



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
AUTOMOTRIZ

**Desarrollo de aplicación para la obtención de bins de
entrada de patrones de conducción de acuerdo al modelo
internacional de emisiones vehiculares (IVE)**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Autor:

BYRON FERNANDO ROMERO TORRES

Director:

MATEO FERNANDO COELLO SALCEDO

CUENCA, ECUADOR

2017

DEDICATORIA

A mis padres:

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por sus consejos, por su infranqueable respaldo para lograr cada uno de los objetivos que nos hemos planteado consiguiéndolos con éxitos; a mis hermanos por haberme apoyado en todo momento y alentarme a continuar, a Dios, por permitirme llegar hasta este punto y por darme salud, fortaleza y perseverancia en todo este proceso, a mis compañeros, a mis maestros y amigos, a quienes sin su ayuda no hubiera podido culminar este trabajo investigativo.

Byron Fernando Romero Torres

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo quiero agradecer a mis padres, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; a mis hermanos, amigos y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de este proyecto. A mi director de tesis por su paciencia y motivación para que pueda terminar esta etapa. Son muchas personas que han formado parte de mi proceso hacia mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos difíciles. Gracias a ustedes, se los agradezco desde el fondo de mi alma.

Byron Fernando Romero Torres

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO 1: MODELOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES.....	16
1.1 Inventarios de emisiones de fuentes móviles	16
1.2 Métodos directos para la estimación de factores de emisión.....	20
1.2.1 Pruebas en dinamómetro	20
1.2.2 Mediciones a bordo	21
1.3 Factores de emisión a través del modelo simplificado de la combustión.....	21
1.4 Métodos indirectos (Modelos de emisiones vehiculares).....	23
1.4.1 Modelo COPERT	23

1.4.2 Modelo MOBILE	23
1.4.3 Modelo MOVES	24
1.4.4 Modelo IVE.....	24
1.4.5 Comparación de modelos de estimación de emisiones vehiculares	25
1.5 Estudios llevados a cabo mediante IVE	27
1.5.4 INVENTARIO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS EN CARRETERA Y ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE PARA SHANGHAI, CHINA 2008.....	27
1.5.2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES VEHICULARES BASADA EN MODOS DE CONDUCCIÓN Y POTENCIA ESPECÍFICA VEHICULAR, CHILE 2008.....	28
1.5.3 ESTIMACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ E IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES PERTINENTES, COLOMBIA 2005	29
1.5.1 MODELACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES EN QUITO, ECUADOR 2016.....	29
1.6 Problemática	30
1.7 Objetivo General	32
1.8 Objetivos Específicos	32

CAPÍTULO 2: MODELO INTERNACIONAL DE EMISIONES VEHICULARES 33

2.1 Selección de rutas	33
2.2 Selección de horarios.....	34
2.3 Selección de equipo GPS.....	34
2.4 Criterio de conducción	34
2.5 Ajustes Generales	35
2.6 Flota vehicular	36
2.7 Pestaña Localidad.....	38
2.8 Pestaña Cálculo	41

CAPÍTULO 3: PROGRAMACIÓN DE APLICACIÓN..... 43

3.1 Corrección de datos del GPS	43
3.2 Cálculo de Bines VSP	48
3.3 Desarrollo de la aplicación	51
3.3.1 Panel Importar.....	52
3.3.2 Panel Datos	54

3.3.3 Panel Exportar.....	55
3.3.4 Botón “MODELO IVE”	56
CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN A TRAVÉS DE CASOS DE ESTUDIO	57
4.1 Rutas seleccionadas	57
4.2 Equipos utilizados en el registro de datos	61
4.2.1 Equipo GPS.....	61
4.2.2 Equipo de medición On Board.....	61
4.2.3 Vehículo utilizado.....	63
4.3 Filtrado y corrección de datos	64
4.4 Cálculo de Bines VSP	66
4.4.1 Resultados.....	70
4.4.2 Validación de la aplicación desarrollada	73
4.5 Cálculo de emisiones utilizando el modelo IVE.	76
4.5.1 Flota vehicular	76
4.5.2 Datos de localidad.....	77
4.5.3 Resultados de emisiones	78
4.5.4 Comparación de resultados entre datos filtrados y datos sin filtrar	79

4.5.5 Comparación de resultados entre la aplicación desarrollada y la aplicación <i>Speed Emissions Evaluation</i>	81
4.6 Cálculo de emisiones utilizando el equipo On Board	83
4.6.1 Resultados de emisiones	84
4.7 Comparación de resultados entre la metodología IVE y mediciones On Board.	85
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Total de vehículos matriculados en Ecuador entre los años 2008 y 2015	17
Figura 1.2. Laboratorio de control de emisiones.....	20
Figura 1.3. Equipo de medición de emisiones portátil.....	21
Figura 1.4. Resultados de la encuesta sobre los modelos de emisiones.....	25
Figura 1.5. Interfaz gráfica de la aplicación SpeedEmissionsEvaluation.	31
Figura 2.1. Modelo IVE – Ajustes Generales.	35
Figura 2.2. Modelo IVE – Flota.	37
Figura 2.3. Modelo IVE – Localidad.	38
Figura 2.4. Modelo IVE – Resultados.....	41
Figura 3.1. Ejemplo de datos anormales en la curva velocidad/tiempo.....	44
Figura 3.2. Ejemplo de datos anormales en la curva altitud/tiempo.	44
Figura 3.3. Interfaz gráfica de la aplicación desarrollada para la corrección de datos.	45
Figura 3.4. Ejemplo de exclusión de datos en la curva velocidad/tiempo.	45
Figura 3.5. Ejemplo de suavizado de curva.	46
Figura 3.6. Ejemplo de suavizado de la curva altitud/tiempo.	47
Figura 3.7. Aplicación para cálculo de Bines VSP.	51
Figura 3.8. Panel menú.....	52
Figura 3.9. Interfaz gráfica del panel importar.	53
Figura 3.10. Interfaz gráfica del panel Datos.	54

Figura 3.11. Interfaz gráfica del panel exportar.	55
Figura 4.1. Recorrido de la ruta 1.	58
Figura 4.2. Recorrido de la ruta 2.	58
Figura 4.3. Recorrido de la ruta 3.	59
Figura 4.4. Recorrido de la ruta 4.	59
Figura 4.5. Recorrido de la ruta 5.	60
Figura 4.6. Equipo GPS utilizado.	61
Figura 4.7. Equipo On Board instalado en el vehículo de pruebas.	62
Figura 4.8. Aplicación desarrollada para la corrección de datos del GPS.	64
Figura 4.9. Aplicación desarrollada en Java.	66
Figura 4.10. Aplicación Speed Emissions Evaluation.	66
Figura 4.11. Bines VSP obtenidos de la ruta 1.	73
Figura 4.12. Bines VSP obtenidos de la ruta 2.	73
Figura 4.13. Bines VSP obtenidos de la ruta 3.	74
Figura 4.14. Bines VSP obtenidos de la ruta 4.	74
Figura 4.15. Bines VSP obtenidos de la ruta 5.	74
Figura 4.16. Flota vehicular ingresada al Modelo IVE.	76
Figura 4.17. Datos de localidad cargados la pestaña del mismo nombre.	77
Figura 4.18. Comparación de emisiones de NO _x entre datos filtrados y datos sin filtrar.	79
Figura 4.19. Comparación de emisiones de HC entre datos filtrados y datos sin filtrar.	79
Figura 4.20. Comparación de emisiones de CO entre datos filtrados y datos sin filtrar.	80

Figura 4.21. Comparación de emisiones de PM entre datos filtrados y datos sin filtrar.	80
Figura 4.22. Comparación de emisiones de CO ₂ entre datos filtrados y datos sin filtrar.	80
Figura 4.23. Comparación de emisiones totales de PM entre la aplicación desarrollada y el software <i>Speed Emissions Evaluation</i>	81
Figura 4.24. Comparación de emisiones totales de CO entre la aplicación desarrollada y el software <i>Speed Emissions Evaluation</i>	81
Figura 4.25. Comparación de emisiones totales de HC entre la aplicación desarrollada y el software <i>Speed Emissions Evaluation</i>	82
Figura 4.26. Comparación de emisiones totales de NO _x entre la aplicación desarrollada y el software <i>Speed Emissions Evaluation</i>	82
Figura 4.27. Comparación de emisiones totales de CO ₂ entre la aplicación desarrollada y el software <i>Speed Emissions Evaluation</i>	82
Figura 4.28. Instalación del equipo On Board.	83
Figura 4.29. Equipo On Board instalado en el vehículo de pruebas.	83
Figura 4.30. Comparación del factor de emisión de CO.	85
Figura 4.31. Comparación del factor de emisión de CO.	86
Figura 4.32. Comparación del factor de emisión de CO.	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Incremento esperado de emisiones basado en los factores AP-42 de la EPA.	18
Tabla 1.2. Emisión de contaminantes primarios del Cantón Cuenca durante el año 2014.....	19
Tabla 1.3. Principales ventajas y desventajas de los modelos de emisiones vehiculares.	26
Tabla 2.1. Intervalos de tiempo para la clasificación de Bines SOAK.....	40
Tabla 3.1. Valores programados del Índice de RPM índice	49
Tabla 3.2. Rangos para la clasificación de Bines en el Modelo IVE.....	50
Tabla 4.1. Información sobre rutas seleccionadas.	57
Tabla 4.2. Datos técnicos del equipo On Board.....	62
Tabla 4.3. Tiempo estimado para el cálculo de Bines VSP.	70
Tabla 4.4. Total de Bines VSP.....	71
Tabla 4.5. Diferencia de resultados entre ambas aplicaciones.....	75
Tabla 4.6. Emisiones resultantes - Speed Emissions Evaluation (Datos filtrados)....	78
Tabla 4.7. Emisiones resultantes - Aplicación desarrollada (Sin filtrar datos).....	78
Tabla 4.8. Emisiones resultantes - Aplicación desarrollada (Datos filtrados).	78
Tabla 4.9. Resultados de las mediciones On Board.	83
Tabla 4.10. Resultados de las mediciones On Board.	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Líneas de programación de aplicación para corrección de datos del GPS.....	94
Anexo 2: Líneas de programación de aplicación para la estimación de Bines VSP de acuerdo al modelo IVE.....	94

**DESARROLLO DE APLICACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE BINES DE
ENTRADA DE PATRONES DE CONDUCCIÓN DE ACUERDO AL
MODELO INTERNACIONAL DE EMISIONES VEHICULARES (IVE)**

RESUMEN

Este trabajo describe la metodología utilizada en el cálculo de Bines VSP de acuerdo al modelo IVE. Aplicar la metodología IVE en nuestro medio supone dificultades debido a la mala calidad de datos del GPS, esto se solucionó con la corrección y suavizado de curvas. Posteriormente, se desarrolló una aplicación que facilitó la estimación de Bines VSP, y se validó confrontando resultados con el software *SpeedEmissionsEvaluation*, donde la diferencia promedio fue del 0.2%. Finalmente, se comparó las emisiones de CO, HC y NO_x, entre la metodología IVE y mediciones On Board, cuya diferencia fue del 34%, 9% y 762% respectivamente.

Palabras clave: Modelo IVE, emisiones vehiculares, Bines VSP, factor de emisión.



Mateo Fernando Coello Salcedo

Director del Trabajo de Titulación



Mateo Fernando Coello Salcedo

Director de Escuela



Byron Fernando Romero Torres

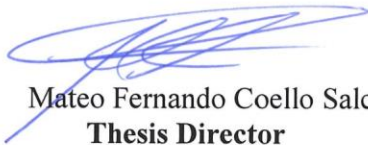
Autor

**DEVELOPMENT OF AN APPLICATION TO OBTAIN ENTRY BINS FOR
DRIVING PATTERNS IN ACCORDANCE WITH THE INTERNATIONAL
VEHICLE EMISSIONS (IVE) MODEL**

ABSTRACT

This paper described the methodology used in the calculation of VSP (Vehicular Specific Power) Bins according to the IVE model. Applying the IVE methodology in our environment implies difficulties due to the GPS poor data quality. This was solved with the correction and smoothed curves. Subsequently, an application that facilitated the estimation of VSP Bins was developed, and then it was validated by comparing results through the *Speed/Emissions Evaluation* software, where the average difference was 0.2%. Finally, CO, HC and NO_x emissions, whose difference were 34%, 9% and 762%, respectively, were then compared using IVE methodology and On-Board measurements.

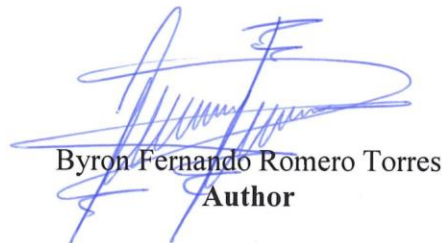
Keywords: IVE Model, vehicular emissions, VSP Bins, emission factor.



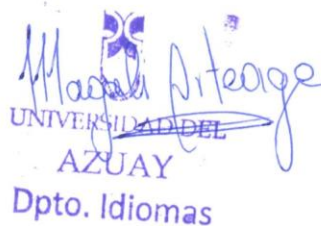
Mateo Fernando Coello Salcedo
Thesis Director



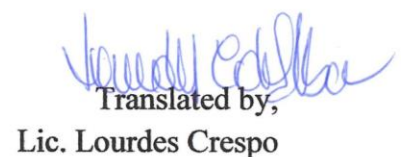
Mateo Fernando Coello Salcedo
School Director



Byron Fernando Romero Torres
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

CAPÍTULO 1

MODELOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES

En este capítulo se estudia los modelos de emisiones vehiculares más utilizados en la región, se describe brevemente cada uno de estos y se analizan sus diferencias. Además, se recopila información relevante de estudios similares realizados. Así como el establecimiento de la problemática, objetivo general y objetivos específicos.

1.1 Inventarios de emisiones de fuentes móviles

Un inventario de emisiones de fuentes móviles es una compilación de información relacionada con la fuente de uno o más problemas de calidad de aire en una zona de interés. Los inventarios de emisión son un componente obligatorio en el desarrollo de una gestión de calidad del aire efectivo, ya que normalmente se utilizan para apoyar el análisis del impacto que provocan las fuentes de contaminación, además de aportar al análisis de patrones en programas de reducción de contaminación y al análisis de políticas regulatorias en el esfuerzo de mejorar la calidad del aire (Lents et al., 2017).

En la actualidad el incremento de vehículos en centros poblados genera problemas de tráfico vehicular y deterioro de la calidad del aire, según cifras del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en Ecuador en el año 2015 se registraron 1.925.368 vehículos matriculados lo que representa un incremento del 109% entre los años 2008 y 2015, como se muestra en la Figura 1.1 (INEC, 2015).

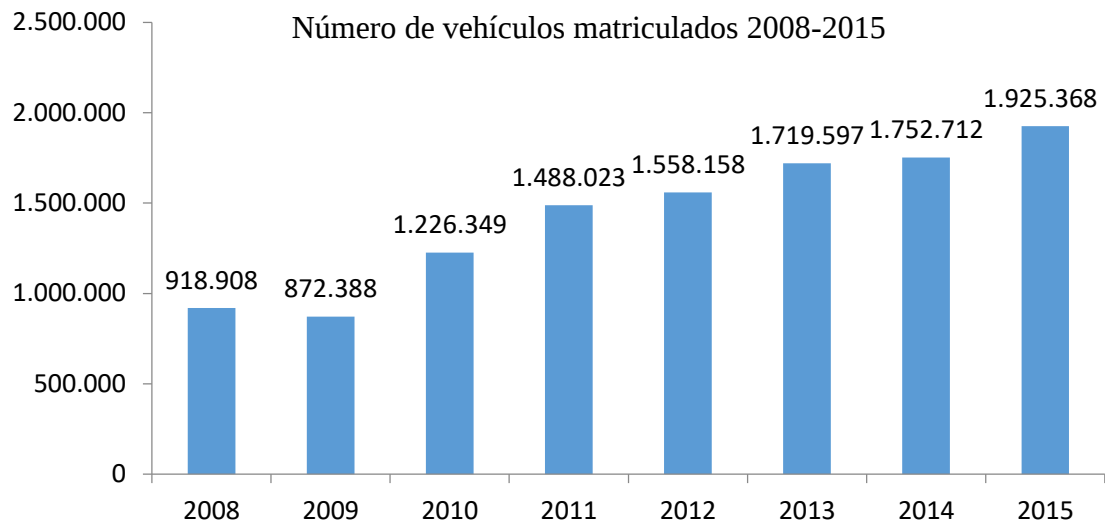


Figura 1.1. Total de vehículos matriculados en Ecuador entre los años 2008 y 2015

Otro factor que se debe tener en cuenta en la modelación del inventario de emisiones es la edad del parque automotor, según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) esta edad promedio es de 14,94 años (AEADE, 2017). Este dato influye en la estimación de emisiones, ya que generalmente los vehículos más antiguos producen mayor cantidad de contaminantes, debido a dos factores principales:

- Los vehículos nuevos están equipados con mejores sistemas de control de emisiones.
- Los vehículos incrementan sus niveles de emisión de acuerdo al desgaste del motor.

Como se podría esperar, el motor del vehículo y los sistemas de control de emisiones se deterioran operando de manera menos eficiente a medida que envejece, este desgaste normal del motor y sus componentes puede ser acelerado por los contaminantes del combustible lo que normalmente conlleva a un aumento de las emisiones. Este enfoque es utilizado por la EPA de los Estados Unidos en sus factores de emisión AP-42.

En la Tabla 1.1 se observa el incremento esperado de emisiones luego de 161000 km en comparación a un vehículo nuevo. Considerando que las emisiones reales para un vehículo a inyección de combustible con catalizador, aún después del gran aumento mostrado, son menores a las de un vehículo equipado con carburador. (Lents et al., 2017)

Tabla 1.1. Incremento esperado de emisiones basado en los factores AP-42 de la EPA.

Contaminante	Carburado (sin control)	Carburado (Catalítico)	Inyección de combustible (Catalítico)
HC	47%	568%	821%
CO	57%	322%	1137%
NO_x	18%	68%	781%

La antigüedad del parque automotor en Ecuador se puede considerar como media en la región, donde destacan países como Brasil y Chile con 7 años y 8,5 años respectivamente, en cambio países como Perú registra una edad media de 16 años y Argentina es el país con el parque automotor más antiguo, con un promedio de 19,5 años. (Revista Motor, 2015)

Si se analiza la situación actual de Ecuador, se observa que la mayoría de ciudades no hace control permanente sobre las emisiones de fuentes móviles a pesar de que representan la mayor parte de la contaminación atmosférica, en la Tabla 1.2 se muestra la cantidad de contaminantes en t/a de diferentes fuentes de emisión, datos tomados del “Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca 2014”, donde el tráfico vehicular es responsable del 71% de emisiones de NO_x, 95% de emisiones de CO, 40% de emisiones de COV, 4% de emisiones de SO₂, 56% de emisiones de MP₁₀, 42% de emisiones de MP_{2.5}, 58% de emisiones de CO₂, 4% de emisiones de CH₄ y 80% de emisiones de N₂O. (Parra, 2016)

Tabla 1.2. Emisión de contaminantes primarios del Cantón Cuenca durante el año 2014.
Fuente:(Parra, 2016).

	NOx	CO	COV	SO₂	PM10	PM2,5	CO₂	CH₄	N₂O
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Tráfico vehicular	71,2	94,9	39,6	4,0	55,6	42,4	58,4	4,2	79,2
Vegetación	0,0	0,0	19,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Industrias	7,8	0,4	1,0	60,4	5,1	5,7	27,3	0,2	2,0
Térmica	18,5	0,5	0,8	35,1	7,1	11,3	4,6	0,0	0,4
Disolventes	0,0	0,0	29,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gasolineras	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GLP Doméstico	1,6	0,0	0,0	0,0	0,6	1,0	9,2	0,0	10,8
Tráfico aéreo	0,3	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,3
Rellenos sanitarios	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	95,6	0,0
Ladrilleras	0,6	4,0	3,5	0,2	24,6	38,5	0,0	0,0	7,3
Erosión eólica	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	1,1	0,0	0,0	0,0
Canteras	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0

Existen tres componentes principales para desarrollar un inventario de emisiones de fuentes móviles:

- **Actividad vehicular:** Hace referencia a los kilómetros recorridos por vehículo, en el área de estudio normalmente se conoce como KRV o KVR, este dato puede ser obtenido de los registros de programas de mantenimiento vehicular, centros de matriculación o por encuestas.
- **Distribución de flota vehicular:** Reúne información sobre las características de los vehículos como tipo de vehículo, cilindrada del motor, tipo de combustible, sistema de admisión de combustible y tecnologías equipadas para el control de emisiones. Dependiendo del uso, esta flota se debe clasificar en varias categorías o tecnologías vehiculares.
- **Factores de emisión:** Es la cantidad de contaminante emitido en masa por unidad de distancia, a menudo se expresa en (gr/Km) y depende de ciertos factores como tecnología equipada, sistemas de control de emisiones, mantenimiento, kilometraje acumulado del automóvil, características del combustible, condiciones geográficas, temperatura y humedad.

