



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“APLICACIÓN DEL SOFTWARE IVE PARA LA ESTIMACIÓN
INDIRECTA DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES
MÓVILES CON MOTOR DE CICLO OTTO Y COMPARACIÓN DE
RESULTADOS CON MEDICIÓN DIRECTA EN RUTA EN EL
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

FAJARDO GAVIDIA GEOMARA NATHALY

geomara.fajardo@epn.edu.ec

RODRIGUEZ CHICAIZA CRISTINA NOHEMÍ

cristina.rodriguez@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. PORTILLA AGUILAR ÁNGEL ADALBERTO, M.Sc.

angel.portilla@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por las señoritas **GEOMARA NATHALY FAJARDO GAVIDIA** y **CRISTINA NOHEMÍ RODRIGUEZ CHICAIZA**, bajo mi supervisión.

M.Sc. Ángel Portilla

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotras, **Geomara Nathaly Fajardo Gavidia** y **Cristina Nohemí Rodríguez Chicaiza**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Geomara Nathaly Fajardo Gavidia

Cristina Nohemí Rodríguez Chicaiza

DEDICATORIA

Con profunda admiración y amor a mis padres, José y Lucía.

Por mostrarme la abnegación, la perseverancia y el amor incondicional hacia sus hijos, por entregar su vida a su trabajo y su familia.

Por ser mi guía y por todas las noches de desvelo a mi lado.

¡Papi y mami esto es para ustedes!

Geomara

DEDICATORIA

A mi madre por ser el ejemplo de mujer que me inspira a seguir mejorando, este logro es tuyo porque sin ti jamás lo hubiera conseguido.

A mi hermanito Fa por ser tú el motor que me inspira cada día. Recuerda que si lo quieres lo puedes.

Nohemí

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la sabiduría y guiarme durante mi vida.

A mis padres José y Lucía, por su amor incondicional y su apoyo durante esta etapa de mi vida, por inculcarme cada día ser una mejor persona, los amo mucho.

A mis hermanos Diany y Jaime por ser mis compañeros de vida con mucho cariño han sido un pilar fundamental en mi formación, por ser mi ejemplo para seguir, y por hacer las veces de mis segundos padres en muchas ocasiones, los amo.

A mis cuñados Jimmy y Bachy, gracias por su ayuda, su apoyo y sus palabras de aliento.

A mis sobrinos, Lucía, Emilia, Sebastián, Sarita, José Armando, Andy, Jaimito Jr, David, Alejandra, Micaela y Nicole, cada una de sus sonrisas me ha impulsado en este camino.

A mis amigos, de manera especial a Edgar eres realmente una gran persona, aún recuerdo esas clases de básquet juntos, David (veci) te quiero mucho mijooo, Byron gracias por ser la persona que eres siempre dispuesta a ayudar, Juan (Tocayo) mijooo gracias por contagiarme tu efusividad no solamente en el fútbol, a “Los camaradas”, gracias por hacer de cada tarde de juego un ejemplo de amistad, a Sebas (Hulk) gracias por los ánimos y abrazos, Marco (mono) gracias por todas las experiencias y risas compartidas en esta última etapa universitaria. ¡Y a los que me faltan por mencionar gracias!

A Gia, Ale, Dany, Mary, Gina, no pensé que formaríamos un gran grupo de chicas en la facultad, estos años han sido geniales con ustedes a mi lado. Adri, Thaly y Sarita gracias también a ustedes. No me imagino como hubiese sido esta etapa sin tenerlas como amigas.

A Gis (lémur), mi gran amiga, mi hermana por cada una de las historias que tenemos, gracias por todos estos años de amistad.

A Nohemí (Nayomí), te convertiste de una conocida a una hermana, con nuestros buenos y malos momentos aprendimos que somos un gran equipo juntas, gracias por ese apoyo incondicional y no dejarme caer, cuando te necesité estuviste a mi lado, gracias por todas las sonrisas y lágrimas compartidas, tienes un lugar muy especial en mi corazón. Te quiero mucho. Finalmente te diré: ¡Ingeniera Rodríguez lo logramos!

A Juan, gracias por estar junto a mí, ante todo. Gracias por apoyarme y darme un abrazo o una sonrisa cuando estuve a punto de derrumbarme, e impulsarme a seguir. Te amo.

A quienes integran el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV), a las áreas técnicas de Carrocerías Nacionales, Vehículos importados y Laboratorio, por su profesionalismo al permitirme desempeñarme adecuadamente en un ambiente laboral, por compartir su experiencia y conocimientos.

Por las facilidades brindadas en el desarrollo de este proyecto de manera especial al Ing. Diego Lincango, gracias por toda la paciencia, consejos y ser un guía. Al Ing Mauricio Santamaría (Mauri) gracias por ese apoyo incondicional, por los consejos, por la amistad brindada y principalmente por siempre tener el ánimo y esa gran vibra para ver el lado bueno de las cosas.

Al Ing. Ángel Portilla, gracias por su guía durante el desarrollo de este trabajo. Gracias por compartir consejos y su experiencia, los cuales han sido muy importantes para mi crecimiento profesional. Gracias especialmente por su paciencia.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Mecánica, a cada uno de mis profesores a lo largo de la carrera por compartir su conocimiento, y permitirme formarme como una profesional, y contribuir al desarrollo de mi país.

A todas y cada una de esas personas que confiaron en mí, en verdad gracias.

Geomara

AGRADECIMIENTO

A Dios porque su gracia me permite seguir avanzando en mi vida.

A mi mami Cris por ser la luz que ilumina mi camino y demostrarme que pese a las circunstancias que se presentan en la vida con perseverancia y amor todo es posible. Gracias por no rendirte. Te amo Mami.

A mi padre Fausto por mostrarme su cariño y apoyo y encaminar mi vida durante la infancia.

A mis hermanos Javi y Fa por ser pacientes conmigo y aprender a manejar mi ira y frustraciones.

A mi mami Carmen y mi papi Beto por ser mis segundos padres, estar siempre pendientes de mí y enseñarme cada día a ser una mejor persona,

A mi querida familia, mis tíos, tías y primos desde el más pequeño al más grande por estar conmigo siempre por mostrarme que la familia siempre estará cuando tú la necesites.

A mi amor Pablito porque desde el primer momento he podido contar contigo, siempre me demuestras tu amor sin condiciones, eres mi paño de lágrimas y mi cajita de sorpresas, te amo y agradezco haberte conocido. Alma, corazón y vida.

A mis amigos Leo, Michael, Gabito, Gokú y Guillo por hacerme reír cuando más lo necesito, siempre tendrán un lugar importante en mi corazón.

A mis “Queridas” (Sari, Thaly y Adri) por ser más que mis amigas mis hermanas, por estar conmigo desde el primer día de universidad apoyándome en todas las fases que tuve que superar a lo largo de este recorrido,

A mi adorada Jomy porque llegaste a convertirme en alguien muy especial para mí, porque me demostraste que pese a toda adversidad eres una mujer valiente y jamás vas a rendirte, porque cuando yo me quedé sin aliento, fuiste tú quien me impulsó a seguir, hoy logramos cumplir la meta juntas y no me queda más que decirte que estoy muy orgullosa de ti.

A todo el equipo técnico del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) por brindarnos su apoyo para poder lograr esta meta, de manera especial al Ingeniero Diego por guiarnos y brindarnos su apoyo y al Ingeniero Mauricio (Mauri) porque te convertiste en un amigo y sacrificaste muchas cosas por ayudarnos, estaré eternamente agradecida.

Al Ingeniero Ángel Portilla, por confiar en mí para desarrollar este proyecto, por su guía y sus consejos para lograr llegar al éxito, por su paciencia y su predisposición ante cualquier duda.

A mi muy querida Facultad de Ingeniería Mecánica, y a cada uno de los profesores que la conforman gracias por formarme con las bases necesarias para ser no solo una buena profesional sino una buena persona.

Nohemí

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
SIMBOLOGÍA.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Combustión.....	3
1.1.1. Estequiometria.....	3
1.1.2. Clasificación de los Procesos de Combustión.....	4
1.1.2.1. Combustión completa	4
1.1.2.2. Combustión incompleta.....	4
1.1.2.3. Factor Lambda (λ).....	4
1.2. Emisiones Contaminantes	5
1.2.1. Clasificación de las Emisiones Contaminantes	6
1.2.1.1. Emisiones contaminantes tóxicas.....	6
1.2.1.2. Emisiones contaminantes no tóxicas.....	7
1.3. Factores de Emisión.....	7
1.3.1. Método Directo	7
1.3.1.1. Pruebas en Ruta	8
1.3.1.2. Pruebas en Laboratorio.....	8
1.3.2. Método Indirecto.....	11
1.4. Modelos de Emisión Internacionales (Software)	12
1.4.1. Manual de factores de emisión para transporte terrestre (HBEFA3.3).....	12
1.4.2. Modelo COPERT.....	14
1.4.3. Modelo MOBILE	16
1.4.4. Modelo IVE	18
1.5. Determinación del Factor de Emisiones	20

1.5.1. Localidad	20
1.5.2. Flota vehicular	22
1.5.3. Características del Combustible	23
1.5.4. Condiciones Ambientales.....	24
1.6. Determinación del factor de emisión mediante el método indirecto: Modelo IVE	24
1.6.1. Ecuaciones que rigen el funcionamiento	24
1.6.2. Patrones de Conducción.....	26
1.6.3. Condiciones de manejo del vehículo	26
1.6.4. Patrones de Partida.....	27
1.6.5. Equipos Utilizados.....	27
1.6.5.1. GPS: sistema de posicionamiento Global	27
1.6.6. Protocolo de uso	28
1.7. Determinación del factor de emisión con el método directo: Medición a bordo	30
1.7.1. Modelo Simplificado de la Combustión.....	30
1.7.2. Equipos Empleados para medición de consumo de combustible.....	32
1.7.2.1. Tanque de presión de combustible (CANISTER).....	32
1.7.2.2. Matraz.....	33
1.7.3. Equipos Empleados para medición de gases	33
1.7.3.1. Analizador de gases On Board	33
1.7.3.2. Sonda de gases de combustión.....	35
1.7.4. Protocolo de Pruebas.....	35
1.7.4.1. Consumo de combustible.....	35
1.7.4.2. Emisiones contaminantes	36
2. METODOLOGÍA.....	37
2.1. Selección de los Vehículos	37
2.2. Determinación del factor de emisión mediante el Software IVE	38
2.2.1. Obtención de velocidad y altitud	38
2.2.2. Filtrado de datos.....	39
2.2.3. Cálculo de bins	40
2.2.4. Creación del archivo flota.....	40
2.2.5. Creación del archivo localidad	41
2.2.6. Cálculo de emisiones totales	41
2.2.7. Cálculo del Factor de emisión.....	42
2.3. Determinación del factor de emisión con medición a bordo.	42
2.3.1. Verificación de las condiciones del equipo	43
2.3.2. Instalación de los equipos.....	43
2.3.3. Desarrollo de la ruta	44

2.3.4. Cálculo del factor de emisiones	44
2.4. Comparación datos de emisiones de fabricante y datos obtenidos.....	45
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
3.1. Resultados.....	46
3.2. Discusión	59
4. CONCLUSIONES.....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Triángulo de Combustión.....	3
Figura 1.2. Efectos de la relación Aire/Combustible.....	5
Figura 1.3. Combustión de la mezcla y emisiones de escape.....	6
Figura 1.4. Ciclo de conducción NEDC.....	9
Figura 1.5. Ciclo de conducción FTP-75.....	10
Figura 1.6. Ciclo de Modo 10-15.....	11
Figura 1.7. Modelos de Emisión Internacionales (Software).....	12
Figura 1.8. Ruta carretera.....	20
Figura 1.9. Ruta combinada.....	21
Figura 1.10. Ruta ciudad.....	21
Figura 1.11. Porcentaje de participación vehicular en Pichincha.....	22
Figura 1.12. Principales vehículos vendidos por marca.....	22
Figura 1.13. Principales modelos vendidos por marca.....	23
Figura 1.14. Barriles de gasolina producidos en 2014.....	23
Figura 1.15. Condiciones meteorológicas Quito.....	24
Figura 1.16. Categorías de Soak.....	27
Figura 1.17. GPS NEO 6 en construcción y en Funcionamiento.....	28
Figura 1.18. Proceso para la estimación de emisiones.....	29
Figura 1.19. Tanque de presión de combustible (Canister).....	33
Figura 1.20. Matraz empleado en la medición.....	33
Figura 1.21. Equipo On Board instalado en el asiento posterior del vehículo.....	34
Figura 1.22. Sonda para gases de combustión.....	35
Figura 2.1. Curva de velocidad obtenida con GPS NEO-6.....	39
Figura 2.2. Aplicación de filtrado de datos.....	39
Figura 2.3. Aplicación para el cálculo de bins.....	40
Figura 2.4. Archivo de Flota creado.....	40
Figura 2.5. Archivo Localidad creado.....	41
Figura 2.6. Cálculo de emisiones contaminantes.....	42
Figura 2.7. Ficha de inspección Toyota Hilux.....	43
Figura 2.8. Equipos instalados en el vehículo.....	44
Figura 2.9. Medición de consumo.....	44
Figura 3.1. Velocidad ciclo carretera GPS.....	46
Figura 3.2. Velocidad en ciclo combinado GPS.....	46
Figura 3.3. Velocidad ciclo ciudad GPS.....	46
Figura 3.4. Velocidad ciclo carretera.....	47
Figura 3.5. Altitud ciclo carretera.....	47
Figura 3.6. Velocidad ciclo combinado.....	47
Figura 3.7. Altitud ciclo combinado.....	48
Figura 3.8. Velocidad ciclo ciudad.....	48
Figura 3.9. Altitud ciclo ciudad.....	48
Figura 3.10. Resultado Ciclo Carretera Toyota.....	49
Figura 3.11. Resultado Ciclo Combinado Toyota.....	49
Figura 3.12. Resultado Ciclo Ciudad Toyota.....	49
Figura 3.13. Resultado Ciclo Carretera Hyundai.....	50
Figura 3.14. Resultado Ciclo Combinado Hyundai.....	50
Figura 3.15. Resultado Ciclo Ciudad Hyundai.....	50
Figura 3.16. Resultado Ciclo Carretera Chevrolet.....	51
Figura 3.17. Resultado Ciclo Combinado Chevrolet.....	51

Figura 3.18. Resultado Ciclo Ciudad Chevrolet.....	51
Figura 3.19. Emisión de CO ₂ de la prueba 1 en la ruta de ciudad.	55
Figura 3.20. Emisión de CO de la prueba 1 en la ruta de ciudad.	55
Figura 3.21. Emisión de HC de la prueba 1 en la ruta de ciudad.	55
Figura 3.22. Emisión de NO _x en la prueba 1 en la ruta de Ciudad.....	56
Figura 3.23. Variación del Factor Lambda en la prueba 1 de la ruta de ciudad.	56
Figura 3.24. Comparación FCO [g/km] BRT Hilux.	59
Figura 3.25. Comparación FNO _x [g/km] BRT Hilux.	59
Figura 3.26. Comparación FHC [g/km] BRT Hilux.....	60
Figura 3.27. Comparación FCO [g/km] Tucson IX.....	60
Figura 3.28. Comparación FNO _x [g/km] Tucson IX.	61
Figura 3.29. Comparación FHC [g/km] Tucson IX.....	61
Figura 3.30. Comparación FCO [g/km] Aveo Family.	62
Figura 3.31. Comparación FNO _x [g/km] Aveo Family.	62
Figura 3.32. Comparación FHC [g/km] Aveo Family.	63
Figura 3.33. Variación FCO [g/km] Toyota.	65
Figura 3.34. Variación FNO _x [g/km] Toyota.	65
Figura 3.35. Variación FHC [g/km] Toyota.....	66
Figura 3.36. Comparación FCO ₂ [g/km] Toyota BRT Hilux.	66
Figura 3.37. Comparación FCO ₂ [g/km] Hyundai Tucson IX.	67
Figura 3.38. Comparación FCO ₂ [g/km] Chevrolet Aveo Family.	68
Figura I.1. Variación de la velocidad en el ciclo LA-4.....	70
Figura II.1. Bines definidos para VSP y estrés del motor.....	ii
Figura III.1. Ficha técnica Hyundai Tucson IX.....	iii
Figura III.2. Ficha técnica Chevrolet Aveo Family.....	iv
Figura VI.1. Resultados en IVE en hora pico.....	v
Figura VI.2. Resultados en IVE en hora normal.....	v
Figura VII.1. Variación FCO [g/km] Hyundai.....	vii
Figura VII.2. Variación FNO _x [g/km] Hyundai.....	vii
Figura VII.3. Variación FHC [g/km] Hyundai.....	viii
Figura VII.4. Variación FCO [g/km] Chevrolet.....	viii
Figura VII.5. Variación FNO _x [g/km] Chevrolet.....	viii
Figura VII.6. Variación FHC [g/km] Chevrolet.....	ix

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Categoría Vehicular Modelo HBEFA.	13
Tabla 1.2 Contaminantes del modelo HBEFA.	13
Tabla 1.3 Insumos requeridos para el modelo HBEFA.	14
Tabla 1.4 Clasificación de las categorías vehiculares en el modelo COPERT.....	14
Tabla 1.5 Consideraciones a tomar en cuenta para las subcategorías en el modelo COPERT	15
Tabla 1.6 Contaminantes establecidos en el modelo COPERT	15
Tabla 1.7 Insumos empleados en el modelo COPERT	16
Tabla 1.8 Categorías Vehiculares en Mobile 6.....	16
Tabla 1.9 Categorías Vehiculares Mobile6.....	17
Tabla 1.10 Insumos considerados por el modelo Mobile 6	18
Tabla 1.11 Categorías vehiculares IVE	19
Tabla 1.12 Insumos requeridos por el modelo IVE.....	19
Tabla 1.13 Requisitos de la gasolina.....	23
Tabla 1.14 Factores de corrección para una localidad específica.....	25
Tabla 1.15 Equivalente molecular para combustible 84.21 % de C y 15.79% de H	30
Tabla 1.16 Balance de Número de átomos de la ecuación de combustión.....	31
Tabla 1.17 Especificaciones técnicas del canister de combustible	33
Tabla 1.18 Especificaciones técnicas del analizador de gases On Board.....	34
Tabla 2.3 Características del vehículo 1	37
Tabla 2.4 Características del vehículo 2	38
Tabla 2.5 Características del vehículo 3	38
Tabla 2.6 Datos del fabricante.....	45
Tabla 3.1 Resultados finales Vehículo 1	49
Tabla 3.2 Resultados finales Vehículo 2	50
Tabla 3.3 Resultados finales Vehículo 3	51
Tabla 3.4 Factores de emisión calculados con IVE.....	52
Tabla 3.5 Datos promedio para cada prueba en la ruta de ciudad.....	52
Tabla 3.6 Datos promedio para cada prueba en la ruta combinada.....	53
Tabla 3.7 Datos promedio para cada prueba en la ruta de carretera.....	53
Tabla 3.8 Datos promedio para cada prueba en la ruta de ciudad.....	53
Tabla 3.9 Datos promedio para cada prueba en la ruta combinada.....	53
Tabla 3.10 Datos promedio para cada prueba en la ruta de carretera.....	54
Tabla 3.11 Datos promedio para cada prueba en la ruta de ciudad.....	54
Tabla 3.12 Datos promedio para cada prueba en la ruta combinada.....	54
Tabla 3.13 Datos promedio para cada prueba en la ruta de carretera.....	54
Tabla 3.14 Promedio Factores de emisión calculados en ruta.....	57
Tabla 3.15 Resultados obtenidos y comparación con fabricante	58
Tabla 3.16. Porcentaje de Variación Ruta-IVE.....	64
Tabla 3.17 Porcentaje de variación Fabricante vs. IVE y medición en Ruta	68
Tabla VI.1 Resumen de resultados con IVE.....	.vi
Tabla VI.2 Datos obtenidos en Ruta.....	.vi
Tabla VI.3 Factor de emisión con IVE.....	.vi
Tabla VI.4 Factor de emisión en Ruta.....	.vi
Tabla VII.1 Porcentaje de variación entre datos de ruta y estimación con IVE.....	.ix

SIMBOLOGÍA

IVE	International Vehicular Emissions
HBEFA	Handbuch Emission Faktoren Autobahn
COPERT	Computer Programme To Calculate
GPS	Global Positioning System
SUV	Sport Utility Vehicle
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
HC	Hidrocarburo
H ₂ O	Agua
O ₂	Oxígeno
VOC	Volatile Organic Compounds
SO _x	Óxidos de Azufre
PM	Particulate Material
D.M.Q.	Distrito Metropolitano de Quito
CARB	California Air Resources Board
EPA	Environmental Protection Agency
λ	Factor Lambda
SOAK	Relativo a que el motor esta “remojado” tanto por combustible y aceites.
BINES	Corresponden a diferentes “compartimientos” de energía
EEA	European Environmental Agency
ISSRC	International Sustainable System Research Center
UBA	Umwelt Bundes Amt
GLP	Gas Licuado de Petróleo
VSP	Vehicular Specific Power
RPM	Revoluciones Por Minuto
AEADE	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
CCICEV	Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares
USB	Universal Serial Bus

PPM	Partes Por Millón
%V	Porcentaje Volumétrico
FCO	Factor de Emisión CO
FNOx	Factor de Emisión NOx
FHC	Factor de Emisión HC
UDDS	Driving Program Of The Urban Dynamometer
FTP	Federal Test Procedure
CC	Consumo de Combustible
EGR	Exhaust Gas Recirculstion
PCV	Positive Carter Ventilation
C ₈ H ₁₈	Gasolina
CH _{2.25}	Producto equivalente a Gasolina (Tal como se obtiene de las petroleras)
ρ_{comb}	Densidad del combustible
NEDC	New European Driving Cycle
PBV	Peso bruto vehicular
PP	Peso de prueba
PPA	Peso de prueba alternativo
l	Litro
T	Temperatura
t	Tonelada
CORPAIRE	Corporación Municipal de Mejoramiento de la Calidad de Aire de Quito.
CA	Carretera
CI	Ciudad
C	Combinado
IVE C	IVE corregido con factor referencial

RESUMEN

El presente documento trata sobre la aplicación del software IVE para la estimación indirecta de emisiones contaminantes de fuentes móviles con motor de ciclo Otto y comparación de resultados con medición directa en ruta en el Distrito Metropolitano de Quito. Para la estimación indirecta, se procedió a cuantificar datos de tiempo, altitud y velocidad con un GPS, estos valores se ajustaron con un programa de filtrado de datos para generar el archivo matriz para el desarrollo del programa IVE, para posteriormente ingresar datos de tecnología vehicular, condiciones atmosféricas, hora y fecha de prueba y así obtener las emisiones contaminantes globales. El software IVE se puede descargar libremente de la web. Para la medición directa se desarrollaron tres rutas: ciclo de ciudad, ciclo de carretera, ciclo combinado en las cuales se empleó un equipo de medición On Board, para recopilar valores de emisiones contaminantes en ruta, y un tanque externo para cuantificar el consumo de combustible en cada recorrido. Como resultados del proyecto se pudo determinar el porcentaje de variación de los gramos de CO₂ por kilómetro entre el fabricante y el programa IVE obteniendo una diferencia promedio de 70,4%, mientras que el porcentaje de variación promedio entre el fabricante y en ruta fue de 47,3%, además el porcentaje de variación promedio entre el programa IVE y la medición en ruta fue de 28,5%. Se analizó también el porcentaje de variación entre el software IVE y con medición On Board para el factor CO (g CO/ km) donde para el ciclo de carretera existe una variación promedio de 67,2%, para el ciclo combinado fue de 18,4% y para el ciclo de ciudad fue de 36,8%. Para el factor NO_x (g NO_x/ km), se obtuvo una variación promedio de 446,9% para el ciclo de carretera, para el ciclo combinado fue 483,6% y para el ciclo de ciudad fue de 548,7%. Finalmente, para el factor HC (g HC/ km), se presentó una variación promedio de 145,4% para el ciclo de carretera, para el ciclo combinado fue de 230,5% y para el ciclo de ciudad fue de 592,8%. Debido a esto se recurrió al cálculo empírico de un factor de corrección referencial para que IVE se adapte de mejor manera a las condiciones reales de la ciudad de Quito; con lo cual se evidenció que es necesario determinar un factor de corrección real para que sea posible emplear el software IVE sin necesidad de experimentación.

Palabras clave: emisiones, contaminantes, factor, vehículos, ruta.

ABSTRACT

This document deals with the application of the IVE software for the indirect estimation of pollutant emissions from mobile sources with Otto cycle engine and comparison of results with direct measurement en route in the Metropolitan District of Quito. For the indirect estimation, we proceeded to quantify data of time, altitude and speed with a GPS, these values were adjusted with a data filtering program to generate the matrix file for the development of the IVE program, to later enter data of vehicular technology, atmospheric conditions, time and date of testing and thus obtain global pollutant emissions. The IVE software can be freely downloaded from the web. For the direct measurement three routes were developed: city cycle, road cycle, combined cycle in which an On Board measuring equipment was used, to collect pollutant emissions values en route, and an external tank to quantify the fuel consumption in each journey. As a result of the project, it was possible to determine the variation percentage of CO₂ grams per kilometer between the manufacturer and the IVE program, obtaining an average difference of 70.4%, while the percentage of average variation between the manufacturer and en route was 47.3%, in addition the percentage of average variation between the IVE program and the route measurement was 28.5%. The percentage variation between the IVE software and the On Board measurement for the CO factor (g CO / km) where for the road cycle there is an average variation of 67.2%, for the combined cycle was 18, was also analyzed. 4% and for the city cycle was 36.8%. For the NO_x factor (g NO_x / km), an average variation of 446.9% was obtained for the road cycle, for the combined cycle it was 483.6% and for the city cycle it was 548.7%. Finally, for the factor HC (g HC / km), an average variation of 145.4% was presented for the road cycle, for the combined cycle it was 230.5% and for the city cycle was 592.8 %. Due to this, the empirical calculation of a referential correction factor was used so that IVE could adapt better to the real conditions of the city of Quito; with which it was evidenced that it is necessary to determine a real correction factor so that it is possible to use the IVE software without the need for experimentation.

Keywords: emissions, pollutants, factor, vehicles, road.

“APLICACIÓN DEL SOFTWARE IVE PARA LA ESTIMACIÓN INDIRECTA DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES CON MOTOR DE CICLO OTTO Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON MEDICIÓN DIRECTA EN RUTA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”

INTRODUCCIÓN

En la Ciudad de Quito el problema de la contaminación atmosférica se debe fundamentalmente a las emisiones vehiculares, y la población se ve afectada en la calidad de vida, a causa de las emisiones de gases y partículas, por parte de los automotores, principalmente en vías de alto tráfico vehicular y durante las horas pico.

Para Quito existe un inventario de emisiones contaminantes de fuentes móviles con datos referenciales proporcionados por entidades internacionales como CARB (California Air Resources Board), EPA (Environmental Protection Agency). [1] Sin embargo es necesario obtener datos reales con esto se puede desarrollar políticas que contribuyan a la mejora de las condiciones ambientales en la ciudad.

Se plantea determinar los factores de emisión vehiculares con la ayuda del software IVE, el mismo que se encarga de calcular emisiones contaminantes globales a partir de datos como: la tecnología del vehículo, la localidad, el combustible entre otros.

El software IVE ha sido probado con éxito en flotas vehiculares para ciudades de Latinoamérica como Santiago de Chile, Sao Paulo en Brasil y en México D.F., debido a que se acopla a las necesidades del usuario, esto lo convierte en el programa idóneo para países en desarrollo. [2]

En el presente proyecto se implementará el IVE a tres tipos de vehículos, tomando como flota individual a cada uno, debido a la limitación de recursos.

Los resultados del software IVE serán validados a través de pruebas realizadas con un equipo On Board en rutas seleccionadas en el D.M.Q.

Objetivo general

Aplicar el software IVE para la estimación indirecta de emisiones contaminantes de fuentes móviles con motor de ciclo Otto y comparar los resultados con medición directa en ruta en el Distrito Metropolitano de Quito.

Objetivos específicos

- Medir y analizar las emisiones de vehículos con motor de ciclo Otto utilizando el software IVE para la medición y La metodología de Potencia específica vehicular para el análisis.
- Obtener información de ciclos de conducción de vehículos con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Determinar los factores de emisión bajo las condiciones del Distrito Metropolitano de Quito
- Analizar los resultados obtenidos mediante el programa IVE con la metodología de Potencia específica.
- Validar los resultados obtenidos mediante el programa IVE con valores reales de emisión.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Combustión [3]

Proceso que se da por reacciones químicas de oxidación con desprendimiento de calor, a partir de dos elementos: *el combustible* que puede ser líquido (Gasoleo, Fuel- Oil, entre otros), sólido (madera, carbón entre otros) o gas (Natural, Propano, entre otros) y *el comburente* (oxígeno). [3] Se menciona en el triángulo de combustión en la figura 1.1 los factores que deben de presentarse para que exista combustión:

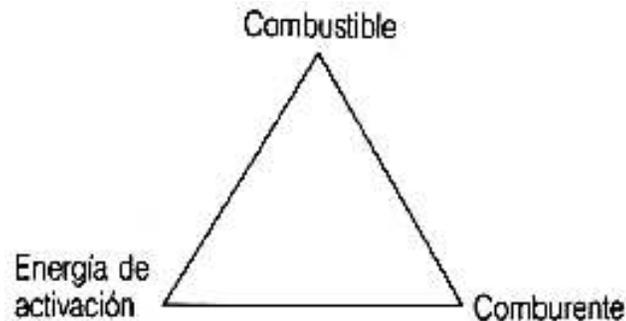
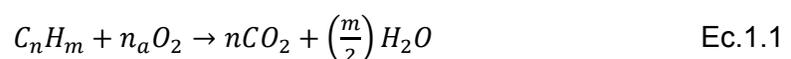


Figura 1.1. Triángulo de Combustión.
(Fuente: R. García, «Combustión y Combustibles,» San José, 2001)

Se emplea al aire como comburente, el cual está conformado por 21% de Oxígeno (O₂) y 79% de Nitrógeno (N₂). El elemento encargado de efectuar la reacción de combustión se conoce como la energía de activación, en el caso de los automotores se encargan de iniciar la chispa las bujías. En su mayoría los combustibles tienen como componentes fundamentales Carbono (C) e Hidrógeno (H), y en menor proporción otros elementos como Cenizas, Azufre (S), Agua (H₂O) entre otros. [3]

1.1.1. Estequiometría [4]

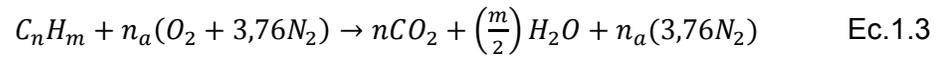
Para un proceso de combustión ideal de un hidrocarburo, al existir el oxígeno necesario, el carbono y el hidrogeno que forman parte del combustible pueden ser oxidados completamente agua y dióxido de carbono. De esta manera se puede indicar que, para un Kmol de hidrocarburo genérico, formado por hidrogeno y carbono, al realizarse el balance de la reacción de combustión se muestra en la ecuación (1.1), donde reacciona un Kmol de C_nH_m con n_a Kmoles de O₂.



