



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA  
AUTOMOTRIZ**

**Determinación de los factores de emisión de los buses  
urbanos de la ciudad de Loja en la hora de mayor tráfico  
vehicular, mediante una metodología indirecta.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**Autores:**

**FULVIO ALEJANDRO ARMIJOS PINEDA**

**MILTON ESTEBAN CUEVA CUEVA**

**Director:**

**MATEO FERNANDO COELLO SALCEDO**

**CUENCA, ECUADOR**

**2017**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de tesis se lo dedico, a mis padres Fulvio Francisco Armijos Ortega y Silvia Marisol Pineda Zhune, por su gran esfuerzo, sacrificio y amor incondicional, que a pesar de los momentos adversos que se presentaron en el camino nunca me abandonaron y siempre me brindaron su apoyo. A mis abuelitos Servilio y Dolores, quienes con sus consejos llenos de sabiduría siempre estuvieron guiándome por el camino del bien. Y finalmente, a mi novia Cristina por ser parte especial de mi vida y por estar siempre a mi lado apoyándome para poder seguir adelante.

Fulvio.

El presente trabajo le dedico, primeramente a Dios por darme la salud de poder culminar una etapa más en mi vida, a mis queridos padres Milton y Orfa por ser mi ejemplo y guía de superación, a mi hermana Tatiana que ha sabido darme su apoyo y consejos, mis sobrinos Luis y Emilia. Y finalmente, a mi querida abuelita Rosita que desde el cielo me ha dado sus bendiciones y sus inculcaciones que me dejo dando para ser una persona de bien y servir a la sociedad.

Milton.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Dios, por haberme dado salud y sabiduría para poder cumplir una meta más en mi vida. A todo el personal docente y administrativo de la universidad del Azuay, de manera muy especial a mi director de tesis Ing. Mateo Coello, por brindarnos su tiempo, conocimientos y la conducción apropiada para la realización de este trabajo.

Además, de manera muy especial agradezco a la empresa de transporte urbano Urba Express de la ciudad de Loja y a sus señores conductores, quienes muy comedidamente colaboraron con sus buses para la instrumentación, facilitando así la realización de este proyecto.

Fulvio.

Quiero agradecer el presente trabajo a mis queridos padres por su constante apoyo incondicional que han sabido brindarme día a día. A la compañía de transporte urbano de la ciudad de Loja Urba Express S.A que han hecho posible este trabajo y facilitar sus unidades de buses.

También agradezco al personal académico por sus conocimientos emprendidos durante mi carrera universitaria y finalmente a mi director de tesis Ing. Mateo Coello que supo brindarnos su tiempo y guiar nuestro estudio de tesis.

Milton.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>viv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Crecimiento del parque automotor .....	2
1.2. Inventario de emisiones .....	5
1.3. Factor de emisión.....	7
1.4. Modelos de estimación .....	8
1.5. Problemática .....	12
1.6. Objetivo general.....	12
1.7. Objetivos específicos .....	12
1.8. Pregunta de investigación .....	12
1.9. Alcances y resultados esperados.....	12
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>13</b>
2. DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS.....	13
2.1. Elaboración de la base de datos para la selección de las rutas representativas en la ciudad de Loja. ....	13
2.2. Clasificación de los buses urbanos de la ciudad de Loja. ....	17
2.3. Determinación de la muestra para el levantamiento de información.....	19

2.4.	Características tecnológicas de los buses urbanos de la ciudad de Loja.	20
2.5.	Definición de horarios, días, número de recorridos y duración del estudio. .....	22
2.6.	Instrumentación .....	22
CAPÍTULO III.....		27
3.	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS .....	27
3.1.	Equipamiento de los GPS en los buses.....	27
3.2.	Generación de encuestas para obtención de los patrones de partida y el kilometraje de los buses.....	28
3.3.	Número de buses que transitan en los horarios establecidos.....	32
3.4.	Factores climatológicos .....	32
3.5.	Características del combustible .....	33
3.6.	Filtrado de datos.....	33
3.7.	Obtención de la altura mediante el programa GPS Visualizer .....	35
3.8.	Separación de recorridos y suavizado de velocidad .....	36
3.9.	Validación de la muestra.....	39
3.10.	Determinación de los bins VSP .....	40
3.11.	Obtención de las emisiones por medio del modelo IVE.....	43
CAPÍTULO IV.....		46
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	46
4.1.	Comparación de los factores de emisión y emisiones entre hora pico y hora valle.....	46
4.2.	Imposición de escenarios para reducción de contaminantes .....	48
4.3.	Análisis de emisiones per cápita de CO <sub>2</sub> .....	50
CONCLUSIONES .....		52
RECOMENDACIONES .....		54
ANEXOS .....		55
BIBLIOGRAFÍA .....		61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Porcentajes de consumo energético .....	3
Figura 1.2 Distribución de consumo energético en el transporte.....	3
Figura 2.1 Recorridos de cada ruta .....	17
Figura 2.2 Porcentajes de las marcas de buses urbanos de la ciudad de Loja.....	19
Figura 2.3 Comparación de variación de altitud entre la del GPS Vbox Sport y aplicando el programa GPS Visualizer. ....	26
Figura 3.1 Colocación del GPS en la parte central del bus.....	27
Figura 3.2 Gafete para generación de encuestas .....	28
Figura 3.3 Realización de la encuesta a señores conductores para la obtención de bins Soak.....	29
Figura 3.4 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 06:00-07:00 horas.....	29
Figura 3.5 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 07:00-08:00 horas.....	30
Figura 3.6 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 12:00-13:00 horas.....	30
Figura 3.7 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 13:00-14:00 horas.....	30
Figura 3.8 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 17:00-18:00 horas.....	31
Figura 3.9 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 18:00-19:00 horas.....	31
Figura 3.10 Selección de variables en el programa PerformanceBox Tools.....	33
Figura 3.11 Separación por comas al archivo .csv.....	34
Figura 3.12 Filtrado de datos a un Hertz.....	34
Figura 3.13 Altitud obtenida del GPS VBOX de la ruta Sauces Norte-Argelia-Sauces Norte.....	35
Figura 3.14 Altitud obtenida del programa GPS Visualizer de la ruta Sauces Norte-Argelia-Sauces Norte .....	35
Figura 3.15 Parámetros de ingreso que requiere el programa para realizar la separación de recorridos y suavizado de la velocidad.....	36
Figura 3.16 Terminales creadas para la línea 8 (Ciudad Victoria-Carigán-Ciudad Victoria.....	37
Figura 3.17 Bins VSP obtenidos del recorrido Colinas Lojanas-Zamora Huayco en el horario de 17:00-18:00 horas .....	41
Figura 3.18 Representación de los bins VSP de la ruta Colinas Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas .....	41

Figura 3.19 Representación de los bins VSP de la ruta Colinas Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas .....	42
Figura 3.20 Representación de los bins VSP de la ruta Colinas Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas .....	42
Figura 3.21 Representación de los bins VSP de la ruta Sauces Norte-Julio Ordoñez-Sauces Norte.....	43
Figura 3.22 Creación del archivo flota en el modelo IVE para las rutas arteriales....	43
Figura 3.23 Creación del archivo flota en el modelo IVE .....	44
Figura 3.24 Representación de los factores de emisión de los buses urbanos de Loja en hora de mayor tráfico .....	45
Figura 3.25 Representación del factor de emisión de CO <sub>2</sub> de los buses urbanos de Loja en hora de mayor tráfico .....	45
Figura 4.1 Emisiones de los buses urbanos por línea en hora pico y valle durante una hora.....	47
Figura 4.2 Emisiones de gases críticos mediante la renovación de las rutas arteriales a Euro 3 y renovación total de la flota a Euro 4.....	48
Figura 4.3 Emisiones de gases críticos mediante la renovación de la flota a Euro 4 y mejora de combustible .....	49
Figura 4.4 Emisiones de CO <sub>2</sub> en diferentes ciudades por habitante.....	51
Figura 4.5 Emisiones de CO <sub>2</sub> en diferentes ciudades por bus .....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Niveles de operación de los VSP en los primeros 20 bins. ....	10
Tabla 1.2 Valores de stress agrupados en niveles. ....	11
Tabla 1.3 Categorías de patrones de partida. ....	11
Tabla 2.1 Tipos de rutas y líneas. ....	14
Tabla 2.2 Base de datos de las líneas de buses. ....	15
Tabla 2.3 Clasificación de los buses por marcas y compañías del transporte urbano de la ciudad de Loja. ....	18
Tabla 2.4 Porcentaje de las marcas de buses urbanos de la ciudad de Loja. ....	18
Tabla 2.5 Distribución de la flota de buses urbanos de las rutas arteriales con tecnología Euro II. ....	21
Tabla 2.6 Distribución de la flota de buses urbanos de las rutas troncales con tecnología Euro II y III. ....	21
Tabla 2.7 Horario propuesto para levantamiento de datos. ....	22
Tabla 2.8 Características del GPS Vbox Sport. ....	23
Tabla 2.9 Resultados de validación del GPS. ....	25
Tabla 3.1 Nombres de los dueños de las unidades de buses a las que se realizó la instrumentación. ....	28
Tabla 3.2 Kilometraje promedio de los buses urbanos. ....	31
Tabla 3.3 Conteo de buses en los horarios mayor tráfico vehicular. ....	32
Tabla 3.4 Factores climatológicos de Loja. ....	32
Tabla 3.5 Coordenadas de latitud y longitud de las terminales y subterminales de la línea 8 (Ciudad victoria-Carigán-Ciudad Victoria). ....	38
Tabla 3.6 Validación de la muestra ruta Sauces Norte-Argelia-Sauces Norte. ....	39
Tabla 3.7 Validación de la muestra ruta Colinas Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas. ....	39
Tabla 3.8 Validación de la muestra ruta Ciudad Victoria-Carigán-Ciudad Victoria. ....	40
Tabla 3.9 Validación de la muestra ruta Sauces Norte-Julio Ordoñez-Sauces Norte. ....	40
Tabla 3.10 Factores de emisión de los buses urbanos en la ciudad de Loja en hora de mayor tráfico. ....	45
Tabla 4.1 Factores de emisión de los buses urbanos de Loja VS Quito. ....	46
Tabla 4.2 Comparación de los factores de emisión en hora pico y hora valle. ....	47
Tabla 4.3 Emisiones totales de los buses urbanos en hora pico y valle durante una hora, día y año. ....	47

Tabla 4.4 Comparación de emisiones para diferentes escenarios .....	49
Tabla 4.5 Cantidad de CO <sub>2</sub> por habitante y por bus.....	50

**DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN DE LOS BUSES URBANOS DE LA CIUDAD DE LOJA EN LA HORA DE MAYOR TRÁFICO VEHICULAR, MEDIANTE UNA METODOLOGÍA INDIRECTA.**

**RESUMEN**

La presente investigación, consiste en la determinación de los factores de emisión de los buses urbanos de Loja en la hora de mayor tráfico vehicular. En la ciudad no se han realizado este tipo de estudios, por la cual, se aplico una metodología indirecta mediante el uso del programa del Modelo de Estimación de Emisiones Vehiculares (IVE) y como instrumentación un GPS, teniendo como resultados que los factores de emisión para las rutas arteriales (buses rojos) son: CO (7.45), VOC (2.09), NO<sub>x</sub> (15.80) , SO<sub>x</sub> (0.12), PM (3.92), CO<sub>2</sub> (1172.96) y para rutas troncales (buses verdes) son: CO (7.44), VOC (1.57), NO<sub>x</sub> (10.80) , SO<sub>x</sub> (0.11), PM (1.73), CO<sub>2</sub> (1090.18) sus unidades dadas en g/km.

**Palabras claves:** factor de emisión, Modelo IVE, tráfico vehicular, buses urbanos.



Ing. Mateo Coello S.

**Director del Trabajo de Titulación**



Ing. Mateo Coello S.

**Director de Escuela**



Fulvio Armijos P.

**Autor**



Milton Cueva C.

**Autor**

**IDENTIFICATION OF URBAN BUSES EMISSION FACTORS IN THE CITY OF LOJA AT THE TIME OF GREATER VEHICLE TRAFFIC, USING AN INDIRECT METHODOLOGY.**

**ABSTRACT**

This research consisted in the identification of emission factors in the urban buses of Loja during the vehicular traffic peak hour. These type of studies have never been carried out in this city; thus, an indirect methodology was applied through the use of the International Vehicle Emissions (IVE) Model and a GPS as instrumentation. The results showed that the emission factors for the red bus routes were: CO (7.45), VOC (2.09), NO<sub>x</sub> (15.80), SO<sub>x</sub> (0.12), PM (3.92), CO<sub>2</sub> (1172.96); and the emission factors for trunk or green bus routes were: CO (7.44), VOC (1.57), NO<sub>x</sub> (10.80), SO<sub>x</sub> (0.11), PM (1.73), CO<sub>2</sub> (1090.18) taken into account their given units in g / km.

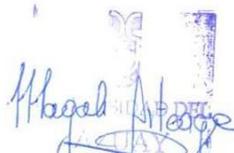
**Keywords:** emission factor, IVE model, vehicular traffic, urban buses.

  
Ing. Mateo Coello S.  
**Thesis Director**

  
Ing. Mateo Coello S.  
**School Director**

  
Fulvio Armijos P.  
**Author**

  
Milton Cueva C.  
**Author**

  
Miguel Hodge  
Dpto. Idiomas

  
Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

Fulvio Alejandro Armijos Pineda  
Milton Esteban Cueva Cueva  
Trabajo de Graduación  
Ingeniero Mateo Fernando Coello Salcedo  
Septiembre, 2017

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS), estima que más de 2 millones de personas mueren cada año a causa de la inhalación de pequeñas partículas contaminantes del aire en espacios interiores y exteriores. El material particulado ( $PM_{10}$ ), de menos de 10 micras de tamaño, pueden penetrar en los pulmones, llegar al torrente sanguíneo, causando cardiopatías, cáncer de pulmón, asma e infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (OMS, 2015).

El transporte público es considerado un medio de transporte ecológico. Sin embargo, los vehículos con motor diésel de servicio pesado, utilizados como tránsito urbano, contribuyen de manera importante a las emisiones vehiculares, son responsables de más del 45% de las emisiones de óxidos de nitrógeno y el 75% de material particulado. Para reducir la contaminación atmosférica procedente de los autobuses diésel, se ha empezado a utilizar fuentes de energía alternativas, por ejemplo: bus eléctrico, autobuses de gas natural comprimido y autobús híbrido-diésel. Una manera eficaz de reducir las emisiones vehiculares se da cuando cambian los buses viejos por nuevos. (Li, Lo, Xiao, & Cen, 2016)

En la ciudad de Loja, uno de los principales problemas que se registra en esta ciudad es la contaminación vehicular debido al crecimiento del parque automotor. En el 2014 se registró un crecimiento del 8 % siendo el más alto del país, lo que contribuye al aumento del tráfico y contaminación del aire (El Mercurio, 2014). Los buses urbanos, en esta ciudad, son los principales generadores de ruido y contaminantes por la utilización de diésel, generando alta cantidad de gases (El Mercurio, 2014). Además, desde el 2013 se ha implementado la revisión técnica vehicular, pero hasta la

actualidad, esta verificación se la realiza de manera manual y visual, basándose solamente en la experiencia de los técnicos encargados de la inspección; lo que genera un problema, ya que no se cuenta con los equipos necesarios para determinar de forma precisa el estado de seguridad en que se encuentran los vehículos y que las emisiones que generan se encuentren dentro de lo permitido (El Comercio, 2014).

Un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos permite identificar las fuentes generadoras de emisiones, así como el tipo de contaminante que emite y su contribución a la atmósfera. La base fundamental para obtener este inventario, es el factor de emisión (FE) (INECC, 2014). A través de este estudio lo que se pretende es obtener este factor para los contaminantes de tipo criterio y efecto invernadero, generados por buses urbanos de la ciudad de Loja en las horas de mayor tráfico vehicular.

