



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DEPARTAMENTO DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SISTEMAS VEHICULARES**

**Estimación de emisiones de CO₂ en taxis con cilindrada de 1400cc bajo
parámetros de conducción normal en la ciudad de Cuenca, utilizando el
modelo IVE.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
MAGISTER EN SISTEMAS VEHICULARES**

Autor:

DANIEL DOMINGO QUINDE MEDINA

Director:

DIEGO FRANCISCO TORRES MOSCOSO

CUENCA – ECUADOR

2019

Dedicatoria:

A mi esposa, Rosa, por siempre estar conmigo
en cada uno de los pasos que doy en mi vida.

A mis hijas, que son mis inspiraciones,
para mis proyectos, Ericka y Daniela.

Agradecimientos:

A Dios por guiarme en mi andar,
a la Universidad del Azuay por abrirme
sus puertas para culminar este proyecto de vida,
en especial a mi tutor Francisco Torres,
a mis profesores, por todo el tiempo y apoyo brindado,
para la realización del presente trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vi
1 RESUMEN.....	1
2 ABSTRACT.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. METODOLOGÍA	3
3. RESULTADOS	7
4. CONCLUSIONES Y DISCUSION	10
5. BIBLIOGRAFÍA.....	10

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa satelital de la ciudad de Cuenca.....	3
Figura 2. Distribución de las velocidades promedio de los taxis 1400cc.....	6
Figura 3. Archivo Localidad	6
Figura 4. Filtrado de la curva Velocidad/tiempo	7
Figura 5. Filtrado y suavización de la curva Altitud/Tiempo.....	7
Figura 6. Resultado de bins de taxis 1400cc.	7
Figura 7. Factores de emisión de CO ₂ de taxis 1400cc sin eco conducción.....	8
Figura 8. Cantidad de CO ₂ , emitido al año por taxis de 1400cc	8
Figura 9. Consumo de combustible l/100 km.....	9
Figura 10. Consumo de combustible por recorrido	9
Figura 11. Comparación de Factor de emisiones CO ₂ Mejor/ Peor Escenario.....	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de Corrección.....	4
Tabla 2. Característica de la flota.....	4
Tabla 3. Parámetros de la actividad vehicular.....	4
Tabla 4. De resultados totales de CO ₂	7
Tabla 5. Comparación de resultados de CO ₂ de escenario más crítico.....	8
Tabla 6. Consumo de combustible l/100 km.....	9
Tabla 7. Consumo por recorrido	9
Tabla 8. Comparación de Emisiones CO ₂ Anual - Mejor / Peor Escenario.....	9

Estimación de emisiones de CO₂ en taxis con cilindrada de 1400cc bajo parámetros de conducción normal en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo IVE.

Daniel domingo Quinde Medina
Departamento de posgrado
Maestría en Sistemas Vehiculares
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
Dquinde68@tmail.es

Resumen- La presente investigación consiste en la estimación de emisiones de CO₂ en taxis con cilindrada de 1400cc bajo parámetros de conducción normal en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo *IVE*. La metodología utilizada fue la establecida en el modelo *IVE*, que consiste multiplicar la base de factores de emisiones que posee el programa por cada uno de los factores de corrección y por la distancia recorrida del vehículo. Para aquello se seleccionó una muestra de nueve taxis, que se instrumentó con un *Smartphone*, donde se descargaron dos aplicaciones *GPSloggers* y *Torque pro*, incluyendo un dispositivo de comunicación con el vehículo “ELM 327”, transfiriendo y almacenando los datos de movilidad, distancia recorrida, velocidad, altitud, tiempo y patrón de conducción. Para el cálculo de CO₂ se analizó una muestra de 1989 datos sobre velocidades promedio de cada hora de recorrido, en dos escenarios los cuales corresponden: primero un escenario con condiciones de tráfico favorables “hora valle” y segundo un escenario en el cual existe tráfico “hora pico”, para ello se ordenó de menor a mayor las velocidades promedio de cada hora de datos comprobando que corresponden a una distribución normal. Obteniendo resultado de factores de emisiones CO₂, 269.73 g/km para el primero y 273.03 g/km en el segundo escenario, que muestra que en tráfico se producen mayores emisiones.

Palabras Clave – Emisiones de gases vehiculares, CO₂, GPS, IVE, Factores de Corrección.

Abstract- The present investigation consists in the estimation of CO₂ emissions in taxis with a displacement of 1400cc under normal driving parameters in the city of Cuenca, using the IVE model. The methodology used was the one established in the IVE model, which consists of multiplying the base of emission factors that the program has for each of the correction factors and for the distance traveled by the vehicle. For this, a sample of nine taxis was selected, which was implemented with a *Smartphone*, where two *GPSloggers* and *Torque pro* applications were downloaded, including a communication device with the vehicle “ELM 327”, transferring and storing mobility data, distance traveled, speed, altitude, weather and driving pattern. For the calculation of CO₂, a sample of 1989 data on average speeds of each hour of travel was analyzed, in two scenarios which correspond: first a scenario with favorable traffic conditions and second a scenario in which there is traffic, for this purpose it was ordered from lower to higher the average speeds of each hour of data checking that they correspond to a normal distribution. Obtaining the result of CO₂ emission factors, 269.73 g / km for the first and 273.03 g / km in the second scenario, which shows that in traffic there is greater emissions.

Keywords – Emissions of vehicular gases, CO₂, GPS, IVE, Correction Factors.

Estimación de emisiones de CO₂ en taxis con cilindrada de 1400cc bajo parámetros de conducción normal en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo IVE.