Los métodos para el cálculo de factores de emisión se subdividen en dos grupos: Métodos directos y métodos indirectos (Modelos de Emisiones Vehiculares), los cuales se describen a continuación.

1.2 Métodos directos para la estimación de factores de emisión

Este tipo de métodos permiten calcular un factor de emisión más preciso a comparación con los métodos indirectos, pero el costo que implica la adquisición de equipos para este tipo de proceso es muy alto, por lo que es poco viable en países en vías de desarrollo.

1.2.1 Pruebas en dinamómetro

Las pruebas se realizan en un laboratorio equipado con un dinamómetro de chasis, en donde una muestra de los gases y partículas son transportadas hacia varios analizadores de gases, estas se llevan a cabo siguiendo ciclos de conducción específicos y en condiciones controladas. Este tipo de instalaciones son muy costosas, un ejemplo de estas instalaciones se muestra en la Figura 1.2.



Figura 1.2. Laboratorio de control de emisiones.

Fuente: <http://www.bosal.com/en/innovation-expertise/research-development/emissions>

1.2.2 Mediciones a bordo

Mediante la utilización de equipos portátiles de medición de emisiones (PEMs por sus siglas en inglés), que se acoplan en el vehículo y permiten registrar datos de emisiones contaminantes en operación. Como punto negativo este tipo de equipos tienen un alto costo y requieren constantes calibraciones para asegurar resultados precisos. En la Figura 1.3 se muestra un equipo PEMs instalado en un automóvil.



Figura 1.3. Equipo de medición de emisiones portátil.

Fuente: <http://www.millbrook.co.uk/press-office/news/millbrook-further-strengthens-its-pems-capabilities/>

1.3 Factores de emisión a través del modelo simplificado de la combustión

Representa la conversión de la mezcla aire/combustible en sus principales componentes. Es posible desarrollar un balance de masa entre la cantidad de carbono presente en el combustible y el carbono presente en los gases resultantes de la combustión (CO_2 , CO y HC). Debido, a que el número total de átomos presente en ambos casos debería ser igual. (Caiza Jácome & Portilla Aguilar, 2011)

El cálculo empieza por desarrollar una fórmula equivalente para el combustible, de la cual se puede deducir que el peso molecular del combustible está dado por la forma molecular equivalente CH_y , considerando como productos de la combustión los

siguientes: CO, H₂O, C₃H₆, CO₂, N₂ y NO, se realiza balance de masa para la combustión, despreciando el exceso de oxígeno. Adicionalmente, se necesita realizar mediciones de las concentraciones volumétricas de estos gases para obtener datos adicionales que nos permitan resolver las incógnitas (Frey & Eichenberger, 1997).

Si se considera como base principal del combustible al octano C₈H₁₈, que equivale a CH_{2.25}, se puede proceder a determinar el peso molecular del combustible:

$$MW_{Fuel} = \frac{12 \text{ g C}}{\text{mol C}} * \left(\frac{1 \text{ mol C}}{\text{mol Fuel}} \right) + \frac{1 \text{ g H}}{\text{mol H}} * \left(\frac{2.25 \text{ mol H}}{\text{mol Fuel}} \right) = 114.23 \frac{\text{g Fuel}}{\text{mol Fuel}}$$

Finalmente, introduciendo la densidad del combustible en Kg/m³, y el consumo de combustible en m³/Km, se puede obtener un factor de emisión en gramos de contaminante por kilómetro recorrido (Caiza Jácome & Portilla Aguilar, 2011).

Estas ecuaciones se utilizarán en el cálculo de factores de emisión mediante mediciones On Board.

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{Km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2} \right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0.01425} \quad \text{Ec.1.1}$$

$$EF_{HC} = \frac{g_{HC}}{Km} = \frac{28 \frac{\%HC}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2} \right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0.01425} \quad \text{Ec.1.2}$$

$$EF_{NO} = \frac{g_{NO}}{Km} = \frac{28 \frac{\%NO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2} \right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0.01425} \quad \text{Ec.1.3}$$

1.4 Métodos indirectos (Modelos de emisiones vehiculares)

Su principal ventaja es el bajo costo de implementación, aunque los resultados son menos precisos que los métodos directos. Son programas computacionales que utilizan información obtenida de los métodos directos, que es ajustada a las condiciones teóricas de cada modelo, para realizar cálculos de factores de emisión. (Sánchez, Green, Orjuela, & Klakamp, 2013)

1.4.1 Modelo COPERT

Es un modelo informático utilizado para calcular las emisiones de gases contaminantes como de efecto invernadero de vehículos en carretera. Fue desarrollado por el Centro de investigación Conjunta de la Comisión Europea, para la estimación de inventarios de emisiones en los países miembros de del Espacio Económico Europeo (EEE) y es coherente con las Directrices 2006 del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). Es aplicable a todas las investigaciones pertinentes considerando que las tecnologías a ser evaluadas deben obedecer a la clasificación europea EURO. (Emisia, 2017)

1.4.2 Modelo MOBILE

El modelo MOBILE fue desarrollado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y aprobados por la misma para estimar la contaminación de vehículos en carretera. La última versión MOBILE 6.2 fue lanzada en 2004 y nos permite calcular las emisiones de hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) de los vehículos livianos, motocicletas, camiones ligeros y pesados. Este fue el modelo utilizado para calcular los inventarios de emisiones en Estados Unidos, pero en la actualidad ha sido reemplazado por el modelo MOVES. (US EPA, 2017)

1.4.3 Modelo MOVES

Es el actual modelo de emisiones de vehículos de motor de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y se utiliza para calcular factores de emisión o inventarios de emisiones de vehículos en carretera. Está programado para proporcionar una estimación precisa de las emisiones de automóviles, camiones y fuentes móviles en una amplia gama de condiciones definidas por el usuario. Además, el modelo incluye una base de datos que resume la información relevante de emisiones en Estados Unidos.

Permite importar datos de entrada ya generados para el modelo MOBILE 6 mediante una herramienta diseñada por la EPA. Pero para el caso de Latinoamérica la información requerida por este modelo generalmente no está disponible fácilmente. (US EPA, 2015)

1.4.4 Modelo IVE

El modelo internacional de emisiones vehiculares (Modelo IVE) al igual que el modelo MOVES toman un enfoque diferente en el cálculo de emisiones para fuentes móviles en carretera, en comparación con el modelo MOBILE y modelos europeos que dependen de ciclos de conducción para realizar sus cálculos.

En cambio, el Modelo IVE permite cargar directamente al programa toda la información referente a los hábitos de conducción dentro del área de estudio, mediante los Bines VSP. El modelo cuenta con tres categorías de estrés y 20 categorías de VSP, para un total de 60 Bines, que se calculan a partir de datos de tiempo, velocidad y altitud registrados en ruta.

El enfoque mencionado responde a observaciones realizadas por la EPA, ISSCR, UCR y otros investigadores en los años noventa, donde se afirma que existe una relación directa entre la demanda de potencia de un vehículo y las emisiones que éste produce. (Lents et al., 2017)

1.4.5 Comparación de modelos de estimación de emisiones vehiculares

El análisis presentado en el artículo “Development of a Common Assessments Framework and Proposed Methodologies for Integrated Assessments of GHG and Local Pollutants of Urban Transport Interventions in Latin America and the Caribbean Region” evalúa los modelos de emisiones vehiculares más utilizados en América Latina y el Caribe; además, presenta las principales ventajas y desventajas de cada uno. Los resultados de esta investigación se muestran en la Tabla 1.3. Teniendo en cuenta las ventajas del modelo IVE se considera como el más factible de utilizar, pero entre sus desventajas está el no tener claro la metodología de obtención de los bins de patrones de conducción que es una de sus principales características. (Clean Air Institute, 2012)

Esta decisión también está respaldada por el artículo técnico “RESEARCH ON TRANSPORTATION-RELATED EMISSIONS: CURRENT STATUS AND FUTURE DIRECTIONS” el cual llevo a cabo una encuesta a profesionales en el área de emisiones del transporte. En la sección Evaluación y Comentarios sobre los Sistemas de Modelamiento de Emisiones, se evaluó lo siguiente: difusión mundial, exactitud de resultados, fácil implementación y modelo amigable con el usuario. El Modelo IVE obtuvo la más alta calificación, destacando como el modelo más amistoso con el usuario, además de obtener buenas calificaciones respecto a precisión de resultados y fácil implementación. Los resultados de esta encuesta se pueden observar en la Figura 1.4. (Cadle et al., 2009)

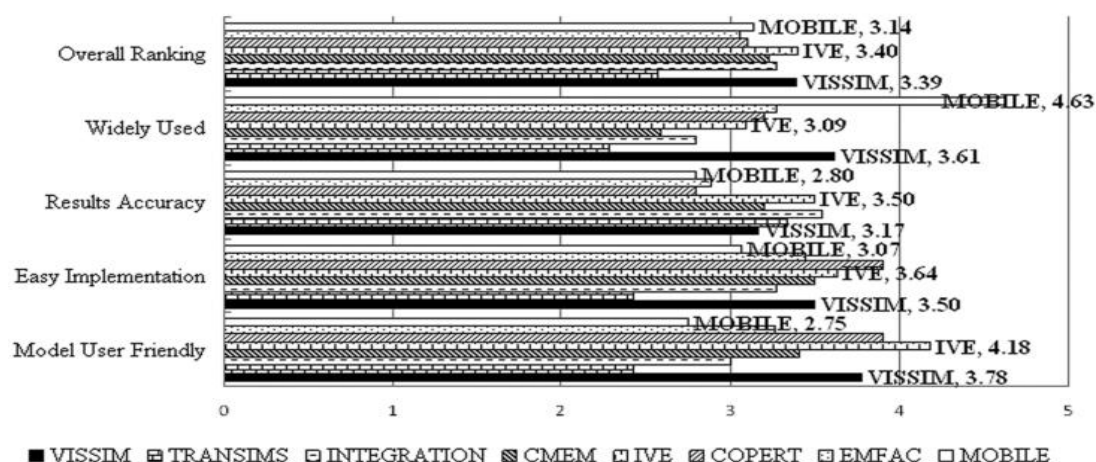


Figura 1.4. Resultados de la encuesta sobre los modelos de emisiones.
Fuente: (Cadle et al., 2009)

Tabla 1.3. Principales ventajas y desventajas de los modelos de emisiones vehiculares.

	RESUMEN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
COPERT	Utilizado para estimar inventarios de emisiones y realizar proyecciones de emisiones.	Se ha mejorado la información acerca de las categorías de vehículos ligeros, ciclomotores y motocicletas en comparación con los modelos estadounidenses.	El software sólo puede aplicarse en aquellas naciones que utilicen la clasificación de tipo EURO en la tecnología de vehículos.
		Tiene una buena fuente de factores de emisión que pueden ser utilizados en diferentes lugares, en donde la flota será clasificada con categorías EURO.	
MOBILE	Modelo utilizado para calcular los factores de emisión	Modelo de emisiones estándar, con entradas y suposiciones que están generalmente disponibles para el análisis de contaminantes de criterios y el análisis de GEI.	No tener en cuenta los impactos de las velocidades del vehículo o las condiciones de operación en el CO ₂ - no capaz de abordar adecuadamente los impactos de las mejoras del flujo de tráfico.
		Marco para tóxicos del aire que es fácil de usar y ajustar.	Restringido a las flotas compuestas principalmente de vehículos con tecnología estadounidense.
		Emisiones de contaminantes menos comúnmente considerados.	Limitaciones significativas en los datos de la economía de combustible para el desarrollo de proyecciones.
		Ha sido adaptado para su uso en México	Modelo MOBILE6-MEXICO está desactualizado.
MOVES	Programa que estima las emisiones vehiculares en carretera expresadas como masa total o como factores de emisión	Fácilmente adaptable a las condiciones locales.	Los datos predeterminados se limitan a las mediciones estadounidenses.
		Relativamente fácil de ejecutar	Una versión totalmente personalizada de MOVES fuera de los Estados Unidos requeriría un esfuerzo sustancial de recopilación de datos.
			La gran cantidad de datos contenidos en el modelo hacen que sea algo complejo de usar para ciertos tipos de análisis de proyectos simples o para reemplazar valores predeterminados.
IVE	Metodología para la recolección de datos relacionados con el vehículo y modelo para el desarrollo del inventario de emisiones	Método de bajo costo.	Limitada a las estimaciones de emisiones de vehículos en carretera solamente.
		Incluye datos de ciudades como Santiago, Ciudad de México, Lima, Bogotá y Sao Paulo	
		Estimación de emisiones para flotas compuestas de tecnologías europeas y estadounidenses.	Para las grandes ciudades con un número significativo de tecnologías, la entrada de datos puede ser grande.
		Predecir futuras intervenciones en flota, calidad de combustible, flujos de vehículos y congestiones	

1.5 Estudios llevados a cabo mediante IVE

En esta sección se describen algunos estudios realizados sobre el modelo IVE por varios investigadores.

1.5.4 INVENTARIO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS EN CARRETERA Y ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE PARA SHANGHAI, CHINA 2008

Este documento presenta un enfoque ascendente basado en el modelo de emisión internacional de vehículos (IVE) para desarrollar el inventario de emisiones de vehículos para Shanghái. A medida que aumenta la población de vehículos y la actividad, las emisiones de vehículos se están convirtiendo en la fuente más predominante de contaminación del aire en Shanghái, China. Ha llegado a ser importante estimar con exactitud las emisiones del tráfico en esta ciudad.

Los resultados muestran que alrededor del 20% de las emisiones totales se emitieron durante el período de arranque en frío. Vehículos pesados como camiones y autobuses aportaron más de la mitad de NOX y PM. Motocicletas y ciclomotores proporcionaron 45,0% de VOC y 36,3% de PM. Los vehículos ligeros son la principal fuente de emisiones de CO. También se analizó la evaluación de las emisiones de los vehículos por hora y tipo de carretera. Los tres períodos máximos de emisión representaron el 54% al 56% de las emisiones totales durante el día y más del 50% de las emisiones totales se emitieron en las arterias. Por último, el estudio se centró en el análisis de la incertidumbre de dos factores críticos: los factores de emisión y la estimación del total de Kilómetros de vehículos recorridos (VKT).

El análisis indica que los factores de emisión calculados en este documento son cercanos a los factores medidos durante las pruebas en carretera y la diferencia entre el VKT utilizado en este documento y otros cálculos es inferior al 10%. (Wang, Chen, Huang, & Fu, 2008)

1.5.2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES VEHICULARES BASADA EN MODOS DE CONDUCCIÓN Y POTENCIA ESPECÍFICA VEHICULAR, CHILE 2008

El objetivo principal de este estudio es aplicar una metodología de cálculo de emisiones vehiculares basada en modos de conducción y PSV para vehículos livianos en zonas urbanas. Este nuevo esquema de modelación basado en PSV es utilizado para comparar los modos de conducción y su impacto sobre las emisiones vehiculares. La PSV traduce cuantitativamente los parámetros característicos de un modo de conducción instantáneo a niveles de demanda energética del motor. Hoy en día la EPA (U.S. Environmental Protection Agency) pretende convertir esta en la metodología actual de medición de emisiones, a través de su nuevo modelo denominado MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator). Este nuevo modelo comparte la metodología de uno ya existente y de aplicación internacional, el modelo IVE (International Vehicle Emissions), en el cual se basa la presente investigación.

Se obtuvieron diferencias importantes a nivel de velocidades medias, velocidades máximas y aceleraciones entre un centro urbano y otro. Sin embargo, estas diferencias se ven disminuidas al expresar los modos de conducción en términos de PSV, debido a la preponderancia de los eventos de detención en comparación a aquellos en que se presentan cambios de velocidad. A pesar de que las diferencias a nivel de PSV son leves, las emisiones que se producen en Santiago superan casi en un 50% a las que se producen en Buenos Aires para el CO y el NO_x, y más de un 10% en los contaminantes restantes.

De lo anterior se concluye que los hábitos de conducción inciden en forma importante en el cálculo de emisiones vehiculares y deben ser considerados en la determinación de inventarios a través de modelos de emisión. (ARAYA CSASZAR, 2008)

1.5.3 ESTIMACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ E IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES PERTINENTES, COLOMBIA 2005

El objetivo de esta investigación es desarrollar un inventario de emisiones de fuentes móviles de la ciudad de Bogotá, utilizando el modelo internacional de emisiones IVE como herramienta de cálculo. Se estimaron los aportes de cada categoría vehicular a las emisiones totales y se evaluaron diferentes estrategias que podrían disminuir los niveles de emisiones en la ciudad.

Se determinó que los buses representan la categoría vehicular más importante, en términos de emisiones de contaminantes, a pesar de representar menos del 5% del total de vehículos en la ciudad. Los buses generan 50% de las emisiones de PM₁₀, cerca del 30% de las emisiones de CO y 40% de las emisiones de NO_x. Se determinó que el mejoramiento de la calidad de los combustibles diésel es la mejor estrategia para la reducción de las emisiones de PM₁₀ en Bogotá. (Giraldo & Behrentz, 2005)

1.5.1 MODELACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES EN QUITO, ECUADOR 2016

La presente investigación tiene como objetivo la modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito – Ecuador, aplicando una nueva metodología, el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE Model). El modelo IVE, engloba una metodología tipo Bottom – Up, que reúne gran cantidad de información para conformar el inventario de emisiones. Además, este modelo es una herramienta computacional que estima emisiones vehiculares mediante la aplicación de la Potencia Específica Vehicular (VSP), que asocia a cada grado de exigencia del motor un nivel de emisión particular.

Los resultados obtenidos en la primera etapa fueron: composición del flujo vehicular, distribución tecnológica de la flota, distribución de partidas en frío y caracterización de patrones de conducción. Mientras que de la segunda etapa fueron: 1079,022 Ton/día

de CO, 92,29 Ton/día de VOC, 95,72 Ton/día de NOX y 23,25 Ton/día de MP. Por último, en este trabajo se ha logrado estimar las emisiones vehiculares diarias y anuales de la ciudad de Quito para el año 2015 mediante la caracterización experimental de la actividad vehicular de la urbe. Quito resultó tener una flota principalmente formada de autos particulares que junto a buses y camiones son los mayores causantes de los altos niveles de polución en la ciudad. (Guadalupe, 2016)

1.6 Problemática

En los proyectos que se están desarrollando en la Universidad del Azuay utilizando la metodología IVE se han encontrado dificultades en el procesamiento de los datos del GPS, sobre todo en la mala calidad de los datos en las curvas de velocidad/tiempo y altitud/tiempo, estos datos anómalos producidos por la pérdida momentánea de la señal en el equipo GPS se presentan como caídas repentinas a cero y también con una alta dispersión de estos.

Este problema no es expuesto en la literatura por lo que no se tiene claro el procedimiento a seguir cuando se presentan estos errores, debido a esto se considera necesario concebir un método para corregir estas curvas de datos y de esta forma asegurar resultados más acordes a la realidad.

La segunda dificultad encontrada está en el cálculo de los bins de entrada de patrones de conducción (Bins VSP), en cual es parámetro más importante dentro de la metodología IVE ya que como su nombre lo dice representa la forma en que los vehículos son conducidos dentro de la zona de estudio. Para el cálculo de estos existe una aplicación llamada *SpeedEmissionsEvaluation* la cual está disponible en la página web del *International Sustainable Systems Research Center*, la interfaz gráfica de esta se muestra en la Figura 1.5. (ISSRC, 2017)

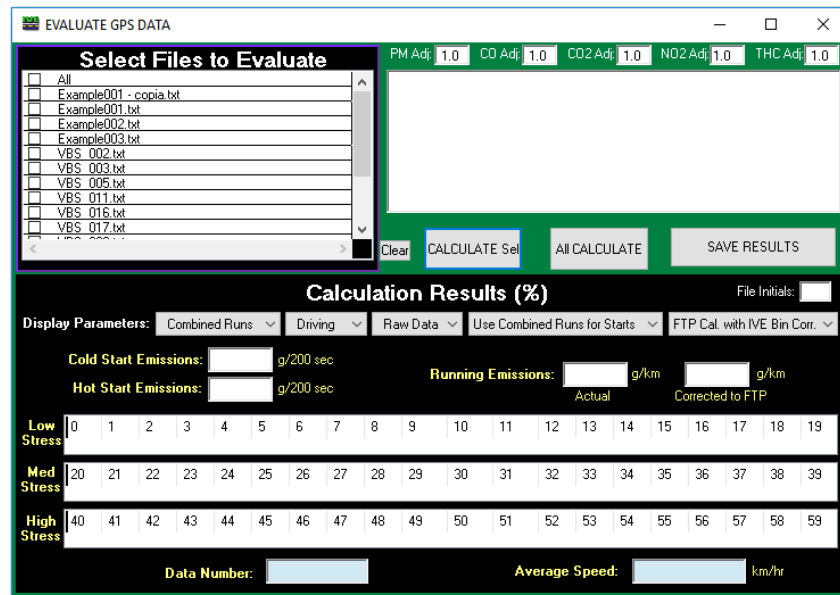


Figura 1.5. Interfaz gráfica de la aplicación SpeedEmissionsEvaluation.