### **1.1. Crecimiento del parque automotor**

La tasa de crecimiento de producción vehicular ha generado un incremento del 4.5% en comparación al año 2015 y 2016 según la Organización Internacional de Fabricantes de Vehículos Automotrices (OICA), siendo los países de Asia-Oceanía con 51 521 214 unidades y un aumento en la producción del 7.6%; seguido de Europa con 21 699 589 y un incremento del 2.5%; América con 20 854 138 y disminución del 0.5%, finalmente África con 901 628 y 7.9%. (OICA, 2017)

Si bien es cierto, se ha generado un crecimiento del parque automotor a nivel mundial, las importaciones en el Ecuador según la Asociación de Fabricantes Automotrices del Ecuador (AEADE) disminuyeron en un 41%, debido al recorte de cupo de importaciones según el Comité de Comercio Exterior (Comex), con resolución 049-2014, aprobada el 29 de diciembre del 2014, esto debido a la crisis económica que se ha generado en el país. (INER, 2015)

### **Consumo energético**

Debido al constante crecimiento del parque automotor se genera una mayor contaminación y por ende un mayor gasto energético, según datos del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovables (INER) la mayor demanda energética se debe al transporte en un 42% (INER, 2015). Los valores de demanda energética se distribuyen de la siguiente forma (Figura 1.1):

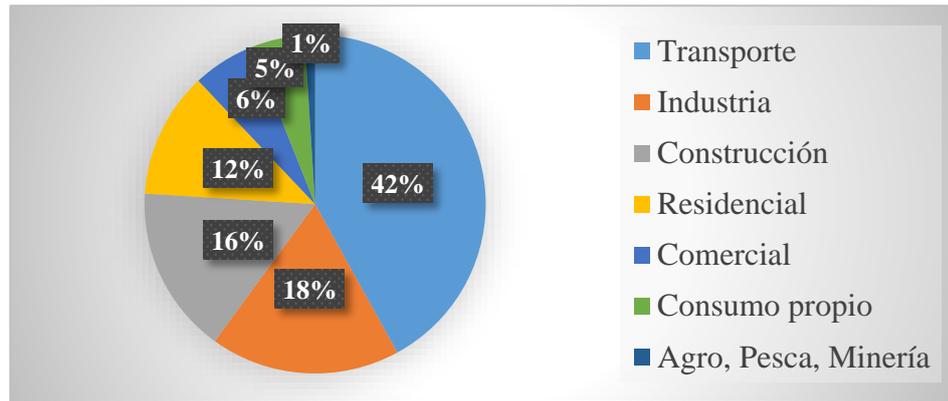


Figura 1.1 Porcentajes de consumo energético  
Fuente: (OICA, 2017)

Mientras que, con respecto al sector transporte los vehículos pesados y automóviles son los que mayor consumo energético presentan. (INER, 2015):

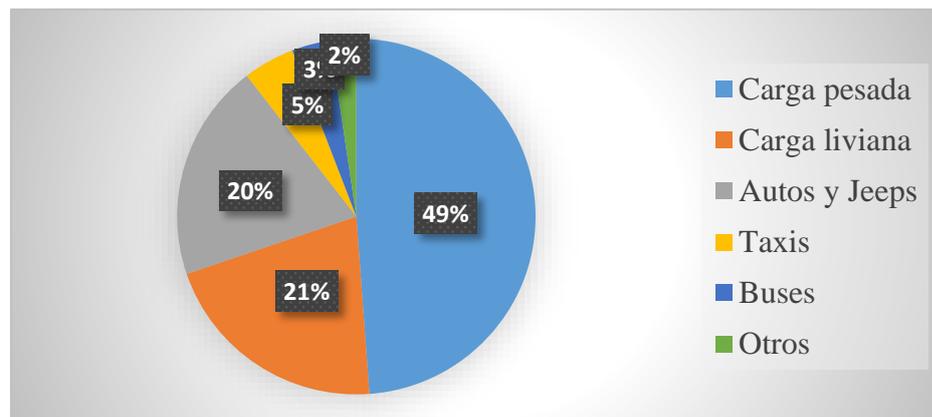


Figura 1.2 Distribución de consumo energético en el transporte.  
Fuente: (OICA, 2017)

### Efectos causados por el crecimiento del parque automotor

Debido al crecimiento del parque automotor mundial, hace cada vez más crear congestión vehicular, mayor consumo energético, tiempos de viajes altos, costos directos e indirectos en el transporte, siniestralidad vial, crear nuevas vías alternativas de circulación y lo más preocupante generación de mayor contaminación lo que hoy muchos países están buscando alternativas para reducir las emisiones. (Rozas, Jaimurzina, & Pérez, 2015)

### **Mejoras en el parque automotor**

Debido al constante crecimiento del parque automotor, se han creado nuevos métodos para combatir las enfermedades producidas por la contaminación vehicular, así tener un mundo sustentable donde se pueda respirar aire libre de gases perjudiciales para la salud. Según la OICA se ha creado nuevas tecnologías para la reducción de emisiones de escape como:

- **Catalizador de tres vías (3-way):** funcionan en un sistema de circuito cerrado acoplado con un sensor llamado “sonda lambda”, lo cual se encarga de controlar la composición de los gases de escape, conectados a través de un sistema computarizado de gestión del motor (ECU), la cual regula constantemente la mezcla aire-combustible. Los gases que se logran reducir son: el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).
- **Control de emisiones evaporativas:** este sistema posee una válvula de salida de vapores del tanque, que regula el paso hacia el cánister, y una válvula de purga conectada al múltiple de admisión o una electroválvula controlada ECU, que permite que por vacío el vapor condensado salga del cánister.
- **Filtros de partículas:** su estructura tiene la forma de panal aparecido al catalizador, pero con canales cerrados alternativos, esto obliga a que los gases de escape fluyan a través de las paredes entre los canales, filtrando más del 90% de la materia.
- **Catalizador de reducción selectiva (SCR):** este sistema usa una solución acuosa de urea conocida como AdBlue® que, cuando se inyecta de manera específica en un catalizador SCR, se convierte en amoníaco este al reaccionar con el NO<sub>x</sub>, produce nitrógeno y agua.
- **Trampas de NO<sub>x</sub>:** también conocidos como adsorbentes de NO<sub>x</sub>. Estas trampas están incorporadas por: óxido de bario que reacciona con NO<sub>x</sub> y lo almacena en forma de nitrato, cuando se tiene mezcla "pobre". Un cambio de operación "rica" durante uno o dos segundos es suficiente para invertir la reacción y liberar el NO<sub>x</sub> almacenado, de forma que por medio de un catalizador de 3 vías pueda convertir de nuevo a nitrógeno y agua.(OICA, 2017)

## 1.2. Inventario de emisiones

El inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos es un instrumento estratégico para la gestión de la calidad del aire. Un inventario permite conocer las fuentes emisoras de contaminantes, así como el tipo y cantidad de contaminantes que emite cada una de ellas. Los inventarios de emisiones están integrados por (SEMART, 2013) :

- Fuentes de punto (industrias).
- Fuentes móviles (vehículos automotores que circulan por calles y carreteras).
- Fuentes de área (comercios, servicios, casas habitación y vehículos automotores que no circulan por carreteras).
- Fuentes naturales (erosión de suelo y emisiones biogénicas, entre otras).

Los contaminantes que se encuentra dentro de un inventario de emisiones son (SEMART, 2013):

- **Contaminantes criterio:** contaminantes que generan la mala calidad del aire en una zona urbana, este tipo de gases son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), partículas (menores a 10 micrómetros PM<sub>10</sub> y menores a 2.5 micrómetros PM<sub>2.5</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos (HC), y plomo (Pb).
- **Gases de efecto invernadero:** emisiones que causan el cambio climático global, los gases de este tipo son: bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), entre otros.

### **Inventarios de fuentes móviles**

Para la estimación de las emisiones de contaminantes provenientes de las fuentes móviles es indispensable contar con una gran diversidad y detalle de la información, para representar con la menor incertidumbre posible factores como la cantidad de vehículos, edad, uso y características técnicas, entre otros. Estos inventarios se pueden desarrollar para un día, una semana, un mes o un año por tipo de vehículo, uso, combustible, año modelo, municipio, estado o país. (INECC, 2014)

Los inventarios de emisiones necesitan del análisis y procesamiento de la información, de acuerdo al tipo de modelo que se emplea para obtener los factores de emisión o directamente las emisiones. Para la recolección, análisis y procesamiento de la información, debe ser la misma indistintamente del modelo que se utiliza, todos los modelos requieren la preparación en formatos diferentes, así como de información complementaria, al final se utiliza la misma ecuación general para la estimación de las emisiones contaminantes de origen vehicular (INECC, 2014):

$$E_{ij} = (FE_{ij})(DA_j)(VC_j) \quad (Ec.1)$$

Donde:

**E<sub>ij</sub>**: emisiones totales de i contaminante y j categoría vehicular.

**FE<sub>ij</sub>**: el factor de emisión de i contaminante y j categoría vehicular [gr/km].

**DA<sub>j</sub>**: dato de actividad de j categoría vehicular para un vehículo [km /día o año]

**VC<sub>j</sub>**: el número de vehículos de j categoría.

En general la información requerida para una adecuada modelación, necesita de datos específicos de la zona o región de estudio, los cuales se mencionan a continuación: (INECC, 2014)

- **Distribución vehicular:** por año modelo, categoría y tipo de combustible.
- **Actividad vehicular:** cómo y cuánto circulan los vehículos en un área de estudio, dentro de los cuales se encuentra la velocidad vehicular, la distancia recorrida por categoría y el número de viajes entre otros.
- **Meteorología o condiciones locales:** temperatura, humedad relativa, presión barométrica y altura sobre el nivel del mar.
- **Las características de combustible en cada área de estudio:** presión de vapor reid, contenido de azufre, contenido y tipo de oxígeno, cantidad de aromáticos etc.
- **Tipo de programa:** para verificación de emisiones vehiculares, así como su cobertura y nivel de cumplimiento.

Uno de los parámetros indispensables para estimar la emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de las fuentes móviles es el factor de emisión. Con la relación entre la emisión de un contaminante y su dato de actividad (Ejemplo: Distancia recorrida por tipo de vehículo o el consumo de combustible). El cual se obtiene mediante un modelo de emisión o bien mediante mediciones directas en la flota vehicular circulante. (INECC, 2014)

### **1.3. Factor de emisión**

Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. En el caso de los vehículos automotores, los factores de emisión se expresan en unidades de masa de contaminante emitido por distancia recorrida.

Las emisiones contaminantes de un vehículo son influenciadas por su edad, la tecnología del motor, la velocidad de circulación, las características del combustible, las condiciones de operación, las condiciones meteorológicas y muchos otros elementos, lo que dificulta la determinación de sus factores de emisión; por lo cual se han desarrollado diferentes técnicas para su obtención: técnicas directas y técnicas indirectas. (Aguilar et al., 2007)

#### **Técnicas directas**

En las técnicas directas para poder obtener los factores de emisión de fuentes móviles se realizan mediciones directamente en la fuente. Algunos ejemplos de estas técnicas son (Aguilar et al., 2007):

- **Monitoreo a bordo:** Es un método donde se realizan las mediciones de emisiones bajo condiciones reales de operación de los vehículos a partir de un sistema de medición auto-transportado.
- **Pruebas dinamométricas:** Son pruebas realizadas en dinamómetros de chasis donde se aplican diferentes cargas y velocidades a los vehículos automotores en función del patrón o ciclo de manejo utilizado.

Las técnicas directas debido a la alta inversión capital para la instrumentación y el tiempo que requieren son muy complicadas para la determinación de los factores de emisión. Estas técnicas son de gran utilidad para la calibración de las técnicas indirectas generando factores de corrección. (Aguilar et al., 2007)

### **Técnicas indirectas**

Las técnicas indirectas no involucran mediciones en cada fuente en el lugar o zona de estudio, sino que utilizan los resultados de miles de mediciones directas realizadas en otros lugares y las correlacionan con la flota específica que se estudia y los parámetros locales que afectan sus emisiones. Debido a la complejidad del manejo de las múltiples variables que afectan a la flota y sus emisiones, existen modelos computacionales diseñados expresamente para estimar los factores de emisión de las fuentes vehiculares. (Aguilar et al., 2007)

Sin embargo, aunque parezca que las técnicas indirectas son menos precisas que las técnicas directas, al estar basadas en un alto número de mediciones, generan una mayor validez estadística al resultado (Aguilar et al., 2007). Un ejemplo de ello, es el de un estudio realizado en el país de China en la ciudad de Shanghái, donde se realizó un inventario de emisiones para vehículos en carretera y se comparó los resultados del Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE) con las pruebas en carretera, la diferencia de resultados fue menor al 10 % (Wang, Chen, Huang, & Fu, 2008). Otro estudio realizado en el mismo país, pero en la ciudad de Hangzhou, se realizaron mediciones remotas de teledetección, para la obtención de los factores de emisión de tres contaminantes (CO, NO<sub>x</sub> y HC) y los compararon con el modelo IVE, los resultados de igual manera fueron aceptables por los dos métodos utilizados. (Hui, Qing-yu, Yao, & Da-hui, 2007).

#### **1.4. Modelos de estimación**

Los países desarrollados han tenido que generar modelos de emisiones debido a la necesidad de estimar las emisiones vehiculares a nivel mundial. Estos modelos internacionales son un método indirecto para obtener los factores de emisión que utilizan información de los métodos directos ajustada a las condiciones teóricas de cada modelo. Los modelos más utilizados en Latinoamérica son: MOBILE 4, Motor Vehicle Emissions Simulator (MOVES), International Vehicle Emissions Model (IVE) y Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport (COPERT). Cabe recalcar que en América Latina también existen modelos de emisiones desarrollados que utilizan como base de datos los modelos que se fueron mencionados anteriormente. Uno de ellos es el MODEN, generado por el

Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile, cuyos factores de emisión son utilizados por el COPERT III. (Tolvett, 2013)

### **Modelo IVE**

El modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE) financiado por la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos (EPA), oficina de Asuntos Internacionales, predice contaminantes atmosféricos locales, gases de efecto invernadero y tóxicos. Este modelo fue desarrollado en conjunto con el Centro para la Investigación y Tecnología Ambiental (CE-CERT), Investigación de Sistemas Sustentables Globales (GSSR) y el Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales (ISSRC). El IVE está específicamente diseñado para tener flexibilidad con países que se encuentran en vías de desarrollo, ayudando a la estimación de mediciones mediante:

- Enfoque estratégico de control y planeación de transporte.
- Predecir como diferentes estrategias afectaran las emisiones locales.
- Medición del progreso en la reducción de emisiones a través del tiempo.

Los parámetros de entrada que se requiere en el modelo IVE son (ISSR, 2008):

#### **1) Comportamiento de conducción**

- Magnitud de conducción
- Patrones de conducción (perfiles de velocidad y aceleración)

#### **2) Patrones de Partidas**

- Cantidad de Partidas
- Patrón de Soak (la distribución de cuánto tiempo el motor ha estado apagado antes de una partida)

#### **3) Variables Ambientales**

- Altitud
- Pendiente
- Temperatura

#### **4) Características del combustible**

- Calidad del combustible
- Cantidad de contaminantes y aditivos

### Patrones de conducción

Una de las variables importantes se tiene que es: la velocidad, aceleración y desaceleración los cuales provocan un fuerte impacto dentro de las emisiones a la salida del tubo de escape del vehículo. Dentro de los patrones de conducción se tiene la potencia específica vehicular (VSP) y estrés del motor (ISSR, 2008).

**Potencia específica vehicular:** Se define como VSP la relación de potencias instantánea de un vehículo y su masa.

El modelo IVE para presentar sus resultados de VSP lo hace cada segundo de recorrido. La clasificación lo hace en 20 categorías de operación de trabajo y 3 categorías de stress del motor dando un total de 60 bins. Principalmente los valores se generan en los 20 primeros niveles de operación, los cuales se presenta en la Tabla 1.1 (ISSR, 2008).

Tabla 1.1 Niveles de operación de los VSP en los primeros 20 bins.

VSP (kW/Ton)		
Bin	Mínimo	Máximo
0	-80.0	-44.0
1	-44.0	-39.9
2	-39.9	-35.8
3	-35.8	-31.7
4	-31.7	-27.6
5	-27.6	-23.4
6	-23.4	-19.3
7	-19.3	-15.2
8	-15.2	-11.1
9	-11.1	-7.0
10	-7.0	-2.9
11	-2.9	1.2
12	1.2	5.3
13	5.3	9.4
14	9.4	13.6
15	13.6	17.7
16	17.7	21.8
17	21.8	25.9
18	25.9	30.0
19	30.0	100.0

Fuente: (Guadalupe, 2016)

**Estrés del motor:** Está dado por las revoluciones por minuto del motor y la carga aplicada sobre el vehículo en los últimos 15 segundos de conducción al momento de efectuar el cálculo. En la Tabla 1.2 se muestra los niveles de stress que se generan:

Tabla 1.2 Valores de stress agrupados en niveles.

Bin	Estrés del motor	
	Mínimo	Máximo
0-19	-1.6	3.1
20-39	3.1	7.8
40-59	7.8	12.6

Fuente: (ISSR, 2008)

### Patrones de Partida

Se presentan de forma semejante a los patrones de conducción, existen dos tipos de periodo Soak lo cual provocan un fuerte impacto en las emisiones por el tubo de escape.

- **Partida en frío:** se da cuando el motor ha reposado por 18 horas o más. Generalmente este tipo de partida provoca mayor cantidad de emisiones porque no se alcanzado la temperatura de funcionamiento del motor.
- **Partida en caliente:** se genera cuando el motor se apagado por 5 minutos o menos antes de ponerse en funcionamiento.

Dentro del patrón de partida aparece el término Soak que se define como el periodo de tiempo que un motor se encuentra apagado antes de ponerse en marcha.

Existen 10 grupos de Soak en el modelo IVE, en la Tabla 1.3 se representan los periodos de tiempo que se dan desde el inicio hasta el final.(ISSR, 2008)

Tabla 1.3 Categorías de patrones de partida.

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

Fuente: (ISSR, 2008)

### **1.5. Problemática**

En la ciudad de Loja no se han realizado estudios para la obtención de FE de tipo criterio y efecto invernadero provocados por los buses urbanos, solo existe un estudio sobre análisis de contaminación atmosférico ocasionado por los gases de escape (CO y HC) de fuentes móviles referente a todo el parque automotor de forma estática (Balcázar, 2013).

### **1.6. Objetivo general**

Determinar los factores de emisión de los buses urbanos en la ciudad de Loja en horas de mayor tráfico vehicular, mediante una metodología indirecta.

### **1.7. Objetivos específicos**

- Establecer la muestra para el levantamiento de datos.
- Definir la metodología para el levantamiento de información que alimentará al modelo IVE.
- Procesar los datos obtenidos en el levantamiento de la información.
- Analizar los resultados obtenidos de los factores de emisión generados en los buses urbanos.

### **1.8. Pregunta de investigación**

¿Cuáles son los factores de emisión generados por los buses urbanos de la ciudad de Loja en las horas de mayor tráfico vehicular?

### **1.9. Alcances y resultados esperados**

El estudio se realizará en 4 rutas definidas, la selección será de acuerdo a las líneas de buses, número de buses, tiempo de recorrido al día, frecuencia de salida, kilómetros recorridos, pasajeros y duración de recorrido. Para el equipamiento y levantamiento de datos se realizará en un bus por ruta, en los horarios críticos o de mayor tráfico vehicular. Se espera obtener los factores de emisiones de los diferentes gases contaminantes tipo criterio y de efecto invernadero, generados por los buses urbanos de la ciudad de Loja con el modelo IVE.

## **CAPITULO II**

### **2. DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS.**

Este capítulo contiene la selección de rutas, composición vehicular de la flota de buses urbanos, delimitación para el levantamiento de datos y validación del GPS. Se iniciará indicando de cómo se generó la base de datos de las diferentes líneas que existen en la ciudad de Loja, para realizar la selección de las rutas representativas; seguidamente, se realiza la clasificación de la flota vehicular de los buses urbanos que se encuentran en funcionamiento actualmente en la ciudad. Luego, la delimitación de la muestra requerida; es decir, los horarios, días y el número de recorridos que se deberían realizar. Y finalmente, se indicará la metodología utilizada para efectuar la validación del GPS y con ello poder garantizar el correcto funcionamiento del equipo en la ciudad de estudio.

#### **2.1. Elaboración de la base de datos para la selección de las rutas representativas en la ciudad de Loja.**

En ciudad de Loja el transporte urbano actualmente se encuentra formado por 13 rutas: 3 troncales, 6 arteriales y 4 vecinales (Tabla 2.1). Para el estudio se ha tomado en cuenta solo las líneas troncales y arteriales debido a que existe un mayor número de buses en funcionamiento y frecuencias de salida de cada terminal más cortas.