Daniel Domingo Quinde Medina
Departamento de posgrado
Maestría en Sistemas Vehiculares
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
Dquinde68@gmail.es

Resumen- La presente investigación consistió en la estimación de emisiones de CO₂ en taxis con cilindrada de 1400cc bajo parámetros de conducción normal en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo IVE. La metodología utilizada fue la establecida en el modelo IVE, que consiste multiplicar la base de factores de emisiones que posee el programa por cada uno de los factores de corrección y por la distancia recorrida del vehículo. Para aquello se seleccionó una muestra de nueve taxis, que se instrumentó con un Smartphone, donde se descargaron dos aplicaciones: GPSSloggers y Torque pro, incluyendo un dispositivo de comunicación con el vehículo "ELM 327", transfiriendo y almacenando los datos de movilidad, distancia recorrida, velocidad, altitud, tiempo y patrón de conducción. Para el cálculo de CO₂ se analizó una muestra de 1989 datos sobre velocidades promedio de cada hora de recorrido, en dos escenarios los cuales corresponden: primero un escenario con condiciones de tráfico favorables "hora valle" y segundo un escenario en el cual existe tráfico "hora pico", para ello se ordenó de menor a mayor las velocidades promedio de cada hora de datos comprobando que corresponden a una distribución normal. Obteniendo resultado de factores de emisiones CO₂, 269.73 g/km para el primero y 273.03 g/km en el segundo escenario, que muestra que en tráfico se producen mayores emisiones.

Palabras Clave – Emisiones de gases vehiculares, CO₂, GPS, IVE, Factores de Corrección.

Abstract- This investigation consisted in the estimation of CO₂ emissions in taxis with 1400cc of displacement under normal driving parameters in Cuenca by using the IVE model. The methodology established in the IVE model was used. This consists of multiplying the base of emission factors that the program has for each of the correction factors and the distance traveled by the vehicle. A sample of nine taxis was selected, which were implemented with a Smartphone with two applications: GPSSloggers and Torquepro. An "ELM 327" device for communication with the vehicle was included, transferring and storing mobility, distance traveled, speed, altitude, time and driving pattern data. For the calculation of CO₂, a sample of 1989 data on average speeds at each hour of travel was analyzed in two scenarios: a first scenario with favorable traffic conditions "off-peak hour" and a second scenario with unfavorable traffic conditions "peak hour". For this, the average speeds of each hour of data were ordered from lowest to highest, verifying that they correspond to a normal distribution. The following results of CO₂ emission factors were obtained: 269.73 g/km for the first scenario and 273.03 g/km in the second scenario, which show that higher emissions occur in traffic.

Keywords – Vehicle gas emissions, CO₂, GPS, IVE, Correction Factors.


UNIVERSIDAD DEL AZUAY

1


Translated by
Ing. Paul Arpi

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la problemática de contaminación del aire ha sido de primordial interés en nivel local, regional y global en el aspecto ambiental y de salud humana. En la publicación realiza por *D James Kook*, en el año 2013, en el artículo titulado “*Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature*” se menciona que el cambio climático es consecuencia directa de la actividad humana[1].

De acuerdo a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) en el año 2015, se registraron por primera vez promedios diarios de más de 400ppm de CO₂ y para el 2017 el promedio global entre el mes de marzo y mayo estuvo por encima de las 405 ppm. [1] Los registros de los últimos años, muestran la misma tendencia a aumentar de las concentraciones de CO₂ y en los últimos datos disponibles se registra una concentración de 411.24 ppm en el mes de mayo del 2018. [1].

El sector del transporte es el que mayores emisiones de CO₂ genera después del sector de generación de energía, aportando aproximadamente un 23% del total del CO₂ antropogénico [2], la cantidad de emisiones a través del sistema de escape varía considerablemente dependiendo de tres factores:

Tipo de vehículo: Está definido por aspectos como la tecnología empleada para la gestión de la mezcla aire/combustible, cilindrada del motor, sistema de control de emisiones, tipo de combustible y edad del vehículo.

Patrones de conducción: Influyen sobre el aumento de las emisiones vehiculares como la velocidad de circulación por la carretera, distribución de los arranques del motor y distancia recorrida diariamente[3].

Condiciones climáticas y geográficas de la localidad; Temperatura ambiente, densidad del aire humedad y altitud.

De acuerdo a la organización internacional de constructores automotrices, la tasa de crecimiento del parque automotor a nivel mundial es de un 4%, como consecuencia de aquello en el 2017, se alcanzó la cifra de 100 millones de vehículos producidos en un año [4].

En el Ecuador de acuerdo a lo publicado en la revista Sector Automotriz 2019, de la Asociación de

Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), el parque automotor Ecuatoriano está compuesto por 2 267 344 vehículos[5], distribuidos de la siguiente manera:

Livianos: 1 965 538 (automóvil, SUV, Camioneta).

Comerciales: 301 806 (Camión, Bus, Van).

La edad promedio del parque automotor ecuatoriano es de 16,2 años.[5]

Enfocándose en la localidad y objeto de estudio, el parque automotor de la ciudad de Cuenca, es aproximadamente 147 484 vehículos de los cuales el 89% son de motor a gasolina y 10,8% son de motor a diésel, de éstos el 90,08% son vehículos livianos, el 3,57% de carga, el 2,70% de buses y 2,94% de motos.[6].

La flota de taxis está constituida por 3 553 unidades agrupadas en 106 organizaciones, con 106 paradas formales y 32 paradas informales, el desplazamiento en taxi presenta un perfil horario muy irregular, mostrando el pico de demanda desde las 09:00 hasta las 12:00, lo que se vincula con los horarios de atención de los comercios, oficinas de gestión pública, etc.[6].

