuerdo a los registros de la RTV del 2012.....	56
Tabla 20: Distribución de los vehículos a diesel clasificados por años y tipo de vehículo de acuerdo a los registros de la RTV del 2012 .....	57
Tabla 21: Porcentajes de la composición de vehículos a diesel de acuerdo a los registros de la RTV del 2012.....	58
Tabla 22: Registros de las emisiones para la prueba estática de los automóviles a Gasolina a Ralentí y 2500 rpm. ....	61
Tabla 23: Registros de las emisiones para la prueba estática de Camionetas a Gasolina a Ralentí y 2500 rpm. ....	62
Tabla 24: Registros de las emisiones para la prueba estática de Furgonetas a Gasolina a Ralentí y 2500 rpm. ....	63
Tabla 25: Registros de las emisiones de HC y CO para las motos presentes en la base de datos de la RTV (2012).....	67

Tabla 26: Porcentajes medios de opacidad medidos en los vehículos pesados a Diesel para los diferentes modelos por año en la prueba estática .....	69
Tabla 27: Resumen de la ruta de conducción para el Chevrolet Corsa 2004 .....	71
Tabla 28: Resumen de la ruta de conducción para el Chevrolet Aveo 2013.....	71
Tabla 29: Resumen de los micro viajes realizados durante la ruta de conducción en el primer circuito usando un Chevrolet Corsa 2004 .....	74
Tabla 30: Resumen de los micro viajes realizados durante la ruta de conducción en el primer circuito usando un Chevrolet Aveo 2013 .....	76
Tabla 31: Resumen de los micro viajes realizados durante la ruta de conducción en el segundo circuito usando un Chevrolet Aveo 2013 .....	76
Tabla 32: Resumen de los micro viajes realizados durante la ruta de conducción en el tercer circuito usando un Chevrolet Aveo 2013 .....	77
Tabla 33: Factores de emisión y factor de consumo de combustible para el Chevrolet Corsa 2004	78
Tabla 34: Factores de emisión y factor de consumo de combustible para el Chevrolet Aveo 2013	78
Tabla 35: Indicadores de la emisión de gases por kg de combustible para el Chevrolet Corsa 2004 .....	79
Tabla 36: Indicadores de la emisión de gases por kg de combustible para el Chevrolet Aveo 2013	79
Tabla 37: Rendimiento de combustible del Chevrolet Corsa 2004.....	79
Tabla 38: Rendimiento de combustible del Chevrolet Aveo 2013.....	80
Tabla 39: Relación de los factores de emisión del Chevrolet Corsa (2004) con respecto al Chevrolet Aveo (2013).....	80
Tabla 40: Coeficientes para el vehículo Chevrolet Corsa 2004 para el cálculo de los factores de emisión en diferentes rangos de velocidades para el CO, HC y NO <sub>x</sub> .....	85
Tabla 41: Coeficientes para el vehículo Chevrolet Aveo 2013 para el cálculo de los factores de emisión en diferentes rangos de velocidades para el CO, HC y NO <sub>x</sub> .....	87

## Índice de figuras

Figura 1: Ubicación geográfica del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y la zona urbana de Quito en Ecuador. En la izquierda América Latina y Ecuador en verde; y a la derecha en azul el DMQ y en amarillo la zona urbana de Quito. ....	20
Figura 2: Ubicación de los centros de la RTV en la zona urbana de Quito. ● CRTV Carapungo, ● CRTV Florida, ● CRTV San Isidro del Inca, ● CRTV Los Chillos, ● CRTV Guajaló, ● CRTV Guamaní .....	24
Figura 3: Fases del ciclo de Otto (De Nevers, 1998) .....	27
Figura 4: Comportamiento de los contaminantes CO, HC y NO <sub>x</sub> en función de la relación Aire Combustible (Godish, 1991) .....	29
Figura 5: Montaña OEM .....	39
Figura 6: Analizador de gases Instalado en el vehículo de prueba.....	40
Figura 7: Clasificación original de la base de datos de la RTV del 2012 para los vehículos a gasolina .....	42
Figura 8: Clasificación original de la base de datos de la RTV del 2012 para los vehículos a diesel .....	43
Figura 9: Clasificación modificada de los registros de la RTV del año 2012 para vehículos a gasolina .....	44
Figura 10: Clasificación modificada de los registros de la RTV del año 2012 para vehículos a diesel .....	44
Figura 11: Vehículo de prueba Chevrolet Corsa 2004 para el cálculo de los factores de emisión en la ciudad de Quito. ....	46
Figura 12: Vehículo de prueba Chevrolet Aveo 2013 para el cálculo de los factores de emisión en la ciudad de Quito. ....	47
Figura 13: Clasificación porcentual de los vehículos a gasolina del año 2012 presentados en la RTV .....	50
Figura 14: Clasificación porcentual de los vehículos a diesel del año 2012 presentados en la RTV	51
Figura 15: Variación de las emisiones de HC y CO a Ralentí para los diferentes años de fabricación de automóviles a gasolina del parque. Las concentraciones son menores a medida que el automóvil es más nuevo. ....	64
Figura 16: Variación de las emisiones de HC y CO a 2500 RPM para los diferentes años de fabricación de automóviles a gasolina del parque. Las concentraciones son menores a medida que el automóvil es más nuevo. ....	64
Figura 17: Variación de las emisiones de HC y CO en Ralentí para los diferentes años de fabricación de furgonetas a gasolina del parque. ....	64
Figura 18: Variación de las emisiones de HC y CO a 2500 RPM para los diferentes años de fabricación de furgonetas a gasolina del parque. ....	65
Figura 19: Variación de las emisiones de HC y CO en Ralentí para los diferentes años de fabricación de camionetas a gasolina del parque .....	65
Figura 20: Variación de las emisiones de HC y CO para los diferentes años de fabricación de camionetas a gasolina del parque. ....	66
Figura 21: Variación de las emisiones por modelo de moto desde 1990 y anteriores hasta el 2012 para concentraciones medidas a Ralentí.....	68

Figura 22: Variación de Opacidad de acuerdo a los modelos de vehículos a diesel. La opacidad no tiene relación alguna con el año/modelo de los vehículos. El color rojo representa los microbuses, el azul el transporte de carga y el negro los buses.....	70
Figura 23: Perfil de velocidades de la ruta de conducción utilizando un Chevrolet Corsa 2004: circuito 1.....	72
Figura 24: Histograma porcentual de las velocidades del primer circuito de la ruta con un Chevrolet Corsa 2004 .....	73
Figura 25: Perfil de velocidades de la ruta de conducción utilizando un Chevrolet Aveo 2013: circuito 1.....	75
Figura 26: Histograma porcentual de las velocidades del primer circuito de la ruta con un Chevrolet Aveo 2013 .....	75
Figura 27: Factores de emisión vs velocidad del Corsa 2004 para el primer circuito y del Aveo 2013 para el primer circuito. ....	81
Figura 28: índices de emisión y consumo de gasolina vs velocidad para el Corsa 2004 primer circuito y para el Aveo 2013 primer circuito .....	83
Figura 29: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Corsa 2004 para el cálculo del factor de emisión del CO (g/km) .....	86
Figura 30: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Corsa 2004 para el cálculo del factor de emisión del HC (g/km) .....	86
Figura 31: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Corsa 2004 para el cálculo del factor de emisión del NO <sub>x</sub> (g/km).....	87
Figura 32: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Aveo 2013 para el cálculo del factor de emisión del CO (g/km).....	88
Figura 33: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Aveo 2013 para el cálculo del factor de emisión del HC (g/km).....	88
Figura 34: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Aveo 2013 para el cálculo del factor de emisión del NO <sub>x</sub> (g/km) .....	89
Figura 35: Resultado de los factores de emisión europeos en comparación con el Corsa 2004 y Aveo 2013 para el CO.....	90
Figura 36: Resultado de los factores de emisión europeos en comparación con el Corsa 2004 y Aveo 2013 para los HC .....	90
Figura 37: Resultado de los factores de emisión europeos en comparación con el Corsa 2004 y Aveo 2013 para el NO <sub>x</sub> .....	91

## 1. Introducción

El incremento del parque automotriz y la actividad industrial, está causando contaminación del aire con efectos negativos tanto en la salud pública como en los ecosistemas. Actualmente, es prioritario reducir las emisiones de origen antropogénico para mejorar la calidad de aire.

La contaminación del aire puede ser natural o antropogénica. Las fuentes de emisión natural incluyen: erupciones volcánicas, actividades geotérmicas, incendios forestales, aerosoles marinos y resuspensión atmosférica (Ecodes, 2010). Se denomina contaminación natural a todo aquello emitido por la vegetación y la actividad microbiana, cuyo papel es importante en la química de la tropósfera al participar directamente en la formación de ozono y otros contaminantes (Semarnat, 2007). Las emisiones o descarga de contaminantes a la atmósfera de origen antropogénico incluyen: el uso de energía, las actividades industriales, el transporte, la agricultura y la ganadería. Las emisiones se generan en fuentes fijas y móviles.

Las fuentes fijas pueden ser puntuales, cuando su localización está definida, como las chimeneas de centrales térmicas e industrias grandes. Las fuentes móviles abarcan aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas y cualquier maquinaria no fija (Foundation, 2013). Estas fuentes emiten contaminantes primarios como: dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC), material particulado menor a 10 micras ( $\text{PM}_{10}$ ) y material particulado menor a 2.5 micras ( $\text{PM}_{2.5}$ ) (Wark, 2003).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que la contaminación del aire es responsable del 1.4 % de las muertes a nivel mundial y en Ecuador causa 500 muertes al

año. La exposición aguda y crónica se asocia con el incremento de la mortalidad por problemas respiratorios y cardiovasculares (Romieu et al., 2010).

La contaminación del aire es compleja. Los contaminantes primarios pueden interactuar y formar nuevos compuestos iguales o más perjudiciales que sus precursores. Para controlar la concentración de contaminantes en la atmósfera se han creado programas de gestión de la calidad del aire. En América Latina, de acuerdo a un estudio realizado en Brasil, Chile y México, se ha hecho una gran labor en el monitoreo de contaminantes y el desarrollo de los programas de gestión; mientras que otros países como Argentina, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Nicaragua, Perú, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela están avanzando en menor grado en la vigilancia de la calidad del aire (Romieu et al., 2010).

El presente proyecto de investigación se enfoca en las emisiones del tráfico vehicular, dado que esta fuente contribuye en un alto porcentaje a las emisiones de CO (97.3 %), compuestos orgánicos volátiles (COVs) (39.4 %), NO<sub>x</sub> (52.3 %) y PM<sub>2.5</sub> (45.6 %) de los registros del inventario de emisiones del 2007 para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) (CORPAIRE, 2009). Los inventarios de emisiones son instrumentos para la gestión de la calidad de aire donde se identifican y caracterizan las fuentes de contaminación. En el DMQ se han realizado inventarios de emisiones en el año 2003, 2005 y 2007 (CORPAIRE, 2009). En estos inventarios se determina el nivel de impacto de un compuesto por medio de factores de emisión. Un factor de emisión es la relación entre la masa de contaminante emitido a la atmosfera y una unidad de actividad (INECC, 2005), y para el inventario del 2007 del DMQ fueron utilizados como referencia los siguientes documentos: Programa de Mejoramiento de los Inventarios de Emisiones de la EPA 2005 (EPA, 2005), Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México del

2000 (SMA, 2005) y varios documentos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, USEPA (EPA, 2003). La incertidumbre de los inventarios de emisiones, representa la diferencia entre las emisiones realizadas y los factores de emisión reales. Este dato se evalúa de forma semicuantitativa utilizando las primeras letras del alfabeto (A-E), siendo “A” datos de calidad y “E” datos pobres de los cuales no hay datos suficientes (IPCC, 2001). Por este motivo este proyecto se focaliza en la obtención de factores de emisión propios de la zona urbana de Quito a fin de mejorar la calidad de futuras actualizaciones a los inventarios de emisiones. Para el cálculo de los factores de emisión, primero se caracterizará la composición del parque vehicular revisado en la Revisión Técnica Vehicular (RTV) y en base a esos resultados se definirá el porcentaje más alto de vehículos clasificados por año para elegir el más usado en la zona urbana de Quito. En la segunda parte de la tesis se realizarán pruebas dinámicas con dos vehículos de diferente año de fabricación para obtener factores de emisión preliminares.

En la ciudad de Quito se ejecuta actualmente la RTV que es un sistema de gestión, encargado de la revisión del estado mecánico, de seguridad y emisiones de los vehículos en el DMQ. La RTV tiene como objetivo principal garantizar las condiciones mínimas de seguridad de los vehículos, comprobar que cumplan con las normas técnicas según las normas INEN y mantener un nivel de emisiones contaminantes por debajo de las concentraciones máximas establecidas en las regulaciones vigentes (Secretaría de la movilidad, 2013).

Existen dos tipos de pruebas que se realizan para medir emisiones vehiculares: pruebas estáticas y pruebas dinámicas. En la RTV se realizan pruebas estáticas de las emisiones vehiculares que consisten en medir la concentración de los contaminantes del tubo de escape en periodos de aceleración y el régimen mínimo de revoluciones por minuto

(ralentí) con un equipo analizador de gases para controlar las emisiones de CO y HC en vehículos a gasolina. Por otro lado, en los vehículos a diesel se mide la opacidad que es una medida que indica el porcentaje de luz que las partículas absorben (0 % columna de medición limpia y 100 % columna negra). Estas emisiones dependen de las características del vehículo como el tamaño de motor, tecnología con la que fue diseñado, mantenimiento y calidad de combustible. Existen también las pruebas dinámicas de emisiones, que simulan el comportamiento del vehículo en ruta y busca caracterizar las emisiones reales. Los factores de emisión, se establecen en base de la distancia recorrida y del consumo de combustible. Las pruebas dinámicas son realizadas utilizando un dinamómetro y representando un ciclo de conducción estándar es decir un perfil de velocidad en función tiempo bajo condiciones específicas que representan trayectos reales (Tong, 2010), o con un analizador de gases para determinar las emisiones de los vehículos en tiempo real sobre una ruta establecida. Hasta la fecha, las pruebas dinámicas se realizan en el DMQ con fines investigativos.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

Proponer factores de emisión preliminares para el vehículo más utilizado en la zona urbana de Quito, tomando en cuenta los años de fabricación, a partir de la caracterización del parque vehicular de la base de datos de la RTV del año 2012 y de registros de emisiones obtenidos en una ruta de conducción en Quito establecida con los técnicos de la Secretaria de Ambiente del DMQ.

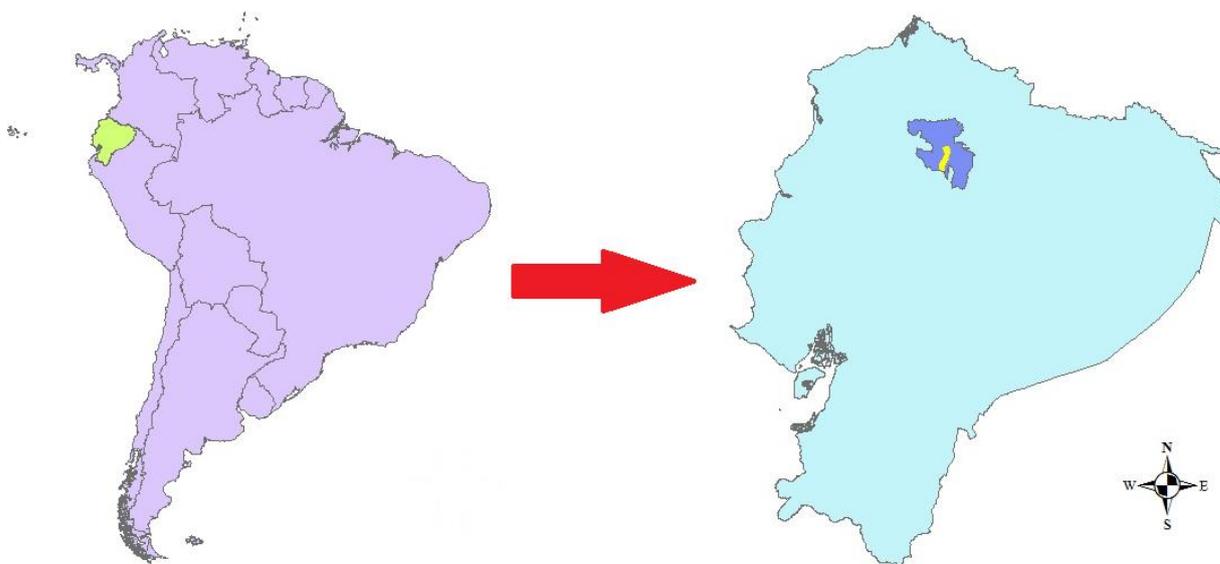
## 2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la composición del parque vehicular revisado del DMQ del año 2012.
- Realizar un análisis estadístico de la base de datos de la RTV del año 2012 considerando la antigüedad y tipo de vehículo.
- Comparar la caracterización del parque vehicular obtenido de la RTV con los informes del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE).
- Hacer un estudio comparativo para las emisiones de la base de datos de la RTV por año de fabricación.
- Determinar el automóvil más usado en la zona urbana de Quito.
- Realizar pruebas dinámicas en Quito para la determinación de factores de emisión de dos automóviles con diferentes años de fabricación, utilizando un analizador de gases.

### 3 Marco Teórico

#### 3.1 Inventario de emisiones del DMQ

En el DMQ (Figura 1) se han desarrollado varios inventarios de emisiones. El último inventario oficialmente publicado corresponde al año 2007 (CORPAIRE, 2009), e incluye la estimación de los siguientes contaminantes primarios:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{COV}_s$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  y amonio ( $\text{NH}_3$ ). También incluye las emisiones de los siguientes gases de efecto invernadero: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ). Los resultados se desagregan en fuentes móviles, fijas y de área (Tabla 1).



*Figura 1: Ubicación geográfica del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y la zona urbana de Quito en Ecuador. En la izquierda América Latina y Ecuador en verde; y a la derecha en azul el DMQ y en amarillo la zona urbana de Quito.*

Tabla 1: Emisiones anuales del año 2007 para el DMQ (t/año) (CORPAIRE, 2009)

Fuentes	Contaminantes Primarios							Gases efecto Invernadero		
	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	COVNM	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Móviles</b>	101 729	1485	18 457	865	640	14 369	289	2 339 385	672	149
<b>Fijas</b>	1636	8724	15 274	684	318	6239	80	595 768	11 028	12
<b>Área</b>	624	3	585	1733	433	15 515	1434	537 174	19	36
<b>Total</b>	103 989	10 212	34 315	3282	1391	36 123	1803	3 472 327	11 720	197

En la Tabla 2 se observa que el sector de fuentes móviles contribuye significativamente en las emisiones de CO, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> y COVNM. Las fuentes móviles para las cuales se estimaron las emisiones en el año 2007 son el tráfico aéreo y vehicular.

Tabla 2: Porcentajes de las emisiones anuales del año 2007 para el DMQ (CORPAIRE, 2009)

Fuentes	Contaminantes Primarios							Gases efecto Invernadero		
	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	COVNM	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Móviles</b>	97.8	14.5	53.8	26.4	46	39.8	16	67.4	5.7	75.8
<b>Fijas</b>	1.6	85.4	44.5	20.8	22.8	17.3	4.4	17.2	94.1	5.9
<b>Área</b>	0.6	0	1.7	52.8	31.1	43	79.5	15.5	0.2	18.4
<b>Total</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Las Tabla 3 y 4 muestran las emisiones de las fuentes móviles desagregadas en tráfico vehicular y aéreo y los porcentajes que aportan en relación al total. El CO es el compuesto más abundante en peso/año y es emitido por vehículos a gasolina, el NO<sub>x</sub> es expulsado principalmente por vehículos pesados a diesel al igual que el PM<sub>2.5</sub>. Los COVs en cambio, son emitidos por los vehículos a gasolina y es importante controlarlos porque son precursores junto con los NO<sub>x</sub> de la formación de ozono.

Tabla 3: Emisiones de las fuentes móviles separados en tráfico vehicular y aéreo (t/año)  
(CORPAIRE, 2009)

Fuentes Móviles	Contaminantes Primarios							Gases efecto Invernadero		
	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	COVNM	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Tráfico Vehicular	101 174	1218	17 960	859	634	14 220	289	2 198 932	655	144
Tráfico Aéreo	555	267	497	6	6	149	NE	140 453	17	5

Tabla 4: Aporte porcentual de las fuentes móviles en relación al total de emisiones  
(CORPAIRE, 2009)

Fuentes Móviles	Contaminantes Primarios							Gases efecto Invernadero		
	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	COVNM	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Tráfico Vehicular	97.3	11.9	52.3	26.2	45.6	39.4	16	63.3	5.6	73.3
Tráfico Aéreo	0.5	2.6	1.4	0.2	0.4	0.4	NE	4	0.1	2.5

Quito es una ciudad que ha crecido rápidamente en los últimos años y debido a su desarrollo longitudinal el número de vehículos privados se ha incrementado en un 7 % cada año (AEADE, 2011).

### 3.2 Modelo básico para el cálculo de emisiones

El modelo básico para el cálculo de emisiones se estructura por la Ecuación 1:

$$\text{Emisión} = \text{Actividad} * \text{Factor de emisión}$$

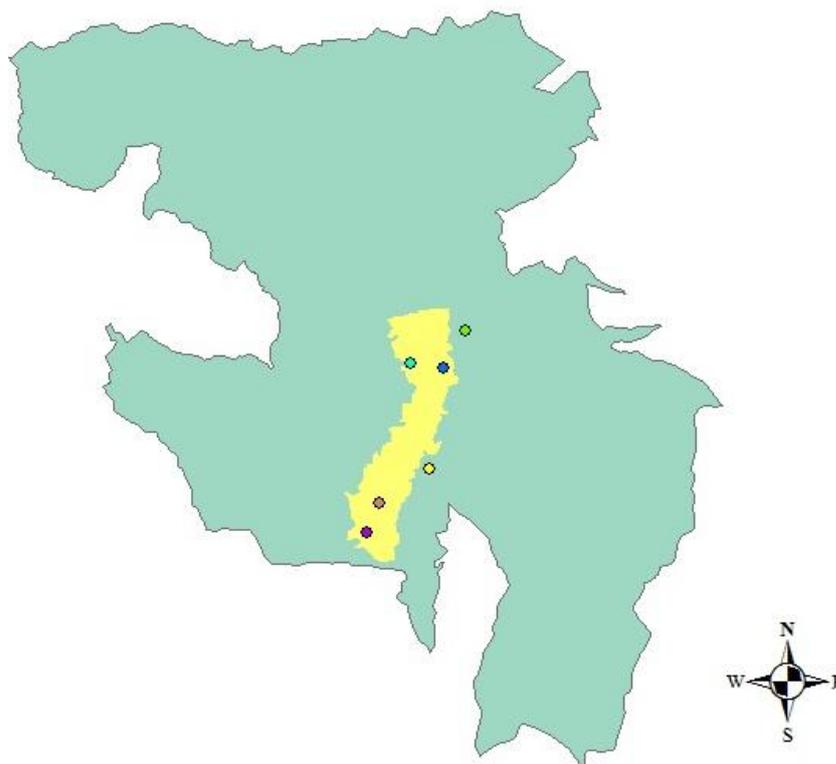
*Ecuación 1*

La actividad para el tráfico vehicular es la cantidad de km que viaja el vehículo. El factor de emisión corresponde a la masa de contaminante que emite el vehículo, por cada km que recorre (por ejemplo g/km). De esta manera se podrá obtener la cantidad de contaminante emitido en un año (Fu, 2011).

### 3.3 Revisión técnica vehicular (RTV)

La RTV es un sistema de gestión que se encarga de controlar el estado de los vehículos en el DMQ y se estableció en el 2003. Es un control común en las principales ciudades de Europa y Norte América (Portilla, 2012). Por la topografía irregular del DMQ y la altura sobre el nivel del mar la combustión de los motores no es eficiente, y se genera una cantidad importante de contaminantes primarios (Unidad de investigación y desarrollo tecnológico de Petroecuador, 2002).

La RTV cuenta con seis centros de revisión (Figura 2) ubicados en: Carapungo, la Florida, San Isidro del Inca, Los Chillos, Guajaló y Guamaní. De estos centros cuatro son monotipo es decir para vehículos livianos y motocicletas y dos (Carapungo y Guamaní) son mixtos por lo cual se revisan autos livianos, buses y camiones pesados. En total son 18 líneas de revisión donde se chequea el estado mecánico, de seguridad y emisiones del escape. Las emisiones de los vehículos se miden de acuerdo al tipo de motor del vehículo y se clasifican por año de fabricación (Secretaría de la movilidad, 2013). Cabe indicar que en los vehículos a diesel se mide la opacidad, mientras que para los motores a gasolina se miden CO e HC (Secretaría de la movilidad, 2013).