Tabla 2.1 Tipos de rutas y líneas

<b>RUTAS</b>		
<b>TRONCALES</b>	<b>ARTERIALES</b>	<b>VECINALES</b>
Línea 2: Sauces Norte-Argelia-Sauces Norte	Línea 1: Las Pitas- El Rosal-Las pitas	Línea 3: Virgenpamba - Mercadillo
Línea 8: Ciudad Victoria-Carigán- Ciudad Victoria	Línea 4: Borja-Isidro Ayora- Borja	Línea 3: Manzano - Mercadillo
Línea 11: Tierras Coloradas-Bolonia-Tierras Coloradas	Línea 5: Colinas Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas	Línea 3: Zalapa - Mercadillo
	Línea 7: Motupe-Punzara-Motupe	Línea 3: Calvario - Centro - Terminal Terrestre
	Línea 10: Sauces (24 de Mayo)-Ciudadela Julio Ordoñez-Sauces	
	Línea 12 (L): Sol De Los Andes/SOMECEl Paraíso	

Fuente: (Autores, 2017)

En primera instancia, para el comienzo del estudio se solicitó información al Sistema Intermodal de Transporte Urbano de Loja (SITU), para poder generar una base de datos y determinar que rutas o recorridos que realizan las diferentes líneas de buses urbanos sean las representativas. Esta base de datos (Tabla 2.2) contiene: frecuencia de salida, horarios de trabajo, número de buses, kilómetros recorridos, duración del recorrido, número de pasajeros, tipo de ruta y tecnología vehicular.

Tabla 2.2 Base de datos de las líneas de buses.

		<b>Línea 1: Las Pitas- El Rosal- Las Pitas</b>		<b>Línea 2: Sauces Norte- Argelia-Sauces Norte (AV)</b>		<b>Línea 4: Borja-Isidro Ayora- Borja</b>		<b>Línea 5: Colinas Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas</b>	
<b>Tiempo de servicio al día [h]</b>	<b>Lunes-viernes</b>	12:37:00		16:10:00		13:58:00		13:45:00	
<b>Frecuencia promedio [min]</b>	<b>Lunes-viernes</b>	7		4		8		7	
<b>Número de buses [-]</b>	<b>Lunes-viernes</b>	16		39		15		20	
<b>Kilómetros recorridos [km]</b>	<b>Ida</b>	11.95	23.71	12.5	25	9.52	18.72	11.39	23.06
	<b>Vuelta</b>	11.76		12.5		9.2		11.67	
<b>Duración del recorrido [h]</b>	<b>Ida</b>	0:51:00	1:40:00	0:40:00	1:21:00	0:43:00	1:25:00	0:50:00	1:50:00
	<b>Vuelta</b>	0:49:00		0:41:00		0:42:00		1:00:00	
<b>Número De Pasajeros [-]</b>		2250		39920		9102		12801	
<b>Tipo de Ruta [-]</b>		Urbana y Sub-Urbanas		Urbana y Sub-Urbanas		Urbana y Sub-Urbanas		Urbana y Sub-Urbanas	
<b>Tecnología de los buses [-]</b>		EURO II		EURO II y III		EURO II		EURO II	

Fuente: (SITU, 2016)

Continuación de la tabla 2.2

		<b>Línea 7: Motupe-Púnzara-Motupe</b>		<b>Línea 8: Ciudad Victoria-Carigán-Ciudad Victoria</b>		<b>Línea 10: Sauces (24 de Mayo)-Ciudadela Julio Ordoñez-Sauces</b>		<b>Línea 11: Tierras Coloradas -Bolonia-Tierras Coloradas</b>		<b>Línea 12: Sol De Los Andes/SOMECE-El Paraíso</b>	
<b>Tiempo de servicio al día [h]</b>	<b>Lunes-viernes</b>	14:20:00		14:10:00		14:26:00		14:51:00		13:45:00	
<b>Frecuencia promedio [min]</b>	<b>Lunes-viernes</b>	6		6		6		6		7	
<b>Número de buses [-]</b>	<b>Lunes-viernes</b>	27		26		26		25		19	
<b>Kilómetros recorridos [km]</b>	<b>Ida</b>	15.7	31.07	20.45	39.49	14.8	28.95	17.17	33.9	12.25	24.07
	<b>Vuelta</b>	15.37		19.04		14.15		16.73		11.82	
<b>Duración del recorrido [h]</b>	<b>Ida</b>	1:07:00	2:13:00	1:10:00	2:14:00	0:58:00	1:56:00	1:03:00	2:04:00	0:56:00	1:54:00
	<b>Vuelta</b>	1:06:00		1:04:00		0:58:00		1:01:00		0:58:00	
<b>Número de pasajeros [-]</b>		20967		18672		17486		19057		9516	
<b>Tipo de ruta [-]</b>		Urbana y Sub-Urbanas		Urbana y Sub-Urbanas		Urbana y Sub-Urbanas		Urbana y Sub-Urbanas		Urbana y Sub-Urbanas	
<b>Tecnología de los buses [-]</b>		EURO II		EURO II y III		EURO II		EURO II y III		EURO II	

Fuente: (SITU, 2016)

Luego de la generación de la base de datos se procedió a realizar la selección de las rutas representativas, seleccionando cuatro rutas (Figura 2.1). Donde para su selección se consideraron factores como: los recorridos seleccionados cubran la mayor parte geográfica de la ciudad, frecuencias de salidas menores, mayor distancia de recorrido, mayor cantidad de buses en funcionamiento, mayor número de pasajeros. Además, un factor importante para su selección a parte de los indicados anteriormente es que no tengan un recorrido similar.

**Recorrido de las rutas seleccionadas:**

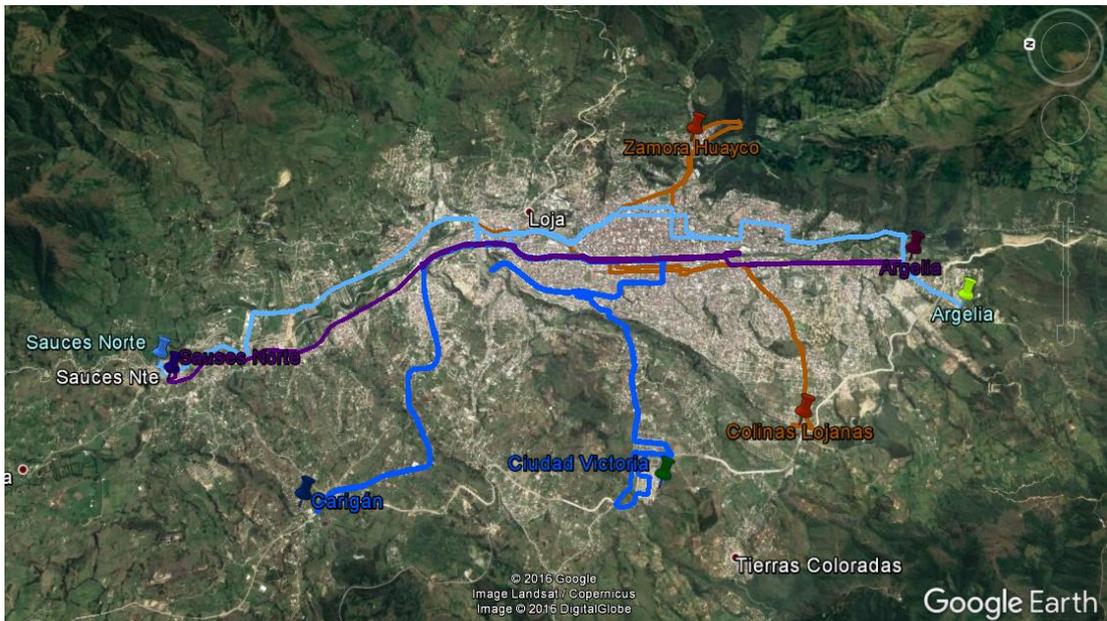


Figura 2.1 Recorridos de cada ruta  
Fuente: (Autores, 2017)

- Ruta 1: Línea 2 (Saucés Norte-Argelia-Saucés Norte).
- Ruta 2: Línea 5 (Colina Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas).
- Ruta 3: Línea 8 (Ciudad Victoria-Carigán-Ciudad Victoria).
- Ruta 4: Línea 10 (Saucés Norte-Argelia-Saucés Norte).

**2.2. Clasificación de los buses urbanos de la ciudad de Loja.**

En la ciudad, el transporte urbano está dirigido por el Consorcio de Transportistas de la ciudad de Loja conformado por 4 compañías que son: 24 de Mayo, Urba Express, Cuxibamba y Ríos del Sur; sumando un total de 233 buses urbanos que se encuentran en circulación, siendo la compañía 24 de Mayo que cuenta con la mayor cantidad de

buses, en la Tabla 2.3 se tiene distribuida cada una de las compañías con cada una de las marcas que posee.

### Distribución de buses que circulan en Loja.

Tabla 2.3 Clasificación de los buses por marcas y compañías del transporte urbano de la ciudad de Loja.

Compañías	Chevrolet	Mercedes Benz	Volkswagen	Hyundai	Iveco	International	Hino
Cuxibamba	16	3	4	1	0	0	17
24 de Mayo	41	13	4	1	1	1	45
Urba-Express	16	9	1	0	0	0	17
Ríos Del Sur	14	7	2	0	0	0	20
<b>Total</b>	<b>87</b>	<b>32</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>99</b>

Fuente: (Urba-express, 2017)

Para una mejor representación en la Tabla 2.4 y Figura 2.2, se tiene en porcentajes agrupados todos los buses por marcas, siendo los buses urbanos de marca Hino y Chevrolet de mayor cantidad en esta flota vehicular y representando el 42.49 % y 37.33 % respectivamente.

Tabla 2.4 Porcentaje de las marcas de buses urbanos de la ciudad de Loja.

Marca	Numero de Buses	Porcentaje
Hino	99	42.49 %
Chevrolet	87	37.33 %
Mercedes Benz	32	13.73 %
Volkswagen	11	4.7 %
Hyundai	2	0.86 %
Iveco	1	0.43 %
Internacional	1	0.43 %

Fuente: (Autores, 2017)

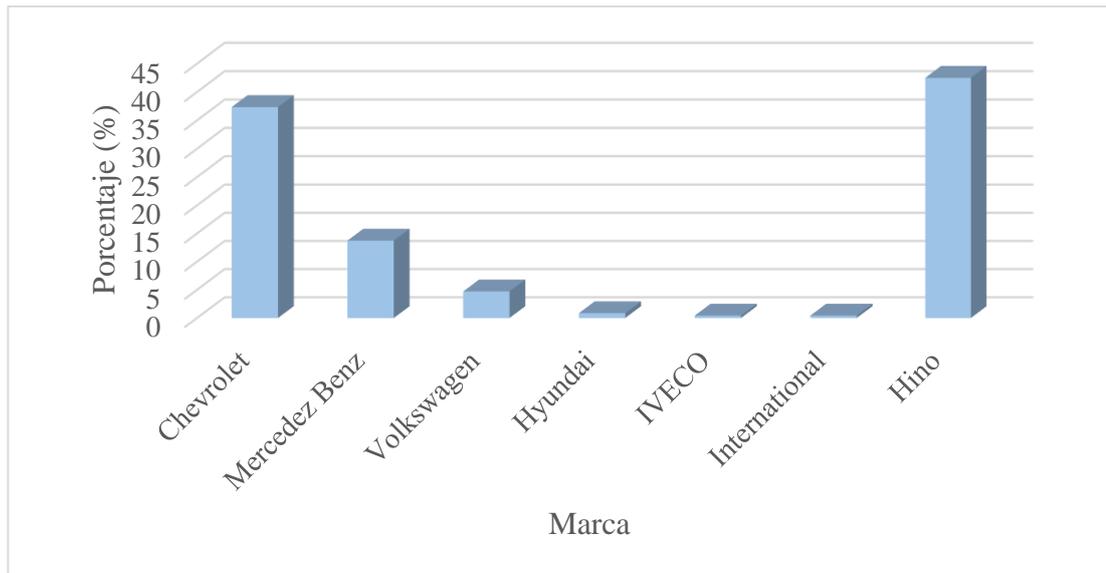


Figura 2.2 Porcentaje de las diferentes marcas de buses urbanos de la ciudad de Loja.  
Fuente: (Autores, 2017).

### 2.3. Determinación de la muestra para el levantamiento de información

La determinación de la muestra se realiza para obtener el kilometraje y los bins Soak requeridos por el modelo IVE. Se utilizó la Ecuación 2 la cual sirve para poder saber el número de encuestas que se deben realizar y así obtener una muestra representativa. (Balcázar, 2013).

$$n = \frac{Z^2 N(p.q)}{[E^2(N-1)] + [Z^2(p.q)]} \quad (Ec. 2)$$

Donde:

- **N:** Total de buses.
- **Z:** Nivel de confianza que indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación se ajusten a la realidad. En este caso se han utilizado un nivel de confianza al 95%, cuyo valor de  $Z=1.96$
- **E:** Es el margen de falla deseado en la muestra, el límite aceptable de error mastral cuando no se tiene su valor, se suele utilizar un valor entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), para el presente estudio se tomará el valor de 0.05.
- **σ:** Desviación estándar de la población, cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0.5 que son para los valores de p y q los mismos valores.

Actualmente en la ciudad hay 233 buses en circulación y se tiene que el tamaño de la muestra para el levantamiento de información es de 145 buses.

#### **2.4. Características tecnológicas de los buses urbanos de la ciudad de Loja.**

La clasificación de las diferentes características tecnológicas de la flota de buses es uno de los requerimientos necesarios para el ingreso al modelo IVE. Por lo tanto, se generó una base de datos la cual contiene: cantidad de buses, marca, año, cilindrada, tipo de combustible, sistema de control de emisiones que posee y kilometraje (Anexo I).

A través de la compañía de buses Urba-Express se obtuvieron las características de los buses de todas compañías de transporte urbano, como: el registro municipal, marca y año. Para conocer la cilindrada de cada bus se consultó en la página del SRI ingresando la placa del bus. Para la clasificación de los vehículos por el tipo de control de emisiones que posee la marca Hino, Mercedes Benz, Volkswagen, Iveco e Internacional se consultó en sus respectivos catálogos existentes en el mercado ecuatoriano y para el resto de marcas Chevrolet, Hyundai se realizó una consulta a talleres especializados.

De esta manera se pudo determinar que en la ciudad de Loja existentes buses con tecnología Euro II y III. Las rutas arteriales tienen buses con Euro II y son de color rojo; mientras que, las rutas troncales poseen buses con Euro II y III y son de color verde.

En la Tabla 2.5 y 2.6 se representan la tecnología vehicular y el porcentaje que corresponde a toda la flota de buses urbanos existentes en la ciudad Loja.

Tabla 2.5 Distribución de la flota de buses urbanos de las rutas arteriales con tecnología Euro II

<b>Buses Rojos</b>			
<b>Código de la tecnología vehicular</b>	<b># Buses [-]</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Observaciones</b>
1130	9	6.57	De acuerdo al modelo IVE el código 1130, representa la tecnología EURO II para buses medianos de inyección diésel y kilometraje mayor a 161000 km.
1133	128	93.43	De acuerdo al modelo IVE el código 1133, representa la tecnología EURO II para buses grandes de inyección diésel y kilometraje mayor a 161000 km.

Fuente: (Autores, 2017)

Tabla 2.6 Distribución de la flota de buses urbanos de las rutas troncales con tecnología Euro II y III

<b>Buses Verdes</b>			
<b>Código de la tecnología vehicular</b>	<b># Buses [-]</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Observación</b>
1133	7	7.29	De acuerdo al modelo IVE el código 1133, representa la tecnología EURO II para bus grande de inyección a diésel y kilometraje mayor a 161000 Km.
1140	1	1.04	De acuerdo al modelo IVE el código 1140, representa la tecnología EURO III para bus grande de inyección a diésel y kilometraje menor a 79000Km.
1141	61	63.54	De acuerdo al modelo IVE el código 1141, representa la tecnología EURO III para bus grande de inyección a diésel y kilometraje entre 80000 y 161000 Km.
1142	27	28.13	De acuerdo al modelo IVE el código 1142, representa la tecnología EURO III para bus grande de inyección a diésel y kilometraje mayor a 161000 Km

Fuente: (Autores, 2017)

## 2.5. Definición de horarios, días, número de recorridos y duración del estudio.

Para la determinación de los días y horarios de mayor tráfico vehicular se ha tomado como referencia el plan de movilidad de Loja (UMTTTSV, 2012). Mientras que, el número de recorridos que se deben realizar para obtener una muestra representativa se aplica la metodología utilizada en un estudio de la ciudad de Pereira, en la que se aplican tratamientos estadísticos (media aritmética, mediana y desviación estándar) para la determinación del número de viajes que se deben hacer para cada ruta. Los resultados de esta validación de la muestra se detallan en el capítulo 3.9 (Restrepo, Carranza, & Tibaquirá, 2007).

Tabla 2.7 Horario propuesto para levantamiento de datos.

Rutas	Horarios de mayor tráfico vehicular.	Días	Tiempo para el levantamiento de datos
Línea 2 (Sauces Norte-Argelia-Sauces Norte) por la Avenida	06:00-08:00, 12:00-14:00, 17:00-19:00.	Lunes a viernes	5 días
Línea 5 (Colinas Lojanas-Zamora Huayco -Colinas Lojanas)	06:00-08:00, 12:00-14:00, 17:00-19:00.	Lunes a viernes	5 días
Línea 8 (Ciudad Victoria-Carigán-Ciudad Victoria)	06:00-08:00, 12:00-14:00, 17:00-19:00.	Lunes a viernes	5 días
Línea 10 (Sauces Norte-Julio Ordoñez-Sauces Norte)	06:00-08:00, 12:00-14:00, 17:00-19:00.	Lunes a viernes	5 días

Fuente: (Autores, 2017)

## 2.6. Instrumentación

Para la realización del estudio como instrumentación se usará un GPS marca VBox Sport en la cual para el registro de datos se requiere la velocidad instantánea contra el tiempo y altitud. El GPS mínimo debe tener una resolución de 1 Hz, lo que significa que grabará un dato de velocidad y posición por cada segundo transcurrido. El equipo debe tener una gran precisión de altura para lograr adquirir la coordenada y poder evaluar la pendiente por cada segundo transcurrido.

### Características del GPS

En la Tabla 2.8 se presenta las especificaciones del GPS Vbox Sport

Tabla 2.8 Características del GPS Vbox Sport.