El número de moles de oxígeno necesario para oxidar completamente el combustible se da con la siguiente expresión:

$$n_a = n + \frac{m}{4} \quad \text{Ec.1.2}$$

Al considerar el oxígeno del aire atmosférico se tiene que la composición simplificada para el aire seco en términos molares es 3,76. La ecuación (1.1) se puede expresar de la siguiente forma:



La relación estequiométrica en términos másicos es producto de multiplicar cada uno de los términos de la ecuación (1.3) por sus pesos moleculares respectivos. Además, se conoce como dosado estequiométrico la relación existente entre la masa de combustible y la masa de aire necesario para oxidarlo totalmente.

Se puede expresar la relación combustible –aire estequiométrica como:

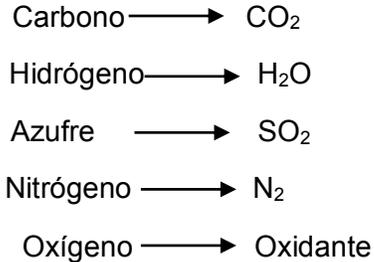
$$F_e = \frac{m_f}{m_a} = \frac{nPM_c + mPM_H + pPM_O}{\left(n + \frac{m}{4} - \frac{p}{2}\right)(PM_{O_2} + 3,76PM_{N_2})} \quad \text{Ec.1.4}$$

1.1.2. Clasificación de los Procesos de Combustión.

1.1.2.1. Combustión completa [3]

Se da cuando existe una *oxidación total* de los elementos que conforman el combustible.

Tomando como referencia a los hidrocarburos:



El nitrógeno es considerado masa inerte, en presencia de altas temperaturas de humos suelen formarse óxidos de nitrógeno en pequeñas proporciones que son del orden de 0,01 %.

1.1.2.2. Combustión incompleta [3]

En la combustión, los componentes del combustible no se oxidan completamente es por esto que aparecen partes no quemadas, los principales son CO y H₂, entre otros como restos de carbono.

1.1.2.3. Factor Lambda (λ) [3]

El factor se define como la relación entre la cantidad de aire que entra al motor para ser consumida y la que tendría que entrar para conseguir la mezcla estequiométrica, es decir la riqueza de la mezcla durante la combustión, como se muestra a continuación:

$$\lambda = \frac{\text{Aire Real Admitido}}{\text{Aire Teórico Necesario}}$$

La riqueza de la mezcla se puede definir con los siguientes parámetros:

$\lambda=1$, se está usando aire necesario, es decir teóricamente 14,7 Kg aire/ 1Kg de gasolina

$\lambda<1$, la mezcla es rica.

$\lambda>1$, la mezcla es pobre.

La figura 1.2 muestra como varían las emisiones respecto a la relación aire/combustible.

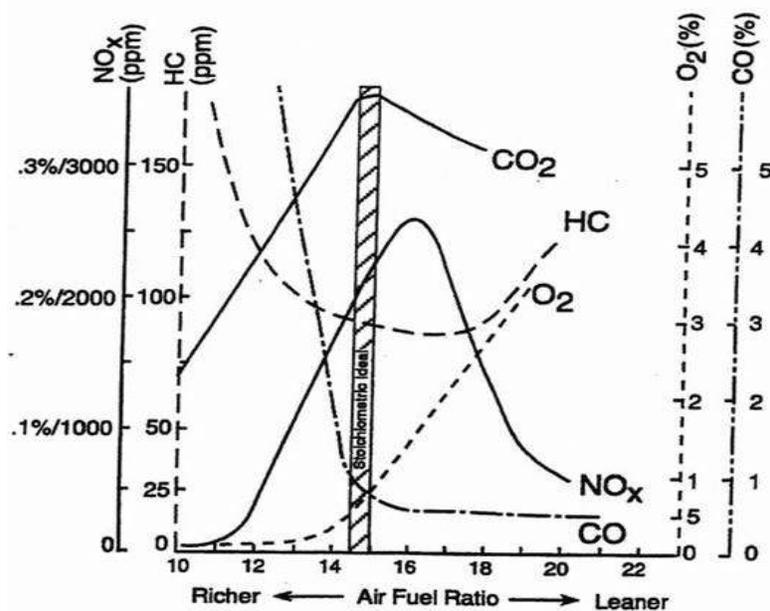


Figura 1.2. Efectos de la relación Aire/Combustible.

(Fuente:<http://rtocare.tistory.com/category/%EB%8F%99%EB%A0%A5%EA%B3%BC%20%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80?page=2>)

1.2. Emisiones Contaminantes [5]

Las emisiones contaminantes afectan la calidad del aire, los vehículos con motor de combustión de ciclo Otto, presentan emisiones de los cuales se emiten a través del sistema de escape, estos gases son: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC).

Las emisiones del sistema de escape se consideran importantes de controlar. Los gases son el producto de la combustión del aire con el combustible en la cámara del motor. Los gases de escape se cuantifican en función del volumen y en partes por millón.

1.2.1. Clasificación de las Emisiones Contaminantes [6]

En la combustión se obtienen dos tipos de gases generados y emitidos por el sistema de escape del Vehículo, estos son:

- Gases nocivos (Tóxicos)
- Gases Inofensivos (No Tóxicos)

En la figura 1.3 se muestra el resumen de la clasificación de los gases, a partir del proceso de combustión.

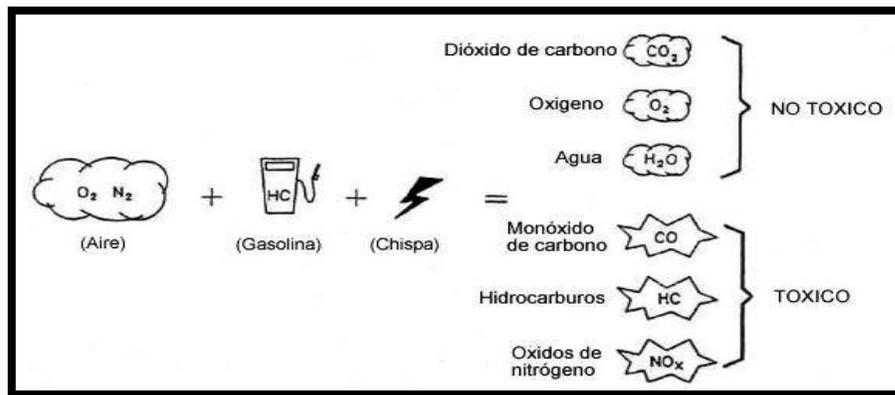


Figura 1.3. Combustión de la mezcla y emisiones de escape.
(Fuente: <https://www.taringa.net/posts/autos-motos/16136191/Gases-de-Escape-y-Sistemas-Anticontaminacion-1er-Parte.html>)

1.2.1.1. Emisiones contaminantes tóxicas [6]

Monóxido de Carbono (CO)

Se define como un gas, de tipo inodoro, incoloro, muy tóxico y altamente explosivo. Producto de la combustión incompleta, se incrementa cuando la mezcla es rica, es decir con factor lambda menor a 1. El contenido de monóxido de carbono en condiciones normales tiende a oxidarse de forma rápida y forma el dióxido de carbono (CO_2). La presencia de este gas en el sistema de escape es relativamente baja.

Hidrocarburo (HC)

Considerados residuos no combustionados, aparecen en los gases de escape como producto de una combustión ineficiente, dada por la falta de oxígeno durante el proceso de combustión (mezcla rica) o por baja velocidad en la inflamación (mezcla pobre). Se consideran altamente irritables para los órganos sensoriales.

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Se generan con la presencia de elevadas presiones y temperaturas, además de exceso de oxígeno en el proceso de combustión. Son gases producidos por las combinaciones de nitrógeno y de oxígeno. Provocan irritaciones fuertes en los órganos respiratorios.

1.2.1.2. Emisiones contaminantes no tóxicas [6]

Dióxido de Carbono (CO₂)

Se considera generado por una combustión eficiente. Se define como un gas no explosivo e incoloro. Considerado como un gas no tóxico sin embargo disminuye el estrado de la atmosfera terrestre, que se encarga de la protección de los rayos UV, esto ha contribuido a que el tema del CO₂ sea abordado comúnmente en discusiones de como solventar el efecto invernadero.

Oxigeno (O₂)

Componente del aire en 21%, conocido como un gas insípido, incoloro e inodoro. Fundamental en la combustión que se origina en el motor, idealmente se considera que la mezcla es ideal cuando de combustiona completamente el oxígeno en la cámara, si esto no sucede y la combustión en incompleta el oxígeno restante se elimina por los gases de escape.

Agua (H₂O)

Se origina como producto de la combustión en la fase de calentamiento del motor (combustión fría), se expulsa por el sistema de escape y se puede visualizar comúnmente en los días fríos, con la apariencia de humo blanco, y si se condensa como goteo.

1.3. Factores de Emisión [4]

Se denomina como factor de emisión a la relación existente entre la cantidad de contaminante expulsado a la atmosfera y una unidad de proceso o actividad (como kilómetros recorridos, consumo de energía entre otros). Para fuentes móviles se expresan los factores de misión en masa de contaminante por volumen de combustible gastado o distancia recorrida. Se pueden obtener los factores de emisión a través de los siguientes: Método Directo, Método Indirecto.

1.3.1. Método Directo

Se establecen las emisiones del vehículo en condiciones reales de operación, se puede desarrollar con pruebas en ruta o en laboratorio, se abordan detalladamente más adelante.

1.3.1.1. Pruebas en Ruta

Este tipo de pruebas consiste en realizar rutas ya sean en ciudad, carretera o mixtas para obtener tanto las emisiones como el consumo de combustible, los equipos con los que se realiza la medición pueden ser:

Sensor Remoto

Con base en la detección de emisiones contaminantes que pasan por un punto de control determinado por rayos infrarrojos o ultravioletas. Puede determinar las modificaciones en las concentraciones de los contaminantes como CO₂, CO, HC y NO_x. No se considera un método de alta precisión y por lo general se usa para identificar vehículos que poseen emisiones muy altas o muy bajas, sin embargo no se obtiene directamente el factor de emisión.

Medición a bordo

Usa un analizador de gases que permite cuantificar mediciones cuando el vehículo se encuentra en operación, puede determinar concentraciones de contaminantes como CO₂, CO (en porcentaje de volumen), y HC y NO_x (en partes por millón); además se mide el porcentaje de oxígeno durante todo el ensayo.

1.3.1.2. Pruebas en Laboratorio

Este tipo de pruebas se deben realizar en condiciones controladas mediante el uso de un dinamómetro y bajo las directrices de un ciclo de conducción; al vehículo se aplica una carga de operación normal, la unidad del factor de emisión obtenido está dada en gramos por unidad de energía; entre los ciclos estandarizados se encuentran principalmente el ciclo europeo, ciclo americano y ciclo japonés, los cuales se detallan a continuación.

Ciclo Europeo [7]

New European Driving Cycle también conocido con ciclo NEDC, es el ciclo de homologación que se emplea en el continente europeo para poder determinar el consumo urbano, extraurbano y mixto.

El ciclo se encuentra dividido en dos partes: la urbana y la extraurbana; el tiempo de ensayo es cercano a los 20 minutos y el recorrido es de 11 kilómetros y 7 metros, con lo cual la velocidad media puede determinarse cercana a los 35 km/h.

Ciclo en zona urbana:

Para realizar esta simulación se realizan las siguientes fases:

- Una vez puesto en marcha el vehículo se mantiene 40 segundos en ralentí
- Se coloca primera y se llega a los 15 km/h y se detiene.

- Se mantiene 50 segundos en ralentí
- Se coloca segunda y llega a los 35 km/h y se detiene.
- Se coloca tercera y se llega a 50 km/h y se reduce a 27 km/h en segunda.

Se repite las fases cuatro veces para dar por terminado la etapa del ciclo urbano.

Ciclo en zona extraurbana:

Para realizar esta simulación se realizan las siguientes fases:

- Se enciende el vehículo y se llega a 70 km/h en quinta.
- Se disminuye a 50 km/h y se mantiene un minuto.
- Se incrementa nuevamente a 70 km/h y se mantiene por un minuto.
- Se incrementa a 100 km/h y se mantiene.

Con esto se da por terminado el ciclo extraurbano.

Si se realiza la combinación de los dos ciclos se obtiene el consumo mixto.

En la figura 1.4 se muestra la representación gráfica del ciclo.

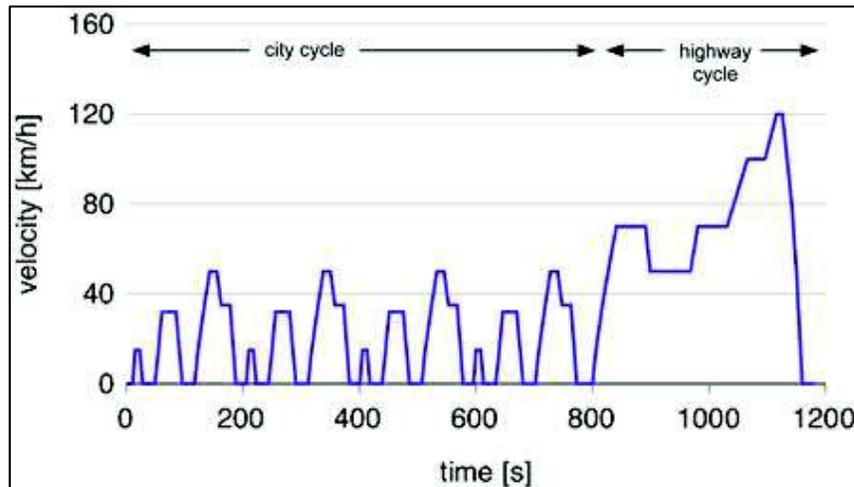


Figura 1.4. Ciclo de conducción NEDC.

(Fuente: <https://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=4542530&page=22>)

Ciclo Americano [8]

El ciclo FTP-75 es empleado en Estados Unidos para certificación de emisiones y pruebas de consumo de combustible en vehículos ligeros.

El ciclo tiene una duración de 1877 segundos se recorre una distancia de 17.77 km (11,04 millas), su velocidad promedio es 34,12 km/h y la velocidad máxima es de 91,25 km/h.

Consta de los siguientes segmentos:

- Fase transitoria de arranque en frío para la cual se debe tener en una temperatura ambiente entre 20 y 30°C, durante 505 segundos. Tiene un factor de ponderación de 0.43.
- Fase estabilizada que tiene un periodo de duración de 866 segundos; su factor de ponderación es de 1.
- Remojo en caliente el cual debe permanecer como mínimo 540 segundos y máximo 660 segundos.
- Fase transitoria de arranque en caliente la misma que tiene una duración de 505 segundos. Su factor de ponderación es de 0.57.

La figura 1.5 indica el ciclo FTP -75.

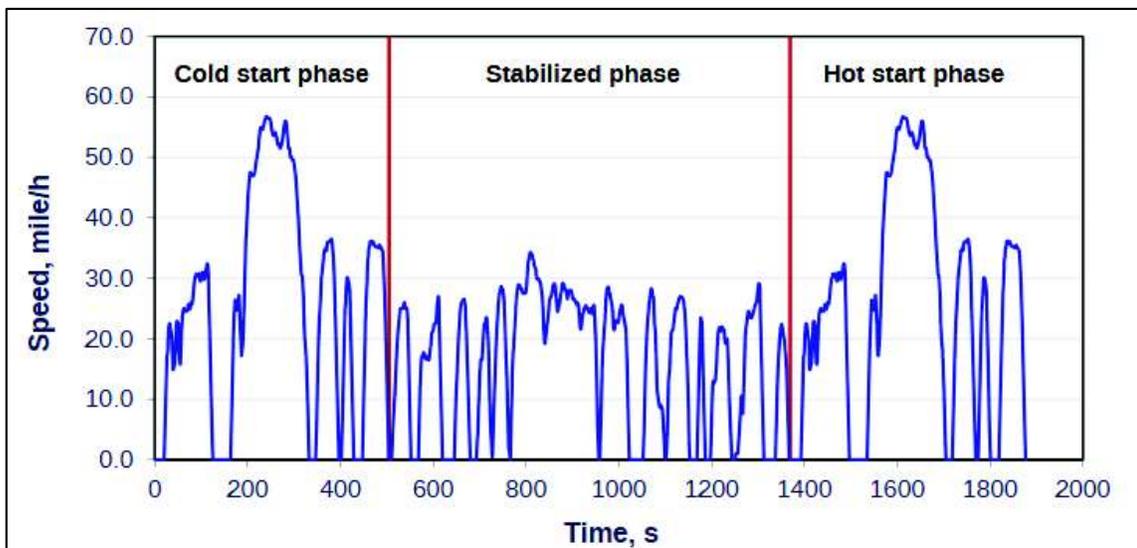


Figura 1.5. Ciclo de conducción FTP-75.
(Fuente: <https://www.dieselnets.com/standards/cycles/ftp75.php>)

Ciclo Japonés [9]

El ciclo de modo 10-15 es empleado en Japón para pruebas de emisiones y determinar el consumo de combustible en vehículos ligeros. Esta prueba es derivada del ciclo de 10 modos al cual se le agrega otro segmento de 15 modos. El ciclo 10 representa un ciclo de baja velocidad en una zona urbana congestionada, el ciclo 15 representa un ciclo en una carretera interurbana con una mayor velocidad de conducción.

Este ciclo tiene una duración de 892 segundos, recorriendo una distancia de 6,34 km con una velocidad promedio de 25,6 km/h.

Las fases que cumple el ciclo son:

- Calentamiento con una duración de 15 minutos a 60 km/h.

- Prueba inactiva
- Calentamiento de 5 minutos a 60 km/h
- Segmento de 15 modos
- Tres repeticiones de segmentos de 10 modos
- Segmento de 15 modos

Las emisiones son medidas en los cuatro últimos segmentos y se expresan en g/km.

La figura 1.6 representa el ciclo de modo 10-15.

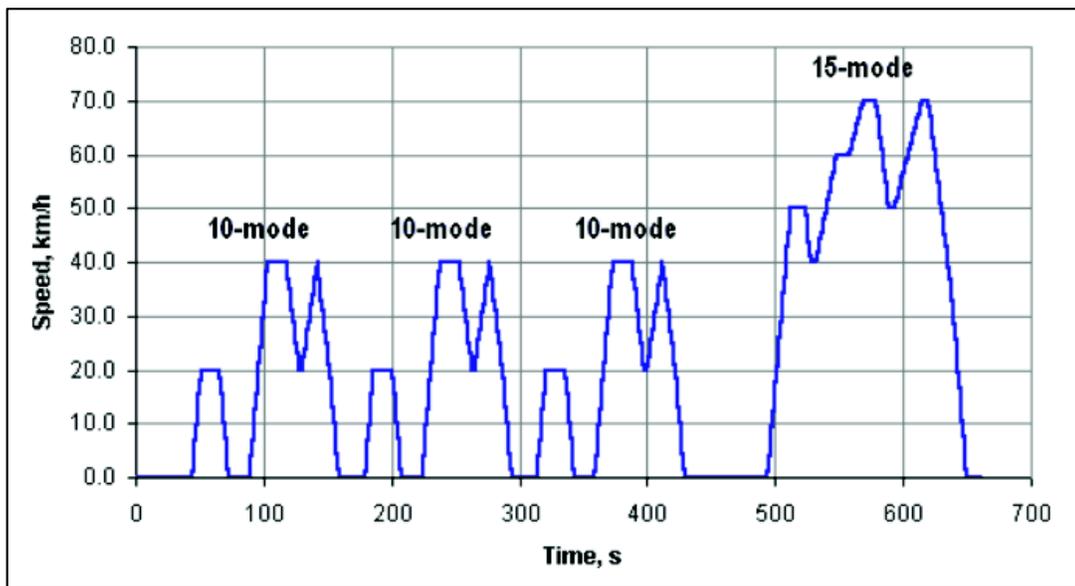


Figura 1.6. Ciclo de Modo 10-15.
(Fuente: https://www.dieselnet.com/standards/cycles/jp_10-15mode.php)

1.3.2. Método Indirecto

Se emplean modelos internacionales que están basados en métodos directos y que se adaptan la información según las condiciones de cada modelo. Usualmente se usan los siguientes métodos:

- MOBILE 6
- IVE
- COPERT
- HBEFA

Cada uno de los modelos empleados en los métodos indirectos se detalla después de la sección 1.3.

1.4. Modelos de Emisión Internacionales (Software) [10]

Con el paso de los años estimar las emisiones vehiculares se ha convertido en una necesidad mundial, por lo cual entidades dedicadas a la protección del medio ambiente como la Environmental Protection Agency (EPA), European Environmental Agency (EEA), International Sustainable System Research Center (ISSRC), California Air Resource Board (CARB), etc; han generado modelos de emisiones, entre los que se puede mencionar: IVE, Mobile, Moves en Estados Unidos, y Copert, Handbook en Europa.

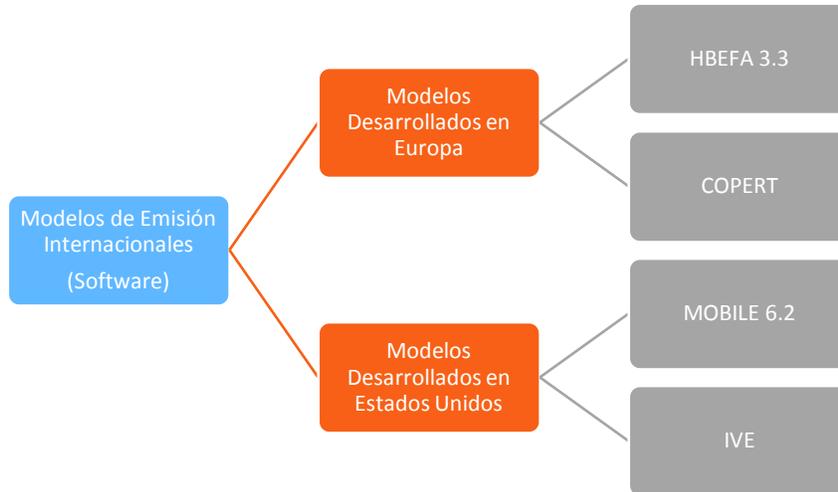


Figura 1.7. Modelos de Emisión Internacionales (Software).
(Fuente: Propia)

Los modelos mencionados en la figura 1.7 se describen a continuación:

1.4.1. Manual de factores de emisión para transporte terrestre (HBEFA3.3) [11]

Fue desarrollado por la agencia alemana Umwelt Bundes Amt (UBA) en 1995 para obtener factores de emisión en base a la normativa europea de emisiones vigente. Actualmente este programa está enfocado en determinar las emisiones producidas por NOx en los nuevos vehículos diésel para el transporte de pasajeros, según la normativa Euro 5 y Euro 6; para la evaluación de vehículos a gasolina se emplea las mismas características del programa original.

Los resultados obtenidos se expresan en g/km, además los factores de emisión son usados de manera independiente a la categoría del vehículo. El HBEFA emplea una base de datos de pruebas reales realizadas en el mundo en lugar de usar un modelo instantáneo, además se considera que todos los factores de emisión son aplicables para el 30% de la carga.

Categoría Vehicular [11]

La categorización vehicular que emplea este software es de un modo general, sin embargo también puede realizarse una subcategorización según la regulación europea. Se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Categoría Vehicular Modelo HBEFA.

Categoría Vehicular	Descripción
Vehículos de pasajeros	Vehículos exclusivos para el de pasajeros
Vehículos comerciales livianos	Van, minibuses, camionetas, campers, y demás vehículos cuyo peso bruto vehicular sea < 3.5t
Vehículos de carga pesada	Camiones, furgones, volquetas, y demás vehículos cuyo peso bruto vehicular sea > 3.5t
Vehículos para turismo	Vehículos que realizan tours
Bus	Buses urbanos, buses de transporte público
Motocicletas	Motocicletas a gasolina

(Fuente: Keller. M, 2017)

Contaminantes Considerados [11]

El modelo HBEFA fue creado principalmente para la detección de NOx, pero también se puede encontrar los contaminantes detallados en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Contaminantes del modelo HBEFA.

Contaminante	Descripción
CO	Monóxido de carbono
HC	hidrocarburos
NOx	Óxido de nitrógeno
PM	Material particulado
CO ₂ total	Dióxido de carbono (el total del consumido por el combustible)
Pb	Plomo
SO ₂	Dióxido de azufre
CH ₄	Metano
NH ₃	Amoniaco
Benceno	Tomado del total de HC
Tolueno	Tomado del total de HC
Xileno	Tomado del total de HC

(Fuente: Keller. M, 2017)

Insumos [11]

El programa HBEFA emplea muy pocos datos de entrada para el estudio de las emisiones, entre los cuales se ha recopilado la información contenida en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Insumos requeridos para el modelo HBEFA.

Insumos	Insumos
Temperatura Ambiente	Categoría vehicular
Tiempo de parado	Año modelo
Duración del Viaje	Tipo de combustible
Tipo de ruta	Kilómetros recorridos por carretera
Año calendario vehicular	Velocidad promedio

(Fuente: Keller. M, 2017)

1.4.2. Modelo COPERT [10]

Por sus siglas en inglés Computer Programme To Calculate, es un sistema de modelación de emisiones vehiculares elaborado en 2003 por Visual Studio. NET de Microsoft, posee un software amigable con el usuario, puede ser utilizado en cualquier tipo de computadora que tenga sistema operativo Windows. Fue desarrollado por la comunidad europea para calcular las emisiones tanto de vehículos en circulación como de vehículos fuera de camino (equipos con motores de combustión interna usados en silvicultura, residencial, industria, y ferrocarriles).

Este modelo se desarrolló como una alternativa para estrategias contra el cambio climático y la calidad el aire. Se usa nacionalmente en países europeos como Eslovenia, España, Estonia, Italia, Bélgica entre otros, sin embargo, algunos otros países han considerado un modelo genérico. En el modelo COPERT se puede generar inventarios anuales, y en inventarios de emisiones urbanas.

Categorías Vehiculares [10]

Con el modelo es posible conocer estimaciones de emisiones generadas por vehículos a gasolina, diésel y GLP, se describen en la tabla 1.4:

Tabla 1.4 Clasificación de las categorías vehiculares en el modelo COPERT

Categoría Vehicular	Descripción
Vehículos de pasajeros	Vehículos para el transporte de pasajeros que no posean más de 8 asientos en adición al del conductor.
Vehículos ligeros	Vehículos para el transporte de bienes y con un peso no mayor a 3.5 toneladas.
Vehículos pesados	Vehículos para el transporte de bienes con un peso mayor a 3.5 toneladas.
Autobuses urbanos	Vehículos para el transporte de pasajeros, con más de 8 asientos en adición al del conductor.
Motonetas	Vehículos de 2 o 3 ruedas con motor de menos de 50cc y diseñado para no exceder una velocidad de 40 km/h.
Motocicletas	Vehículos de 2 o 3 ruedas con motor de más de 50cc y diseñado para correr a una velocidad superior a 40km/h

(Fuente: SEMARNAT, 2007)

A partir de las categorías mostradas en la tabla anterior, el software puede tener subcategorías vehiculares considerando el tipo de combustible y los factores de recorrido entre otras que se muestran a continuación, en la tabla 1.5:

Tabla 1.5 Consideraciones a tomar en cuenta para las subcategorías en el modelo COPERT

Tipo de combustible	Peso del vehículo (toneladas)	Tamaño del motor (litros)	Tecnología del motor
Gasolina	<3.5	<1.4	PRE ECE* *(Comité Económico Para Regulaciones Europeas 15)
	>3.5	1.4 – 2.0	ECE 15/00-01
Diésel	>7.5	>2.0	ECE 15/02
	7.5 – 16	-	
Gas Licuado de Petróleo	16 – 32		EURO III
	> 32		EURO IV
			EURO V

(Fuente: SEMARNAT, 2007)

Contaminantes [10]

El modelo COPERT puede estimar emisiones para los compuestos químicos que se muestran en la tabla 1.6. En los hidrocarburos el modelo es capaz de evaluarlos sin necesidad de agruparlos en emisiones contaminantes de una sola familia.

Tabla 1.6 Contaminantes establecidos en el modelo COPERT

Contaminante	Descripción
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CO	Monóxido de carbono
NOx	Óxidos de Nitrógeno
PM	Partículas (con diferentes valores de diámetro)
CO2	Bióxido de Carbono
CH4	Metano
N2O	Óxido Nitroso
NH3	Amoniaco
SO2	Bióxido de Azufre
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
Pb, Cd, Cu, Cr, Zn, Se, Ni	Metales Pesados: Plomo, cadmio, cobre, cromo, zinc, selenio, níquel.