Esta aplicación permite calcular los Bines VSP partiendo desde los datos de tiempo, velocidad y altitud registrados con el equipo GPS, pero su utilización resulta compleja debido a los siguientes factores:

- Los datos de entrada deben estar estructurados en un formato específico con extensión (.txt), además de ajustar varios parámetros como hora de inicio, fin y duración de cada recorrido.
- La interfaz permite cargar varios archivos, pero no escoger la hora a la que pertenecen los datos por lo que se deben realizar cálculos para cada hora de estudio.
- Los resultados deben transcribirse manualmente a la interfaz del Modelo IVE lo que resulta una tarea tediosa y larga que puede derivar en errores de escritura. Si se considera que se registraron datos durante las 24 horas en las 9 rutas recomendadas por la metodología IVE, da como resultado un total de 12960 bins.

1.7 Objetivo General

Desarrollar aplicación para facilitar la obtención de bins de entrada de patrones de conducción de acuerdo al modelo internacional de emisiones vehiculares.

1.8 Objetivos Específicos

- Analizar el funcionamiento del software IVE.
- Definir el método de obtención de las variables requeridas en el software IVE.
- Programar y validar aplicación.
- Analizar la diferencia de resultados.

CAPITULO II

MODELO INTERNACIONAL DE EMISIONES VEHICULARES

En este capítulo se describe con mayor detalle, el proceso necesario para obtener las emisiones contaminantes a través del modelo IVE, así como los datos necesarios de entrada que este precisa y la manera de adquirirlos. También, se explica las diferentes opciones que la interfaz del modelo presenta.

2.1 Selección de rutas

El manual del usuario del modelo recomienda seleccionar tres áreas de la ciudad para el estudio: la primera, que represente una zona de altos ingresos socioeconómicos; la segunda, una zona de bajos ingresos socioeconómicos y la tercera será una zona comercial que generalmente es el centro de la ciudad. Si la zona de estudio es pequeña o no existe una marcada segregación socioeconómica, se puede considerar como una sola. Además, cada área de estudio se subdivide en tres rutas representativas, que son: Autopista (se caracteriza por velocidades altas de conducción, y con poca incidencia de paradas), Arterial (sirven de conexión entre diferentes zonas de la ciudad) y Residencial (son aquellas que tiene varias intersecciones, mantiene velocidades promedio bajas y usualmente son tomadas por los conductores para dirigirse a sus hogares o pequeñas zonas comerciales dentro del área urbana).

2.2 Selección de horarios

Los horarios dependen del estudio a realizarse, generalmente se toma en cuenta las condiciones del tráfico a lo largo del día, considerando las horas de mayor tráfico y las horas en que este es menor. El modelo IVE permite ingresar información en resolución horaria por lo que estudios más detallados hacen la recolección de datos durante las 24 horas.

2.3 Selección de equipo GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de localización, diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo; utiliza conjuntamente una red de ordenadores y una constelación de 24 satélites para determinar por triangulación, la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie terrestre (Pozo Ruz et al., 2000). El equipo GPS utilizado debe ser capaz de registrar datos con una frecuencia de 1 Hz. La velocidad y altitud instantánea del vehículo son la base en el cálculo de los bins de patrones de conducción, de ahí la importancia de estos datos.

2.4 Criterio de conducción

Al recolectar datos la conducción debe estar basada en el seguimiento del flujo vehicular, esto consiste en seguir a cualquier automóvil dentro de la ruta establecida, considerando que si el vehículo adelanta a más de un automóvil este incurre en conducción agresiva y se debe seguir al siguiente vehículo en ruta, caso contrario si lo adelantan más de un automóvil puede que tenga una conducción muy pasiva por lo que se debe aumentar la velocidad y seguir al próximo vehículo en ruta.

2.5 Ajustes Generales

El modelo IVE cuenta con una base de datos de factores de emisión los cuales fueron obtenidos mediante pruebas en dinamómetro bajo condiciones estándar y un ciclo de conducción específico basado en el Procedimiento Federal de Prueba (Federal Test Procedure FTP) de los Estados Unidos.

En caso que el usuario posea datos sobre los factores de emisión para una localidad y tecnología específica, el modelo IVE permite modificar estos valores para el cálculo.

A continuación, se explica brevemente el contenido de la pestaña *Ajustes Generales* mostrado en la Figura 2.1.

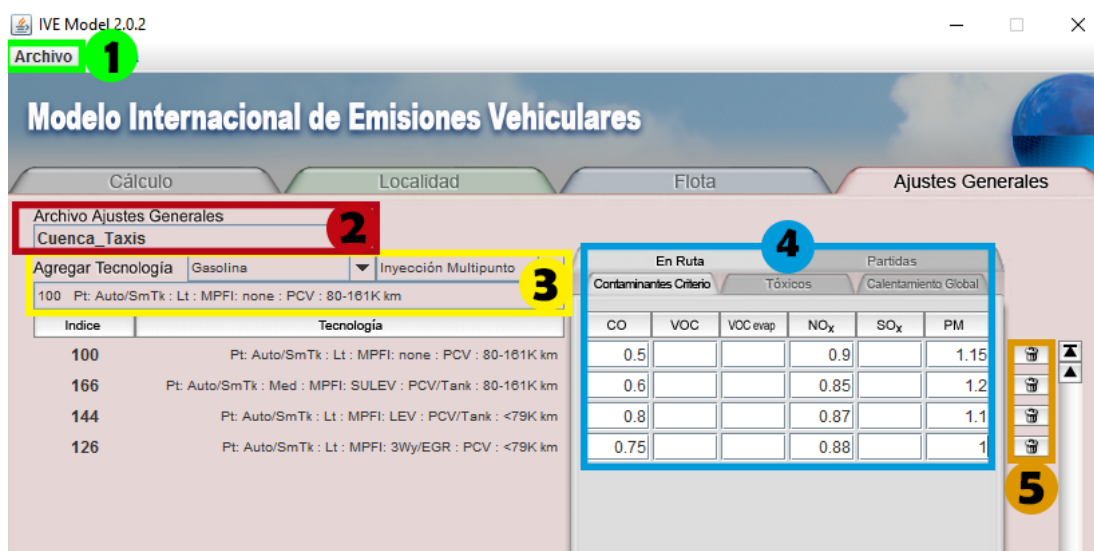


Figura 2.1. Modelo IVE – Ajustes Generales.

- 1.- *Archivo*: Se utiliza para crear, modificar o eliminar archivos de ajustes generales.
- 2.- *Archivo Ajustes Generales*: Sirve para seleccionar el archivo a ser modificado.
- 3.- Permite agregar nuevas tecnologías a la lista.
- 4.- En los recuadros correspondientes a cada tecnología se ingresa el valor de corrección para cada contaminante, tomando en cuenta que 1 no cambia el factor de

emisión y que 1.25 representa que el valor del factor de emisión aumento un 25%. Los campos vacíos se consideran como 1.

5.- Se utiliza para borrar tecnologías de la lista.

2.6 Flota vehicular

Este parámetro describe adecuadamente las tecnologías propias de cada vehículo dentro de la flota estudiada. El archivo contiene una lista de todas las tecnologías vehiculares que van a ser analizadas que dependen del tipo de combustible, tamaño del vehículo, kilometraje en el odómetro, sistema de alimentación de combustible, sistemas de control de emisiones evaporativas y sistemas de control de emisiones de escape. En la Figura 2.2. se muestran el contenido de la pestaña *Flota* y se detalla su contenido.

Se debe definir la flota que será estudiada, para luego recopilar información sobre las tecnologías vehiculares utilizadas por dicha flota. Si el usuario necesita ingresar distintos patrones de conducción para cada tipo de vehículo o tecnología se debe separar la flota en varios archivos según sea necesario. Por lo general las instituciones de control de tránsito en la ciudad llevan control de la totalidad de vehículos registrados describiendo el tipo de vehículo, marca, modelo, año, kilometraje en el odómetro. Otros datos muy importantes son: tipo de sistema de admisión de combustible y tipo sistema de control de emisiones, que deben ser investigados en caso de no existir esta información.

El documento “*FleetFileTemplate*” disponible en la página web del Modelo IVE (<http://www.issrc.org/ive/>), sirve de referencia para la clasificación de cada vehículo según la tecnología en equipada, el modelo IVE consta de 1372 tecnologías predefinidas y 45 tecnologías adicionales no definidas.

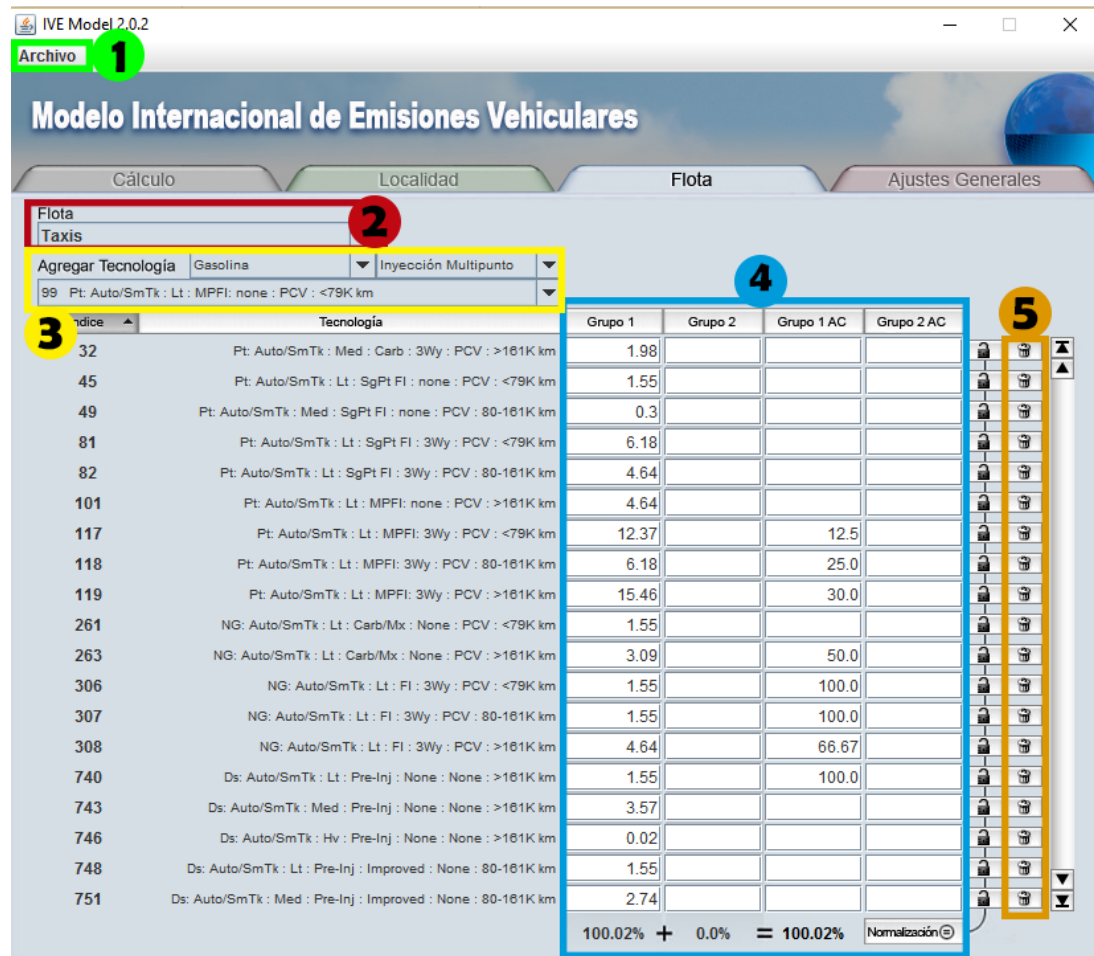


Figura 2.2. Modelo IVE – Flota.

1.- *Archivo*: Se utiliza para crear, modificar o eliminar archivos de flota.

2.- *Flota*: Sirve para seleccionar la flota con la cual se quiere trabajar.

3.- Permite agregar nuevas tecnologías a la lista.

4.- Las columnas *Grupo 1* y *Grupo 2* son las casillas en donde se ingresa la fracción en porcentaje que existe en la muestra de vehículos para cada tecnología, la suma de toda la columna debe ser 100%. En cambio, en *Grupo 1 AC* y *Grupo 2 AC* se ingresa el porcentaje correspondiente de vehículos que cuentan con aire acondicionado, las celdas vacías se interpretan como cero.

5.- Se utiliza para borrar tecnologías de la lista.

2.7 Pestaña Localidad

En esta pestaña se ingresan los datos correspondientes al área de estudio, tales como condiciones ambientales, variables de calidad del combustible y comportamiento de conducción. En la Figura 2.3 se muestra la interfaz gráfica de esta pestaña.

IVE Model 2.0.2

Archivo 1

Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares

Cálculo Localidad Flota Ajustes Generales

Localidad 2 Gonzales Suarez_Pueba

Flota 3

Ajustes Generales 4 - ninguno -

Día 16 Mes Julio Año 2016

Día de la Sem 5 Sábado

Altitud 2513.0 metros

Tipo de I/M 6 ralenti centralizado (veh. pas.)

Aire Acondicionado a 27°C 8 50.0 %

Pendiente Terreno 7 0.0

Características Combustible 9

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 12:00

Use esta Hora

Características de Conducción 10

Bins VSP Bins Soak

Humedad 66.0 %

Temperatura 16.6 °Celsius

Distancia/Tiempo 11 5.3 kilómetros

Partidas 12 0.0

Velocidad Promedio 13 19.3 km/hr

Grupo 1 Grupo 2

Bin VSP 0 Bin VSP 1 Bin VSP 2 Bin VSP 3 Bin VSP 4 Bin VSP 5 Bin VSP 6 Bin VSP 7 Bin VSP 8 Bin VSP 9

Bin VSP 10 Bin VSP 11 Bin VSP 12 Bin VSP 13 Bin VSP 14 Bin VSP 15 Bin VSP 16 Bin VSP 17 Bin VSP 18 Bin VSP 19

Bin VSP 20 Bin VSP 21 Bin VSP 22 Bin VSP 23 Bin VSP 24 Bin VSP 25 Bin VSP 26 Bin VSP 27 Bin VSP 28 Bin VSP 29

Bin VSP 30 Bin VSP 31 Bin VSP 32 Bin VSP 33 Bin VSP 34 Bin VSP 35 Bin VSP 36 Bin VSP 37 Bin VSP 38 Bin VSP 39

Bin VSP 40 Bin VSP 41 Bin VSP 42 Bin VSP 43 Bin VSP 44 Bin VSP 45 Bin VSP 46 Bin VSP 47 Bin VSP 48 Bin VSP 49

Bin VSP 50 Bin VSP 51 Bin VSP 52 Bin VSP 53 Bin VSP 54 Bin VSP 55 Bin VSP 56 Bin VSP 57 Bin VSP 58 Bin VSP 59

15 min 30 min 1 hora 2 horas 3 horas 4 horas 6 horas 8 horas 12 horas 18 horas

Total 100.0

Distribución Potencia Especifica Vehicular

Total 100.0

Distribución Tiempo Soak 15

Figura 2.3. Modelo IVE – Localidad.

- 1.- *Archivo*: Se utiliza para crear, modificar o eliminar archivos de localidad.
- 2.- *Localidad*: Sirve para seleccionar la localidad con la cual se quiere trabajar.
- 3.- Permite seleccionar la Flota asociada a este archivo de localidad.
- 4.- Permite seleccionar los Ajustes Generales asociada a este archivo de localidad.
- 5.- Altitud de la localidad (msnm), generalmente se utiliza el promedio de la registrada con GPS.

6.- Tipo de *Inspección/Mantenimiento (I/M)*, hace referencia al estado general de la flota vehicular en el área de estudio, el modelo IVE cuenta con varios tipos de I/M de acuerdo al tipo de vehículo, al tipo de prueba que puede ser en ralentí o prueba con carga, además de quien realiza las pruebas. Un programa *descentralizado* significa que las pruebas son realizadas por uno o varios operadores privados, se considera este tipo de programa como menos eficiente, en cambio un programa *centralizado* es operado por el gobierno.

7.- *Pendiente terreno*: Existen dos formas de ingresar la pendiente del área de estudio, la primera consiste en ingresarla directamente, siempre y cuando ésta sea constante en toda la zona de estudio, y la segunda opción siendo la más recomendable, es de dejar este recuadro como cero y que la pendiente este incluida en los Bines VSP, la metodología de cómo incluir la pendiente en estos bins se explica en el (Capítulo III, 3.2).

8.- *Aire acondicionado*: Se refiere al porcentaje de tiempo que la flota equipada con A/C, lo usaría a una temperatura de 27 °C. El modelo toma en cuenta la temperatura ambiental ingresada en el recuadro 10 y asume que a 15 °C. ningún vehículo lo utilizará, también asume que a 32 °C. la flota equipada lo usaría el 100% del tiempo.

9.- *Características combustible*: Se refiere a la calidad del combustible que se vende en la localidad. Para la gasolina existen 4 opciones de calidad donde *Moderada/Premezcla* se encuentra seleccionado por defecto y no tiene ningún impacto sobre las emisiones, *Limpia* es utilizada cuando el combustible mejora las emisiones, *Sin Premezcla* significa que el dueño del vehículo mezcla manualmente el aceite y gasolina esto para motores de dos tiempos. Además, existen 4 niveles para contenido de azufre, 3 niveles para contenido de plomo, 4 niveles para contenido de benceno y 4 niveles para contenido de oxigenados. Mientras que en combustibles diésel referente a la calidad existen 4 opciones, *Moderado* esta por defecto y no tiene impacto sobre las emisiones, *Limpio* cuando mejora las emisiones, *Biodiesel* cuando es un derivado de aceites grasos de plantas o animales, y *Emulsión de agua* cuando contiene agua con el fin de bajar la temperatura de combustión.

10.- *Humedad y Temperatura*: Se debe ingresar la humedad relativa y temperatura promedio del área de estudio.

11.- *Distancia/Tiempo*: En este recuadro se escribe la distancia total recorrida por la flota y permite escoger las unidades de este dato. Los resultados finales se mostrarán en las mismas unidades seleccionadas en este apartado.

12.- *Partidas*: Es el número de veces que el motor fue encendido durante las horas del estudio, pueden ser ingresadas en resolución horaria.

13.- *Velocidad promedio*: Velocidad media en ruta, normalmente obtenida del GPS.

14.- Bines de patrones de conducción: Representa uno de los datos más importantes en el modelo IVE, ya que representan las características y modos de conducción propios de cada localidad. Existen 60 bines que dependen de la potencia específica vehicular y del estrés del motor, este parámetro será detallado en el (Capítulo III, 3.2).

15.- Bines SOAK: Distribución en porcentaje del tiempo que el motor estuvo apagado antes de cada partida (encendida del motor), existen 10 intervalos de tiempo para ingresar esta información. De igual forma las partidas pueden tener un gran impacto en las emisiones resultantes, esto se debe a que un automóvil con el motor frío consume más combustible hasta alcanzar su temperatura óptima de funcionamiento, lo que genera un incremento de emisiones contaminantes. Estos se clasifican según los intervalos de la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Intervalos de tiempo para la clasificación de Bines SOAK.

Descripción del Bin	Período de tiempo en minutos
15 min	0 a 15
30 min	16 a 30
1 hora	31 a 60
2 hora	61 a 120
3 hora	121 a 180
4 hora	181 a 240
6 hora	241 a 360
8 hora	361 a 480
12 hora	481 a 720
18 hora	721 o mayor

2.8 Pestaña Cálculo

Pestaña donde se muestran el total de contaminantes calculados, el modelo permite estimar contaminantes criterio [Monóxido de carbono (CO), Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC), emisiones Evaporativas de los Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC evap), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Óxidos de Azufre (SO_x) y Material Particulado (PM)], tóxicos [Plomo, 1.3-Butadieno, Acetaldehído, Formaldehído, Amonio (NH₃) y Benceno] y contaminantes causantes del calentamiento global [Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrógeno (N₂O) y Metano (CH₄)]. También permite exportar los resultados a un archivo de texto, en la Figura 2.4 se describe brevemente esta pestaña.

Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares

Cálculo | Localidad | Flota | Ajustes Generales

Grupo Localidad: - localidad Individual -

Calcular Localidades: Gonzales Suarez_Prueba (Taxi Cuenca)

Localidades Disponibles: Gonzales Suarez_Ingreso Centro Historico, HoraPico_ida, HoraPico_Vuelta, HoraValle_ida, HoraValle_Vuelta

Calcular una Hora | Calcular un Día

Mostrar Hora: 12:00

Mostrar Unidades: gramos

Distancia/Tiempo: 5.3 km | Partidas: 0.0

Resultados

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Partidas Hora	0.0	0.0	0.0
En Ruta Hora	1718.27	0.01	6.07
Total Hora	1718.27	0.01	6.07
Partidas Dia	0.0	0.0	0.0
En Ruta Dia	6655.54	0.02	22.04
Total Dia	6655.54	0.02	22.04

Figura 2.4. Modelo IVE – Resultados.

