

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DEL CORREDOR TRONCAL  
I Y TRONCAL II DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE  
DE LA CIUDAD DE AREQUIPA MEDIANTE EL METODO  
COPERT MODIFICADO, 2018**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**JUAN CARLOS NINAHUAMAN BUSTAMANTE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**AREQUIPA – PERÚ**

**2019**

A mi madre Justina Bustamante Ccama, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien; pero más que nada, por su amor.

A mi familia, por su gran apoyo y motivación para la culminación de esta tesis.

Agradezco a Dios, por guiarme en mi camino y permitirme concluir con mi objetivo.

A mi novia, Miriam Huillca Cáceres, por ser el apoyo incondicional en mi vida, con su amor y respaldo me ayuda alcanzar mis objetivos.

A mis asesores, en especial a la Mg. Silvia Tapia Medrano; gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de esta investigación.

## RESUMEN

En los últimos años, se ve un crecimiento excesivo del transporte urbano en la ciudad de Arequipa, es por lo que se realiza este trabajo en donde se calcula las emisiones de los buses del Corredor Troncal I y Troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa y el objetivo de este trabajo es estimar las emisiones de los contaminantes de CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM y SO<sub>x</sub>.

Se optó por la metodología COPERT modificado (adaptado para la ciudad de Lima y Callao), para estimar los niveles de emisión dependiendo de cada contaminante y según la norma Euro se obtienen los factores de emisión.

Se caracterizó la flota vehicular para el Corredor Troncal I y Troncal II, donde se indica el número de buses en cada corredor troncal, año de fabricación, tecnología vehicular referidos a la norma Euro estipulados por el Ministerio de Ambiente, número de pasajeros máximo, recorrido diario y la velocidad promedio con la cual transitará por los corredores Troncal I y Troncal II.

Finalmente, se caracteriza los contaminantes donde los resultados fueron: 4.811 t/año de CO; 2.502 t/año de HC; 18.859 t/año de NO<sub>x</sub>; 0.738 t/año de PM y 0.802 t/año de SO<sub>x</sub>, para el corredor Troncal I con una distancia de 229 km por día y una flota de 47 buses durante 298 días.

Para el corredor Troncal II con una distancia de 298 km por día y una flota de 104 buses durante 298 días los resultados fueron: 11.668 t/año de CO; 6.068 t/año de HC; 45.740 t/año de NO<sub>x</sub>; 1.789 t/año de PM y 1.945 t/año de SO<sub>x</sub>.

Palabras claves: Emisión de contaminante, transporte urbano y Sistema Integrado de Transporte.

## ABSTRACT

In recent years, he sees an excessive growth of urban transport in the city of Arequipa, for which this work is carried out in which the emissions of the Troncal I and Troncal II Corridor buses of the Integrated Transportation System of the The city of Arequipa and the objective of this work is to estimate the emissions of the pollutants of CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM and SO<sub>x</sub>.

We opted for the modified COPERT methodology (adapted for the city of Lima and Callao), to calculate the emission levels of each pollutant and according to the standard.

The vehicle fleet was characterized for the Trunk Corridor I and Trunk II, where the number of buses in each Trunk Corridor, year of manufacture, vehicle technology referred to the Euro standard stipulated by the Ministry of Environment, maximum number of passengers, is indicated. Daily route and the average speed with the traffic quality for the Troncal I and Troncal II corridors.

Finally, the pollutants are published where the results were; 4,811 Tn / year of CO, 2,502 Tn / year of HC, 18,859 Tn / year of NO<sub>x</sub>, 0,738 Tn / year of PM and 0,802 Tn / year of SO<sub>x</sub>, for Trunk Corridor I with a distance of 229 km per day and a Fleet of 47 buses, for 298 days.

For Corredor Troncal II with a distance of 298 km per day and a fleet of 104 buses for 298 days the results were; 11,668 Tn / year of CO, 6,068 Tn / year of HC, 45,740 Tn / year of NO<sub>x</sub>, 1,789 Tn / year of PM and 1,945 Tn / year of SO<sub>x</sub>.