(Fuente: SEMARNAT, 2007)

Insumos [10]

Copert emplea los insumos detallados en la tabla 1.7 para generar el inventario de emisiones vehiculares.

Tabla 1.7 Insumos empleados en el modelo COPERT

Insumo	Insumo
Temperatura máxima y mínima mensual	Distribución de kilómetros recorridos por tipo de vehículo y de vía
Características del combustible (presión de vapor, contenido de azufre, contenido de oxigenantes, contenido de plomo, relación hidrogeno – carbón)	Distribución de velocidad promedio por tipo de vehículo y de vía
Datos sobre consumo de combustible	Distribución del número de arranques por tipo de vehículo
Descripción del programa de inspección y mantenimiento	Distribución de la longitud promedio de los viajes
Distribución de la flota vehicular por clase	

(Fuente: SEMARNAT, 2007)

1.4.3. Modelo MOBILE [1]

Programa integrado conformado por lenguaje de programación Fortran utilizado para el cálculo de factores de emisión para vehículos automotores de gasolina y diésel. Además de ciertos vehículos a gas natural. Actualmente se tiene la versión MOBILE 6.2 y es una herramienta que puede implementarse en varias condiciones geográficas y vehiculares. Inicialmente se empleó en el desarrollo de emisión de fuentes móviles en estados unidos y en otros países que posean mayor flota vehicular con tecnología norteamericana. Los factores de emisión calculados se obtienen en gramos/ milla. Y la estimación total es una estándar según la categoría de la flota vehicular establecida para estudio.

Categorías Vehiculares [1]

Este software puede calcular factores de emisión para 28 categorías vehiculares, las cuales se han definido según el peso bruto vehicular, el tipo de combustible, etc.; otro aspecto importante a considerar es que este programa permite realizar la estimación para modelos de vehículos que estén entre 1952 y 2050, a continuación se presenta en la tabla 1.8 las categorías vehiculares en Mobile6.

Tabla 1.8 Categorías Vehiculares en Mobile 6.

Categoría Vehicular		Descripción
Vehículos a Gasolina	Livianos	Vehículos de pasajeros
	Camiones 1	$0 \leq \text{PBV}^* \leq 2.72 \text{ t}$; $0 \leq \text{PP}^{**} \leq 1.70 \text{ t}$
	Camiones 2	$0 \leq \text{PBV}^* \leq 2.72 \text{ t}$; $1.7 \leq \text{PP}^{**} \leq 2.61 \text{ t}$
	Camiones 3	$2.72 \leq \text{PBV}^* \leq 3.85 \text{ t}$; $0 \leq \text{PPA}^{***} \leq 2.61 \text{ t}$
	Camiones 4	$2.72 \leq \text{PBV}^* \leq 3.85 \text{ t}$; $\text{PPA}^{***} > 2.61 \text{ t}$
	Pesados clase 2b	$3.86 \leq \text{PBV}^* \leq 4.54 \text{ t}$
	Pesados clase 3	$4.54 \leq \text{PBV}^* \leq 6.35 \text{ t}$
	Pesados clase 4	$6.35 \leq \text{PBV}^* \leq 7.26 \text{ t}$
	Pesados clase 5	$7.26 \leq \text{PBV}^* \leq 8.85 \text{ t}$

Categoría Vehicular		Descripción
	Pesados clase 6	$8.85 \leq \text{PBV}^* \leq 11.79 \text{ t}$
	Pesados clase 7	$11.79 \leq \text{PBV}^* \leq 14.97 \text{ t}$
	Pesados clase 8a	$14.97 \leq \text{PBV}^* \leq 27.22 \text{ t}$
	Pesados clase 8b	$\text{PBV}^* > 27.22 \text{ t}$
	Buses	Escolares, transporte urbano e interprovincial
Vehículos a Diesel	Livianos	Vehículos de pasajeros
	Camiones 1 y 2	$0 \leq \text{PBV}^* \leq 2.72 \text{ t}$
	Camiones 3 y 4	$2.72 \leq \text{PBV}^* \leq 3.85 \text{ t}$
	Pesados clase 2b	$3.86 \leq \text{PBV}^* \leq 4.54 \text{ t}$
	Pesados clase 3	$4.54 \leq \text{PBV}^* \leq 6.35 \text{ t}$
	Pesados clase 4	$6.35 \leq \text{PBV}^* \leq 7.26 \text{ t}$
	Pesados clase 5	$7.26 \leq \text{PBV}^* \leq 8.85 \text{ t}$
	Pesados clase 6	$8.85 \leq \text{PBV}^* \leq 11.79 \text{ t}$
	Pesados clase 7	$11.79 \leq \text{PBV}^* \leq 14.97 \text{ t}$
	Pesados clase 8a	$14.97 \leq \text{PBV}^* \leq 27.22 \text{ t}$
	Pesados clase 8b	$\text{PBV}^* > 27.22 \text{ t}$
	Buses	Transporte urbano e interprovincial
	Buses	Escolares
	Motocicletas	Solo gasolina

(Fuente: EPA, 2017)

Contaminantes [1]

El software Mobile 6.2 puede estimar emisiones de varios contaminantes tales como los que se detallan en la siguiente tabla 1.9.

Tabla 1.9 Categorías Vehiculares Mobile6

Contaminante	Descripción
HC	Hidrocarburo (gaseoso)
CO	Monóxido de carbono (gaseoso)
NOx	Óxido de nitrógeno (gaseoso)
CO ₂	Dióxido de carbono (gaseoso)
SO ₄	Sulfato (porción en las partículas de escape)
SO ₂	Dióxido de azufre (gaseoso)
NH ₃	Amoniaco (gaseoso)
BENZ	Benceno
MTBE	Metil terbutil eter
BUTA	1,3-Butadieno
FORM	Formaldehido
ACET	Acetaldehído
ACRO	Acroleína

(Fuente: EPA, 2017)

Insumos [1]

Para la ejecución del programa es necesario ingresar información específica, como se indica en la tabla 1.10.

Tabla 1.10 Insumos considerados por el modelo Mobile 6

Insumo	Insumo
Año modelo	Características del combustible
Año calendario vehicular	Distribución promedio de la duración del viaje
Mes	Tiempo de reposo del vehículo
Altitud	Distribución de kilómetros recorridos según el tipo de carretera
Día (especificación si es entre semana o fin de semana)	Humedad relativa
Temperatura ambiente	Velocidad promedio por hora y tipo de carretera

(Fuente: EPA, 2017)

1.4.4. Modelo IVE [2]

Se conoce al modelo IVE por ser un software creado para acoplarse a las necesidades del usuario con esto se puede generar un modelo de estimación de emisiones propio de la ciudad de estudio. Además, el software puede emplearse para evaluar políticas ambientales que ayuden en la disminución de emisiones contaminantes en la ciudad, en este caso se desarrollara en el distrito metropolitano de Quito.

Cabe destacar que el modelo IVE mencionado ha sido efectuado en 11 ciudades del mundo como Pune (India); Sao Paulo (Brasil), Santiago (Chile) entre otras.

El modelo IVE es una herramienta para países en desarrollo puesto que permite la posibilidad de estimar el inventario de emisiones de vehículos en circulación. De esta forma contribuir con autoridades para el control y la buena planificación de estrategias para el transporte. Algunas características representativas son:

- Uso flexible en el medio
- Fácil adaptabilidad para cualquier tipo de ciudad en cualquier país.
- Para su implementación se requiere una computadora.
- Se emplean mediciones de pruebas en ruta (mediciones de campo)
- Genera resultados “firmes” comparables con otros modelos como MOBILE6

Categorías vehiculares [2]

Se puede estimar a través de IVE las emisiones provocadas a partir de motocicletas, automóviles, buses y camiones. A continuación en la tabla 1.11, se puede distinguir algunos parámetros con criterios para definir las categorías vehiculares en IVE.

Tabla 1.11 Categorías vehiculares IVE

Tipo de combustible	Alimentación del combustible	Uso del vehículo	Tecnología de control de emisiones	Sistema de recuperación de vapores
Gasolina Diésel Gas natural comprimido GNC Gas Licuado de Petróleo – GLP Etanol	Carburador Inyección electrónica central o mono punto Inyección electrónica múltiple Pre cámara de Inyección	Entre 0 km y 25000km Entre 26000 y 50000 km Mayor a 50000 km Menos de 79000 km Entre 80000 km y 161000 km Mayor a 161000 km	Convertidor catalítico de dos vías Convertidor catalítico de tres vías Válvula EGR Híbrido	Sin recuperación Válvula de ventilación positiva Válvula de ventilación positiva y control en el tanque de combustible

Fuente: (International Vehicle Emissions Model, 2007)

Contaminantes [2]

El modelo IVE considera tres grupos de contaminantes:

- contaminantes criterio (CO, NOx, SOx, PM10 y COV)
- sustancias toxicas como (NH3, Benceno, Plomo, Acetaldehídos y formaldehidos)
- gases de efecto invernadero (CO2, N2O, CH4).

Insumos [2]

Además de considerar tipos de contaminantes y las categorías que se señalaron anteriormente, es necesario tomar en cuenta insumos, tabla 1.12, requeridos por el modelo.

Tabla 1.12 Insumos requeridos por el modelo IVE

Insumo	Insumo
Temperatura ambiental	Uso de aire acondicionado
Humedad Relativa	Distribución de flota vehicular
Información sobre características de la gasolina (azufre, plomo, oxigenantes, benceno)	considerando la tecnología
Información sobre las características del diésel	Desglose detallado de actividad estableciendo categoría vehicular
Programa de Inspección y mantenimiento	Número de arranques por día y categoría vehicular, y tiempo de arranques consecutivos

Fuente: (International Vehicle Emissions Model, 2007)

1.5. Determinación del Factor de Emisiones

Como se revisó en la sección 1.3 existen tanto el método directo como el método indirecto para calcular el factor de emisiones; de la variedad de opciones existentes, para este caso de estudio, se seleccionará:

- Método Indirecto: Modelo IVE
- Método Directo: Medición a bordo

Los métodos mencionados se detallarán más adelante en las secciones 1.6 y 1.7.

Independiente del método que se emplee para determinar el factor de emisiones es indispensable en primer lugar, decidir la localidad, el tipo de flota vehicular, las características de combustible y las condiciones ambientales en donde se realizará el estudio.

1.5.1. Localidad [12]

La determinación de localidad para el Distrito Metropolitano de Quito, se realiza en base a los ciclos de conducción desarrollados por los ingenieros Quinchimbla Fredy y Solís Javier [12] quienes determinaron las rutas con mayor flujo vehicular, para realizar una evaluación en ciclos de ciudad, carretera y combinado, siendo las seleccionadas:

- Ruta Carretera: “Inicia en la Forestal (intersección de la Av. Simón Bolívar y Pompeya) para después continuar a través de toda la Av. Simón Bolívar y finalizar en el Supermercado Santamaría de Carapungo (intersección de la Av. Simón Bolívar con Panamericana Norte); recorriendo una distancia de 27410 m.” [12] Como se muestra en la figura 1.8.

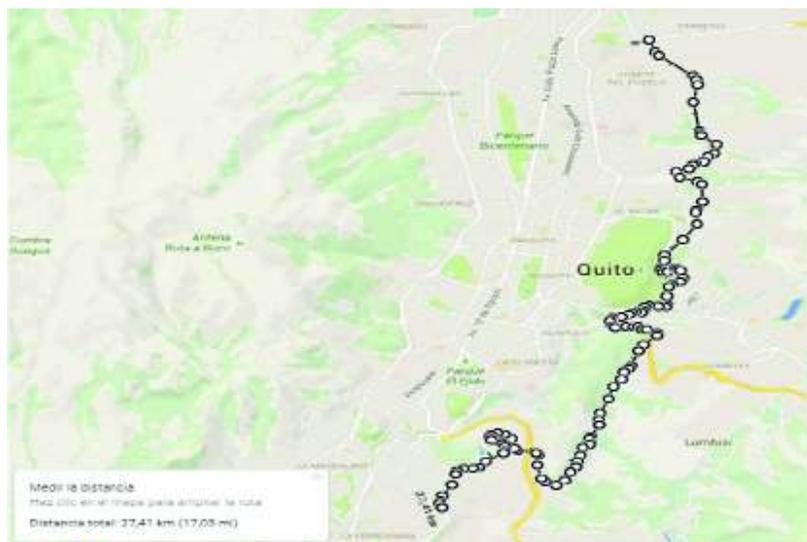


Figura 1.8. Ruta carretera.
(Fuente: Quinchimbla, F., 2016)

- Ruta Combinada:” Inicia en el Puente 5 ubicado en la Av. Rumiñahui para después continuar a través de Av. Rumiñahui, Pichincha, Gran Colombia, 12 de Octubre, Patria, Pérez Guerrero, América, Colón y finaliza en el redondel de la Plaza Artigas (intersección de la Av. Colón con la 12 de Octubre); recorriendo una distancia de 7993 m de parte Suburbana y 7680 m de parte urbana, con una longitud total de 15673 m.” [12] Como se muestra en la figura 1.9.

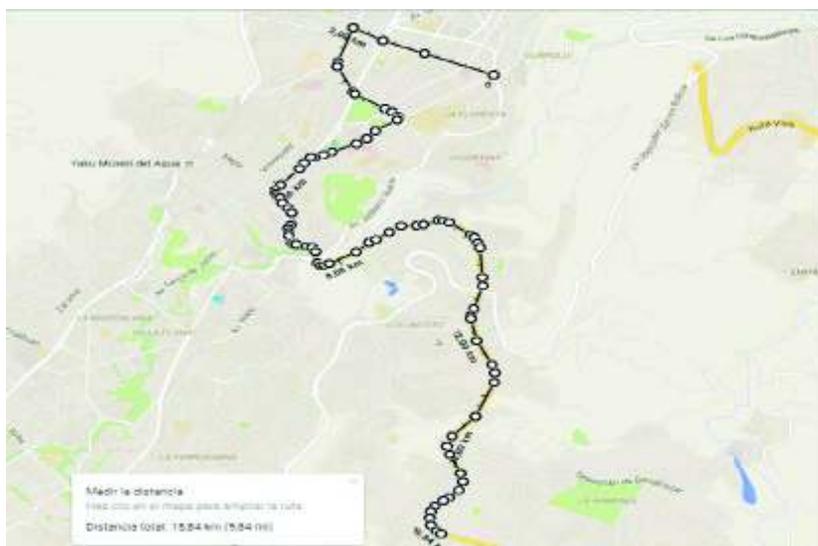


Figura 1.9. Ruta combinada.
(Fuente: Quinchimbla, F., 2016)

- Ruta Ciudad: “Inicia en el redondel Atahualpa para después continuar a través de Av. Alonso de Angulo, Napo, Pichincha, Gran Colombia, 12 de Octubre, Patria, Pérez Guerrero, América, Colón y finaliza en el redondel de la Plaza Artigas; recorriendo una distancia de 11910 m. “ [12] Como se muestra en la figura 1.10.

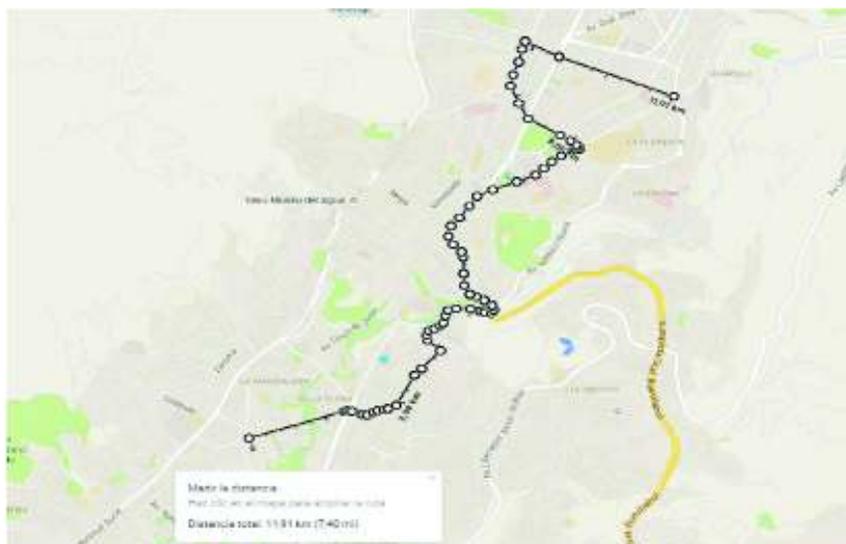


Figura 1.10. Ruta ciudad.
(Fuente: Quinchimbla, F., 2016)

1.5.2. Flota vehicular [13]

La Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador es quien cada año registra el crecimiento del parque automotor convirtiéndose en un referente al momento de la selección de flota vehicular. El anuario 2016, el cual es el último registro, indica el porcentaje de participación de los diferentes vehículos en la provincia de Pichincha como se muestra en la figura 1.11.

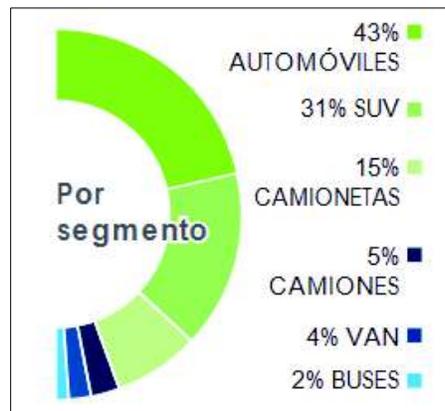


Figura 1.11. Porcentaje de participación vehicular en Pichincha.
(Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2016)

En base al porcentaje presentado se evidencia que los 3 grupos principales son: automóviles, camionetas y SUV.

Del mismo modo en el anuario 2016 se muestra las marcas de vehículos más vendidos en el Ecuador, la figura 1.12, indica las cuatro marcas principales.

VENTAS DE VEHICULOS SEGÚN MARCA

En unidades / porcentaje de participación, 2011-2016

MARCA	2011	%	2012	%	2013	%	2014	%	2015	%	2016	%
CHEVROLET	59 189	42,31%	54 947	45,24%	50 195	44,10%	53 574	44,62%	40 265	49,52%	28 375	44,65%
KIA	11 865	8,55%	10 144	8,35%	12 300	10,91%	12 038	10,03%	7 647	9,40%	8 485	13,35%
HYUNDAI	14 879	10,64%	12 296	10,12%	9 629	8,48%	10 623	8,85%	5 678	6,98%	4 930	7,76%
TOYOTA	6 730	4,81%	6 840	5,63%	6 425	5,65%	6 476	5,38%	3 651	4,48%	2 951	4,64%

Figura 1.12. Principales vehículos vendidos por marca.
(Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2016)

Determinadas cuales son las cuatro marcas más vendidas en el Ecuador, se prosigue a encontrar los dos modelos más vendidos; la figura 1.13, indica las unidades vendidas en el año 2015 y 2016.

Modelo	2015	2016	Modelo	2015	2016
AVEO EMOTION 1.6L 4P GLS	4 030	4 262	RIO R 1.4 4P EX	640	2 228
AVEO FAMILY 1.5L STD	3 574	4 050	Sportage 2.0 LX 4x2	2 156	1 728

Modelo	2015	2016	Modelo	2015	2016
NEW ACCENT 1.6 AC E	1.118	752	NEW HILUX 2.7 CD 4X2 TM	203	563
TUCSON 2.0 MT 4X2 2016	124	711	NEW FORTUNER AC 2.7 5P 4X4 TM	-	392

Figura 1.13. Principales modelos vendidos por marca.
(Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2016)

1.5.3. Características del Combustible [14]

Petroecuador en su último informe de cifras petroleras presentado en 2014 muestra que en el área de gasolinas es la extra la que presenta una mayor acogida tal como se muestra en la figura 1.14.



PRODUCTOS	Enero - Diciembre		Var. % 14/13
	2014	2013	
TOTAL GASOLINAS (Super+Extra+Extra con Etanol)	26.927.070	24.953.209	7,9%
Súper (b)	5.599.248	5.227.228	7,1%
Extra	19.449.325	18.592.536	4,8%
Extra con Etanol (ECOPAÍS)	1.878.497	1.133.444	65,7%

Figura 1.14. Barriles de gasolina producidos en 2014.
(Fuente: EP PETROECUADOR, 2014)

De acuerdo a la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 935 los requisitos que debe tener la gasolina de 87 octanos se detallan en la Tabla 1.13.

Tabla 1.13 Requisitos de la gasolina

Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo
Contenido de Azufre	% ^c	---	0,065
Contenido de Benceno	% ^b	---	1
Contenido de Plomo	mg/L	--	No detectable
Contenido de Oxígeno	% ^c	--	2,7

(Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016)

1.5.4. Condiciones Ambientales [15]

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología lleva la base de las condiciones ambientales en todo el Ecuador; en su último anuario meteorológico indica las condiciones de temperatura y humedad que están presentes a lo largo del año, las mismas que se muestran en la figura 1.15 y serán empleadas en el desarrollo del cálculo de emisiones.

M0024		QUITO INAMHI-INNAQUITO											
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)				
		ABSOLUTAS				M E D I A S			Máxima	dia	Mínima	dia	Media
		Máxima	dia	Mínima	dia	Máxima	Mínima	Mensual					
ENERO	97.8	23.6	1	8.8	1	20.2	10.3	14.1	98	2	47	1	81
FEBRERO	77.5	22.2	14	8.8	12	19.8	10.2	14.1	97	26	52	14	79
MARZO	132.3			8.3	28	22.6	10.8	15.5					78
ABRIL	91.1	23.7	2	8.0	25	20.7	10.5	14.2	98	6	59	23	86
MAYO	150.4	27.4	29	8.4	25	22.1	10.7	15.3	98	1	46	24	79
JUNIO	210.9	24.6	18	8.3	4	22.9	10.7	15.9	96	15	44	22	72
JULIO	224.7	24.8	7	8.0	21	23.6	11.4	16.6					68
AGOSTO	227.8	26.2	7	8.4	12	23.9	10.9	16.2					63
SEPTIEMBRE	240.7	28.0	19	9.2	19	24.5	11.2	16.6	100	28	36	2	62
OCTUBRE	142.6	25.9	10	0.5	13	22.9	10.0	15.2	100	26	39	28	73
NOVIEMBRE				8.2	18		10.5	14.8					79
DICIEMBRE	167.4			7.2	15	22.1	10.0	15.1	98	13	34	12	76
VALOR ANUAL				0.5			10.6	15.3					74

Figura 1.15. Condiciones meteorológicas Quito.
(Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2015)

1.6. Determinación del factor de emisión mediante el método indirecto: Modelo IVE [2]

El software IVE presenta tres componentes esenciales para el cálculo de emisiones:

- Factores de emisión de vehículos (Base de factores de emisión y factores de corrección)
- Actividad Vehicular (Datos de entrada de localidad)
- Distribución de la flota vehicular (Datos de entrada de flota)

Estos tres componentes se encuentran relacionados mediante ecuaciones, las mismas que tienen como objetivo determinar los gramos de contaminante.

1.6.1. Ecuaciones que rigen el funcionamiento [2]

El proceso de cálculo que emplea el modelo IVE para la estimación de emisiones se basa en una multiplicación entre la base de factores de emisión que posee el programa por cada uno de los factores de corrección y por la distancia-vehículo que posee cada tecnología, tal como se muestra en la ecuación 1.5.

$$Q_{[t]} = B_{[t]} \times K_{(1)[t]} \times K_{(2)[t]} \times \dots K_{(x)[t]} \quad \text{Ec.1.5.}$$

Donde:

B: Base de factores de emisión para cada tecnología, por partida [g/partida] o en ruta [g/Km]

K: Factores de corrección

Q: Factores de emisión ajustados para cada tecnología, por partida [g/partida] o en ruta [g/Km]

Los factores de corrección que se emplea se muestran en la tabla 1.13.

Tabla 1.14 Factores de corrección para una localidad específica

Variables Locales	Variables de Calidad de Combustible $K_{(Fuel)[t]}$	Variables de Potencia y Conducción $K_{[dt]}$
Temperatura Ambiente $K_{(Temp)[t]}$	Gasolina total	Potencia Específica
Humedad $K_{(Hmd)[t]}$	Gasolina azufre	Vehicular (VSP)
Altitud $K_{(Alt)[t]}$	Gasolina Plomo	Pendiente
Programas de	Gasolina Benceno	Uso Aire Acondicionado
Inspección/Mantenimiento $K_{(IM)[t]}$	Gasolina Oxigenados	Distribución partida en
Base de factores de corrección	Diesel Total	frio
$K_{(Cmtry)[t]}$	Diesel Azufre	

(Fuente: International Vehicle Emissions Model ,2008)

Previo al cálculo total de los factores de emisión ajustados a cada tecnología, detallado en la ecuación 1.5, se realiza el cálculo de factores tanto de emisiones en ruta como por partida, ecuaciones 1.6 y 1.7.

$$Q_{en\ ruta} = \sum_t \{f_{[t]} \times \sum_d [Q_{[t]} \times \overline{U_{FTP}} \times f_{[dt]} \times K_{[dt]}\}] / \overline{U_C} \quad \text{Ec.1.6}$$

$$Q_{partida} = \sum_t \{f_{[t]} \times Q_{[t]} \times \sum_d [f_{[dt]} \times K_{[dt]}\}] \quad \text{Ec.1.7}$$

Donde:

$f_{[t]}$: Fracción de viaje por tecnología

$f_{[dt]}$: Fracción de tiempo por cada tipo de conducción por tecnología específica

U_{FTP} : Velocidad promedio del ciclo de conducción LA-4, una constante (31,5 km/h), ver

ANEXO I.

U_C : Velocidad promedio del ciclo de conducción específico, ingresado por el usuario [kph]

1.6.2. Patrones de Conducción [2]

Las emisiones que salen del tubo de escape del vehículo se ven afectadas por la velocidad, aceleración y desaceleración al momento de conducir, ya que las variaciones de estas pueden incrementar las emisiones de CO hasta en 200%; es por esto que es importante realizar la caracterización de los patrones de conducción.

El modelo IVE emplea dos parámetros para realizar la caracterización:

- Potencia específica vehicular (VSP en inglés)
- Estrés del motor

Estos indicadores pueden ser determinados si se conoce el tipo de vehículo, el aspecto de la velocidad y la altitud segundo a segundo, ecuaciones 1.8 y 1.9.

$$VSP = v[1,1a + 9,81 (\text{atan}(\sin(\text{pendiente}))) + 0,132] + 0,000302v^3 \quad \text{Ec.1.8}$$

Donde:

$$\text{pendiente} = (h_{t=0} - h_{t=-1}) / v_{(t=-1 \text{ a } 0 \text{ segundos})}$$

v: velocidad [m/s]

a: aceleración [m/s²]

h: altitud [m] [2]

$$\text{Estrés del motor (sin unidades)} = \text{Índice RPM} + \left(0,08 \frac{\text{ton}}{\text{kW}}\right) \times \text{Potencia Prepromedio} \quad \text{Ec.1.9}$$

Donde:

$$\text{Potencia Prepromedio} = \text{Promedio (VSP}_{t=-5s \text{ a } -25s}) \text{ [kW/ton]}$$

$$\text{Índice RPM} = \text{Velocidad}_{t=0} / \text{Divisor velocidad [sin unidades]} \quad \text{Mínimo índice RPM} = 0.9 \text{ [2]}$$

La obtención de velocidad se la realiza mediante el uso de una unidad de posicionamiento global satelital combinado (GPS), la misma que debe ser procesada, como resultado de este procesamiento se obtiene la fracción de tiempo recorrido en cada una de las categorías de VSP y estrés. El modelo IVE cuenta con 3 categorías para estrés y 20 para VSP con un total de 60 bins, ver **ANEXO II**.

1.6.3. Condiciones de manejo del vehículo [16]

El patrón de conducción de un vehículo influye muy notablemente en la cantidad de combustible que consume, y además en las emisiones que el motor emite al ambiente. Se debe marcar relevancia en la forma de conducción apropiada puesto que esto es

beneficioso para el medio ambiente y para la economía de los usuarios. En las pruebas en ruta se siguen las siguientes recomendaciones:

- Después de arrancar el motor acelerar suavemente el vehículo, al igual que cuando el automóvil se haya parado completamente en algún semáforo o por algún otro motivo.
- De ser posible, desacelerar el motor, disminuyendo paulatinamente las marchas, y antes de detener el vehículo completamente accionar el embrague cuando la velocidad sea muy baja.
- Detener el vehículo cuando sean casos de emergencia, tráfico o señales de tránsito así lo indiquen.
- No realizar cambios de marcha innecesarios a lo largo del recorrido.

1.6.4. Patrones de Partida [2]

El tipo de partida tiene un impacto considerable en las emisiones que salen por el tubo de escape, siendo el periodo de Soak el efecto más predominante antes de que se produzca la partida. El modelo considera que se tiene una partida en frío cuando el motor ha reposado por 18 horas o más, en cambio, considera como una partida en caliente cuando el motor es apagado por 5 minutos o menos antes de ponerse en marcha.

El Soak del motor es el periodo que el motor en caliente ha estado apagado antes de que sea puesto en marcha nuevamente. La figura 1.16, indica los grupos de Soak que tiene el modelo IVE.