- 1.- *Archivo*: Se utiliza para crear, modificar o eliminar grupos de localidades.
- 2.- *Grupo Localidad*: Se utiliza para crear un grupo de localidades y hacer el cálculo total de ellas, por defecto esta seleccionado *–localidad individual–* lo que permite agregar solo un archivo.
- 3.- *Calcular Localidades*: Se muestra la localidad con la que se quiere trabajar.
- 4.- *Localidades Disponibles*: Lista de localidades asociadas y su respectiva flota que están disponibles.
- 5.- *Mostrar Hora*: Para seleccionar una hora específica al realizar el cálculo.
- 6.- *Mostrar Unidades*: Permite seleccionar las unidades en la que se mostraran los cálculos.
- 7.- *Distancia/Tiempo y Partidas*: Muestra la distancia total recorrida por la flota y número de partidas según el cálculo seleccionado, puede ser de una hora específica o de todo el día.
- 8.- *Resultados*: Expone la cantidad de contaminantes de la hora seleccionada o total del día.

CAPITULO III

PROGRAMACIÓN DE APLICACIÓN

En este capítulo se describe la metodología utilizada para el procesamiento y corrección de datos provenientes del GPS, este instrumento suele tener pérdidas de señal, lo que genera una recopilación de datos atípicos. Se utilizó el software Matlab en la corrección de dichos datos y el lenguaje de programación Java para el desarrollo de una aplicación destinada al cálculo de Bines VSP.

3.1 Corrección de datos del GPS

Luego de recolectado los archivos con el equipo GPS, el primer paso es tabular los datos con extensión (.xlsx), el archivo debe contener tres columnas, la primera con el tiempo en segundos, la segunda debe presentar la velocidad en km/h y la tercera columna define la altitud en msnm.

Como se describió anteriormente el GPS puede perder señal, lo que genera datos anómalos que comprometen los resultados al momento de calcular los bins de patrones de conducción, por esta razón se consideró pertinente corregir estos errores. En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de datos anormales en la curva velocidad/tiempo donde se puede observar repentinas caídas de la velocidad a cero.

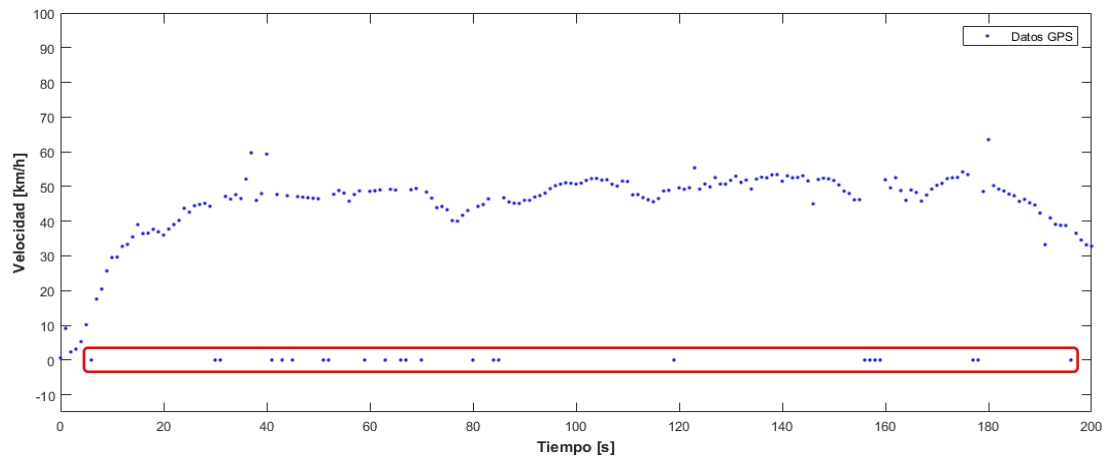


Figura 3.1. Ejemplo de datos anormales en la curva velocidad/tiempo.

Lo mismo sucede en la curva altitud/tiempo con caídas repentinas a cero como se muestra en la Figura 3.2.

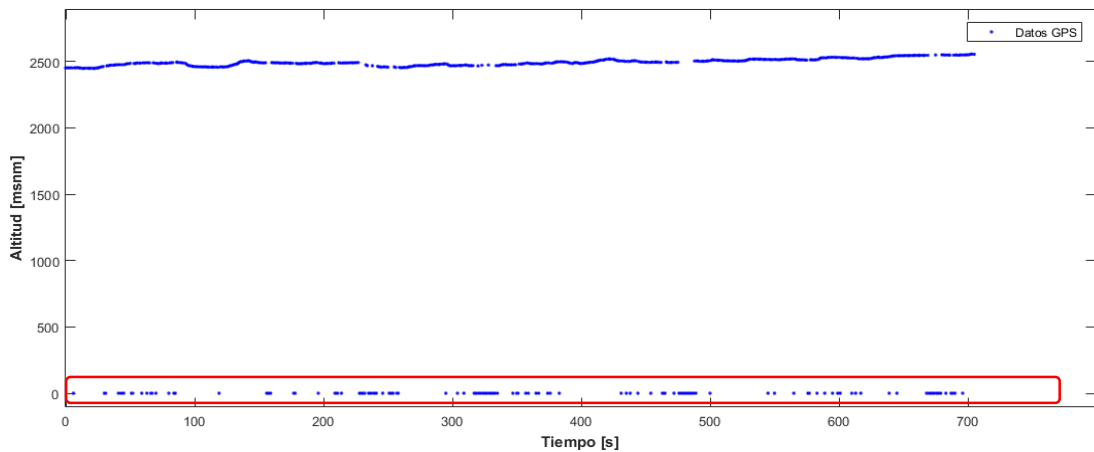


Figura 3.2. Ejemplo de datos anormales en la curva altitud/tiempo.

Para facilitar la corrección de datos se programó una aplicación en la plataforma Matlab cuya interfaz gráfica se muestra en la Figura 3.3, la aplicación permite importar la tabla de datos generada anteriormente, borrar datos anormales, suavizar la curva de datos y por último exportar los resultados a una nueva tabla con extensión (.xlsx).



Figura 3.3. Interfaz gráfica de la aplicación desarrollada para la corrección de datos.

La corrección empieza por excluir datos erróneos mediante el botón “Borrar Datos” como se muestra en la Figura 3.4, la cual permite eliminar los datos seleccionados mediante el comando “ginput” el cual guarda las coordenadas del cursor del mouse sobre los ejes, se almacena las coordenadas de dos puntos y se eliminan los datos entre estos mediante el comando “excluedata”. Estos datos incorrectos marcados en color rojo normalmente se presentan de dos formas: Caídas repentinas a cero cuando se pierde la señal y alta dispersión de datos cuando la señal es débil. (MathWorks, 2017)

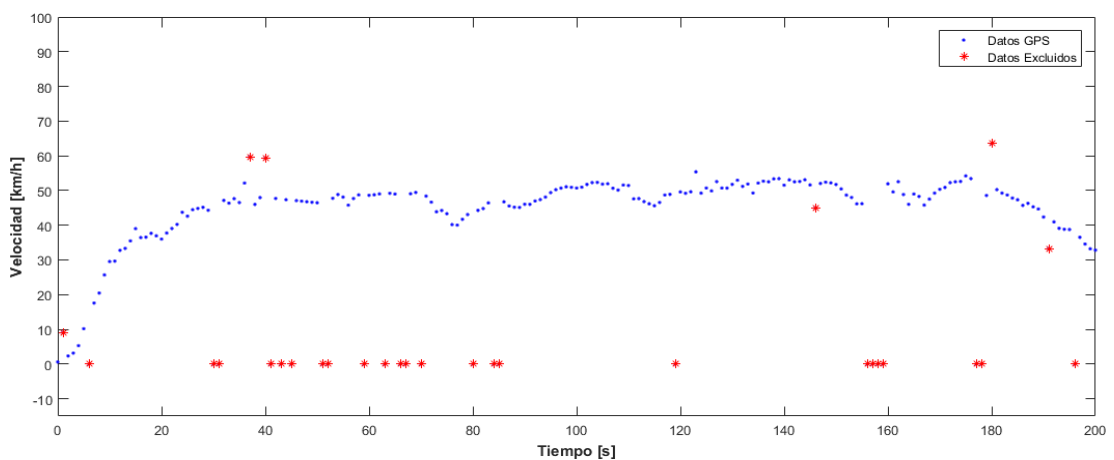


Figura 3.4. Ejemplo de exclusión de datos en la curva velocidad/tiempo.

Luego de eliminar datos erróneos se procede a suavizar la curva eliminando cambios bruscos a una conducción real como se observa en la Figura 3.5, donde en color magenta se muestra la curva de datos luego de aplicada la suavización. Este filtro tiene como objetivo reducir cambios bruscos en la velocidad y rellenar los espacios en blanco producidos al eliminar datos anormales, para lograr esta suavización se utiliza el comando “fit” el cual ajusta los datos mediante el método seleccionado, en este caso se utilizó una suavización por Splines “*Smoothing spline*”. (MathWorks, 2017)

Los splines de suavizado, son splines cúbicos naturales en los que hay tantos nodos como observaciones únicas de x . Esto podría parecer un modelo sobreparametrizado, sin embargo, el término de penalización o parámetro de suavizado asegura que los coeficientes se reduzcan hacia la linealidad, limitando el número de grados de libertad utilizados. (Durbán, 2006)

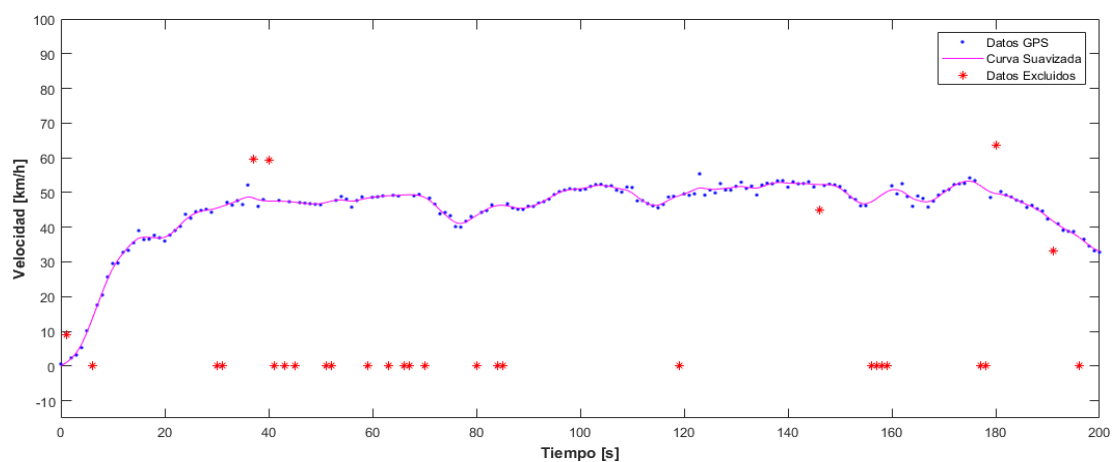


Figura 3.5. Ejemplo de suavizado de curva.

La exactitud del equipo GPS normalmente es menor en el registro de la altitud, por este motivo se debe ser cuidadoso en el análisis de estos datos, el procedimiento aplicado a la curva altitud/tiempo es similar al aplicado en la curva velocidad/tiempo, considerando que al analizar estos datos se observó grandes variaciones de altitud anormales al recorrido, las cuales se pueden corregir ajustando el parámetro de suavización como se muestra en la Figura 3.6.

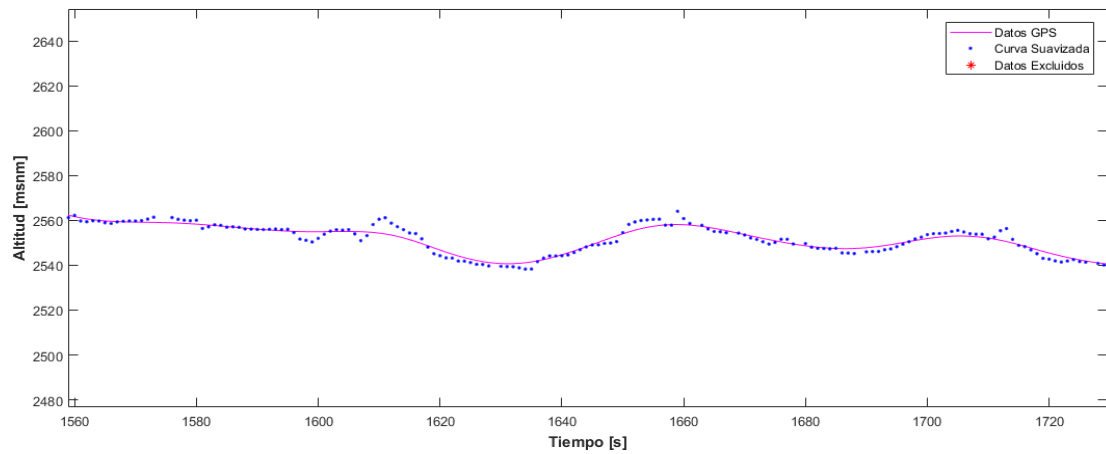


Figura 3.6. Ejemplo de suavizado de la curva altitud/tiempo.

Por último, se exportan los datos corregidos a una nueva tabla de datos con extensión (.xlsx), y se procede con el cálculo de Bines VSP.

3.2 Cálculo de Bines VSP

Los bins de patrones de conducción (Bines VSP) representan la forma en que los vehículos son conducidos en el área de estudio y es una variable crítica en el funcionamiento del modelo, estos dependen de la potencia vehicular específica y del estrés del motor en los segundos previos al cálculo. Ambos se calculan a partir de los datos de velocidad, tiempo y altitud recolectados con el equipo GPS.

VSP se define como Potencia Vehicular Específica, por sus siglas en inglés. La cual está definida por la Ecuación 3.1, donde intervienen los siguientes parámetros: V para velocidad en m/s, a para aceleración en m/s^2 y pendiente representada en radianes. El término $(1.1*v*a)$ representa la demanda de potencia cinética del vehículo, $(0.132*v)$ representa la demanda de potencia debido a la fricción en el motor y ruedas, $(0.000302*v^3)$ representa la demanda de potencia debido a la fricción con el aire, $(atan(sin(pendiente)))$ representa la demanda de potencia debido a la pendiente.

$$VSP = v[1.1a + 9.81(atan(sin(pendiente))) + 0.132] + 0.000302v^3 \quad Ec.3.1$$

El estrés del motor o Engine Stress, constituye el segundo parámetro que se debe calcular, este es un valor adimensional el cual define la carga a la que está supeditado el motor del vehículo. Y se obtiene mediante la Ecuación 3.2, donde los valores del índice de RPM es un valor adimensional y están declarados en la Tabla 3.1. La potencia promedio procede de los valores promedio de VSP's entre los segundos -5 y -25 del valor a calcular.

$$Estres\ del\ motor = indice\ de\ RPM + \left(0.08 \frac{ton}{kW}\right) * potencia\ promedio \quad Ec.3.2$$

Tabla 3.1. Valores programados del Índice de RPM índice

Velocidad	VSP<16	VSP>16	Velocidad	VSP<16	VSP>16
(m/s)			(m/s)		
0	0,900	0,900	25	1,923	5,000
1	0,900	0,900	26	2,000	5,200
2	0,900	0,900	27	2,077	5,400
3	1,000	1,000	28	2,154	5,600
4	1,333	1,333	29	2,231	5,800
5	1,667	1,667	30	2,308	6,000
6	1,200	2,000	31	2,385	6,200
7	1,400	2,333	32	2,462	6,400
8	1,600	2,667	33	2,538	6,600
9	1,286	1,800	34	2,615	6,800
10	1,429	2,000	35	2,692	7,000
11	1,571	2,200	36	2,769	7,200
12	1,714	2,400	37	2,846	7,400
13	1,000	2,600	38	2,923	7,600
14	1,077	2,800	39	3,000	7,800
15	1,154	3,000	40	3,077	8,000
16	1,231	3,200	41	3,154	8,200
17	1,308	3,400	42	3,231	8,400
18	1,385	3,600	43	3,308	8,600
19	1,462	3,800	44	3,385	8,800
20	1,538	4,000	45	3,462	9,000
21	1,615	4,200	46	3,538	9,200
22	1,692	4,400	47	3,615	9,400
23	1,769	4,600	48	3,692	9,600
24	1,846	4,800	49	3,769	9,800

Una vez calculados estos dos parámetros se clasifican de acuerdo a la Tabla 3.2, existen 20 niveles de VSP y 3 niveles de estrés para un total de 60 bines. Con el fin de facilitar este cálculo se desarrolló una aplicación en lenguaje Java la cual se describe a continuación.

Tabla 3.2. Rangos para la clasificación de Bines en el Modelo IVE.

Numero de Bin IVE					
Estrés Bajo		Estrés Medio		Estrés Alto	
(-1,6 a 3,1)		(3,1 a 7,8)		(7,8 a 12,6)	
Bin	Rango VSP	Bin	Rango VSP	Bin	Rango VSP
0	-80,0 a -44,0	20	-80,0 a -44,0	40	-80,0 a -44,0
1	-44,1 a -39,9	21	-44,1 a -39,9	41	-44,1 a -39,9
2	-39,8 a -35,8	22	-39,8 a -35,8	42	-39,8 a -35,8
3	-35,7 a -31,7	23	-35,7 a -31,7	43	-35,7 a -31,7
4	-31,6 a -27,6	24	-31,6 a -27,6	44	-31,6 a -27,6
5	-27,5 a -23,4	25	-27,5 a -23,4	45	-27,5 a -23,4
6	-23,3 a -19,3	26	-23,3 a -19,3	46	-23,3 a -19,3
7	-19,2 a -15,2	27	-19,2 a -15,2	47	-19,2 a -15,2
8	-15,1 a -11,1	28	-15,1 a -11,1	48	-15,1 a -11,1
9	-11,0 a -7,0	29	-11,0 a -7,0	49	-11,0 a -7,0
10	-6,9 a -2,9	30	-6,9 a -2,9	50	-6,9 a -2,9
11	-2,8 a 1,2	31	-2,8 a 1,2	51	-2,8 a 1,2
12	1,3 a 5,3	32	1,3 a 5,3	52	1,3 a 5,3
13	5,4 a 9,4	33	5,4 a 9,4	53	5,4 a 9,4
14	9,5 a 13,6	34	9,5 a 13,6	54	9,5 a 13,6
15	13,7 a 17,7	35	13,7 a 17,7	55	13,7 a 17,7
16	17,8 a 21,8	36	17,8 a 21,8	56	17,8 a 21,8
17	21,9 a 25,9	37	21,9 a 25,9	57	21,9 a 25,9
18	26,0 a 30	38	26,0 a 30	58	26,0 a 30
19	30,1 a 1000	39	30,1 a 1000	59	30,1 a 1000

3.3 Desarrollo de la aplicación

Se utilizó el lenguaje de programación Java debido a que es un software de licencia libre, este es un lenguaje de programación y una plataforma informática comercializada por primera vez en 1995 por Sun Microsystems. (Oracle, 2017)

Otra ventaja es que el código Java, una vez compilado, puede llevarse sin modificación alguna sobre cualquier máquina, y ejecutarlo. Esto se debe a que el código se ejecuta sobre una máquina hipotética o virtual, la Java Virtual Machine, que se encarga de interpretar el código y convertirlo a código particular de la CPU que se esté utilizando siempre que se soporte dicha máquina virtual (García, 2002).

Para la programación se empleó NetBeans IDE que es un entorno de desarrollo integrado de código libre y abierto, además de ser el IDE oficial para Java 8, cuenta con editores, analizadores de código y convertidores. (Netbeans, 2017)

El primer paso fue crear una interfaz gráfica que cuenta de un JFrame configurado en diseño absoluto y 5 paneles internos para visualizar los diferentes elementos e información. El diseño del panel principal se muestra en la Figura 3.7.



Figura 3.7. Aplicación para cálculo de Bines VSP.

Adicionalmente en esta ventana se incluye el Panel Menú que se programó para desplazarnos entre todos los paneles. Es un panel simple con 5 botones, 1 para minimizar el propio panel y los 4 restantes abren y cierran las diferentes interfaces gráficas, el diseño se muestra en la Figura 3.8.