Características técnicas del GPS Vbox Sport		
Dimensiones de la unidad (ancho-alto-profundidad)	104.5 x 25.1 x 72.8 mm	
Entrada de voltaje	5 V	
Potencia de carga	2.5 W	
Peso	130 g	
Velocidad	Frecuencia	20 Hz
	Exactitud	0.1 km/h
	Resolución	0.01 km/h
Altitud	Exactitud	$\pm 0.2^\circ$ s
	Resolución	$0.01^\circ$ s
Posición	2D Posición	$\pm 5m$ 95% CEP
	Altitud	5m 95% CEP

Fuente: (Vbox Sport, 2017)

### Validación del GPS

Para validar el equipo Vbox Sport se realizó una prueba estática que consiste en registrar los datos de ubicación durante tres días completos. A través del programa PerformanceBox Tools se obtienen datos de: tiempo, latitud, longitud y altura en un archivo .CSV. Para realizar el cálculo de los valores de CEP (Circular Error Probable) y 2DRMS (Twice the Distance Root Mean Square) que permiten determinar el rango de exactitud donde estarán contenidas las posiciones registradas. La ubicación del equipo se realiza en un lugar abierto, donde no exista obstrucción hacia el cielo y permita la precisión en el registro de los datos mencionados anteriormente. (Cedillo, 2013)

El cálculo del radio del círculo en el cuál estarán contenidos aproximadamente el 50% de los datos longitudinales registrados (CEP) utiliza la Ecuación 3, para calcular el radio del círculo que engloba a aproximadamente el 95% de los registros aportados (2DRMS) se recurre a la Ecuación 4. Los datos son grabados en un archivo de extensión .VBO en la tarjeta memoria externa del GPS. Los registros de posición dados por el Vbox Sport son en minutos, los cuales se transforman a grados y posteriormente dichos registros se convierten a coordenadas UTM y de esta manera poder comparar con los datos dados por el fabricante.

**Ecuaciones de validación** (Cedillo, 2013)

$$\text{CEP} = 0.59 (\sigma_{\text{Lat}} + \sigma_{\text{Lon}}) \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

CEP: error circular probable [m]

$\sigma_{\text{Lat}}$ : desviación estándar de latitud [m]

$\sigma_{\text{Lon}}$ : desviación estándar de longitud [m]

$$2\text{DMRS} = 2\sqrt{\sigma_{\text{Lat}} + \sigma_{\text{Lon}}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

2DMRS: dos veces la distancia de la media cuadrática [m]

$\sigma_{\text{Lat}}$ : desviación estándar de latitud [m]

$\sigma_{\text{Lon}}$ : desviación estándar de longitud [m]

**Comparación entre GPS Vbox Sport y GPS Visualizer Elevation**

En la validación del GPS Vbox Sport se pudo determinar que este GPS presenta problemas para determinar la altitud a la que se encuentra ubicado; pero, los datos de las coordenadas de latitud y longitud se mantienen constantes. Entonces, al tener este problema de la determinación de altitud y sabiendo que las coordenadas son constantes, se decidió ocupar el programa GPS Visualizer el cual es un sitio web que permite obtener el perfil de elevación de un recorrido en función de las coordenadas geográficas que entrega un GPS; este programa contiene una base de datos de los Modelos Digitales de Elevación (DEM) de todo el mundo y para el Ecuador se encuentra disponible el modelo digital de elevación SRTM3 (Misión Topográfica Shtuttle Radar). A este programa se debe cargar un archivo de texto con las coordenadas de latitud y longitud en grados o en coordenadas UTM.

Para determinar qué tan confiable es el modelo digital de elevación SRTM se basó en un estudio realizado en el Ecuador. Donde, se comparan tres modelos digitales: SRTM, ASTER e Instituto Geográfico Militar (IGM), llegando a la conclusión que el modelo que más se ajusta a esta región como insumo para la generación de las variables topográficas es el SRTM. (Castro, Romero, Loarte, & Galeas, 2013)

Finalmente, se realizó una comparación de los datos de la altitud que registra GPS Vbox Sport dejándolo durante un día completamente estático y los datos que se obtuvieron ingresando las coordenadas de ubicación que entrega el GPS al programa GPS Visualizer, donde en el primero la altitud varía por cada lapso de tiempo transcurrido; mientras que, en el segundo la altitud permanece constante.

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas del CEP y 2DRMS que se muestra en la (Tabla 2.9) permiten conocer el rango de exactitud y precisión del GPS, del lugar donde se va realizar el levantamiento de información y poder comparar con los datos del fabricante.

### Resultados de validación del GPS

Tabla 2.9 Resultados de validación del GPS.

Parámetros	Pruebas realizadas			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Desviación latitud [m]	5.79	5.07	3.68	4.84
Desviación longitud [m]	6.83	6.92	3.55	5.77
CEP [m]	7.45	7.07	4.26	6.26
2DRMS [m]	7.10	6.93	5.38	6.47
Error CEP [%]	48.91	41.47	-14.76	25.21
Error 2DRMS [%]	42.10	38.5	7.51	29.37
Variación de la altitud del GPS [m]	647.4	145.2	78.4	290.35
Variación de la altitud del programa GPS Visualizer [m]	2.5	2.5	1.4	2.13

Fuente: (Autores, 2017)

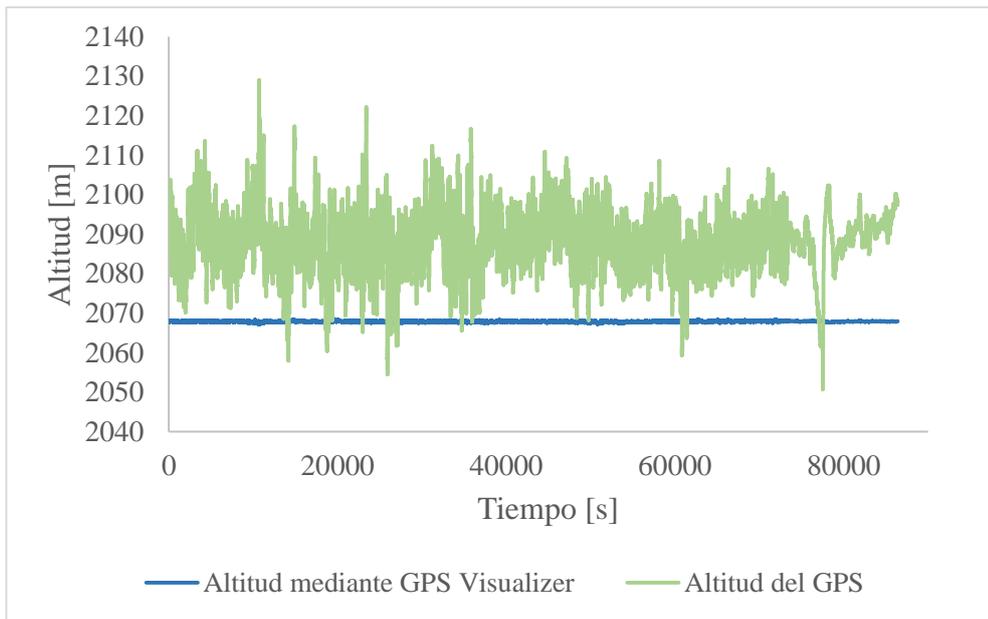


Figura 2.3 Comparación de variación de altitud entre la del GPS Vbox Sport y aplicando el programa GPS Visualizer.  
Fuente: (Autores, 2017)

## CAPÍTULO III

### 3. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Para poder realizar el procesamiento de datos se realizó el levantamiento de información que consiste en: equipamiento de los GPS en los buses, generación de encuestas para la obtención de los bins Soak y kilometraje, conocer el número de buses que transitan en las horas de mayor tráfico vehicular, característica del combustible diésel y factores climatológicos. Luego, obtenidos dichos datos se realizó el respectivo procesamiento para cada uno de los casos y de esta manera obtener los factores de emisión de los buses urbanos en la hora de mayor tráfico vehicular.

#### 3.1. Equipamiento de los GPS en los buses

Para la recolección de datos (velocidad, tiempo, altura, latitud y longitud) se instaló en el bus un GPS de marca VBOX Sport, a los que se les incorporo una antena externa para mejorar recepción de datos y disminuir la generación de datos atípicos. En la Figura 3.1 se indica el lugar de ubicación del GPS.



Figura 3.1 Colocación del GPS en la parte central del bus  
Fuente: (Autores, 2017)

Debido a que los GPS estarán en funcionamiento durante todo el día, se necesita de una alimentación de carga, la cual se dará mediante cable USB conectado a un cargador portátil la cual evitará la descarga del equipo; terminada la jornada laboral se procedió al retiro de los GPS para guardar la información recolectada durante el día. Este levantamiento se pudo realizar gracias a los dueños de los buses de la compañía Urba-Express quienes autorizaron el equipamiento de los GPS.

Tabla 3.1 Nombres de los dueños de las unidades de buses a las que se realizó la instrumentación.

Unidad	Conductor	Unidad	Conductor
1545	Sr. Jorge Herrera	1563	Sr. Richard Zúñiga
1586	Dr. Nixon Granda	1579	Sr. Joel Cabrera
1569	Sr. Carlo Lliviganay	1581	Sr. Carlos Patiño
1575	Sr. Carlos Benítez	1582	Sr. Hítalo Erreyes
1573	Sr. Rolando Hurtado	1583	Sr. Ronald Sarango

### 3.2. Generación de encuestas para obtención de los patrones de partida y el kilometraje de los buses.

Para la obtención de los bins Soak y el kilometraje, se acudió a las terminales de las cuatro rutas seleccionadas, en los horarios establecidos de 06:00-08:00, 12:00-14:00 y 17:00-19:00 horas. En el horario de la mañana se preguntó al conductor después de haber realizado su recorrido ¿A qué hora apagó el bus la noche anterior y a qué hora lo encendió al siguiente día? y ¿Cuál es el kilometraje al que se encuentra el bus?; Además, algunos conductores en ese horario apagan el bus debido a que tienen esperar un cierto tiempo para volver a realizar otro recorrido; entonces, en ese horario se procedió al registro del apagado y encendido del motor. Para los horarios de 12:00-14:00 y 17:00-19:00 horas, solo se realizó el registro la hora en que apagan y encienden el motor.

Durante la encuesta se utilizó un gafete para poder identificarnos ante los conductores y así tener una mejor colaboración de los mismos. Los datos contenidos en el gafete son: nombre de la universidad, logo, foto, carrera y nombres. El formato de la encuesta se detalla en el Anexo A.



Figura 3.2 Gafete para generación de encuestas  
Fuente: (Autores, 2017)



Figura 3.3 Realización de la encuesta a señores conductores para la obtención de bins Soak.  
Fuente: (Autores, 2017)

Como resultado se obtuvieron que en el horario de la mañana (06:00-07:00), los buses normalmente se encuentran apagados entre un rango de 6 a 12 horas antes de volver a ser encendidos (Figura 3.4). Mientras que, para el resto de las horas picos el tiempo que los conductores apagan a los buses va entre un tiempo de 15 minutos a 1 hora.

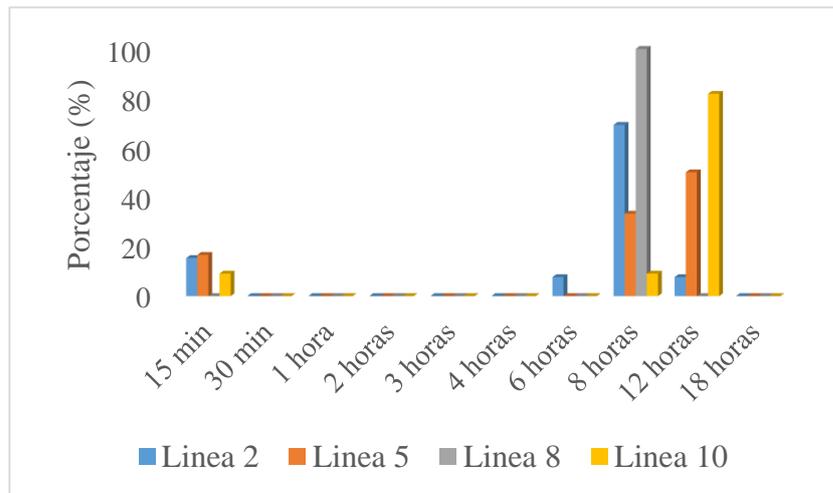


Figura 3.4 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 06:00-07:00 horas.  
Fuente: (Autores, 2017)

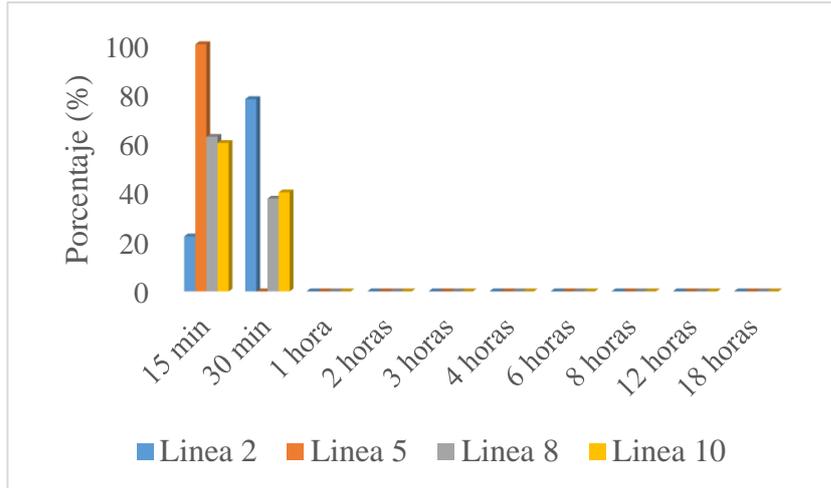


Figura 3.5 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 07:00-08:00 horas.  
Fuente: (Autores, 2017)

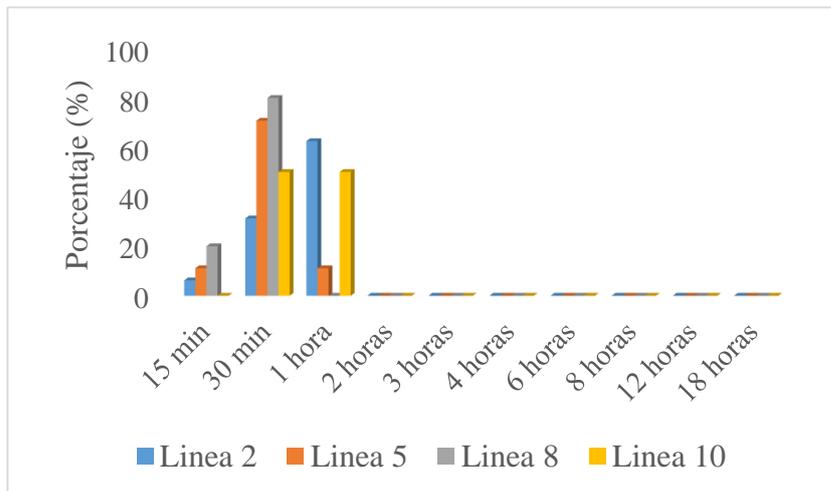


Figura 3.6 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 12:00-13:00 horas.  
Fuente: (Autores, 2017)

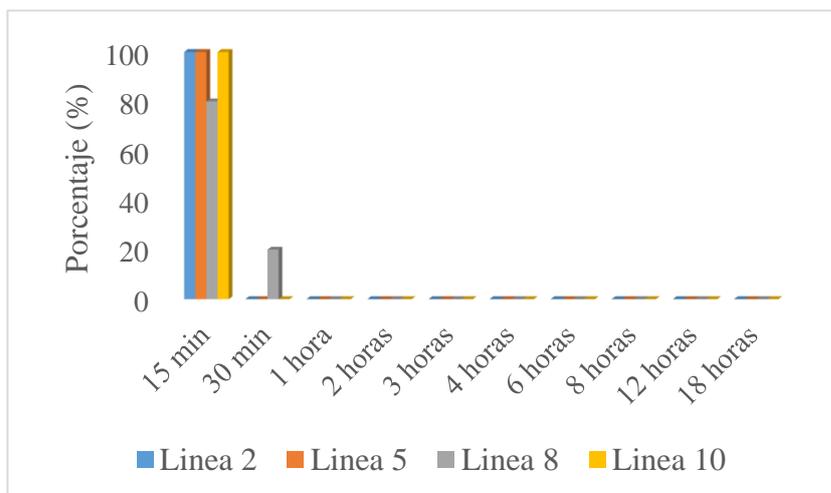


Figura 3.7 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 13:00-14:00 horas.  
Fuente:(Autores, 2017)

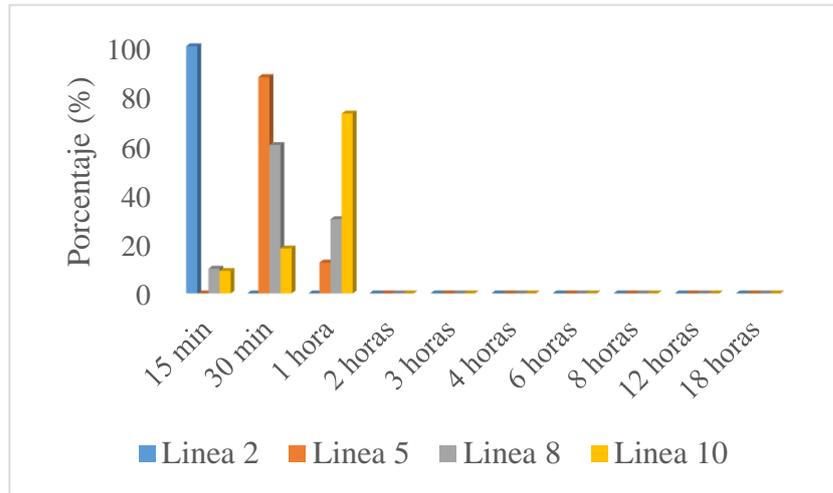


Figura 3.8 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 17:00-18:00 horas  
Fuente: (Autores, 2017)

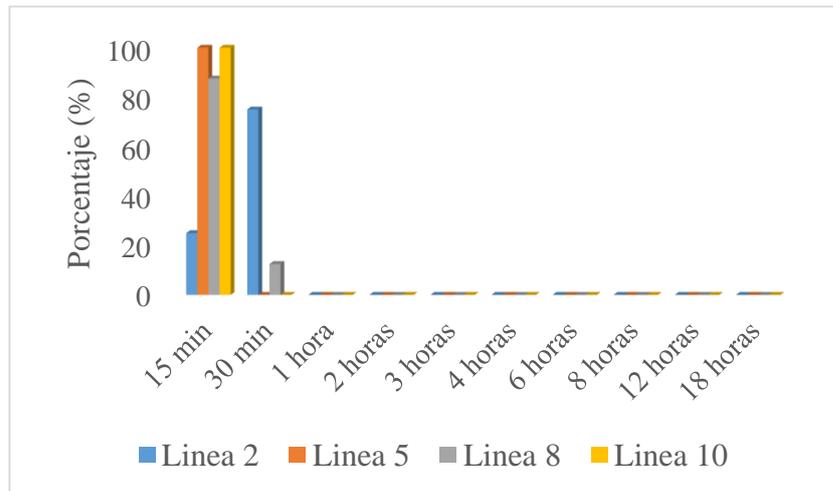


Figura 3.9 Porcentajes de los bins Soak en el horario de 18:00-19:00 horas  
Fuente: (Autores, 2017)

En la Tabla 3.2 se tiene el kilometraje promedio al que se encuentra los buses actualmente, para los buses menores al año 2012 que pertenecen a las rutas arteriales existen buses donde el odómetro se encontraba averiado por lo que se presumió que el kilometraje era mayor a 329685 km.