*Figura 2: Ubicación de los centros de la RTV en la zona urbana de Quito. ● CRTV Carapungo, ● CRTV Florida, ● CRTV San Isidro del Inca, ● CRTV Los Chillos, ● CRTV Guamaní*

La RTV es obligatoria para todos los vehículos que circulan en el DMQ y debe ser aprobada una vez al año (Secretaría de la movilidad, 2013). Los vehículos de uso intensivo de carga y que prestan servicio público deben ser revisados cada seis meses (Concejo del Distrito Metropolitano de Quito, 2007). Los datos vehiculares y resultados se registran en una base de datos que se clasifica en: el peso, tipo de carrocería, uso, propiedad, número de ejes y antigüedad. (Secretaría de la movilidad, 2013).

Las inspecciones realizadas en la RTV son de tipo visual y mecánico. Las inspecciones visuales controlan el estado general del vehículo. Las inspecciones mecánicas miden gases y ruido. Los defectos se clasifican en tres: tipo I (no implica daño inminente), tipo II (potencial riesgo) y tipo III (riesgo inminente). El de tipo III indica un riesgo de seguridad y/o de emisiones, por lo tanto el vehículo no pasa la revisión y deberá

presentarse nuevamente hasta máximo 4 veces con el problema resuelto o si no, se impedirá la movilización dentro del DMQ (Secretaría de la movilidad, 2013). La RTV cuenta con fichas de revisión y clasificación de concentraciones máximas de los contaminantes expulsados por el tubo de escape, a ralentí y 2500 rpm, para motores a diesel y gasolina. A continuación se presentan las tablas de las concentraciones permisibles para vehículos a gasolina y diesel establecidas por las normas INEN (Tabla 5 y 6).

*Tabla 5: Concentraciones permisibles en la RTV para vehículos a gasolina*

Concentraciones	Gasolina			
	Motos	Todos Excepto Motos		
	Todas	Año de fabricación ≤ 1989	1990 ≤ año de fabricación ≤ 1990	Año de fabricación ≥ 2000
<b>CO Ralentí (%)</b>	8	6.5	4.5	1
<b>CO 2500 rpm (%)</b>	8	6.5	4.5	1
<b>HC Ralentí (ppm)</b>	6000	1200	750	200
<b>HC 2500 rpm (ppm)</b>	6000	1200	750	200

*Tabla 6: Concentraciones permisibles en la RTV para vehículos a diesel*

Concentración	Diesel	
	Año de fabricación ≤ 1999	Año de fabricación ≥ 2000
<b>Opacidad (%)</b>	60	50

La Secretaría de Ambiente cuenta con un dinamómetro para realizar pruebas dinámicas con fines de investigación y obtener factores de emisión. El dinamómetro es un equipo que se utiliza para representar un ciclo de conducción típico de la zona de estudio.

### **3.4 Contaminación vehicular**

Las fuentes móviles de contaminación comprenden: vehículos livianos, vehículos pesados, aviones, trenes entre otros (Sawyer, 2000). Las fuentes representativas de estos contaminantes son tanto los vehículos livianos como los pesados.

Los vehículos pueden ser clasificados de acuerdo al combustible que utilizan: gasolina o diesel. Este es un aspecto importante debido a que los motores a gasolina tienen combustión convencional por chispa, es decir el motor tiene un bujía que genera una chispa para combustionar la mezcla aire/combustible que ingresa en el cilindro; mientras que los vehículos a diesel combustión por compresión, es decir el combustible se inyecta en el punto muerto superior del pistón a altas temperaturas y presiones. De igual manera, para el control de las emisiones se desarrollan tecnologías dependiendo el tipo de combustible. Es por esta razón que los umbrales para el control de las emisiones de NO<sub>x</sub>, CO, HC, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, son diferentes para cada caso (Osses, 2005).

### **3.5 Funcionamiento de los motores a Gasolina y Diesel**

#### **3.5.1 Motor a Gasolina**

A los motores de gasolina se les conoce como motores de ciclo Otto o de cuatro tiempos. La reacción se produce en una cámara cerrada mediante aporte de calor por la quema del combustible (Smith, 2007). El sistema de encendido en los vehículos a gasolina ha mejorado notablemente con el tiempo. El carburador fue el primer sistema que se utilizó para suministrar combustible, pero a partir de los años 70 se empezaron a utilizar los sistemas de inyección electrónicos que controlan de mejor manera el suministro de combustible y con ello permiten una reducción en la emisión de contaminantes (De Nevers, 1998).

La mayor parte de motores a gasolina son de 4 tiempos (Figura 3). En el primer tiempo partiendo del punto muerto superior (PMS) el pistón se mueve hacia abajo y aumenta el volumen de la cámara de combustión en el cilindro, es ahí cuando ingresa la mezcla aire-combustible a la cámara de combustión. En el segundo tiempo, cuando el pistón se encuentra hacia abajo (punto muerto inferior (PMI)) las válvulas del cilindro están cerradas y el pistón se mueve hacia arriba, reduciendo el volumen de la cámara de combustión. El tercer tiempo es conocido como combustión y trabajo y antes de que el pistón haya alcanzado el PMS la bujía produce la explosión. Las válvulas del cilindro siguen cerradas y cuando el calor de la combustión queda libre aumenta la presión en el cilindro y empuja el pistón hacia abajo. En el cuarto tiempo antes de que el pistón llegue al PMI se abre la válvula de escape y los gases calientes que se encuentran a alta presión salen del cilindro, y el pistón moviéndose hacia arriba expulsa los residuos restantes (Bawer, 2003).

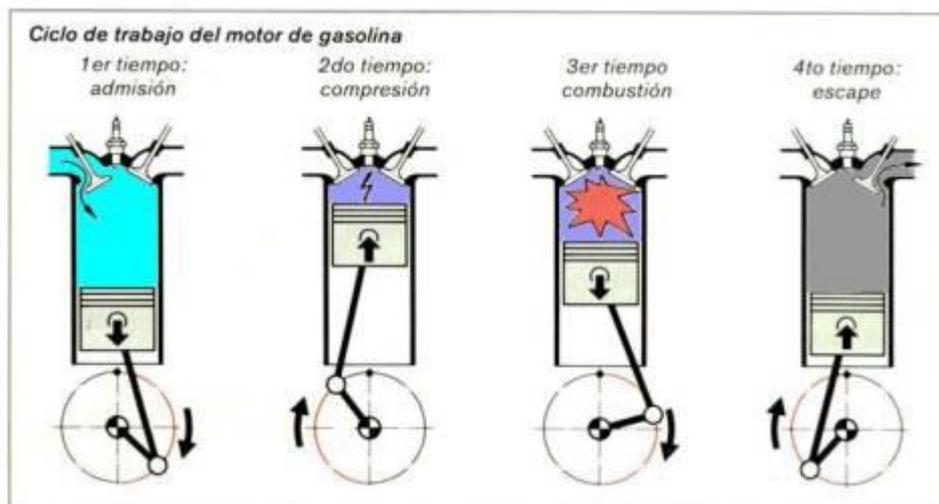
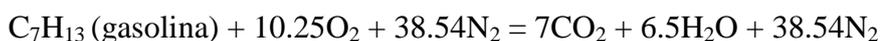


Figura 3: Fases del ciclo de Otto (De Nevers, 1998)

### 3.5.1.1 Relación Aire-combustible

Para estimar teóricamente la cantidad de aire necesaria para realizar una combustión completa se utiliza la siguiente reacción (Ecuación 2):



*Ecuación 2*

La combustión completa se da cuando la ecuación esta igualada por estequiometria y todo se convierte en dióxido de carbono, nitrógeno y agua. Por medio de esta relación se define la relación de mezcla, que es la cantidad de aire requerido por una unidad de masa de combustible (Wark, 2003).

La Figura 4 representa la relación Aire-Combustible, la cual es preparada con la ayuda de sistemas de control electrónico, y está alrededor de 14.7 kg aire/kg combustible. Un sensor de oxígeno es utilizado para mantener dicho valor e incluso las emisiones pueden disminuir con un tratamiento post combustión (Desantes, 2011).

Si la relación aire-combustible es menor a la ideal, la mezcla es rica, es decir existe mayor cantidad de gasolina y por lo tanto no toda se va a combustionar. Esto ocasiona un alto consumo de combustible, bajo rendimiento y alta emisión de gases. Por otro lado, si la relación es mayor a la ideal, la mezcla es pobre y existe un exceso de aire lo que producirá dificultades en el encendido y una alta emisión de gases debido al desgaste del motor y sobrecalentamiento del vehículo (Sawyer, 2000).

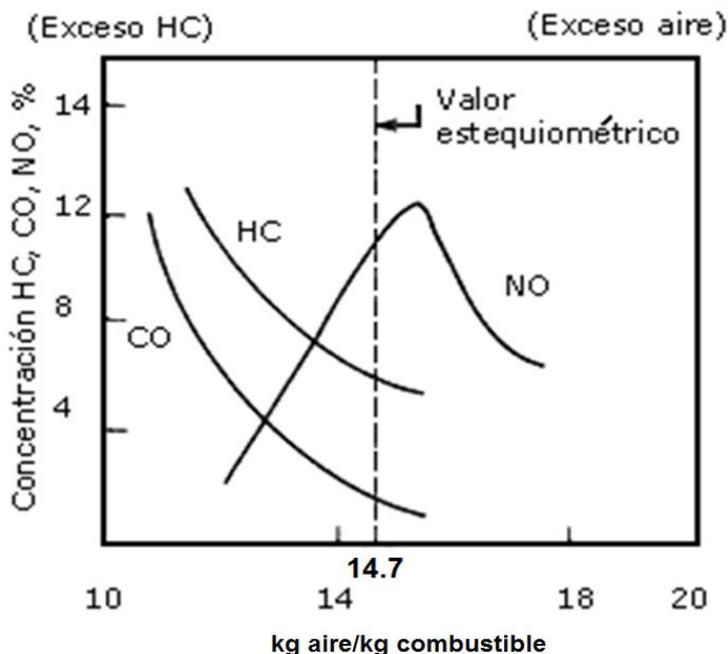


Figura 4: Comportamiento de los contaminantes CO, HC y NO<sub>x</sub> en función de la relación Aire Combustible (Godish, 1991)

### 3.5.1.2 Sistema de control de emisiones

El cumplimiento de las normas se obtiene al optimizar la combustión y crear tecnología para reducir las emisiones de los gases contaminantes como: los catalizadores de oxidación, los sistemas de recirculación de gases (EGR) y los sistemas de tiempo valvular variable (VVT) (De Nevers, 1998).

Los catalizadores revolucionaron la industria del transporte. El objetivo principal de su uso es completar la oxidación de CO y HC antes de que salgan por el tubo de escape. Existen tres tipos de catalizadores, de una, dos y tres vías. Los de 3 vías controlan la emisión de CO, HC y NO<sub>x</sub> por medio de reacciones de oxidación y reducción. El deterioro de los catalizadores se evitó debido a que la calidad del combustible mejoró una vez que se eliminó el plomo de su composición. Posteriormente, se sustituyó completamente el carburador por la inyección electrónica para mantener una dosificación eficiente (Portilla,

2012). Con respecto a los sistemas de recirculación de gases, estos permiten que los gases de la combustión vuelvan al interior del cilindro y con ellos la temperatura de combustión disminuye, generando menores emisiones de  $\text{NO}_x$  (De Nevers, 1998). Finalmente, el sistema de válvulas controla el tiempo de apertura de las válvulas de admisión y escape, lo que genera una recirculación interna de gases ya que parte de los gases quemados ingresan al cilindro (Portilla, 2012).

### **3.5.2 Motor a Diesel**

Existen varias diferencias entre el motor a diesel y el motor a gasolina. En el motor a diesel el aire es comprimido a mayores presiones y temperaturas, no hay bujía y antes de llegar al tope se inyecta el combustible al cilindro. La reacción ocurre cuando el vapor de combustible y el aire alcanzan la temperatura de auto ignición (Wark, 2003). La eficiencia de combustión se consigue al variar la cantidad de combustible por medio de un sistema de dosificación que regula la cantidad de combustible en las aceleraciones bruscas del vehículo.

Las emisiones generadas por los motores a diesel incluyen: mayores cantidades PM,  $\text{NO}_x$ , en comparación con el CO y HC (De Nevers, 1998). El humo expulsado se clasifica en: negro, gris y azul. El color negro se debe al carbón no quemado que se aglomera después de las reacciones de craqueo que existen en la combustión, el color gris se debe al residuo que ya no puede ser combustionado y el color azul indica combustible no quemado y gotas de aceite que indican que el vehículo necesita mantenimiento (Wark, 2003).

### **3.6 Productos de la combustión de los vehículos**

#### **3.6.1 Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>):**

El SO<sub>2</sub> es liberado a la atmósfera debido a la combustión del azufre contenido en los combustibles (Wagner, 1993). Las fuentes móviles aportan con el 14.5% de la contaminación en el DMQ, sin embargo en el 2005 se implantó el Diesel Premium que tiene un menor contenido de azufre pasando de 7000 ppm a 500 ppm (Secretaría del Ambiente, 2009). Este es un gas sin color, de olor sofocante, tiene propiedades explosivas y es tóxico (CCOHS, 2013). El SO<sub>2</sub> es un gas irritante que produce bronco-constricción, debido a su solubilidad, cuando se absorbe se queda en los conductos húmedos del sistema respiratorio superior donde daña el tejido pulmonar (Wagner, 1993). Su inhalación puede causar la muerte y severas irritaciones en la nariz y garganta. Los síntomas incluyen tos, dificultades al respirar y asma. El contacto a la piel es corrosivo ya que el gas quema la piel. A pesar de lo mencionado, no se conoce si tiene efectos cancerígenos, pero sí produce consecuencias a largo plazo en el funcionamiento del sistema respiratorio (EPA, 2009). La OMS sugiere que el límite de exposición en 10 minutos es de 500 µg/m<sup>3</sup> y la media en 24 horas es 20 µg/m<sup>3</sup> (OMS, 2006).

El SO<sub>2</sub> tiene también efectos en el ambiente. Se conoce que el SO<sub>2</sub> y el NO<sub>2</sub> son los mayores precursores de la deposición que acidifica suelos, lagos y esteros y acelera la corrosión de edificios.

#### **3.6.2 Material Particulado menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>):**

El material particulado está constituido por fragmentos de materia sólida o gotas de líquido muy pequeñas que permanecen suspendidas en la atmósfera por mucho tiempo, el tamaño de estas partículas va de 0.01 micras a 1000 micras. El PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> son

fracciones que corresponden a partículas menores a 10 micras y a 2.5 micras, respectivamente (Wagner, 1993). Los vehículos a diesel son los responsables de la mayor producción de  $PM_{2.5}$  (Molina, 2011).

En general estas partículas irritan las membranas mucosas y el tejido ocular, afectan los sistemas respiratorios, agravan las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. El  $PM_{2.5}$  al formar partículas más pequeñas puede transportar sustancias tóxicas y cancerígenas como plomo, zinc, cromo, mercurio, sulfatos, nitratos, etc. que se quedan atrapadas en los pulmones (Godish, 1991). Puede producir efectos a largo plazo como son: pérdida de función pulmonar, reducción de vida y aumento de la frecuencia cardíaca (OMS, 2006). La concentración media anual permitida por la OMS es de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y la concentración media de 24 horas es de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En Quito según el informe de calidad del aire del año 2012 las concentraciones de  $PM_{2.5}$  superaron los límites de la norma nacional y de la OMS en todos los puntos de muestreo para los promedios anuales, la norma nacional tiene una concentración media anual permitida de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Secretaría de Ambiente, 2012).

### **3.6.3 Óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ):**

Los  $NO_x$  son generados en mayor cantidad por los vehículos a diesel y en centrales térmicas. Los  $NO_x$  se forman principalmente cuando el nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) se combina con el oxígeno ( $O_2$ ) y como resultado se genera óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y óxido nitroso ( $N_2O$ ) de los cuales el único tóxico es el  $NO_2$  (EPA, 2012). El  $NO_2$  reacciona con los hidrocarburos y la luz ultravioleta para formar ozono troposférico, que constituye una fracción importante de la masa de  $PM_{2.5}$  del aire ambiente

(OMS, 2006) y también reacciona con el agua para formar ácido nítrico importante componente de la lluvia ácida (Wagner, 1993).

La salud humana se ve afectada debido al ozono troposférico ya que causa dificultad para respirar, dolores de cabeza e irritación ocular. Los efectos en la salud debido a la exposición de  $\text{NO}_2$  afectan especialmente el sistema respiratorio. Los  $\text{NO}_2$  inflaman los pulmones y reducen la inmunidad a las infecciones pulmonares, esto provoca enfermedades como tos, bronquitis, gripe y resfriados (EPA, 2012). Las personas que sufren de asma son las más afectadas ya que pueden tener reacciones severas y ataques más intensos. La evidencia científica nos indica que las exposiciones a corto plazo van de 30 minutos a 24 horas causando efectos en el sistema respiratorio de las personas (EPA, 2012). En la OMS la concentración media anual es de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y la media de una hora es  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (OMS, 2006).

Las concentraciones de  $\text{NO}_x$  medidas cerca de las vías son más altas que aquellas que se monitorean alejadas de ella, el factor puede ser de 2 a 3 tres veces más alto. La mayoría de la población vive a una distancia media de 100 m de alguna autopista o vía principal (EPA, 2012). En las autopistas con mucho tráfico vehicular se han medido picos de  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Viegi, 1998).

#### **3.6.4 Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)**

Los COVs son un conjunto complejo de compuestos de carbono como: alcanos, alquenos, aromáticos, aldehídos, cetonas, alcoholes, y algunos hidrocarburos clorinados (Wark, 2003) Las fuentes de emisión son: operaciones industriales, uso de solventes y pinturas, los hidrocarburos sin quemar que emiten los vehículos, las gasolineras y la vegetación (Godish, 1991).

Los COVs pueden formar smog fotoquímico si reaccionan con HO<sub>2</sub> y luz solar (Wagner, 1993). Los efectos de los COVs en la salud se producen a corto y largo plazo afectando los ojos, nariz, irritación de la garganta, dolores de cabeza, pérdida de la coordinación, náuseas, daños al hígado, riñón y el sistema nervioso central (EPA, 2012).

El benceno es uno de los COVs de mayor importancia y una de las fuentes es el petróleo. El benceno se emite al ambiente por pérdidas de evaporación en los motores de los vehículos mayormente a gasolina. El benceno es considerado un cancerígeno humano por lo que no existe dosis segura (Viegi, 1998). En la zona urbana de Quito la concentración de benceno se mide manualmente a partir del 2008 y no supera la norma de calidad ambiental (5 µg/m<sup>3</sup>) en ninguna de las 43 estaciones monitoreadas (Secretaría de Ambiente, 2012).

### **3.6.5 Monóxido de Carbono (CO)**

El CO se produce principalmente por la combustión incompleta de combustibles fósiles. El CO se atribuye en gran medida a los vehículos a gasolina (Molina, 2011). Las concentraciones en las ciudades depende de la densidad vehicular, topografía y condiciones climáticas (Viegi, 1998). En Quito el tráfico vehicular es el responsable del 97.3 % del total emitido de CO en el inventario de emisiones del año 2007. En el informe de calidad del aire del año 2012 las concentraciones de CO medidas no superan el límite de la Norma de Calidad Nacional ni la de la guía de la OMS para el periodo de 1 hora (30 mg/m<sup>3</sup>) y el de 8 horas (10 mg/m<sup>3</sup>) (Secretaría de Ambiente, 2012) (OMS, 1999).

Los efectos en la salud están relacionados con la unión de este gas con la hemoglobina formando la carboxihemoglobina. El monóxido de carbono es causante de más de la mitad del envenenamiento en muchos países. Los efectos asociados a la

exposición van desde problemas cardiovasculares hasta alteración del sistema nervioso. En bajas concentraciones puede causar pérdida de conciencia y a altas concentraciones muerte después de una exposición crónica (Raub, 2000).

### **3.7 Ciclos de conducción**

Se clasifican en dos tipos: los ciclos reales y los que se componen de secuencias poligonales teóricas. La diferencia es que en el ciclo real se aprecia mejor los cambios de las aceleraciones y en el ciclo poligonal los trayectos tomados de la ruta hacen que la aceleración sea constante (Fotouhi, 2012).

Los ciclos de conducción, de acuerdo a su uso, pueden clasificarse en legislativos y no legislativos. Los legislativos indican las condiciones de referencia para el control de las emisiones vehiculares (Tong, 2010). Ejemplos de ciclos legislativos son: US 75 cycle (Estados Unidos), ECE cycle (Europa) y Japón 10-15. Los ciclos de conducción no legislativos, en cambio, se utilizan para controlar el consumo de combustibles, un ejemplo es el ciclo de Hong Kong (Tong, 2011).

En la actualidad se estudian preferentemente los ciclos reales. Estos ciclos dependen de las características del lugar, ya sean zonas urbanas o rurales. Los ciclos urbanos generalmente tienen una velocidad baja pero altos valores de aceleración y desaceleración. Por el contrario, los ciclos para autopistas tienen mayores promedios de velocidad y los valores de aceleración y desaceleración son continuos con pocas variaciones (Tong, 2010).

Hay alrededor de 100 ciclos de conducción que se han creado en todo el mundo y muchos son tomados como referencia para distintas ciudades. A continuación, se enlistan los ciclos más populares en el mundo (Tong, 2011).

Los ciclos FTP72 y FTP75 fueron los primeros diseñados en 1970, en California. La técnica utilizada para este modelo es la de seguir a un vehículo, y crear el ciclo sobre la ruta (Kent, 1978). El ciclo europeo fue creado mediante un proyecto a gran escala conocido como ARTEMIS y MODEM-DRIVE (Booth, 2001). El ciclo de Edimburgo fue creado con un método llamado TRAFIX que genera códigos específicos para cada segmento del recorrido (Booth, 2001). Los ciclos australianos más conocidos son para grandes ciudades como Sídney, Melbourne y Perth. Todos estos emplean el mismo procedimiento que el ciclo americano (Kent, 1978).

### **3.8 Prueba dinámica para el control de emisiones**

Las pruebas dinámicas, simulan el comportamiento del vehículo en ruta y buscan determinar las emisiones reales de los vehículos. Las pruebas dinámicas pueden realizarse en un laboratorio utilizando un dinamómetro o en ruta utilizando un analizador de gases a bordo.

La principal ventaja de los sistemas de analizador de gases a bordo es la obtención de datos en condiciones reales de operación y son de gran ayuda en la estimación de los factores de emisión. Las desventajas están ligadas a la réplica de pruebas en caso de que se necesiten duplicados y la factibilidad de obtención de los vehículos de prueba (H.Y Tong, 2000). En el caso de Quito, el método del sistema a bordo es recomendable ya que en el laboratorio es difícil considerar la topografía y la altura de la ciudad.

## **4 Método**

Los principales componentes para el desarrollo de esta tesis fueron:

1. Base de datos de la RTV del año 2012, facilitada por la Secretaría de Ambiente del Municipio de Quito.
2. Pruebas dinámicas en una ruta, establecida de común acuerdo con el personal técnico de la Secretaría de Ambiente.

### **4.1 Base de datos RTV del año 2012**

Esta base contiene 456 675 registros de todos los vehículos que acudieron a la RTV en el año 2012. La base de datos cuenta con diferentes campos como: tipo de vehículo, subtipo, clase, subclase, año de fabricación, tipo de combustible, opacidad, HC ralentí, CO ralentí, HC 2500 rpm y CO 2500 rpm.

### **4.2 Programas Informáticos**

#### **4.2.1 Microsoft Office Excel 2007**

Este programa se utilizó para procesar la información a fin de caracterizar el parque vehicular, para analizar los factores de emisión de la prueba estática y estudiar los datos de las pruebas dinámicas de emisión de gases.

#### **4.2.2 IBM SPSS Statistics Data Editor**

Este programa se utilizó para el análisis estadístico una vez que se clasificó y depuró la base de datos de la RTV 2012. También se utilizó para analizar las emisiones obtenidas de las pruebas dinámicas.

### 4.2.3 Matlab

Es un programa que permite realizar análisis matricial, gráficas de funciones, implementación de algoritmos y es compatible con programas escritos en otro lenguaje incluyendo C, C++, Java y Fortran. Se utilizó Matlab para graficar los factores de emisión en función de la velocidad y obtener las funciones correspondientes de cada contaminante.