Descripción de Bin	Comienzo de Periodo de Soak (minutos)	Final de Periodo de Soak (minutos)
15 min	0	15
30 min	16	30
1 hora	31	60
2 horas	61	120
3 horas	121	180
4 horas	181	240
6 horas	241	360
8 horas	361	480
12 horas	481	720
18 horas	721	n/a

Figura 1.16. Categorías de Soak.
(Fuente: International Vehicle Emissions Model ,2008)

1.6.5. Equipos Utilizados

1.6.5.1. GPS: sistema de posicionamiento Global

En la metodología empleada para vehículos en ruta es necesario contar además con equipos que permitan proporcionar datos de velocidad, distancia y tiempo. Esto conlleva a que se requiera de un GPS con alto rendimiento en cuanto a exactitud y posicionamiento. Se emplea un GPS NEO- 6, figura 1.17., el cual presenta características ideales por diseño compacto y con un receptor confiable, posee un motor de posicionamiento U-blox6, con 50

canales y un Time-To-First-Fix (TTFF) inferior a un segundo, complementando a esto posee 2 millones de correladores en el motor de adquisición, permitiendo ubicar satélites necesarios instantaneamente. [12]

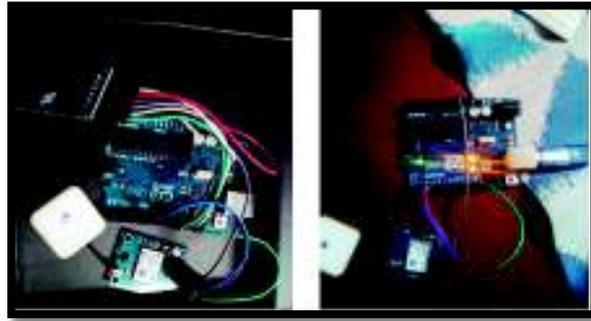


Figura 1.17. GPS NEO 6 en construcción y en Funcionamiento.
Fuente: (Propia)

1.6.6. Protocolo de uso

Objetivo

Conocer el procedimiento para usar el software IVE.

Involucrados en el proceso

Usuario

Conjunto de actividades

1. Situar al vehículo en el inicio de la ruta que se va realizar.
2. Conectar el GPS al puerto USB del vehículo y recolectar datos de velocidad y altitud a cada segundo de la ruta planteada.
3. Procesar los datos obtenidos realizando un filtrado.
4. Obtener los bins VSP a partir de los datos procesados.
5. Ingresar a la pestaña flota y crear un nuevo archivo seleccionando la tecnología que más se adapte a los vehículos elegidos.
6. Colocar el valor proporcional que corresponde a cada tecnología agregada a la flota.
7. Colocar el valor proporcional del uso de aire acondicionado que corresponde a cada tecnología ingresada en la flota.
8. Ingresar a la pestaña localidad y registrar las características de conducción para bins VSP y bins Soak así como el número de partidas.
9. Incorporar las condiciones ambientales y características del combustible.
10. Indicar el tipo de programa de inspección/ mantenimiento.
11. Unir la flota creada al archivo localidad.
12. Realizar el cálculo para el archivo localidad-flota creado.

13. Dividir los resultados obtenidos en gramos para la distancia recorrida y obtener el factor de emisión.

Datos de Entrada

1. Distribución de tecnología vehicular
2. Distribución de aire acondicionado
3. Ajuste de factores de emisión por tecnología y por contaminante
4. Temperatura
5. Lugar y fecha
6. Pendiente
7. Programa de inspección y mantenimiento
8. Información de combustible: gasolina o diesel
9. Uso de aire acondicionado a 27°C
10. Distribución de patrones de conducción
11. Distribución del tiempo soak
12. Distancia de localidad

Datos de Salida

Emissiones en partida y emisiones en ruta.

La arquitectura del software IVE se muestra en la figura 1.18.

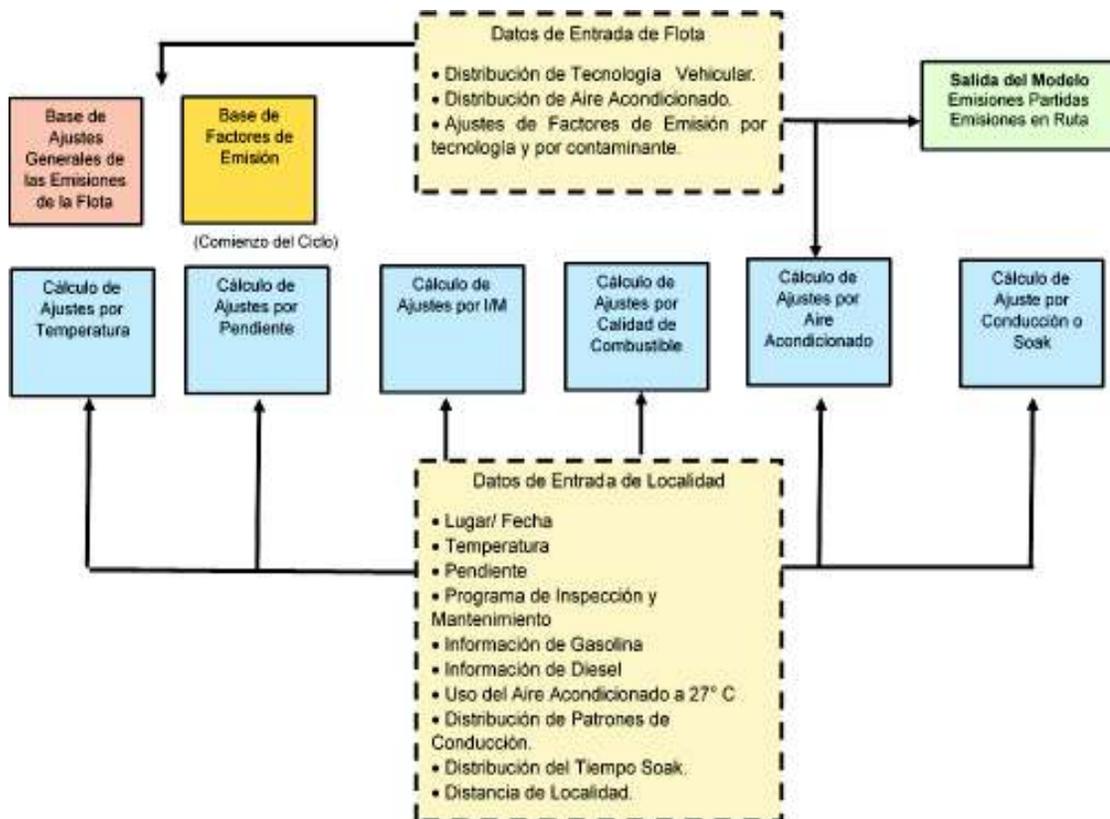


Figura 1.18. Proceso para la estimación de emisiones.
(Fuente: International Vehicle Emissions Model ,2008)

1.7. Determinación del factor de emisión con el método directo:

Medición a bordo

La medición a bordo consiste en realizar pruebas en ruta con la ayuda de un equipo de medición de gases y consumo de combustible, para luego procesar la información con la ayuda de un modelo para así determinar el factor de emisión.

1.7.1. Modelo Simplificado de la Combustión [17]

Como bases para el cálculo de la combustión es necesario emplear una ecuación equivalente aplicada para el combustible. El combustible se plantea que está compuesto de carbono e hidrogeno además de otras cantidades despreciables de especies que contribuyen al balance de masa. En la tabla 1.15, se muestra la cantidad en peso y molecular equivalente para el combustible en este caso es la gasolina (C₈H₁₈).

Tabla 1.15 Equivalente molecular para combustible 84.21 % de C y 15.79% de H

Componente	g por 100 g combustible	Peso molecular	gmol por 100 g combustible	gmol por gmol C
Carbono	84,21	12	7,02	1,00
Hidrógeno	15,79	1	15,79	2,25

(Fuente: propia)

Se establece en forma general, la formula equivalente molecular CH_y .

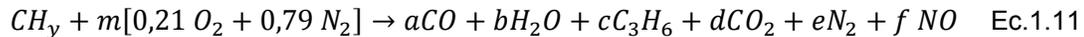
$$y = \left(\frac{\% \text{ peso H}}{\% \text{ peso C}} \right) \left(\frac{MW_C}{MW_H} \right) \quad \text{Ec.1.10}$$

Dónde:

MWC= peso molecular del carbono

MWH= peso molecular del hidrógeno

Se consideran como productos de combustión son los siguientes: CO, H₂O, C₃H₆, CO₂, y NO. El balance para la combustión sin considerar el exceso de oxígeno está dado por:



Donde las variables a, b, c, d, e, f y m son los coeficientes estequiométricos desconocidos.

En la tabla 1.16 se muestra cómo se pueden escribir las ecuaciones del balance de número de átomos para cada elemento:

Tabla 1.16 Balance de Número de átomos de la ecuación de combustión.

ELEMENTO	REACTANTES		PRODUCTOS	N. DE ECUACIÓN
Carbono (C)	1	=	a+3c+d	(1.12)
Hidrógeno (H)	4	=	2b+6c	(1.13)
Oxígeno (O)	0,42	=	a+b+2d+f	(1.14)
Nitrógeno (N)	1,58	=	2e+f	(1.15)

(Fuente: FREY H., EICHENBERGER D. Remote Sensing of Mobile Source Air Pollutant Emissions, North Carolina State University, June 1997).

Mediante el análisis de gases para la prueba estacionaria y en ruta, se determinan las concentraciones volumétricas de los mismos, considerándose estas como concentraciones molares y los gases ideales

Se pueden introducir las siguientes ecuaciones:

$$R_{CO} = \left(\frac{\%CO}{\%CO_2} \right) = \frac{a}{d} \quad \text{Ec.1.16}$$

$$R_{HC} = \left(\frac{\%HC}{\%CO_2} \right) = \frac{c}{d} \quad \text{Ec.1.17}$$

$$R_{NO} = \left(\frac{\%NO}{\%CO_2} \right) = \frac{f}{d} \quad \text{Ec.1.18}$$

Dónde: R_{CO} , R_{HC} , R_{NO} son las razones de % CO a % CO_2 , % HC a % CO_2 , y % NO a % CO_2 , respectivamente.

De estas ecuaciones se obtiene que:

$$a = R_{CO}d$$

$$c = R_{HC}d$$

Reemplazando estas relaciones en la ecuación (1.12) se obtiene:

$$d = \frac{1}{R_{CO}+3R_{HC}+1} \quad \text{Ec.1.19}$$

Los factores de emisión en gramos de contaminante por kilogramo de combustible está dado por:

$$F_{CO} = \frac{aMW_{CO}}{MW_{comb}} \quad \text{Ec.1.20}$$

$$F_{HC} = \frac{cMW_{HC}}{MW_{comb}} \quad \text{Ec.1.21}$$

$$F_{NO} = \frac{fMW_{NO}}{MW_{comb}} \quad \text{Ec.1.22}$$

Para la gasolina (C₈H₁₈), el equivalente es CH_{2.25}, y se tiene:

$$F_{CO} = \frac{R_{CO}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{aMW_{CO}}{MW_{comb}} \quad \text{Ec. 1.23}$$

$$F_{HC} = \frac{R_{HC}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{cMW_{HC}}{MW_{comb}} \quad \text{Ec. 1.24}$$

$$F_{NO} = \frac{R_{NO}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{fMW_{NO}}{MW_{comb}} \quad \text{Ec. 1.25}$$

El peso molecular del combustible (gasolina extra):

$$MW_{comb} = \frac{12g C}{mol C} * \left(\frac{1mol C}{mol comb} \right) + \frac{1g H}{mol H} * \left(\frac{2.25mol H}{mol comb} \right) = 14.25 \frac{g comb}{mol comb}$$

$$MW_{comb} = 0.01425 \frac{kg comb}{mol comb}$$

Si la densidad de combustible es ρ_{comb} (kg/m³) y el consumo de combustible en una distancia recorrida es CC (m³/km), entonces se obtienen así los factores de emisión en gramos de contaminante por kilómetro recorrido, así:

$$F'_{CO} = F_{CO} * \rho_{comb} * CC$$

$$\frac{g CO}{km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2} \right) + 1} * \frac{\rho_{comb} * CC}{0.01425} \quad \text{Ec. 1.26}$$

De igual forma para los otros contaminantes:

$$\frac{g HC}{km} = \frac{42 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2} \right) + 1} * \frac{\rho_{comb} * CC}{0.01425} \quad \text{Ec. 1.27}$$

$$\frac{g CO}{km} = \frac{30 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2} \right) + 1} * \frac{\rho_{comb} * CC}{0.01425} \quad \text{Ec. 1.28}$$

1.7.2. Equipos Empleados para medición de consumo de combustible

1.7.2.1. Tanque de presión de combustible (CANISTER)

Se emplea como un tanque externo conectado al vehículo para poder cuantificar la cantidad de combustible que fue consumida por el vehículo en las rutas de prueba. Consta de algunos elementos como: Manómetro, mangueras de presión, válvulas de paso. Figura 1.19.



Figura 1.19. Tanque de presión de combustible (Canister).
Fuente: (Propia)

Las características del canister se presentan en la tabla 1.17.

Tabla 1.17 Especificaciones técnicas del canister de combustible

Detalle	Valor
Cantidad de llenado máx.	5 l
Contenido total del depósito	8 l
Tasa de flujo máxima	1 l/min
Presión admisible de servicio	6 bar
Temperatura de trabajo	$\pm 0 \text{ }^\circ\text{C} < T < 50 \text{ }^\circ\text{C}$

(Fuente: Portilla, A., 2018)

1.7.2.2. Matraz

Es el recipiente empleado para realizar la medición exacta de cuanto combustible se ha consumido en la ruta. Figura 1.20.



Figura 1.20. Matraz empleado en la medición.
(Fuente: Propia)

1.7.3. Equipos Empleados para medición de gases

1.7.3.1. Analizador de gases On Board

Consiste en un sistema de diagnóstico a bordo, que posee una aproximación confiable en cuanto a datos cuantificados de emisiones vehiculares durante el recorrido en tiempo real de un vehículo. La tecnología que presentan estos equipos de medición puede variar según

la precisión que se requiera en los resultados y la aplicación de estos. La figura 1.21, muestra un analizador de gases On Board instalado en un vehículo.



Figura 1.21. Equipo On Board instalado en el asiento posterior del vehículo.
(Fuente: Propia)

La tabla 1.18 muestra las especificaciones del equipo a emplearse.

Tabla 1.18 Especificaciones técnicas del analizador de gases On Board

Nombre del Equipo: Axion Go	
Detalle	Valor
Principio de medición (HC,CO,CO ₂)	Espectrometría de infrarrojo NDIR- Non Dispersive Infrared Detector
Principio de medición (O ₂ ,NO)	Detección electroquímica
Tensión de Alimentación	12-24 V DC / 5-8 A
Índice de flujo	5 l / min
O ₂ -Rango de medición / Precisión / Resolución	0.00 – 25.00 % / ±0.1% abs. or ±3% rel / 0.01 Vol. %
CO-Rango de medición / Precisión / Resolución	0.00 – 10.00 % / ±0.02% abs. or ±3% rel. / 0.001 Vol. %
NO _x -Rango de medición / Precisión / Resolución	0-4000 (ppm) / ±25 ppm abs. or ±4% rel. / 1 ppm
CO ₂ -Rango de medición / Precisión / Resolución	0.00 – 16.00 % / ±0.3% abs. or ±3% rel. / 0.01 Vol. %
HC(Propano)-Rango de medición / Precisión / Resolución	0 - 4000 ppm / ±8 ppm abs. or ±3% rel. / 1 ppm

(Fuente: Portilla, A., 2018)

Mediante el equipo On Board señalado anteriormente se obtienen los contaminantes en porcentaje en volumen, para el caso del CO₂ y el CO, y en partes por millón, para el caso de HC y NO_x.

1.7.3.2. Sonda de gases de combustión

Es el elemento que permite recolectar las emisiones que fueron producidas por el motor y enviarlas al analizador de gases. Figura 1.22.



Figura 1.22. Sonda para gases de combustión.
(Fuente: Propia)

1.7.4. Protocolo de Pruebas

1.7.4.1. Consumo de combustible

Objetivo

Determinar el consumo de combustible de un vehículo en una ruta trazada.

Involucrados en el proceso

Técnico responsable

Conjunto de actividades

1. Verificar que el vehículo que va a someterse a la prueba se encuentre en condiciones mecánicas buenas.
2. Situar al vehículo en el inicio de la ruta que se va realizar.
3. Identificar los puntos de ingreso de combustible y de ser el caso de retorno en la parte del motor.
4. Desconectar los puntos seleccionados previamente y reemplazarlos por las mangueras para la instalación del Canister.
5. Conectar el Canister a la toma de ingreso de combustible y de ser el caso también al retorno al motor.
6. Verificar que no existan fugas en las conexiones realizadas ya que de ser el caso no se puede seguir avanzando mientras estas no hayan sido reparadas.
7. Medir en el matraz 5 litros y colocarlos en el Canister.
8. Presurizar el Canister con una presión de funcionamiento del sistema de alimentación del vehículo según sea el caso, considerando el cilindraje del motor de cada uno.
9. Iniciar la ruta de conducción establecida.

10. Al finalizar la ruta cerrar las válvulas de las mangueras del canister, desconectarlo, y proceder a medir el combustible consumido con ayuda de una probeta de medición de volumen de un litro.

Entradas

1. Canister
2. Vehículo
3. Gasolina
4. Matraz

Salida

Cantidad de combustible consumido.

1.7.4.2. Emisiones contaminantes

Objetivo

Determinar la cantidad de gases que se obtienen en un vehículo al recorrer una ruta trazada.

Involucrados en el proceso

Técnico responsable

Conjunto de actividades

1. Verificar que el vehículo que va a someterse a la prueba se encuentre en condiciones mecánicas buenas.
2. Situar al vehículo en el inicio de la ruta que se va realizar.
3. Instalar el equipo On Board asegurándolo para evitar golpes al momento de la conducción.
4. Conectar la sonda al tubo de escape del vehículo procurando asegurarla lo suficiente para evitar caídas.
5. Prender el vehículo.
6. Esperar el tiempo necesario para que el equipo On- Board pueda encenderse.
7. Después del encendido conectar la sonda al equipo On Board e iniciar la ruta de conducción establecida.
8. Al finalizar la ruta de conducción terminar el ciclo de pruebas en el equipo On Board y desconectar la sonda del mismo.

Entradas

1. Analizador de gases On Board
2. Vehículo
3. Sonda de gases de combustión

Salida

Emisiones contaminantes emitidas durante el recorrido de la ruta.

2. METODOLOGÍA

Antes de determinar el factor de emisión vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito es necesario mencionar que se debe realizar la selección de tipo de vehículos y la metodología a emplearse tanto en el software IVE como en el equipo On Board considerando las rutas de ciudad, combinado y carretera.

2.1. Selección de los Vehículos

Para la selección de la flota se hace referencia al anuario de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE, descrito en la sección 1.5.2 del presente documento. La flota seleccionada a emplearse será:

- Vehículo 1: Toyota Hilux (Camioneta)
- Vehículo 2: Hyundai Tucson (SUV)
- Vehículo 3: Chevrolet Aveo Family (Automóvil)

Las características de los vehículos 1, 2 y 3 se detallan en las tablas 2.3, 2.4, 2.5 respectivamente.

Tabla 2.1 Características del vehículo 1

Esquema	Características
	<ul style="list-style-type: none">- Marca: Toyota- Modelo: BRT Hilux- Año: 2008- Cilindraje: 2694 cm³- Peso: 2,715 t- Kilometraje: 83000 Km- Combustible: Gasolina Extra- Sistema de inyección: Multipunto- Válvula EGR: No- Válvula PCV: Si- Catalizador: 3 vías- Aire acondicionado: Si

(Fuente: Propia)

Tabla 2.2 Características del vehículo 2

Esquema	Características
	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Hyundai - Modelo: Tucson IX - Año: 2013 - Cilindraje: 1998 cm³ - Peso: 1,385 t - Kilometraje: 60000 Km - Combustible: Gasolina Extra - Sistema de inyección: Multipunto - Válvula EGR: No - Válvula PCV: Si - Catalizador: 3 vías - Aire acondicionado: Si

(Fuente: Propia)

Tabla 2.3 Características del vehículo 3

Esquema	Características
	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Chevrolet - Modelo: Aveo Family - Año: 2017 - Cilindraje: 1498 - Peso: 1,04 t - Kilometraje: 23000 Km - Combustible: Gasolina Extra - Sistema de inyección: Multipunto - Válvula EGR: No - Válvula PCV: Si - Catalizador: 3 vías - Aire acondicionado: Si

(Fuente: Propia)

2.2. Determinación del factor de emisión mediante el Software IVE

A continuación, se describe la metodología empleada, siguiendo el protocolo mencionado en el punto 1.6.6, para el vehículo 1 y para la ruta de carretera ya que de manera similar se procedió para los vehículos 2 y 3 y para las rutas de ciudad y combinada

2.2.1. Obtención de velocidad y altitud

Los datos de velocidad y altitud se alcanzaron mediante el uso del GPS NEO-6 descrito en la sección 1.6.5, el cual se conecta al vehículo y se procede a recorrer las rutas seleccionadas, la figura 2.1., muestra la curva de velocidad obtenida.

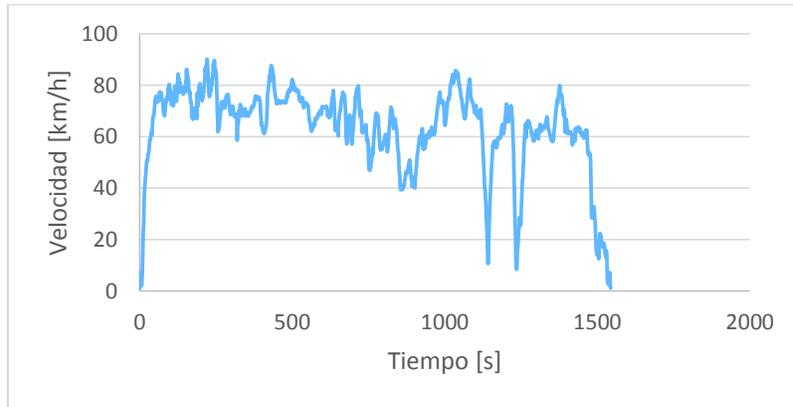


Figura 2.1. Curva de velocidad obtenida con GPS NEO-6.
(Fuente: Propia)

2.2.2. Filtrado de datos

Debido a que no se cuenta con un patrón de conducción específico para esta ruta es necesario realizar el filtrado de datos para disminuir los cambios bruscos existentes a lo largo del recorrido; para lo cual se emplea el programa de filtrado de datos del Ingeniero Byron Torres [21], como se indica en la figura 2.2.



Figura 2.2. Aplicación de filtrado de datos.
(Fuente: Romero Torres, 2017)

Las curvas de velocidad y altitud suavizadas de cada ruta se muestran en el capítulo tres.

2.2.3. Cálculo de bins

Realizado el suavizado de las curvas de velocidad y altitud se procede a realizar el cálculo de bins, que posteriormente serán utilizados en el programa IVE, mediante el programa desarrollado por el ingeniero Byron Romero [21], como se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.3. Aplicación para el cálculo de bins.
(Fuente: Romero Torres, 2017)

2.2.4. Creación del archivo flota

En base a las características del vehículo mencionadas en el apartado 2.1 se selecciona la categoría más adecuada de la base de datos del IVE, con lo cual se crea un nuevo archivo de flota, el cual tendrá un solo vehículo a considerarse como una flota vehicular completa, por lo cual se coloca el valor de 100%, tal como se muestra en la figura 2.4.



Figura 2.4. Archivo de Flota creado.
(Fuente: Propia)

2.2.5. Creación del archivo localidad

Obtenidos los bins en el apartado 2.2.3 se completan los parámetros de localidad, anexando la flota creada, sección 2.2.4, datos de partida, punto 1.6.4, las condiciones ambientales, apartado 1.5.4, características del combustible señaladas en la sección 1.5.3. y por último se selecciona el día en que se desea estimar las emisiones . El archivo localidad creado se muestra en la figura 2.5.

Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares

Localidad

Localidad: FORESTAL-CARAPUNGO
 Flota: TOYOTA HILUX
 Ajustes Generales: - ninguno -

Día: 02, Mes: Marzo, Año: 2018
 Día de la Semana: Viernes, Altitud: 2750.8 metros
 Tipo de I/M: ralentí descentralizado (veh. pas.)
 Aire Acondicionado a 27°C: 50.0 %
 Pendiente Terreno: 0.0 %

Características Combustible

Gasolina: Clases: moderada/premez...
 Azufre (S): alto (600ppm)
 Plomo (Pb): ninguno
 Benzeno: moderado (1.50%)
 Oxigenados: 2.5%

Diesel: Clases: moderado
 Azufre (S): moderado (500ppm)

Hora: 18:00 Use esta Hora

Características de Conducción

Humedad: 78.0 %
 Temperatura: 59.9 °Fahrenheit

Distancia/Tiempo: 27.3 kilómetros
 Partidas: 3.0

Grupo 1					Grupo 2				
Sin VSP 0	Sin VSP 1	Sin VSP 2	Sin VSP 3	Sin VSP 4	Sin VSP 5	Sin VSP 6	Sin VSP 7	Sin VSP 8	Sin VSP 9
						0.39	1.44	3.33	8.29
Sin VSP 10	Sin VSP 11	Sin VSP 12	Sin VSP 13	Sin VSP 14	Sin VSP 15	Sin VSP 16	Sin VSP 17	Sin VSP 18	Sin VSP 19
21.08	19.13	12.79	8.03	9.33		7.7			
Sin VSP 20	Sin VSP 21	Sin VSP 22	Sin VSP 23	Sin VSP 24	Sin VSP 25	Sin VSP 26	Sin VSP 27	Sin VSP 28	Sin VSP 29
Sin VSP 30	Sin VSP 31	Sin VSP 32	Sin VSP 33	Sin VSP 34	Sin VSP 35	Sin VSP 36	Sin VSP 37	Sin VSP 38	Sin VSP 39
					3.79	4.37	0.33		
Sin VSP 40	Sin VSP 41	Sin VSP 42	Sin VSP 43	Sin VSP 44	Sin VSP 45	Sin VSP 46	Sin VSP 47	Sin VSP 48	Sin VSP 49
Sin VSP 50	Sin VSP 51	Sin VSP 52	Sin VSP 53	Sin VSP 54	Sin VSP 55	Sin VSP 56	Sin VSP 57	Sin VSP 58	Sin VSP 59

Velocidad Promedio: 63.6 km/hr

Total: 100.0 % Distribución Potencia Especifica Vehicular

15 min: 50.0, 30 min: , 1 hora: , 2 horas: , 3 horas: , 4 horas: , 6 horas: , 8 horas: , 12 horas: , 18 horas: , Total: 100.0 % Distribución Tiempo Soak

Figura 2.5. Archivo Localidad creado.
(Fuente: Propia)

2.2.6. Cálculo de emisiones totales

Creado el archivo de localidad, descrito en el apartado anterior, se procede a ejecutar el programa desde la pestaña de cálculo para obtener los resultados en gramos de contaminantes, para este caso se realizó el cálculo para una hora, como se muestra en la figura 2.6.

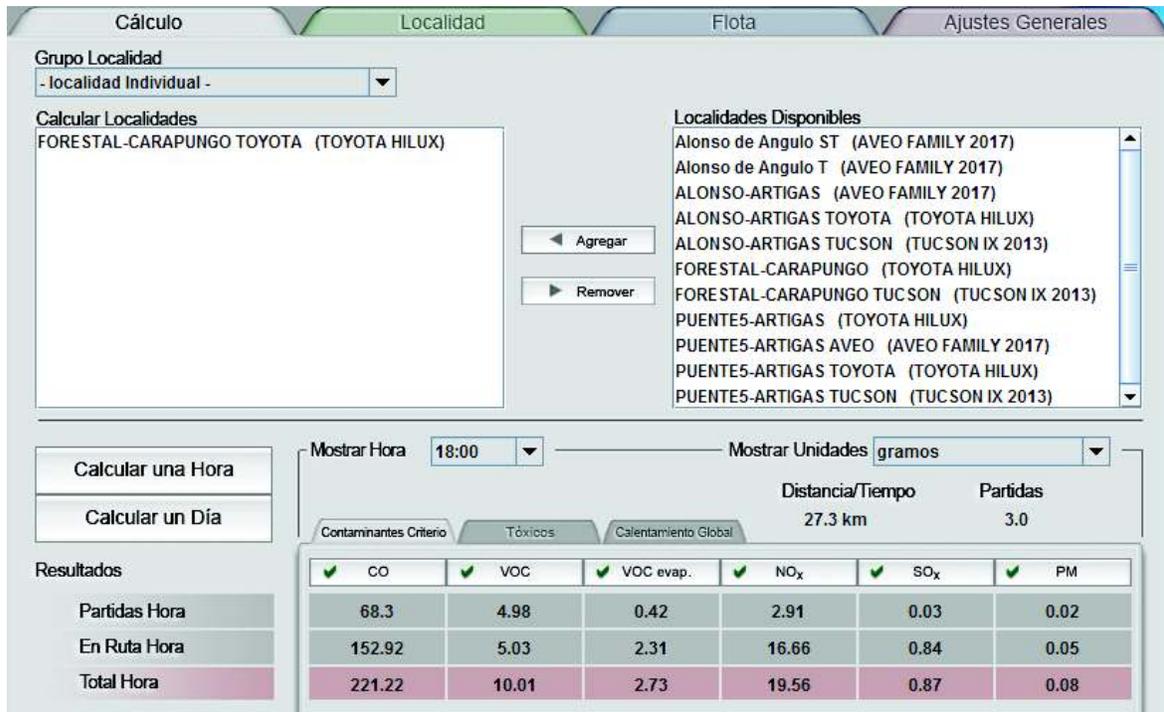


Figura 2.6. Cálculo de emisiones contaminantes.
(Fuente: Romero Torres, 2017)

2.2.7. Cálculo del Factor de emisión

Como se mencionó en el apartado anterior los resultados que presenta IVE son emisiones totales en gramos, por lo cual se procede a realizar la división de este dato por la distancia recorrida para así obtener el factor de emisión.

$$FCO = \frac{gCO}{\text{distancia en km}}$$

$$FHC = \frac{gHC}{\text{distancia en km}}$$

$$FNOx = \frac{gNOx}{\text{distancia en km}}$$

Los factores de emisión calculados se presentan en el capítulo tres.