En este contexto, el objetivo de la presente investigación se busca determinar la línea base de emisiones de CO₂, en una flota de taxis con cilindrada de 1400cc bajo condiciones de conducción normal en la ciudad de Cuenca, ya que los taxis son los vehículos que mayor circulación tienen dentro de la ciudad. A partir de los resultados obtenidos evaluar estrategias y políticas de mitigación gases de efecto invernadero (GEI).

Se puede obtener los factores de emisión a través de los siguientes:

Métodos directos: Se establecen las emisiones del vehículo en condiciones reales de operación, se pueden desarrollar en mediciones a bordo o dinamómetro.

Método indirecto: permite estimar emisiones de contaminantes provenientes de una fuente a partir de diversas variables relacionadas con ésta se utilizan correlaciones entre las emisiones y diversos parámetros que las afectan.[7].

Para el desarrollo de esta investigación se escogió el Modelo Internaciones de Emisiones Vehiculares (*IVE*) método indirecto, que se adapta a las tecnologías de los taxis permitiendo cargar directamente al programa la información referente a los hábitos de conducción, mediante los Bines *VSP*[8]. Por lo tanto, el modelo *IVE* se ha convertido en una de las principales herramientas usadas en diferentes países en vía de desarrollo, para obtener y planificar medidas de

control que permitan cuantificar las emisiones contaminantes en diferentes ciclos de conducción.

El *software IVE* utiliza tres componentes para el cálculo de emisiones:

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.

Factores de emisión: Es la cantidad de contaminante emitido en masa por unidad de distancia, a menudo se expresa en (g/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.[9].

Existen varios estudios en países como China, India, México, Perú, Chile, entre otros en los que ha sido utilizado el modelo IVE para determinar factores de emisiones e inventarios de emisiones, además de bases de datos para control de clima y control de la calidad de aire[10]. concluyendo que para países con tecnologías vehiculares EURO 3 la mejor opción es el modelo (IVE).

En el Ecuador se pueden destacar los siguientes estudios:

Santiago Vivanco P. Realizó un estudio sobre emisión de CO₂ en vehículos automotores de la ciudad de Loja, dando como resultado que en la ciudad de Loja el parque automotor emite 253 520 toneladas de CO₂ al año[11].

Fajardo Rodríguez: hizo un estudio sobre la aplicación del *software IVE*, para estimar las emisiones contaminantes de fuentes móviles con motor de ciclo Otto, en la ciudad de Quito, obteniendo una diferencia promedio de 70.4% de CO₂ por kilómetro entre el fabricante y el programa IVE.[12]

Milton and P. Urgilés: realizó un estudio de estimación de emisiones de fuentes móviles terrestres para la ciudad de Azogues aplicando el modelo IVE, Los resultados obtenidos con el cálculo del IVE muestran una mayor composición de CO₂ y en proporción mucho menor las emisiones contaminantes como CO, HC, entre otros[3]

Byron Romero Torres: Desarrolló un software de aplicación para la obtención de bins de entrada de patrones de conducción de acuerdo al modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE), se validó confrontando resultados con el software *Speed Emissions Evaluation*, donde la diferencia promedio fue del 0,2%[9]

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

Este trabajo investigativo se desarrolló en la zona urbana de la Ciudad de Cuenca, localizada en el centro austral de la República del Ecuador y es la capital de la provincia del Azuay, ubicada entre la latitud 2°53'57" sur y longitud 79°00'55" oeste, a una altitud aproximadamente de 2583 metros del nivel del mar, con una temperatura promedio de 15 °C. en la Figura 1 se aprecia un mapa satelital de la ciudad de Cuenca.



Fig. 1. Mapa satelital de la ciudad de Cuenca.

2.2 Materiales

Los insumos requeridos para llevar a cabo este proyecto fueron:

- Celular Smartphone.
- Sistema de Posicionamiento Global (*GPS Logger*).
- Dispositivo ELM 327.
- Aplicación Torque Pro
- Programa para el cálculo de los Bins *VSP*.
- Programa *IVE*.
- Vehículos.

2.3 Metodología

La metodología aplicada se fundamentó en un caso de estudio de tipo *bottom up*, ('de abajo arriba') son estrategias de procesamiento de información características de las ciencias de la información que edifica el inventario de emisiones a partir de información específica de la flota vehicular en estudio.

2.3.1 Descripción de la metodología utilizada

Para este caso de estudio, la metodología utilizada para estimación de emisiones de CO₂ de la flota de taxis fue la establecida en el *Software* del modelo *IVE*, que se fundamenta en una multiplicación entre la base de factores de emisiones que posee el programa por cada uno de los factores de corrección y por la distancia del vehículo que posee cada tecnología[13], como podrá observar en la ecuación 1 y los factores de corrección se muestran en la Tabla 1.

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

Donde,

B = Base de factor de emisión para cada tecnología, por partida [g/partida] o en ruta [g/km].

K = Factores de corrección.

Q = Factores de emisión ajustada para cada tecnología, por cada partida [g/partida] o en ruta [g/km].

Tabla 1. Factores de Corrección[13].

VARIABLES LOCALES	VARIABLES DE CALIDAD DE COMBUSTIBLE	VARIABLE DE POTENCIA Y CONDUCCIÓN
Temperatura $K_{(Tmp)[t]}$	Gasolina total	Potencia Especifica vehicular (VSP9)
Humedad $K_{(Hmd)[t]}$	Gasolina con Azufre	Uso del A/C
Altitud $K_{(Alt)[t]}$	Gasolina con Plomo	
Programa de mantenimiento $K_{(M)[t]}$	G. Benceno Gasolina Oxigenados	Distribución de partida en Frio
Base de factores de corrección $K_{(Cmtry)[t]}$	Diésel Total Diésel Azufre	

2.4 Instrumentación de las unidades

El modelo *IVE* utiliza básicamente parámetros del GPS para ello se instrumentó a cada taxi con un celular donde se descargaron dos aplicaciones *GPSlogger* y *Torque Pro* que por medio de *Bluetooth* se conecta con el dispositivo ELM 327, comunicándose con el vehículo mediante el protocolo *OBDII* (diagnostico a bordo), obteniendo y almacenado la información de la trayectoria de los taxis en el Smartphone para su posterior procesamiento, el dispositivo ELM 327, aparte de los datos de latitud longitud y altura también entregó información de distancia recorrida, tiempo y velocidad para el cálculo de consumo de

combustible que servirá para poder evaluar temas de autonomía y ahorro.