### 4.3 Ruta establecida

La ruta elegida para las pruebas dinámicas fue acordada con los técnicos de la Secretaria de Ambiente, en base a una ruta de un estudio previo en el cuál se determinaron factores de emisión para 40 vehículos en la zona urbana de Quito en el año 2012 (Portilla, 2012).

La ruta tiene una longitud de 31 km. Los tramos que se presentan en la Tabla 7 fueron seleccionados tomando en cuenta la afluencia vehicular, la distribución de las pendientes y patrones de manejo. Todos estos tramos fueron previamente evaluados para realizar el ciclo que se usa en este proyecto. Dentro de la ruta (Tabla 8) se identifican tres tipos de afluencia vehicular: alta media y baja y se especifica que tramos pertenece al ciclo ciudad y ciclo autopista, ya que es un ciclo combinado.

*Tabla 7: Clasificación del ciclo de trabajo en la zona urbana de Quito para pruebas dinámicas en ruta*

	<b>PUNTO INICIAL</b>	<b>PUNTO FINAL</b>
<b>Tramo 1</b>	Secretaria del Ambiente	Av. 10 de Agosto – Naciones Unidas
<b>Tramo 2</b>	Av. 10 de Agosto – Naciones Unidas	Av. Pichincha
<b>Tramo 3</b>	Av. Pichincha	Autopista Gral. Rumiñahui – Simón Bolívar
<b>Tramo 4</b>	Simón Bolívar	Redondel Av. De los Granados
<b>Tramo 5</b>	Redondel Av. De los Granados	Secretaria de Ambiente

*Tabla 8: Características del ciclo de trabajo para la prueba dinámica en ruta*

Parámetros	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
Longitud (km)	2	7.3	3.6	15.6	2.5
Límite máximo permitido (km/h)	50	50	90	90	50
Tráfico	Alto	Medio	Alto	Bajo	Medio
Ciclo	Ciudad	Ciudad	Autopista	Autopista	Ciudad

## 4.4 Equipos experimentales

### 4.4.1 Analizador de gases Montana OEM

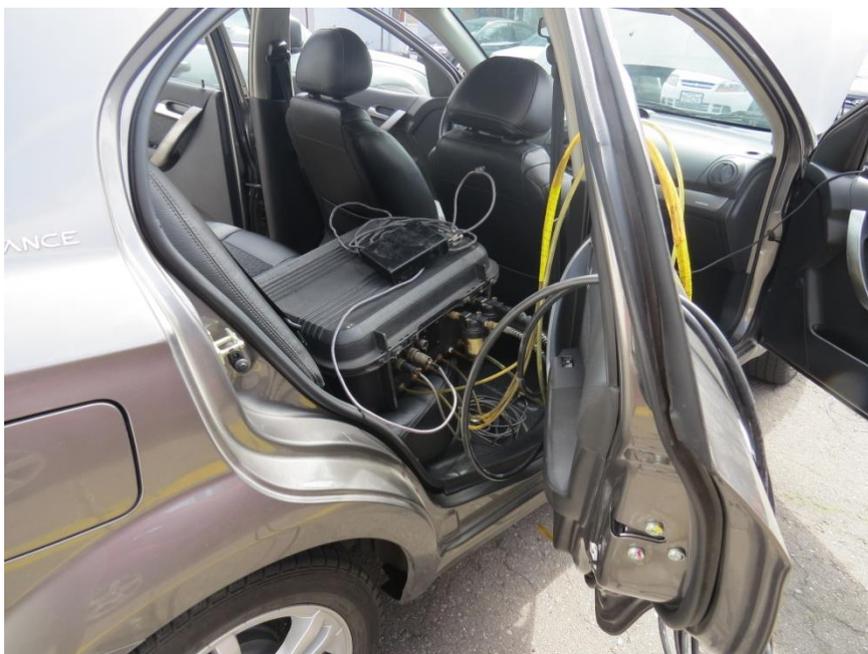
El equipo Montana (Figura 5 y 6) utiliza el principio de infrarrojo no dispersivo (NDIR) para medir CO, CO<sub>2</sub> y HC. Usa celdas electroquímicas para O<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> y un dispersor de láser para material particulado. Este equipo mide emisiones másicas de vehículos controlados con encendido electrónico por chispa y motores con encendido por compresión. El equipo analiza las emisiones vehiculares para dos tipos de combustible: gasolina y diesel. Las concentraciones de las emisiones se obtienen de la muestra del tubo de escape, la cual es combinada con la información que el equipo lee del motor y así calcula las emisiones en unidades de g/s.



*Figura 5: Montana OEM*

El equipo está diseñado para hacer mediciones dinámicas en ruta durante varias horas sin la modificación de ninguna parte del vehículo. El equipo es de fácil instalación y toma un tiempo aproximado de 30 minutos. El sistema viene en dos cajas plásticas a prueba de agua: la primera contiene el sistema de monitoreo y la segunda las líneas de entrada de muestras y de escape, correas de amarre, adaptador, cables de alimentación y de datos, varios conectores de enlace de diagnóstico, matriz de sensores, regulador de presión de gas de calibración y otras partes.

El equipo se enciende con un cable que va conectado a la batería del vehículo, la calibración se realiza con una mezcla de propano, CO, CO<sub>2</sub> y NO. El analizador de gases Montana OEM captura las emisiones segundo a segundo y mide los siguientes parámetros: velocidad, revoluciones por minuto (rpm), presión atmosférica, ubicación geográfica en coordenadas, temperatura de entrada, concentraciones de los contaminantes, la mezcla aire-combustible, consumo de combustible y flujo másico de los contaminantes medidos.



*Figura 6: Analizador de gases Instalado en el vehículo de prueba*

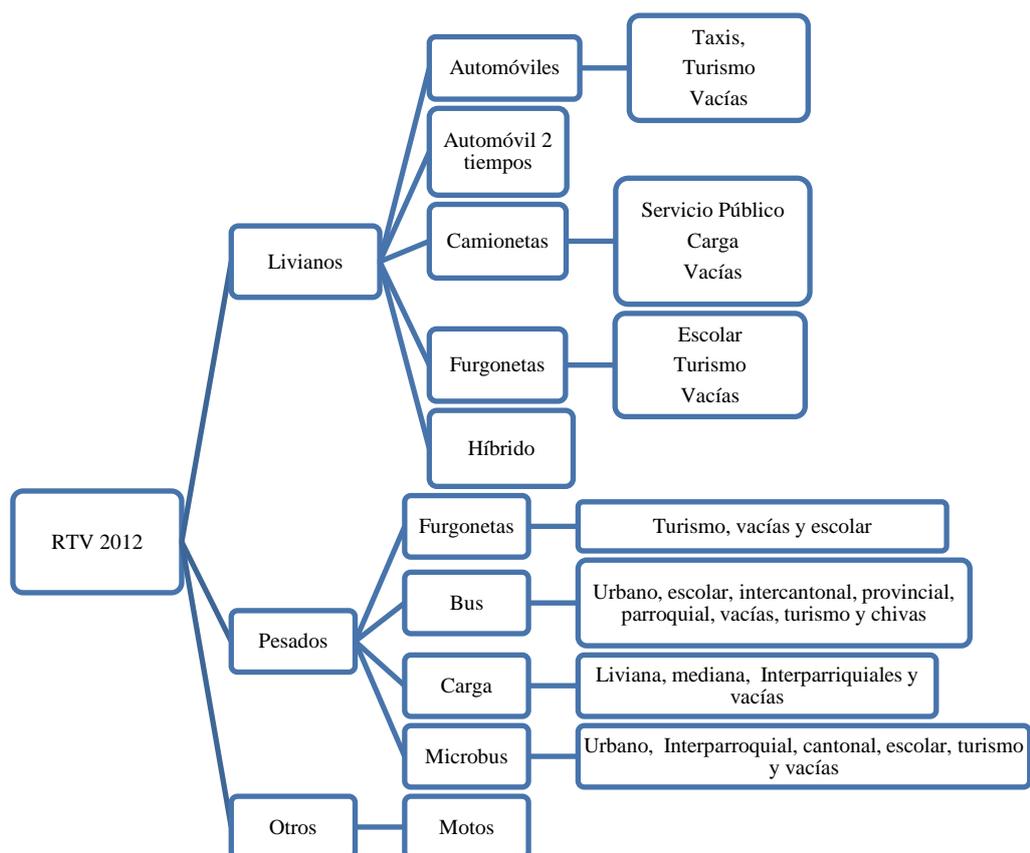
#### **4.4.2 GPS Speed Tracker**

Es una aplicación que se combina con las funciones de velocímetro GPS y ordenador a bordo. Registra información de velocidad, tiempo de viaje, distancias, dirección y altitud. El programa guarda los datos del viaje en tiempo real y luego pueden ser importados para trabajar en programas como Excel.

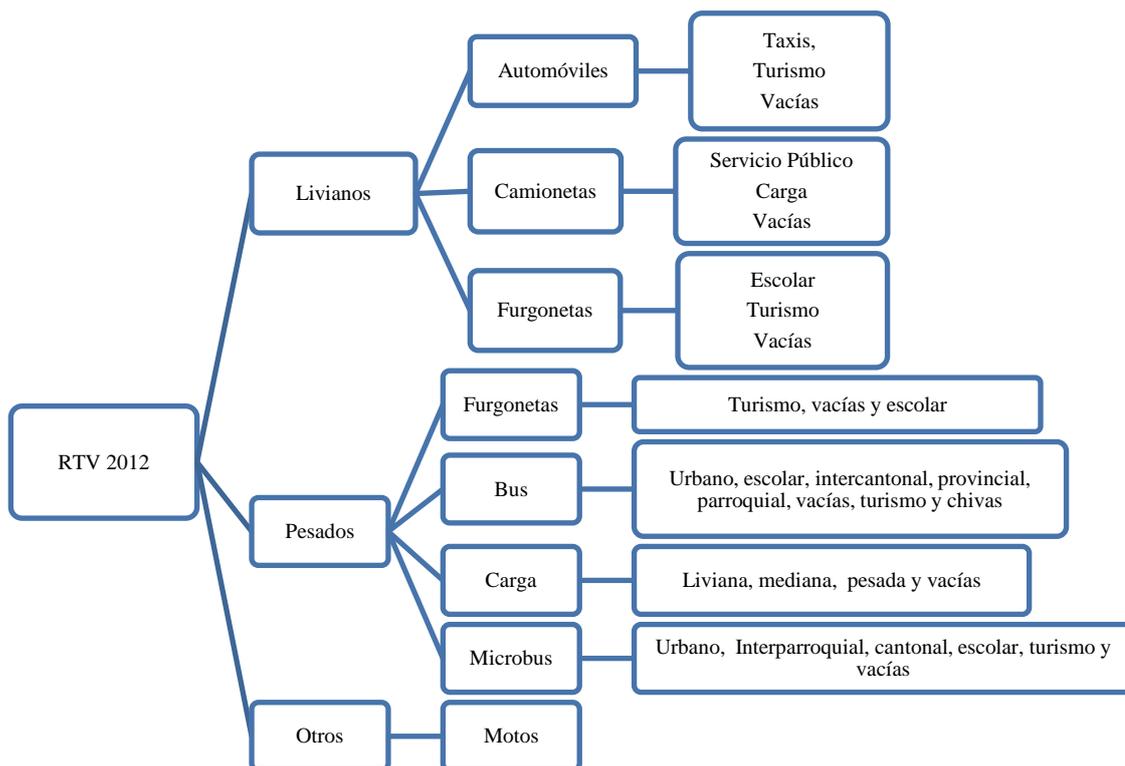
#### **4.5 Caracterización del parque vehicular**

El parque vehicular se caracteriza a partir de la base de datos de la RTV 2012. Se organizó la base de datos de manera que cada vehículo tenga los 4 registros de emisión de gases (CO ralentí y 2500 rpm, y HC ralentí y 2500 rpm). Se aseguró que cada vehículo se tabule una vez, ya que algunos se presentan más de una vez a la RTV.

Posteriormente, se organizaron los registros por categoría: livianos, pesados, especiales y otros. En esta etapa se identificó un número muy pequeño de registros para la categoría “especiales”, por lo que se decidió no considerarla. Se verificó además que la categoría “otros” corresponde a las motocicletas. A continuación se presenta la clasificación original (Figura 7 y 8) de la base de datos de la RTV del 2012 y la clasificación procesada en la Figura 9 y 10. Las modificaciones se justifican por el bajo número de registros de ciertas categorías y por la conveniencia de agrupar vehículos similares. Las celdas vacías cambiaron el nombre a particulares y sin clasificar para los vehículos livianos y pesados respectivamente. Cada categoría fue organizada posteriormente, en función del año de fabricación del vehículo.



*Figura 7: Clasificación original de la base de datos de la RTV del 2012 para los vehículos a gasolina*



*Figura 8: Clasificación original de la base de datos de la RTV del 2012 para los vehículos a diesel*

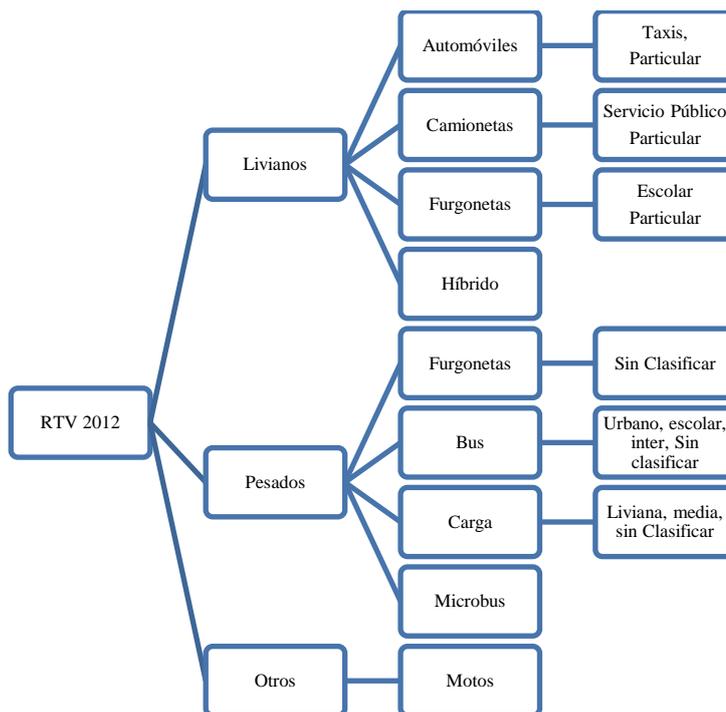


Figura 9: Clasificación modificada de los registros de la RTV del año 2012 para vehículos a gasolina

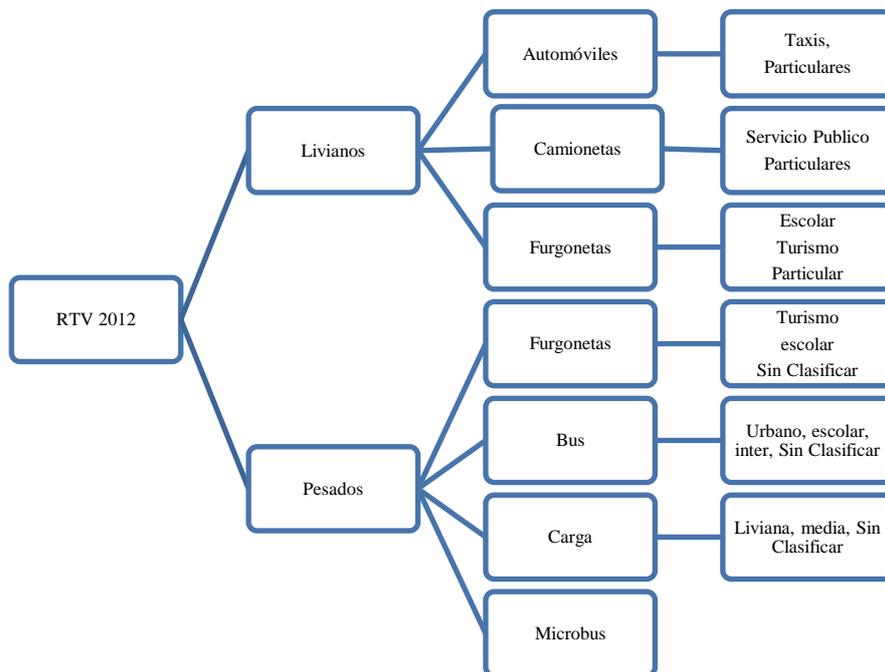


Figura 10: Clasificación modificada de los registros de la RTV del año 2012 para vehículos a diesel

#### 4.6 Análisis Estadístico de los registros de emisiones de la RTV

Se procesaron los siguientes parámetros: media, mediana, moda, cuartiles, percentil 90, rango y desviación estándar por cada categoría; para el CO e HC en los vehículos a gasolina y opacidad en los vehículos a diesel. En algunos casos hay vehículos a diesel con registros de CO e HC y vehículos a gasolina a los que se les mide opacidad. Estos registros no fueron tomados en cuenta para el análisis.

#### 4.7 Pruebas dinámicas en ruta

Las pruebas dinámicas en ruta se realizaron para dos vehículos a gasolina, cuyas especificaciones se encuentran en las Tabla 9 y 10 (Figura 11 y 12). Se verificó que la temperatura ambiente oscile entre 16 °C – 21 °C, que no llueva, y que los vehículos no presenten ninguna alteración en los sistemas que influyen en la emisión de contaminantes, como ausencia de catalizador. La primera prueba se realizó el 21 de marzo del 2014 y la segunda el 28 de marzo del 2014 ambos casos días viernes, a la misma hora 11 de la mañana y con el mismo conductor, para reducir los efectos de comportamiento de manejo.

*Tabla 9: Características del vehículo 1: Modelo Corsa Evolution marca Chevrolet*

<b>Transmisión</b>	Manual
<b>Año</b>	2004
<b>Marca</b>	Chevrolet
<b>Modelo</b>	Corsa Evolution
<b>Placas</b>	TDD-268
<b>Desplazamiento (cc)</b>	1800
<b>Número de cilindros</b>	4



*Figura 11: Vehículo de prueba Chevrolet Corsa 2004 para el cálculo de los factores de emisión en la ciudad de Quito.*

*Tabla 10: Características del vehículo 2: Modelo Aveo Activo marca Chevrolet*

<b>Transmisión</b>	Manual
<b>Año</b>	2013
<b>Marca</b>	Chevrolet
<b>Modelo</b>	Aveo activo
<b>Placas</b>	PCE-4121
<b>Desplazamiento (cc)</b>	1600
<b>Número de cilindros</b>	4
<b>Número de válvulas</b>	16
<b>Sistema de encendido</b>	Electrónico
<b>Bomba de gasolina</b>	Eléctrica
<b>Peso bruto (kg)</b>	1535



*Figura 12: Vehículo de prueba Chevrolet Aveo 2013 para el cálculo de los factores de emisión en la ciudad de Quito.*

Como primer paso se instaló el equipo a bordo. Se conectaron los cables a la batería del vehículo. Se conectó el analizador de gases al regulador de voltaje y luego se ubicó el analizador en un lugar seguro dentro del vehículo. A continuación se colocó la sonda del analizador en el escape. Finalmente, se conectaron las mangueras de salida de los gases de escape al analizador.

Una vez instalado el equipo, se encendió el automóvil en ralentí y posteriormente se prendió el analizador de gases hasta que se calibre. Una vez calibrado y en funcionamiento el equipo está listo para realizar las mediciones en ruta. El analizador registra datos cada segundo pero cada 10 min hay que almacenar los datos reiniciando el equipo. Otro de los equipos utilizados fue un GPS, el cual registra la velocidad, distancia, tiempo y altitud del recorrido. La prueba dinámica parte del punto de inicio (Tabla 7) y se conduce durante la ruta tres veces consecutivas. Al finalizar el tercer circuito se termina el recorrido, se apaga y desinstala el equipo del vehículo.

## 4.8 Análisis de los datos tomados en ruta

La información obtenida de los circuitos en ruta es analizada para cada vehículo. Una vez estimada la velocidad media, el tiempo y la distancia recorrida en cada circuito, se procesó la información por tramos.

Los factores de emisión de la prueba dinámica se escriben en g de contaminante por segundo (g/s). Para transformar los factores de emisión a g de contaminante por km recorrido (g/km) se utiliza la Ecuación 3 (Tong, 2011).

$$\text{factor de emisión} \left( \frac{g}{km} \right) = \frac{3600 \times \text{tasa de emisión}(g/s)}{\text{velocidad} \left( \frac{km}{h} \right)}$$

*Ecuación 3*

## 5 Resultados y discusión

### 5.1 Clasificación General del Parque Vehicular

La Tabla 11 indica la conformación del parque automotor en el DMQ. 390 326 vehículos se presentaron a la RTV en el año 2012, el 95.50 % de los vehículos son a gasolina y el 4.50 % son a diesel.

*Tabla 11: Clasificación y caracterización general del parque vehicular de la base de datos de la RTV del año 2012*

<b>Clasificación</b>	<b>#Vehículos</b>	<b>Porcentajes (%)</b>
Livianos a Gasolina	358 939	91.95
Pesados a Gasolina	13 824	3.54
Subtotal a Gasolina	372 763	95.5
Livianos a Diesel	5017	1.29
Pesados a Diesel	12 546	3.21
Subtotal a Diesel	17 563	4.5
Total	390 326	100

En la Tabla 12 se observa que los automóviles conforman el 76.47 % de los vehículos livianos a gasolina.

*Tabla 12: Clasificación de los Vehículos Livianos a Gasolina para el año 2012 presentados en la RTV*

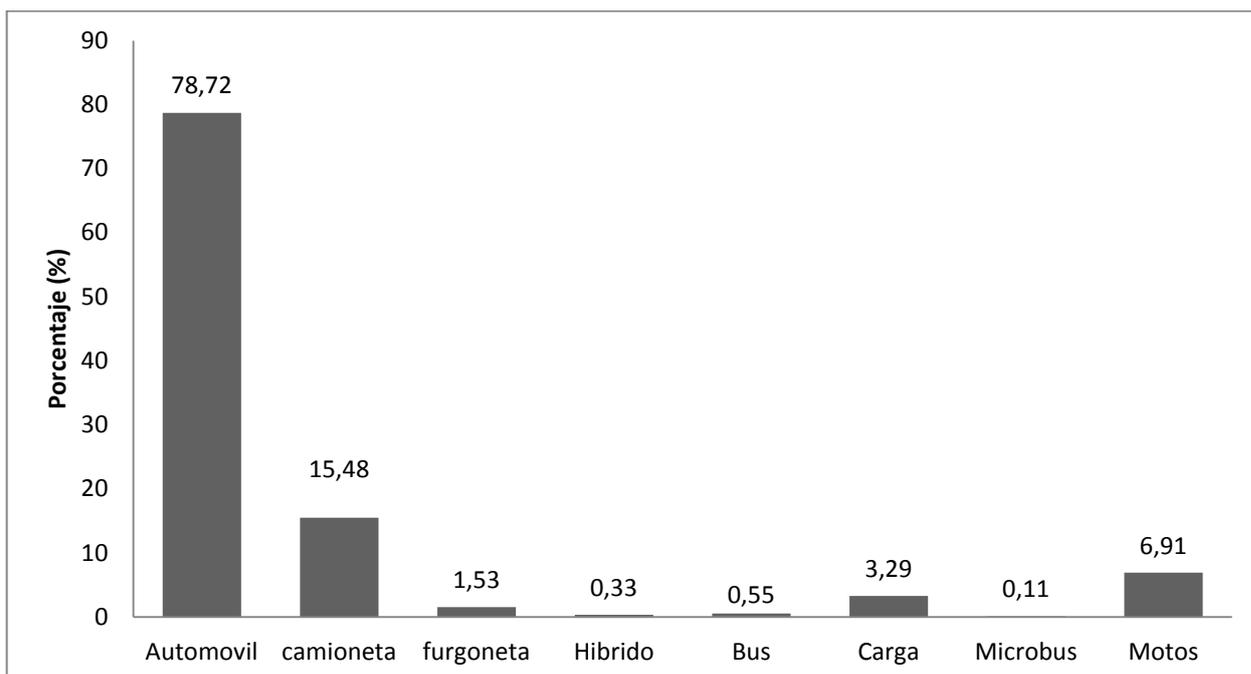
<b>Livianos a Gasolina</b>		
<b>Clasificación</b>	<b># Vehículos</b>	<b>Porcentajes (%)</b>
Automóvil	274 477	76.47
Camioneta	53 967	15.04
Furgoneta	5247	1.46
Híbrido	1156	0.32
Motos	24 092	6.71
Total	358 939	100.00

En la Tabla 13 los vehículos de carga son los que dominan en la categoría de pesados a gasolina con el 82.87 %.