Tabla 3.2 Kilometraje promedio de los buses urbanos

Año	Kilometraje Promedio
2017	8800
2016	101637
2015	151761
2014	214828
2013	272788
2012	329685
< 2012	> 329685

Fuente: (Autores, 2017)

### 3.3. Número de buses que transitan en los horarios establecidos

Para conocer el número de buses que circulan en las horas de mayor tráfico vehicular, se procedió a ver el itinerario de cada uno de los recorridos que realizan las diferentes líneas de buses y se generó un promedio de cuantos buses circulan en una hora dentro de las horas pico.

Tabla 3.3 Conteo de buses en los horarios mayor tráfico vehicular

	Ida [-]	Vuelta [-]	Total [-]
<b>Línea 1</b>	7	8	15
<b>Línea 2</b>	20	20	40
<b>Línea 4</b>	8	8	16
<b>Línea 5</b>	9	9	18
<b>Línea 7</b>	11	11	22
<b>Línea 8</b>	10	10	20
<b>Línea 10</b>	11	12	23
<b>Línea 11</b>	10	10	20
<b>Línea 12</b>	9	9	18

Fuente: (SITU, 2017)

### 3.4. Factores climatológicos

Para la obtención de los valores de temperatura y humedad de la ciudad de Loja, existe una estación de monitoreo meteorológico M0033 La Argelia, la cual está monitoreado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). A través, de la página web del INAMHI se tuvo acceso para tener los valores de humedad y temperatura para cada uno de los días de levantamiento de datos.

Tabla 3.4 Factores climatológicos de Loja.

Horario	Temperatura [°C]	Humedad [%]
<b>06:00-07:00</b>	14.06	91.86
<b>07:00-08:00</b>	15.05	88.39
<b>12:00-13:00</b>	19.15	70.07
<b>13:00-14:00</b>	19.48	69.71
<b>17:00-18:00</b>	17.51	76.64
<b>18:00-19:00</b>	16.49	82.82

Fuente: (INAMHI, 2017)

### 3.5. Características del combustible

Un dato importante que se requiere en el modelo IVE es la característica del combustible que utiliza la flota vehicular a la que se estudia. Los buses de Loja todos funcionan con Diésel y la cantidad de azufre que contiene este combustible es de 500 partículas por millón (ppm) de acuerdo con la norma ecuatoriana INEN 1489:2012 este valor es el actual vigente desde el 2012. (INEN, 2013)

### 3.6. Filtrado de datos

Primeramente, para el filtrado de datos se empleó la aplicación PerformanceBox Tools la cual permite abrir los archivos del GPS VBOX y se eligió las variables que se requiere para el estudio que son: tiempo, velocidad, altitud, longitud y latitud exportándolo en un archivo .csv (delimitado por comas), esto se efectuó para todos los archivos obtenidos en los diferentes días.

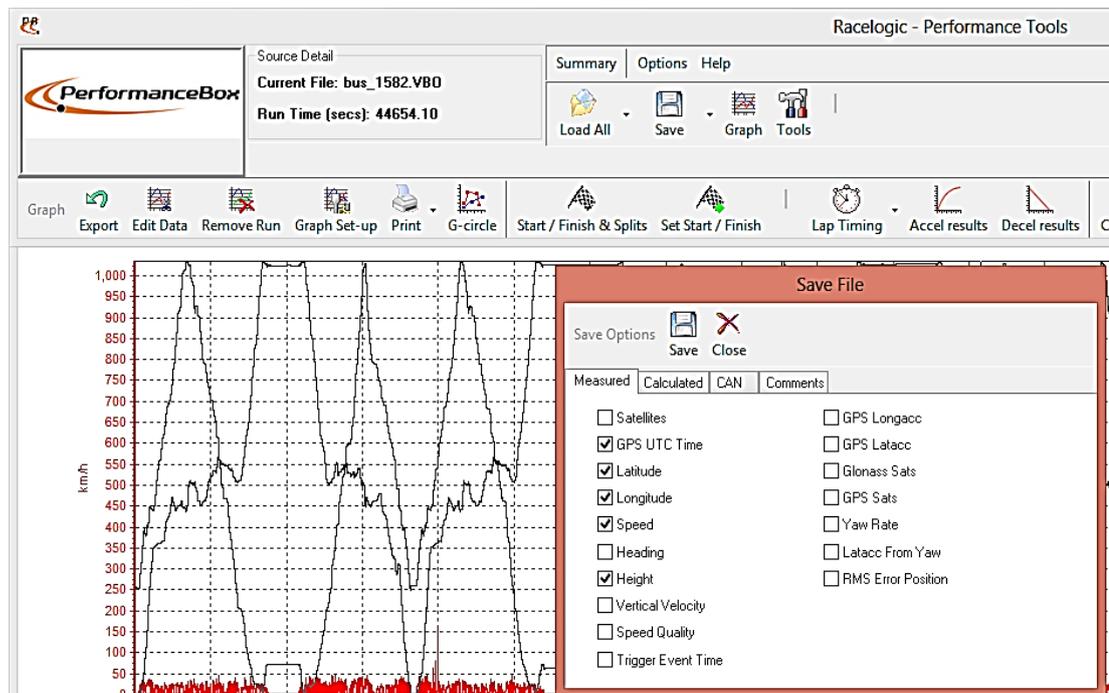


Figura 3.10 Selección de variables en el programa PerformanceBox Tools  
Fuente: (Autores, 2017)

Seguidamente, en el programa Excel a cada archivo .csv se separó por comas debido a que abre como texto y así poder realizar el filtrado de datos.

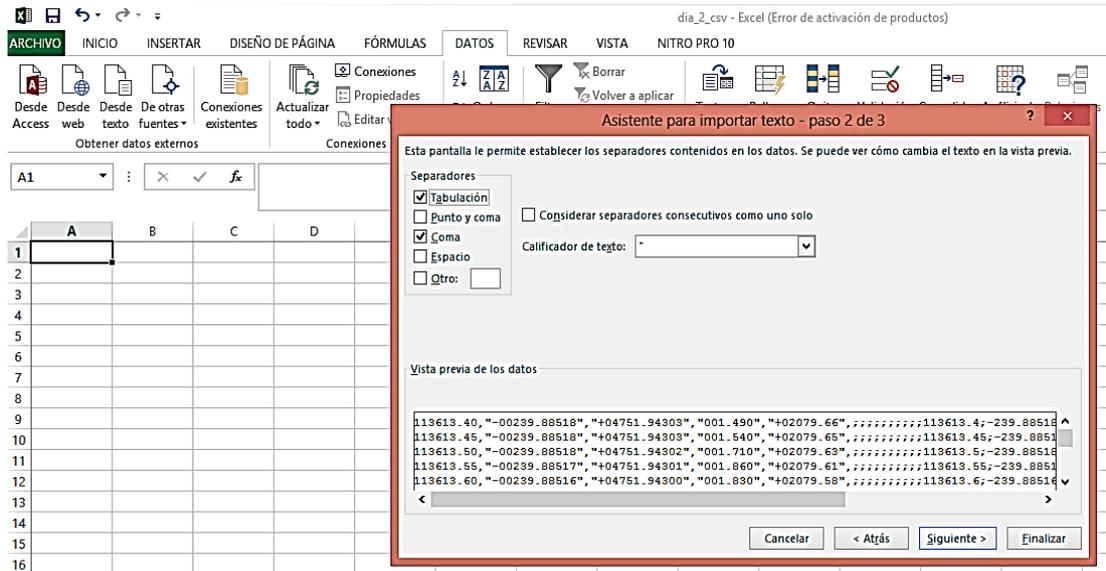


Figura 3.11 Separación por comas al archivo .csv  
Fuente: (Autores, 2017)

El GPS Vbox tiene una configuración de recepción de 20 Hertz, pero para el estudio se requiere 1 dato por cada segundo es decir de un Hertz; debido a esto es necesario realizar dicho filtrado. El cual consiste ingresar en la primera columna por cada letra A 19 letras B y después aplicar el filtro indicando que solo se muestren las letras A y así obtener un dato por segundo.

	Tiempo	Latitud	Longitud	Altura	Velocidad
A	0	-240.61901	4751.12009	2117.68	0.07
B	0.05	-240.61902	4751.12008	2117.7	0
B	0.1	-240.61903	4751.12008	2117.72	0
B	0.15	-240.61903	4751.12007	2117.74	0
B	0.2	-240.61904	4751.12007	2117.76	0.05
B	0.25	-240.61905	4751.12006	2117.78	0.11
B	0.3	-240.61906	4751.12005	2117.8	0.13
B	0.35	-240.61907	4751.12005	2117.82	0.14
B	0.4	-240.61907	4751.12005	2117.84	0.13
B	0.45	-240.61908	4751.12004	2117.86	0.12
B	0.5	-240.61909	4751.12004	2117.88	0.16
B	0.55	-240.61909	4751.12003	2117.9	0.19
B	0.6	-240.6191	4751.12003	2117.92	0.22
B	0.65	-240.61911	4751.12003	2117.94	0.23
B	0.7	-240.61911	4751.12002	2117.96	0.23
B	0.75	-240.61912	4751.12002	2117.97	0.23
B	0.8	-240.61912	4751.12002	2117.99	0.24
B	0.85	-240.61912	4751.12001	2118	0.25
B	0.9	-240.61913	4751.12001	2118.01	0.22
B	0.95	-240.61913	4751.12001	2118.03	0.19
A	1	-240.61914	4751.12001	2118.04	0.2

Figura 3.12 Filtrado de datos a un Hertz  
Fuente: (Autores, 2017)

### 3.7. Obtención de la altura mediante el programa GPS Visualizer

El procedimiento para la obtención de datos de altitud es el mismo que se empleó para realizar la comparación de los datos que generaba el GPS Vbox y el programa GPS Visualizer. Donde, se genera un archivo de texto de las coordenadas de latitud y longitud adquiridas con el GPS de los diferentes días del levantamiento de información; después, este archivo es cargado al programa para que el mismo realice el cálculo de la altitud a la que se encuentran dichas coordenadas ingresadas. Finalmente, en las figuras 3.13 y 3.14 se realiza una comparación entre la altitud obtenida del GPS y el programa de los diferentes recorridos que realiza el bus durante un día.

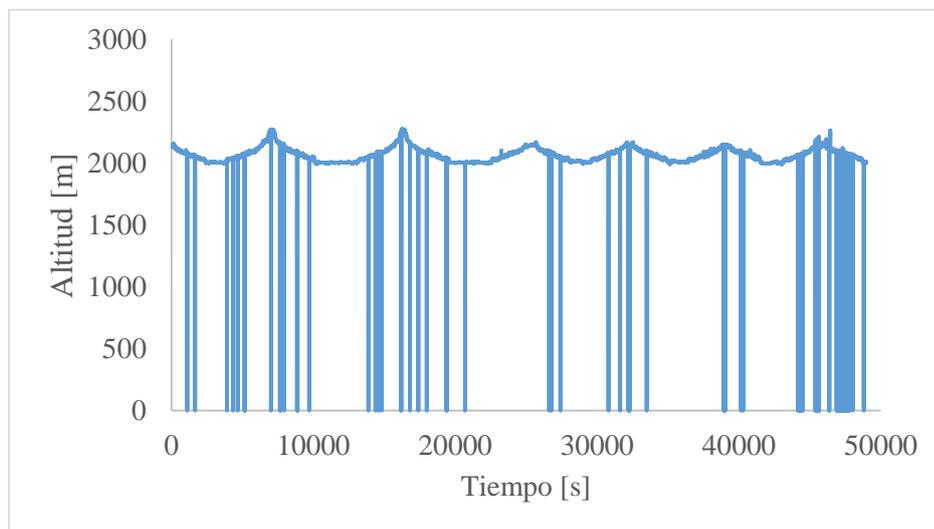


Figura 3.13 Altitud obtenida del GPS VBOX de la ruta Sauces Norte-Argelia-Sauces Norte  
Fuente: (Autores, 2017)

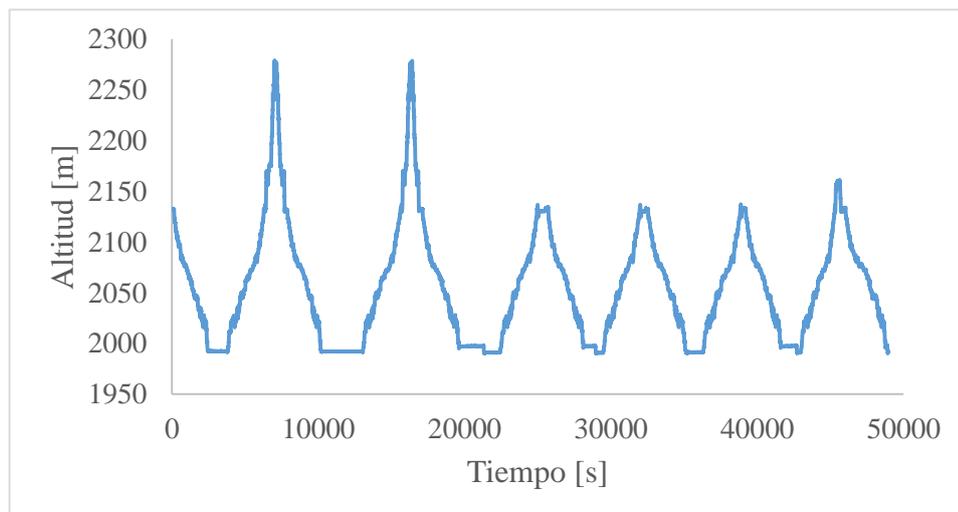


Figura 3.14 Altitud obtenida del programa GPS Visualizer de la ruta Sauces Norte-Argelia-Sauces Norte  
Fuente: (Autores,2017)

### 3.8. Separación de recorridos y suavizado de velocidad

Se utilizó el programa desarrollado por el Ingeniero Rómulo Astudillo en Matlab (Astudillo, 2016), el cual indica en que tiempo inicia y termina los diferentes recorridos que realizan los buses durante todo el día. La hoja de cálculo de Excel debe estar en el siguiente orden: tiempo, latitud, longitud, altura y velocidad; además, los parámetros que requiere el programa para poder cargar el archivo son:

- Dirección del archivo guardado para cada recorrido.
- Coordenadas de las terminales para cada línea (geocercas).
- Comando smooth para suavizar la velocidad.

```

1 - clc, clear
2
3 - Tiempo = 1;
4 - Latitud=2;
5 - Longitud=3;
6 - Altura = 4;
7 - Velocidad_km_h = 5;
8 - Datos=xlswread('D:\TESIS\Informacion Capiitulo 2\Levantamiento información\Determinacion paradas\Linea
9 - terminal1=find(abs(Datos(:,Latitud))>=4.017405 & abs(Datos(:,Latitud))<=4.019605 & abs(Datos(:,Longit
10 - terminal2=find(abs(Datos(:,Latitud))>=4.009753 & abs(Datos(:,Latitud))<=4.010453 & abs(Datos(:,Longit
11 - Datos(:,Velocidad_km_h)=smooth(Datos(:,Velocidad_km_h));
  
```

Figura 3.15 Parámetros de ingreso que requiere el programa para realizar la separación de recorridos y suavizado de la velocidad

Fuente: (Autores, 2017)

### Determinación de las coordenadas de las terminales

Para poder determinar las coordenadas de las terminales de cada una de las rutas se tiene que conocer cuál es el punto de inicio y final de su respectivo recorrido; además, que el área de la cerca virtual creada cubra todos los puntos donde el conductor puede estacionar el bus una vez finalizado el recorrido. Para los recorridos de la línea dos, cinco y diez solo se generaron dos terminales (inicio y final del recorrido); mientras que, para la línea 8 además de las dos terminales se generaron dos subterminales debido a que en ciertos horarios tienen que cumplir con rutas vecinales.



Figura 3.16 Terminales creadas para la línea 8 (Ciudad Victoria-Carigán-Ciudad Victoria)  
Fuente: (Autores, 2017)

Tabla 3.5 Coordenadas de latitud y longitud de las terminales y subterminales de la línea 8 (Ciudad victoria-Carigán-Ciudad Victoria)

<b>Línea 8: Ciudad Victoria-Carigán Ciudad Victoria</b>			
<b>Terminal 1 (Ciudad Victoria)</b>	<b>Latitud [°]</b>	Límite inferior	-4.000868
		Punto central	-4.001618
		Límite superior	-4.002368
	<b>Longitud [°]</b>	Límite inferior	-79.231015
		Punto central	-79.233515
		Límite superior	-79.236015
<b>Terminal 2 (Carigán)</b>	<b>Latitud [°]</b>	Límite inferior	-3.94988
		Punto central	-3.95038
		Límite superior	-3.95088
	<b>Longitud [°]</b>	Límite inferior	-79.234144
		Punto central	-79.234644
		Límite superior	-79.235144
<b>Terminal 3 (Lolita Samaniego)</b>	<b>Latitud [°]</b>	Límite inferior	-3.937538
		Punto central	-3.938038
		Límite superior	-3.938538
	<b>Longitud [°]</b>	Límite inferior	-79.253424
		Punto central	-79.253924
		Límite superior	-79.254424
<b>Terminal 4 (Tenería)</b>	<b>Latitud [°]</b>	Límite inferior	-3.959072
		Punto central	-3.959572
		Límite superior	-3.960072
	<b>Longitud [°]</b>	Límite inferior	-79.251328
		Punto central	-79.251828
		Límite superior	-79.252328

Fuente:( Autores, 2017)

### 3.9. Validación de la muestra

Para la validación de la muestra se empleó la metodología utilizada en la ciudad de Pereira, donde se determinó el ciclo de conducción vehicular de esa ciudad. En dicho estudio para la obtención del número de recorridos que se deben efectuar para tener una muestra significativa emplean un método estadístico (Restrepo et al., 2007), el cual consiste en determinar el coeficiente de variación que se define como la relación entre la desviación estándar y la media; generalmente, se expresa en porcentaje. Si el coeficiente de variación es menor al 20 % se considera que la muestra es valedera caso contrario se recomienda realizar una mayor recolección de datos. De acuerdo con el cronograma en cinco días de levantamiento de información, durante las horas de mayor tráfico vehicular se obtuvieron una muestra de 30 recorridos por cada ruta seleccionada (seis recorridos por hora pico); donde, el coeficiente de variación para todas las rutas fue menor al 20%.