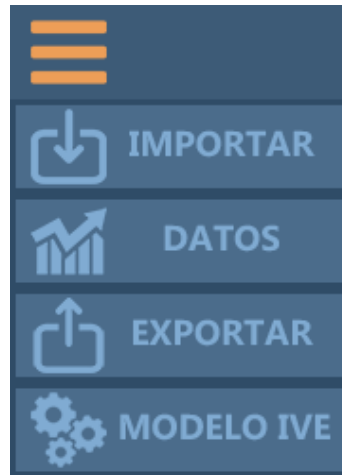


Figura 3.8. Panel menú.

3.3.1 Panel Importar

Este panel permite importar la tabla de datos creada y corregida anteriormente, para ello se utiliza la librería Apache POI la cual es una API de Java para manipular varios formatos de archivo basados en los estándares XML abiertos de Office y el formato de Documento Compuesto OLE 2 de Microsoft. (The Apache Software Foundation, 2017)

Utilizando la librería se trasfiere los datos de la tabulación, a una matriz de trabajo. Una vez importados los datos de velocidad y altitud, se procede al cálculo de Bines VSP de acuerdo al formato del Modelo IVE, las ecuación y tablas de rangos utilizadas se describen en el (Capítulo III, 3.2).

Luego del cálculo de los bins de patrones de conducción, la pestaña nos permite graficar las curvas de velocidad, altitud y Bines VSP, en este caso se utilizó la librería de Java JMathPlot la cual crea un nuevo panel en la posición y de tamaño programado sobre el cual se grafican las curvas mencionadas, además, proporciona un panel con

botones que posibilita hacer zoom sobre la gráfica, ajustar los límites, ver los valores de cada punto seleccionado y muestra una tabla con los datos cargados. También, se creó un campo de texto para mostrar el nombre del archivo, en la Figura 3.9 se muestra la interfaz gráfica del panel.

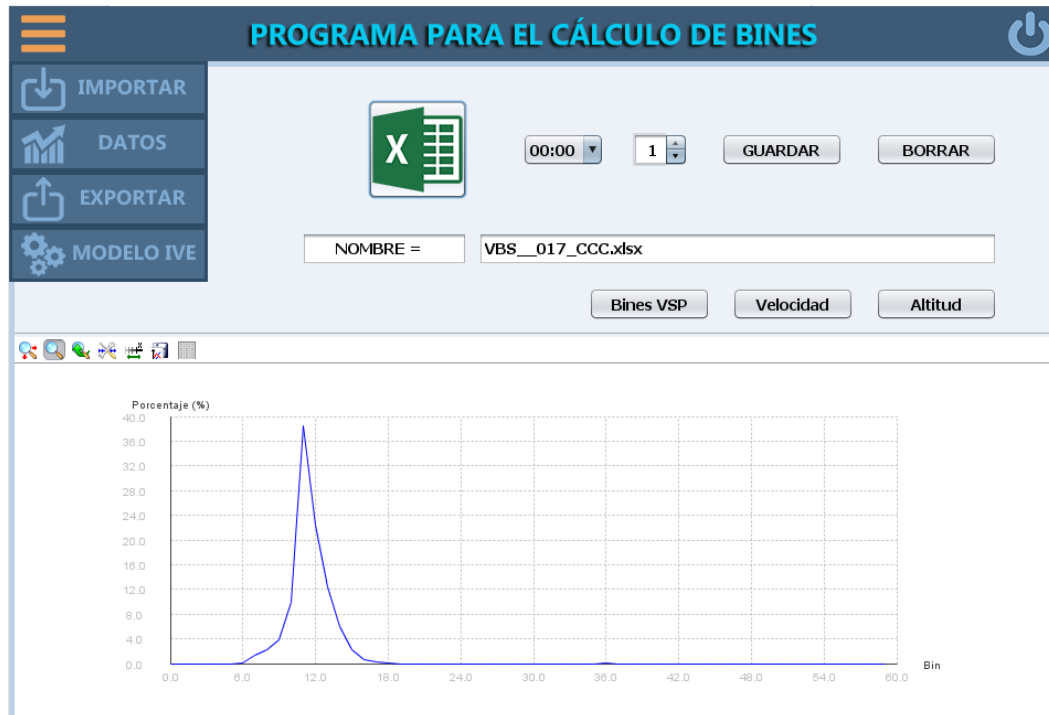


Figura 3.9. Interfaz gráfica del panel importar.

Adicionalmente, se crearon 3 matrices:

- La primera permite guardar los resultados del cálculo de bins y se pueden cargar hasta 20 archivos por cada hora del día para un total de 480 archivos, en caso de existir más de un archivo por hora el programa calcula el promedio y presenta el resultado total.
- La segunda matriz es de tipo String (cadena de caracteres), que se utiliza para guardar los nombres de cada archivo almacenado.
- La tercera se utiliza para el procesamiento de datos.

Los botones “GUARDAR” y “BORRAR” como su nombre lo dice nos permite guardar y borrar respectivamente los datos en la hora y posición marcada. La hora se selecciona mediante un JComboBox con opciones desde las 00:00 hasta 23:00 similar a la selección de hora en el modelo IVE. La posición se escoge mediante un JSpinner y va desde la posición 1 hasta la 20.

3.3.2 Panel Datos

Se creó para mostrar los datos guardados, al igual que en el panel anterior cuenta con un JSpinner y un JComboBox para escoger la posición y hora. En la interfaz se muestra el nombre del archivo, los valores en porcentaje para cada uno de los 60 bins calculados, la velocidad promedio en km/h, altitud promedio en msnm, distancia recorrida en Km y el total de tiempo en segundos. Se pueden visualizar cada uno de los 480 archivos que nos permite cargar el programa, además del total promedio de cada hora si pulsamos el botón *TOTAL*. En la Figura 3.10 se muestra el diseño del panel.



Figura 3.10. Interfaz gráfica del panel Datos.

3.3.3 Panel Exportar

Uno de los problemas posteriores al cálculo de los Bines VSP, es digitar los resultados en la interfaz del Modelo IVE, además, de ser una tarea tediosa cuando se cuentan con varios archivos, también puede darse errores de digitación, por lo que se consideró necesario exportar los resultados directamente al modelo.

Esto se logró por medio de dos botones:

- Al pulsar el botón de la derecha se abre un explorador de archivos donde debemos seleccionar el ejecutable del Modelo IVE (IVE Model 2.0.2.exe) y pulsar “GUARDAR RUTA”, esta acción guarda el directorio del programa.
- El botón “Exportar a IVE” crea un nuevo archivo de localidad de nombre igual al ingresado en el campo de texto de localidad, este archivo contiene todos los datos cargados al programa y es legible directamente para el Modelo IVE.

De esta forma al ejecutar el Modelo IVE se tienen todos los datos cargados en la ventana localidad, una imagen del panel se muestra en la Figura 3.11.



Figura 3.11. Interfaz gráfica del panel exportar.

3.3.4 Botón “MODELO IVE”

Por último, este botón ubicado en el panel menú, nos permite abrir el software del modelo IVE directamente desde la interfaz de la aplicación. Para que esto pueda ocurrir, primero se debe guardar la ruta del ejecutable desde el panel exportar.

CAPITULO IV

VALIDACIÓN A TRAVÉS DE CASOS DE ESTUDIO

En este capítulo se muestra la metodología utilizada y los resultados obtenidos de la validación de la aplicación desarrollada para el en cálculo de Bines VSP, y la comparación de resultados en la estimación de emisiones entre mediciones On Board y aplicando la metodología IVE. Para esto se recolectaron datos simultáneamente en varias rutas dentro de la ciudad de Cuenca.

4.1 Rutas seleccionadas

Las rutas seleccionadas corresponden al estudio de maestría en sistemas vehiculares, donde se registraron datos sobre emisiones en varios recorridos a través de la ciudad utilizando un analizador On board. Detalles de las rutas se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Información sobre rutas seleccionadas.

Nombre	Inicio de ruta	Fin de ruta	Distancia [Km]	Tiempo [s]
Ruta 1	Universidad del Azuay	Redondel Las Cholas	7,2	710
Ruta 2	Redondel Las Cholas	Universidad del Azuay	7	705
Ruta 3	Universidad del Azuay	Hurtado de Mendoza	6,9	1050
Ruta 4	Hurtado de Mendoza	Universidad del Azuay	6,9	1150
Ruta 5	Universidad del Azuay	Universidad del Azuay	12,9	1980

En las Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se muestra imágenes satelitales de los recorridos utilizados en esta investigación.

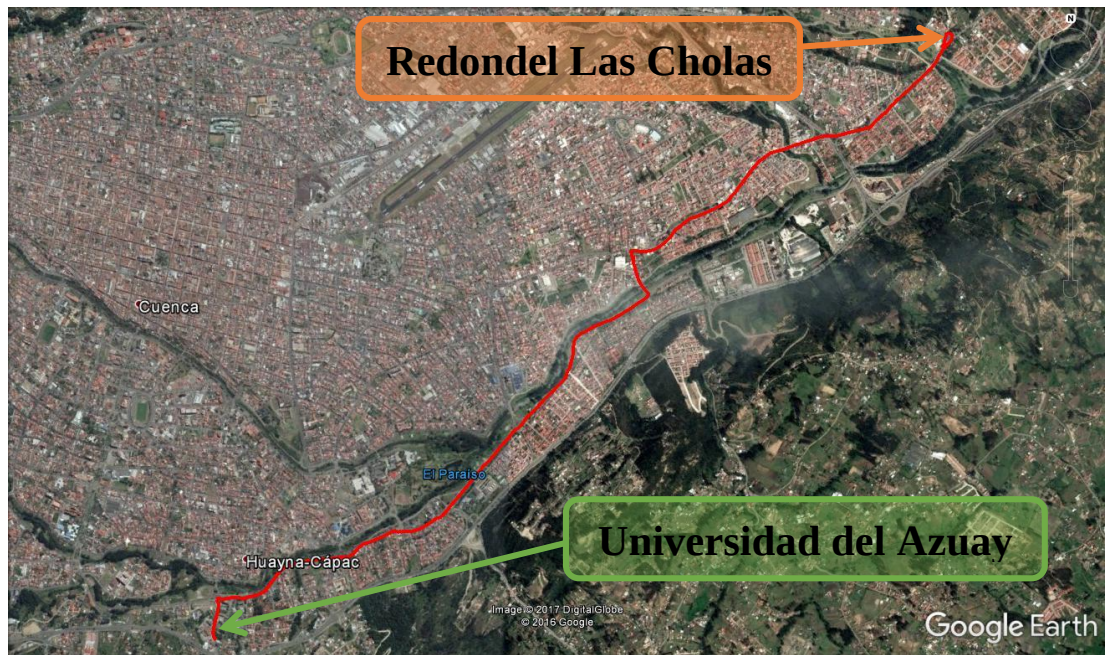


Figura 4.1. Recorrido de la ruta 1.



Figura 4.2. Recorrido de la ruta 2.



Figura 4.3. Recorrido de la ruta 3.



Figura 4.4. Recorrido de la ruta 4.



Figura 4.5. Recorrido de la ruta 5.

4.2 Equipos utilizados en el registro de datos

A continuación, se detallan los equipos y vehículo utilizados en la recopilación de información.

4.2.1 Equipo GPS

En la Figura 4.6 se muestra el equipo GPS utilizado, modelo Vbox Sport el cual tiene una exactitud de 0.1 km/h en velocidad con una resolución de 0.01 km/h, de 5 m (95% CEP) tanto en posición 2D como en altura y puede guardar datos a una frecuencia de 20 Hz. (Racelogic, 2014).



Figura 4.6. Equipo GPS utilizado.

Fuente: <http://www.demon-tweeks.co.uk/motorsport/performance-meters-data-loggers/racelogic-vbox-sport>

4.2.2 Equipo de medición On Board

El equipo On Board permite realizar mediciones de gases (CO , CO_2 , O_2 , HC y NO_x) en tiempo real de funcionamiento. La Figura 4.7 muestra al equipo de medición instalado en el vehículo de pruebas, y las características técnicas del equipo son detalladas en la Tabla 4.2 (Axion LDSscanner, 2017).

Tabla 4.2. Datos técnicos del equipo On Board.

TIPO	RANGO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN	RESOLUCIÓN
Medición de O ₂ (Sensor)	Mayor o igual de (0.01 a 25% Vol.)	Mayor o igual a $\pm 0.1\%$ abs.	Mayor o igual a 0.01% Vol.
Medición de CO (NDIR)	Mayor o igual de (0.001 a 10% Vol.)	Mayor o igual a $\pm 0.02\%$ abs.	Mayor o igual a 0.001% Vol.
Medición de NO _x (Sensor)	Mayor o igual de (0 a 4000 ppm)	Mayor o igual a ± 25 ppm abs.	Mayor o igual a 1 ppm
Medición de CO ₂ (NDIR)	Mayor o igual de (0.01- 16% Vol.)	Mayor o igual a $\pm 0.30\%$ abs.	Mayor o igual a 0.01% Vol.
Medición de HC (NDIR)	Mayor o igual de (1 a 15000 ppm)	Mayor o igual a ± 4 ppm abs.	Mayor o igual a 1 ppm



Figura 4.7. Equipo On Board instalado en el vehículo de pruebas.

4.2.3 Vehículo utilizado

Se utilizó un automóvil Hyundai Tucson similar al mostrado en la Figura 4.8, éste cuenta con las siguientes características:

- Año: 2011
- Cilindrada: 2000cc.
- Peso: 1995 kg.
- Sistema de inyección MPI.
- Kilometraje: 81000 Km.
- Aire acondicionado.
- Catalizador.

4.3 Filtrado y corrección de datos

El primer paso consiste en abrir el archivo generado por el GPS en aplicación *VBOX Tools* proporcionada por el fabricante del equipo y exportar estos datos a una tabla de datos con la extensión (.csv). A partir de este archivo se debe crear una tabla de datos con extensión (.xlsx) que contenga las columnas de tiempo [s], velocidad [km/h] y altitud [msnm].

Luego, esta tabla de datos generada se puede abrir desde la aplicación desarrollada cuya interfaz se muestra en la Figura 4.9. Para realizar el filtrado de datos y suavización de curvas se deben seguir los pasos descritos a continuación:

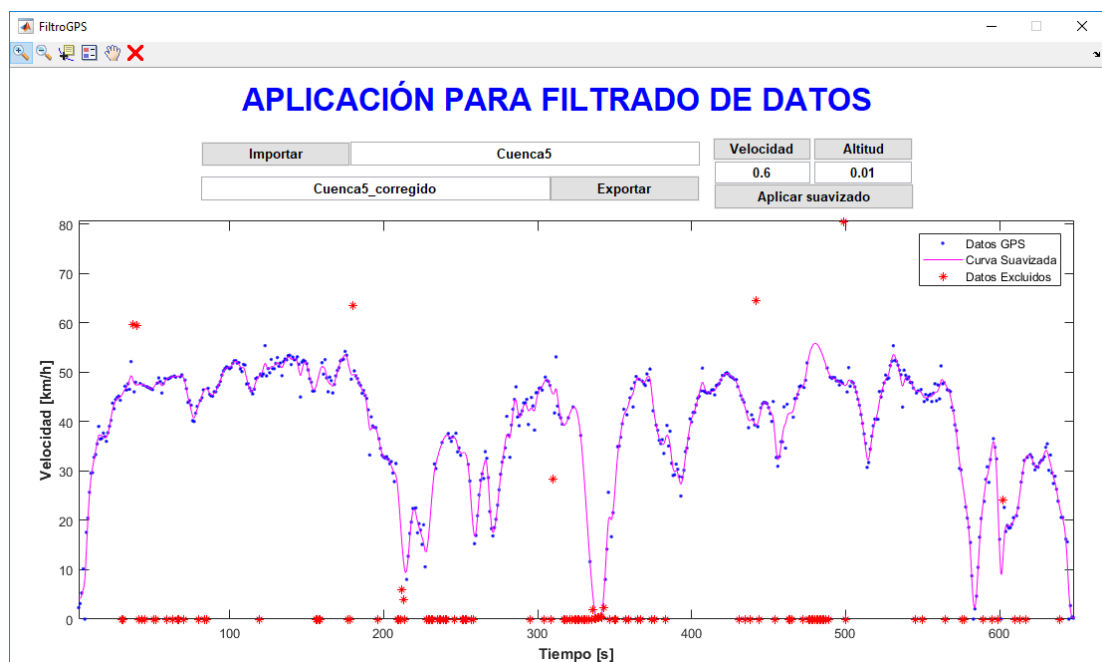


Figura 4.8. Aplicación desarrollada para la corrección de datos del GPS.

1. Importar la tabla de datos mediante el botón “Importar”.

Importar	Cuenca5
-----------------	----------------

2. Pulsar el botón “Velocidad” o “Altitud” para mostrar los datos respectivos.

Velocidad	Altitud
------------------	----------------

3. Se utiliza las herramientas “Zoom in”, “Zoom out” y “Pan” para desplazarse sobre la gráfica.



4. En caso de ser necesario se eliminan datos mediante el botón “Borrar Datos”



5. Se puede ajustar el parámetro de suavizado mediante el ingreso en los cuadros de texto respectivos, se utilizan dos valores diferentes: Uno para el ajuste de la curva de velocidad y otro para el ajuste de la curva de altitud.

Velocidad	Altitud
0.6	0.01
Aplicar suavizado	

6. Finalmente se exportan los resultados a una nueva tabla de datos con extensión (.xlsx) mediante el botón “Exportar a Excel”, el archivo se guarda con el nombre ingresado en el recuadro de texto.

Cuenca5_corregido	Exportar
--------------------------	-----------------

4.4 Cálculo de Bines VSP

En este estudio calcularon tres grupos de Bines VSP, la primera ocasión se utilizó los datos del GPS sin filtrar y segunda con los datos ya corregidos, utilizando la aplicación desarrollada la cual se muestra en la Figura 4.10, es la forma más sencilla ya que trabaja con los archivos generados por el programa de filtrado de datos.



Figura 4.9. Aplicación desarrollada en Java.

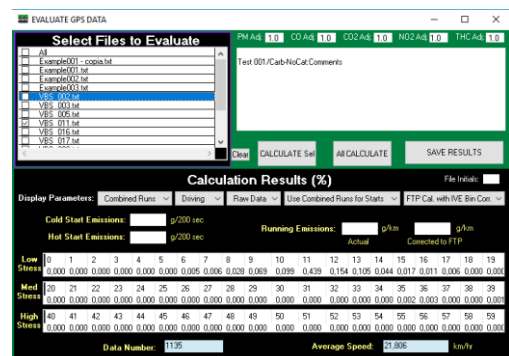


Figura 4.10. Aplicación Speed Emissions Evaluation.

Para realizar el cálculo de Bines VSP en la aplicación creada, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Importar el archivo de datos desde el botón marcado en el recuadro rojo, que se encuentra dentro del panel “IMPORTAR”, luego de la importación el computo de los Bines VSP se realiza automáticamente y se muestran en la gráfica inferior del panel. Los pasos siguientes sirven para poder exportar los resultados directamente a la interfaz del Modelo IVE.



2. Luego se guardan los resultados en la hora y posición deseada mediante el botón “GUARDAR”, el programa tiene la capacidad de almacenar 20 archivos por hora para un total de 480 archivos. El botón “BORRAR” permite borrar los datos del archivo seleccionado.

3. El panel “DATOS” nos permite visualizar los resultados en porcentajes de todos los archivos guardados. Además, de mostrar el promedio de todos los archivos guardados en una hora específica pulsando el botón “TOTAL”.

VSP 0	VSP 1	VSP 2	VSP 3	VSP 4	VSP 5	VSP 6	VSP 7	VSP 8	VSP 9
0	0	0	0,28	0,56	0,42	2,11	2,53	4,64	5,91
VSP 10	VSP 11	VSP 12	VSP 13	VSP 14	VSP 15	VSP 16	VSP 17	VSP 18	VSP 19
11,67	23,91	19,97	13,92	7,88	4,5	1,13	0,14	0,14	0
VSP 20	VSP 21	VSP 22	VSP 23	VSP 24	VSP 25	VSP 26	VSP 27	VSP 28	VSP 29
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VSP 30	VSP 31	VSP 32	VSP 33	VSP 34	VSP 35	VSP 36	VSP 37	VSP 38	VSP 39
0	0	0	0	0	0	0,14	0,14	0	0
VSP 40	VSP 41	VSP 42	VSP 43	VSP 44	VSP 45	VSP 46	VSP 47	VSP 48	VSP 49
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VSP 50	VSP 51	VSP 52	VSP 53	VSP 54	VSP 55	VSP 56	VSP 57	VSP 58	VSP 59
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4. Posteriormente desde el panel “EXPORTAR” se debe guardar la ruta del ejecutable del Modelo IVE desde el botón situado a la derecha, luego de esto, pulsando el botón “Exportar a IVE” se genera un archivo en la base de datos del Modelo IVE con todos los datos guardados.