*Tabla 13: Clasificación de los Vehículos Pesados a Gasolina para el año 2012 presentados en la RTV*

<b>Pesados a Gasolina</b>		
<b>Clasificación</b>	<b>#Vehículos</b>	<b>Porcentajes (%)</b>
Bus	1924	13.92
Carga	11 456	82.87
Furgoneta	71	0.51
Microbús	373	2.70
Total	13 824	100

La Figura 13 indica el porcentaje de los vehículos a gasolina incluyendo livianos, pesados, híbridos y motos. Los automóviles representan el 78.72 % de los vehículos a gasolina. Para la segunda parte del proyecto, este resultado es de gran importancia al elegir el vehículo para la prueba dinámica.



*Figura 13: Clasificación porcentual de los vehículos a gasolina del año 2012 presentados en la RTV*

Los vehículos a diesel se clasifican en livianos y pesados. La Tabla 14 indica la conformación de los vehículos livianos a diesel, con el dominio de las furgonetas (51.03 %).

*Tabla 14: Clasificación de los Vehículos Livianos a Diesel para el año 2012 presentados en la RTV*

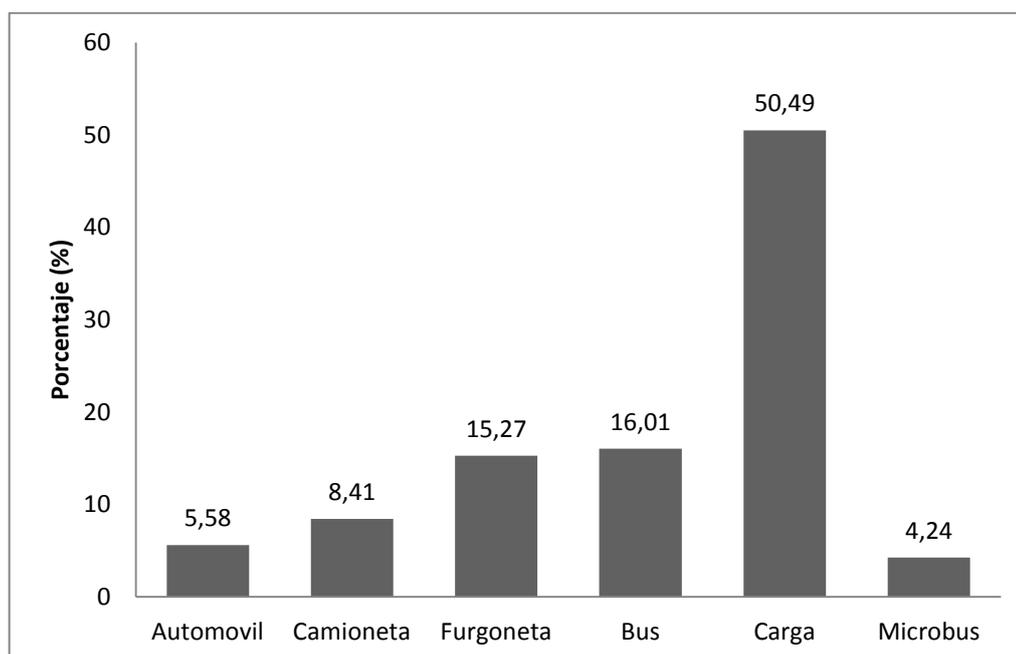
Livianos a Diesel		
Clasificación	#Vehículos	Porcentajes (%)
Automóvil	980	19.53
Camioneta	1477	29.44
Furgoneta	2560	51.03
Total	5017	100

La Tabla 15 indica la conformación vehicular de los pesados a diesel que presentan el dominio de los vehículos de carga (70.68 %).

*Tabla 15: Clasificación de los Vehículos Pesados a Diesel para el año 2012 presentados en la RTV*

Pesados a Diesel		
Clasificación	#Vehículos	Porcentajes (%)
Bus	2812	22.41
Carga	8867	70.68
Furgoneta	122	0.97
Microbús	745	5.94
Total	12 546	100

La Figura 14 resume los porcentajes de los vehículos a diesel, incluyendo livianos y pesados. Los vehículos de carga abarcan la mayoría (50.49 %).



*Figura 14: Clasificación porcentual de los vehículos a diesel del año 2012 presentados en la RTV*

Se realizó una comparación con los registros de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) y del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Estas dos entidades procesan la información a nivel nacional y por provincias

pero no por ciudades. La Tabla 16 compara la clasificación y porcentaje del parque vehicular del informe de la AEADE (2012) con la información de la RTV. La AEADE (2012) genera los datos del parque vehicular de acuerdo a los vehículos vendidos en el país. El total de vehículos de la RTV es el 59 % del total de la AEADE. Los porcentajes son congruentes y coherentes indicando que la mayoría de vehículos de la provincia de Pichincha se encuentran circulando en el DMQ. Los automóviles abarcan la mayor parte del parque vehicular a pesar de tener diferente distribución porcentual. La clasificación de los vehículos en los informes de la AEADE y la RTV no cuentan con las mismas categorías y en los datos de la RTV hay un sub-registro que debe ser tomado en cuenta por los vehículos que no se presentaron a la revisión.

*Tabla 16: Comparación por tipo de vehículo con los registros de la AEADE (AEADE, 2012)*

RTV (DMQ)			AEADE (Pichincha)		
Clasificación	Vehículos	%	Clasificación	Vehículos	%
<b>Automóvil</b>	276 613	75.53	<b>Automóvil</b>	423 221	68.05
<b>Bus</b>	5854	1.6	<b>Bus</b>	8232	1.32
<b>Camión</b>	20 323	5.55	<b>Camión</b>	46031	7.40
<b>Camioneta</b>	55 444	15.14	<b>Camioneta</b>	132 954	21.38
<b>Furgonetas</b>	8000	2.18	<b>Van</b>	11 532	1.85
<b>Total</b>	366 234	100	<b>Total</b>	621 970	100

En la Tabla 17 se comparan los datos de la RTV y el INEC (2012). Los datos generados por el INEC corresponden a los vehículos matriculados en la provincia de Pichincha, sin embargo el número total es menor al del DMQ. Los porcentajes en ambos casos son coherentes. Los vehículos a gasolina constituyen el 95 % según los datos de la RTV, y el 91 % de acuerdo al INEC, mientras que los vehículos a diesel tienen un porcentaje a nivel provincial de 8.83 % y según los datos de la RTV en Quito el porcentaje

es de 4.80 %. La potencial explicación es que existen más vehículos de carga matriculados en otros cantones, pero que circulan en el DMQ, y por ello deben cumplir con la RTV.

*Tabla 17: Porcentaje total de vehículos a gasolina y diesel según la RTV (2012) y el INEC (2012). El INEC incluye categorías de gas licuado y eléctrico que completan el 100%.*

RTV (DMQ)			INEC (Pichincha)		
Clasificación	#Vehículos	Porcentajes	Clasificación	#Vehículos	Porcentajes
Total a Gasolina	347 515	94.89	Total a Gasolina	315 224	90.66
Total a Diesel	17 563	4.80	Total a Diesel	30 700	8.83
Total Híbrido	1156	0.32	Total Híbrido	1593	0.46
Total	366 234	100	Total	347 694	99.95

## 5.2 Inventario por año/modelo de los vehículos

La Tabla 18 presenta el número de vehículos a gasolina por categoría y año de fabricación, del parque revisado en el año 2012, de acuerdo a los datos procesados de la RTV.

La Tabla 19 presenta los porcentajes de los vehículos a gasolina por categoría y año de fabricación. El acumulado por categorías muestra que los automóviles conforman cerca del 75 % del parque y el acumulado por años indica que hay más vehículos del año 2011 (14.01 %). Los taxis representan el 3.92 % del parque vehicular de los vehículos a gasolina y el mayor porcentaje de vehículos están repartidos desde el año 2005 (5.13 %) hasta el año 2012 (13.97%). Las camionetas particulares ocupan el segundo lugar en la tabla de porcentajes (14.22 %). Las motos ocupan el 6.46 % del total de vehículos. En el año 2012 se vendieron a nivel nacional 116 633 motocicletas distribuidas de la siguiente manera: Guayas (28.03 %), Pichincha (14.1 %), Los Ríos (10.1 %), Manabí (8.9 %) y El Oro (7,5 %) (AEADE, 2012). En base a esta información, el 14.1% de las motocicletas vendidas corresponde a 16 445. Los registros de la RTV indican que se revisaron 5685 motocicletas.

Se puede concluir que hay un porcentaje importante de motocicletas que fueron vendidas en Quito, y que no se presentaron a la RTV.

La configuración a fracciones del parque vehicular del DMQ, permitirá actualizar y mejorar la estimación de las emisiones producidas por los vehículos. Se debe resaltar que es necesario estimar el parque total de vehículos que circulan en el DMQ durante el año 2012. Al haber vehículos que no se presentan a la RTV, el parque total de vehículos que realmente circularan, debe ser mayor al registro de vehículos revisados en la RTV.

La Tabla 20 presenta el número de vehículos a diesel, por categoría y año de fabricación que se presentaron en la RTV el año 2012. La Tabla 21 presenta los porcentajes de los vehículos a diesel. Los vehículos de carga sin clasificar tienen el mayor porcentaje (49.39 %), y le siguen los buses urbanos (10.74 %), furgonetas particular (8.49 %), escolar y turismo (6.09 %) y las camionetas particulares (7.97 %). El mayor porcentaje de vehículos a diesel corresponde a los años 2002 (8.52 %) hasta el 2009 (9.12 %).

Tabla 18: Distribución de los vehículos a gasolina clasificados por años y tipo de vehículo de acuerdo a los registros de la RTV del 2012

Años	Vehículos a Gasolina																Total	
	Livianos								Pesados									
	Automóvil		Camioneta		Furgonetas		Híbrido	Motos	Bus			Carga		Furgoneta		Microbus		
	Particular	Taxi y Turismo	Particular	Carga y Servicio Público	Particular	Escolar y Turismo			Escolar Turismo y Chivas	Interparroquial, provincial y cantonal	Sin clasificar	Urbano	Sin clasificar	Liviana, Media e interparroquial	Escolar y Turismo			Sin Clasificar
1990 y antes	11056	0	3822	0	282	0		107	0	0	1	0	389	0	0	1	1	15659
1991	1671	0	334	0	53	0		15	0	0	1	0	35	0	0	0	0	2109
1992	3642	1	589	2	52	0		15	0	0	1	0	33	1	0	0	0	4336
1993	3554	1	948	3	75	0		23	0	0	0	0	30	0	0	1	1	4636
1994	5514	13	1463	8	227	0		49	0	0	1	0	87	0	0	0	0	7362
1995	4361	11	1207	6	146	1		33	0	1	1	0	43	1	0	0	0	5811
1996	3938	31	989	7	82	1		21	0	0	1	0	31	0	0	1	1	5103
1997	3884	24	917	5	59	0		33	0	0	1	1	30	0	0	0	0	4954
1998	5849	90	1378	18	118	4		44	0	3	1	0	52	0	0	0	0	7557
1999	3940	38	1086	11	107	4		27	0	0	3	0	42	0	0	0	0	5258
2000	764	3	185	3	5	1		19	0	0	0	0	9	0	0	0	1	990
2001	7089	107	1425	13	128	11		104	0	4	4	0	112	0	0	0	2	8999
2002	11590	527	2459	30	249	8		197	1	11	2	0	202	0	0	1	1	15278
2003	10241	434	2163	54	303	42		245	1	11	7	1	159	2	0	2	4	13669
2004	9979	369	2056	65	237	28		505	1	36	7	0	114	1	0	1	2	13401
2005	14302	1036	2696	91	172	0		591	3	43	4	7	183	1	0	5	7	19141
2006	15893	908	3062	90	165	1		904	1	61	8	1	183	1	0	2	9	21289
2007	17458	955	3946	103	179	2		1310	0	54	3	4	434	6	0	3	10	24467
2008	16331	1345	3718	129	211	0		1816	1	54	16	10	475	7	1	5	55	24174
2009	21559	2317	3920	138	229	0	2	2152	1	117	40	72	1214	19	0	0	51	31831
2010	19466	2387	3956	63	135	1	755	4189	2	137	41	28	1192	23	0	14	46	32435
2011	34061	2545	5663	72	661	0	335	6008	9	204	131	169	2240	40	3	17	67	52225
2012	33729	1464	5016	58	1268	0	64	5685	6	175	240	180	4029	36	0	14	115	52079
Total	259871	14606	52998	969	5143	104	1156	24092	26	911	514	473	11318	138	4	67	373	372763

Tabla 19: Porcentajes de la composición de vehículos a gasolina de acuerdo a los registros de la RTV del 2012

Años	Vehículos a Gasolina																Total		
	Livianos							Pesados											
	Automóvil		Camioneta		Furgonetas		Híbrido	Motos	Bus				Carga		Furgoneta			Microbús	
	Particular	Taxi y Turismo	Particular	Carga y Servicio Público	Particular	Escolar y Turismo			Escolar y Turismo y Chivas	Interparroquial, provincial y cantonal	Sin clasificar	Urbano	Sin clasificar	Liviana, Media e interparroquial	Escolar y Turismo	Sin Clasificar			
1990 y antes	2.97	0.00	1.03	0.00	0.08	0.00		0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20
1991	0.45	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57
1992	0.98	0.00	0.16	0.00	0.01	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16
1993	0.95	0.00	0.25	0.00	0.02	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24
1994	1.48	0.00	0.39	0.00	0.06	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.97
1995	1.17	0.00	0.32	0.00	0.04	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.56
1996	1.06	0.01	0.27	0.00	0.02	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.37
1997	1.04	0.01	0.25	0.00	0.02	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33
1998	1.57	0.02	0.37	0.00	0.03	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.03
1999	1.06	0.01	0.29	0.00	0.03	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41
2000	0.20	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
2001	1.90	0.03	0.38	0.00	0.03	0.00		0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.41
2002	3.11	0.14	0.66	0.01	0.07	0.00		0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10
2003	2.75	0.12	0.58	0.01	0.08	0.01		0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.67
2004	2.68	0.10	0.55	0.02	0.06	0.01		0.14	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60
2005	3.84	0.28	0.72	0.02	0.05	0.00		0.16	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.13
2006	4.26	0.24	0.82	0.02	0.04	0.00		0.24	0.00	0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.71
2007	4.68	0.26	1.06	0.03	0.05	0.00		0.35	0.00	0.01	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.56
2008	4.38	0.36	1.00	0.03	0.06	0.00		0.49	0.00	0.01	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	6.49
2009	5.78	0.62	1.05	0.04	0.06	0.00	0.00	0.58	0.00	0.03	0.01	0.02	0.33	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	8.54
2010	5.22	0.64	1.06	0.02	0.04	0.00	0.20	1.12	0.00	0.04	0.01	0.01	0.32	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	8.70
2011	9.14	0.68	1.52	0.02	0.18	0.00	0.09	1.61	0.00	0.05	0.04	0.05	0.60	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	14.01
2012	9.05	0.39	1.35	0.02	0.34	0.00	0.02	1.53	0.00	0.05	0.06	0.05	1.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	13.97
Total	69.72	3.92	14.22	0.26	1.38	0.03	0.31	6.46	0.01	0.24	0.14	0.13	3.04	0.04	0.00	0.02	0.10	100.00	

Tabla 20: Distribución de los vehículos a diesel clasificados por años y tipo de vehículo de acuerdo a los registros de la RTV del 2012

Años	Vehículos a Diesel														Total
	Livianos						Pesados								
	Automóvil		Camioneta		Furgonetas		Bus			Carga		Furgoneta		Microbús	
	Particular	Taxi	Particular	Servicio Público	Particular	Escolar y Turismo	Escolar, Turismo y Chivas	Interparroquial, provincial y cantonal	Sin clasificar	Urbano	Sin clasificar	Liviana, media y pesada	Escolar y Turismo	Sin Clasificar	
1990 y antes	18	0	0	0	0	0	0	2	0	267	0	0	0	1	288
1991	2	0	2	0	0	0	0	3	0	54	0	0	0	1	62
1992	2	0	1	0	5	0	0	1	0	46	1	0	0	2	58
1993	3	0	4	0	3	0	0	0	0	39	0	0	0	2	51
1994	1	0	5	1	16	0	1	0	4	8	95	2	0	0	138
1995	5	0	3	0	16	0	1	6	102	81	2	0	1	9	227
1996	1	0	1	0	5	0	2	1	5	20	68	2	0	1	115
1997	5	0	0	0	6	1	2	1	5	22	67	0	0	0	114
1998	7	0	2	0	17	4	8	3	6	68	209	3	0	0	330
1999	3	0	1	0	12	2	4	14	12	84	171	1	0	0	307
2000	12	0	4	0	2	0	2	3	2	2	34	1	0	0	63
2001	9	0	2	0	50	25	23	21	34	93	311	4	0	0	600
2002	19	0	69	2	152	60	37	78	37	140	821	18	2	3	1497
2003	37	1	87	11	253	233	7	17	23	177	632	14	5	22	1546
2004	16	0	93	3	210	223	17	27	34	282	483	14	4	14	1509
2005	142	2	144	7	217	185	11	41	32	252	675	20	4	19	1922
2006	229	1	174	7	136	20	6	49	35	213	999	26	8	15	2040
2007	157	2	85	4	130	50	3	54	35	177	1349	39	6	9	2161
2008	217	0	356	20	151	97	5	77	41	157	1174	28	1	6	2425
2009	57	0	353	22	109	169	6	29	12	78	714	13	0	0	1602
2010	6	0	6	1	0	0	0	2	0	0	160	1	0	1	179
2011	1	0	3	0	1	0	1	29	12	11	88	1	0	1	150
2012	24	1	4	0	0	0	0	1	1	0	137	3	0	0	179
Total	973	7	1399	78	1491	1069	136	448	342	1886	8674	193	30	92	17563

Tabla 21: Porcentajes de la composición de vehículos a diesel de acuerdo a los registros de la RTV del 2012

Años	Vehículos a Diesel															Total
	Livianos						Pesados									
	Automóvil		Camioneta		Furgonetas		Bus				Carga		Furgoneta		Microbús	
	Particular	Taxi	Particular	Servicio Público	Particular	Escolar y Turismo	Escolar, Turismo y Chivas	Interparroquial, provincial y cantonal	Sin clasificar	Urbano	Sin clasificar	Liviana, media y pesada	Escolar y Turismo	Sin Clasificar		
1990 y antes	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	1.52	0.00	0.00	0.00	0.01	1.64
1991	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.01	0.35	
1992	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.26	0.01	0.00	0.00	0.01	0.33	
1993	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.01	0.29	
1994	0.01	0.00	0.03	0.01	0.09	0.00	0.01	0.00	0.02	0.05	0.54	0.01	0.00	0.03	0.79	
1995	0.03	0.00	0.02	0.00	0.09	0.00	0.01	0.01	0.03	0.58	0.46	0.01	0.00	0.01	1.29	
1996	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.01	0.03	0.11	0.39	0.01	0.00	0.01	0.65	
1997	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.13	0.38	0.00	0.00	0.03	0.65	
1998	0.04	0.00	0.01	0.00	0.10	0.02	0.05	0.02	0.03	0.39	1.19	0.02	0.00	0.02	1.88	
1999	0.02	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.02	0.08	0.07	0.48	0.97	0.01	0.00	0.02	1.75	
2000	0.07	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.19	0.01	0.00	0.01	0.36	
2001	0.05	0.00	0.01	0.00	0.28	0.14	0.13	0.12	0.19	0.53	1.77	0.02	0.00	0.16	3.42	
2002	0.11	0.00	0.39	0.01	0.87	0.34	0.21	0.44	0.21	0.80	4.67	0.10	0.01	0.02	8.52	
2003	0.21	0.01	0.50	0.06	1.44	1.33	0.04	0.10	0.13	1.01	3.60	0.08	0.03	0.13	8.80	
2004	0.09	0.00	0.53	0.02	1.20	1.27	0.10	0.15	0.19	1.61	2.75	0.08	0.02	0.08	8.59	
2005	0.81	0.01	0.82	0.04	1.24	1.05	0.06	0.23	0.18	1.43	3.84	0.11	0.02	0.11	10.94	
2006	1.30	0.01	0.99	0.04	0.77	0.11	0.03	0.28	0.20	1.21	5.69	0.15	0.05	0.09	11.62	
2007	0.89	0.01	0.48	0.02	0.74	0.28	0.02	0.31	0.20	1.01	7.68	0.22	0.03	0.05	12.30	
2008	1.24	0.00	2.03	0.11	0.86	0.55	0.03	0.44	0.23	0.89	6.68	0.16	0.01	0.03	13.81	
2009	0.32	0.00	2.01	0.13	0.62	0.96	0.03	0.17	0.07	0.44	4.07	0.07	0.00	0.00	9.12	
2010	0.03	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.91	0.01	0.00	0.01	1.02	
2011	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.17	0.07	0.06	0.50	0.01	0.00	0.01	0.85	
2012	0.14	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.78	0.02	0.00	0.00	1.02	
Total	5.54	0.04	7.97	0.44	8.49	6.09	0.77	2.55	1.95	10.74	49.39	1.10	0.17	0.52	100	

### **5.3 Análisis de las emisiones vehiculares de la RTV año 2012**

#### **5.3.1 Vehículos a Gasolina**

Uno de los objetivos de la RTV es mantener el nivel de emisiones de los vehículos bajo las concentraciones propuestas por la normativa vigente, por lo que se realizan pruebas estáticas para medir las emisiones. En las Tablas 22, 23 y 24 se indican los promedios obtenidos de las emisiones de los contaminantes HC y CO en ralentí y a 2500 rpm para cada año y por categoría de vehículo. En las figuras desde la 15 hasta la 20 se observa en detalle la reducción de emisiones contaminantes a medida que el año del vehículo es más nuevo. En la Ordenanza 213, en el capítulo 3 de la Contaminación Vehicular se establece que a los vehículos a gasolina se medirá HC y CO (Concejo del Distrito Metropolitano de Quito, 2007).

Se aprecia que las emisiones son menores para los vehículos más nuevos: un automóvil a gasolina del año 1990 o anterior emite 25.30 veces más HC en ralentí, 60.92 veces más CO en ralentí, 12.43 veces más HC a 2500 rpm y 56.48 veces más CO a 2500 rpm, que un automóvil del año 2012. La tendencia de estos datos es de gran ayuda para el inventario de emisiones ya que se puede estimar factores de emisión en base a los modelos y años de los vehículos. Esta reducción se explica en parte por la tecnología y mejor diseño de los vehículos nuevos, en relación a su consumo de combustibles y dispositivos para el control de las emisiones.

La tecnología de los motores de combustión interna ha evolucionado de acuerdo a las necesidades de la sociedad. En 1970, cuando hubo una crisis petrolera la industria automotriz se propuso como objetivo el desarrollo de motores eficientes, que consuman

menos combustible (Desantes, 2011). Con la masificación de los vehículos aparecieron problemas de contaminación atmosférica que obligaron a la industria a mejorar la combustión del motor y cumplir con normas de control de emisiones (Desantes, 2011). Para la reducción de las emisiones se utilizan catalizadores que permiten completar la oxidación de CO y HC, y el cambio del carburador por el sistema de inyección electrónico (Desantes, 2011).

Otra de las mejoras en la reducción de emisiones es la calidad del combustible. En Ecuador en noviembre del 2011 se inició el proceso de mejora de combustibles que ayudará a reducir costos de mantenimiento de los vehículos y un mejor funcionamiento y rendimiento de los motores (EP Petroecuador, 2012). Las mejoras incluyen el aumento de la calidad de octanaje para la gasolina Extra de 81 a 87 octanos y la gasolina Súper, de 90 a 92 octanos. Además, la reducción del contenido de azufre, de 2000 a 650 (ppm), tanto en la gasolina Extra como en la gasolina Súper (EP Petroecuador, 2012).

La RTV aplica concentraciones máximas establecidas en la legislación, para el control de las emisiones (Tabla 5). Con el estudio más detallado que se presenta en este proyecto estas concentraciones pueden ser analizadas para revisar los umbrales, en base al salto tecnológico de los vehículos. En las Figuras de la 15 a la 20 hay un descenso pronunciado en el año 2000, potencialmente explicable por el hecho de que los vehículos modelos 2000 en adelante, en general vienen con catalizador.