2.3. Determinación del factor de emisión con medición a bordo.

Para el desarrollo del presente trabajo se trabajó bajo disposición del CCICEV de la Escuela Politécnica Nacional, siguiendo el protocolo de pruebas, mencionado en la sección 1.7.4.

A continuación, se detalla el procedimiento que se siguió para el vehículo 1 en la prueba 1 de la ruta en ciudad.

2.3.1. Verificación de las condiciones del equipo

Se establece una ficha técnica de registro para cada uno de los vehículos, como se muestra en la figura 2.7 para el vehículo 1. Las fichas de los otros dos vehículos se puntualizan en el **ANEXO III**.

Datos del Vehículo				Ficha No.	1		
Marca:	Toyota	clase:	N_1 Camioneta	color	Blanco		
No. Chasis:	MROFX29G782700326	No. Motor:	2TR6449744				
Kilometraje:	83625		Codigo Institucional				
Estado General Actual del Vehículo							
SISTEMA	B	R	M	SISTEMA	B	R	M
SISTEMA DE DIRECCION	X			ESTADO DE LOS NEUMÁTICOS	X		
Maniobrabilidad de la dirección	X			Presión de Inflado	X		
Sonidos al girar a los topes	X			Estado de la banda de rodadura	X		
Funcionamiento del sistema de asistenci	X			Desgaste uniforme	X		
SISTEMA DE SUSPENSIÓN	X			Montaje de los neumaticos nomina	X		
Estado de amortiguadores	X			CHASIS	X		
Estado de elementos de amortiguacion	X			Apariencia libre de fisuras, golpes	X		
Ipeteo al cruzar por superficies irregula	X			Estado de uniones y ensambles	X		
SISTEMA DE FRENOS	X			CARROCERIA	X		
Precision y respuesta al frenar	X			Acople de puertas en sus alojami	X		
Fugas del fluido del sistema	X			Acople de capo en su alojamiento	X		
Desgaste de zapatas y otros elementos	X			Cerraduras de Puertas y Capo	X		
SIST. ELECTRICOS Y ELECTRONICOS	X			Estado de latonería	X		
Sistema de arranque	X			SISTEMA DE TRANSMISIÓN	X		
Sistema de carga	X			Acople eficaz del embrague	X		
Sistema de alumbrado	X			Sonidos en el sincronizado	X		
Sistemas electronicos	X			Sonido en corona/s	X		
MOTOR	X			Estado de los rodillos de rueda	X		
Fuga de fluidos o combustible	X			NIVELES DE FLUIDOS	X		
Analisis visual del aceite	X			Aceite de motor	X		
Estado de arneses cables y cañerías	X			Aceite de sist. Dirección	X		
Estabilidad en ralentí	X			Aceite de caja de velocidades	X		
Desarrollo en aceleración	X			Aceite en la/s corona/s	X		
Mantenimiento a plena carga	X			Aceite del transfer	X		
Temperatura del motor	X			Líquido refrigerante motor	X		
Coloracion de gases de escape	X			Líquido de frenos	X		
Funcionamiento de sistemas auxiliares	X			Aire acondicionado	X		
ESTADO	B=BUENO		R=REGULAR			M=MALO	
OBSERVACIONES:							
Revisión:		Km/año		Fecha	23/02/2018		

Figura 2.7. Ficha de inspección Toyota Hilux.
(Fuente: Quinchimbla, F., 2016)

2.3.2. Instalación de los equipos

Verificadas las condiciones del vehículo, se sitúa el vehículo al inicio de la ruta seleccionada y se realiza la instalación de los equipos para medición de emisiones contaminantes y para determinación de consumo de combustible, con ello se procede a iniciar el recorrido. La figura 2.8 muestra los equipos instalados en el vehículo.



Figura 2.8. Equipos instalados en el vehículo.
(Fuente: Propia)

2.3.3. Desarrollo de la ruta

Instalados los equipos se procede a realizar la conducción a través de las rutas seleccionadas en la sección 1.5, una vez finaliza la ruta se realiza la medición del consumo, como se muestra en la figura 2.9., y se procede a guardar el archivo de emisiones obtenido con el equipo On Board.



Figura 2.9. Medición de consumo.
(Fuente: Propia)

Finalizadas las pruebas en el día se realiza la tabulación de los resultados obtenidos con el equipo On Board, eliminando datos atípicos que se registran a lo largo de la prueba. Las pruebas se realizaron tres veces por vehículo y por ruta, dando como resultado 27 mediciones válidas, las pruebas fueron realizadas en días laborables para el vehículo 1 y 3 y en fin de semana para el vehículo 2, las horas en las que se iniciaron las pruebas fueron: ciclo de ciudad: 13:00, ciclo combinado: 10:00, ciclo de carretera: 18:00 La tabulación de todas las mediciones se muestra en el **ANEXO IV**.

2.3.4. Cálculo del factor de emisiones

Con los datos promedio de emisiones contaminantes y consumo de combustible se procede a realizar el cálculo del factor de emisiones mediante el modelo simplificado de la combustión explicado en la sección 1.7.

Los factores de emisión obtenidos se muestran en el capítulo tres.

2.4. Comparación datos de emisiones de fabricante y datos obtenidos.

Para obtener un criterio de la variación que existe entre los resultados obtenidos con IVE y los obtenidos en ruta se realiza una comparación con los datos de rendimiento y emisiones de las fichas técnicas de los fabricantes de los vehículos, los mismos que se detallan a continuación en la tabla 2.6:

Tabla 2.4 Datos del fabricante

VEHÍCULO	RENDIMIENTO EN CONDICIONES CONTROLADAS			EMISIONES CONTAMINANTES		
	Ciudad [km/l]	Carretero [km/l]	Combinado [km/l]	CO2* [g/km]	Annual CO2 [kg]	NOx [g/km]
TOYOTA BRT HILUX	8,7	11,5	9,77	318	4,77	28/1000
HYUNDAI TUCSON IX	11,75	16,77	13,58	229	3,435	19/1000
CHEVROLET AVEO FAMILY	14,62	22,61	17,39	179	2,685	8/1000

*Los datos son obtenidos con pruebas de ciudad

(Fuente: <http://www.ecovehiculos.gob.mx>)

Para el caso del software IVE se determina los gCO2/km para el ciclo de ciudad dividiendo los gramos totales obtenidos para los kilómetros recorridos como se muestra a continuación:

$$emisiones\ contaminantes = \frac{gramos\ CO_2}{km}$$

Los resultados obtenidos para todos los vehículos se muestran en el capítulo 3.

Para el caso de los datos obtenidos en ruta se determina los gCO2/km empleando el factor de emisión para la gasolina de 2,38 kg de CO₂/litro indicado en la Guía Práctica Para El Cálculo De Emisiones De Gases De Efecto Invernadero. [22]

Para obtener el rendimiento se procede a dividir el consumo obtenido en ruta para los kilómetros recorridos como se muestra a continuación:

$$rendimiento = \frac{kilómetros\ recorridos}{litros\ combustible\ consumido}$$

Los resultados obtenidos de todos los vehículos se muestran en el capítulo 3.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Curvas obtenidas con GPS

Las figuras 3.1., 3.2. y 3.3. muestran las curvas de velocidad obtenidas en las mediciones en ruta con GPS.

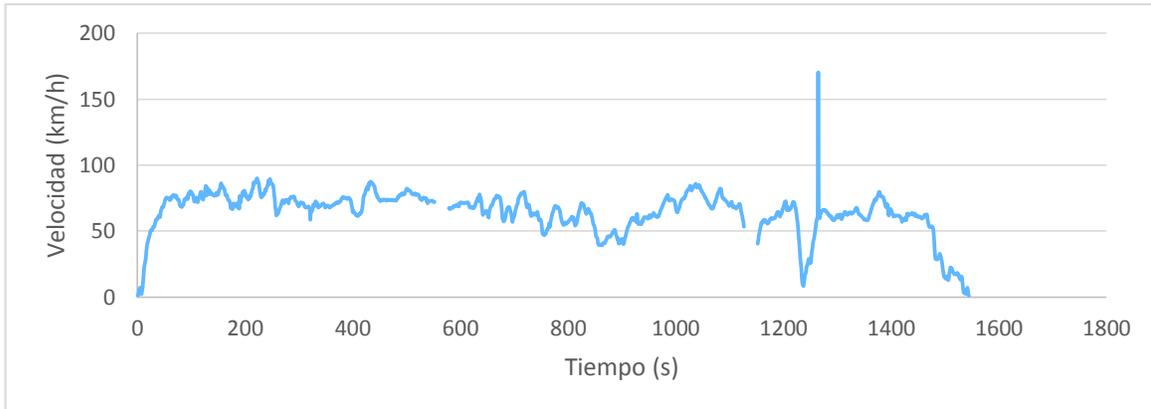


Figura 3.1. Velocidad ciclo carretera GPS.
(Fuente: Propia)

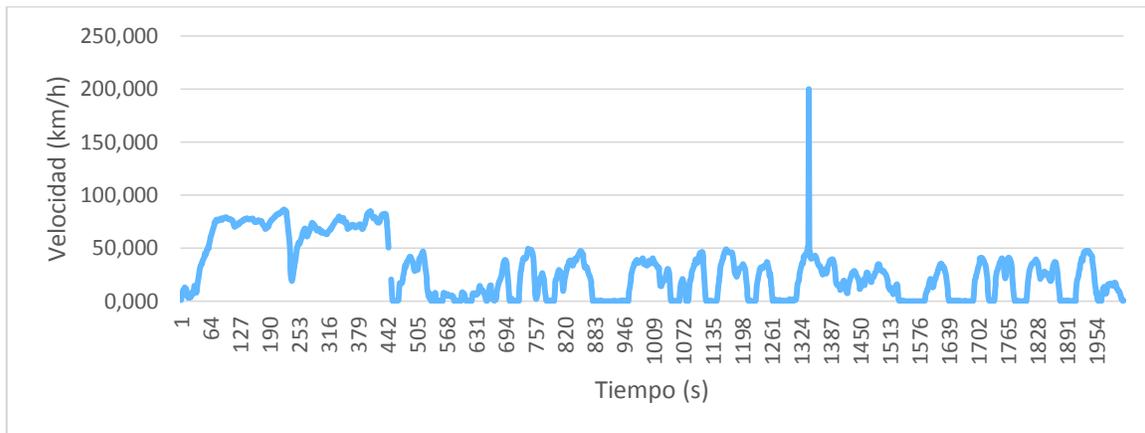


Figura 3.2. Velocidad en ciclo combinado GPS.
(Fuente: Propia)

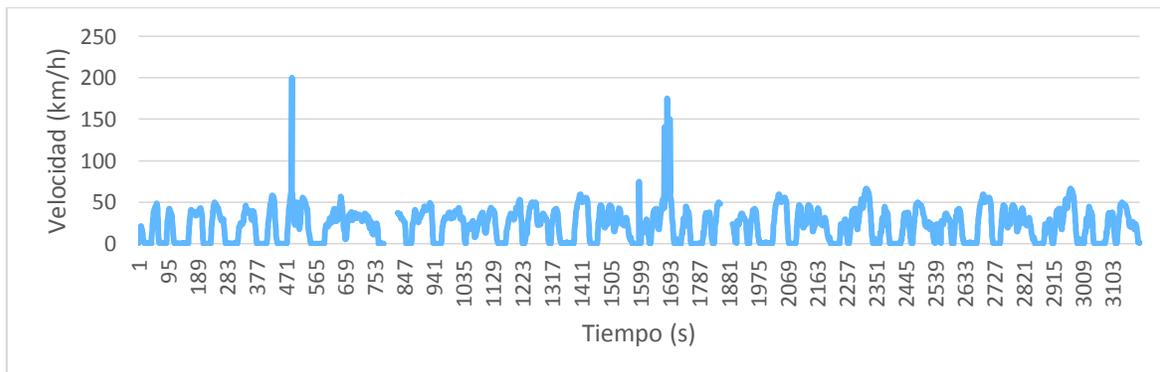


Figura 3.3. Velocidad ciclo ciudad GPS.
(Fuente: Propia)

Curvas corregidas con programa de filtrado de datos

Las figuras 3.4., 3.5., 3.6., 3.7., 3.8. y 3.9. muestran las curvas de velocidad y altitud para el ciclo en carretera, combinado y ciudad, respectivamente, las mismas que son resultado del filtrado de datos.

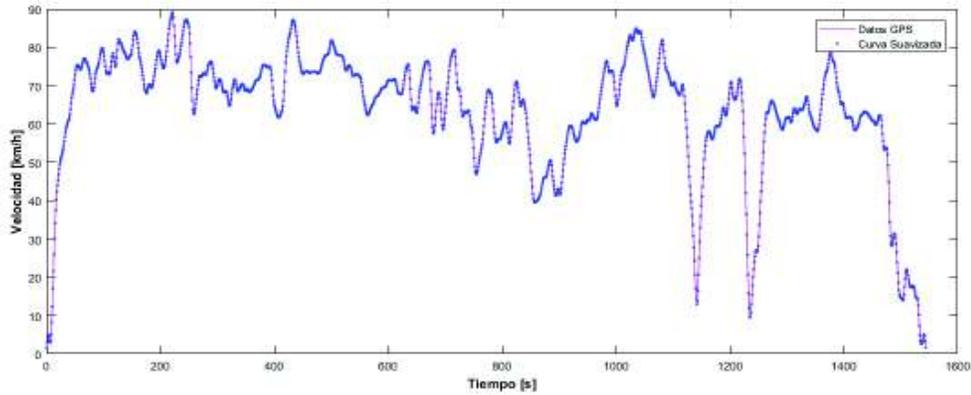


Figura 3.4. Velocidad ciclo carretera.
(Fuente: Propia)

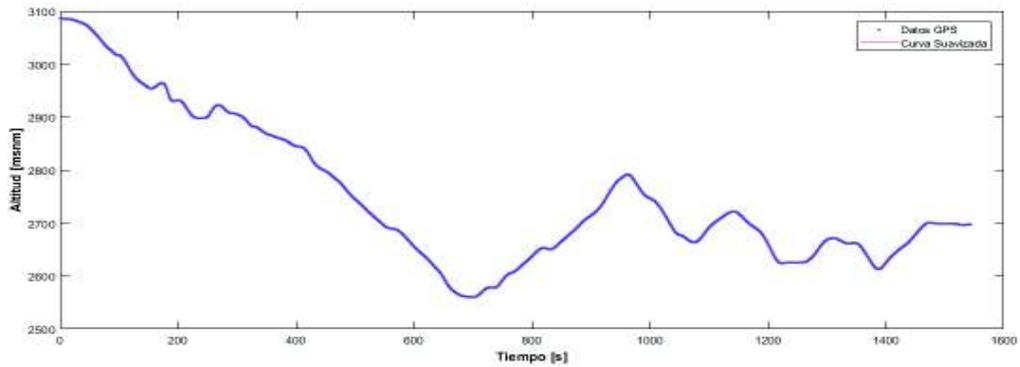


Figura 3.5. Altitud ciclo carretera.
(Fuente: Propia)

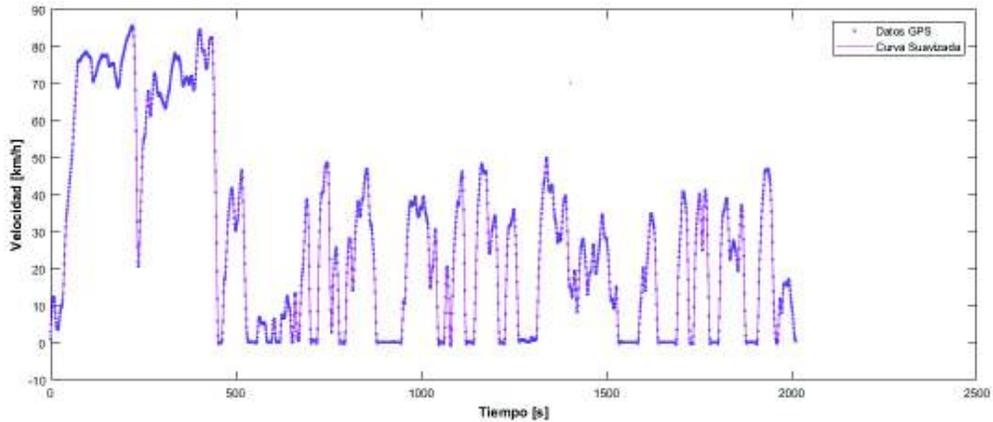


Figura 3.6. Velocidad ciclo combinado.
(Fuente: Propia)

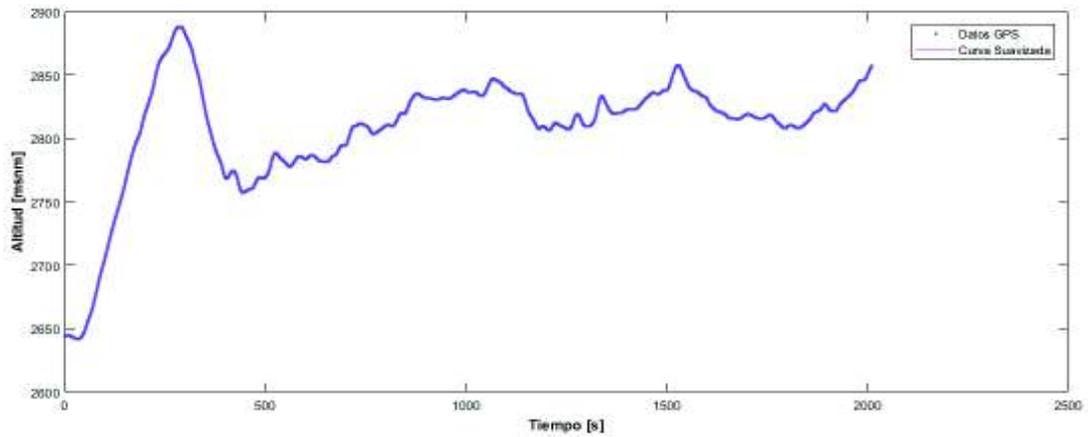


Figura 3.7. Altitud ciclo combinado.
(Fuente: Propia)

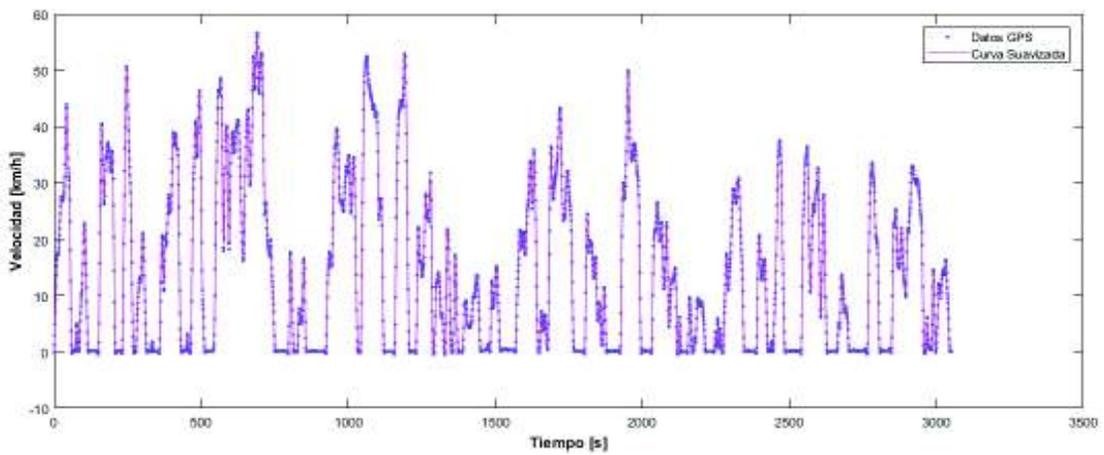


Figura 3.8. Velocidad ciclo ciudad.
(Fuente: Propia)

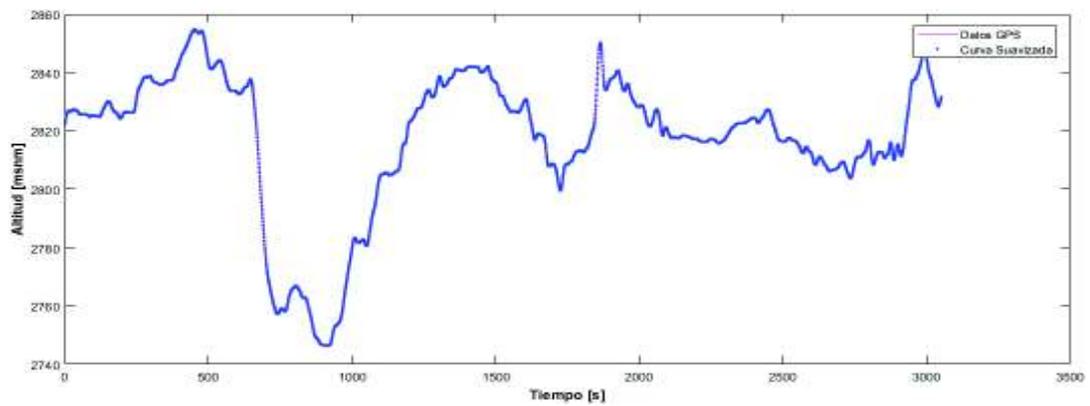


Figura 3.9. Altitud ciclo ciudad.
(Fuente: Propia)

Gramos de contaminantes obtenidos mediante el software IVE

Los resultados obtenidos del vehículo 1 se muestran en las figuras 3.10., 3.11. y 3.12., y se resumen en la tabla 3.1.



Figura 3.10. Resultado Ciclo Carretera Toyota.
(Fuente: Propia)

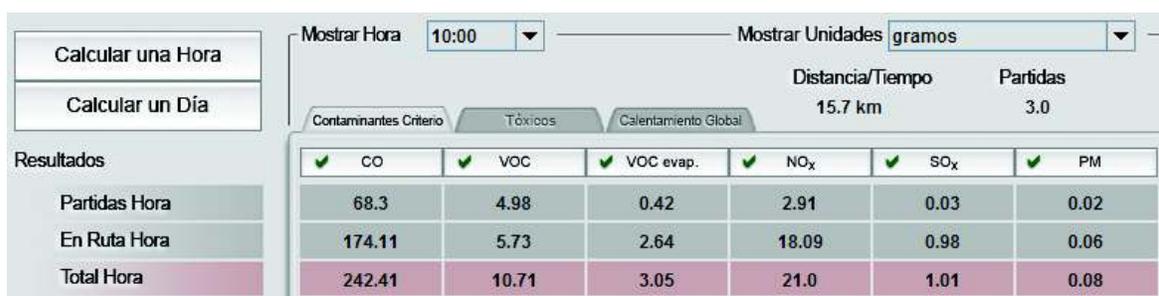


Figura 3.11. Resultado Ciclo Combinado Toyota.
(Fuente: Propia)



Figura 3.12. Resultado Ciclo Ciudad Toyota.
(Fuente: Propia)

Tabla 3.1 Resultados finales Vehículo 1

Ciclo	CO [g]	CO ₂ [g]	NOx [g]	HC [g]
Carretera	221,22	4102,21	19,56	10,01
Combinado	242,41	4818,77	21	10,71
Ciudad	169,21	4993,23	14,49	10,79

(Fuente: Propia)

Los resultados obtenidos del vehículo 2 se muestran en las figuras 3.13, 3.14 y 3.15, y se resumen en la tabla 3.2.

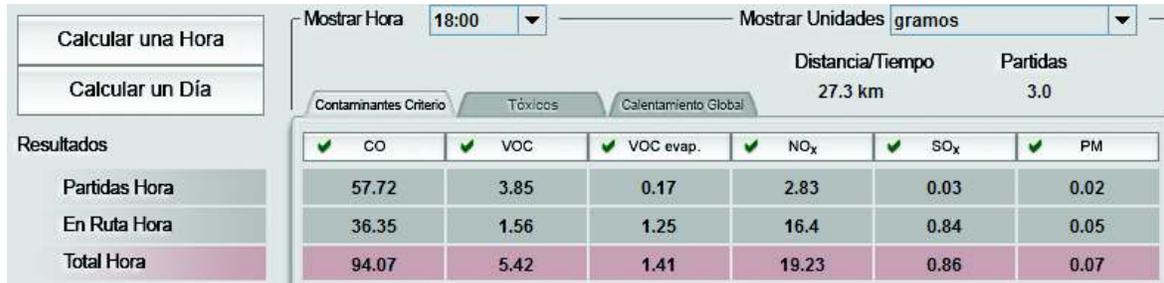


Figura 3.13. Resultado Ciclo Carretera Hyundai.
(Fuente: Propia)



Figura 3.14. Resultado Ciclo Combinado Hyundai.
(Fuente: Propia)

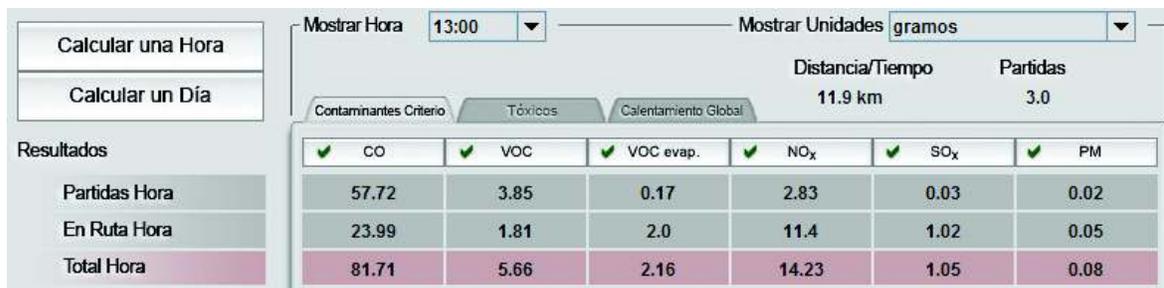


Figura 3.15. Resultado Ciclo Ciudad Hyundai.
(Fuente: Propia)

Tabla 3.2 Resultados finales Vehículo 2

Ciclo	CO [g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC [g]
Carretera	94,07	4221,13	19,23	5,42
Combinado	99,11	4958,46	20,65	5,64
Ciudad	81,71	5137,98	14,23	5,66

(Fuente: Propia)

Los resultados obtenidos del vehículo 3 se muestran en las figuras 3.16., 3.17., 3.18., y se resumen en la tabla 3.3.

Calcular una Hora	Mostrar Hora	18:00	Mostrar Unidades	gramos	Distancia/Tiempo	Partidas
Calcular un Día					27.3 km	3.0
Resultados	Contaminantes Criterio	Tóxicos		Calentamiento Global		
	CO	VOC	VOC evap.	NO _x	SO _x	PM
	Partidas Hora	44.96	3.02	0.2	1.41	0.02
	En Ruta Hora	36.35	1.4	0.5	8.16	0.66
Total Hora	81.32	4.42	0.69	9.57	0.68	0.07

Figura 3.16. Resultado Ciclo Carretera Chevrolet.
(Fuente: Propia)

Calcular una Hora	Mostrar Hora	10:00	Mostrar Unidades	gramos	Distancia/Tiempo	Partidas
Calcular un Día					15.7 km	3.0
Resultados	Contaminantes Criterio	Tóxicos		Calentamiento Global		
	CO	VOC	VOC evap.	NO _x	SO _x	PM
	Partidas Hora	44.96	3.02	0.2	1.41	0.02
	En Ruta Hora	41.39	1.6	0.57	8.86	0.78
Total Hora	86.36	4.62	0.76	10.27	0.8	0.08

Figura 3.17. Resultado Ciclo Combinado Chevrolet.
(Fuente: Propia)

Calcular una Hora	Mostrar Hora	13:00	Mostrar Unidades	gramos	Distancia/Tiempo	Partidas
Calcular un Día					11.9 km	3.0
Resultados	Contaminantes Criterio	Tóxicos		Calentamiento Global		
	CO	VOC	VOC evap.	NO _x	SO _x	PM
	Partidas Hora	44.96	3.02	0.2	1.41	0.02
	En Ruta Hora	23.99	1.62	0.79	5.67	0.81
Total Hora	68.95	4.64	0.99	7.08	0.83	0.08

Figura 3.18. Resultado Ciclo Ciudad Chevrolet.
(Fuente: Propia)

Tabla 3.3 Resultados finales Vehículo 3

Ciclo	CO [g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC [g]
Carretera	81,32	3335,13	9,57	4,42
Combinado	86,36	3917,71	10,27	4,62
Ciudad	68,95	4059,54	7,08	4,64

(Fuente: Propia)

A continuación, se muestra el cálculo de los factores de emisiones del vehículo 1 para la prueba de ciudad, la tabla 3.4 muestra el resumen de los factores de emisión de los tres vehículos, calculados con los resultados del software IVE.

$$FCO = \frac{169.21 \text{ gCO}}{11,9 \text{ km}} = 14,21 \frac{\text{gCO}}{\text{km}}$$

$$FNOx = \frac{14,49 \text{ gNOx}}{11,9 \text{ km}} = 1,21 \frac{\text{gNOx}}{\text{km}}$$

$$FHC = \frac{10,79 \text{ gHC}}{11,9 \text{ km}} = 0,90 \frac{\text{gHC}}{\text{km}}$$

Tabla 3.4 Factores de emisión calculados con IVE.