Tabla 3.6 Validación de la muestra ruta Sauces Norte-Argelia-Sauces Norte

Parámetros	Media [-]	Mediana [-]	Desviación estándar [-]	Coficiente de variación [-]
Velocidad promedio [Km/h]	17.80	17.66	0.90	5.04
Velocidad máxima [Km/h]	48.99	49.17	1.31	2.67
Tiempo ralenti [s]	537.27	551.50	91.49	17.03
Tiempo total [s]	2522.87	2527.00	126.17	5.00
Distancia total recorrida [Km]	12.45	12.44	0.21	1.70

Fuente: (Autores, 2017)

Tabla 3.7 Validación de la muestra ruta Colinas Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas

Parámetros	Media [-]	Mediana [-]	Desviación estándar [-]	Coficiente de variación [-]
Velocidad promedio [Km/h]	13.84	13.82	0.95	6.86
Velocidad máxima [Km/h]	42.71	43.11	4.05	9.48
Tiempo ralenti [s]	619.63	610.50	110.57	17.84
Tiempo total [s]	3200.97	3186.50	225.66	7.05
Distancia total recorrida [Km]	12.26	12.19	0.53	4.30

Fuente: (Autores, 2017)

Tabla 3.8 Validación de la muestra ruta Ciudad Victoria-Carigán-Ciudad Victoria

Parámetros	Media [-]	Mediana [-]	Desviación estándar [-]	Coefficiente de Variación [-]
<b>Velocidad promedio [Km/h]</b>	18.54	18.40	1.05	5.64
<b>Velocidad máxima [Km/h]</b>	52.75	50.28	5.56	10.53
<b>Tiempo ralenti [s]</b>	730.33	752.00	120.66	16.52
<b>Tiempo total [s]</b>	3966.53	3987.50	218.33	5.50
<b>Distancia total recorrida [Km]</b>	20.41	20.41	1.38	6.79

Fuente: (Autores, 2017)

Tabla 3.9 Validación de la muestra ruta Sauces Norte-Julio Ordoñez-Sauces Norte

Parámetros	Media [-]	Mediana [-]	Desviación estándar [-]	Coefficiente de Variación [-]
<b>Velocidad promedio [Km/h]</b>	16.37	16.33	0.78	4.79
<b>Velocidad máxima [Km/h]</b>	46.00	45.85	3.22	6.99
<b>Tiempo ralenti [s]</b>	519.83	507.00	103.81	19.97
<b>Tiempo total [s]</b>	3292.57	3261.50	148.92	4.52
<b>Distancia total recorrida [Km]</b>	14.96	14.88	0.67	4.46

Fuente: (Autores, 2017)

### 3.10. Determinación de los bins VSP

Los bins VSP es una variable de ingreso que se requiere en el modelo IVE y para su determinación se utilizó el programa desarrollado por el estudiante de la “Universidad del Azuay” Byron Romero. Las variables que se requiere es tener en una hoja de Excel en orden lo siguiente: tiempo[s], velocidad [km/h] y altitud [m]; seguidamente, se carga al programa los recorridos separados de cada día de levantamiento correspondiente a cada hora de mayor tráfico vehicular (siendo 5 archivos de carga por cada hora)



Figura 3.17 Bines VSP obtenidos del recorrido Colinas Lojanas-Zamora Huayco en el horario de 17:00-18:00 horas

Fuente: Byron Romero T.

En las figuras se tiene representado la curva de potencia específica del motor, donde se observa que el bin 11 se encuentra con mayor porcentaje en todas rutas; debido a que, son horas de mayor tráfico vehicular donde existe bajas velocidades, potencia mayor y se tiene bajas aceleraciones en el bin 32.

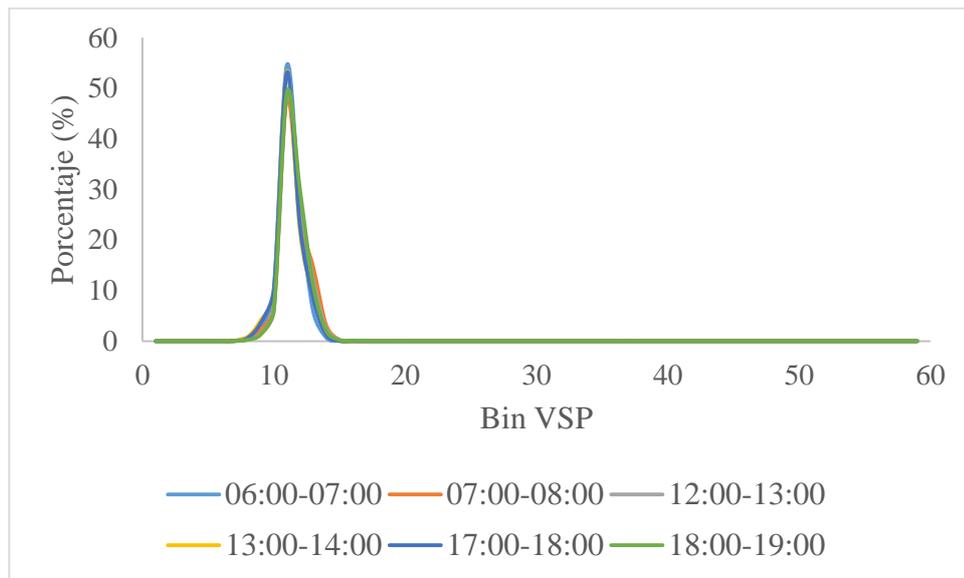


Figura 3.18 Representación de los bines VSP de la ruta Colinas Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas

Fuente: (Autores, 2017)

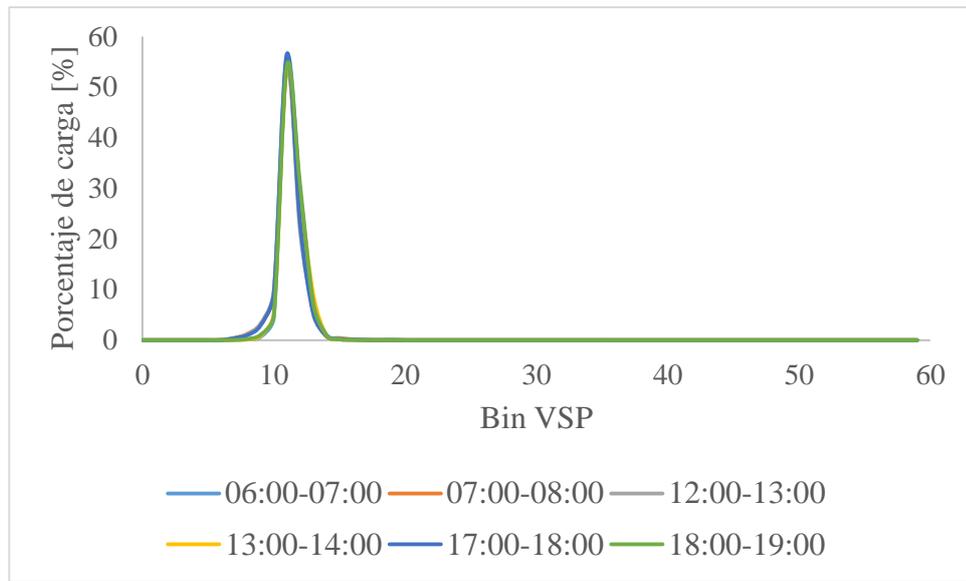


Figura 3.19 Representación de los bins VSP de la ruta Colinas Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas  
Fuente: (Autores, 2017)

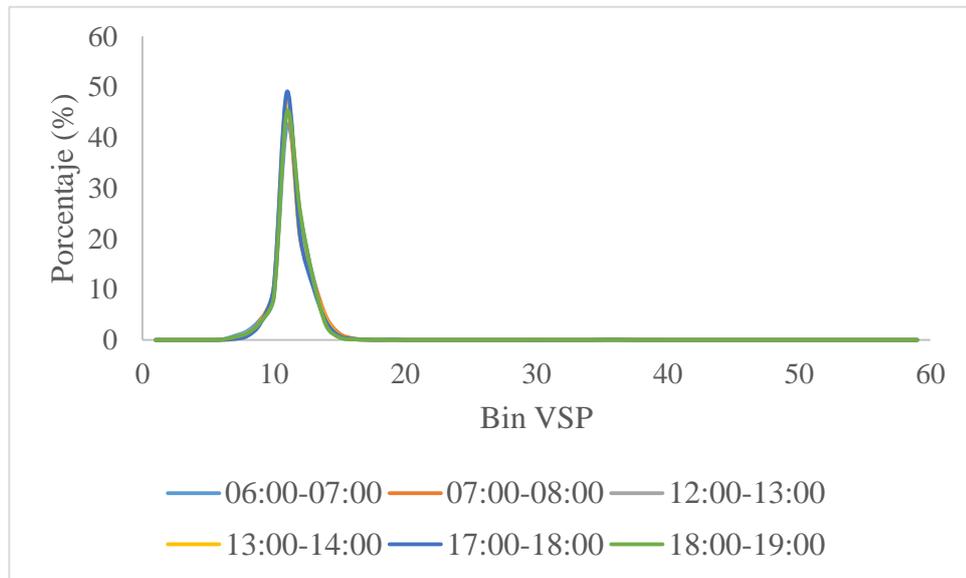


Figura 3.20 Representación de los bins VSP de la ruta Colinas Lojanas-Zamora Huayco-Colinas Lojanas  
Fuente: (Autores, 2017)

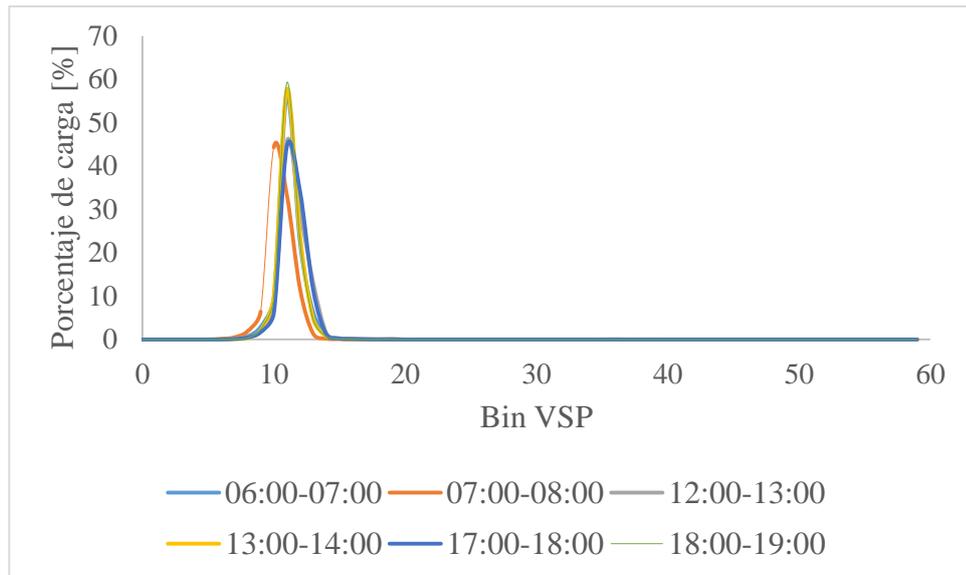


Figura 3.21 Representación de los bins VSP de la ruta Saucos Norte-Julio Ordoñez-Saucos Norte  
Fuente: (Autores, 2017)

### 3.11. Obtención de las emisiones por medio del modelo IVE

Para determinar las emisiones por medio del modelo IVE, se debe crear la flota de buses en este caso para las líneas 2, 8 y 5, 10 se realizaron flotas diferentes explicadas en el capítulo II.



Figura 3.22 Creación del archivo flota en el modelo IVE para las rutas arteriales  
Fuente: (Autores, 2017)

Después, se crea el archivo de localidad para cada línea de buses seleccionando la hora que corresponde, los VSP, bins Soak, características climatológicas, cantidad de azufre, distancia total recorrida por los buses para cada hora, velocidad promedio, altitud y pendiente cero debido que para la obtención de los VSP ya se utilizó dicha pendiente.

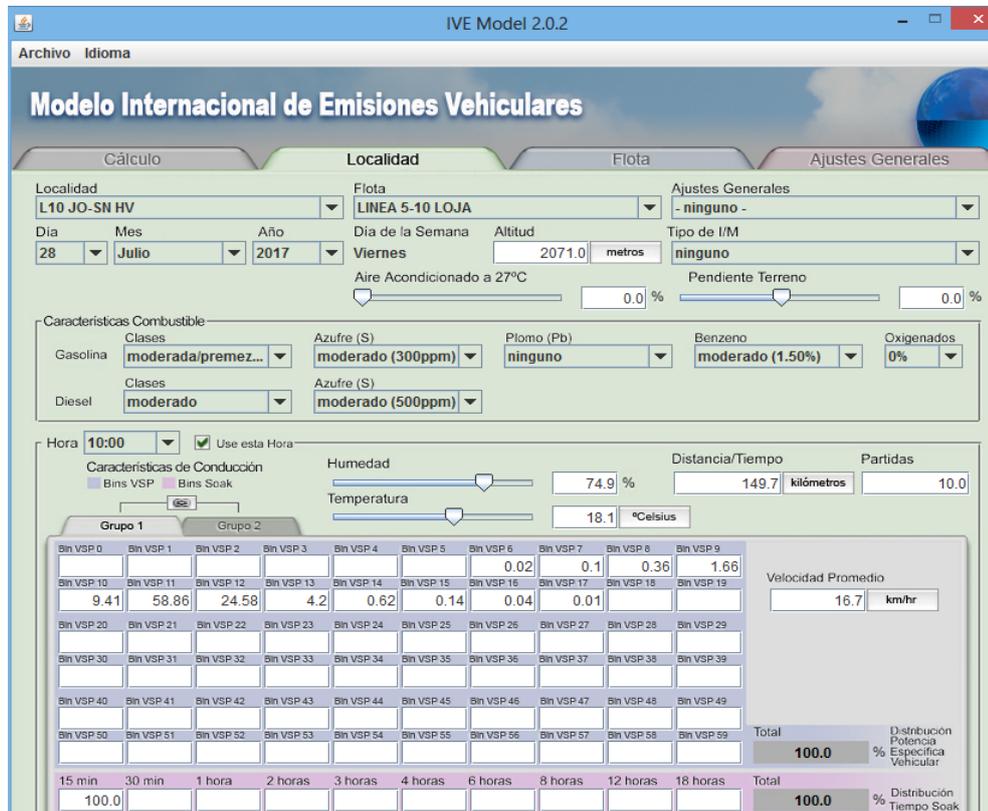


Figura 3.23 Creación del archivo flota en el modelo IVE

Fuente: (Autores, 2017)

Finalmente, como resultado se tiene el total de las emisiones que generan los buses urbanos de los diferentes tipos de contaminante de criterio y efecto invernadero para cada hora de estudio. Para la obtención del factor de emisión consiste en dividir la emisión obtenida para la distancia recorrida por el número de buses que circulan en esa hora, esto se debe aplicar para cada contaminante. Aplicando promedio entre todos los factores de emisión obtenida para cada hora de mayor tráfico vehicular, se tiene el factor de emisión de los buses urbanos existentes en Loja.

$$FE = \frac{E}{D * N} \quad (Ec. 5)$$

Donde:

FE: Factor de emisión [g/km]

E: Emisiones emitidas en una hora [kg]

D: Distancia recorrida por un bus [km]

N: Número de buses que circula en una hora [-]

Tabla 3.10 Factores de emisión de los buses urbanos en la ciudad de Loja en hora de mayor tráfico

Factores de emisiones de los buses urbanos de la ciudad de Loja en las horas de mayor tráfico vehicular								
	Contaminante	CO	VOC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
Rutas arteriales	Factor de emisión [g/km]	7.45	2.09	15.80	0.12	3.92	0.01	1172.96
Rutas troncales	Factor de emisión [g/km]	7.44	1.57	10.80	0.11	1.73	0.14	1090.18

Fuente: (Autores, 2017)

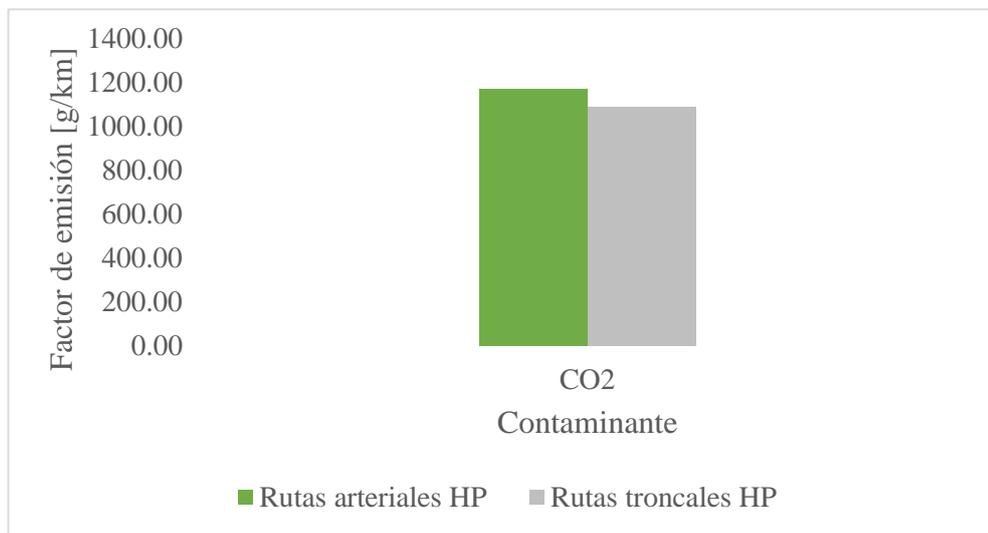


Figura 3.24 Representación de los factores de emisión de los buses urbanos de Loja en hora de mayor tráfico

Fuente: (Autores, 2017)

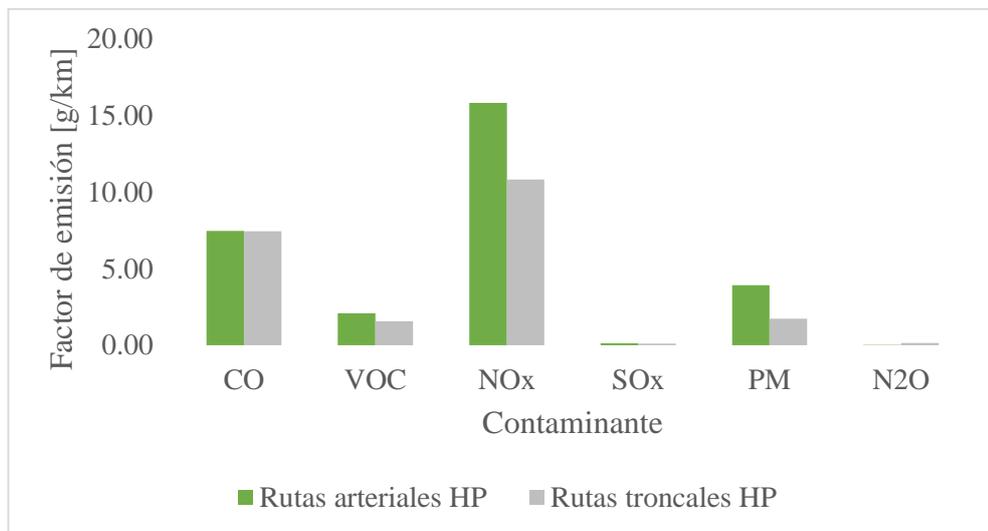


Figura 3.25 Representación del factor de emisión de CO<sub>2</sub> de los buses urbanos de Loja en hora de mayor tráfico

Fuente: (Autores, 2017)

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como resultados se tiene que el factor de emisión en todos los contaminantes, en las rutas arteriales es superior a las rutas troncales. Los buses de las rutas arteriales poseen una tecnología Euro 2 (bomba de inyección y sobrealimentación) con una antigüedad entre 6 a 16 años, donde las partes del motor y de alimentación presenta mayor desgaste; en cambio, las rutas troncales poseen buses con una antigüedad menor a los cinco años y el 64% son buses con tecnología Euro 3 (Hino), los cuales tienen un sistema de inyección Common Rail o de riel común.