*Tabla 22: Registros de las emisiones para la prueba estática de los automóviles a Gasolina a Ralentí y 2500 rpm.*

<b>Automóviles a Gasolina</b>								
<b>Promedios anuales de los registros</b>					<b>Relación de emisiones con respecto al año 2012</b>			
Años	HC ralentí (ppm)	CO ralentí (%)	HC 2500 rpm (ppm)	CO 2500 rpm (%)	HC ralentí	CO ralentí	HC 2500 rpm	CO 2500 rpm
1990 y antes	551.23	3.01	309.65	3.31	25.30	60.92	12.43	56.48
1991	417.84	2.15	221.71	2.40	19.18	43.42	8.90	41.01
1992	405.69	2.06	213.77	2.23	18.62	41.74	8.58	37.96
1993	414.58	2.09	216.17	2.25	19.03	42.35	8.68	38.45
1994	414.83	2.04	217.95	2.19	19.04	41.32	8.75	37.45
1995	374.74	1.94	210.38	2.02	17.20	39.15	8.45	34.52
1996	366.97	1.81	202.34	1.85	16.85	36.55	8.12	31.60
1997	325.20	1.63	170.91	1.51	14.93	33.03	6.86	25.75
1998	310.83	1.55	172.74	1.43	14.27	31.32	6.94	24.32
1999	284.38	1.35	171.19	1.30	13.05	27.28	6.87	22.22
2000	121.22	0.38	85.03	0.45	5.56	7.61	3.41	7.68
2001	127.46	0.37	89.69	0.45	5.85	7.53	3.60	7.74
2002	122.35	0.36	89.14	0.45	5.62	7.33	3.58	7.60
2003	102.77	0.29	75.82	0.37	4.72	5.95	3.04	6.37
2004	94.86	0.27	68.57	0.33	4.35	5.50	2.75	5.58
2005	79.28	0.23	60.45	0.29	3.64	4.59	2.43	4.87
2006	67.61	0.20	53.45	0.24	3.10	4.06	2.15	4.16
2007	55.24	0.17	46.19	0.20	2.54	3.41	1.85	3.45
2008	45.92	0.14	41.16	0.17	2.11	2.74	1.65	2.84
2009	39.66	0.12	37.66	0.15	1.82	2.35	1.51	2.54
2010	34.91	0.10	35.20	0.13	1.60	1.93	1.41	2.25
2011	32.96	0.09	33.35	0.12	1.51	1.86	1.34	2.02
2012	21.79	0.05	24.90	0.06	1.00	1.00	1.00	1.00

*Tabla 23: Registros de las emisiones para la prueba estática de Camionetas a Gasolina a Ralentí y 2500 rpm.*

<b>Camionetas a Gasolina</b>								
<b>Promedios anuales de los registros</b>					<b>Relación de emisiones con respecto al año 2012</b>			
Años	HC ralentí (ppm)	CO ralentí (%)	HC 2500 rpm (ppm)	CO 2500 rpm (%)	HC ralentí	CO ralentí	HC 2500 rpm	CO 2500 rpm
1990 y antes	593.03	3.22	316.60	3.54	29.43	83.76	13.48	52.54
1991	422.08	2.24	228.06	2.68	20.95	58.07	9.71	39.71
1992	401.53	2.05	198.95	2.39	19.93	53.25	8.47	35.43
1993	394.97	1.97	207.71	2.48	19.60	51.12	8.84	36.73
1994	403.27	2.04	212.33	2.28	20.01	52.91	9.04	33.79
1995	383.98	2.08	200.23	2.31	19.06	53.95	8.52	34.27
1996	369.24	1.97	191.17	2.19	18.32	51.15	8.14	32.47
1997	350.20	1.80	180.12	2.05	17.38	46.65	7.67	30.43
1998	338.69	1.76	173.19	1.97	16.81	45.81	7.37	29.21
1999	342.73	2.05	178.81	2.13	17.01	53.30	7.61	31.57
2000	121.73	0.45	77.90	0.52	6.04	11.58	3.32	7.67
2001	138.20	0.45	82.61	0.52	6.86	11.76	3.52	7.77
2002	132.08	0.42	85.91	0.53	6.55	10.94	3.66	7.81
2003	120.08	0.34	74.19	0.47	5.96	8.93	3.16	6.90
2004	110.20	0.31	68.92	0.42	5.47	8.06	2.93	6.28
2005	95.39	0.28	63.62	0.39	4.73	7.27	2.71	5.73
2006	76.87	0.24	56.54	0.36	3.81	6.24	2.41	5.34
2007	55.88	0.17	47.03	0.27	2.77	4.30	2.00	3.96
2008	46.00	0.14	42.44	0.23	2.28	3.64	1.81	3.43
2009	40.79	0.14	40.29	0.22	2.02	3.58	1.71	3.20
2010	31.35	0.09	33.16	0.15	1.56	2.38	1.41	2.22
2011	30.62	0.08	33.05	0.13	1.52	2.14	1.41	1.94
2012	20.15	0.04	23.49	0.07	1.00	1.00	1.00	1.00

*Tabla 24: Registros de las emisiones para la prueba estática de Furgonetas a Gasolina a Ralentí y 2500 rpm.*

Furgonetas a Gasolina								
Promedios anuales de los registros					Relación de emisiones con respecto al año 2012			
Años	HC a ralentí (ppm)	CO ralentí (%)	HC 2500 rpm (ppm)	CO 2500 rpm (%)	HC ralentí	CO ralentí	HC 2500 rpm	CO 2500 rpm
1990 y antes	658.14	3.14	398.34	3.45	28.90	56.87	15.00	50.33
1991	423.99	1.87	201.11	2.13	18.62	33.95	7.58	31.12
1992	412.71	1.96	290.63	2.37	18.12	35.51	10.95	34.56
1993	362.68	2.05	184.87	2.07	15.92	37.20	6.96	30.19
1994	389.95	1.71	237.34	1.93	17.12	31.01	8.94	28.10
1995	417.72	1.83	265.87	1.80	18.34	33.20	10.01	26.21
1996	403.24	1.53	293.17	1.58	17.71	27.75	11.04	23.03
1997	361.23	1.90	241.03	2.04	15.86	34.41	9.08	29.80
1998	357.34	1.97	233.84	2.19	15.69	35.69	8.81	31.95
1999	310.35	1.62	177.56	1.57	13.63	29.44	6.69	22.90
2000	269.14	1.96	127.11	1.41	11.82	35.51	4.79	20.57
2001	162.70	0.85	106.70	1.03	7.14	15.34	4.02	15.01
2002	192.65	1.04	143.47	1.18	8.46	18.82	5.40	17.27
2003	130.79	0.61	96.18	0.81	5.74	11.10	3.62	11.78
2004	124.61	0.58	94.93	0.77	5.47	10.53	3.58	11.22
2005	155.61	0.78	115.86	1.04	6.83	14.12	4.36	15.19
2006	136.75	0.69	115.88	0.98	6.00	12.59	4.36	14.28
2007	132.01	0.56	113.49	0.86	5.80	10.11	4.27	12.57
2008	101.22	0.20	78.78	0.30	4.44	3.57	2.97	4.42
2009	64.13	0.13	57.24	0.21	2.82	2.39	2.16	3.02
2010	51.05	0.14	50.79	0.16	2.24	2.61	1.91	2.31
2011	57.58	0.14	52.13	0.13	2.53	2.59	1.96	1.84
2012	22.77	0.06	26.55	0.07	1.00	1.00	1.00	1.00

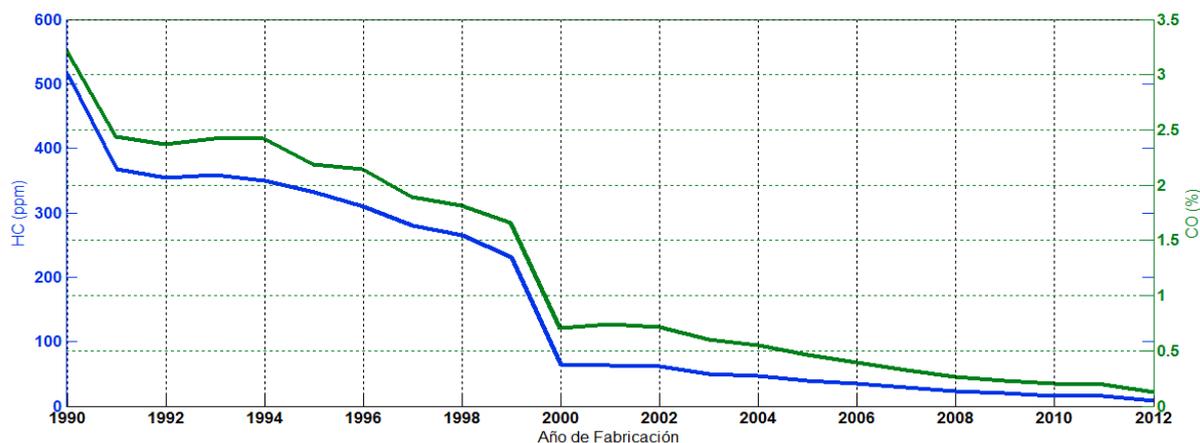


Figura 15: Variación de las emisiones de HC y CO a Ralentí para los diferentes años de fabricación de automóviles a gasolina del parque. Las concentraciones son menores a medida que el automóvil es más nuevo.

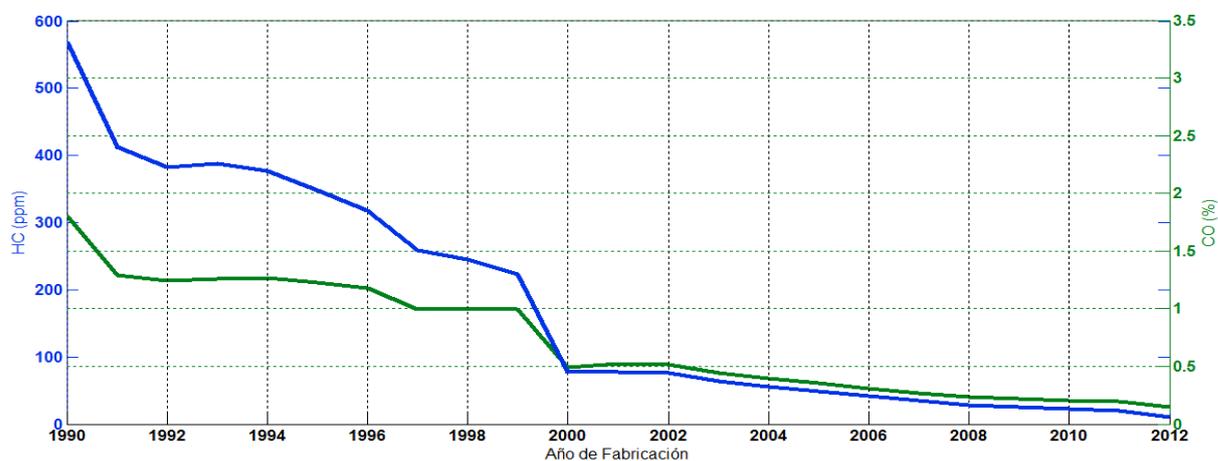


Figura 16: Variación de las emisiones de HC y CO a 2500 RPM para los diferentes año de fabricación de automóviles a gasolina del parque. Las concentraciones son menores a medida que el automóvil es más nuevo.

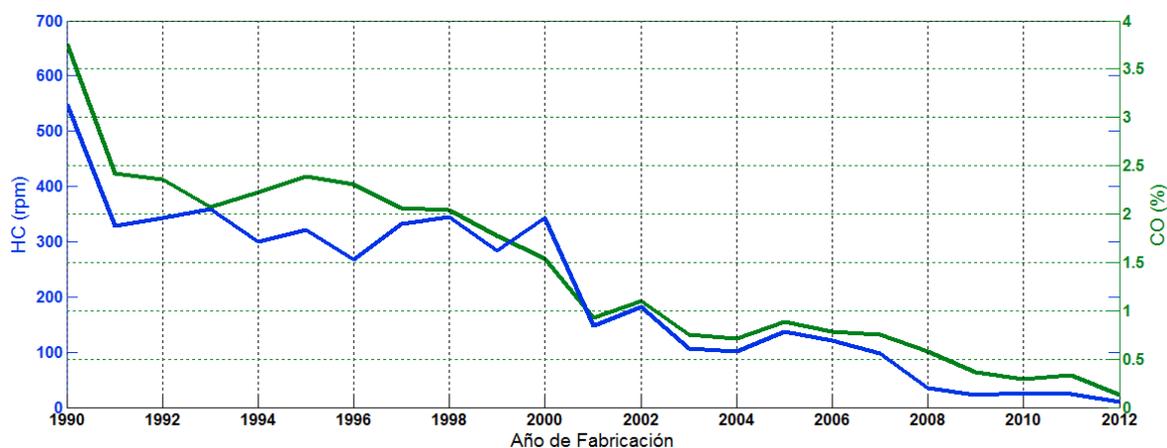


Figura 17: Variación de las emisiones de HC y CO en Ralentí para los diferentes años de fabricación de furgonetas a gasolina del parque.

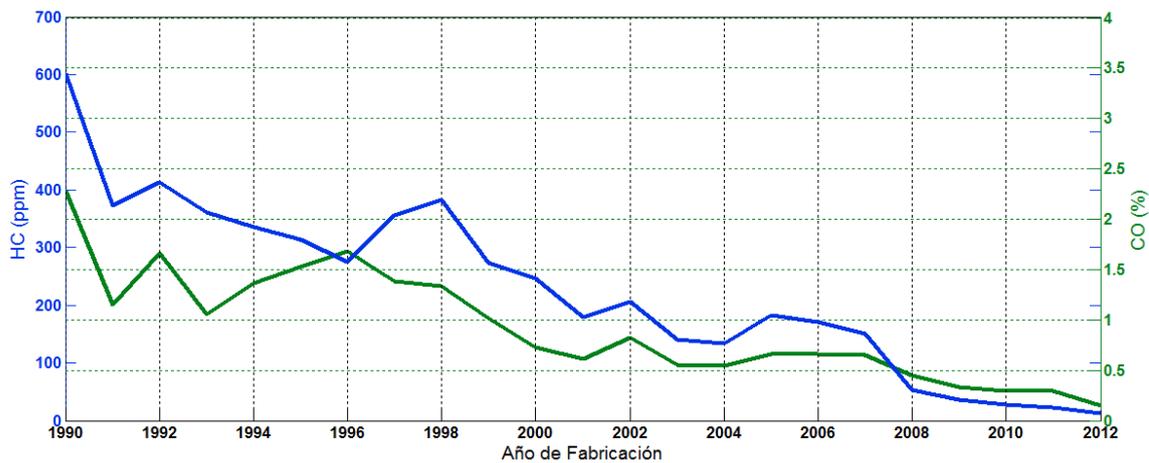


Figura 18: Variación de las emisiones de HC y CO a 2500 RPM para los diferentes años de fabricación de furgonetas a gasolina del parque.

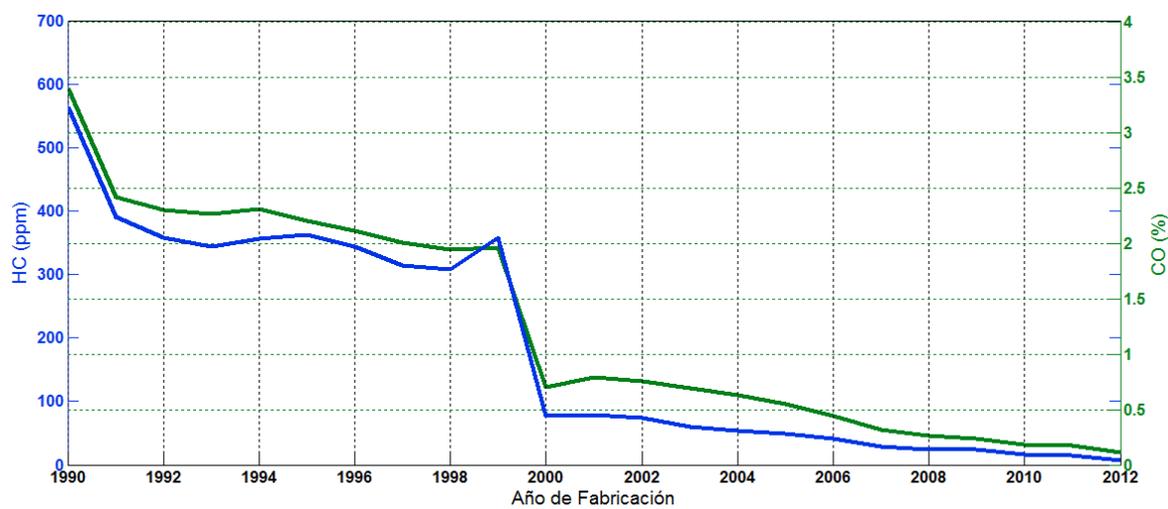


Figura 19: Variación de las emisiones de HC y CO en Ralentí para los diferentes años de fabricación de camionetas a gasolina del parque

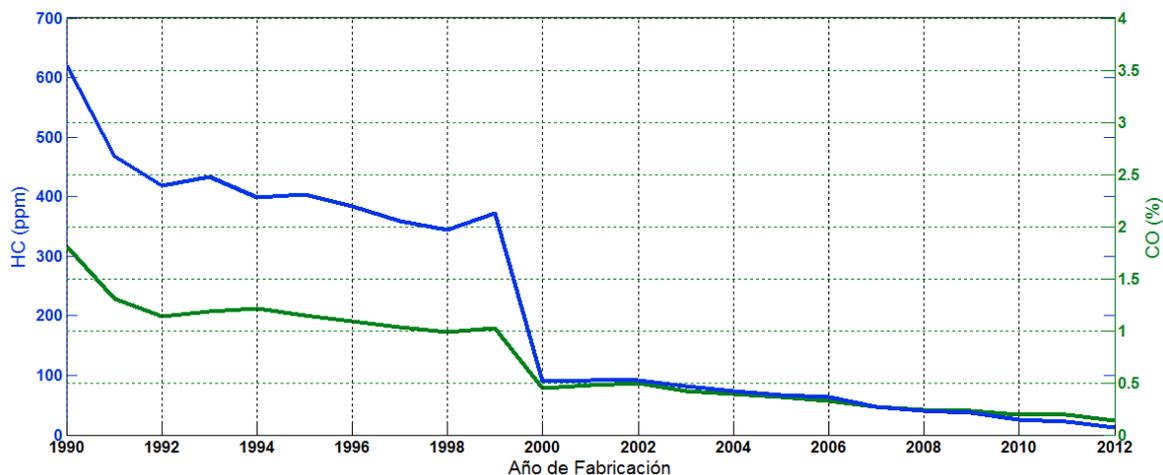


Figura 20: Variación de las emisiones de HC y CO para los diferentes años de fabricación de camionetas a gasolina del parque.

### 5.3.2 Motocicletas

En los registros de la RTV (2012) los parámetros medidos para las motocicletas son HC y CO en ralentí. Para las motocicletas existe un solo límite que deben cumplir sin importar el año, cilindraje y motor. La Tabla 25 muestra los registros de las emisiones de HC y CO clasificados por año. En el CO, el porcentaje de emisión en ralentí va aumentando de acuerdo al modelo de año de la moto (Figura 21). Existen varios motivos: las motos tienen motores a 2T (2 tiempos) y 4T (4 tiempos) y el tamaño del motor no siempre es el mismo. Los motores a 2T son menos eficientes en cuanto al consumo de combustible y dejan escapar altos contenidos de gasolina y lubricante no combustionado que aumenta la emisión de HC y CO (Masami Kojima, 2000). No se puede comparar estos resultados con la norma ya que no se aplica de manera individual para cada moto.

*Tabla 25: Registros de las emisiones de HC y CO para las motos presentes en la base de datos de la RTV (2012)*

<b>Motos</b>				
<b>Promedios de los registros</b>			<b>Relación de emisiones con respecto al año 2012</b>	
<b>Años</b>	<b>HC ralenti (ppm)</b>	<b>CO ralenti (%)</b>	<b>HC ralenti</b>	<b>CO ralenti</b>
1990	2194.52	3.41	4.27	0.70
1991	1799.13	3.38	3.50	0.70
1992	1557.37	3.50	3.03	0.72
1993	1683.99	3.18	3.27	0.65
1994	1431.41	3.11	2.78	0.64
1995	1836.33	2.61	3.57	0.54
1996	2033.06	4.73	3.95	0.97
1997	2923.13	3.30	5.68	0.68
1998	2365.52	3.05	4.60	0.63
1999	1514.20	3.60	2.94	0.74
2000	2603.31	2.76	5.06	0.57
2001	1478.02	3.26	2.87	0.67
2002	1532.51	3.28	2.98	0.68
2003	1118.96	3.33	2.18	0.69
2004	1062.07	3.30	2.07	0.68
2005	1182.02	3.38	2.30	0.70
2006	1062.37	3.64	2.07	0.75
2007	760.43	3.59	1.48	0.74
2008	749.46	3.63	1.46	0.75
2009	667.10	3.94	1.30	0.81
2010	640.00	4.06	1.24	0.83
2011	512.11	4.47	1.00	0.92
2012	514.30	4.86	1.00	1.00

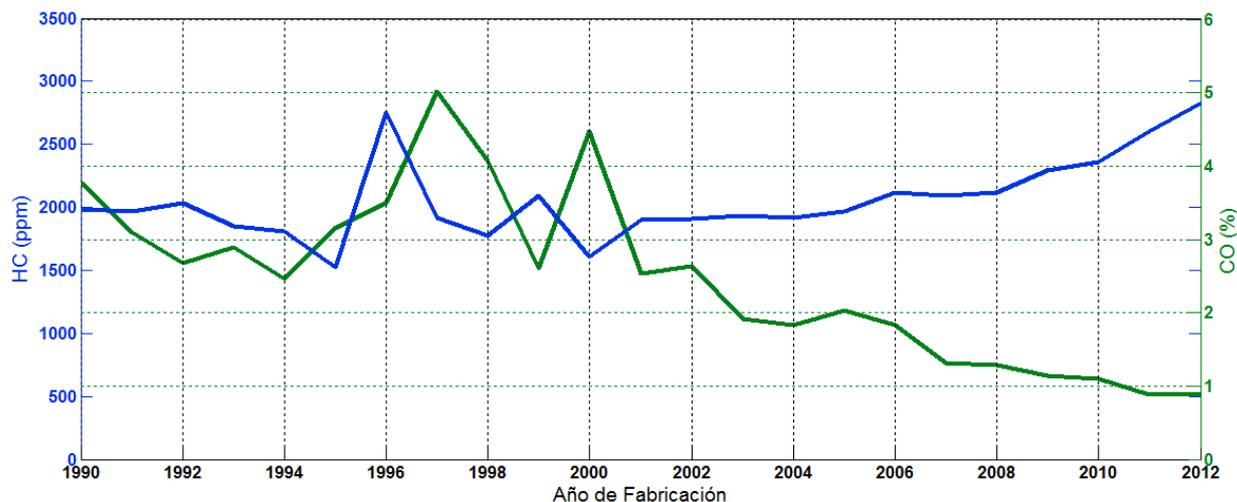


Figura 21: Variación de las emisiones por modelo de moto desde 1990 y anteriores hasta el 2012 para concentraciones medidas a Ralentí.

### 5.3.3 Vehículos a Diesel

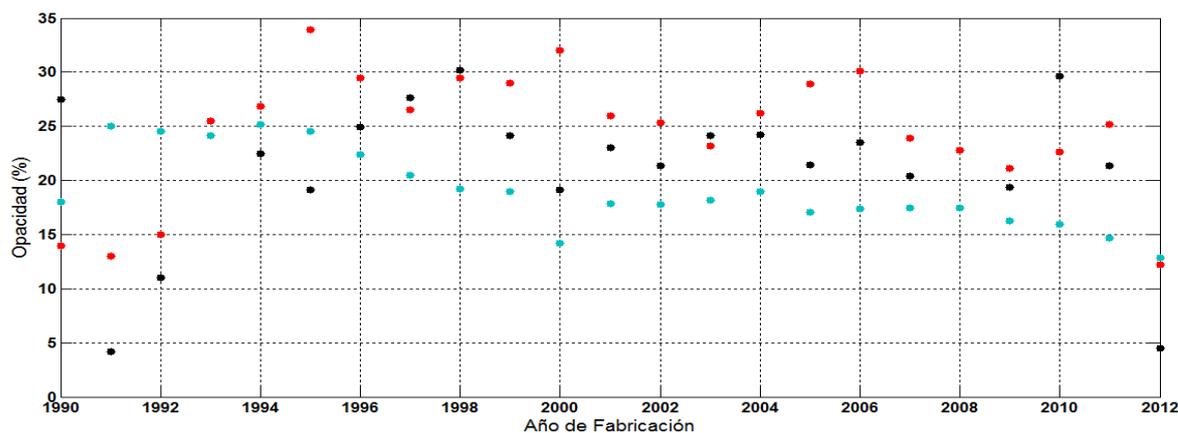
En la RTV a los vehículos a diesel se mide la opacidad como indicativo del nivel de emisiones. En la Tabla 26 y Figura 22 se muestran los promedios calculados para la opacidad según su categoría y clasificado por años. Se observa que no hay una relación de la opacidad y el modelo de año del vehículo.