Factores de Emisión con IVE				
VEHICULO	CICLO*	FCO [g/km]	FNOx [g/km]	FHC [g/km]
TOYOTA BRT HILUX	Carretera	8,103	0,716	0,367
	Combinado	15,440	1,338	0,682
	Ciudad	14,219	1,218	0,907
HYUNDAI TUCSON IX	Carretera	3,446	0,704	0,199
	Combinado	6,313	1,315	0,359
	Ciudad	6,866	1,196	0,476
CHEVROLET AVEO FAMILY	Carretera	2,979	0,351	0,162
	Combinado	5,501	0,654	0,294
	Ciudad	5,794	0,595	0,390
*Ciclo carretera: Forestal-Carapungo Ciclo combinado: Puente 5-Plaza Artigas Ciclo ciudad: Alonso de Angulo-Plaza Artigas				

(Fuente: Propia)

Resultados de las Pruebas On Board

Concentraciones Volumétricas de Emisiones: En las pruebas en ruta se cuantificaron concentraciones volumétricas de las emisiones: CO₂, CO, HC, O₂, y NO_x, además se puede calcular el factor lambda promedio.

Los resultados obtenidos del vehículo 1 se muestran en las Tablas 3.5, 3.6, y 3.7.

Tabla 3.5 Datos promedio para cada prueba en la ruta de ciudad.

Ruta Ciudad: ALONSO DE ANGULO - PLAZA ARTIGAS Día y hora de la prueba: Viernes, 13:00							
No. Prueba	CO₂[%]	CO [%]	HC[ppm]	O₂[%]	NOx[ppm]	Lambda	Consumo [lt]
Prueba 1	13,645	1,091	59,182	0,2041	83,917	0,928	2,410
Prueba 2	13,668	1,51	68,569	0,659	66,071	0,930	2,310
Prueba 3	13,568	1,777	87,147	0,207	45,224	0,923	2,450
Total	13,627	1,459	71,633	0,357	65,071	0,927	2,390

(Fuente: Propia)

Tabla 3.6 Datos promedio para cada prueba en la ruta combinada.

Ruta Combinada: PUENTE 5 - PLAZA ARTIGAS Día y hora de la prueba: Sábado, 10:00							
No. Prueba	CO ₂ [%]	CO [%]	HC[ppm]	O ₂ [%]	NOx[ppm]	Lambda	Consumo [lt]
Prueba 1	13,693	0,856	70,129	0,366	71,424	0,931	2,200
Prueba 2	13,621	1,228	50,295	0,575	104,416	0,927	2,210
Prueba 3	13,629	2,127	101,494	0,338	47,371	0,927	2,200
Total	13,648	1,404	73,973	0,426	74,404	0,928	2,203

(Fuente: Propia)

Tabla 3.7 Datos promedio para cada prueba en la ruta de carretera.

Ruta Carretera: FORESTAL- CARAPUNGO Día y hora de la prueba: Sábado, 18:00							
No. Prueba	CO ₂ [%]	CO [%]	HC[ppm]	O ₂ [%]	NOx[ppm]	Lambda	Consumo [lt]
Prueba 1	13,654	1,704	128,494	0,872	91,184	0,929	2,050
Prueba 2	12,919	2,668	188,379	0,737	146,611	0,879	2,130
Prueba 3	12,962	2,179	167,289	0,902	115,655	0,882	2,050
Total	13,178	2,184	161,387	0,837	117,817	0,896	2,077

(Fuente: Propia)

Los resultados obtenidos del vehículo 2 se muestran en las Tablas 3.8, 3.9, y 3.10.

Tabla 3.8 Datos promedio para cada prueba en la ruta de ciudad.

Ruta Ciudad: ALONSO DE ANGULO - PLAZA ARTIGAS Día y hora de la prueba: Domingo, 13:00							
No. Prueba	CO ₂ [%]	CO [%]	HC[ppm]	O ₂ [%]	NOx[ppm]	Lambda	Consumo [lt]
Prueba 1	13,094	0,988	60,975	1,341	257,135	0,891	1,200
Prueba 2	13,054	1,100	78,653	1,252	226,135	0,888	1,380
Prueba 3	13,279	1,516	81,214	0,946	170,875	0,903	1,310
Total	13,142	1,201	73,614	1,180	218,048	0,894	1,297

(Fuente: Propia)

Tabla 3.9 Datos promedio para cada prueba en la ruta combinada.

Ruta Combinada: PUENTE 5 - PLAZA ARTIGAS Día y hora de la prueba: Domingo, 10:00							
No. Prueba	CO ₂ [%]	CO [%]	HC[ppm]	O ₂ [%]	NOx[ppm]	Lambda	Consumo [lt]
Prueba 1	12,641	0,596	126,8	1,876	473,279	0,860	1,780
Prueba 2	12,514	0,564	34,375	2,188	419,341	0,851	1,580
Prueba 3	12,771	0,713	69,589	1,541	515,147	0,869	1,740
Total	12,642	0,624	76,921	1,868	469,256	0,860	1,700

(Fuente: Propia)

Tabla 3.10 Datos promedio para cada prueba en la ruta de carretera.

Ruta Carretera: FORESTAL- CARAPUNGO							
Día y hora de la prueba: Domingo, 18:00							
No. Prueba	CO ₂ [%]	CO [%]	HC[ppm]	O ₂ [%]	NOx[ppm]	Lambda	Consumo [lt]
Prueba 1	11,244	3,047	227,377	2,727	263,939	0,765	1,600
Prueba 2	11,683	2,412	146,313	3,060	188,06	0,795	1,590
Prueba 3	11,667	2,580	136,406	2,580	136,406	0,794	1,600
Total	11,531	2,680	170,032	2,789	196,135	0,784	1,597

(Fuente: Propia)

Los resultados obtenidos del vehículo 3 se muestran en las Tablas 3.11, 3.12, y 3.13.

Tabla 3.11 Datos promedio para cada prueba en la ruta de ciudad.

Ruta Ciudad: ALONSO DE ANGULO - PLAZA ARTIGAS							
Día y hora de la prueba: Viernes, 13:00							
No. Prueba	CO ₂ [%]	CO [%]	HC[ppm]	O ₂ [%]	NOx[ppm]	Lambda	Consumo [lt]
Prueba 1	13,791	0,272	22,117	0,519	61,870	0,938	1,400
Prueba 2	12,439	0,255	9,005	0,559	66,028	0,846	1,600
Prueba 3	13,300	0,405	8,007	0,490	50,200	0,905	1,800
Total	13,177	0,311	13,043	0,523	59,366	0,896	1,600

(Fuente: Propia)

Tabla 3.12 Datos promedio para cada prueba en la ruta combinada.

Ruta Combinada: PUENTE 5 - PLAZA ARTIGAS							
Día y hora de la prueba: Viernes, 10:00							
No. Prueba	CO ₂ [%]	CO [%]	HC[ppm]	O ₂ [%]	NOx[ppm]	Lambda	Consumo [lt]
Prueba 1	13,588	0,346	109,438	0,648	181,067	0,924	1,670
Prueba 2	13,594	0,505	20,481	0,755	156,941	0,925	1,730
Prueba 3	13,558	0,990	55,474	0,650	172,935	0,922	1,800
Total	13,580	0,614	61,798	0,684	170,314	0,924	1,733

(Fuente: Propia)

Tabla 3.13 Datos promedio para cada prueba en la ruta de carretera.

Ruta Carretera: FORESTAL- CARAPUNGO							
Día y hora de la prueba: Viernes, 18:00							
No. Prueba	CO ₂ [%]	CO [%]	HC[ppm]	O ₂ [%]	NOx[ppm]	Lambda	Consumo [lt]
Prueba 1	13,514	2,034	38,247	1,015	181,111	0,919	1,700
Prueba 2	13,461	1,754	35,613	1,161	204,254	0,916	1,690
Prueba 3	13,248	2,179	64,88	1,269	188,329	0,901	1,730
Total	13,408	1,989	46,247	1,148	191,231	0,912	1,707

(Fuente: Propia)

Se obtienen además graficas representativas del comportamiento de cada producto de emisión durante el recorrido, a continuación, se mostrará la prueba 1, del vehículo 1 en los gráficos 3.19., 3.20., 3.21., 3.220, 3.23. Los resultados gráficos de las pruebas 2 y 3 del vehículo 1, así como de los vehículos 2 y 3, se muestran en el **ANEXO V**.

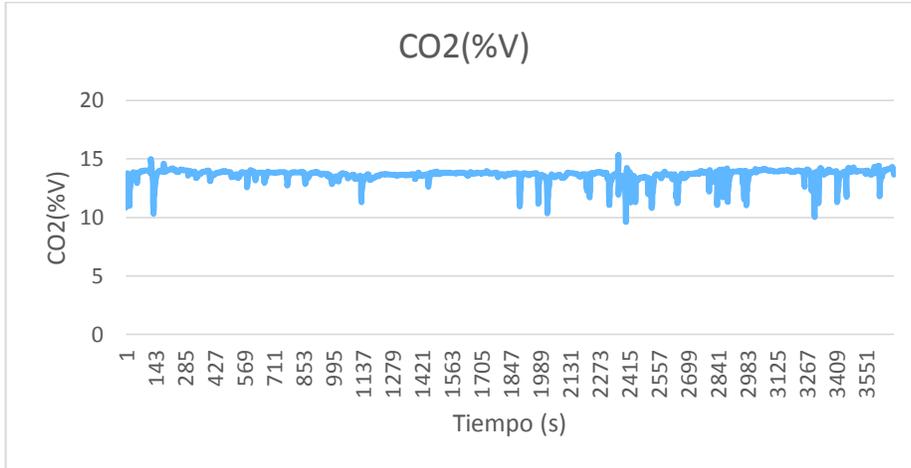


Figura 3.19. Emisión de CO2 de la prueba 1 en la ruta de ciudad.
(Fuente: Propia)

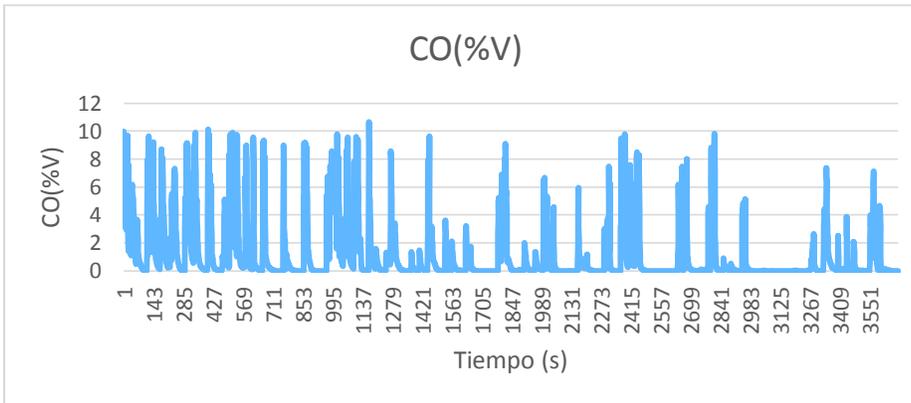


Figura 3.20. Emisión de CO de la prueba 1 en la ruta de ciudad.
(Fuente: Propia)

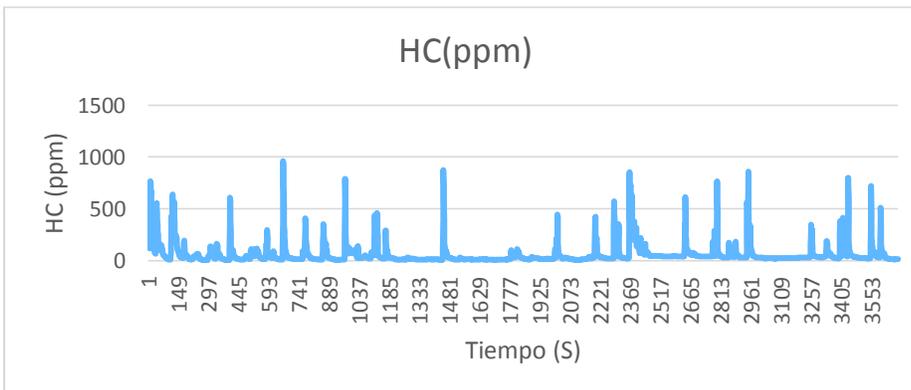


Figura 3.21. Emisión de HC de la prueba 1 en la ruta de ciudad.
(Fuente: Propia)

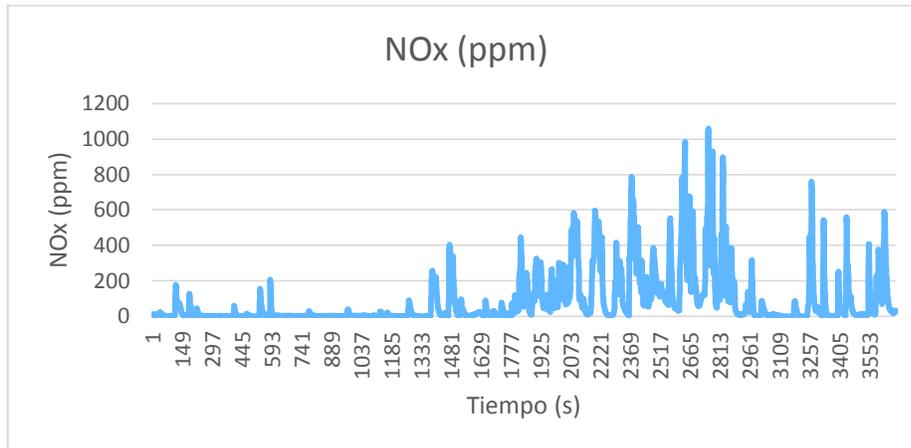


Figura 3.22. Emisión de NOx en la prueba 1 en la ruta de Ciudad.
(Fuente: Propia)

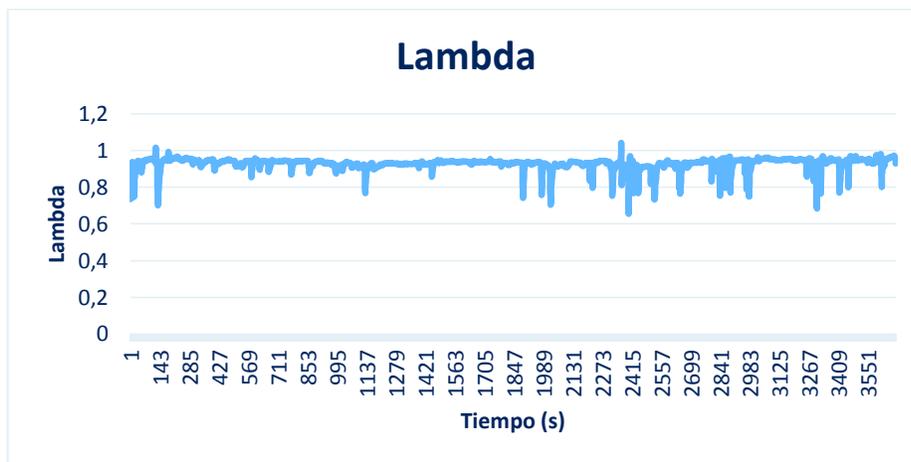


Figura 3.23. Variación del Factor Lambda en la prueba 1 de la ruta de ciudad.
(Fuente: Propia)

A continuación, se muestra el cálculo para determinar los factores de emisiones del vehículo 1 de la prueba 1 en ciclo de ciudad, los factores de emisión como resultado del procesamiento de las mediciones de todos los vehículos ensayados se muestran en la tabla 3.14.

Datos (Prueba 1 – CCICEV)

$$\rho_{comb} = 0,744 \frac{kg}{l} = 744 \frac{kg}{m^3} \quad cc = 4,564 \frac{km}{l}$$

$$\%CO = 1,091$$

$$ppmHC = 59,182 \quad ; \quad \%HC = 59,182 \div 10000 = 0,0059$$

$$\%CO_2 = 13,645$$

$$ppmNO = 83,917 \quad ; \quad \%NO = 83,917 \div 10000 = 0,0083$$

$$R_{CO} = \left(\frac{\%}{CO_2}\right) = \frac{1,091}{13,645} = 0,079$$

$$R_{HC} = \left(\frac{\%}{CO_2}\right) = \frac{0,0059}{13,645} = 4,3 \times 10^{-4}$$

$$R_{NO} = \left(\frac{\%}{CO_2}\right) = \frac{0,0083}{13,645} = 6,08 \times 10^{-4}$$

Considerando:

$$\frac{\%}{CO_2} + \left(\frac{3 * \%}{CO_2}\right) + 1 = 0,079 + 3 * (4,3 \times 10^{-4}) + 1 = 1,08029$$

Por lo tanto, se obtiene:

$$\frac{gCO}{km} = \frac{\frac{28 * 0,079}{1,08029} * 744}{0,01425 * 1000 * 4,564} = 23,42 \frac{gCO}{km}$$

$$\frac{gHC}{km} = \frac{\frac{42 * 4,3 \times 10^{-4}}{1,08029} * 744}{0,01425 * 1000 * 4,564} = 0,191 \frac{gHC}{km}$$

$$\frac{gNOx}{km} = \frac{\frac{30 * 6,08 \times 10^{-4}}{1,08029} * 744}{0,01425 * 1000 * 4,564} = 0,193 \frac{gNOx}{km}$$

Tabla 3.14 Promedio Factores de emisión calculados en ruta.

Factores De Emisión En Ruta				
VEHICULO	CICLO *	FCO [g/km]	FNOx [g/km]	FHC [g/km]
TOYOTA BRT HILUX	Carretera	15,719	0,091	0,174
	Combinado	18,911	0,11	0,15
	Ciudad	28,27	0,136	0,209
HYUNDAI TUCSON IX	Carretera	15,995	0,125	0,152
	Combinado	7,458	0,601	0,14
	Ciudad	13,304	0,259	0,123
CHEVROLET AVEO FAMILY	Carretera	11,751	0,121	0,041
	Combinado	7,016	0,207	0,105
	Ciudad	6,606	0,101	0,031
*Ciclo carretera: Forestal-Carapungo Ciclo combinado: Puente 5-Plaza Artigas Ciclo ciudad: Alonso de Angulo-Plaza Artigas				

(Fuente: Propia)

De manera adicional se realizaron pruebas para determinar la influencia del tráfico en los resultados obtenidos esto se detalla en el **ANEXO VI**.

Comparación datos de emisiones de fabricante y datos obtenidos.

Para el caso del software IVE se determina los gCO₂/km para el ciclo de ciudad como se muestra a continuación para el vehículo 1:

$$\frac{\text{gramos } CO_2}{\text{km}} = \frac{4993,23}{11,9} = 419,59$$

Para el caso de los datos obtenidos en ruta se determina los gCO₂/km y el rendimiento para el ciclo de ciudad como se muestra a continuación para el vehículo 1:

$$\frac{2,39 \text{ litro}}{11,91 \text{ km}} \times \frac{2,38 \text{ kilogramos } CO_2}{\text{litro}} \times \frac{1000 \text{ gramos } CO_2}{1 \text{ kg}} = \frac{477,59 \text{ gramos } CO_2}{\text{km}}$$

$$\text{rendimiento} = \frac{11,91}{2,390} = 4,98$$

Los resultados obtenidos para todos los vehículos se muestran en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Resultados obtenidos y comparación con fabricante

VEHÍCULO	RENDIMIENTO [km/l]						EMISIONES CO ₂ [g/km]		
	FABRICANTE			EN RUTA****			FABRICANTE	IVE	EN RUTA
	CI*	CA**	C***	CI	CA	C			
TOYOTA BRT HILUX	8,7	11,5	9,77	4,98	13,19	7,11	318	419,59	477,59
HYUNDAI TUCSON IX	11,75	16,77	13,58	9,15	17,16	9,21	229	431,76	259,18
CHEVROLET AVEO FAMILY	14,62	22,61	17,39	7,43	16,05	9,04	179	341.13	319,73

*CI: Ciudad
 **CA: Carretera
 ***C: Combinado
 ****RUTA: las pruebas fueron realizadas en horas pico.

(Fuente:Propia)

3.2. Discusión

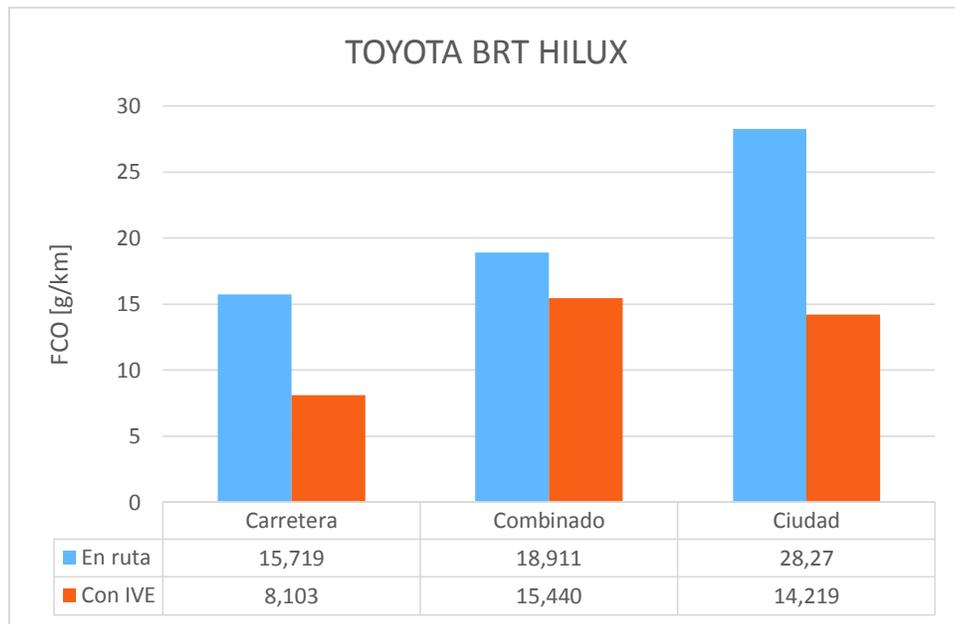


Figura 3.24. Comparación FCO [g/km] BRT Hilux.
(Fuente: Propia)

La figura 3.24. muestra una comparación mediante barras del Vehículo 1 para el factor de CO, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren notablemente, se puede observar que para el ciclo en carretera el valor obtenido en ruta es 7,616g/km mayor al obtenido con IVE, para el ciclo combinado existe una diferencia de 3,471g/km siendo mayor el valor obtenido en ruta y para el ciclo en ciudad el valor obtenido con el equipo en ruta duplica el valor calculado en el programa.

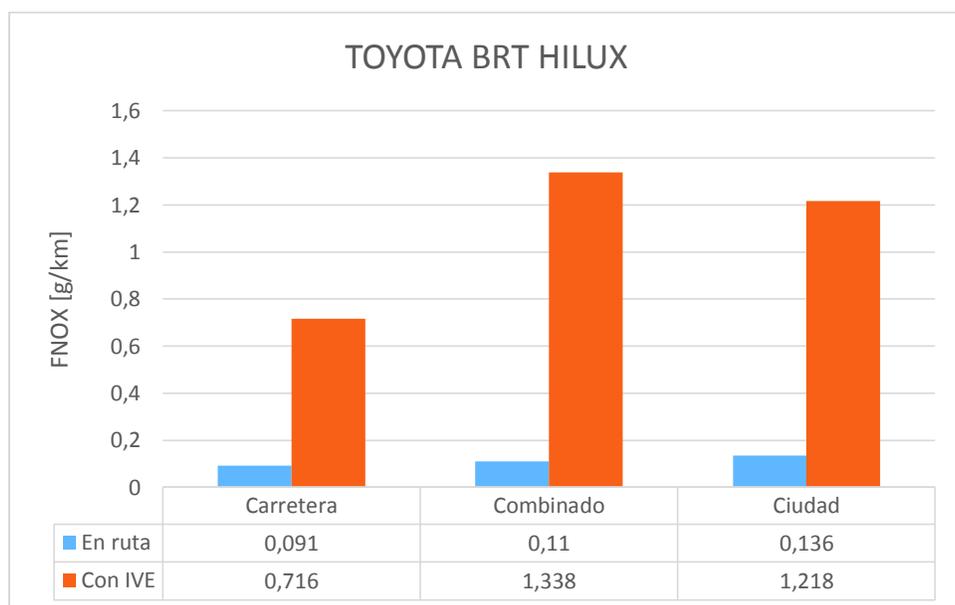


Figura 3.25. Comparación FNOX [g/km] BRT Hilux.
(Fuente: Propia)

La figura 3.25. muestra una comparación mediante barras del Vehículo 1 para el factor de NOx, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren notablemente, se puede observar que para el ciclo en carretera el valor obtenido con IVE es ocho veces mayor al obtenido en ruta, para el ciclo combinado se obtiene la mayor diferencia ya que el valor obtenido con IVE es doce veces mayor al obtenido en ruta, y para el ciclo en ciudad el valor obtenido con IVE es cerca de nueve veces mayor que el obtenido en ruta.

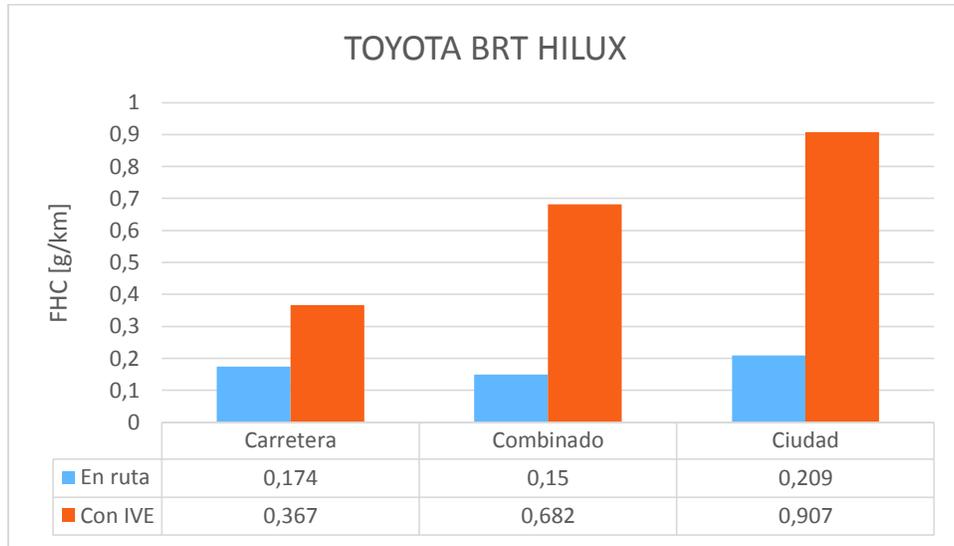


Figura 3.26. Comparación FHC [g/km] BRT Hilux.
(Fuente: Propia)

La figura 3.26. muestra una comparación mediante barras del Vehículo 1 para el factor de HC, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren notablemente, se puede observar que para el ciclo en carretera el valor obtenido en ruta es el doble al obtenido con IVE, para el ciclo combinado y de ciudad el valor obtenido con IVE es aproximadamente cuatro veces mayor al obtenido en ruta.

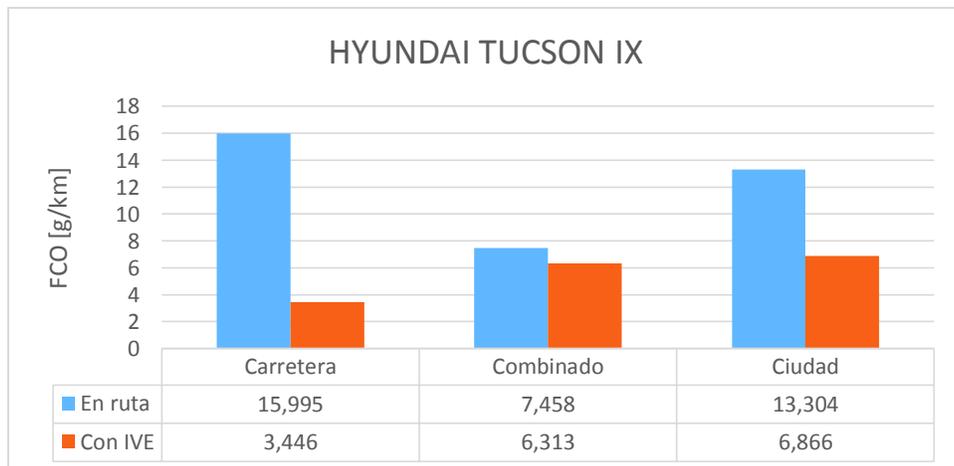


Figura 3.27. Comparación FCO [g/km] Tucson IX.
(Fuente: Propia)

La figura 3.27. muestra una comparación mediante barras del Vehículo 2 para el factor de CO, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren notablemente, se puede observar que para el ciclo en carretera el valor obtenido en ruta es aproximadamente cinco veces mayor al obtenido con IVE, para el ciclo combinado el valor obtenido en ruta es mayor por 1,145g/km al valor obtenido con IVE y para el ciclo en ciudad el valor obtenido con el equipo en ruta es aproximadamente el doble al valor calculado en el programa.

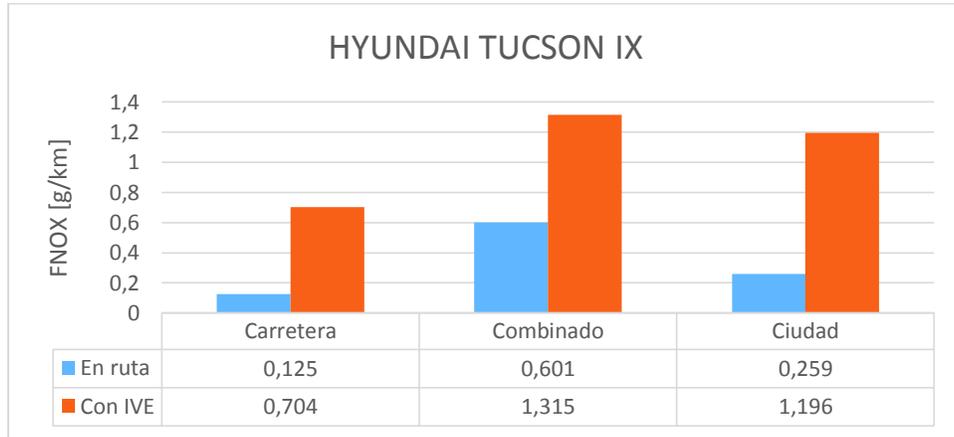


Figura 3.28. Comparación FNOX [g/km] Tucson IX.
(Fuente: Propia)

La figura 3.28. muestra una comparación mediante barras del Vehículo 2 para el factor de NOx, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren notablemente, se puede observar que para el ciclo en carretera el valor obtenido con IVE es aproximadamente seis veces mayor al obtenido en ruta, para el ciclo combinado el valor obtenido con IVE es aproximadamente el doble al valor obtenido en ruta y para el ciclo en ciudad el valor obtenido con IVE es aproximadamente cuatro veces mayor al obtenido en ruta.