2.5 Levantamiento de la información

Se realizó con la gestión de los estudiante de posgrado de la Universidad del Azuay que realizaron el seguimiento y recopilación de la información.

2.5.1 Inspección de la flota vehicular

Se inspeccionó físicamente cada unidad para definir la distribución tecnológica de la flota, registrando el año, modelo, lectura del odómetro, sistema de gestión de combustibles, tecnología de control de emisiones, presencia de aire acondicionado, clasificando los modelos que cumplan con la cilindrada de 1400cc y que tengan la capacidad de soportar la instrumentación para el levantamiento de la información.

2.5.2 Composición de la flota vehicular

La flota seleccionada a emplearse en este estudio tiene las siguientes características, ver Tabla 2. Todas estas unidades son de origen asiático, con un promedio de 200 000km de recorrido, sistema de inyección Multipunto (IMP) y una edad promedio de 6 años.

Tabla 2. Característica de la flota.

Cantidad	Marca	Modelo	Año
4	Hyundai	Accent	2012
4	Kia	Rio	2012
1	Nissan	Sentra	2013

2.5.3 Actividad vehicular

Con la actividad vehicular, se determinó parámetro dinámico como patrones de velocidad y altitud, magnitud de conducción y los patrones de partida. Los parámetros que componen la actividad vehicular se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de la actividad vehicular.[3].

Parámetro	Descripción	Influencia
Patrones de conducción.	Distancia de recorrido, perfiles de velocidad y altitud.	Directamente proporcionales al consumo de combustible y emisiones contaminantes.

Características del combustible	Calidad del combustible, cantidad de impurezas y aditivos	Influencia directa en la eficiencia de la combustión del motor y por ende mayores emisiones contaminantes.
Uso del aire acondicionado	Porcentaje de tiempo en el que se usa el aire acondicionado.	Directamente proporcionales al consumo de combustible y emisiones.

2.5.4 Patrones de conducción

El procedimiento para obtener este parámetro consistió en hacer recorrer los taxis en las rutas dentro del casco urbano de la ciudad, registrando los datos de la variable de velocidad, distancia recorrida y altitud en función del tiempo, en este punto, se utilizó la aplicación *GPSlogger* y las rutas establecidas fueron: Comercial, arterial y autopista, tomando en consideración el criterio de conducción establecido por las leyes de tránsito 50 km/h, registrando información durante 60 días, recorriendo 12 horas diarias de lunes a sábado.

En el modelo *IVE*, los patrones de conducción están caracterizados usando dos parámetros:

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

Ambos parámetros pueden obtenerse conociendo, el tipo de vehículo y una traza de velocidad y la altitud segundo a segundo. [13], ecuaciones 3 y 4.

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

Donde,

$$\text{Pendiente} = \frac{h_{t=0} - h_{t=-1}}{V_{(t=1a \text{ 0segundos})}}$$

v= velocidad [m/s]

a: aceleración [m/s²]

h: altitud [m]

$$\text{Estrés del motor (sin unidades)} = \text{Índice RPM} + \left(0,08 \frac{\text{ton}}{\text{kw}} \right) \times \text{Potencia Promedio} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde,

$$\text{Potencia promedio} = \text{Promedio (VSP}_{t=5s \text{ -} 25s})$$

[KW/ton].

$$\text{Índice RPM} = \text{Velocidad}_{t=0} / \text{Divisor velocidad}$$

$$\text{Mínimo índice RPM} = 0,9$$

2.6 Procesamiento de la información

Una vez terminada la recolección de datos mediante el dispositivo ELM327, se procedió a la creación de una base de datos. En primera instancia se clasificaron los archivos (csv) según el taxi del cual provenían, en este caso los de cilindrada 1400cc, para luego proceder con un filtro de celdas vacías o datos erróneos, todo esto se realizó mediante programación debido a la gran cantidad de archivos, una vez filtrado, se procedió a guardarlo en la multiplataforma de *PostgreSQL*, (es un sistema de gestión de bases de datos relacional orientado a objetos y de código abierto)[14], para lo cual se programó una aplicación en *Matlab* capaz de importar, ordenar los datos, y transformar las unidades en caso de ser necesario, guardándolas en una tabla de la base de datos, programa que fue desarrollado por la Universidad del Azuay.

La base de datos consta de aproximadamente 20.5 millones filas de datos, cada fila contiene información de identificación del vehículo, fecha y hora, posición *GPS*, altitud y parámetros de funcionamiento del vehículo.

2.6.1 Proceso de cálculo

El cálculo que ejecuta el modelo *IVE* para la corrección de los factores de emisión se presenta en la Ecuación 2. Consiste en la multiplicación de un factor de emisiones base y una serie de factores de corrección locales.

$$Q_{[t]} = B_t * K_{1[t]} * K_{2[t]} * K_{3[t]} * K_{4[t]} * K_{5[t]} * k_{6[t]} \quad \text{Ec.2}$$

Donde,

$Q_{[t]}$ = factor de emisión ajustado para cada categoría;

$B_{[t]}$ = factor de emisión base por tecnología (g/km)

$K_{1[t]}$ = factor de corrección por temperatura;

$K_{2[t]}$ = factor de corrección por humedad

$K_{3[t]}$ = factor de corrección por mantenimiento y programas de inspección

$K_{4[t]}$ = factor de corrección por la calidad del combustible

$K5[t]$ = factor de corrección por altura del lugar
 $K6[t]$ = factor de corrección según los patrones de conducción de cada vehículo (también incluye otros efectos causados por el uso de aire acondicionado y las pendientes de las vías).