5. Por último, el botón “MODELO IVE” inicia el software del mismo nombre.



En la tercera ocasión se calculó los Bines VSP mediante el software *SpeedEmissionsEvaluation* como se muestra en la Figura 4.11, para este propósito se deben seguir los siguientes pasos:

1. Para este cálculo partimos desde los archivos generados anteriormente por el programa de filtrado y corrección de datos.
2. Luego se deben tabular los datos el formato específico requerido por la aplicación, teniendo en cuenta el formato de la Hora (07:19:29), y la velocidad que debe ser convertida de (km/h) a (mph). La altitud se maneja en unidades de (msnm).

```

Ruta 01|      14 mar 05  Comments
-----
Row Data Starts 95          Total Distance (mi): 10.838

Odometer/Engine 149234/1.3L          g/mi avgSemtech:
12.898      105  0.81 165.7
Vehicle ID Nissan Sunny 1992 KAH365V          g/mi avg: 12.898
105.02      0.87 165.74
Air/Fuel-Cat    Carb-NoCat
BeginEnd    Running Time    Soak Time
ColdStart 07:19:26  07:19:27  00:00:01  12:00:00

Run1 07:19:27  07:31:12  00:11:50  0

Offset for Column      Offset for Column      Offset for Column
      Offset for Column      Offset for Column      Offset for
Column      Offset for Column      Offset for Column
0      0      0      0      0      0
Time(seconds)  Speed (mph)      Altitude (m)      Flow sfpm  HC
g/second      CO g/second      Nox g/second      CO2 g/second
07:19:26      0      2450.930208      0      0      0      0
07:19:27      0.820761556      2450.930208      0      0      0      0
0
07:19:28      1.320799643      2451.112815      0      0      0      0
0
07:19:29      2.034107124      2451.307161      0      0      0      0
0
07:19:30      3.583061941      2451.515774      0      0      0      0
0
07:19:31      6.065829212      2451.730862      0      0      0      0

```

3. Posteriormente se ajusta la hora de inicio, hora de fin y tiempo del “ColdStart” o arranque en frío.

ColdStart	07:19:26	07:19:42	00:00:16
-----------	----------	----------	----------

4. De igual forma se ajusta la hora de inicio, hora de fin y tiempo del recorrido.

Run1 07:19:42 07:31:32 00:11:50

5. Se selecciona el archivo y se presión el botón “CALCULATE Sel” para cálculos los porcentajes de Bines VSP.

CALCULATE Sel

6. Los resultados se muestran en el panel inferior y deben multiplicarse por 100 para transformarlos en porcentajes.

Low Stress	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,002	0,015	0,015	0,042	0,068	0,100	0,256	0,121	0,136	0,092	0,044	0,013	0,011	0,000	0,000
Med Stress	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,005	0,017	0,024	0,004	0,018
High Stress	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Data Number: 690 Average Speed: 36,181 km/hr

7. Por último, se deben transcribir los datos manualmente a la interfaz del Modelo IVE. Una observación importante es que la suma de estos porcentajes de los archivos procesados nunca fue del 100%, estos fluctuaron entre 98.9% y 99.3%, generando un error de precaución al momento de realizar el cálculo de emisiones dentro del Modelo IVE.

4.4.1 Resultados

En la siguiente Tabla 4.3 se muestra la comparación de tiempos aproximados necesarios para el cálculo de Bines VSP mediante los dos métodos, partiendo desde la tabla de datos generada por el programa de corrección de archivos del GPS. Mediante la aplicación *SpeedEmissionsEvaluation* el tiempo necesario es aproximadamente 25 veces más que el tiempo requerido por la aplicación desarrollada.

En la Tabla 4.4 se muestran en porcentajes los Bines VSP obtenidos mediante los tres métodos. Las diferencias de resultados entre la aplicación desarrollada y el software *SpeedEmissionsEvaluation* son bajas y serán cuantificadas a continuación. En cambio, los Bines VSP obtenidos a partir de datos sin corregir presentan un aumento considerable en los Bines de medio estrés (Bin 20 a Bin 39) y alto estrés (Bin 40 a Bin 59), presumiblemente debido a los cambios bruscos en la velocidad y altitud.

Tabla 4.3. Tiempo estimado para el cálculo de Bines VSP.

	<i>SpeedEmissionsEvaluation</i>	Aplicación Desarrollada
Actividades	[minutos]	[minutos]
Formado de datos de entrada	10 x 24	0
Cargar archivos para las 24 horas	n/a	10
Guardar varios archivos por hora	n/a	5
Exportar resultados al Modelo IVE	7 x 24	1
Total =	408	16

Tabla 4.4. Total de Bines VSP.

	Ruta 1			Ruta 2			Ruta 3			Ruta 4			Ruta 5		
# Bin	Aplicación desarrollada (Datos filtrados)	Speed Emissions Evaluation	Aplicación desarrollada (Datos sin filtrar)	Aplicación desarrollada (Datos filtrados)	Speed Emissions Evaluation	Aplicación desarrollada (Datos sin filtrar)	Aplicación desarrollada (Datos filtrados)	Speed Emissions Evaluation	Aplicación desarrollada (Datos sin filtrar)	Aplicación desarrollada (Datos filtrados)	Speed Emissions Evaluation	Aplicación desarrollada (Datos sin filtrar)	Aplicación desarrollada (Datos filtrados)	Speed Emissions Evaluation	Aplicación desarrollada (Datos sin filtrar)
Bin 00	0	0	0,14	0	0	0,91	0	0	0,19	0	0	0,61	0	0	0,37
Bin 01	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05
Bin 02	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0,21
Bin 03	0,28	0,4	0,28	0,28	0	0,15	0	0	0,38	0	0	0,09	0	0	0,52
Bin 04	0,56	0,5	0,28	0,28	0,4	0,3	0	0	0,48	0	0	0,61	0	0	0,52
Bin 05	0,42	0,1	0,99	0,57	0,2	0,61	0,1	0,2	0,48	0,17	0	0,78	0,1	0,1	0,73
Bin 06	2,11	2,1	1,69	1,27	1,5	1,07	0,57	0,3	2,01	0,43	0,5	2,09	0,56	0,5	1,21
Bin 07	2,53	1,8	1,69	1,56	1,5	2,28	0,67	0,4	1,81	0,87	0,6	3,3	1,36	1,1	1,63
Bin 08	4,64	4,7	3,38	3,97	4,1	1,98	3,71	2,6	3,44	3,04	2,8	2,87	2,27	2,1	2,41
Bin 09	5,91	6,2	4,23	6,66	6,6	4,72	6,85	6,9	4,97	7,3	6,9	5,91	3,89	3,4	3,62
Bin 10	11,67	12,6	6,9	8,78	9,7	4,72	12,18	9,9	8,02	10,95	9,8	7,65	9,89	8,9	6,77
Bin 11	23,91	24	30,99	24,36	26,1	23,74	37,01	41,8	35,82	37,88	44,3	39,79	38,21	43,5	34,86
Bin 12	19,97	19,1	7,18	14,73	12,3	6,39	14,08	14,5	9,55	17,98	15,2	10,95	22,26	18,6	12,18
Bin 13	13,92	14	5,21	14,31	14	4,72	10,47	10,3	7,26	11,12	10,6	5,65	12,32	12,5	8,19
Bin 14	7,88	8,3	3,66	9,07	9	3,96	7,99	7,2	4,58	5,13	4,4	4,34	6,01	6,1	5,41
Bin 15	4,5	4,5	2,39	4,25	4,4	2,59	3,33	3	3,34	2,43	1,7	2,43	2,22	1,6	2,05
Bin 16	1,13	0,1	1,55	2,41	1,2	0,76	1,71	1	2,48	1,13	1,1	1,91	0,56	0,3	1,47
Bin 17	0,14	0	1,69	2,41	1,1	1,67	0,86	0,2	1,34	0,61	0,6	1,3	0,2	0,2	1
Bin 18	0,14	0	0,42	0,85	0	0,76	0,29	0,1	0,86	0,17	0	0,87	0,1	0	0,52
Bin 19	0	0	3,66	0,57	0	3,81	0	0	3,72	0,35	0	3,82	0	0	2,78
Bin 20	0	0	0,14	0	0	0,46	0	0	0	0	0	0,09	0	0	0,1
Bin 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0
Bin 22	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0,09	0	0	0
Bin 23	0	0	0,28	0	0	0,46	0	0	0,19	0	0	0,09	0	0	0
Bin 24	0	0	0,42	0	0	0,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21
Bin 25	0	0	1,27	0	0	0,46	0	0	0,19	0	0	0,09	0	0	0,21
Bin 26	0	0	0,7	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21
Bin 27	0	0	0,85	0	0	0,61	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16
Bin 28	0	0	1,83	0	0	0,91	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0,79
Bin 29	0	0	1,13	0	0	1,83	0	0	0,48	0	0	0	0	0	0,89
Bin 30	0	0	0,99	0	0,1	2,59	0	0	1,24	0	0	0,09	0	0	0,94
Bin 31	0	0	4,08	0	0,1	4,41	0	0	1,81	0	0	1,48	0	0	1,63
Bin 32	0	0	1,27	0	0,1	1,07	0	0	0,38	0	0	0	0	0	1
Bin 33	0	0	2,11	0	0	0,46	0	0	0,48	0	0	0,26	0	0	0,68

Bin 34	0	0	0,99	0	0,1	1,07	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0,89
Bin 35	0	0,1	0,85	0,85	0,5	1,07	0,1	0,1	0,29	0	0,2	0,26	0	0,2	0,58
Bin 36	0,14	0,4	0,85	0,99	1,7	3,5	0,1	0,1	0,57	0,43	0,3	0,35	0,05	0,2	0,52
Bin 37	0,14	0,2	0,56	0,57	2,4	1,98	0	0,4	0,1	0	0	0,35	0	0	0,37
Bin 38	0	0,1	0,14	0,14	0,4	1,67	0	0,1	0,29	0	0	0,09	0	0	0,31
Bin 39	0	0	5,07	0,13	1,5	11,11	0	0	2,39	0	0,1	1,82	0	0	2,78
Bin 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bin 41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bin 42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bin 43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bin 44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05
Bin 45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bin 46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05
Bin 47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bin 48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
Bin 49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05
Bin 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
Bin 51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42
Bin 52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bin 53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05
Bin 54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bin 55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05
Bin 56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05
Bin 57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bin 58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bin 59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26
SUMA	99,99	99,92	100	100,1	99	100	100	99,1	100,1	99,99	99,1	100,1	100	99,3	99,95

4.4.2 Validación de la aplicación desarrollada

Para esta validación se comparó los resultados obtenidos de Bines VSP mediante la aplicación desarrollada y el software *SpeedEmissionsEvaluation*, en ambos casos se utilizó archivos con datos filtrados. Las Figuras 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 y 4.16 muestran una comparación de resultados entre los dos softwares.

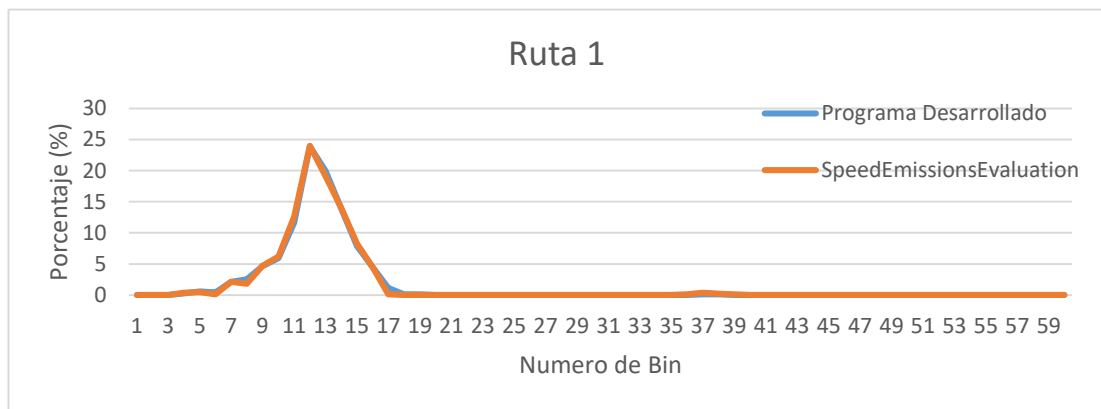


Figura 4.11. Bines VSP obtenidos de la ruta 1.

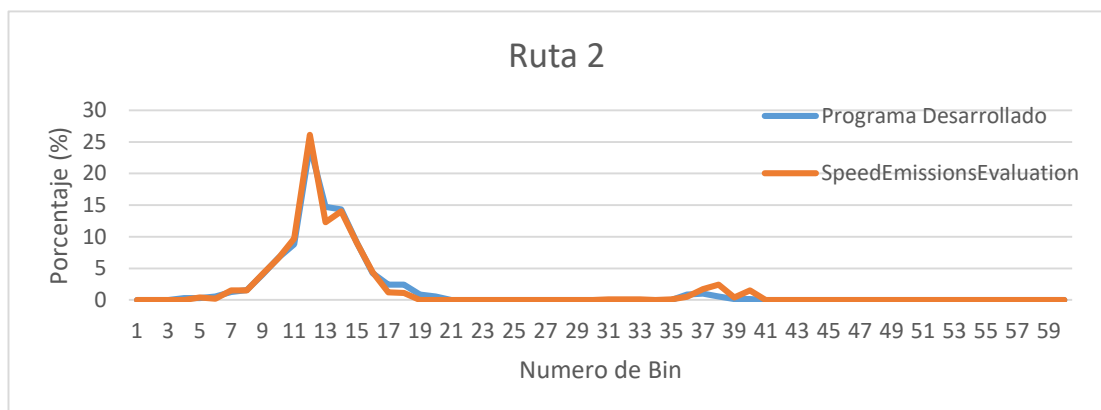


Figura 4.12. Bines VSP obtenidos de la ruta 2.

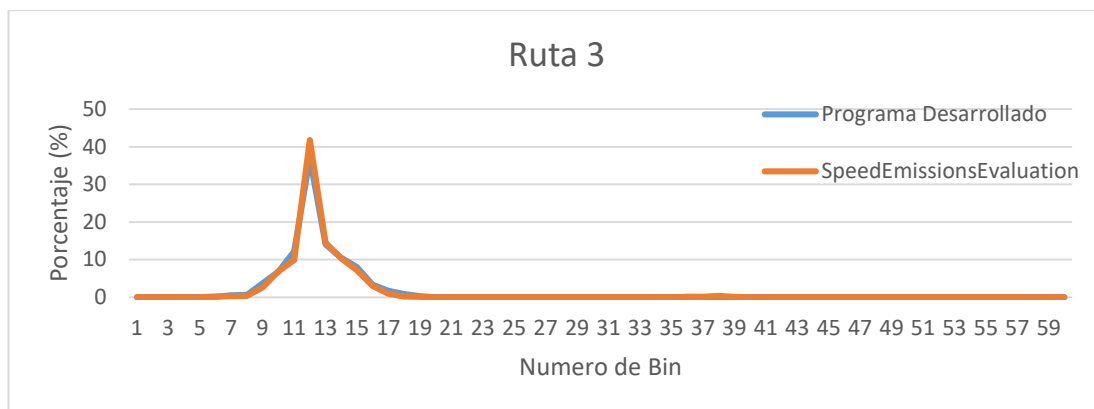


Figura 4.13. Bines VSP obtenidos de la ruta 3.

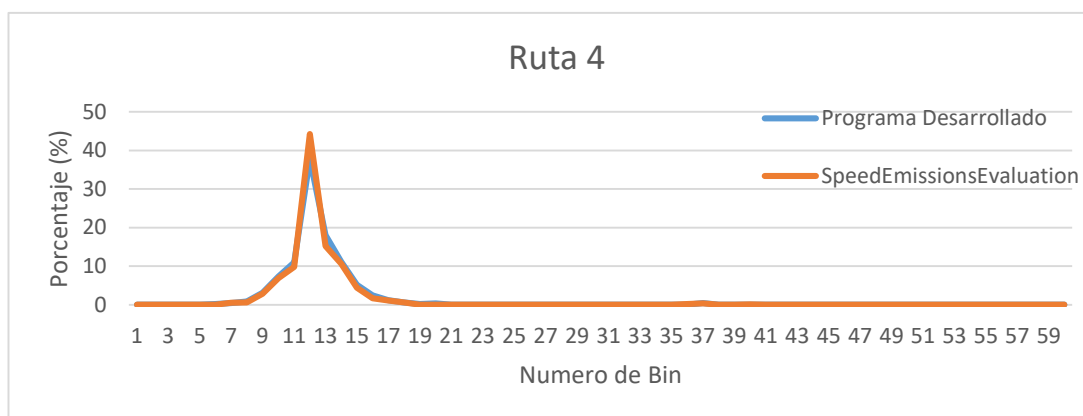


Figura 4.14. Bines VSP obtenidos de la ruta 4.

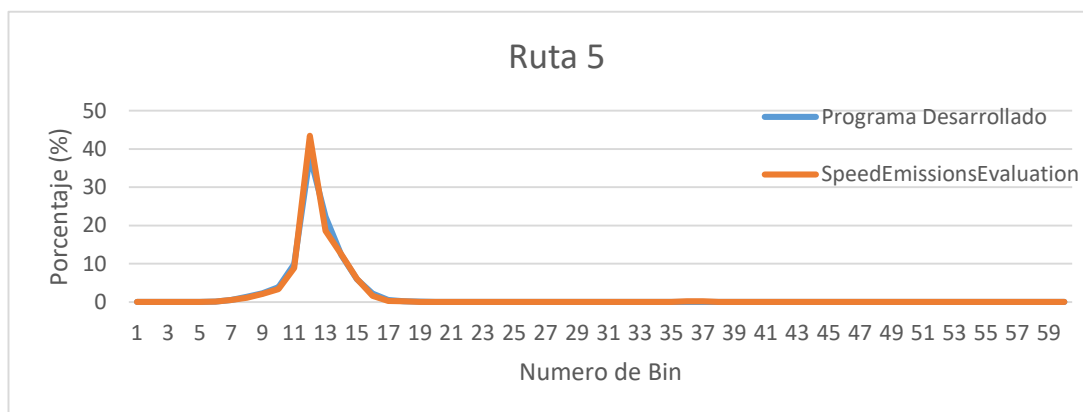


Figura 4.15. Bines VSP obtenidos de la ruta 5.

Por último, fue estimada la diferencia de cálculo entre ambas aplicaciones mediante la Ecuación 4.1 y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.5.

$$Diferencia\ promedio = \frac{\sum_1^n |Valor1-Valor2|}{n} \quad Ec. 4.1$$

Tabla 4.5. Diferencia de resultados entre ambas aplicaciones.

NOMBRE	Diferencia promedio [%]
Ruta 1	0.09
Ruta 2	0.26
Ruta 3	0.21
Ruta 4	0.24
Ruta 5	0.20

La diferencia de resultados entre ambos métodos es en promedio de 0.2%, por lo que se puede considerar que la metodología utilizada en la aplicación es válida. Como puntos positivos de la aplicación desarrollada se destaca: La facilidad de uso, permitir cargar varios datos por hora, y poder exportar los datos directamente a la interfaz del software Modelo IVE.

4.5 Cálculo de emisiones utilizando el modelo IVE.

A partir de los tres grupos de Bines VSP generados anteriormente se estimó los gramos de contaminante para cada uno de estos, en todas las rutas descritas en el (Capítulo IV, 4.1). Adicionalmente, los datos de flota y localidad son iguales en los tres casos, de esta forma se puede comparar la incidencia sobre las emisiones provocado por las variaciones en los Bines VSP.

4.5.1 Flota vehicular

En automóvil de pruebas de acuerdo a sus características corresponde a la categoría número 121 del modelo IVE, la cual se describe como un vehículo a gasolina de tamaño medio (cilindrada de motor menor a 3000cc y superior a 1500cc), con sistema de inyección multipunto, catalizador, válvula PCV y kilometraje en el odómetro entre 80000 Km y 161000 Km. Adicionalmente el vehículo está equipado con aire acondicionado. Se creó un archivo de flota donde esta categoría representa el 100% de ella, como se muestra en la Figura 4.17. El 100% en la columna “Grupo 1 AC” significa que la totalidad de automotores correspondiente a esta categoría tienen aire acondicionado.

Indice	Tecnología	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1 AC	Grupo 2 AC
121	Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: 3WY : PCV : 80-161K km	100.0		100.0	

Figura 4.16. Flota vehicular ingresada al Modelo IVE.

4.5.2 Datos de localidad

Este estudio fue desarrollado en la ciudad de Cuenca y se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: Para los datos de calidad del combustible se consideró lo estipulado en la Norma TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 935. Esta norma establece los límites máximos de los diferentes componentes de la gasolina en Ecuador. El contenido de azufre se establece en 650 ppm, el contenido de benceno es del 1%, no contiene plomo y el contenido de oxígeno es del 2.7% (INEN, 2014).

Para las variables de altitud promedio, velocidad promedio y distancia, si consideraron los datos registrados con el equipo GPS. También se utilizó una temperatura de 16.1 °C y una humedad relativa del 60%, que corresponden al registro promedio de la ciudad (EMOV EP, 2016).