La opacidad no es lo más recomendado para medir la emisión de material particulado. La relación que existe entre la opacidad y el PM es una función del tamaño de partícula y el efecto que causa cada partícula con los rayos de luz. Normalmente, para esta prueba se asume que la forma de la partícula es esférica, del mismo tamaño y que la densidad es la misma, sin embargo, estas asunciones hacen que la prueba de la opacidad tenga un error considerable (Nigel, 1999). Se han realizado estudios donde se correlacionan las emisiones de CO con las de PM y el resultado ha sido exitoso, sin embargo este procedimiento se realiza con pruebas dinámicas (Nigel, 1999). Otra forma de medir es utilizando gramos/potencia del freno por hora (g/cv.h) ya que las mayores emisiones se producen desde la aceleración del vehículo hasta frenar por completo o bajar la velocidad

(Loyd, 2001). El análisis gravimétrico es el método estandarizado para medir material particulado. Estados Unidos ha desarrollado un nuevo método (40 CFR Part 1065) capaz de detectar emisiones de PM ultra fino. En Europa otros métodos son estudiados. La UN/ECE Programa de Medición de Partículas coordina y desarrolla nuevos protocolos para emisiones de PM (Liu & Vasys, 2009).

*Tabla 26: Porcentajes medios de opacidad medidos en los vehículos pesados a Diesel para los diferentes modelos por año en la prueba estática*

	<b>Bus</b>	<b>Carga</b>	<b>Furgoneta</b>	<b>Microbús</b>
<b>Años</b>	<b>Opacidad (%)</b>			
1990 y antes	28	18		14
1991	4	25		13
1992	11	25		15
1993		24		26
1994	22	25		27
1995	19	25	22	34
1996	25	22	40	30
1997	28	21		27
1998	30	19		30
1999	24	19		29
2000	19	14		32
2001	23	18		26
2002	21	18	28	25
2003	24	18	28	23
2004	24	19	27	26
2005	21	17	33	29
2006	24	17	28	30
2007	20	17	23	24
2008	17	17	20	23
2009	19	16		21
2010	30	16	21	23
2011	21	15	16	25
2012	5	13		12



*Figura 22: Variación de Opacidad de acuerdo a los modelos de vehículos a diesel. La opacidad no tiene relación alguna con el año/modelo de los vehículos. El color rojo representa los minibuses, el azul el transporte de carga y el negro los buses.*

#### **5.4 Análisis de las emisiones vehiculares de la prueba dinámica**

Se desarrollaron pruebas dinámicas para los vehículos que presentan los mayores aportes porcentuales del parque vehicular del DMQ, según los registros de la RTV (2012). Los automóviles a gasolina del año 2012 son los más numerosos, se registraron 33 729 que representan el 13 % del total de automóviles del parque vehicular presentado en la RTV. Para las pruebas dinámicas se utilizaron 2 automóviles: un Chevrolet Aveo 2013 y un Chevrolet Corsa 2004 que partir de este punto serán referidos como: Aveo 2013 y Corsa 2004 respectivamente. Según los registros de la AEADE (2012) los vehículos más vendidos son de marca Chevrolet (38.5 % de las ventas totales de la provincia de Pichincha).

##### **5.4.1 Velocidades medias de la ruta de conducción**

En el Quito se aplica la medida de movilidad llamada Pico y Placa que está vigente desde mayo del 2010. Uno de sus objetivos fue aumentar la velocidad media de circulación vehicular de la ciudad, sin embargo este beneficio desapareció luego de las primeras semanas (EMMOP, 2010). En el año 2008, la velocidad media fue de 26 km/h, para una

ruta de conducción similar a la usada en este proyecto (Salcedo & Urvina, 2008). La velocidad promedio de los tres circuitos en la ruta de conducción para el Corsa 2004 fue de 29.2km/h y para el Aveo 2013 la velocidad promedio fue 25.1 km/h. El Aveo 2013 no terminó la ruta debido a un sobrecalentamiento del equipo y solo se completó el primer circuito. La velocidad promedio varía debido al flujo vehicular en los días de la prueba. La distancia recorrida (Tabla 27 y 28) se determina por las secciones en las que el equipo almacena la información durante la ruta del recorrido. En la tabla 28 la distancia recorrida y la duración varían en el circuito 2 y 3 al estar incompletos. Si se compara la velocidad promedio de la zona urbana de Quito con la de Bogotá (28km/h) (Transporte, 2012) se observa que son parecidas ya que la ciudad de Bogotá tienen un flujo vehicular parecido al de Quito.

*Tabla 27: Resumen de la ruta de conducción para el Chevrolet Corsa 2004*

	Duración (s)	Velocidad Promedio (km/h)	Distancia Total (km)
Circuito 1	3586	28.83	24.2
Circuito 2	3559	29.24	23.5
Circuito 3	3490	29.48	24.3

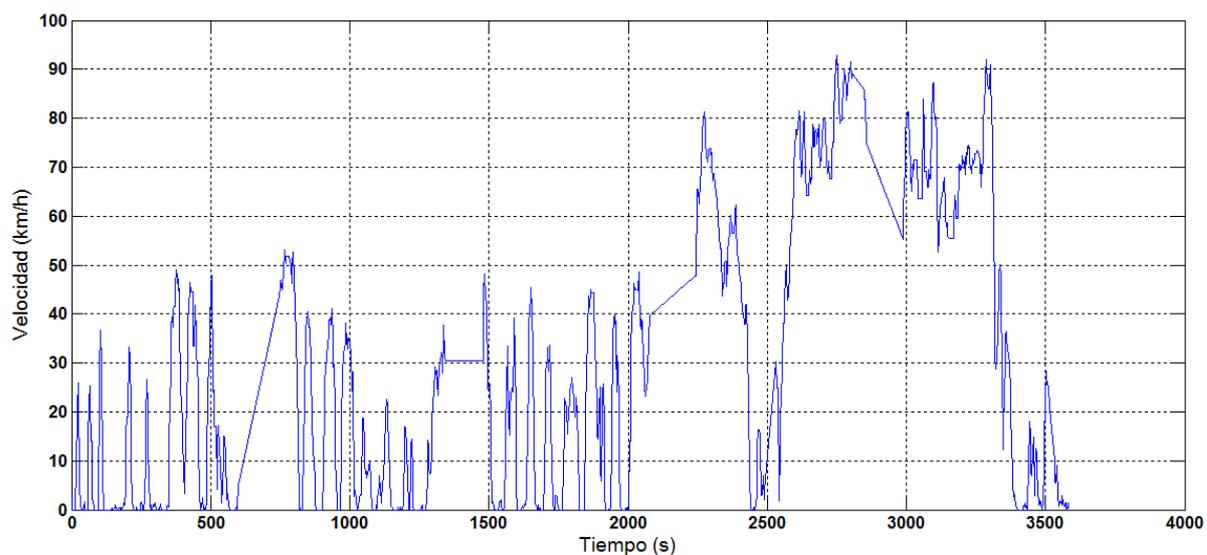
*Tabla 28: Resumen de la ruta de conducción para el Chevrolet Aveo 2013*

	Duración (s)	Velocidad Promedio (km/h)	Distancia Total (km)
Circuito 1	4350	25.15	25.7
Circuito 2	2670	20.14	10.8
Circuito 3	1344	15.09	5.4

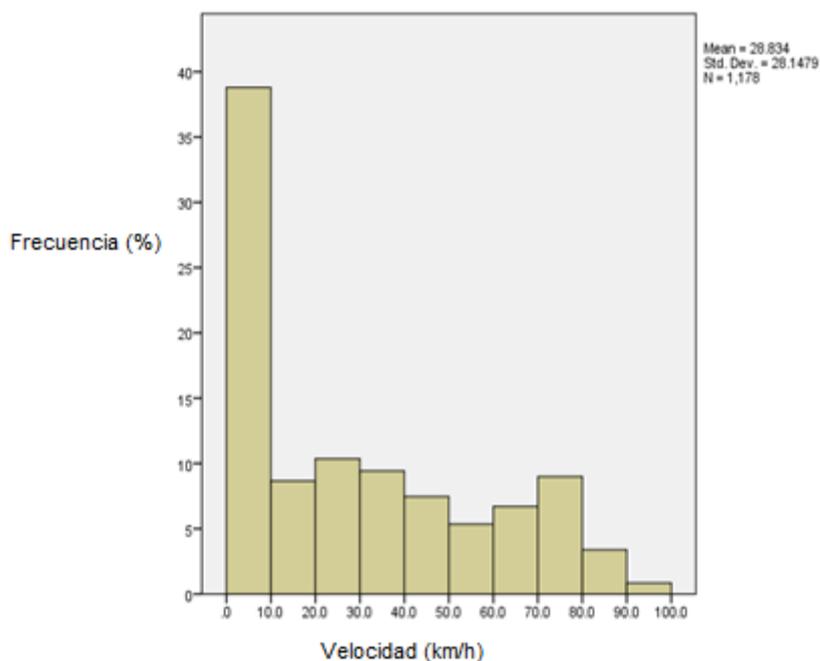
#### **5.4.2 Ruta de conducción recorrida: Chevrolet Corsa 2004**

La ruta completa se compone de 5 tramos. La Figura 23 presenta el recorrido del primer circuito. Es un circuito mixto que mezcla el área urbana y autopistas. La velocidad se mantuvo en el rango entre 0 y 95 km/h, sin embargo, el 40 % del tiempo, la velocidad estuvo entre 0-10 km/h (Figura 24) debido al tráfico y a la semaforización de la ciudad. En

general, en los tres circuitos del Corsa 2004 la tendencia se mantiene, la velocidad para la zona urbana va de 0 a 60 km/h y las máximas velocidades, entre 0 a 100 km/h, se alcanzan en las autopistas. Se realizaron tres vueltas consecutivas de la ruta para tener registro de la variación del flujo vehicular.



*Figura 23: Perfil de velocidades de la ruta de conducción utilizando un Chevrolet Corsa 2004: circuito 1*



*Figura 24: Histograma porcentual de las velocidades del primer circuito de la ruta con un Chevrolet Corsa 2004*

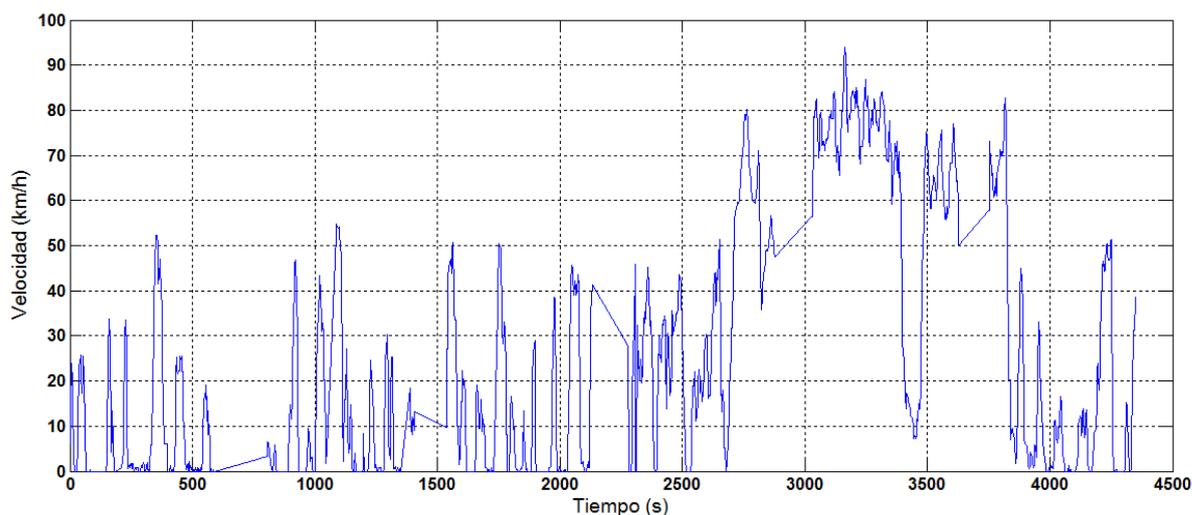
A partir de los perfiles de velocidad en función del tiempo, se presenta un resumen por circuitos y por tramos (Tabla 29) en los que se indica la velocidad promedio, distancia, rendimiento de combustible y factores de emisión. El factor de combustible es calculado con la ecuación 3 y los datos de distancia, velocidad promedio y rendimiento de combustibles son leídos en el analizador de gases y GPS. En los micro viajes del primer circuito, dentro de la zona urbana, la velocidad promedio máxima es 17.8 km/h, para el segundo circuito 19.6 km/h y para el tercer circuito 14.8 km/h. La distancia recorrida es corta debido al tráfico, especialmente en las avenidas principales por dónde va la ruta de conducción. El rendimiento de combustible para el Corsa 2004 según las especificaciones del vehículo es de 42 km/gal. En los circuitos se observa que el rendimiento del combustible aumenta en la zona urbana y baja en las autopistas.

*Tabla 29: Resumen de los micro viajes realizados durante la ruta de conducción en el primer circuito usando un Chevrolet Corsa 2004*

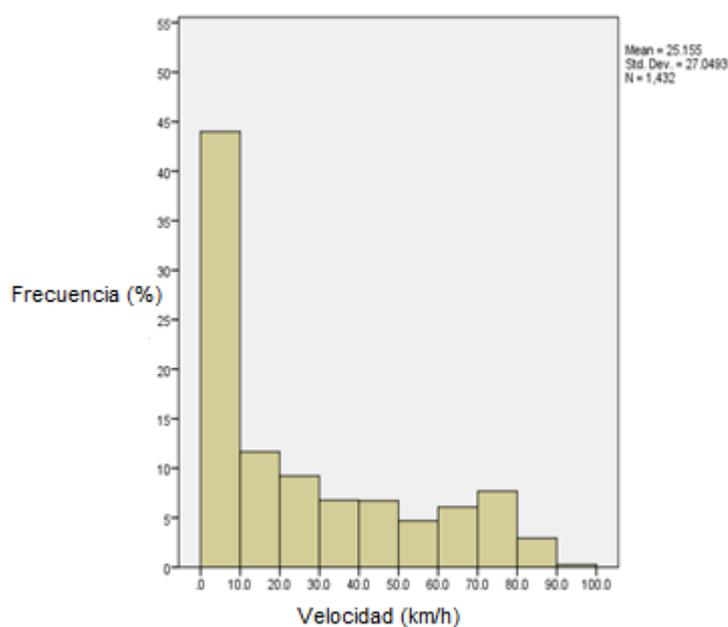
<b>Ruta</b>	<b>Velocidad Promedio (km/h)</b>	<b>Distancia Total (km)</b>	<b>Rendimiento de Combustible (km/gal)</b>	<b>Factor de emisión (g/km) (NO<sub>x</sub>)</b>	<b>Factor de emisión (g/km) (HC)</b>	<b>Factor de emisión (g/km) (CO)</b>
Secretaría del Ambiente- Av. Amazonas y Naciones Unidas	10.9	1.9	18.4	2.92	5.99	34.85
10 de Agosto y Naciones Unidas- 10 de Agosto y J. Carrión	16.3	2.3	19	0.48	1.89	26.62
El Ejido- La Marín	17.9	3	28.6	1.81	2.41	31.07
Autopista Gral. Rumiñahui-Simón Bolívar	57.8	9.7	48.4	0.57	0.51	11.12
Simón Bolívar- Av. Eloy Alfaro y Río Coca	44.9	7.3	21.3	1.86	1.13	18.97

### **5.4.3 Ruta de conducción: Chevrolet Aveo 2013**

El día que se realizó las pruebas con el Aveo 2013 el tráfico en la zona urbana de Quito fue mayor en relación al día de pruebas con el Corsa 2004. La Figura 25 presenta el perfil de velocidades detallado por tramos. Este día en específico hubo tráfico en la autopista Simón Bolívar debido a un accidente. La velocidad se redujo de 70 km/h a casi 0 km/h a los 3500 segundos de recorrido. La Figura 26 indica que el 45 % de la ruta la velocidad estuvo entre 0 a 10 km/h. En los siguientes dos circuitos el equipo se recalentó y no se grabaron las rutas completas.



*Figura 25: Perfil de velocidades de la ruta de conducción utilizando un Chevrolet Aveo 2013: circuito 1*



*Figura 26: Histograma porcentual de las velocidades del primer circuito de la ruta con un Chevrolet Aveo 2013*

Las Tablas 30, 31 y 32 se indican los resúmenes de la ruta recorrida por tramos. La primera columna indica los tramos y la segunda la velocidad media. La velocidad media es menor para la zona urbana y mayor para las autopistas. Si comparamos las velocidades

medias en la ciudad de los circuitos del primer vehículo (Corsa 2004) (13.67 km/h) con los del segundo vehículo (Aveo 2013) (12.91 km/h) se observa que las velocidades son coherentes en ambas pruebas para los tramos de ciudad.

*Tabla 30: Resumen de los micro viajes realizados durante la ruta de conducción en el primer circuito usando un Chevrolet Aveo 2013*

Ruta	Velocidad Promedio (km/h)	Distancia Total (km)	Rendimiento de Combustible (km/gal)	Factor de emisión (g/km) (NO <sub>x</sub> )	Factor de emisión (g/km) (HC)	Factor de emisión (g/km) (CO)
Secretaria del Ambiente- Av. Amazonas y Villalengua	8.8	1.4	11.9	0.71	0.19	11.72
Av. Amazonas y Naciones Unidas-10 de Agosto y Cuero y Caicedo	11	2.1	10.4	0.36	0.18	11.11
10 de Agosto y Cuero y Caicedo-El Ejido	12.6	2.2	9.7	0.52	0.06	3.91
Alameda-Autopista Gral. Rumiñahui y Simón Bolívar	33.1	5.8	21.9	0.74	0.07	0.70
Simón Bolívar-Simón Bolívar	65	10.9	39.4	0.28	0.07	1.42
Simón Bolívar- Río Coca y Shyris	19.3	3.3	29.1	0.19	0.00	0.01

*Tabla 31: Resumen de los micro viajes realizados durante la ruta de conducción en el segundo circuito usando un Chevrolet Aveo 2013*

Ruta	Velocidad Promedio (km/h)	Distancia Total (km)	Rendimiento de Combustible (km/gal)	Factor de emisión (g/km) (NO <sub>x</sub> )	Factor de emisión (g/km) (HC)	Factor de emisión (g/km) (CO)
Secretaria del Ambiente- Av. Amazonas y Naciones Unidas	9.2	1.6	12.6	0.04	0.57	2.49
10 de Agosto y Naciones Unidas- 10 de Agosto y Ramírez Dávalos	18.4	3.1	25.9	0.29	0.05	0.40
Falla del Equipo: 10 de Agosto y Ramírez Dávalos-La Marín						
La Marín- Simón Bolívar	36.5	6.1	62	0.43	0.09	0.79
Falla del Equipo: Simón Bolívar- Simón Bolívar						
Falla del Equipo: Simón Bolívar – Río Coca y Shyris						

*Tabla 32: Resumen de los micro viajes realizados durante la ruta de conducción en el tercer circuito usando un Chevrolet Aveo 2013*

<b>Ruta</b>	<b>Velocidad Promedio (km/h)</b>	<b>Distancia Total (km)</b>	<b>Rendimiento de Combustible (km/gal)</b>	<b>Factor de emisión (g/km) (NO<sub>x</sub>)</b>	<b>Factor de emisión (g/km) (HC)</b>	<b>Factor de emisión (g/km) (CO)</b>
Secretaria del Ambiente-Av. Amazonas y Naciones Unidas	10	1.8	24.5	0.06	0.32	3.33
10 de Agosto y República- El Ejido	20.5	3.6	22.1	0.03	0.03	0.13
Falla del Equipo: Alameda – Autopista Gral. Rumiñahui y Simón Bolívar						
Falla del Equipo: Simón Bolívar – Simón Bolívar						
Falla del Equipo: Simón Bolívar – Río Coca y Shyris						

La ficha técnica del Aveo 2013 indica que el rendimiento de combustible es alrededor de 58 km/gal. En el primer micro viaje el rendimiento se encuentra dentro de lo mencionado en la ficha técnica, sin embargo en los siguientes micro viajes, dentro de la zona urbana, el rendimiento es bajo. La reducción del rendimiento se explica por el tráfico vehicular, el cual implica aceleraciones y desaceleraciones bruscas, que promueven el consumo de combustible. En los siguientes circuitos se aprecia que el tráfico mejoró y el rendimiento de combustible aumentó.

Si comparamos el rendimiento de combustible y factores de emisión para los micro viajes, en los tres circuitos se observa que el Aveo 2013 consume menos combustible y las emisiones son menores. Estos resultados concuerdan con las emisiones por año de fabricación de los vehículos en las pruebas estáticas, en relación a mayores valores de los vehículos con más antigüedad. Es importante mencionar que a pesar de haber hecho las pruebas en días y horarios similares, el tráfico fue diferente.

### 5.5 Factores de emisión, tasas de consumo y factores del consumo de combustible

Las Tablas 33 y 34 indican los factores de emisión y el factor para el consumo de combustible del Corsa 2004 y el Aveo 2013 respectivamente. Si comparamos el primer circuito, los factores de emisión para el CO, HC y NO<sub>x</sub> difieren de uno a otro vehículo y las principales causas son: año del vehículo y el tamaño del motor. El sistema de consumo de gasolina en ambos vehículos es de inyección, el tamaño del motor del Aveo 2013 es de 1600 cm<sup>3</sup> y del Corsa 2004 es de 1800 cm<sup>3</sup> y poseen catalizadores de dos vías.

*Tabla 33: Factores de emisión y factor de consumo de combustible para el Chevrolet Corsa 2004*

Elemento	Unidad	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3
CO	g/km	23.74	48.56	87.07
HC	g/km	2.20	5.14	9.73
NO <sub>x</sub>	g/km	1.48	1.61	3.50
Combustible	g/km	278.91	584.51	747.80

*Tabla 34: Factores de emisión y factor de consumo de combustible para el Chevrolet Aveo 2013*

Elemento	Unidad	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3
CO	g/km	4.08	1.16	1.73
HC	g/km	0.09	0.22	0.18
NO <sub>x</sub>	g/km	0.46	0.26	0.18
Combustible	g/km	468.04	424.62	287.11

Para el inventario de emisiones del 2007 los factores de emisión con los que se realizaron los cálculos de los vehículos livianos a gasolina del año/modelo 2004 fueron los siguientes: 1.411 g/km de CO, 0.439 g/km de NO<sub>x</sub> y 0.256 g/km de HC. Estos factores son bajos para los factores obtenidos en la prueba dinámica el Corsa 2004.

La Tabla 35 y 36 presentan los factores de emisión por consumo de combustible, es decir los gramos emitidos del contaminante por kilogramo usado de combustible. En estas tablas existe la misma relación que vemos en los factores de emisión expresado en g/kg. El auto del 2004 genera emisiones más altas por kilogramo de combustible consumido.

*Tabla 35: Indicadores de la emisión de gases por kg de combustible para el Chevrolet Corsa 2004*

Elemento	Unidad	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3
CO	g/kg combustible	105.01	82.72	94.58
HC	g/kg combustible	8.88	7.96	9.44
NOx	g/kg combustible	13.26	4.33	5.88

*Tabla 36: Indicadores de la emisión de gases por kg de combustible para el Chevrolet Aveo 2013*

Elemento	Unidad	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3
CO	g/kg combustible	7.20	8.40	9.54
HC	g/kg combustible	0.34	3.23	0.90
NOx	g/kg combustible	2.93	4.69	0.19

La Tabla 37 y 38 indican el rendimiento de combustible en cada circuito. Para el Corsa 2004 el rendimiento es coherente en cada circuito, en el circuito 2 y 3 el rendimiento disminuye y una potencial explicación sería la variación del flujo vehicular. En la Tabla 38 si comparamos el primer circuito con el circuito 2 y 3 del Corsa 2004 vemos que a pesar de haber más tráfico el día de prueba el consumo de combustible es menor.

*Tabla 37: Rendimiento de combustible del Chevrolet Corsa 2004*

	Rendimiento combustible (km/gal)
Circuito 1	27.3
Circuito 2	16.8
Circuito 3	14.5

*Tabla 38: Rendimiento de combustible del Chevrolet Aveo 2013*

	Rendimiento de combustible (km/gal)
Circuito 1	18.1
Circuito 2	31.3
Circuito 3	23.7

La Tabla 39 indica las relaciones de los factores de emisión del Corsa 2004 con respecto al Aveo 2013. El Corsa 2004 emite 6 veces más CO, 26 veces más HC y 3.23 veces más NO<sub>x</sub> que el Aveo. En los circuitos 2 y 3 vemos una mayor diferencia entre ambos vehículos pero se debe a la información incompleta en los circuitos del Aveo 2013.