Keywords: pollutant emission, urban transport and integrated transport system.

## INTRODUCCIÓN

Tapia y Gómez (2 003): En el Perú se realiza el primer inventario de emisiones en el año 2004 en trece ciudades de atención prioritarias siendo una de ellas la ciudad de Arequipa, mediante una metodología a nivel nacional del Organismo Mundial de la Salud (1993). Técnicas para el inventario rápido de la Contaminación Ambiental. (Economopoulos, 2 002). Para Arequipa, las emisiones vehiculares a nivel local fueron de 46 680 t/año que representaron el 65% de las emisiones totales de Arequipa; los vehículos contribuyeron con el 62,3% de emisiones de monóxido de carbono, 17,3% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, 11,7% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, 6% de emisiones de dióxido de azufre y 2,7% de partículas (PM<sub>10</sub> y PTS), además el tamaño del parque automotor fue de 74 009 vehículos.

La presente investigación contiene como primer capítulo el planteamiento del problema, dentro de ello se encuentra las formulaciones del problema, objetivos, justificación y limitaciones de la investigación.

El segundo capítulo de la investigación contiene fundamentos teóricos, se tiene marco referencia, marco legal, marco conceptual y marco teórico de la investigación.

En el tercer capítulo de la investigación, se anuncia el planteamiento metodológico; donde se define la metodología, diseño de la investigación, hipótesis de la investigación, variables, cobertura del estudio y procesamiento estadístico de la información para abordar la investigación.

En el cuarto capítulo, se realiza el análisis de resultados del recorrido anual de transporte urbano del corredor troncal I y II, caracterización de la flota vehicular e identificación de factores de emisión.

## ÍNDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**RESUMEN ..... IV**

**ABSTRACT ..... V**

**INTRODUCCIÓN ..... VI**

**ÍNDICE DE TABLAS ..... XII**

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... XIV**

**ÍNDICE DE GRÁFICOS ..... XV**

**ÍNDICE DE FIGURAS ..... XVI**

**CAPÍTULO I ..... 1**

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 1**

**1.1. Caracterización de la realidad problemática..... 1**

**1.2. Formulación del problema ..... 2**

1.2.1. Problema general ..... 2

1.2.2. Problemas específicos ..... 3

**1.3. Objetivos ..... 3**

1.3.1. Objetivo general ..... 3

1.3.2. Objetivos específicos..... 3

**1.4. Justificación ..... 4**

1.4.1. Ambiental ..... 4

1.4.2. Económica ..... 4

**1.5. Importancia..... 4**

**1.6. Limitaciones ..... 5**

1.6.1. Espacial ..... 5

**CAPÍTULO II..... 6**

**FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... 6**

**2.1. Marco referencial ..... 6**

**2.1.1. Antecedentes de la investigación ..... 6**

<b>2.1.2.</b>	<b>Referencias históricas .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.</b>	<b>Marco legal.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.</b>	<b>Marco conceptual .....</b>	<b>15</b>
2.3.1.	Emisión.....	15
2.3.2.	Fuentes de contaminación atmosférica .....	15
2.3.3.	Emisiones del tubo de escape.....	15
2.3.4.	Contaminantes provenientes de las fuentes móviles .....	16
2.3.5.	Emisiones vehiculares .....	16
2.3.6.	Sistema integrado de transporte .....	18
<b>2.4.</b>	<b>Marco teórico.....</b>	<b>18</b>
2.4.1.	Contaminación atmosférica.....	18
2.4.1.1.	Contaminación del aire.....	18
2.4.1.2.	Fuentes de contaminación .....	19
2.4.4.1.1.	Fuentes naturales .....	19
2.4.4.1.2.	Fuentes artificiales o antropogénicas.....	20
2.4.4.1.3.	Fuentes móviles .....	21
2.4.4.1.4.	Fuentes fijas.....	21
2.4.2.	Tipos de contaminantes .....	22
2.4.2.1.	Contaminantes primarios.....	22
2.4.2.2.	Contaminantes secundarios .....	23
2.4.5.	Contaminación debido a fuentes móviles.....	23
2.4.6.	Factores de emisión.....	24
2.4.7.	Principales contaminantes atmosféricos.....	24
2.4.7.1.	Óxidos de azufre (SO <sub>x</sub> ).....	24
2.4.7.2.	Monóxido de carbono (CO) .....	25
2.4.7.3.	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ).....	26
2.4.7.4.	Hidrocarburos (HC).....	27
2.4.7.5.	Material particulado (PM) .....	28
2.4.8.	Normativa Euro .....	28
2.4.8.1.	Norma Euro en Perú.....	29
2.4.8.2.	Reglas para el parque automotor .....	30
2.4.8.3.	Principales contaminantes del aire .....	30
2.4.8.4.	Mejora en la calidad del aire mediante la aplicación de las normas Euro.....	31
2.4.8.4.1.	Principales ventajas .....	32