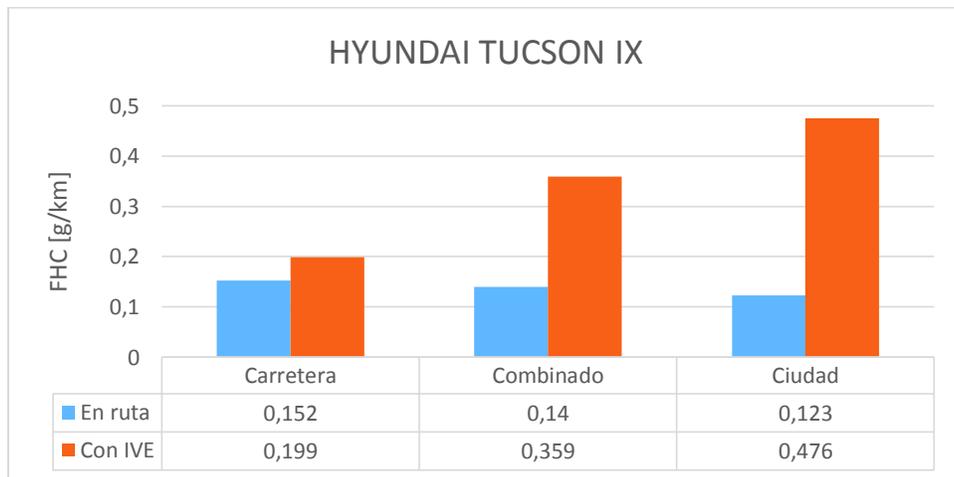


Figura 3.29. Comparación FHC [g/km] Tucson IX.
(Fuente: Propia)

La figura 3.29. muestra una comparación mediante barras del Vehículo 2 para el factor de HC, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren notablemente, se puede observar que para el ciclo en carretera el valor obtenido con IVE es mayor por 0,047g/km al valor obtenido en ruta, para el ciclo combinado el valor obtenido con IVE es aproximadamente el doble al obtenido en ruta y el ciclo de ciudad el valor obtenido con IVE es aproximadamente cuatro veces mayor al obtenido en ruta.

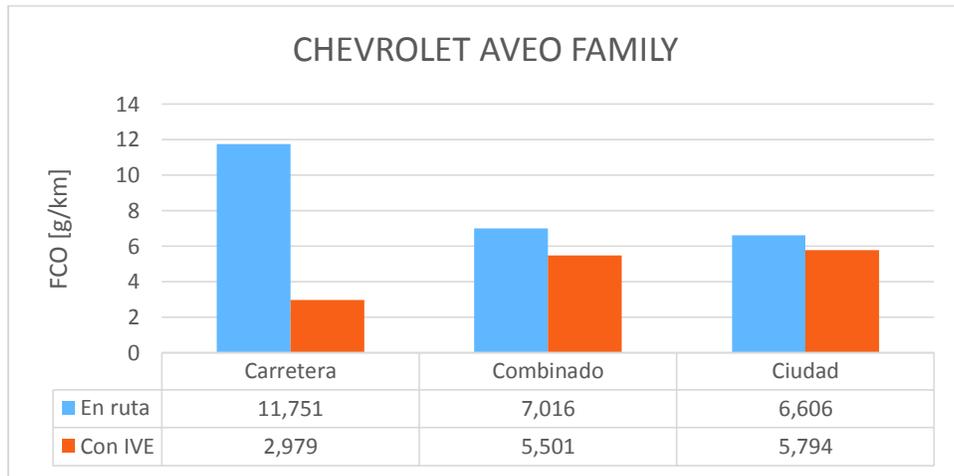


Figura 3.30. Comparación FCO [g/km] Aveo Family.
(Fuente: Propia)

La figura 3.30. muestra una comparación mediante barras del Vehículo 3 para el factor de CO, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren notablemente, se puede observar que para el ciclo en carretera el valor obtenido en ruta es aproximadamente cuatro veces mayor al obtenido con IVE, para el ciclo combinado el valor en ruta es mayor por 1,515g/km al valor que entrega IVE y para el ciclo de ciudad el valor obtenido en ruta es mayor por 0,812g/km al valor que entrega IVE.

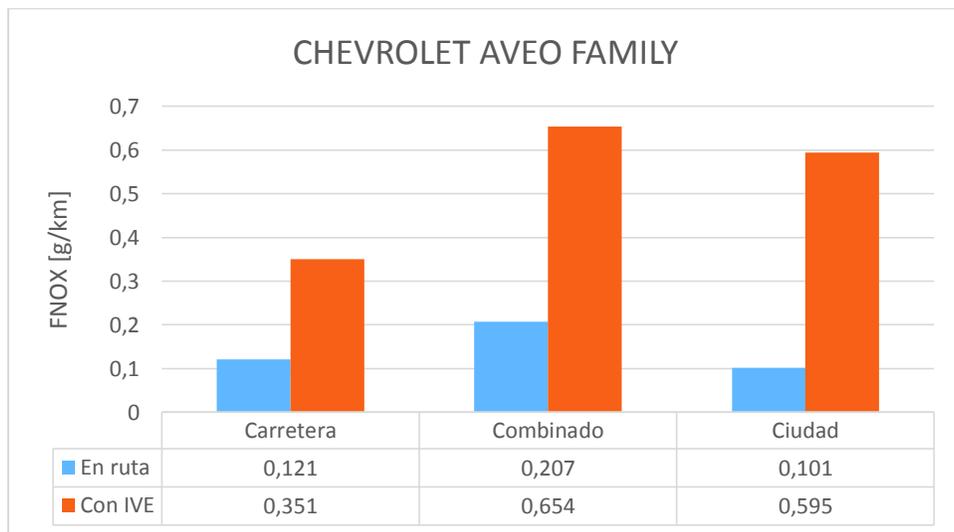


Figura 3.31. Comparación FNOX [g/km] Aveo Family.
(Fuente: Propia)

La figura 3.31. muestra una comparación mediante barras del Vehículo 3 para el factor de NOx, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren notablemente, se puede observar que para el ciclo en carretera y el ciclo combinado el valor obtenido con IVE es aproximadamente el triple al obtenido en ruta, y para el ciclo en ciudad el valor obtenido con IVE es aproximadamente cinco veces mayor al valor obtenido en ruta.

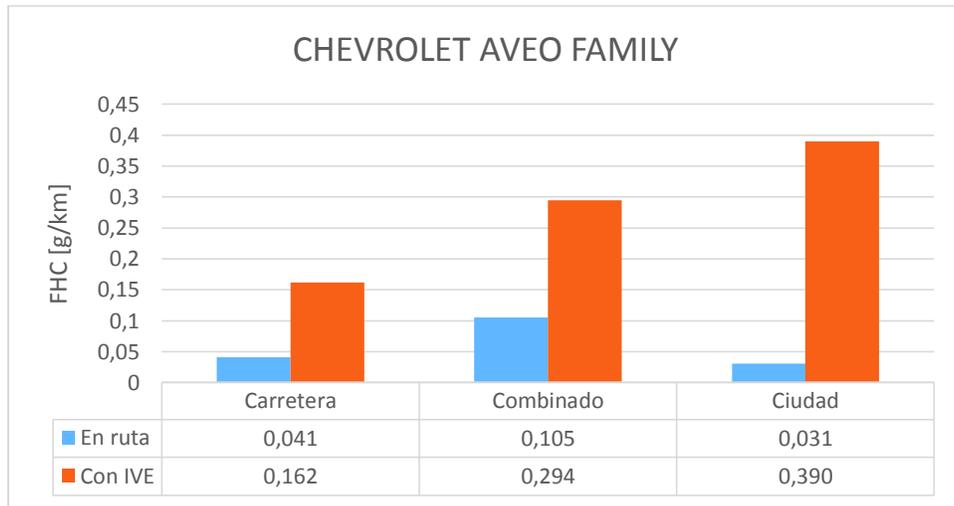


Figura 3.32. Comparación FHC [g/km] Aveo Family.
(Fuente: Propia)

La figura 3.32. muestra una comparación mediante barras del Vehículo 3 para el factor de HC, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren notablemente, se puede observar que para el ciclo en carretera el valor obtenido con IVE es cuatro veces mayor al valor obtenido en ruta, para el ciclo combinado el valor obtenido con IVE es aproximadamente el doble al obtenido en ruta y para el ciclo en ciudad se obtiene la mayor diferencia ya que el valor obtenido con IVE es doce veces mayor respecto al valor de ruta.

Al analizar las figuras 3.24., a la 3.32., se visualiza que, existe una notable diferencia en los datos comparativos, por lo cual es necesario cuantificar la variación entre datos de ruta y datos de IVE. La tabla 3.16., muestra el porcentaje de variación entre datos obtenidos en Ruta y los datos obtenidos con IVE.

Tabla 3.16. Porcentaje de Variación Ruta-IVE

Variación Ruta-IVE Datos obtenidos				
Vehículo	Ciclo	ΔFCO [%]	ΔFNOx [%]	ΔFHC [%]
TOYOTA BRT HILUX	Carretera	48,45%	686,81%	110,92%
	Combinado	18,35%	1116,36%	354,67%
	Ciudad	49,70%	795,59%	333,97%
HYUNDAI TUCSON IX	Carretera	78,46%	463,20%	30,92%
	Combinado	15,35%	118,80%	156,43%
	Ciudad	48,39%	361,78%	286,99%
CHEVROLET AVEO FAMILY	Carretera	74,65%	190,08%	295,12%
	Combinado	21,59%	215,94%	180,00%
	Ciudad	12,29%	489,11%	1158,07%

(Fuente:Propia)

De la tabla 3.16. Se destaca que el porcentaje de variación es considerablemente mayor, siendo en promedio para el factor CO: 39%, 47% y 36%, para el factor NOx 866%, 315% y 298% y para el factor HC 267%, 158% y 544% para los vehículos 1, 2 y 3 respectivamente; por lo cual se procede a determinar de manera empírica un factor de corrección referencial para que el software IVE se adapte mejor a las condiciones de la ciudad de Quito.

El factor de corrección para el presente trabajo es una estimación en Excel a partir de la experimentación realizada; para obtener un factor real que pueda ser empleado en el software se debe crear un archivo de ajustes generales tomando en cuenta la advertencia detallada en el capítulo VI, literal c pág. 42 del manual del Software IVE versión 2.0, cuyo extracto se muestra a continuación:

“Los factores de emisión utilizados en el modelo IVE se basan en cientos de pruebas en dinamómetro y se debe tener mucha precaución en ajustar estos valores. Normalmente, se necesitan pruebas de 10 o más vehículos de un mismo tipo de tecnología para obtener resultados significativos. Incluso en el caso de pruebas de 10 vehículos del mismo tipo se observan desviaciones estándar que convierten el promedio de emisiones poco fiable. No se deben realizar ajustes a la base de factores de emisión con resultados de uno o dos vehículos o si el límite el intervalo de confianza de 90% se sobrepone significativamente con los factores de emisión del modelo IVE. Además, es recomendable realizar un ajuste

parcial a la base de factores de emisión consistente con los límites de los intervalos de confianza”. [2]

Se detalla para el vehículo 1 los gráficos que muestran la variación de los datos obtenidos al aplicarse el factor de corrección mencionado previamente.

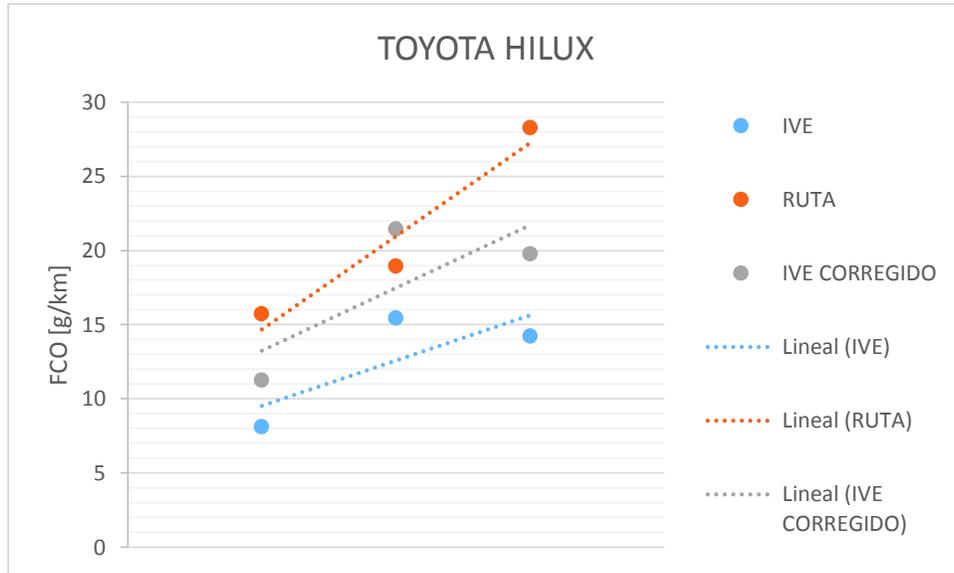


Figura 3.33. Variación FCO [g/km] Toyota.
(Fuente: Propia)

La figura 3.33., muestran la comparación del factor CO, entre los datos obtenidos en ruta, datos obtenidos con IVE y datos corregidos de IVE, al aplicarse el factor de corrección referencial; como se puede apreciar los nuevos datos generados con el IVE se aproximan mejor a los datos obtenidos en ruta, obteniéndose en promedio una variación del 24%.

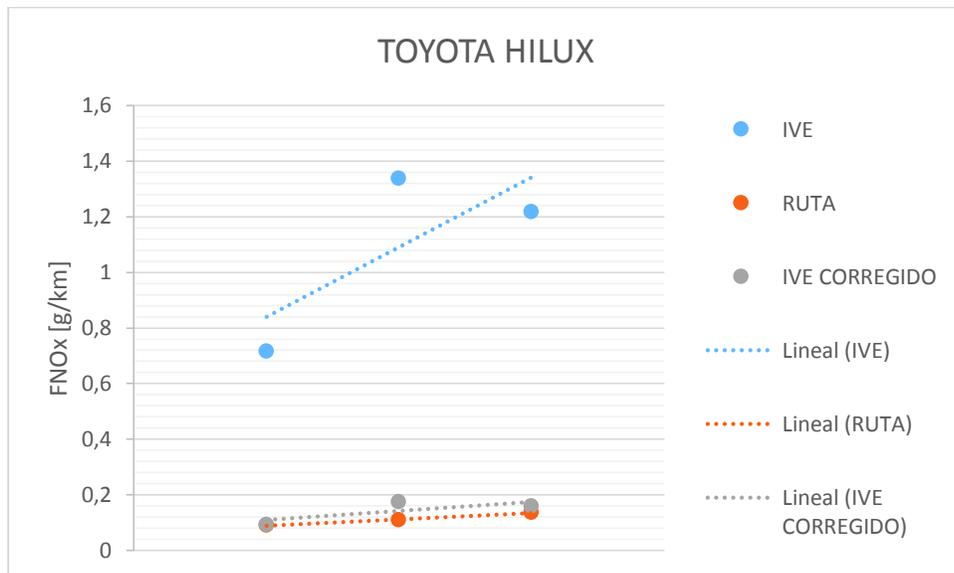


Figura 3.34. Variación FNOx [g/km] Toyota.
(Fuente: Propia)

La figura 3.34., muestran la comparación el factor NOx, entre los datos obtenidos en ruta, datos obtenidos con IVE y datos corregidos de IVE, al aplicarse el factor de corrección referencial; se puede apreciar que los nuevos datos de IVE se aproximan mejor a los datos generados en ruta, obteniéndose en promedio una variación del 26%.

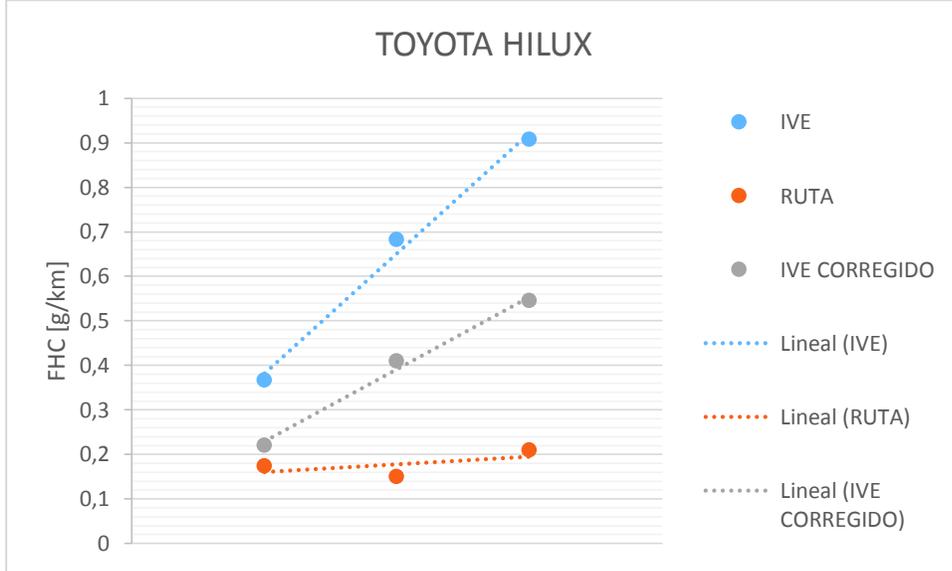


Figura 3.35. Variación FHC [g/km] Toyota.
(Fuente: Propia)

La figura 3.35., muestran la comparación del factor HC entre los datos obtenidos en ruta, datos obtenidos con IVE y datos corregidos de IVE, al aplicarse el factor de corrección referencial; se puede apreciar que los nuevos datos de IVE se aproximan mejor a los datos generados en ruta, obteniéndose en promedio una variación del 120%.

Para los vehículos 2 y 3 se muestran en el **ANEXO VII**.

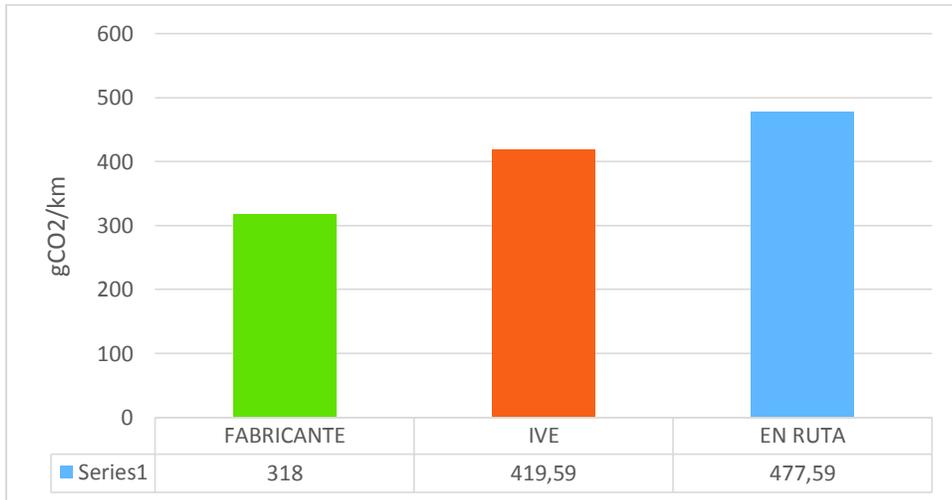


Figura 3.36. Comparación FCO2 [g/km] Toyota BRT Hilux.
(Fuente: Propia)

La figura 3.36., muestra una comparación mediante barras del Vehículo 1 para el factor de CO₂, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren de los datos del fabricante; se puede observar que IVE es mayor al valor proporcionado por fábrica en 101,59 gCO₂/km, mientras que los valores obtenidos en ruta son mayores a los proporcionados por el fabricante en 159,59 gCO₂/km, con lo cual se observa que los datos del software se apegan más a los datos del fabricante.

Los valores obtenidos entre el programa IVE y los obtenidos en ruta difieren en 58 gCO₂/km siendo mayor los datos de ruta.

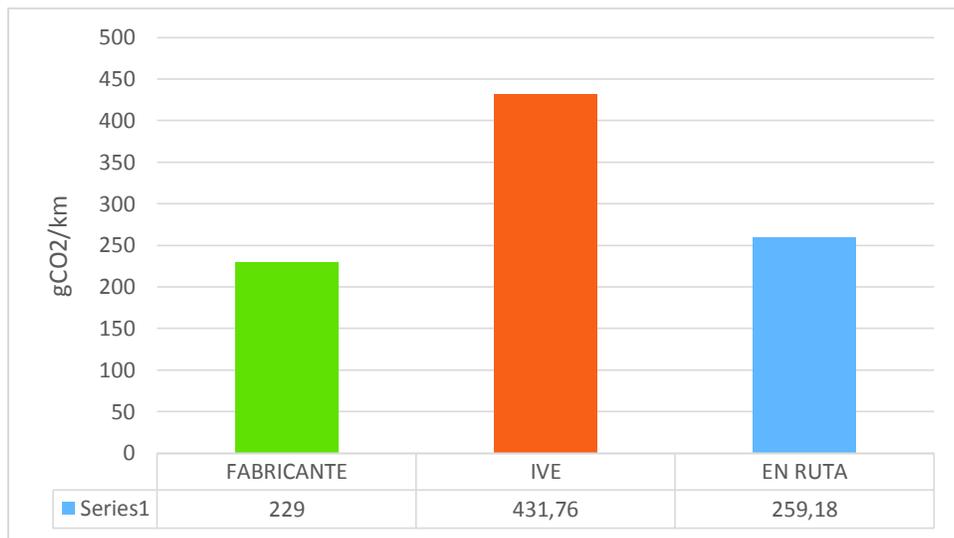


Figura 3.37. Comparación FCO₂ [g/km] Hyundai Tucson IX.
(Fuente: Propia)

La figura 3.37., muestra una comparación mediante barras del Vehículo 2 para el factor de CO₂, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren de los datos del fabricante; se puede observar que los valores de IVE son el doble al valor proporcionado por fábrica, mientras que los valores obtenidos en ruta son mayores a los proporcionados por el fabricante en 30,18 gCO₂/km, con lo cual se observa que los datos en ruta se apegan más a los datos del fabricante.

Los valores obtenidos entre el programa IVE y los obtenidos en ruta difieren en 172,58 gCO₂/km siendo mayor los datos con IVE.

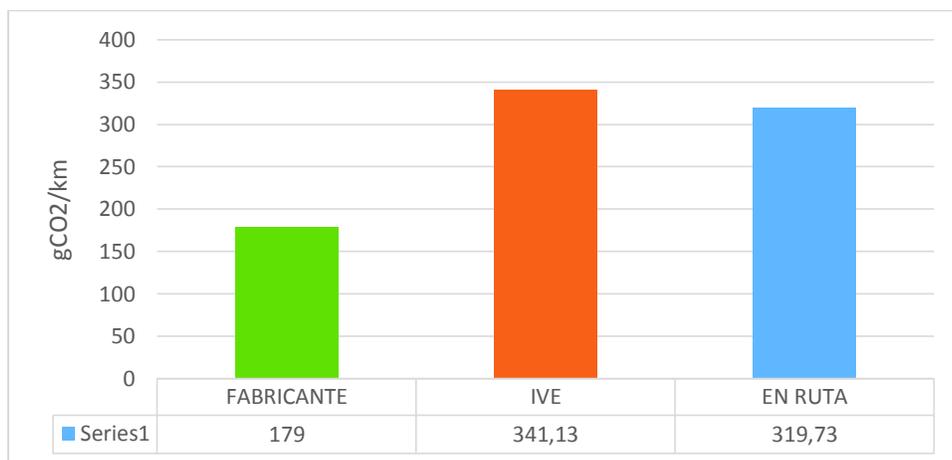


Figura 3.38. Comparación FCO₂ [g/km] Chevrolet Aveo Family.
(Fuente: Propia)

La figura 3.38., muestra una comparación mediante barras del Vehículo 3 para el factor de CO₂, los resultados obtenidos tanto en el equipo On Board, como en el programa IVE difieren de los datos del fabricante; se puede observar que los valores de IVE así como los valores obtenidos en ruta son el doble al valor proporcionado por fábrica. Los valores obtenidos entre el programa IVE y los obtenidos en ruta difieren en 21,4 gCO₂/km siendo mayor los datos con IVE.

Debido a la diferencia que se evidencia en las figuras 3.36. a la 3.38. es necesario determinar el porcentaje de variación entre los datos obtenidos en ruta y los calculados mediante el software IVE respecto a los proporcionados por el fabricante, para los tres vehículos y para el ciclo de ciudad, esto se detalla en la tabla 3.17.

Tabla 3.17 Porcentaje de variación Fabricante vs. IVE y medición en Ruta

Porcentaje de Variación Fabricante vs. IVE y en Ruta gCO ₂ /km en ciudad		
VEHICULO	% Variación Fabricante vs. IVE	% Variación Fabricante vs. Ruta
TOYOTA BRT HILUX	31,9%	50,2%
HYUNDAI TUCSON IX	88,5%	13,2%
CHEVROLET AVEO FAMILY	90,6%	78,6%

(Fuente: Propia)

4. CONCLUSIONES

- Se cumplió el objetivo del trabajo planteado ya que se estimó las emisiones contaminantes mediante el software IVE y se comparó los resultados con pruebas en ruta con lo cual se pudo determinar que IVE simplifica considerablemente el trabajo y es una poderosa herramienta que si se considera como objeto de evaluación puede llegar a ser una gran contribución para plantear políticas ambientales.
- El software IVE se emplea con flotas vehiculares dando como resultado emisiones contaminantes globales, sin embargo en el desarrollo del proyecto se logró obtener factores de emisión contaminantes tomando como flota universal a un solo vehículo, es decir se analizó tres tipos de flotas vehiculares y se obtuvo factores de emisión de CO, HC, NOx y CO₂.
- Los ciclos de conducción desarrollados presentan alta variabilidad en los datos generados mediante GPS, es por esto que se obtuvo datos representativos mediante un programa de filtrado el cual permitió conseguir bins más accesibles para emplearse dentro del software IVE y así disminuir los errores en el procesamiento de la información.
- Se determinó el porcentaje de variación de los gramos de CO₂ por kilómetro (gCO₂/Km) entre el fabricante y el programa IVE obteniendo una diferencia promedio de 70,4%, mientras que el porcentaje de variación promedio entre el fabricante y en ruta fue de 47,3%, además el porcentaje de variación promedio entre el programa IVE y la medición en ruta fue de 28,5%.
- El resultado obtenido para el factor de emisión de CO mediante el software IVE es 40,8% inferior al resultado con medición en ruta. Para el caso del factor de emisión de NOx calculado con IVE es 493,1 % superior a la medición en ruta. Mientras que para el factor de emisión de HC con el programa IVE es 322,9% mayor a la medición en ruta.
- La variación entre las estimaciones obtenidas con el software IVE y en ruta son muy diferentes, lo que conlleva a que no se pueda emplear directamente este programa para un inventario de emisiones, sin embargo, si se obtiene un factor de corrección real el software puede ser empleado sin necesidad de una experimentación, debido a que al determinar de manera empírica este factor de corrección se observó que la variación disminuye considerablemente. El factor de corrección del presente trabajo es de tipo empírico y no se puede usar como referencia para futuros proyectos.

Recomendaciones:

- Afinar los ciclos considerados en el presente proyecto a través de una filtración minuciosa de datos con ayuda del programa detallado en la sección 2.6.2 para posteriormente realizar la programación de estos ciclos en el dinamómetro y poder reproducirlos en laboratorio con el objetivo de realizar el mismo tipo de pruebas sin necesidad de medición en ruta y en condiciones más controladas.
- El procesamiento de datos debe considerar los valores más aproximados al comportamiento real del motor de los vehículos, razón por la cual los valores atípicos deben ser eliminados para no crear un efecto desproporcionado en los resultados estadísticos, puesto que puede prestarse a interpretaciones erróneas de los datos.
- Para poder emplear el software IVE se debe incrementar la flota vehicular de estudio de manera que se pueda obtener una menor variabilidad en el porcentaje de variación en CO, HC, NOx y CO₂ a la calculada en el presente proyecto, con esto se procedería a encontrar el factor de corrección real para ajustar los datos del software IVE a las condiciones de Quito.
- Para obtener una mejor aproximación en los datos calculados con el software IVE y con medición en ruta se recomienda realizar las pruebas solo en días laborables debido a que el programa IVE considera la influencia del tráfico por lo que en fines de semana realiza aproximaciones en los valores de CO, HC, NOx y CO₂ con lo cual no es viable comparar las dos metodologías.
- Para obtener el factor de corrección real se debe seguir lo establecido en el manual del usuario del software IVE versión 2.0.
- Terminada la adaptación de los ciclos en el dinamómetro y con el ajuste del factor de corrección del software IVE se puede aplicar en la realización de un inventario de emisiones contaminantes para el Distrito Metropolitano de Quito como una mejor aproximación con datos más reales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EPA, User's Guide to MOBILE 6.1 and MOBILE 6.2, USA: EPA, 2003.
- [2] International Vehicle Emissions Model, Manual del Usuario del Modelo IVE Versión 2.0, IVE Model, 2008.
- [3] R. García, «Combustión y Combustibles,» San José, 2001.
- [4] A. J. Urbina Guzmán, Comparación de factores de emisión vehicular al utilizar ciclo de conducción IM240 y On Board en la ciudad de Quito, Quito: EPN, 2016.
- [5] Payri, Motores de Combustión Interna Alternativos, Barcelona: Reverté, 2011.
- [6] G. d. E. y. S. A. 1. Parte, «Taringa!,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.taringa.net/posts/autos-motos/16136191/Gases-de-Escape-y-Sistemas-Anticontaminacion-1er-Parte.html>.
- [7] J. Costas, «Motor Pasión,» 23 Junio 2011. [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/otros/ciclo-nedc-o-como-entender-los-consumos-homologados>. [Último acceso: 6 Abril 2018].
- [8] DieselNet FAQ, «DieselNET,» Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://www.dieselnets.com/standards/cycles/ftp75.php>. [Último acceso: 6 Abril 2018].
- [9] Diesel Net FAQ, «DieselNET,» Junio 2013. [En línea]. Available: https://www.dieselnets.com/standards/cycles/jp_10-15mode.php. [Último acceso: 6 Abril 2018].
- [10] SEMARNAT, Guía metodología para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas, México D. F. : Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007.
- [11] M. Keller, HBEFA Version 3.3, Berne: INFRAS, 2017.
- [12] F. E. Quinchimbla Pisuña y J. M. Solís Santamaría, «Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo otto en el Distrito Metropolitano de Quito,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2016.
- [13] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, «Anuario,» 2016.
- [14] EP PETROECUADOR, «Informe Cifras Petroleras,» 2014.
- [15] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, «Anuario Meteorológico,» 2015.
- [16] Byron Loachamin, Carlos Mosquera, Evaluación de las Emisiones y el Comportamiento de un Vehículo utilizando Biodiesel de Palma como Combustible, Quito : EPN, 2010.