*Tabla 39: Relación de los factores de emisión del Chevrolet Corsa (2004) con respecto al Chevrolet Aveo (2013).*

Contaminante	Factor de emisión Corsa 2004 (A)			Factor de emisión Aveo 2013 (B)			A/B		
	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3
CO	23.74	48.56	87.07	4.08	1.16	1.73	5.82	41.86	50.33
HC	2.2	5.14	9.73	0.09	0.22	0.18	24.4	23.36	54.06
NO <sub>x</sub>	1.48	1.61	3.5	0.46	0.26	0.18	3.22	6.19	19.44

Se realiza un análisis gráfico de los factores de emisión y factores del consumo de combustible en función de la velocidad instantánea durante la ruta de conducción. La Figura 27 muestra los factores de emisión (g/km) del primer circuito del Corsa 2004 y del Aveo 2013. Se aprecia que los factores de HC, CO y el factor de consumo de combustible disminuyen a medida que la velocidad instantánea aumenta lo cual tiene similitud con un estudio realizado en Hong-Kong (H.Y Tong, 2000). Los factores de emisión del NO<sub>x</sub> tienen un comportamiento diferente y a partir de los 50 km/h empieza a elevarse y desciende a partir de los 85 km/h, esto se debe a las condiciones del tráfico y las aceleraciones y desaceleraciones bruscas del estilo de conducción, generando sensibilidad del NO<sub>x</sub> a la velocidad instantánea en los circuitos.

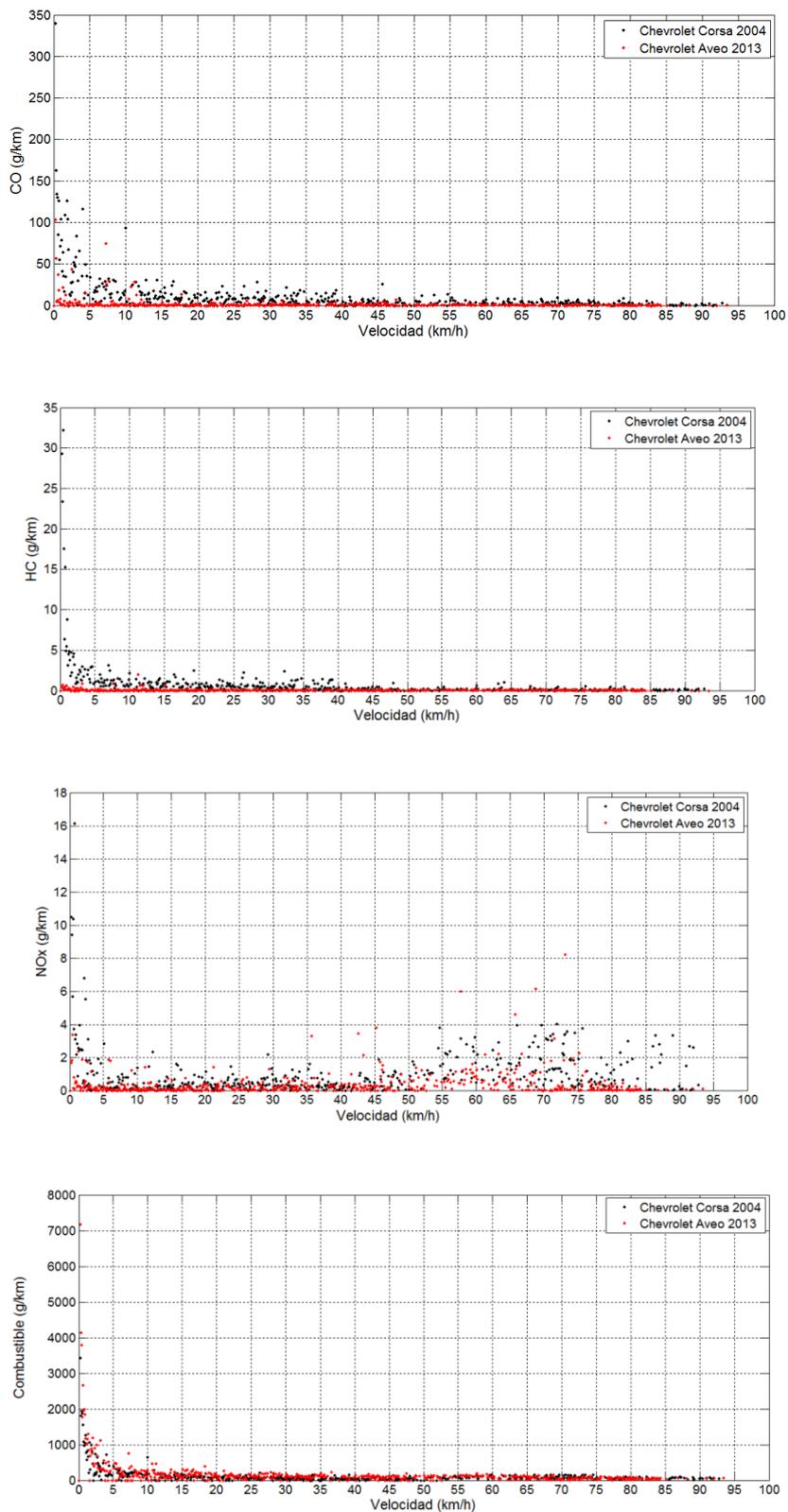


Figura 27: Factores de emisión vs velocidad del Corsa 2004 para el primer circuito y del Aveo 2013 para el primer circuito.

La Figura 28 muestra la relación de la velocidad instantánea y los índices de emisión en g/kg de combustible para el Corsa 2004 y el Aveo 2013. A diferencia del factor de emisión, estos índices son menos sensitivos a la velocidad instantánea y no se aprecia alguna tendencia a medida que la velocidad aumenta. Este fenómeno se explica fácilmente ya que este índice refleja la eficiencia del combustible y no depende directamente de la variación de velocidades, está ligado a las características del vehículo, las condiciones de operación y el tipo de combustible (H.Y Tong, 2000).

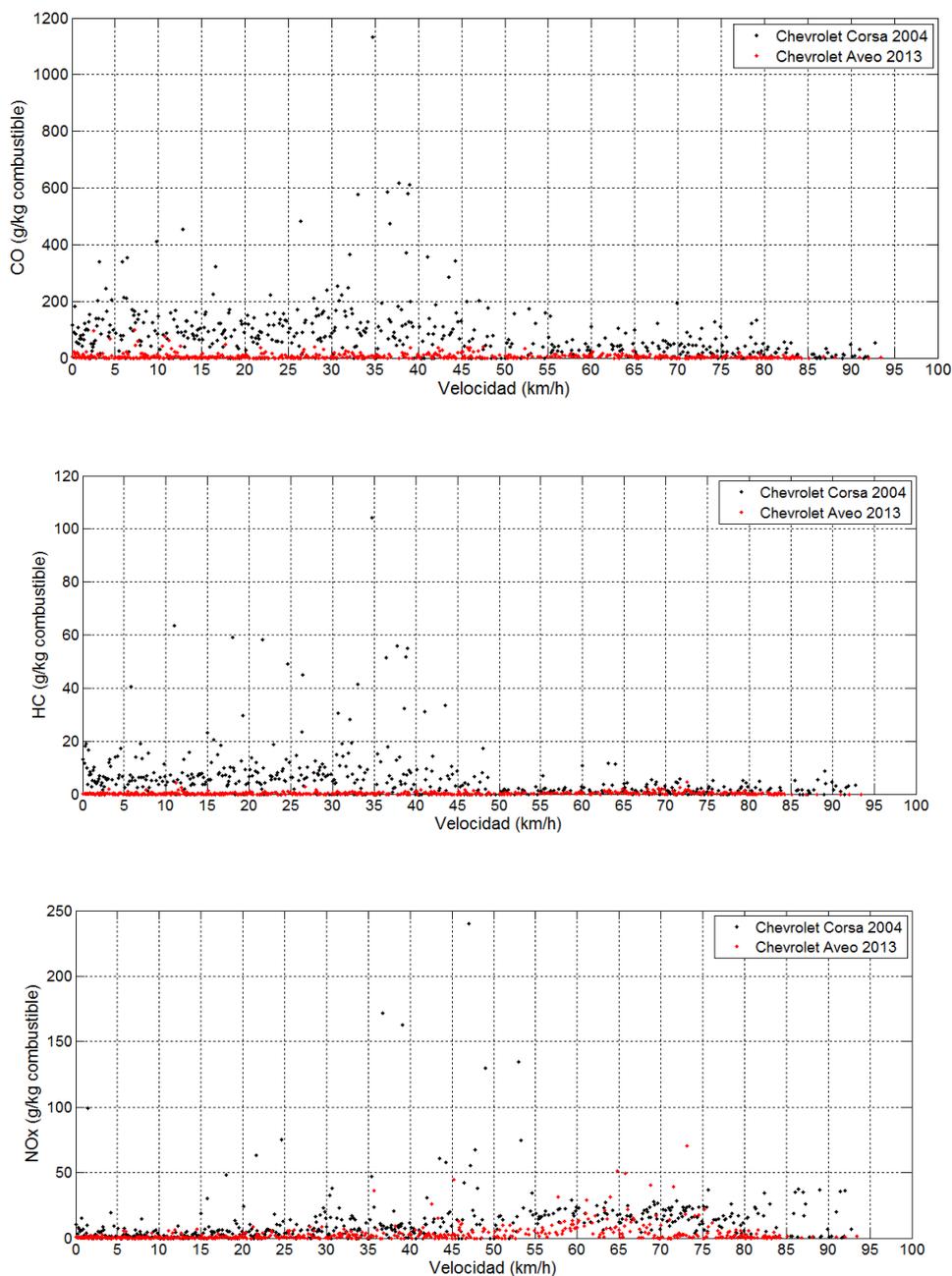


Figura 28: índices de emisión y consumo de gasolina vs velocidad para el Corsa 2004 primer circuito y para el Aveo 2013 primer circuito

### 5.6 Cálculo de factores de emisión teóricos

Las gráficas de los factores de emisión en función de la velocidad muestran una curva generalizada. Es posible caracterizar estas gráficas para proponer los factores de emisión como una función de la velocidad. Para esto se realizó una serie de ejercicios de

correlación utilizando diferentes funciones, a fin de conseguir una curva que mejor se ajuste a los datos. Un reporte de factores de emisiones presentado en el Reino Unido realiza un estudio similar donde se obtiene que la curva que mejor se ajusta a los datos es una función polinómica de 6to grado (Boulter PG, Barlow TJ, McCrae IS, 2009). Como conclusión de este estudio se generalizó la curva de funciones polinómicas para calcular el factor de emisión en función de la velocidad. Se toma la función que tenga un  $R^2 = 0.99$  o caso contrario hasta llegar a la función de 6to grado.

En las guías para los inventarios de emisiones de la Agencia Europea Ambiental (EEA), en la sección de emisiones generadas por el transporte, se realiza un análisis para obtener los factores de emisión teóricos, siguiendo una serie de pasos que incluyen clasificación de los vehículos de acuerdo a los avances tecnológicos y según la legislación. Se mencionan tres métodos para el cálculo de los factores de emisión que son elegidos de acuerdo a la disponibilidad de datos. El primer y segundo método se utilizan para la estimación de los factores de emisión cuando no se tiene información propia del lugar. El tercer método es un análisis completo de las emisiones, que toma en cuenta la información de pruebas en ruta con diferentes clases de vehículos. Se establecen ecuaciones para calcular los factores de emisión de acuerdo a la categoría de los vehículos en función de la velocidad (Ntziachristos & Samaras, 2013).

En el presente estudio se realizará un análisis similar, siguiendo el método del informe del Reino Unido y de la EEA. Para los casos analizados, se tomaron en cuenta tres condiciones: que el  $R^2$  sea el más alto, que no haya discontinuidad en el trazo y que la curva sea suave.

En primera instancia se combinó la información de los tres circuitos realizados con los vehículos de prueba y se obtuvo las curvas de los factores de emisión en función de la velocidad para adoptar la función que mejor se ajuste a la curva. Los resultados obtenidos para cada caso fueron los siguientes.

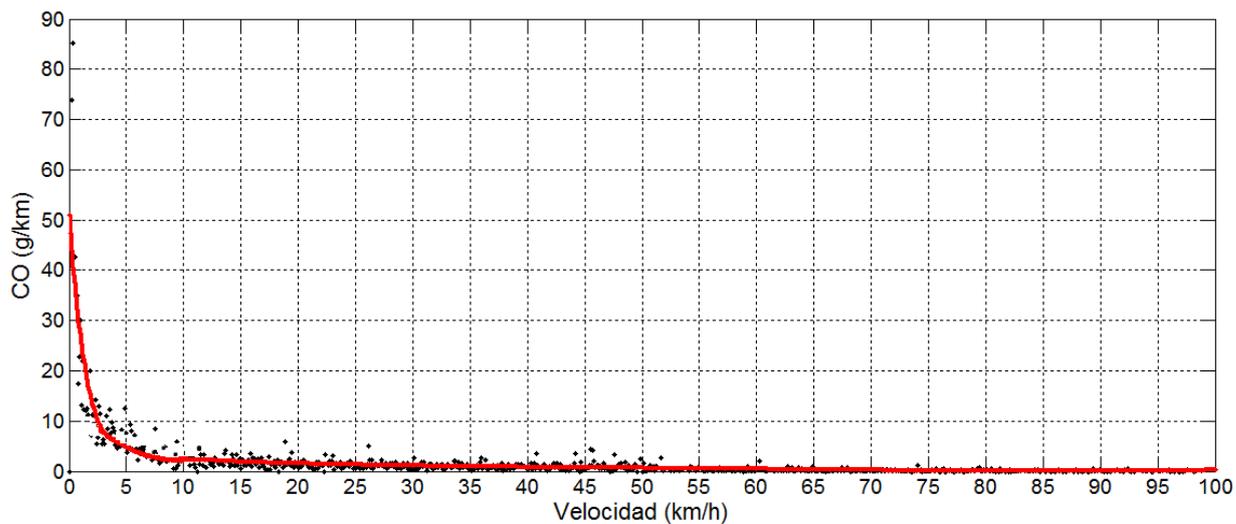
En el Corsa 2004, la curva que modela el CO abarca tres funciones: para las velocidades de 0 a 4 km/h la función polinómica de 4to grado, para las velocidades de 4 a 8 km/h la mejor función es una polinómica de 2do grado y para las velocidades de 8 hasta 100 km/h la función polinómica de 4to grado es la que mejor se ajusta a los datos (Tabla 40) (Figura 29). La curva que mejor se ajusta a los datos para el cálculo de los factores de emisión de los HC abarca dos funciones de 4to grado la primera para la velocidades de 0 a 10 km/h y la segunda para las velocidades de 10 a 100 km/h (Tabla 40) (Figura 30). El NO<sub>x</sub> como se mencionó anteriormente es sensible a los cambios de velocidades, y las curvas que mejor se ajustan a los datos experimentales son tres: para velocidades de 0 a 5 km/h una función polinómica de 3er grado, de 5 a 8 km/h una función polinómica de 2do grado y para velocidades de 8 a 100 km/h una función lineal (Tabla 40) (Figura 31).

$$y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$$

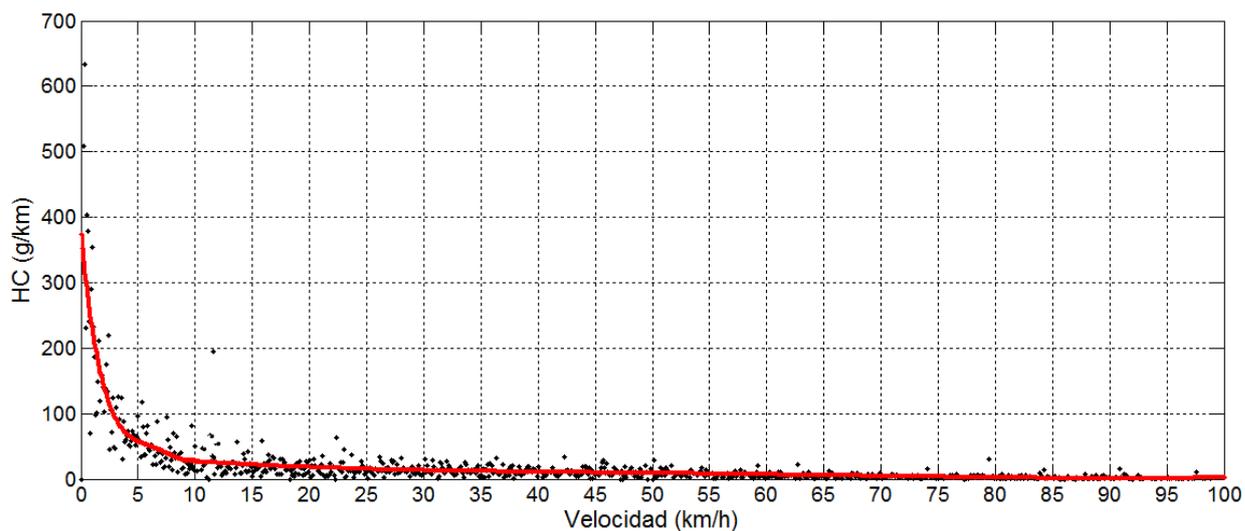
Ecuación 4

*Tabla 40: Coeficientes para el vehículo Chevrolet Corsa 2004 para el cálculo de los factores de emisión en diferentes rangos de velocidades para el CO, HC y NO<sub>x</sub>*

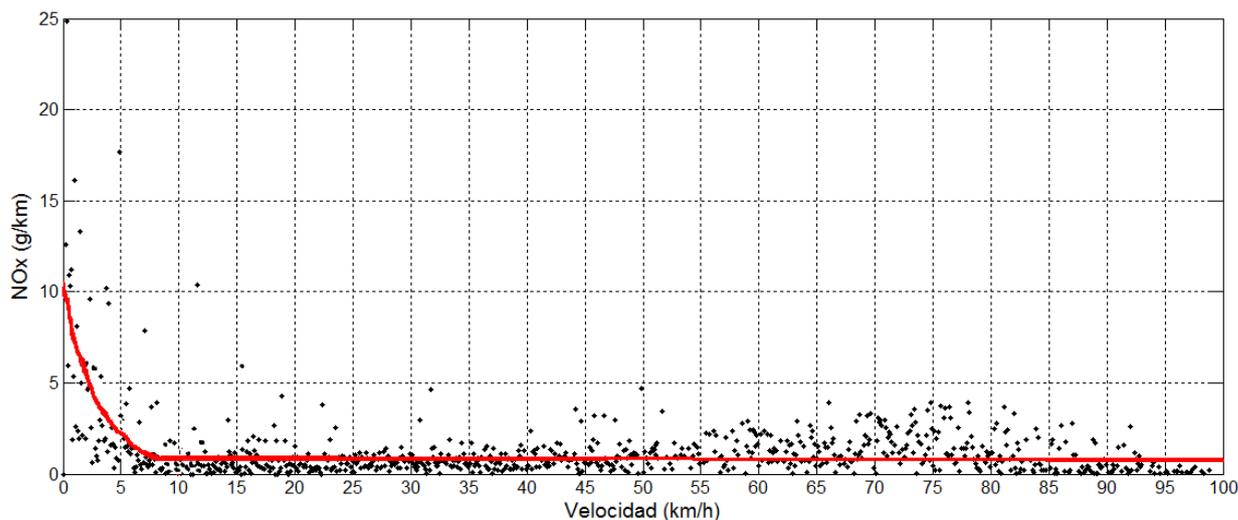
Chevrolet Corsa 2004	a	b	c	d	E	R <sup>2</sup>
CO (de 0 a 4 km/h)	0.045	-1.088	9.325	-33.98	50.94	0.6
CO (de 4 a 8 km/h)			0.089	-2.023	13.75	0.36
CO (de 8 a 100 km/h)	2.369e-07	-5.454e-05	4.62e-03	-0.190	3.929	0.44
HC ( de 0 a 10 km/h)	0.142	-3.889	39.21	-179.8	373.7	0.59
HC (de 10 a 100 km/h)	2.548e-06	-6e-04	0.051	-2.057	43.33	0.32
NO <sub>x</sub> ( de 0 a 5 km/h)		-0.03	0.51	-3.56	10.56	0.33
NO <sub>x</sub> ( de 5 a 8 km/h)			0.11	-1.94	9.18	0.32
NO <sub>x</sub> (de 8 a 100km/h)				4.54e-03	0.75	0.014



*Figura 29: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Corsa 2004 para el cálculo del factor de emisión del CO (g/km)*



*Figura 30: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Corsa 2004 para el cálculo del factor de emisión del HC (g/km)*



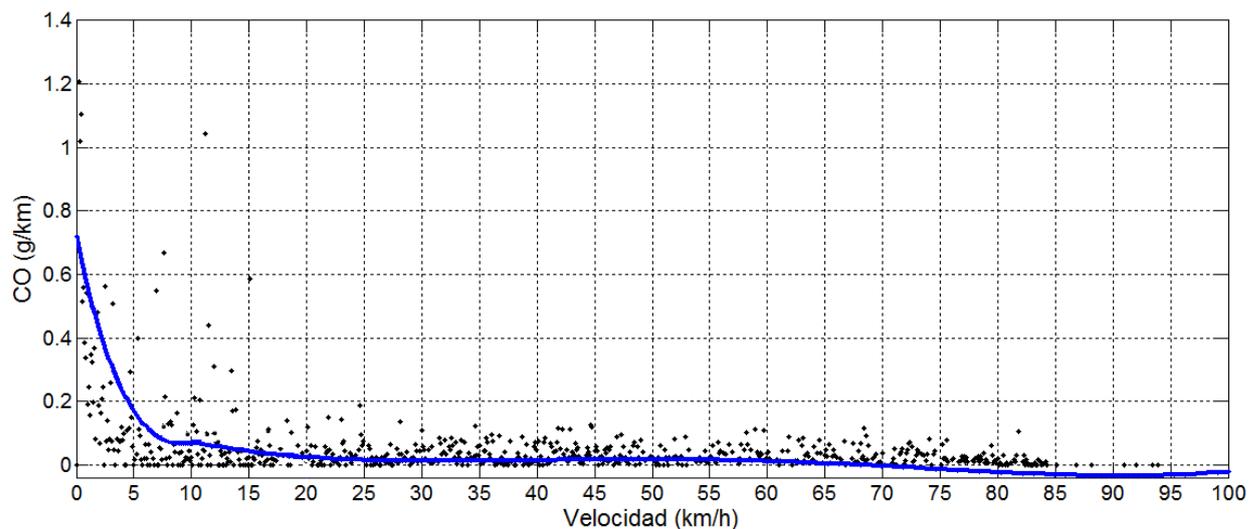
*Figura 31: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Corsa 2004 para el cálculo del factor de emisión del  $\text{NO}_x$  (g/km)*

Para el Aveo 2013 de igual manera se busca la curva que mejor se ajuste a los datos buscando las mejores combinaciones. Las funciones que mejor se ajustan para el CO y HC, es una polinómica de 3er grado para velocidades de 0 a 10 km/h y una polinómica de 4to grado para velocidades de 10 a 100 km/h (Tabla 41). Para el  $\text{NO}_x$  las funciones que mejor se ajustan a los datos son de 3er grado (Tabla 41). Las Figuras 32, 33 y 34 indican cómo se modelan los puntos de manera que las curvas queden lo más suave posibles.

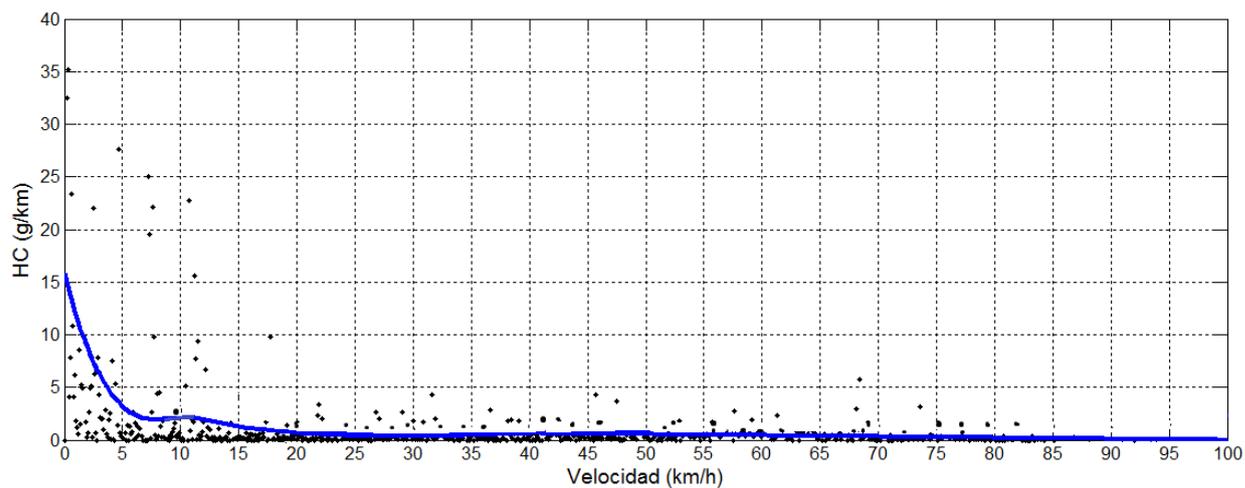
Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) en las Tabla 40 y 41 no llegan a 0.99, sin embargo es el  $R^2$  más alto obtenido de acuerdo al modelo.