2.4.8.5. Aplicación de estándares de emisiones Euro en diferentes países de la región	33
2.4.9. Modelos de emisión .....	34
2.4.9.1. Modelo MOBILE .....	34
2.4.9.1.1. Categorías vehiculares .....	36
2.4.9.1.2. Contaminantes .....	39
2.4.9.2. Modelo MOVES .....	40
2.4.9.2.1. Categorías vehiculares .....	42
2.4.9.2.2. Contaminantes .....	44
2.4.9.3. Modelo IVE.....	46
2.4.9.3.1. Categorías vehiculares .....	47
2.4.9.3.2. Contaminantes .....	50
2.4.9.4. Modelo COPERT .....	51
2.4.9.5. Categorías vehiculares.....	52
2.4.9.5.1. Contaminantes .....	55
2.4.9.5.2. Insumos generales .....	56
2.4.10. Tipos de emisiones .....	56
2.4.10.1.Emisiones en caliente (hot emissions) .....	57
2.4.10.2.Emisiones en frío (cold emissions) .....	58
2.4.10.3.Emisiones por evaporación (evaporative emissions) .....	59
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>60</b>
<b>PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>60</b>
<b>3.1. Metodología.....</b>	<b>60</b>
3.1.1. Método .....	62
3.1.1.1. Ubicación geográfica.....	62
3.1.1.2. Recorrido anual del transporte urbano del corredor troncal I y troncal II.....	63
3.1.1.3. Caracterización de la flota vehicular .....	64
3.1.1.4. Factores de emisión (FE).....	65
3.1.1.5. Caracterización de las emisiones del corredor troncal I y la troncal II .....	66
3.1.2. Tipo de la investigación .....	66
3.1.3. Nivel de la investigación .....	67
<b>3.2. Diseño de la investigación .....</b>	<b>67</b>
<b>3.3. Hipótesis de la investigación.....</b>	<b>69</b>
3.3.1. Hipótesis general .....	69