2.6.2 Cálculo de la velocidad promedio de la flota

Se analizó una muestra de 3600 datos sobre velocidades promedio de cada hora de recorrido, en dos escenarios, la distribución normal de datos se muestra en la Figura 2.

Mejor escenario. El mejor escenario corresponde a los datos registrados el día 1 de junio del 2019 entre las 21:00 a 22:00, en el vehículo " Taxi-6" y consta de 3600 de datos registrados.

Peor escenario. Peor escenario corresponde a los datos registrados el día 1 de junio del 2019 entre las 10:00 a 11:00, en el vehículo " Taxi-4" y consta de 3000 datos registrados.

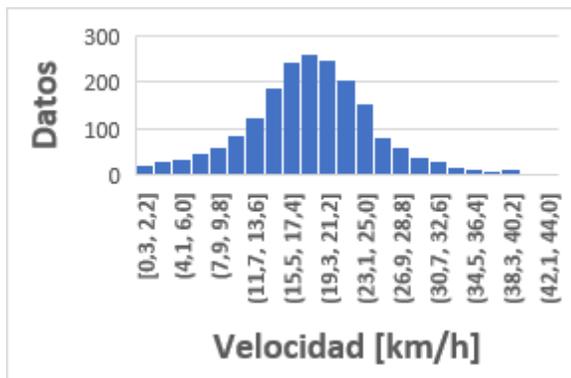


Fig.2. Distribución de las velocidades promedio de los taxis 1400cc.

2.6.3 Filtrado de los datos del GPS

Previo al procesamiento para el cálculo de bins *VSP*, los datos de velocidad y altitud de los recorridos representativo, fue necesario hacer un filtrado de los mismos para eliminar datos atípicos y suavizado de la curva, con el fin de obtener resultados más próximos a la realidad. Para esto, se utilizó el programa de filtrado de datos, en las Figura 4 se muestra Filtrado de la curva Velocidad/tiempo y en la Figura 5 Filtrado y suavización de la curva Altitud/Tiempo.

2.6.4 Cálculo de bins

Una vez realizado el suavizado de las curvas de velocidad y altitud se procede a realizar el cálculo de bins *VSP*, con el fin de facilitar este cálculo se utilizó una aplicación desarrollada en lenguaje Java, distribuido, como se muestra en la figura 6.

2.7 Creación de archivo localidad

Una vez calculado los bins *VSP*, se procedió a calcular las emisiones de CO_2 , ingresando los datos característicos de la flota al *software IVE*. Dentro del modelo *IVE* la flota vehicular corresponde a la tecnología vehicular 127, (esta es la tecnología vehicular más común entre los taxis de la ciudad), la cual describe un vehículo liviano a gasolina, inyección multipunto, con catalizador, EGR (Válvula de recirculación de gases de escape) y PVC (Válvula de ventilación positiva del cárter), temperatura local de 16.1 °C y una humedad relativa de 60% que corresponde al registro promedio de la ciudad.[15], como se muestra en la figura 3.

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%.

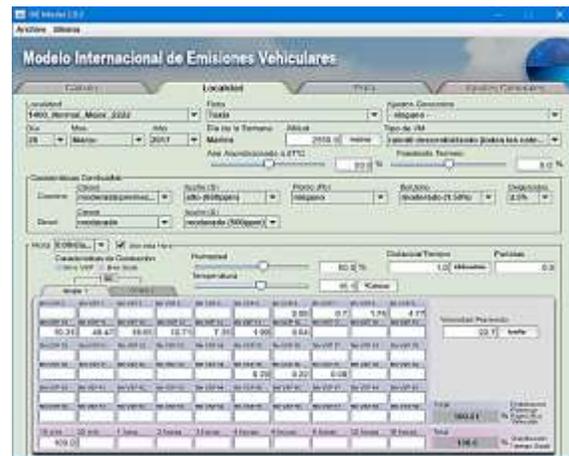


Fig.3. Archivo Localidad.

2.8 Cálculo de emisiones CO_2

Creado el archivo de localidad, se procede a calcular ejecutando el programa *IVE*. En el presente estudio se analizó las emisiones de CO_2 en dos escenarios los cuales corresponden: Primer escenario con condiciones de tráfico favorables mejor escenario. Segundo en el cual existe tráfico peor escenario.

Para ello se ordenó de menor a mayor las velocidades promedio de cada hora de datos comprobando que corresponden a una distribución normal. Para aquello la base de datos se dividió en

cuartiles (son los tiles que se multiplican por un cuarto de un conjunto de datos)[16] escogiendo el primer y tercer cuartil.

- El mejor escenario corresponde al primer cuartil de la distribución normal de la muestra de datos.
- El peor escenario corresponde al tercer cuartil de la distribución normal de la muestra de datos, como se muestra en Figura 6 y la Tabla 4.

3. RESULTADOS

3.1 Curvas corregidas en el programa de filtrado de datos.

Los datos de velocidad y altitud de los recorridos representativos pasan por un filtro de datos atípicos y la suavización de la curva, antes de ser procesados para el cálculo de bins (VSP), Las Figura 4 y 5 se muestra un ejemplo de este procedimiento.