Para el análisis de estos resultados se realizó una comparación con un estudio realizado en Quito con el título de “Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres” aplicando el modelo IVE. Con relación a los factores de emisión obtenidos para los buses urbanos en la ciudad de Loja son similares a los conseguidos en Quito. Esta diferencia es porque los factores de emisión dependen de las características de conducción, la tecnología de la flota y los parámetros de localidad, los cuales son diferentes entre las dos ciudades.

Tabla 4.1 Factores de emisión de los buses urbanos de Loja VS Quito

Contaminante [g/km]	CO	VOC	NO <sub>x</sub>	PM	CO <sub>2</sub>
<b>Rutas arteriales-Loja</b>	7.45	2.09	15.80	3.92	1172.96
<b>Rutas troncales-Loja</b>	7.44	1.57	10.80	1.73	1090.18
<b>Quito</b>	7.25	1.36	8.19	1.77	646.55

Fuente: (Autores, 2017)

#### 4.1. Comparación de los factores de emisión y emisiones entre hora pico y hora valle

En este estudio además de la obtención de los FE en las horas de mayor tráfico vehicular se decidió obtener también dichos factores en hora valle y así, poder determinar qué horas causan mayor contaminación a la ciudad de Loja.

Las horas valle seleccionadas fue entre el horario de 09:00-11:00 horas, debido a que el tráfico vehicular en estas horas es menor. El proceso aplicado para la obtención de los FE es el mismo que se utilizó en las horas picos, dando como resultado que en una hora valle el FE disminuye tanto en las rutas troncales como arteriales.

Tabla 4.2 Comparación de los factores de emisión en hora pico y hora valle

	Contaminante	CO	VOC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
Rutas arteriales	FE hora pico [g/km]	7.45	2.09	15.80	0.12	3.92	0.01	1172.96
	FE hora valle [g/km]	7.19	2.03	15.22	0.12	3.77	0.01	1127.81
Rutas troncales	FE hora pico [g/km]	7.44	1.57	10.80	0.11	1.73	0.14	1090.18
	FE hora valle [g/km]	7.38	1.56	10.73	0.11	1.72	0.14	1081.40

Fuente: (Autores, 2017)

En la Figura 4.1, se observa que para una hora pico la línea 2 tiene mayor porcentaje de emisiones totales, debido a la demanda de pasajeros que posee ocasiona que tenga mayor cantidad de buses y su frecuencia de salida de cada terminal sea menor en comparación a las otras líneas; lo cual, ocasiona que dicha ruta emita mayor contaminación. Mientras que, en la tabla 4.3 se observa que la contaminación en una hora valle es inferior en comparación a una hora pico; pero, si la comparación se realiza para un día y en un año, se tiene que las horas valle contaminan en mayor cantidad debido a que se tiene más horas valle que horas pico.

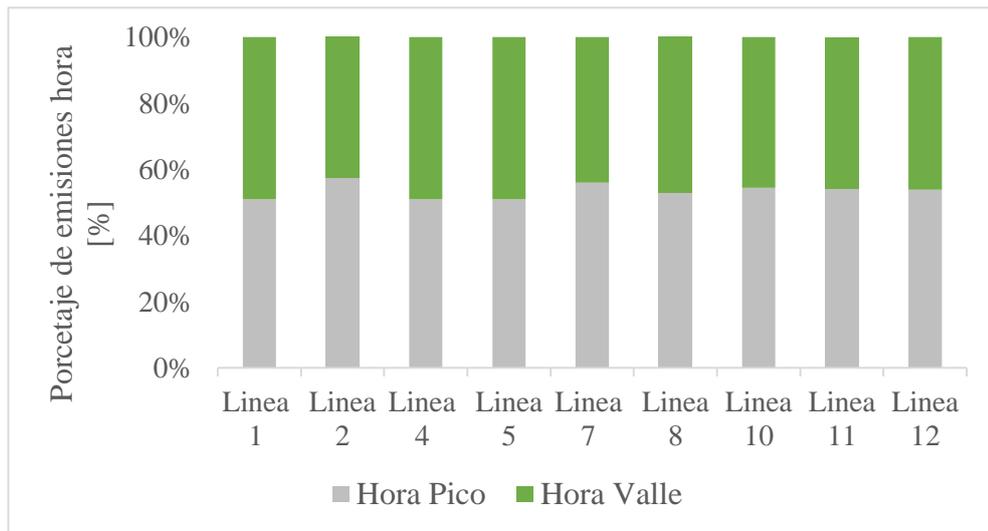


Figura 4.1 Emisiones de los buses urbanos por línea en hora pico y valle durante una hora

Fuente: (Autores, 2017)

Tabla 4.3 Emisiones totales de los buses urbanos en hora pico y valle durante una hora, día y año

Total de emisiones en una hora [Ton/h]		Total de emisiones en un día [Ton/día]		Total de emisiones en un año [Ton/año]	
Hora Pico	Hora Valle	Hora Pico	Hora Valle	Hora Pico	Hora Valle
3.09	2.63	18.55	22.10	6771.98	8065.98

Fuente: (Autores, 2017)

#### 4.2. Imposición de escenarios para reducción de contaminantes

Al modelo IVE además de ser utilizado como herramienta para la obtención de los factores de emisión, se lo uso para obtener resultados de emisiones empleando diferentes de estrategias que generen la reducción de los contaminantes de efecto invernadero y criterio que afectan al medio ambiente y a la salud de las personas como es el caso del material particulado y los óxidos de nitrógeno los cuales son responsables de un alto número de mortalidad en el mundo y los buses son los principales responsables de emisión de estos contaminantes.

##### Renovación de la flota de buses

Para la renovación de la flota se ha propuesto que los buses de las rutas arteriales que poseen tecnología Euro 2 se cambien a buses con tecnología Euro 3, teniendo como resultado que con esta renovación se logra reducir las emisiones de contaminantes, como es el caso de los NO<sub>x</sub> (23 Ton/año), Material Particulado (23.5 Ton/año) y Compuestos Volátiles (2 Ton/año). Pero, si la renovación se realizara para todos los buses urbanos de la ciudad a tecnología Euro 4, se tiene como resultado que además de reducir los contaminantes anteriormente mencionados se logra una reducción de CO (87.66 Ton/año) y de CO<sub>2</sub> (91.32 Ton/año).

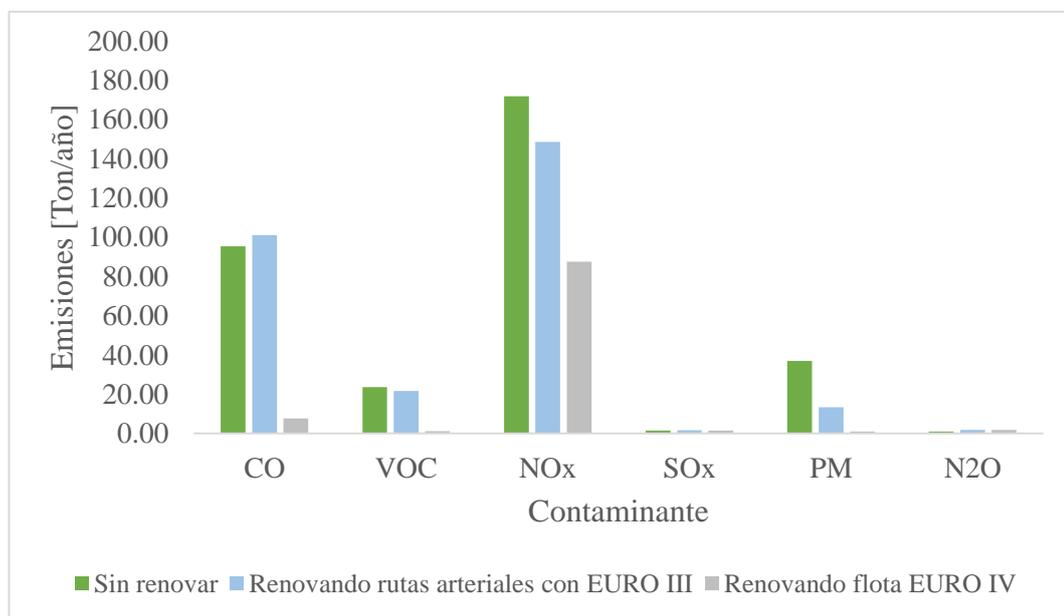


Figura 4.2 Emisiones de gases críticos mediante la renovación de las rutas arteriales a Euro 3 y renovación total de la flota a Euro 4

Fuente: (Autores, 2017)

**Renovación de la flota a Euro 4 y mejora del combustible.**

Para que las tecnologías Euro 4 tengan un correcto funcionamiento en el país y no presente daños en sus sistemas de inyección, dependen del tipo de combustible que se emplee; por el cual, se ha propuesto como otra alternativa además de renovar la flota de las rutas arteriales y rutas troncales, en mejorar la calidad del diésel en contenido de azufre de 500 ppm a 15 ppm. Nota: En el Ecuador ya se ha propuesto en renovar la norma INEN 1489:2012, la cual propone bajar el índice de azufre de 500 ppm a 15 ppm. Como resultado se tiene que al renovar la flota y al reducir el contenido azufre se logra una reducción de contaminantes totales de 323.64 Ton/año

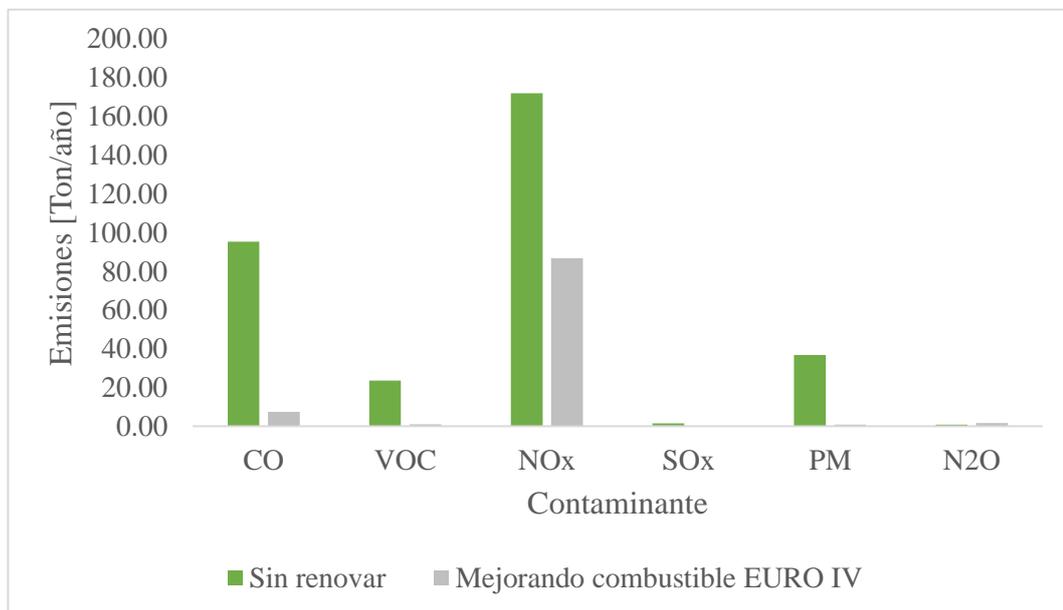


Figura 4.3 Emisiones de gases críticos mediante la renovación de la flota a Euro 4 y mejora de combustible  
Fuente: (Autores, 2017)

Tabla 4.4 Comparación de emisiones para diferentes escenarios

Comparación de emisiones emitidos para los diferentes escenarios [Ton/año]								
Contaminante	CO	VOC	NOx	SOx	PM	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	Total de contaminantes emitidos
<b>Sin renovar</b>	95.39	23.66	171.98	1.50	36.88	0.92	14507.64	14837.96
<b>Renovando rutas arteriales con EURO III</b>	101.16	21.67	148.65	1.56	13.34	1.83	15263.15	15551.36
<b>Renovando flota EURO IV</b>	7.73	1.10	87.59	1.47	0.92	1.73	14416.32	14516.86
<b>Mejorando combustible EURO IV</b>	7.50	1.07	86.75	0.04	0.92	1.73	14416.31	14514.32

Fuente: (Autores, 2017)

### 4.3. Análisis de emisiones per cápita de CO<sub>2</sub>

Se realizó una comparación de emisiones anuales por habitante entre 3 provincias Loja, Cuenca y Quito tomando como referencia: los datos obtenidos de “Emisiones de Loja”, “Inventario de emisiones de Cuenca 2014” y “Modelación de emisiones de fuentes móviles de Quito.

A través, de la información obtenida de habitantes (INEN, 2010), se realizó una proyección futura de los habitantes para el 2017, utilizando la fórmula geométrica (García, 2016):

$$Pf = Pa(1 + r)^n \quad (Ec. 6)$$

Donde:

Pf: población futura [-]

Pa: Población actual [-]

r: Tasa de crecimiento [%]

n: Número de años

Se determinó la cantidad en masa del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) por habitante, teniendo como resultado en la ciudad de Loja el 62.55 kg/hab emitido por fuentes móviles, respecto a los 229.46 kg/hab de Quito y 77.80 kg/hab de Cuenca, siendo Loja la que tiene menor valor entre las 3 provincias de este contaminante.