Se empleó el tipo de I/M como ralenti descentralizado para todas las categorías, en cuanto a la utilización de aire acondicionado al no contar con datos se utilizó las marcadas por defecto. Adicionalmente, se consideró solo una partida en caliente. Un ejemplo de datos ingresados en la interfaz del Modelo IVE se puede observar en la Figura 4.18.

Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares

Cálculo Localidad Flota Ajustes Generales

Localidad: VBS_002(ruta1) Flota: Tucson 2011 Ajustes Generales: - ninguno -

Día: 28 Mes: Marzo Año: 2017 Día de la Semana: Martes Altitud: 2490.0 metros Tipo de I/M: ralenti descentralizado (todas las cate...)

Aire Acondicionado a 27°C: 50.0 % Pendiente Terreno: 0.0 %

Características Combustible

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

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

Hora: 0:00/día... ☒ Use esta Hora

Características de Conducción

Humedad: 62.0 % Distancia/Tiempo: 7.2 kilómetros 1.0

Temperatura: 16.0 °Celsius

Grupo 1

Bin VSP	Bin VSP	Bin VSP	Bin VSP	Bin VSP	Bin VSP	Bin VSP	Bin VSP	Bin VSP
Bin VSP 0	Bin VSP 1	Bin VSP 2	Bin VSP 3	Bin VSP 4	Bin VSP 5	Bin VSP 6	Bin VSP 7	Bin VSP 8
Bin VSP 9	Bin VSP 10	Bin VSP 11	Bin VSP 12	Bin VSP 13	Bin VSP 14	Bin VSP 15	Bin VSP 16	Bin VSP 17
Bin VSP 18	Bin VSP 19	Bin VSP 20	Bin VSP 21	Bin VSP 22	Bin VSP 23	Bin VSP 24	Bin VSP 25	Bin VSP 26
Bin VSP 27	Bin VSP 28	Bin VSP 29	Bin VSP 30	Bin VSP 31	Bin VSP 32	Bin VSP 33	Bin VSP 34	Bin VSP 35
Bin VSP 36	Bin VSP 37	Bin VSP 38	Bin VSP 39	Bin VSP 40	Bin VSP 41	Bin VSP 42	Bin VSP 43	Bin VSP 44
Bin VSP 45	Bin VSP 46	Bin VSP 47	Bin VSP 48	Bin VSP 49	Bin VSP 50	Bin VSP 51	Bin VSP 52	Bin VSP 53
Bin VSP 54	Bin VSP 55	Bin VSP 56	Bin VSP 57	Bin VSP 58	Bin VSP 59			

Velocidad Promedio: 36.4 km/hr

Total: 99.99 % Distribución Potencia Especifica Vehicular

Total: 100.0 % Distribución Tiempo Soak

Figura 4.17. Datos de localidad cargados la pestaña del mismo nombre.

4.5.3 Resultados de emisiones

Una vez cargados los datos de localidad para cada una de las rutas se procedió a la estimación de emisiones contaminantes. En las Tablas 4.6, 4.7 y 4.8, se muestran las emisiones resultantes a partir de los tres grupos de Bines VSP calculados.

Tabla 4.6. Emisiones resultantes - Speed Emissions Evaluation (Datos filtrados).

	Speed Emissions Evaluation (Datos filtrados)				
	CO [g]	CO ₂ [g]	PM [mg]	HC [g]	NO _x [g]
Ruta 1	103,82	1591,56	39,74	1,37	9,07
Ruta 2	220,43	1963,71	53,20	1,33	12,39
Ruta 3	117,30	2170,12	45,75	1,73	10,97
Ruta 4	123,23	2207,45	46,64	1,79	10,70
Ruta 5	200,60	3876,97	82,17	3,23	18,32

Tabla 4.7. Emisiones resultantes - Aplicación desarrollada (Sin filtrar datos).

	Aplicación desarrollada (Sin filtrar datos)				
	CO [g]	CO ₂ [g]	PM [mg]	HC [g]	NO _x [g]
Ruta 1	525,02	2235,02	82,73	1,37	15,34
Ruta 2	928,48	2931,18	123,62	1,33	20,86
Ruta 3	498,80	3065,67	87,98	1,73	18,77
Ruta 4	472,24	3084,78	86,18	1,79	18,42
Ruta 5	997,17	5610,98	167,70	3,23	33,28

Tabla 4.8. Emisiones resultantes - Aplicación desarrollada (Datos filtrados).

	Aplicación desarrollada (Datos filtrados)				
	CO [g]	CO ₂ [g]	PM [mg]	HC [g]	NO _x [g]
Ruta 1	105,41	1627,92	40,18	1,37	9,36
Ruta 2	215,39	2068,36	53,62	1,33	13,09
Ruta 3	124,89	2313,29	47,54	1,73	12,01
Ruta 4	134,62	2394,78	49,40	1,79	11,80
Ruta 5	207,43	4031,90	83,98	3,23	19,09

4.5.4 Comparación de resultados entre datos filtrados y datos sin filtrar

Existe un gran aumento de emisiones cuando no se corrigen los datos del GPS, debido a las grandes variaciones de velocidad y altitud, produciendo el aumento del estrés del motor lo que está asociado a un factor de emisión mayor. A excepción de las emisiones de HC donde los resultados se mantuvieron iguales, en el resto de contaminantes aumentó considerablemente; las emisiones de CO fueron en promedio 332% mayores, las emisiones de PM se incrementaron en un 99% en promedio, las emisiones de NO_x fueron en promedio 62% más altas y las emisiones de CO₂ se elevaron un 36% en promedio. Las Figuras 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 y 4.23 muestran estos resultados.

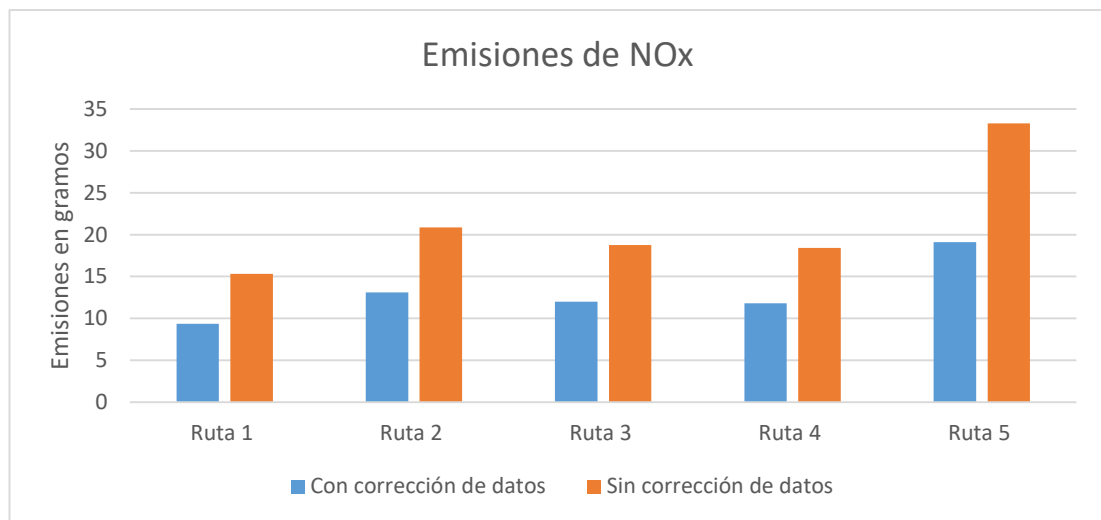


Figura 4.18. Comparación de emisiones de NO_x entre datos filtrados y datos sin filtrar.

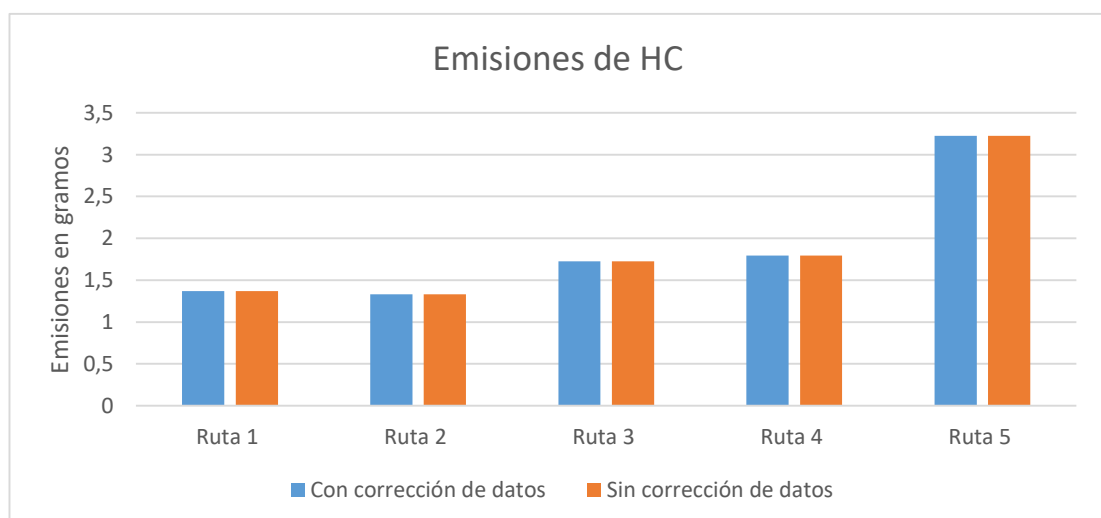


Figura 4.19. Comparación de emisiones de HC entre datos filtrados y datos sin filtrar.

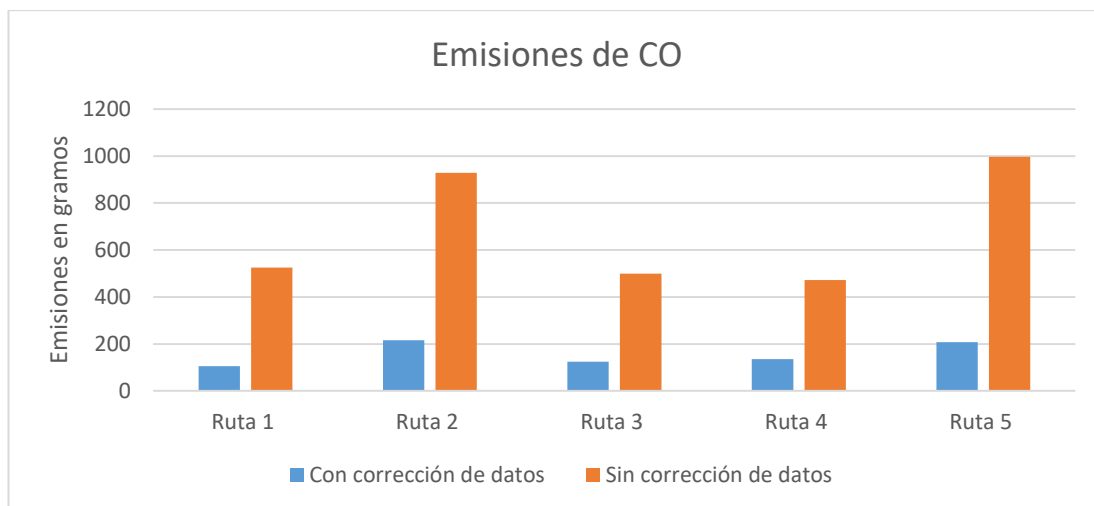


Figura 4.20. Comparación de emisiones de CO entre datos filtrados y datos sin filtrar.

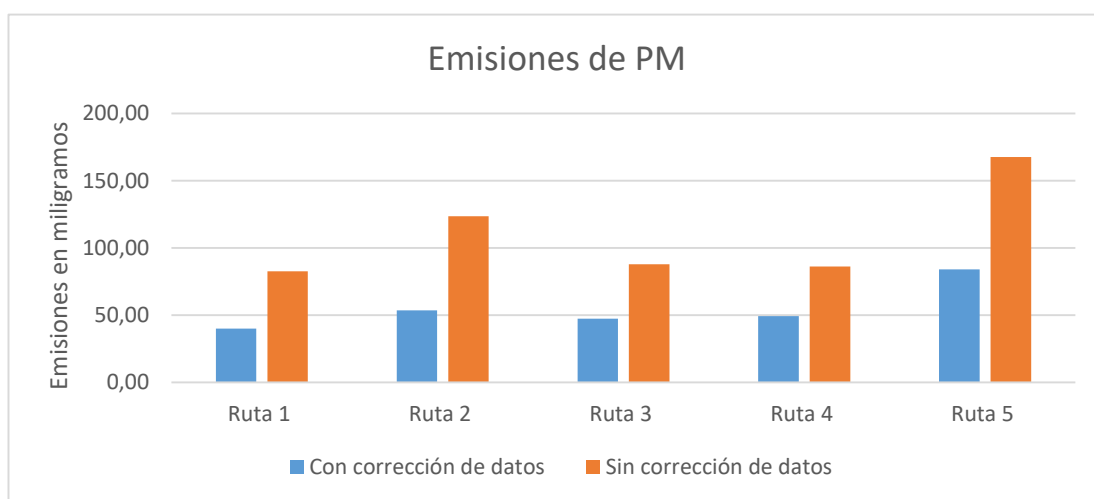


Figura 4.21. Comparación de emisiones de PM entre datos filtrados y datos sin filtrar.

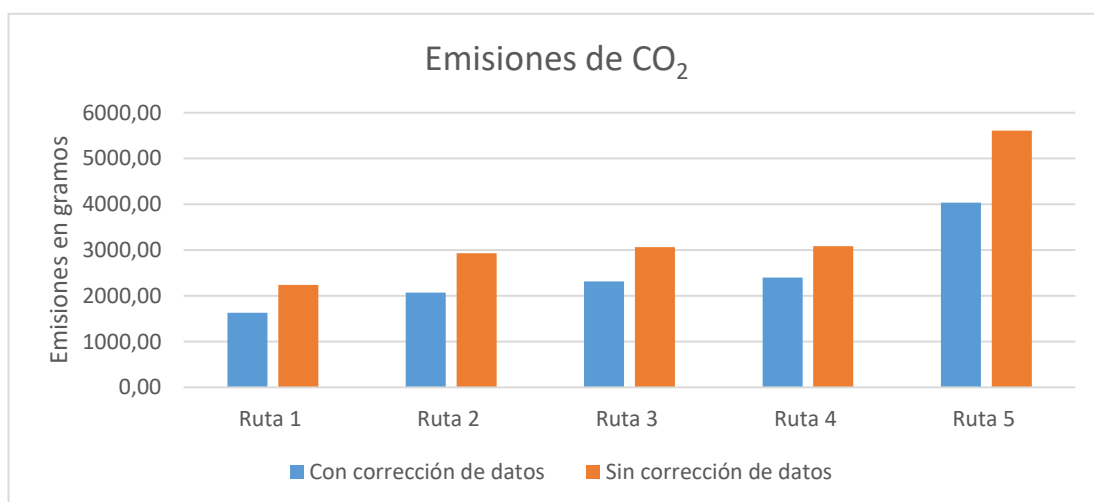


Figura 4.22. Comparación de emisiones de CO₂ entre datos filtrados y datos sin filtrar.

4.5.5 Comparación de resultados entre la aplicación desarrollada y la aplicación *Speed Emissions Evaluation*

Como era de esperarse debido a la baja diferencia en los resultados de Bines VPS entre ambas metodologías, las emisiones totales variaron poco. El promedio de la variación de todos los cálculos realizados fue del 3.6%, donde las emisiones de HC no tuvieron cambios, en las emisiones de NO_x se registró la diferencia más alta con un 6% de variación en promedio, las emisiones de CO fueron en promedio un 4.3% más bajas, de igual forma las emisiones de CO₂ decrecieron un 5% en promedio y las emisiones de PM fueron un 2.7% menores. Las Figuras 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 y 4.28 muestran la comparación de estos resultados.

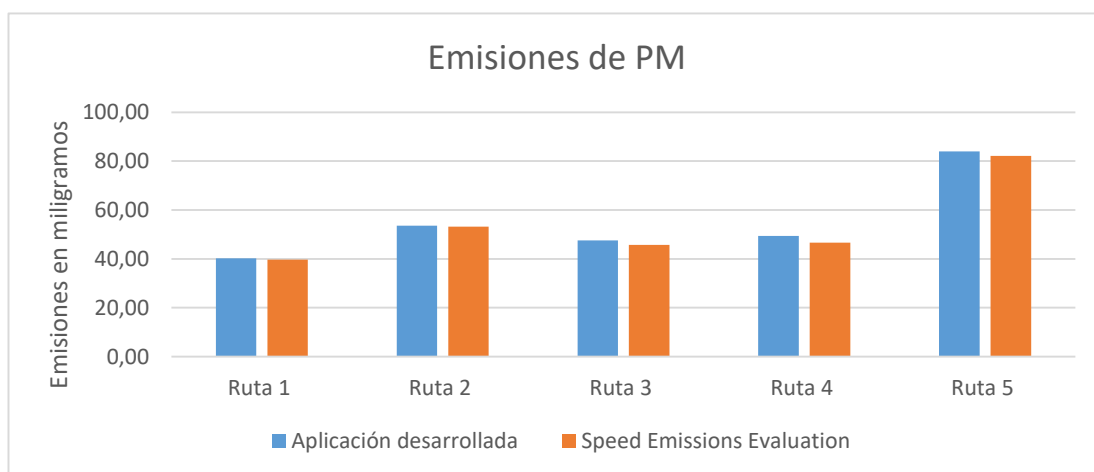


Figura 4.23. Comparación de emisiones totales de PM entre la aplicación desarrollada y el software *Speed Emissions Evaluation*.

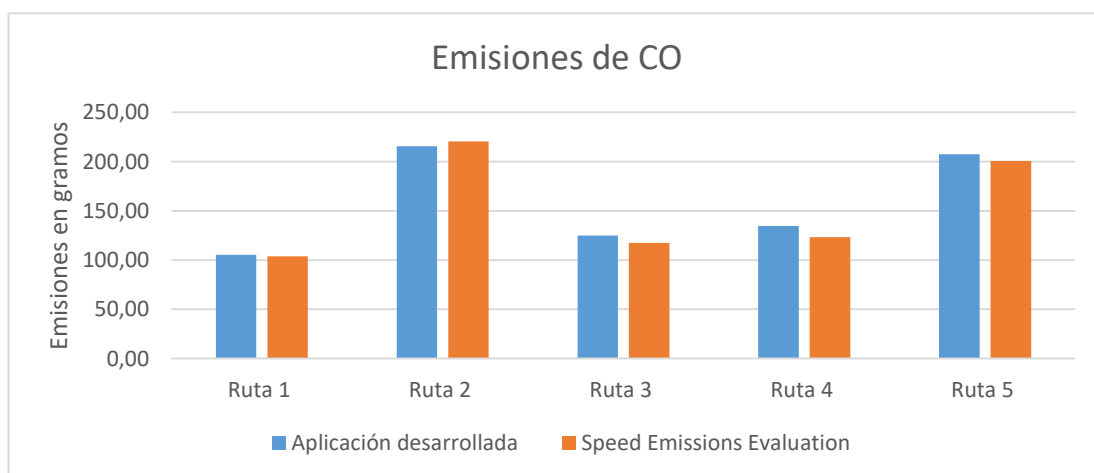


Figura 4.24. Comparación de emisiones totales de CO entre la aplicación desarrollada y el software *Speed Emissions Evaluation*.

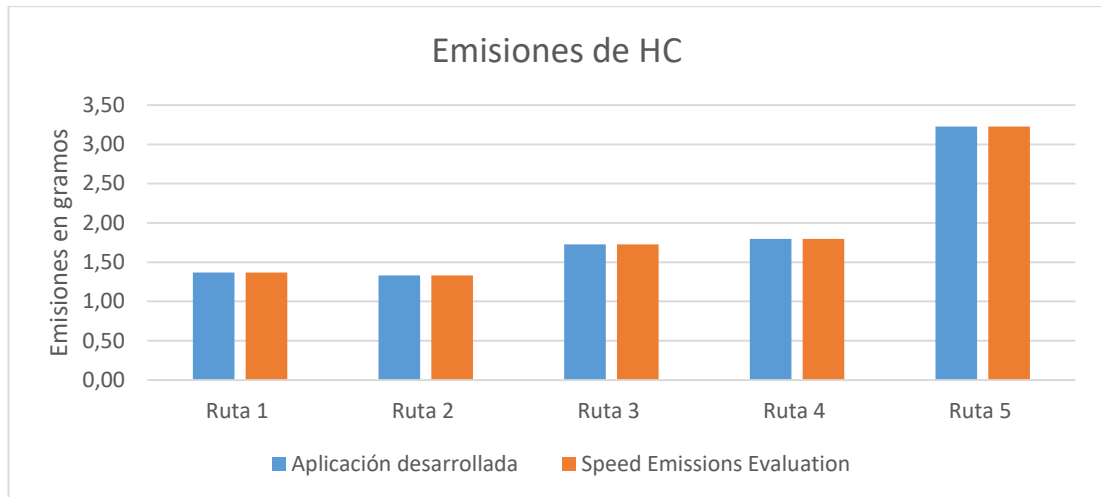


Figura 4.25. Comparación de emisiones totales de HC entre la aplicación desarrollada y el software *Speed Emissions Evaluation*.