3.3.2.	Hipótesis específicas .....	69
<b>3.4.</b>	<b>Variables .....</b>	<b>70</b>
<b>3.5.</b>	<b>Cobertura del estudio.....</b>	<b>71</b>
3.5.1.	Universo .....	71
3.5.2.	Población.....	71
3.5.3.	Muestra.....	71
<b>3.6.</b>	<b>Técnicas e instrumentos.....</b>	<b>73</b>
3.6.1.	Técnicas de la investigación.....	73
3.6.2.	Instrumentos de la investigación .....	73
3.6.3.	Fuentes .....	73
<b>3.7.</b>	<b>Procesamiento estadístico de la información .....</b>	<b>74</b>
3.7.1.	Estadísticos.....	74
3.7.2.	Técnica de comprobación de la hipótesis.....	74
	<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>76</b>
	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>76</b>
4.1.1.	Recorrido anual del transporte urbano del corredor troncal I y troncal II.....	76
4.1.1.1.	Corredor troncal I.....	76
4.1.1.2.	Corredor troncal II.....	79
4.1.2.	Caracterización de la flota vehicular .....	82
4.1.2.1.	Motor.....	83
4.1.2.2.	Características ambientales mínimas de los buses .....	83
4.1.3.	Identificación de los factores de emisión (FE).....	83
4.1.3.1.	Procesamiento de información .....	84
4.1.3.2.	Obtención de resultados .....	85
4.1.3.3.	Emisiones de CO .....	86
4.1.3.4.	Emisiones de HC.....	87
4.1.3.5.	Emisiones de NOx.....	89
4.1.3.6.	Emisiones de material particulado .....	90
4.1.3.7.	Emisiones de SOx .....	92
4.1.4.	Caracterización de las emisiones.....	93
4.1.5.	Costo del proyecto.....	99
<b>4.2.</b>	<b>Contrastación de hipótesis.....</b>	<b>100</b>
4.2.1.	Contraste de la hipótesis general .....	100

4.2.2. Contraste de hipótesis específicas .....	100
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>102</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>108</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Euro en diferentes países de la región .....	33
Tabla 2. Categorías vehiculares en MOBILE6.....	38
Tabla 3. Contaminantes considerados en el modelo MOBILE6 .....	40
Tabla 4. Categorías vehiculares en MOVES .....	43
Tabla 5. Elementos considerados en la definición de subcategorías de fuente en la caracterización de la flota vehicular en MOVES .....	44
Tabla 6. Contaminantes considerados en las diferentes versiones de MOVES .....	45
Tabla 7. Criterios para definir las categorías vehiculares en IVE .....	48
Tabla 8. Ejemplo de algunas categorías vehiculares en IVE.....	49
Tabla 9. Contaminantes considerados en IVE.....	50
Tabla 10. Categorías vehiculares en COPERT.....	53
Tabla 11. Elementos considerados en la definición de subcategorías en COPERT.....	54
Tabla 12. Contaminantes considerados en COPERT .....	55
Tabla 13. Insumos demandados por COPERT.....	56
Tabla 14. Factores de emisión para el “Escenario con Proyecto - Euro III” .....	65
Tabla 15. Variables e indicadores .....	70
Tabla 16. Recorrido de las avenidas de la troncal I del transporte urbano de la ciudad de Arequipa .....	77
Tabla 17. Recorrido de las avenidas de la troncal II del transporte urbano de la ciudad de Arequipa .....	80
Tabla 18. Factores de emisión para el “Escenario con Proyecto – Euro III” .....	84
Tabla 19. Factor de emisión del CO .....	86

Tabla 20. Factor de emisión del HC .....	88
Tabla 21. Factor de emisión del NOx.....	89
Tabla 22. Factor de emisión del PM.....	91
Tabla 23. Factor de emisión del SOx .....	92
Tabla 24. Gastos del proyecto .....	99

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tendencia de los contaminantes.....	32
Ilustración 2. Mapa de la ciudad de Arequipa.....	62
Ilustración 3. Ruta del corredor troncal alimentador código BT1.....	78
Ilustración 4. Ruta del corredor troncal alimentador código BT2.....	81
Ilustración 5. Datos para la determinación de emisiones por contaminante: corredor troncal I.....	85
Ilustración 6. Datos para la determinación de emisiones por contaminante: corredor troncal II.....	85
Ilustración 7. Total de emisión de CO del corredor troncal I.....	86
Ilustración 8. Total de emisión de CO del corredor troncal II.....	87
Ilustración 9. Total de emisión de HC del corredor troncal I.....	88
Ilustración 10. Total de emisión de HC del corredor troncal II.....	88
Ilustración 11. Total de emisión de NOx del corredor troncal I.....	89
Ilustración 12. Total de emisión de NOx del corredor troncal II.....	90
Ilustración 13. Total de emisión de PM del corredor troncal I.....	91
Ilustración 14. Total de emisión de PM del corredor troncal II.....	91
Ilustración 15. Total de emisión de SOx del corredor troncal I.....	92
Ilustración 16. Total de emisión de SOx del corredor troncal II.....	93