*Tabla 41: Coeficientes para el vehículo Chevrolet Aveo 2013 para el cálculo de los factores de emisión en diferentes rangos de velocidades para el CO, HC y  $\text{NO}_x$*

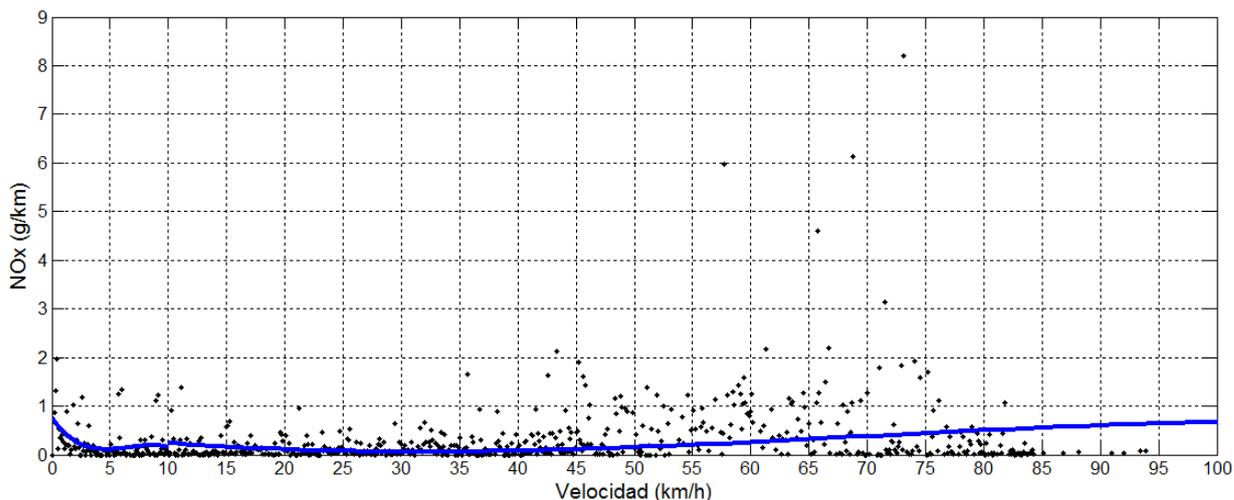
Chevrolet Corsa 2004	a	b	c	d	e	$R^2$
CO (de 0 a 10 km/h)		-3.335e-3	0.061	-0.352	0.72	0.439
CO (de 10 a 100 km/h)	3.185e-08	-7.468e-06	6.016e-04	-0.02	0.247	0.075
HC ( de 0 a 10 km/h)		-0.101	1.701	-8.667	15.85	0.168
HC (de 10 a 100 km/h)	9.993e-07	-2.273e-04	0.018	-0.567	6.492	0.082
$\text{NO}_x$ ( de 0 a 10 km/h)		-2.738e-3	0.055	-0.337	0.763	0.135
$\text{NO}_x$ (de 10 a 100km/h)		-1.678e-05	2.178e-03	-0.072	0.77	0.114



*Figura 32: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Aveo 2013 para el cálculo del factor de emisión del CO (g/km)*



*Figura 33: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Aveo 2013 para el cálculo del factor de emisión del HC (g/km)*



*Figura 34: Representación gráfica de la curva que mejor se ajusta a los puntos experimentales del vehículo Chevrolet Aveo 2013 para el cálculo del factor de emisión del NO<sub>x</sub> (g/km)*

Se graficaron las ecuaciones desarrolladas por la EEA para el cálculo de los factores de emisión para el CO, HC y NO<sub>x</sub> de todas las clasificaciones de los vehículos europeos. Se compararon las curvas de este reporte con las curvas experimentales obtenidas con el Corsa 2004 y el Aveo 2013.

Las Figuras 35, 36 y 37 indican las curvas para los factores de emisión europeos y con línea más gruesa las curvas del Corsa 2004 y Aveo 2013. Las curvas de la EEA están adecuadas para trabajar en rangos de velocidades de 10 a 130 km/h, sin embargo algunas no son continuas. Las curvas del Corsa 2004 y Aveo 2013 se han modelado desde la velocidad 0 km/h hasta los 100 km/h. En general se observa que para el CO (Figura 36) los factores de emisión de los vehículos de prueba se encuentran en el rango de las clases identificadas en la EEA y siguen la misma tendencia. La tendencia para el HC (Figura 37) de los vehículos de prueba sigue el mismo comportamiento que las curvas de la EEA, sin embargo los factores de emisión del Corsa 2004 son altos y son mayores en comparación a rangos europeos. El NO<sub>x</sub> tiene un comportamiento diferente en función de la velocidad y los factores de emisión aumentan a partir de los 50 km/h en las pruebas dinámicas

realizadas en los vehículos Corsa 2004 y Aveo 2013 y a partir de la velocidad 85 km/h disminuyen y se mantienen hasta 100 km/h. En las curvas de tendencia de los factores de la EEA los factores de emisión aumentan a medida que aumenta la velocidad. Los rangos de los factores de emisión de los vehículos de prueba se encuentran dentro de los calculados para las diferentes clases de vehículos europeos.

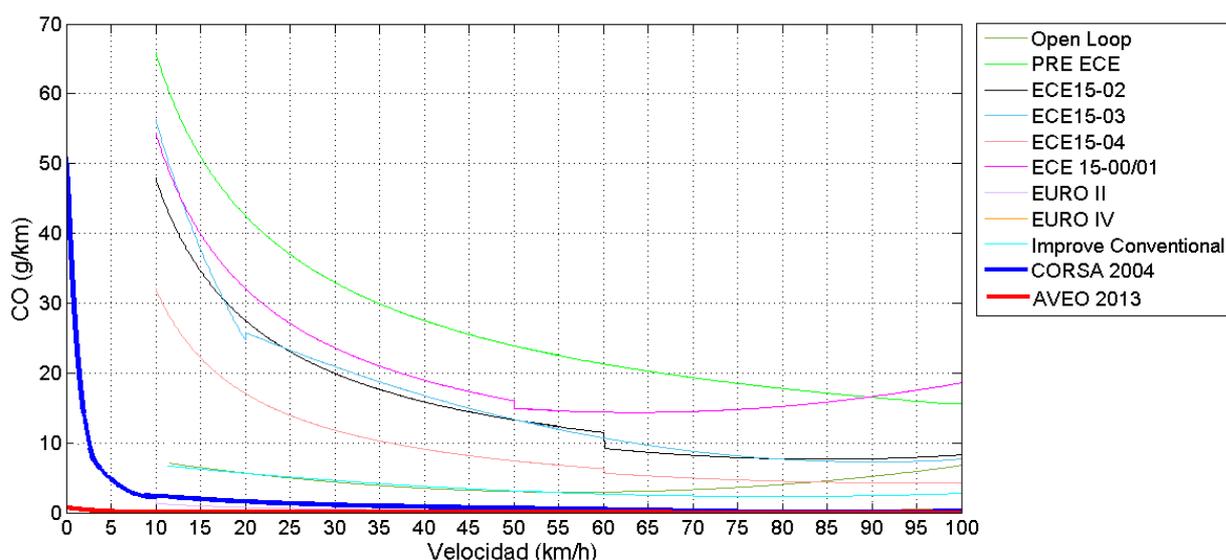


Figura 35: Resultado de los factores de emisión europeos en comparación con el Corsa 2004 y Aveo 2013 para el CO

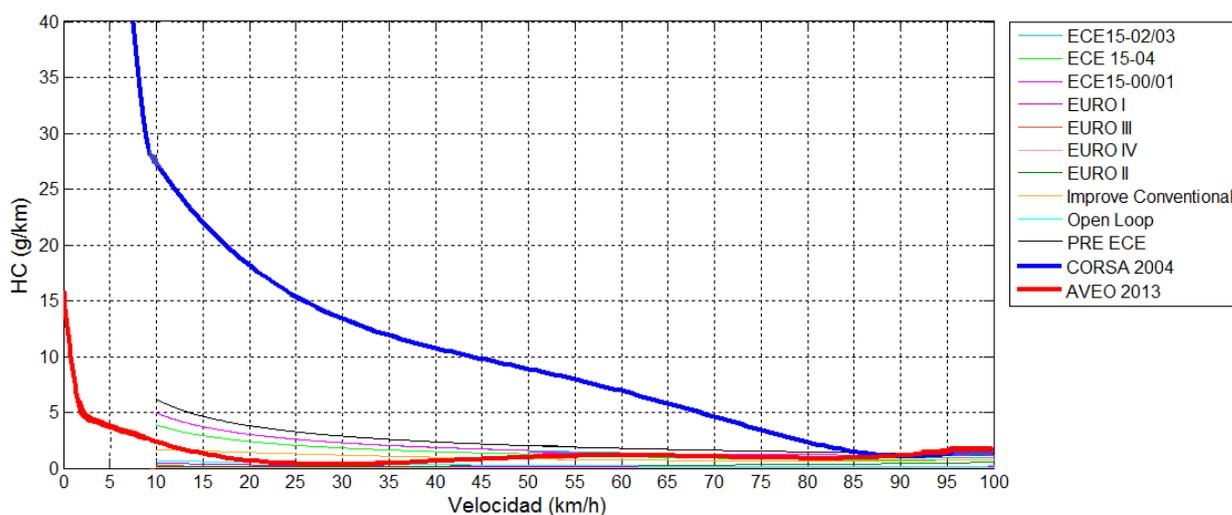


Figura 36: Resultado de los factores de emisión europeos en comparación con el Corsa 2004 y Aveo 2013 para los HC

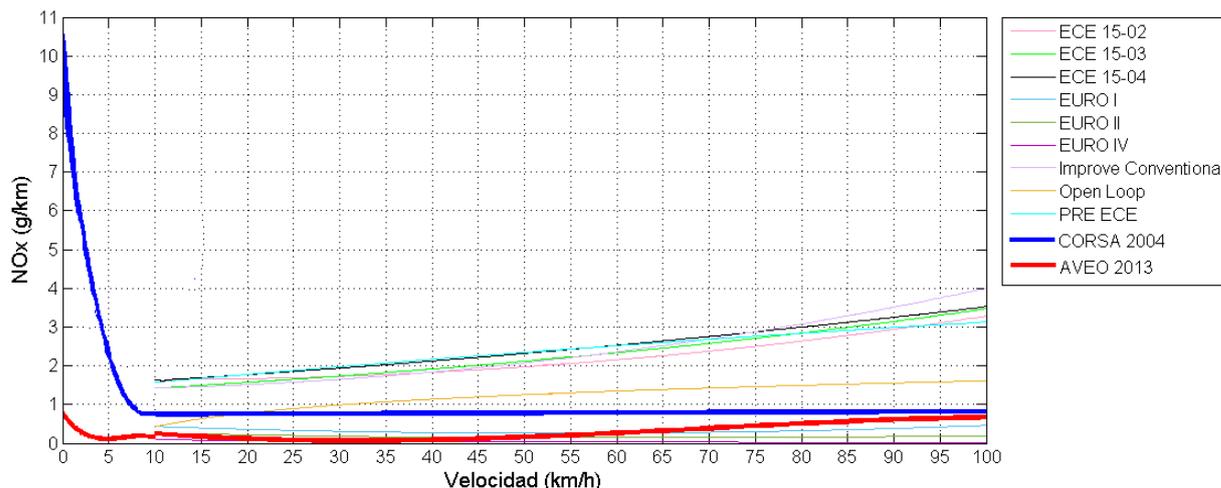


Figura 37: Resultado de los factores de emisión europeos en comparación con el Corsa 2004 y Aveo 2013 para el  $NO_x$

## 6 Conclusiones

- En el DMQ el total de vehículos que se presentaron a la RTV durante el año 2012 fue de 390 326, de los cuales el 95.5% son vehículos a gasolina y el 4.5 % a diesel, información que debe ser tomada en la actualización de los inventarios de emisiones del tráfico vehicular.
- Los mayores porcentajes de vehículos a gasolina comprenden los años 2005 hasta el 2012, siendo el año 2011 el que presenta el porcentaje más alto (14.01 %). En los vehículos a diesel los mayores porcentajes se encuentran desde el 2002 hasta el 2009. El año 2008 representa el mayor porcentaje (13.81 %). Los porcentajes más altos para las motos van desde el año 2007 hasta el 2012.
- En el análisis de comparaciones por año/modelo se aprecia que los vehículos a gasolina más antiguos contaminan más que los modernos. Tomando como base a los vehículos del 2012, los automóviles del año 1991 emiten 19.18 veces más HC en ralentí, 43.42 veces más CO en ralentí, 8.9

veces más HC a 2500 rpm y 41 veces más CO a 2500 rpm. En el caso de los vehículos a diesel no se pudo llegar a una clara conclusión ya que la opacidad no está directamente relacionada con las emisiones de material particulado. En el caso de las motos es necesario realizar una mejor clasificación en cuanto al motor ya que existen modelos de 2T y 4T y esto afecta las emisiones.

- En base a los informes anuales de la AEADE desde el año 2008 hasta el año 2012 se llegó a la conclusión de que el vehículo liviano a gasolina más utilizado en la provincia de Pichincha es marca Chevrolet modelo Aveo.
- La velocidad media calculada para la ciudad de Quito en base a pruebas dinámicas en una ruta mixta que involucra la zona urbana y autopistas es 28.2 km/h.
- En la ruta mixta recorrida con un Chevrolet Corsa del 2004 y un Chevrolet Aveo del 2013 se identificó que más del 40 % del tiempo la velocidad de los vehículos se encuentran entre 0-10 km/h.
- Para determinar de manera correcta los factores de emisión y consumo de combustible de los diferentes vehículos es necesario tomar en cuenta aspectos importantes como son año/modelo, kilómetros recorrido, tamaño del motor, tipo de gasolina, sistema de consumo de gasolina, sistema de control de emisiones, comportamiento del chofer al conducir y flujo vehicular.
- Los factores de emisión promedio en base a los circuitos en ruta para los dos vehículos fueron los siguientes: Corsa 2004 53.12 g/km de CO, 5.69 g/km de HC y 2.2 g/km de NO<sub>x</sub> y para el Aveo 2013 2.32 g/km de CO, 0.16 g/km de HC, y 0.30 g/km de NO<sub>x</sub>

- La velocidad instantánea de los vehículos analizados tienen un mayor impacto en los factores de emisión y consumo de combustible pero menos en los índices de emisión g/kg de combustible.
- Las curvas de tendencia generadas a partir de las pruebas dinámicas en los vehículos de prueba tienen el mismo comportamiento para el CO y el HC y en la mayoría de casos se encuentran dentro de los rangos establecidos por la EEA para los factores de emisión de las clasificaciones europeas. El NO<sub>x</sub> tiene un comportamiento experimental diferente a las curvas de la EEA, sin embargo los factores se encuentran dentro del rango.
- Las funciones que mejor se ajustan a las curva son funciones mixtas que se eligen tomando en cuenta el R<sup>2</sup>, la continuidad de la función y la suavidad de la curva.

## 7 Recomendaciones

- Durante el análisis de las pruebas estáticas de la base de datos de la RTV se encontraron muchos vehículos a gasolina a los cuales se les medía opacidad y vehículos a diesel a los cuales se le medía CO y HC; se recomienda realizar una mejor gestión en cuanto a la clasificación por uso de combustible en la base de datos de la RTV.
- Los umbrales que se encuentran en el instructivo de la Revisión Técnica Vehicular 2013 deberían ser modificados de acuerdo a los requerimientos y medidas propias de los vehículos que acuden a las pruebas estáticas en los diferentes centros.
- Los umbrales presentados para las motos en el DMQ no especifican el modelo de motocicleta, por lo que los límites son los mismos sin importar

año de fabricación ni tipo de motor, en esta sección se debería realizar una mejor clasificación tomando en cuenta el tipo de motor y el cilindraje.

- El método de medición de PM en la RTV es la opacidad y estas pruebas no son las más recomendables. Lo mejor es utilizar un análisis gravimétrico.
- El  $\text{NO}_x$  y  $\text{PM}_{2.5}$  son contaminantes que no se miden en la RTV y tienen un gran aporte a las emisiones vehiculares totales.
- Se recomienda mejorar la estadística para cada rango de velocidades en el cálculo de los factores de emisión teórico y buscar otra escala u otro ajuste para que mejoren los  $R^2$ .

## 8 Propuestas de continuidad

- Para el cálculo de los factores de emisión es necesario realizar una clasificación muy detallada de los vehículos livianos y pesados con las diferentes sub-clasificaciones, tipo de combustible, tamaño de motor y peso del vehículo.
- Usar la Información de esta tesis para la actualización del inventario de emisiones del tráfico vehicular del DMQ.
- Aplicar el método indicado en esta tesis para deducir funciones de los factores de emisiones en base de la velocidad.
- En este proyecto se utilizó un Chevrolet Aveo y un Chevrolet Corsa, pero sin duda el estudio debe ampliarse escogiendo una muestra más amplia de vehículos y seguir con los menos comunes. En base a la estadística de la AEADE (2012) el siguiente modelo más vendido en Pichincha es el Chevrolet Spark.

## Bibliografía

AEADE. (2011). *Anuario 2011*. Quito: AEADE.

AEADE. (2012). *Anuario 2012*. Quito: AEADE.

Bawer, H. (2003). *Técnica de los gases de escape para motor a gasolina*. Alemania: Bosh.

Booth, E. (2001). *The measurement of vehicular driving cycle within the city of Edinburgh*. Edinburgo: Elsevier.

Boulter PG, Barlow TJ, McCrae IS. (2009). *Emission factors 2009: Report 3- exhausts emission factors road vehicles in the United Kingdom*. United Kingdom: TRL.

CCOHS. (13 de febrero de 2013). *health, Canadian center for occupational*. Obtenido de [http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem\\_profiles/sulfurdi.html](http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/sulfurdi.html)

Concejo del Distrito Metropolitano de Quito. (5 de Abril de 2007). Ordenanza metropolitana 213. Quito, Pichincha, Ecuador.

CORPAIRE. (2009). *Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: CORPAIRE.

De Nevers, N. (1998). *Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire*. México: MacGrawHill.

Desantes, F. P. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Valencia: Reverté.

Ecodes. (2010). La causa de la contaminación atmosférica y los contaminantes atmosféricos más importantes. *Calidad del aire y salud* .

EMMOP. (2010). *Informe de Movilidad* . Quito: Empresa Publica Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas.

EP Petroecuador. (2 de abril de 2012). Combustibles de mejor calidad y menos contaminantes para el país. Quito, Pichincha, Ecuador: Imagen Empresarial EP Petroecuador.

EPA. (2005). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*. Estados Unidos: Environmental Protection Agency.

EPA. (11 de agosto de 2012). *Environmental Protection Agency*. Recuperado el 21 de noviembre de 2014, de <http://www.epa.gov/iaq/voc2.html>

EPA. (5 de octubre de 2012). *Nitrogen dioxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/air/nitrogenoxides/>

EPA. (2009). *Risk and exposure assessment to support the review of the SO2 Primary national Ambient air quality standard*. USA.

EPA. (2003). *User's Guide to MOBILE 6.1 and MOBILE 6.2 Mobile Source Emission Factor Model*. Estados Unidos: EPA.

Fotouhi, A. (2012). Tehran driving cycle development using the k-means clustering method. *Scientia Iranica* , 283-293.

- Foundation, E. L. (27 de noviembre de 2013). *Tipos y fuentes de contaminación del aire*. Obtenido de <http://www.es.european-lung-foundation.org/17442-tipos-y-fuentes-de-contaminacion-del-aire.htm>
- Fu, L. (2011). *Assessment of vehicular pollution in China*. Beijing: journal of the air and waste management association.
- Godish, T. (1991). *Air Quality*. Chelsea: Lewis Publishers.
- H.Y Tong, W. H. (2000). On-Road Motor Vehicle Emissions and Fuel Consumption in Urban Driving Conditions. *Journal of Air and Waste Management Association* , 543-554.
- INECC. (2005). *Guía de elaboración y uso de inventarios de emisiones*. Mexico DF: SEMARNAT.
- INEN. (2002). *Gestión Ambiental Aire, Vehículos Automotores límites permitidos de emisiones producidos por fuentes móviles terrestres de gasolina* . Quito, Ecuador.
- IPCC. (2001). *La Cuantificación de las Incertidumbres en la Práctica*. UK: GES.
- Kent, J. (1978). *A driving cycle for Sydney*. Sydney: Elsevier.
- Liu, G., & Vasys, V. (2009). Comparison of Strategies for the Measurement of Mass Emissions from Diesel Engines Emitting Ultra-Low Levels of Particulate Matter. *Aerosol Science Technology* , 1142-1152.
- Loyd, A. C. (2001). Diesel Engines: Environmental Impact and Control. *Journal of Air and Waste Management Association* , 809-847.
- Masami Kojima, C. B. (2000). *Improving Urban Air Quality in South Asia by Reducing Emissions from Two-Stroke Engine Vehicles*. Washington DC: World Bank.
- Molina. (2011). *Plan de acción para combustibles y vehículos mas limpios en Paraguay*. Chile: OMS.
- Molina, M. A. (2006). *Desarrollo de un método para determinar los factores de emisión para vehículos livianos a gasolina*. Quito: Universidad Nacional Politécnica.
- Nigel, N. (1999). Field Measurements of Particle Matter Emissions, Carbon Monoxide and Exhaust Opacity from Heavy-Duty Diesel vehicles. *Journal of the Air and Waste Management Association* , 76-84.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2013). *Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles*. Dinamarca: EEA.
- OMS. (2006). *Guía de la Calidad de Aire relativas al material particulado, ozono dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (1999). *Urban transport and health*.
- Osses, M. (2005). *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por transporte urbano: el caso de Santiago de Chile*. Chile: Universidad de Chile.

- Portilla, A. (2012). *Estudio Económico y Ambiental de la Tecnología Automotriz para el control de Emisiones Vehiculares*. Quito: Centro de Transferencia Tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares.
- Raub, J. (2000). *Carbon monoxide poisoning*. USA: Elsevier.
- Romieu et al. (2010). Tendencias de la Contaminación atmosférica en las Américas: impactos y políticas.
- Salcedo, J., & Urvina, V. (2008). *Determinación de los factores reales de emisión de los motores ciclo otto en la ciudad de Quito*. Quito: Universidad Politécnica.
- Sawyer, R. (2000). *Mobile sources critical review 1998 NARSTO assesment*. Elsevier.
- Secretaría de Ambiente. (2012). *Informe de Calidad del Aire*. Quito: Secretaría de Ambiente.
- Secretaría de la movilidad. (2013). *Instructivo de revisión técnica vehicular 2013*. Quito.
- Semarnat. (15 de noviembre de 2007). *Instituto Nacional de Ecología*. Obtenido de Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/396/tipos.html>
- SMA. (2005). *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2000*. México DF: Secretaría del Medio Ambiente.
- Smith, J. M. (2007). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Tong. (2011). On-Road motor vehicle emissions and fuel consumption in urban driving conditions. *Journal of the air and management association*, 543-554.
- Transporte, S. d. (2012). *Velocidad y Tiempo de recorrido*. Bogotá, Colombia: Secretaría Hacienda.
- Unidad de investigación y desarrollo tecnológico de Petroecuador. (2002). *Calidad del aire de la ciudad de Quito*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Viegi. (1998). Human health effects of air pollution from mobile sources in Europe. *State of the art*, 947-967.
- Viteri, R. (Diciembre de 2012). Estimación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de la vegetación del Ecuador durante el año 2010. Quito: USFQ.
- Wagner, T. (1993). *Contaminación causas y efectos*. México DF: Gernika.
- Wark, K. (2003). *Air Pollution its origin and control*. Berkley: Addison Wesley Longman.