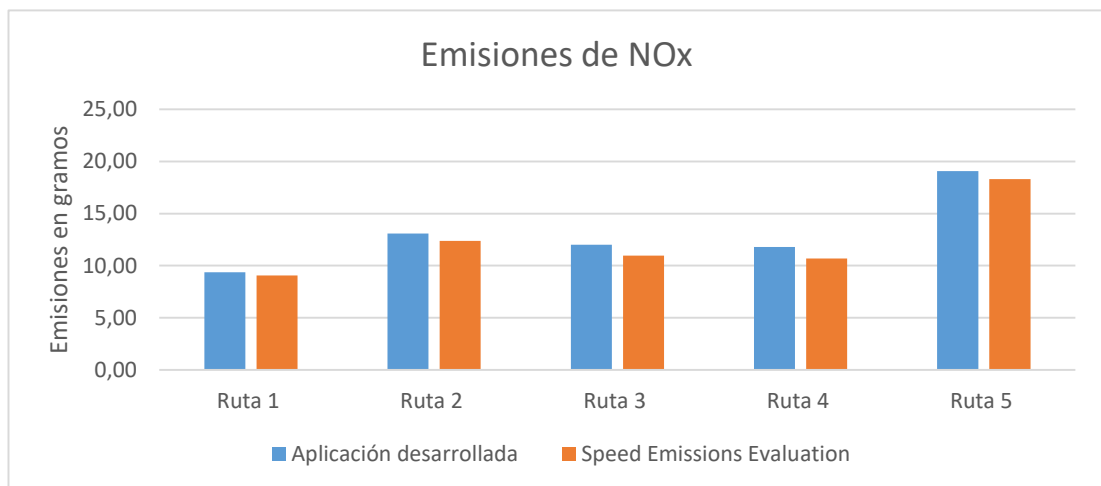


Figura 4.26. Comparación de emisiones totales de NO_x entre la aplicación desarrollada y el software *Speed Emissions Evaluation*.

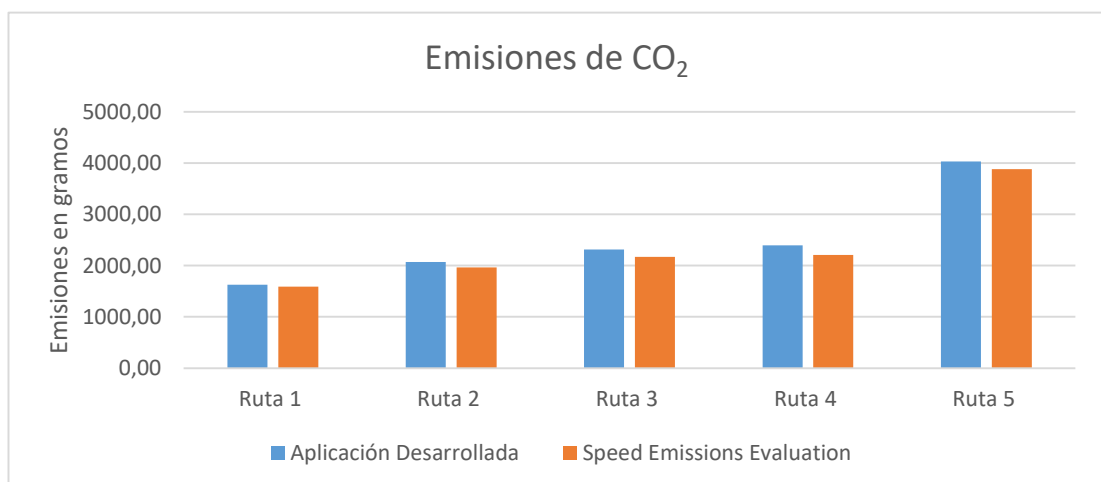


Figura 4.27. Comparación de emisiones totales de CO₂ entre la aplicación desarrollada y el software *Speed Emissions Evaluation*.

4.6 Cálculo de emisiones utilizando el equipo On Board

El equipo de medición On Board acoplado al vehículo de pruebas como se observa en las Figuras 4.29 y 4.30, este equipo es capaz de medir los porcentajes volumétricos de los gases del vehículo en ruta y guardar estos datos en una matriz para luego ser procesados.



Figura 4.28. Instalación del equipo On Board.



Figura 4.29. Equipo On Board instalado en el vehículo de pruebas.

Se realizó este procedimiento en las rutas seleccionadas y los resultados promedio en cada una de ellas se pueden observar en la Tabla 4.9. Estos resultados fueron proporcionados por la institución encargada de la operación del equipo On Board.

Tabla 4.9. Resultados de las mediciones On Board.

	CO ₂ [%]	CO [%]	HC [ppm]	O ₂ [%]	NO _x [ppm]	Consumo [l]
Ruta 1	10.32	1.26	162.61	3.90	122.80	0.73
Ruta 2	10.37	1.27	198.23	3.55	171.07	0.71
Ruta 3	10.40	1.42	207.84	1.28	154.72	0.70
Ruta 4	10.15	1.31	203.95	2.74	131.16	0.72
Ruta 5	7.36	1.44	191.60	1.28	255.37	1.33

El siguiente paso es calcular un factor de emisión a partir de estos datos, para ello se utilizó las Ecuaciones 1.1, 1.2 y 1.3, descritas en el (Capítulo I, 1.3). Además, para este cálculo se consideró una densidad de combustible de 680 Kg/m³. (Torres & Urvina, 2008)

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{Km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0.01425} \quad \text{Ec.1.1}$$

$$EF_{HC} = \frac{g_{HC}}{Km} = \frac{28 \frac{\%HC}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0.01425} \quad \text{Ec.1.2}$$

$$EF_{NO} = \frac{g_{NO}}{Km} = \frac{28 \frac{\%NO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0.01425} \quad \text{Ec.1.3}$$

4.6.1 Resultados de emisiones

La Tabla 4.10 expone los resultados obtenidos del factor de emisiones en [g/Km] para los contaminantes NO, HC y NO_x respectivamente, los cuales fueron multiplicados por la distancia correspondiente a cada ruta para obtener las emisiones totales.

Tabla 4.10. Resultados de las mediciones On Board.

	Emisiones On Board					
	FC CO [g/Km]	Emisiones de CO [g]	FC HC [g/Km]	Emisiones de HC [g]	FC NOx [g/Km]	Emisiones de NOx [g]
Ruta 1	14,64	105,41	0,20	1,41	0,14	1,03
Ruta 2	14,78	103,45	0,23	1,61	0,20	1,39
Ruta 3	16,66	114,97	0,24	1,68	0,18	1,25
Ruta 4	15,14	104,49	0,24	1,63	0,15	1,05
Ruta 5	22,34	288,24	0,30	3,84	0,40	5,11

4.7 Comparación de resultados entre la metodología IVE y mediciones On Board.

Una vez aplicadas ambas metodologías en el cálculo de emisiones, se comparó ambos métodos obteniendo los siguientes resultados mostrados en las Figuras 4.31, 4.32 y 4.33. Las emisiones de CO variaron en promedio un 34%, donde en la Ruta 2 se registró la diferencia más alta, siendo las emisiones calculadas en el Modelo IVE un 108% mayores a las obtenidas del equipo On Board. Las emisiones de HC tuvieron una diferencia promedio del 9.8%, y las emisiones de NO_x variaron considerablemente siendo las estimadas mediante el Modelo IVE en promedio 7 veces más altas que las medidas por el equipo On Board.

Las emisiones resultantes del modelo IVE, corresponden al promedio de todos los vehículos que se encuentran dentro de dicha categoría vehicular, y al ser calculado para un solo vehículo, estos resultados pueden discrepar del promedio de un global mucho más extenso. Por este motivo se recomienda realizar más pruebas con el fin de contrastar adecuadamente estos resultados.

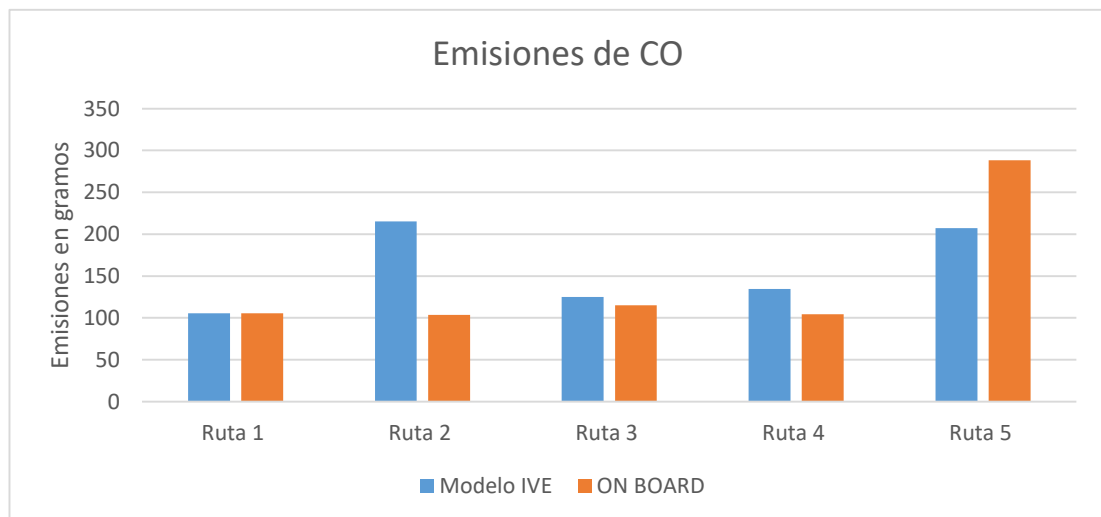


Figura 4.30. Comparación del factor de emisión de CO.

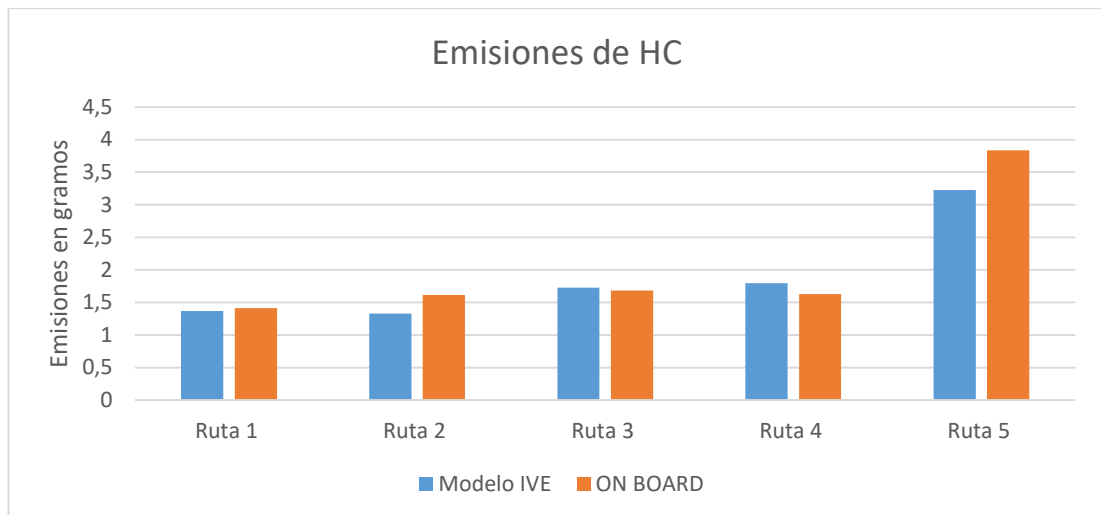


Figura 4.31. Comparación del factor de emisión de CO.

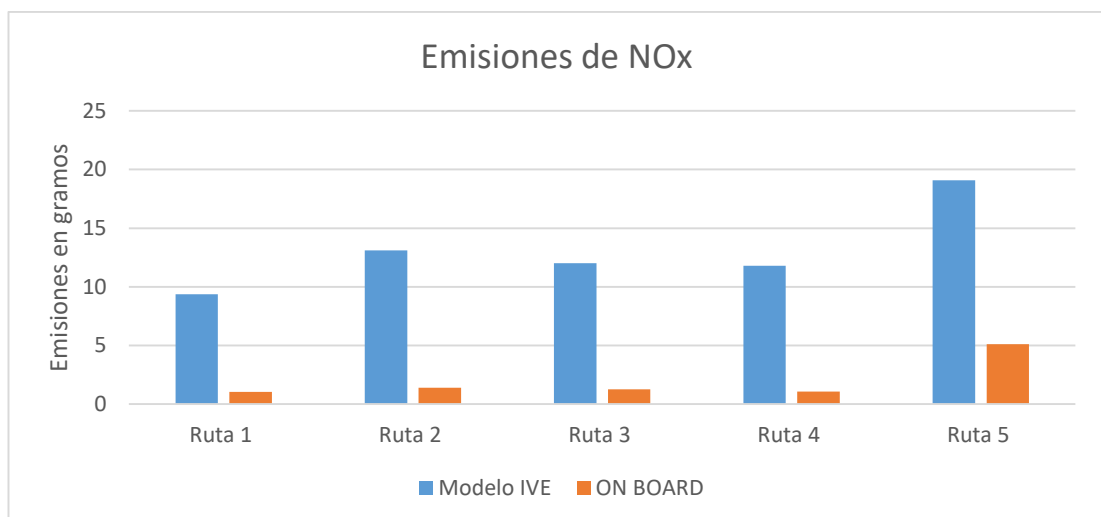


Figura 4.32. Comparación del factor de emisión de CO.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- De acuerdo a la literatura es más factible usar el modelo internacional de emisiones vehiculares (Modelo IVE).
- Se analizó la metodología IVE y se encontró que la mayor dificultad está en la corrección de datos del GPS y el cálculo de Bines VSP.
- La aplicación desarrollada para el filtrado y corrección de datos del GPS cumple con su objetivo de facilitar este proceso.
- De igual forma la aplicación desarrollada para el cálculo de los bins de patrones de conducción (Bines VSP) cumple con su función de disminuir los pasos necesarios y ser más fácil de usar en comparación con el software *Speed Emissions Evaluation*.
- Se pudo validar la aplicación desarrollada mediante la comparación de resultados entre esta aplicación y el software *Speed Emissions Evaluation*. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, existiendo una diferencia promedio del 0.2% en el cálculo de Bines VSP.
- Las emisiones calculadas a partir de archivos sin corregir fueron superiores en comparación con el mismo archivo corregido. El CO fue en promedio 332% mayores, las emisiones de PM se incrementaron en un 99% en promedio, las emisiones de NO_x fueron en promedio 62% más altas y las emisiones de CO₂ se elevaron un 36% en promedio. Demostrando la importancia de realizar el proceso de filtrado de datos y suavización de la curva.

- La diferencia de emisiones entre bins calculados por la aplicación desarrollada y el software *Speed Emissions Evaluation* fue baja, el promedio de la variación de todos los cálculos realizados fue del 3.6%.
- La comparación de resultados entre la metodología IVE y las mediciones On Board fueron variables, la diferencia en las emisiones de CO, HC y NO_x, fueron del 34%, 9% y 762% respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Se debería realizar más pruebas de cálculo de bins VSP a partir de datos del GPS que certifiquen el correcto funcionamiento de la aplicación.
- Se planea continuar con el desarrollo de la aplicación de Java, incluyendo la corrección de datos y de esta forma no utilizar la plataforma Matlab debido a las licencias.
- Las emisiones obtenidas por el Modelo IVE se deberían comparar con mediciones directas de masa de contaminantes, ya que el equipo On Board utilizado solo es capaz de medir porcentajes de concentraciones volumétricas.

BIBLIOGRAFÍA

AEADE. (2017). SECTOR AUTOMOTOR en cifras. Retrieved from www.aeade.net

ARAYA CSASZAR, A. D. (2008). METODOLOGIA DE CALCULO DE EMISIONES VEHICULARES BASADA EN MODOS DE CONDUCCION Y POTENCIA ESPECIFICA VEHICULAR.

Axion LDScanner. (2017). Axion Light Duty Vehicle Scanner Manual, 1–22.

Cadle, S., Ayala, A., Black, K., Graze, R., Koupal, J., Minassian, F., ... Lu, H. (2009). Research on Transportation-Related Emissions: Current Status and Future Directions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 59(2), 183–195. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.2.183>

Caiza Jácome, P. G., & Portilla Aguilar, Á. A. (2011). Determinación de la Influencia de la Altura en Emisiones Contaminantes de un Vehículo con Motor de Ciclo Otto, de Inyección Electrónica de Gasolina.

Clean Air Institute. (2012). Development of a Common Assessments Framework and Proposed Methodologies for Integrated Assessments of GHG and Local Pollutants of Urban Transport Interventions in Latin America and the Caribbean Region, (August).

Durbán, M. (2006). Métodos de suavizado eficientes con P-splines. Retrieved from http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/eventos/simposioestadistica/documentos/memorias/MEMORIAS_2015/Cursillos/Durban_Metodos_Suavizado_P-spline.pdf

Emisia. (2017). Modelo Copert. Retrieved from <http://emisia.com/products/copert>

EMOV EP. (2016). *Informe de Calidad de Aire Cuenca-2015*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Frey, C., & Eichenberger, D. (1997). Remote Sensing of Mobile Source Air Pollutant Emissions : Variability and Uncertainty in On-Road Emissions Estimates of Carbon Monoxide and Hydrocarbons for School and Transit Buses, (June), 168.
- García, A. F. (2002). Lenguaje Java, 1–148.
- Giraldo, L., & Behrentz, E. (2005). Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes, (1), 1–73.
- Guadalupe, J. L. (2016). Modelación De Emisiones Contaminantes De Fuentes Móviles Terrestres En Quito , Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/2454/1/T-SENESCYT-01308.pdf>
- INEC. (2015). Anuario de Transporte 2015. *Informes Anuales*, 46. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- INEN. (2014). Nte Inen 935, 2–3. Retrieved from www.inen.gob.ec
- ISSRC. (2017). International Vehicle Emissions Model. Retrieved from <http://www.issrc.org/ive/>
- Lents, J., Walsh, M., He, K., Davis, N., Osses, M., Tolvet, S., & Liu, H. (2017). HANDBOOK OF AIR QUALITY MANAGEMENT. Retrieved from www.aqbook.org
- MathWorks. (2017). Funciones de Matlab. Retrieved from <https://es.mathworks.com/help/matlab/functionlist.html?lang=en>
- Netbeans. (2017). NetBeans. Retrieved from <https://netbeans.org/features/index.html>
- Oracle, C. (2017). Java. Retrieved from https://www.java.com/es/download/faq/whatis_java.xml

- Parra, R. (2016). Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca 2014, (December 2016). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17665.66405>
- Pozo Ruz, A., Ribeiro, A., García-Alegre, M. C., García, L., Guinea, D., & Sandoval, F. (2000). Sistema De Posicionamiento Global (Gps): Descripción, Análisis De Errores, Aplicaciones Y Futuro. *ETS Ingenieros de Telecomunicaciones. Universidad de Malaga*, 174. Retrieved from http://www.oocities.org/es/foro_gps/infografia/gps5.pdf
- Racelogic. (2014). VBOX SPORT Technical Specifications, (10). Retrieved from <https://www.vboxmotorsport.co.uk/index.php/en/products/performance-meters/vbox-sport>
- Revista Motor. (2015). ¿Qué tan antiguo es el parque automotor en nuestro país? Retrieved from <http://www.motor.com.co/actualidad/tecnologia/antiguo-parque-automotor-nuestro-pais/21669>
- Sánchez, S., Green, J., Orjuela, J. P., & Klakamp, J. (2013). Metodologías para la estimación de emisiones de transporte urbano de carga y guías para la recopilación y organización de datos. *Clean Air Institute*, 38.
- The Apache Software Foundation. (2017). Apache POI - la API Java para documentos de Microsoft. Retrieved from <http://poi.apache.org/>
- Torres, J., & Urvina, V. (2008). DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES REALES DE EMISIÓN DE LOS MOTORES CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE QUITO.
- US EPA. (2015). MOVES2014a User Guide, 266. Retrieved from <https://www.epa.gov/moves/moves2014a-latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves>
- US EPA. (2017). Description and History of the MOBILE Highway Vehicle Emission Factor Model. Retrieved from <https://www.epa.gov/moves/description-and-history-mobile-highway-vehicle-emission-factor-model>

Wang, H., Chen, C., Huang, C., & Fu, L. (2008). On-road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 398(1–3), 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.01.038>

ANEXOS

Anexo 1: Líneas de programación de aplicación para corrección de datos del GPS.

Disponible en el cd.

Anexo 2: Líneas de programación de aplicación para la estimación de Bines VSP de acuerdo al modelo IVE.

Disponible en el cd.