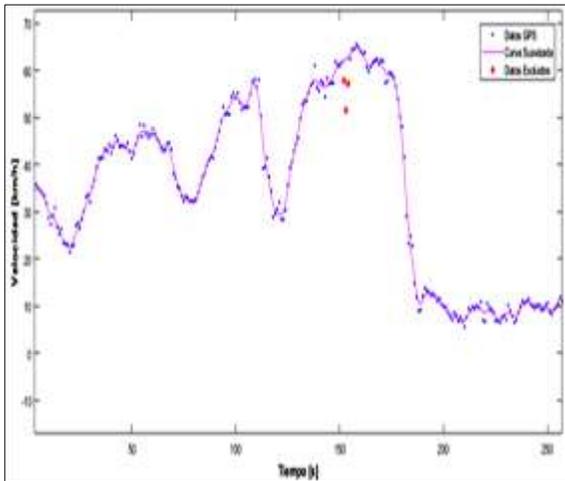


Fig.4. Filtrado de la curva Velocidad/tiempo.

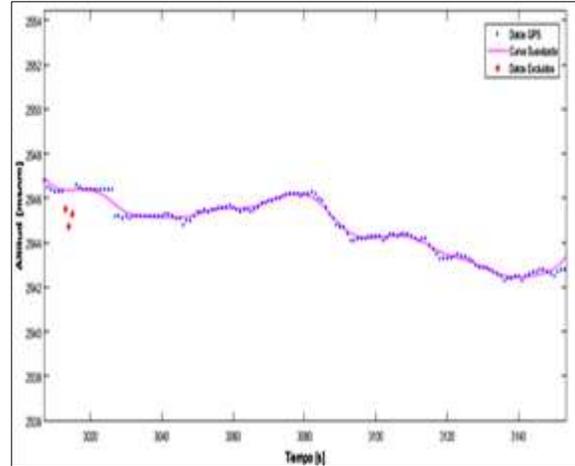


Fig.5. Filtrado y suavización de la curva Altitud/Tiempo.

3.2 Resultados de cálculos de bins

En la Figura 6 se muestra el cálculo de los Bins VSP Potencia Especifica Vehicular, obteniendo una distribución de 49% de Bins de los taxis de 1400cc. mediante parámetros conducción normal promediando el mejor y peor escenario de los datos obtenidos de la flota de taxis.

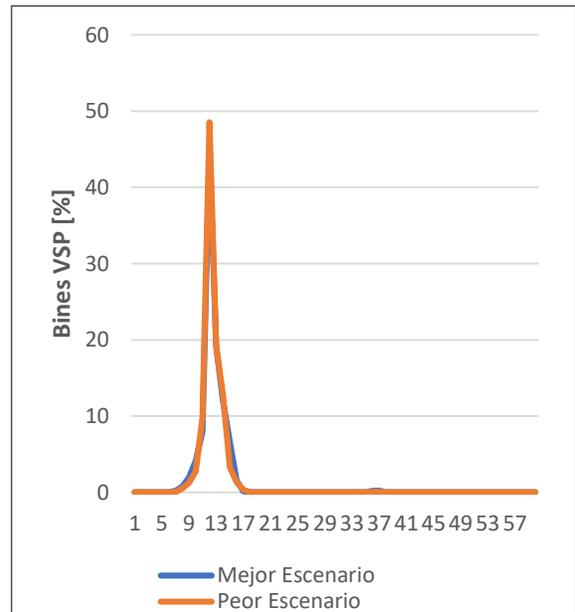


Fig.6. Distribución de Bins VSP de taxis 1400

3.3 Resultados de factor de emisiones CO₂

Los resultados obtenidos de CO₂ que servirán para extrapolar, se muestran en la Tabla 4, y se muestra en la Figura 7, para aquello se analizaron las emisiones de CO₂ en dos escenarios los cuales corresponden: primero un escenario con condiciones de tráfico favorables y segundo un escenario en el cual existe tráfico, para ello se ordenó de menor a mayor las

velocidades promedio de cada hora de datos comprobando que corresponden a una distribución normal. El mejor escenario corresponde al primer cuartil de la distribución normal de la muestra de datos y el peor escenario corresponde al tercer cuartil de la distribución normal de la muestra de datos, para el peor escenario se obtuvieron 273.03 g/km de Dióxido de Carbono (CO₂), comparado para el mejor escenario que se obtuvo 260.72 g/km, también se obtuvieron 3.61 gramos de Monóxido de Carbono (CO), 3.94 miligramos de Material Particulado y 407.07 miligramos de Óxido de Nitrógeno, observando que en el peor escenario se emiten mayor Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Tabla 4. Resultados totales de CO₂.

Taxis 1400 sin eco-Conducción		
Gases Emitidos	Peor Escenario	Mejor Escenario
CO ₂ [g/km]	273.03	260.73
CO [g/km]	3.61	3.56
PM [mg/km]	3.94	3.76

La Figura 7, muestra una comparación mediante barra de los dos escenarios; mejor escenario con condiciones de tráfico favorables y peor escenario en el cual existe tráfico, en donde se puede observar que el valor en el primer escenario es de 260.73 g/km y el segundo escenario es de 273.03 g/km con una diferencia porcentual de factor de emisiones de un 5%.

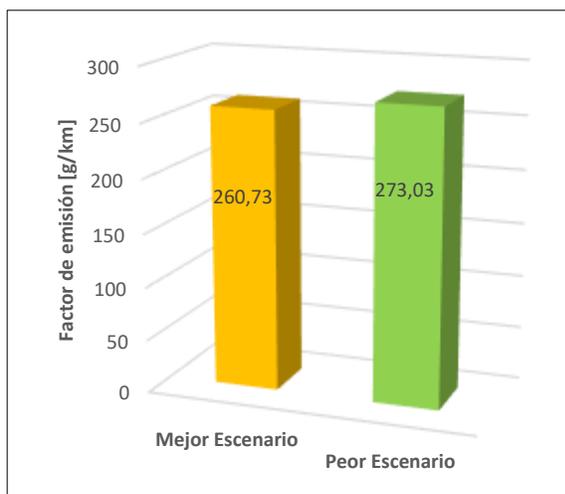


Fig. 7. Factores de emisión de CO₂ de taxis 1400cc.