Tabla 4.5 Cantidad CO<sub>2</sub> por habitante y por bus

	Habitantes [-]	Número de buses [-]	CO <sub>2</sub> [Ton/año]	CO <sub>2</sub> [ kg/hab]	CO <sub>2</sub> [Ton/bus]
<b>Emisiones Loja</b>	231955	233	14508.75	62.55	62.26
<b>Emisiones Quito</b>	2374220	2047	544795.35	229.46	221.46
<b>Emisiones Cuenca</b>	576784	475	44872.00	77.80	94.46

Fuente: (Autores, 2017)

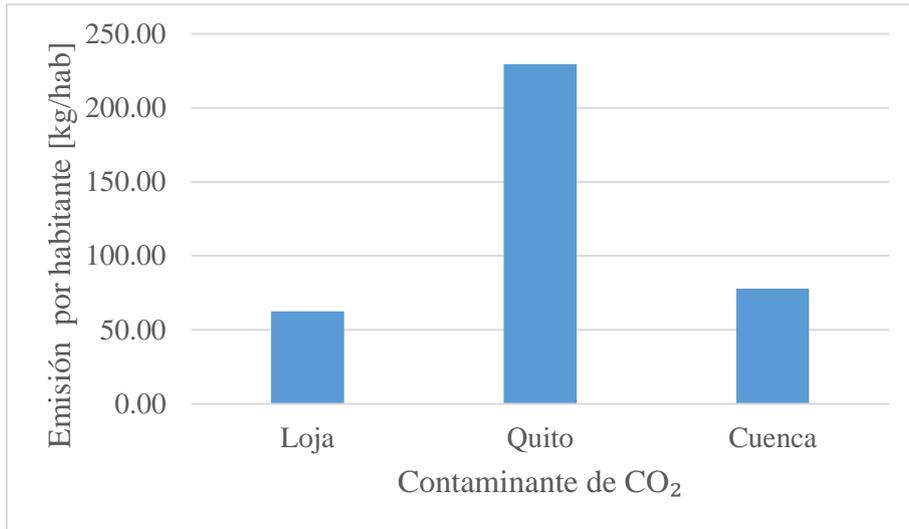


Figura 4.4 Emisiones de CO<sub>2</sub> en diferentes ciudades por habitante  
Fuente: (Autores, 2017)

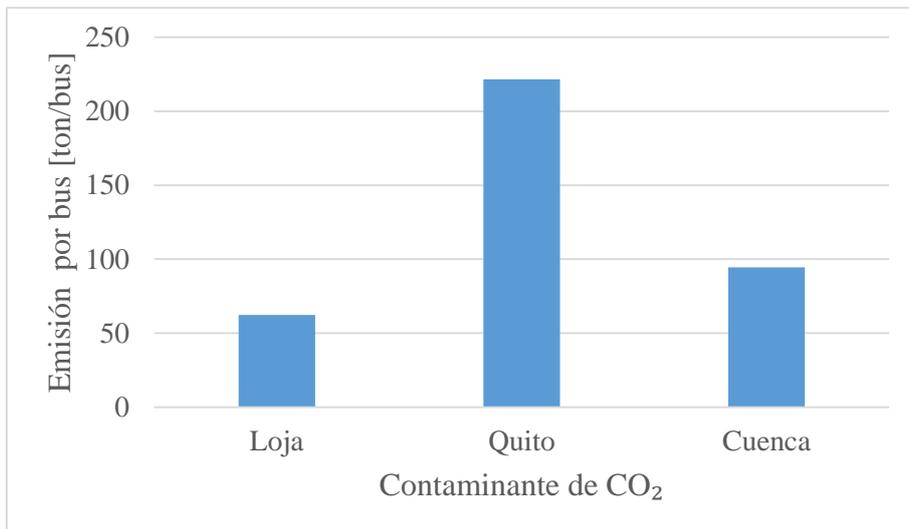


Figura 4.5 Emisiones de CO<sub>2</sub> en diferentes ciudades por bus  
Fuente: (Autores, 2017)

## CONCLUSIONES

- Los factores de emisión en los contaminantes de tipo criterio para las rutas troncales son menores en comparación a los de las rutas arteriales, debido a que la mayoría de buses de estas rutas poseen tecnología Euro 3, donde su sistema de alta presión logra una mejor pulverización de combustible y por ende una mezcla homogénea. Los contaminantes de criterio que se logra reducir con dicha tecnología son los NO<sub>x</sub> y PM.
- De acuerdo a los diferentes escenarios impuestos la tecnología Euro 4 (renovación de la flota al 100%) es la que menor cantidad de emisiones produce pero, para un mejor rendimiento de esta tecnología y que puedan llegar al país es importante que se mejore la calidad de combustible (Normativa INEN 1489:2012). Entonces, la renovación más factible que se propone al municipio es renovar los buses de las rutas arteriales a tecnología Euro 3.
- El presente trabajo tiene como finalidad dar un aporte a la ciudad de Loja, el cual servirá como base para la generación de un inventario de emisiones y para la creación de estrategias que contribuyan a la reducción de contaminación a la ciudad. Además, la metodología aplicada puede servir de guía para la obtención de los factores de emisión para todo el parque automotor que se encuentra actualmente en la ciudad.
- En este estudio se obtuvieron los patrones de conducción (tiempo, velocidad y altitud) de los buses urbanos, los cuales son parámetros de ingreso para la obtención de los factores de emisión. Pero, estos patrones se pueden utilizar para futuras investigaciones, por ejemplo: En la obtención del ciclo de conducción representativo y el consumo energético que demandan los diferentes recorridos que realizan los buses en la ciudad.

- Loja al ser una ciudad en crecimiento, actualmente es la que menos contaminación genera de CO<sub>2</sub> tanto por habitante como por bus en comparación a las ciudades de Cuenca y Quito. Pero, para la que este contaminante no se incremente y no afecte al medio ambiente ni a los habitantes, existes distintas metodologías que pueden ser aplicadas, como buses que funcionen de energía alternativa, crear programas de control de emisiones y la renovación de flota que posean mejoras tecnologías.

### **RECOMENDACIONES**

- Realizar la validación del estudio en la obtención de los factores de emisión por medio del modelo IVE, con pruebas de medición en ruta utilizando el analizador de gases a bordo, la cual mide en tiempo real la cantidad de emisión que se produce y con ello comparar que tanto varía el uno respecto al otro.
  
- Debido a que los GPS presentan problemas de recepción de altitud, por cuanto generan datos atípicos. Es factible buscar métodos para suavizar este valor, es el caso en nuestro estudio se ha utilizado el programa GPS Visualizer que se logra disminuir esta variabilidad de datos, otra de las formas sería obteniendo mapas cartográficos de la ciudad de estudio.
  
- Para lograr reducir las emisiones generadas por los buses urbanos de Loja, se recomienda a la identidad encargada de la revisión técnica vehicular de la ciudad, que la inspección no sea solamente de manera visual como se lo realiza actualmente; sino, crear programas de control de emisiones mediante la implementación de equipamiento que permita determinar la cantidad de contaminante emitido por el parque automotor y verificar si se encuentra dentro del rango permitido.

## ANEXOS

Clasificación de la flota vehicular de los buses urbanos de la ciudad de Loja.

 <b>UNIVERSIDAD DEL AZUAY</b>							
<b>Clasificación de la flota vehicular de los buses urbanos de la ciudad de Loja</b>							
Nombres: Fulvio Armijos P. Milton Cueva C.							
Cantidad	Año	Marca	Tipo de combustible	Cilindraje (cc)	Tipo de vehículo	Sistema de emisiones evaporativas	Kilometraje
2	2001	Chevrolet	Diésel	7127	Grande	Euro II	> 161000
1	2002	Chevrolet	Diésel	4000	Mediano	Euro II	> 161000
1	2002	Chevrolet	Diésel	6000	Mediano	Euro II	> 161000
19	2002	Chevrolet	Diésel	7220	Grande	Euro II	> 161000
1	2003	Chevrolet	Diésel	4500	Mediano	Euro II	> 161000
22	2003	Chevrolet	Diésel	7200	Grande	Euro II	> 161000
17	2004	Chevrolet	Diésel	7800	Grande	Euro II	> 161000
12	2005	Chevrolet	Diésel	7127	Grande	Euro II	> 161000
9	2006	Chevrolet	Diésel	7127	Grande	Euro II	> 161000
2	2007	Chevrolet	Diésel	7127	Grande	Euro II	> 161000
1	2008	Chevrolet	Diésel	4500	Mediano	Euro II	> 161000
2	2002	Mercedes Benz	Diésel	7200	Grande	Euro II	> 161000
4	2003	Mercedes Benz	Diésel	7000	Grande	Euro II	> 161000
10	2004	Mercedes Benz	Diésel	8200	Grande	Euro II	> 161000
4	2005	Mercedes Benz	Diésel	10000	Grande	Euro II	> 161000
9	2006	Mercedes Benz	Diésel	10000	Grande	Euro II	> 161000
1	2007	Mercedes Benz	Diésel	10000	Grande	Euro II	> 161000
1	2009	Mercedes Benz	Diésel	5958	Mediano	Euro II	> 161000
1	2011	Mercedes Benz	Diésel	5960	Grande	Euro II	> 161000
1	2005	Volkswagen	Diésel	6500	Grande	Euro II	> 161000
1	2006	Volkswagen	Diésel	5500	Mediano	Euro II	> 161000
1	2006	Volkswagen	Diésel	9000	Mediano	Euro II	> 161000
1	2011	Volkswagen	Diésel	6449	Grande	Euro II	> 161000
3	2012	Volkswagen	Diésel	6449	Grande	Euro II	> 161000
4	2013	Volkswagen	Diésel	6449	Grande	Euro II	> 161000
1	2002	Hyundai	Diésel	6600	Mediano	Euro II	> 161000
1	2003	Hyundai	Diésel	11149	Grande	Euro II	> 161000

 <b>UNIVERSIDAD DEL AZUAY</b>							
<b>Clasificación de la flota vehicular de los buses urbanos de la ciudad de Loja</b>							
<b>Nombres:</b> Fulvio Armijos P. Milton Cueva C.							
<b>Cantidad</b>	<b>Año</b>	<b>Marca</b>	<b>Tipo de combustible</b>	<b>Cilindraje (cc)</b>	<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Sistema de emisiones evaporativas</b>	<b>Kilometraje</b>
1	2007	Iveco	Diésel	5680	Grande	Euro II	> 161000
1	2014	International	Diésel	7600	Grande	Euro III	> 161000
1	2002	Hino	Diésel	5315	Grande	Euro II	> 161000
7	2005	Hino	Diésel	7961	Grande	Euro II	> 161000
1	2007	Hino	Diésel	5600	Mediano	Euro II	> 161000
2	2007	Hino	Diésel	7961	Grande	Euro II	> 161000
1	2012	Hino	Diésel	7684	Grande	Euro III	> 161000
7	2013	Hino	Diésel	7684	Grande	Euro III	> 161000
18	2014	Hino	Diésel	7684	Grande	Euro III	> 161000
37	2015	Hino	Diésel	7700	Grande	Euro III	80000-161000
24	2016	Hino	Diésel	7684	Grande	Euro III	80000-161000
1	2017	Hino	Diésel	7684	Grande	Euro III	<79000
<b>Total</b>	233 buses						

Encuestas para determinar el Soak de los buses urbanos de la ciudad de Loja y kilometraje de los buses urbanos.

 <b>UNIVERSIDAD DEL AZUAY</b>				
<b>Encuesta de bines soak y kilometraje de los buses urbanos de Loja</b>				
<b>Nombres:</b> Fulvio Armijos P. Milton Cueva C.				
<b>Hora de levantamiento:</b>				
<b>Línea de bus:</b>				
Número de encuesta	Registro municipal	¿A qué hora apagó el bus?	¿A qué hora volvió a encender el bus?	¿Cuál es el kilometraje del bus?
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				

Emisiones de los buses urbanos de la ciudad de Loja en hora de mayor tráfico vehicular.

<b>Emisiones de los buses urbanos de Loja emitidos en una hora de mayor tráfico vehicular</b>								
	<b>Contaminante</b>	<b>CO</b>	<b>VOC</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>PM</b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
<b>Rutas arteriales [Buses rojos]</b>	<b>Factor de emisión (g/Km)</b>	7.45	2.09	15.80	0.12	3.92	0.01	1172.96
<b>Rutas troncales [Buses verdes]</b>	<b>Factor de emisión (g/Km)</b>	7.44	1.57	10.80	0.11	1.73	0.14	1090.14
<b>Línea 1</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	1.33	0.37	2.81	0.02	0.70	0.00	208.58
<b>Línea 2</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	3.72	0.78	5.40	0.06	0.87	0.07	545.07
<b>Línea 4</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	1.12	0.31	2.37	0.02	0.59	0.00	175.66
<b>Línea 5</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	1.55	0.43	3.28	0.02	0.81	0.00	243.44
<b>Línea 7</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	2.55	0.71	5.40	0.04	1.34	0.00	400.88
<b>Línea 8</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	2.97	0.63	4.32	0.04	0.69	0.05	435.51
<b>Línea 10</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	2.48	0.70	5.26	0.04	1.31	0.00	390.51
<b>Línea 11</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	2.52	0.53	3.66	0.04	0.59	0.05	369.56
<b>Línea 12</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	1.61	0.45	3.42	0.03	0.85	0.00	254.10
<b>Total de emisiones [Ton/h]</b>		<b>0.020</b>	<b>0.005</b>	<b>0.036</b>	<b>0.000</b>	<b>0.008</b>	<b>0.000</b>	<b>3.023</b>

Emisiones de los buses urbanos de la ciudad de Loja sin tráfico vehicular.

<b>Emisiones de los buses urbanos de Loja emitidos en una hora sin tráfico vehicular</b>								
	<b>Contaminante</b>	<b>CO</b>	<b>VOC</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>PM</b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
<b>Rutas arteriales [Buses rojos]</b>	<b>Factor de emisión (g/Km)</b>	7.19	2.03	15.22	0.12	3.77	0.01	1127.81
<b>Rutas troncales [Buses verdes]</b>	<b>Factor de emisión (g/Km)</b>	7.38	1.56	10.73	0.11	1.72	0.14	1081.40
<b>Línea 1</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	1.28	0.36	2.71	0.02	0.67	0.00	200.55
<b>Línea 2</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	2.77	0.59	4.02	0.04	0.65	0.05	405.53
<b>Línea 4</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	1.08	0.30	2.28	0.02	0.56	0.00	168.90
<b>Línea 5</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	1.49	0.42	3.16	0.02	0.78	0.00	234.07
<b>Línea 7</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	2.01	0.57	4.26	0.03	1.05	0.00	315.37
<b>Línea 8</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	2.65	0.56	3.86	0.04	0.62	0.05	388.82
<b>Línea 10</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	2.08	0.59	4.41	0.03	1.09	0.00	326.50
<b>Línea 11</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	2.13	0.45	3.09	0.03	0.50	0.04	311.61
<b>Línea 12</b>	<b>Emisiones (kg/h)</b>	1.38	0.39	2.93	0.02	0.73	0.00	217.17
<b>Total de emisiones [Ton/h]</b>		<b>0.017</b>	<b>0.004</b>	<b>0.031</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.006</b>	<b>0.0002</b>	<b>2.569</b>



*Somos Diferentes  
Servicio Ejecutivo*

## COMPañIA DE TRANSPORTE URBA EXPRESS S.A.

**ABG. NIXON ARLIG GRANDA, PRESIDENTE DE LA COMPañIA DE TRANSPORTE URBANO URBAEXPRESS S.A., a petición de la parte interesada:**

### C E R T I F I C A :

Que los señores: Fulvio Alejandro Armijos Pineda y; Milton Esteban Cueva Cueva; realizaron el levantamiento de datos del dispositivos GPS ubicado indistintamente en las unidades del parque automotor Urbaexpress S.A, en las líneas 2,5,8,y 10. Información soporte para el desarrollo de la tesis titulada: "Determinación de los factores de emisiones de los buses urbanos en la ciudad de Loja en la hora de mayor tráfico vehicular".

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y, autorizo al interesado dar al presente documento el uso legal que estime necesario

Loja, 11 de Septiembre del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "N-A-G".

**Abg. Nixon Arlig Granda**  
**Ci: 1103366009**  
**PRESIDENTE URBAEXPRESS**



*Líderes en la modernización del transporte urbano*

Dirección: Av. Cuxibamba Nº 04-81 y Tulcán - Telefax: 2581 642

## CERTIFICACION

CERTIFICO que el Sr. Fulvio Alejandro Armijos Pineda y Milton Esteban Cueva Cueva, se les entrego la información solicitada de **"Determinación de los Factores de emisiones de los buses urbanos de la ciudad de Loja, y itinerario de circulación de los buses de todas las rutas, frecuencia, cantidad de buses, número de pasajeros por cada línea**

Atentamente



Ing. Andrea Riofrio Toscano

**TECNICA DEL SITU MUNICIPIO DE LOJA**

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J., Echániz, G., Sandoval, P., Garibay, V., Iniestra, R., Allen, J., & Tejeda, D. (2007). “ Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas .”
- Astudillo, R. F. (2016). *Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca*. Universidad del Azuay.
- Balcázar, D. V. (2013). “Análisis del nivel de contaminación atmosférico ocasionado por la emisión de gases de escape del parque automotor en la ciudad de Loja.” Universidad del Azuay.
- Castro, R., Romero, M., Loarte, G., & Galeas, R. (2013). *Modelo de unidades geomorfológicas*. Ministerio de Medio Ambiente. Quito.
- Cedillo, K. (2013). “Determinación de ciclos típicos de conducción”. Tecnológico de Monterrey.
- El Comercio. (2014). En Loja, la revisión vehicular aún es manual. Retrieved June 14, 2017, from <http://www.elcomercio.com/actualidad/loja-revision-vehicular-manual-ant.html>
- El Mercurio. (2014). Faltan más medios para verificar la contaminación ambiental vehicular |. Retrieved June 14, 2017, from <http://www.elmercurio.com.ec/427730-faltan-mas-medios-para-verificar-la-contaminacion-ambiental-vehicular/>
- García, L. (2016). *Estimación indirecta de emisiones contaminantes de fuentes móviles en el casco urbano cabecera cantonal del cantón Sevilla de Oro*. Universidad del Azuay.
- Guadalupe, J. L. (2016). “ Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito , Ecuador .” Universidad Técnica Federico Santa María.
- Hui, G. U. O., Qing-yu, Z., Yao, S. H. I., & Da-hui, W. (2007). Evaluation of the International Vehicle Emission ( IVE ) model with on-road remote sensing measurements, *19*, 818–826.
- INAMHI. (2017). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. Retrieved August 10, 2017, from <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>
- INECC. (2014). “ Elaboración del inventario nacional de emisiones de fuentes móviles para México 2013 y proyección 2030 mediante el uso del modelo Motor Vehicle Emission Simulator ( MOVES ) ” (Vol. 52). México. Retrieved from [http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/2014\\_inf\\_fin\\_moves.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/2014_inf_fin_moves.pdf)
- INEN 1489:2012. (2013). *Productos derivados del petróleo del diésel*. Ecuador. Retrieved from <http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/NTE-INEN-1489-7-ENMIENDA-1.pdf>

- INER. (2015). *Balance Energético Nacional 2015*. Ecuador.
- ISSR. (2008). *Manual del Usuario del Modelo IVE*. Estados Unidos.
- Li, L., Lo, H. K., Xiao, F., & Cen, X. (2016). Mixed bus fleet management strategy for minimizing overall and emissions external costs.  
<http://doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.001>
- OICA. (2017). Production Statistics. Retrieved March 22, 2017, from  
<http://www.oica.net/category/production-statistics/>
- OMS. (2015). Cambio climático y salud humana. Retrieved June 14, 2017, from  
<http://www.who.int/globalchange/es/>
- Restrepo, A. H., Carranza, Y. A., & Tibaquira, J. E. (2007). “Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de Pereira,” *I*(37), 229–234.
- Rozas, P., Jaimurzina, A., & Pérez, G. (2015). *Propuesta para una política de movilidad urbana eficiente, integrada y sostenible* (Vol. 17). Santiago de Chile.  
<http://doi.org/10.3989/arbor.2000.i653.1000>
- SEMARY. (2013). Inventario de Emisiones.
- SITU. (2016). Red de monitoreo de buses urbanos de Loja. Obtenido del Sistema Intermodal de Transporte Urbano de Loja.
- Tolvett, S. (2013). “*Análisis de emisiones en ruta de vehículos diésel en ciudad de México, Santiago y Sao Paulo.*” Universidad de Chile.  
<http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- UMTTTSV. (2012). “Plan maestro de movilidad del cantón Loja.” Loja.
- Urba-express. (2017). Características de los buses urbanos de la ciudad de Loja. Obtenido de la compañía de transporte urbano de Loja Urba-express.
- VBOX SPORT. (2017). Especificaciones GPS VBOX SPORT.
- Wang, H., Chen, C., Huang, C., & Fu, L. (2008). On-road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai , China, *98*, 0–7.  
<http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.01.038>