- [17] FREY H., EICHENBERGER D., *Remote Sensing of Mobile Source Air Pollutant Emissions*, North Carolina State University, 1997.
- [18] M. Badii; A. Guillen; E. Cerna; J. Valenzuela, «Nociones Introductorias de Muestreo Estadístico,» *International Journal of Good Conscience*, vol. 6, n° ISSN 1870-557X, pp. 89-105, 2011.
- [19] L. Rodríguez, *Probabilidad y Estadística Básica para Ingenieros*, Guayaquil : ESPOL , 2007.
- [20] M. Arriaza, *Guía Práctica de Análisis de Datos*, Córdoba, 2006.
- [21] B. . F. Romero Torres, «Desarrollo de aplicación para la obtención de bins de entrada de patrones de conducción de acuerdo al modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE),» Universidad del Azuay, Cuenca, 2017.
- [22] Generalitat de Catalunya Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, «Guía Práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI),» Oficina Catalana del Canvi Climatic, Cataluña, 2011.
- [23] DieselNet , «FTP-72 (UDDS),» DieselNet FAQ, Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://www.dieselnets.com/standards/cycles/ftp72.php>. [Último acceso: 21 Marzo 2018].
- [24] INE-SEMARNAT, *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*, México D.F.: Instituto Nacional de Ecología , 2005.
- [25] S. Tolvett, *Análisis de emisiones en ruta de vehículos diesel en ciudad de México, Santiago y Sao Paulo*, Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2009.
- [26] Miguel Molina , Edgar Muñoz, *Desarrollo de un Método para Determinar Factores de Emisión en Vehículos Livianos a Gasolina en la Ciudad de Quito*, Quito: EPN, 2006.
- [27] ROSHFRANS, «ROSHFRANS,» 06 2017. [En línea]. Available: <http://www.roshfrans.com/en-que-consiste-el-sistema-de-diagnostico-a-bordo/>.
- [28] A. Portilla Aguilar, «Estudio de calidad de combustibles adopción de la Norma Europea de acuerdo a la realidad ecuatoriana,» CCICEV, Quito, 2018.
- [29] R. care, «RTO care,» 2016. [En línea]. Available: <http://rtocare.tistory.com/category/%EB%8F%99%EB%A0%A5%EA%B3%BC%20%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80?page=2>.

ANEXOS

ANEXO I. CICLO DE CONDUCCIÓN LA-4 [23]

El ciclo de conducción LA-4, también denominado programa de conducción del dinamómetro urbano (UDDS) o ciclo FTP-72 (procedimiento de prueba federal), simula una ruta urbana de 12,07 km (7,5 millas) incluyendo paradas frecuentes,

Se encuentra conformado por dos fases:

- Fase 1: Se inicia con un arranque en frío y demora un tiempo de 505 segundos con una variación de velocidad promedio de 5,78 a 41,2 km/h. Tiene un factor de ponderación de 0,43.
- Fase 2: Esta fase demora 867 segundos empleando el mismo rango de variación de velocidad empleado en la fase 1, por lo cual tiene un factor de ponderación de 0,57.

La velocidad máxima del ciclo es de 91,25 km/h (56,7mph) y la velocidad promedio es de 31,5 km/h (19,6 mph).

La figura I.1 indica la variación de la velocidad por fases en el ciclo LA-4.

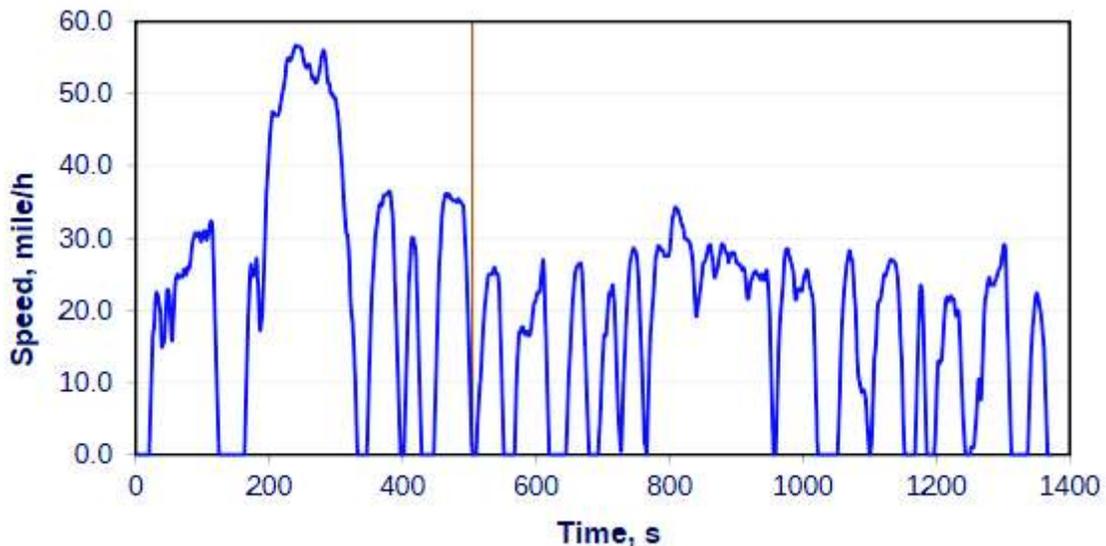


Figura I.1. Variación de la velocidad en el ciclo LA-4.

(Fuente: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp72.php>)

ANEXOII.

BINES DEFINIDOS PARA VSP Y ESTRÉS DEL MOTOR

Bin	VSP (kW/Ton)		Estrés del motor	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
0	-80.0	-44.0	-1.6	3.1
1	-44.0	-39.9	-1.6	3.1
2	-39.9	-35.8	-1.6	3.1
3	-35.8	-31.7	-1.6	3.1
4	-31.7	-27.6	-1.6	3.1
5	-27.6	-23.4	-1.6	3.1
6	-23.4	-19.3	-1.6	3.1
7	-19.3	-15.2	-1.6	3.1
8	-15.2	-11.1	-1.6	3.1
9	-11.1	-7.0	-1.6	3.1
10	-7.0	-2.9	-1.6	3.1
11	-2.9	1.2	-1.6	3.1
12	1.2	5.3	-1.6	3.1
13	5.3	9.4	-1.6	3.1
14	9.4	13.6	-1.6	3.1
15	13.6	17.7	-1.6	3.1
16	17.7	21.8	-1.6	3.1
17	21.8	25.9	-1.6	3.1
18	25.9	30.0	-1.6	3.1
19	30.0	1000.0	-1.6	3.1
20	-80.0	-44.0	3.1	7.8
21	-44.0	-39.9	3.1	7.8
22	-39.9	-35.8	3.1	7.8
23	-35.8	-31.7	3.1	7.8
24	-31.7	-27.6	3.1	7.8
25	-27.6	-23.4	3.1	7.8
26	-23.4	-19.3	3.1	7.8
27	-19.3	-15.2	3.1	7.8
28	-15.2	-11.1	3.1	7.8
29	-11.1	-7.0	3.1	7.8
30	-7.0	-2.9	3.1	7.8
31	-2.9	1.2	3.1	7.8
32	1.2	5.3	3.1	7.8
33	5.3	9.4	3.1	7.8
34	9.4	13.6	3.1	7.8
35	13.6	17.7	3.1	7.8
36	17.7	21.8	3.1	7.8
37	21.8	25.9	3.1	7.8
38	25.9	30.0	3.1	7.8
39	30.0	1000.0	3.1	7.8
40	-80.0	-44.0	7.8	12.6
41	-44.0	-39.9	7.8	12.6
42	-39.9	-35.8	7.8	12.6
43	-35.8	-31.7	7.8	12.6
44	-31.7	-27.6	7.8	12.6
45	-27.6	-23.4	7.8	12.6
46	-23.4	-19.3	7.8	12.6
47	-19.3	-15.2	7.8	12.6
48	-15.2	-11.1	7.8	12.6
49	-11.1	-7.0	7.8	12.6
50	-7.0	-2.9	7.8	12.6
51	-2.9	1.2	7.8	12.6
52	1.2	5.3	7.8	12.6
53	5.3	9.4	7.8	12.6
54	9.4	13.6	7.8	12.6
55	13.6	17.7	7.8	12.6
56	17.7	21.8	7.8	12.6
57	21.8	25.9	7.8	12.6
58	25.9	30.0	7.8	12.6
59	30.0	1000.0	7.8	12.6

Figura II.1. Bines definidos para VSP y estrés del motor.
(Fuente: Propia)

ANEXO III.

FICHAS DE REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR

Datos del Vehículo					Ficha No.	2		
Marca:	Tucson IX	clase:	M_1 SUV DEPORTIVO UTILITARIO		color	Gris		
No. Chasis:	KMHJT81BADU268733	No. Motor:	G4KDCU904124					
Kilometraje:	60613	Codigo Institucional						
Estado General Actual del Vehículo								
SISTEMA	B	R	M	SISTEMA	B	R	M	
SISTEMA DE DIRECCION	X			ESTADO DE LOS NEUMÁTICOS	X			
Maniobrabilidad de la dirección	X			Presión de Inflado	X			
Sonidos al girar a los topes	X			Estado de la banda de rodadura	X			
Funcionamiento del sistema de asistencia	X			Desgaste uniforme	X			
SISTEMA DE SUSPENSIÓN	X			Montaje de los neumaticos nominal	X			
Estado de amortiguadores	X			CHASIS	X			
Estado de elementos de amortiguacion	X			Apariencia libre de fisuras, golpes	X			
Alpeteo al cruzar por superficies irregulares	X			Estado de uniones y ensamblajes	X			
SISTEMA DE FRENOS	X			CARROCERIA	X			
Precision y respuesta al frenar	X			Acople de puertas en sus alojamientos	X			
Fugas del fluido del sistema	X			Acople de capo en su alojamiento	X			
Desgaste de zapatas y otros elementos	X			Cerraduras de Puertas y Capo	X			
SIST. ELECTRICOS Y ELECTRONICOS	X			Estado de latonería	X			
Sistema de arranque	X			SISTEMA DE TRANSMISIÓN	X			
Sistema de carga	X			Acople eficaz del embrague	X			
Sistema de alumbrado	X			Sonidos en el sincronizado	X			
Sistemas electronicos	X			Sonido en corona/s	X			
MOTOR	X			Estado de los rodillos de rueda	X			
Fuga de fluidos o combustible	X			NIVELES DE FLUIDOS	X			
Análisis visual del aceite	X			Aceite de motor	X			
Estado de arneses cables y cañerías	X			Aceite de sist. Dirección	X			
Estabilidad en ralenti	X			Aceite de caja de velocidades	X			
Desarrollo en aceleración	X			Aceite en la/s corona/s	X			
Mantenimiento a plena carga	X			Aceite del transfer	X			
Temperatura del motor	X			Líquido refrigerante motor	X			
Coloracion de gases de escape	X			Líquido de frenos	X			
Funcionamiento de sistemas auxiliares	X			Aire acondicionado	X			
ESTADO	B=BUENO			R=REGULAR			M=MALO	
OBSERVACIONES:								
Revisión:		Km/año			Fecha	24/02/2018		

Figura III.1. Ficha técnica Hyundai Tucson IX.
(Fuente: Quinchimbla, F., 2016)

Datos del Vehículo				Ficha No.	3			
Marca:	CHEVROLET /AVEO FAMILY	clase:	M1 SEDAN	color	GRIS			
No. Chasis:	8LATD52Y1H0358094	No. Motor:	F15S3162220387					
Kilometraje:	23254		Codigo Instit					
Estado Genral Actual del Vehículo								
SISTEMA	B	R	M	SISTEMA	B	R	M	
SISTEMA DE DIRECCION	X			ESTADO DE L	X			
Maniobrabilidad de la dire	X			Presión de Ir	X			
Sonidos al girar a los tope	X			Estado de la	X			
Funcionamiento del siste	X			Desgaste uni	X			
SISTEMA DE SUSPENCIÓN	X			Montaje de l	X			
Estado de amortiguadores	X			CHASIS	X			
Estado de elementos de a	X			Apariencia li	X			
al cruzar por superficies ir	X			Estado de un	X			
SISTEMA DE FRENOS	X			CARROCERIA	X			
Precision y respuesta al fr	X			Acople de pu	X			
Fugas del fluido del syster	X			Acople de ca	X			
Desgaste de zapatas y otr	X			Cerraduras d	X			
ELECTRICOS Y ELECTRONI	X			Estado de lat	X			
Sistema de arranque	X			SISTEMA DE	X			
Sistema de carga	X			Acople efica	X			
Sistema de alumbrado	X			Sonidos en e	X			
Sistemas electronicos	X			Sonido en co	X			
MOTOR	X			Estado de los	X			
Fuga de fluidos o combus	X			NIVELES DE F	X			
Analisis visual del aceite	X			Aceite de mo	X			
Estado de arneses cables	X			Aceite de sis	X			
Estabilidad en ralentí	X			Aceite de ca	X			
Desarrollo en aceleración	X			Aceite en la/	X			
Mantenimiento a plena ca	X			Aceite del tr	X			
Temperatura del motor	X			Líquido refrig	X			
Coloracion de gases de es	X			Líquido de fr	X			
Funcionamiento de syster	X			Aire acondic	X			
ESTADO	B=BUENO		R=REGULAR		M=MALO			
OBSERVACIONES:								
Revisión:			Km/año		Fecha	01/03/2018		

Figura III.2. Ficha técnica Chevrolet Aveo Family.
(Fuente: Quinchimbla, F., 2016)

ANEXO IV.

RESULTADOS OBTENIDOS EN RUTA

Ver CD adjunto

ANEXO V.

RESULTADOS GRÁFICOS DE PRUEBAS EN RUTA

Ver CD adjunto

ANEXO VI.

INFLUENCIA DEL TRÁFICO

Para observar cómo influye el tráfico vehicular dentro del estudio, tanto en el software IVE como en las pruebas en ruta, se realizó 2 pruebas en el vehículo 3, la primera en una hora en donde los vehículos fluyen con normalidad y la segunda en una hora pico, los resultados obtenidos se muestra a continuación:

Datos obtenidos con IVE

Resultados	Contaminantes Criterio					
	CO	VOC	VOC evap.	NO _x	SO _x	PM
Partidas Hora	5.61	0.38	0.02	0.21	0.0	0.0
En Ruta Hora	23.99	1.62	0.79	5.67	0.81	0.05
Total Hora	29.59	2.0	0.82	5.88	0.81	0.06

Figura VI.1. Resultados en IVE en hora pico.
(Fuente: propia)

Resultados	Contaminantes Criterio					
	CO	VOC	VOC evap.	NO _x	SO _x	PM
Partidas Hora	5.61	0.38	0.02	0.21	0.0	0.0
En Ruta Hora	23.99	1.62	0.79	5.67	0.81	0.05
Total Hora	29.59	2.0	0.82	5.88	0.81	0.06

Figura VI.2. Resultados en IVE en hora normal.
(Fuente: propia)

Tabla VI.1 Resumen de resultados con IVE

Ciclo	CO [g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC [g]
Ciudad T*	29,59	4023,43	5,88	2,00
Ciudad ST**	29,59	4023,43	5,88	2,00

*T: Tráfico
**ST: Sin Tráfico

(Fuente: propia)

Datos obtenidos en Ruta

Tabla VI.2 Datos obtenidos en Ruta

Ruta Ciudad: ALONSO DE ANGULO - PLAZA ARTIGAS								
Prueba	CO ₂ [%]	CO [%]	HC [ppm]	O ₂ [%]	NOx [ppm]	Lambda	Consumo [lt]	Tiempo [hh:mm]
Prueba T*	10,944	0,348	58,392	4,937	235,665	0,744	1,700	01:01
Prueba ST**	11,430	0,396	28,967	4,532	179,053	0,777	1,190	00:40
*T: Tráfico								
**ST: Sin tráfico								

(Fuente: propia)

Factores de emisión

Tabla VI.3 Factores de emisión con IVE

Factores de Emisión con IVE				
VEHICULO	CICLO	FCO [g/km]	FNOx [g/km]	FHC [g/km]
AVEO FAMILY	CIUDAD T*	2,486	0,494	0,168
	CIUDAD ST**	2,486	0,494	0,168
*T: Tráfico				
**ST: Sin Tráfico				

(Fuente: propia)

Tabla VI.4 Factores de emisión en Ruta

Factores de Emisión en RUTA				
VEHICULO	CICLO	FCO [g/km]	FNOx [g/km]	FHC [g/km]
AVEO FAMILY	CIUDAD T*	6,421	0,466	0,162
	CIUDAD ST**	4,888	0,237	0,054
*T: Tráfico				
**ST: Sin Tráfico				

(Fuente: propia)

Como se puede observar el factor de emisiones obtenido en ruta incrementa al existir un mayor flujo vehicular mientras que en el software IVE independiente de la hora en que se realice el estudio.

ANEXO VII.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN REFERENCIAL PARA EL AJUSTE EN IVE

El cálculo empírico del factor de corrección referencial se realizó mediante una correlación de datos con la variación entre IVE y Ruta de cada ciclo, con lo cual se estableció un factor de corrección por cada vehículo y cada contaminante. A continuación, se calculó un promedio de los valores mencionados anteriormente para luego realizar la corrección pertinente. Se muestran los resultados obtenidos para los vehículos 2 y 3.

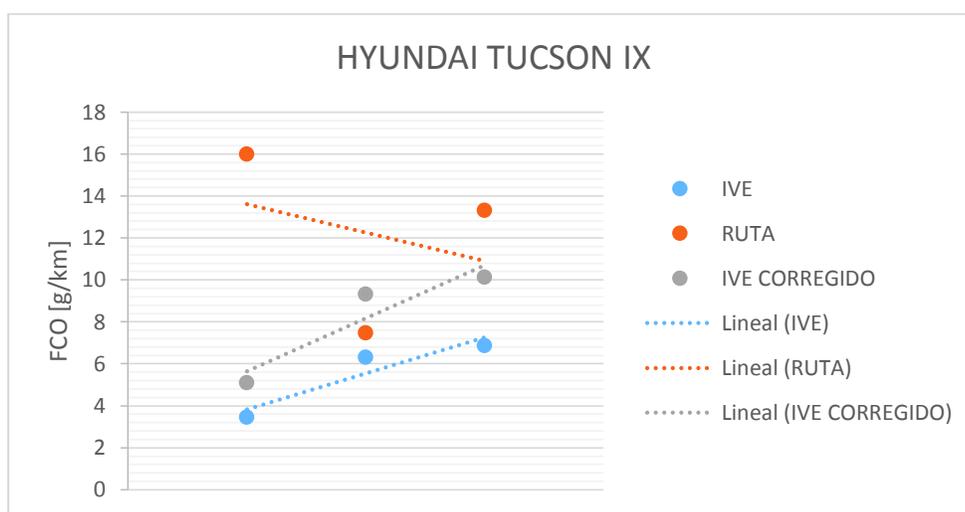


Figura VII.1. Variación FCO [g/km] Hyundai.
(Fuente: propia)

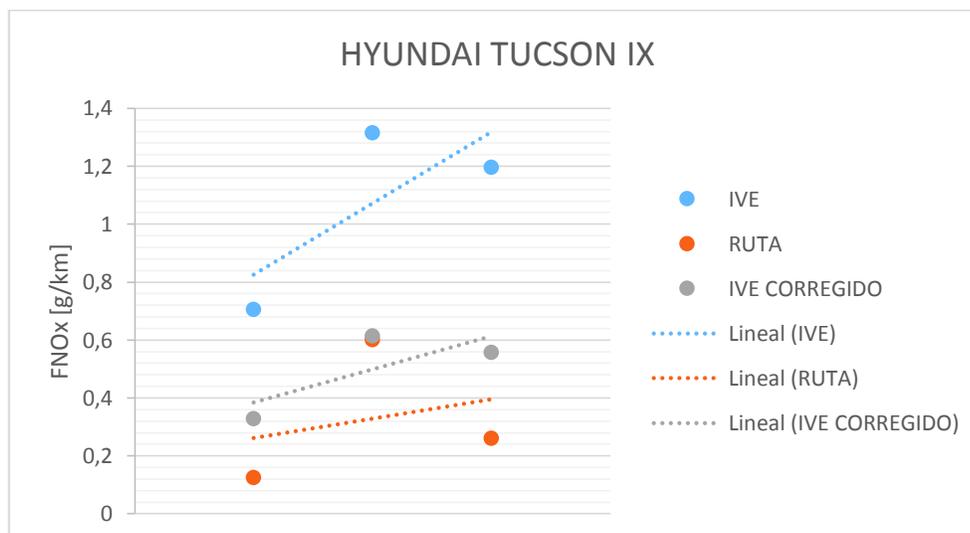


Figura VII.2. Variación FNOx [g/km] Hyundai.
(Fuente: propia)

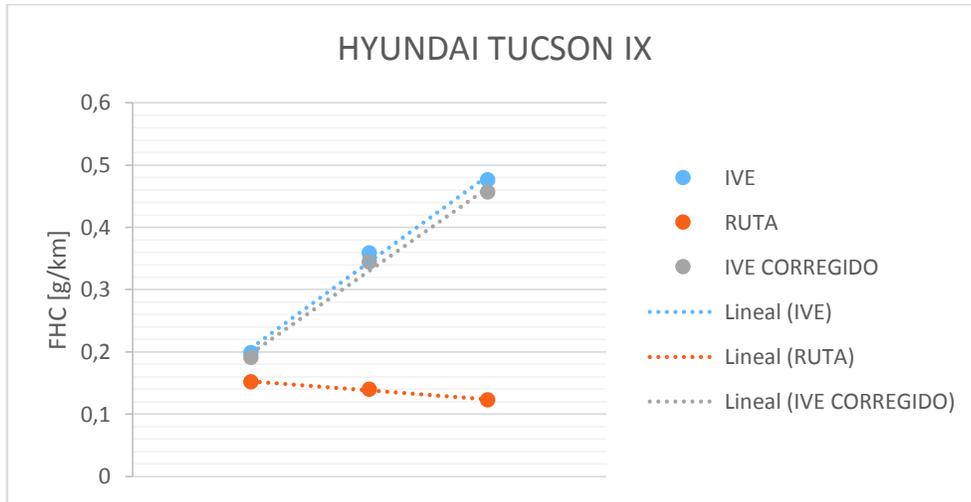


Figura VII.3. Variación FHC [g/km] Hyundai.
(Fuente: propia)

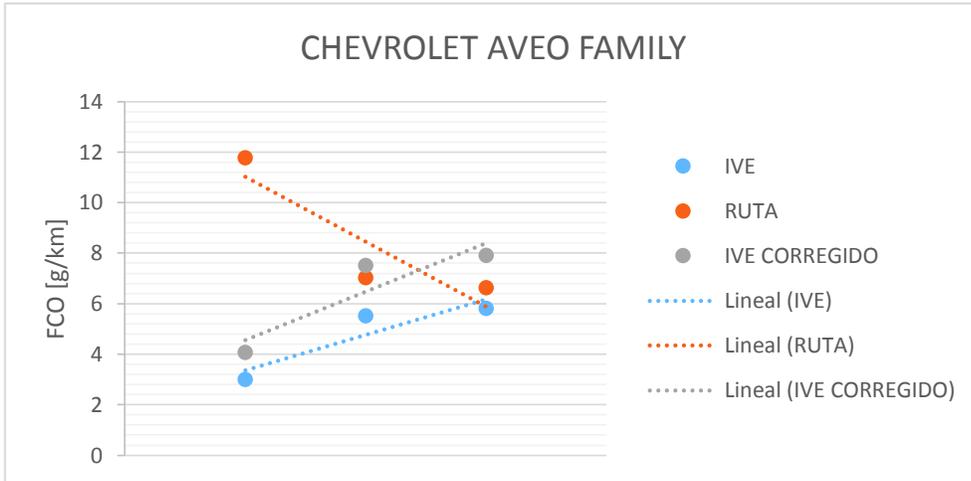


Figura VII.4. Variación FCO [g/km] Chevrolet.
(Fuente: propia)

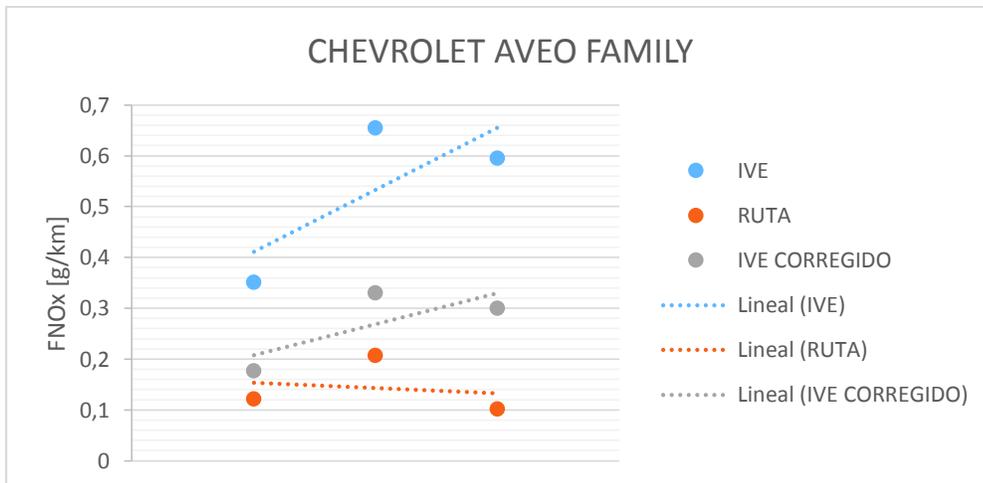


Figura VII.5. Variación FNOx [g/km] Chevrolet.
(Fuente: propia)

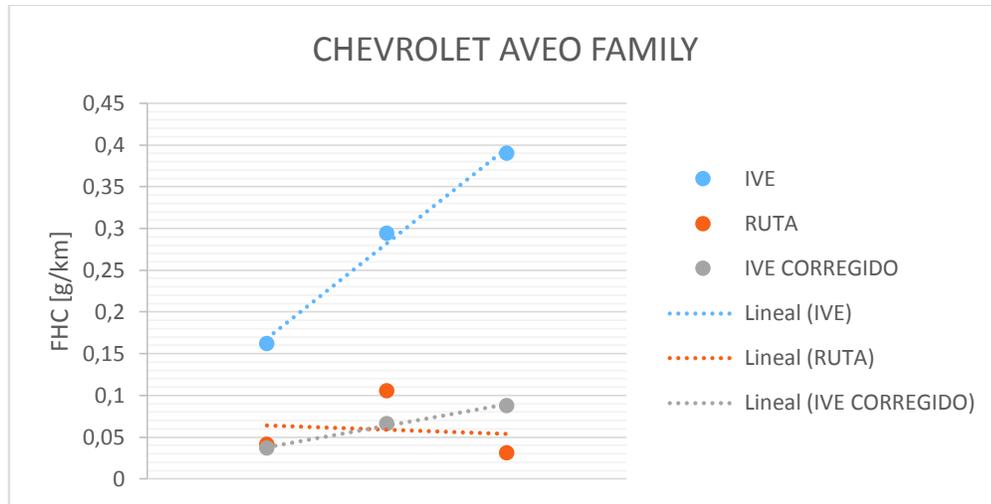


Figura VII.6. Variación FHC [g/km] Chevrolet.
(Fuente: propia)

Como resultado de la aplicación del factor de corrección referencial se obtuvieron nuevos porcentajes de variación entre los datos estimados con IVE y los determinados en pruebas en ruta, en donde se observa que la reducción de la variación es considerable.

Tabla VII.1. Porcentaje de variación entre datos de ruta y estimación con IVE.

Vehículo	Promedio ΔFCO [%]	Promedio ΔNOx [%]	Promedio ΔFHC [%]
Toyota Hilux	24%	26%	120%
Hyundai Tucson IX	39%	93%	148%
Chevrolet Aveo Family	31%	101%	77%

(Fuente: propia)

ANEXO VIII.
CERTIFICADOS DE REALIZACIÓN DE ENSAYOS