3.4 Resultado de CO₂ al año.

Para determinar la cantidad de CO₂ que se produce anualmente, se realizó una extrapolación de los datos del escenario más crítico, registrado por el modelo IVE. La Tabla 5 y la Figura 8, muestran los resultados obtenidos: 60 612.66g, en un día, 1 454 703.84g, en un mes, 17 456 446.08g, en un año y 17.46 toneladas anual, considerando en este estudio el recorrido promedio de taxis en Cuenca es 222 km diario, resultando un total 63 936 km al año.

Tabla 5. Comparación de resultados de CO₂ de escenario más crítico.

Peor escenario			
Taxis 1400cc.conduccion normal			
Total, de emisiones en un día[g]	Total, de emisiones en un mes[g]	Total, de emisiones en un año[g]	Total, de emisiones en un año[ton]
60.612,66	1.454.703,84	17.456.446,08	17,46

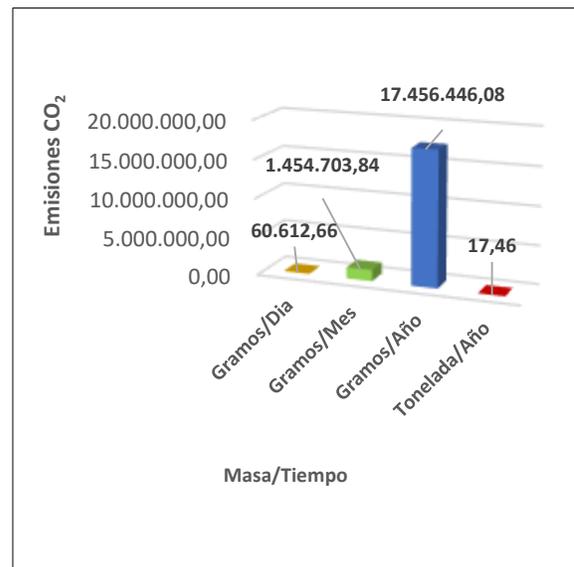


Fig.8. Cantidad de CO₂, emitido al año por taxis de 1400cc.

La Tabla 6 y Figura 9, muestra el consumo de combustible en litro cada 100 kilómetros de recorrido, observando que en el peor escenario representa más consumo.

Consumo recorrido. Es el consumo total de la ruta analizada. **Distancia.** Es la distancia de la tura analizada. **Consumo.** - Es el consumo del vehículo en litros cada 100 kilómetros.

Tabla 6. Consumo de combustible l/100 km.

Taxi 1400cc.		
	Peor Escenario	Mejor Escenario
Consumo recorrido [l]	1.48	2.49
Distancia [km]	12.06	22.71
Consumo[l/100km]	12.26	10.95

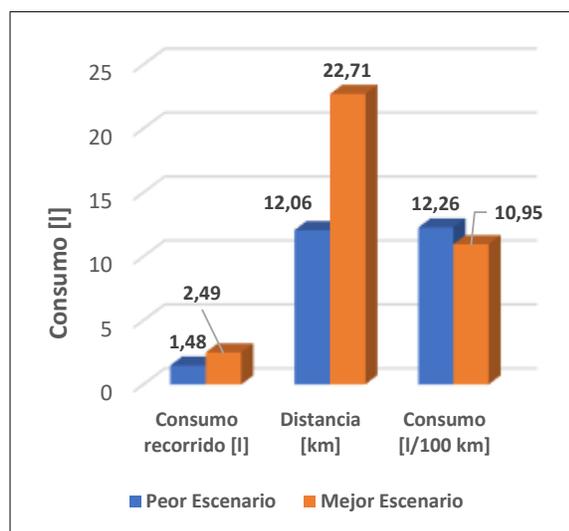


Fig.9. Consumo de combustible.

En la Tabla 7 y en la Figura 10 se muestra los resultados obtenidos de consumo de combustible por tiempo recorrido, de un día 27.22 l, un mes 653.21 l y anual 7 838.55 l.

Tabla. 7. Consumo recorrido por [l].

Tiempo-Recorrido	Consumo Recorrido [l]
Día	27.22
Mes	653.21
Año	7838.55



Fig.10. Consumo de combustible por recorrido.

La Tabla 8 y representada en la Figura 11, se muestra la comparación de factor de emisiones CO₂ anual, en gramos y tonelada, para el mejor escenario “hora valle” se obtuvo 16 670 033 g/año y 17 456 446 g/año para el peor escenario “hora pico”, en tonelada anual para el mejor escenario se obtuvo 16.67ton/año y 17.46 ton/año para el peor escenario resultando una diferencia porcentual de 5%.

Tabla 8. Comparación de Emisiones CO₂ Anual - Mejor / Peor Escenario

Factor de Emisiones de CO ₂ /Anual		
	Gramos/Año	Tonelada/Año
Mejor Escenario	16.670.033	16.67
Peor Escenario	17.456.446	17.46
Diferencias Porcentuales [%]	5 %	5%

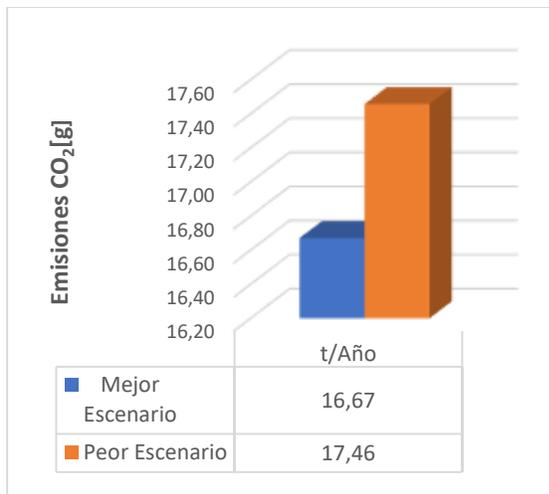


Fig.11. Comparación de Factor de emisiones CO₂ Mejor/Peor Escenario.

4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

* La característica de la flota de taxis influye directamente sobre las emisiones emitidas, dependiendo de la cilindrada, tecnología y control de emisiones.

* Los patrones de conducción reflejan las tendencias de conducción en la ciudad, con la ayuda de la aplicación *GPSLogger*, se tomaron muestra de esta que fueron ingresadas para el cálculo. La velocidad y altura obtenidas fueron filtradas y suavizada para ser utilizadas en el cálculo de la Potencia Específica vehicular (VSP), la altura describió las pendientes, características propias de la localidad, siendo un parámetro para el aumento de emisiones de CO₂.

* El cálculo de emisiones de CO₂ dio como resultado una línea base para el estudio de la contaminación de la ciudad por gas de efecto invernadero (GEI), analizando las emisiones de CO₂ en dos escenarios los cuales corresponden: primero un escenario con condiciones de tráfico favorables y segundo un escenario en el cual existe tráfico, para ello se ordenó de menor a mayor las velocidades promedio de cada hora de datos comprobando que corresponden a una distribución normal, el mejor escenario corresponde al primer cuartil de la distribución normal de la muestra de datos y el peor escenario corresponde al tercer cuartil de la distribución normal de la muestra de datos, para el peor escenario se obtuvo 273.03 g/km de Dióxido de Carbono (CO₂), comparado para el mejor escenario que se obtuvo 260.73 g/km, existiendo una diferencia porcentual de 5%.

* Comparando el factor de emisiones del mejor escenario 260.73 g/km, con los datos técnico del Hyundai Accent 1.4, donde indica que emiten 146 g/km, obteniendo una diferencia de un 10 %, esto se puede deber por la ubicación geográfica de la ciudad de Cuenca.

* Las emisiones de CO₂ anual generadas por los taxis 1400cc en conducción normal, para el mejor escenario “hora valle” 16 679 033 g/km y 17 456 446 g/km para en peor escenario “hora pico”, resultando una diferencia porcentual de un 5 % y en tonelada están 16.67t para el mejor escenario y 17.46 t para el peor escenario.

* El consumo de combustible en el mejor escenario de tráfico favorables, es 10.95 [l/100km] y peor escenario en el cual existe tráfico es 12.26 [l/100km], resultando una diferencia porcentual del 12%, concluyendo que en el peor escenario existe mayor consumo de combustible, debido al tráfico.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Noaa Earth System Research Laboratory, “Esrl Global Monitoring Division - Global Greenhouse Gas,” 2019.
- [2] Ipcc, “Climate Change 2007: Working Group Ii: Impacts, Adaptation And Vulnerability,” Witzerland, 2017.
- [3] I. Milton And P. Urgilés, “Estimación De Un Inventario De Emisiones De Fuentes Móviles Terrestres Para La Ciudad De Azogues Aplicando El Modelo Internacional De Emisiones Vehiculares,” 2019.
- [4] Oica, “Man Made Co2 Emissions,” 2015. .
- [5] S. Automotriz, “Acade,” No. 27, 2018.
- [6] Gad Municipal De Cuenca, “Plan De Movilidad Y Espacios Publicos De Cuenca.” P. 1, 2016.
- [7] L. A. G. Amaya, “Estimación Del Inventario De Emisiones De Fuentes Móviles Para La Ciudad De Bogotá E Identificación De Variables Pertinentes Liliana,” 2005.
- [8] M. L. T. Cossio *Et Al.*, “Co2 In The Road Transport Sector,” 2012.
- [9] Romero ., “Desarrollo De Aplicacion Para La Obtencion De Bines De Entrada De Patrones De Conduccion De Acuerdo Al Modelo Internacional De Emisiones Vehiculares

- (Ive),” 2017.
- [10] N. Davis And J. Lents, “Part 3: Developing Countries: Development And Application Of An International Vehicle Emissions Model,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, Vol. 1939, Pp. 155–165, 2007.
 - [11] Santiago Manuel Vivanco Pinta, ““Emisión De Dióxido De Carbono De Vehículos Automotores En La Ciudad De Loja,” 2015.
 - [12] R. Fajardo, “Aplicación Del Software Ive Para La Estimación Indirecta De Emisiones Contaminantes De Fuentes Móviles Con Motor De Ciclo Otto Y Comparación De Resultados Con Medición Directa En Ruta En El Distrito Metropolitano De Quito,” 2018.
 - [13] *Manual Del Usuario Del Modelo Ive*. 2008.
 - [14] Wikipedia, “Postgresql.” [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Postgresql>. [Accessed: 28-Oct-2019].
 - [15] Emov, “Informe De Calidad Aire Cuenca 2017,” 2017.
 - [16] “Cuartil - Wikipedia, La Enciclopedia Libre.” [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cuartil>. [Accessed: 28-Oct-2019].
 - [17] J. Zhunio Morocho, “Metodología Para La Obtención De Los Indicadores Que Describen La Operación De Taxis En La Ciudad De Cuenca,” P. 135, 2017.