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Recorrido anual troncal I.....	79
Gráfico 2. Recorrido anual de la troncal II.....	82
Gráfico 3. Emisión de contaminantes anual del corredor troncal I.....	94
Gráfico 4. Emisión de contaminantes anual del corredor troncal II.....	94
Gráfico 5. Comparación de emisiones de la troncal I y troncal II anual.....	95
Gráfico 6. Total de emisiones del corredor troncal I y troncal II.....	96
Gráfico 7. Emisión de contaminantes 1 vehículo/día – troncal I.....	96
Gráfico 8. Emisión de contaminantes 1 vehículo/día – troncal II.....	97
Gráfico 9. Emisión de contaminantes 1 vehículo/año – troncal I.....	98
Gráfico 10. Emisión de contaminantes 1 vehículo/año – troncal II.....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la información para determinar las emisiones mediante el método COPERT modificado.....	61
Figura 2. Diseño de la investigación .....	68

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Caracterización de la realidad problemática**

La operación de transporte terrestre es precisamente una de las principales causas de los impactos negativos que se producen al medio ambiente; tales efectos son las emisiones contaminantes, el ruido, la basura, y los accidentes de tránsito, entre otros, Gómez (2009). La congestión vehicular es un fenómeno en ascenso en la ciudad de Arequipa. La oferta de vehículos más accesibles, el ritmo de aumento del ingreso per cápita, la demanda de movilidad urbana y la falta de reglamentos técnicos vehiculares estrictos inciden en forma directa en la cantidad de vehículos que transitan hoy en día por nuestra ciudad, lo cual se traduce en una mayor congestión vehicular y un aumento significativo en las emisiones de gases que se descargan a la atmósfera. Por lo que, según la Dirección de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente (2013), se le atribuye al

parque automotor ser responsable del 70 por ciento de la contaminación atmosférica en nuestro país, la cual repercute directamente en la salud y malestar de las personas

Durante el siglo XX, la creciente sensibilización respecto al impacto de las actividades humanas en el medio ambiente y la salud pública, ha dado lugar al desarrollo y la utilización de diferentes métodos y tecnologías para reducir los efectos de la contaminación, Protocolo de Kioto (1997). En este sentido, los gobiernos han adoptado medidas de carácter normativo y político para minimizar los efectos negativos y garantizar el cumplimiento de las normas sobre calidad ambiental (SERNA, 2011).

El conocimiento de los niveles de emisión de contaminantes por parte de las fuentes móviles como lo constituyen las unidades vehiculares particulares y públicas que circulan en la ciudad de Arequipa no tienen la validación suficiente dado que el último inventario de emisiones vehiculares de la ciudad data de 2007 y que los estudios posteriores se realizan únicamente sobre fuentes fijas de emisión dejando de lado al principal actor de la contaminación atmosférica de nuestro país como es el parque automotor.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cómo estimar las emisiones del proyecto de transporte urbano del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa mediante el modelo COPERT modificado – 2018?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es característica de la flota vehicular del transporte urbano del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa?
- ¿Cuál es el recorrido anual de transporte urbano del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa?
- ¿Cuáles son los factores de emisión del modelo COPERT modificado?
- ¿Cómo se caracteriza las emisiones del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Estimar las emisiones del proyecto de transporte urbano del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa mediante el modelo COPERT modificado – 2018.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar las características de la flota vehicular del transporte urbano del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.
- Determinar el recorrido anual del transporte urbano del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.
- Identificar los factores de emisión del modelo COPERT modificado.

- Caracterizar las emisiones del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Ambiental**

Se justifica la investigación en la necesidad social y científica de tomar conocimiento de los niveles de emisiones vehiculares provenientes del transporte urbano del corredor troncal I y troncal II de la ciudad de Arequipa, bajo metodologías aplicables en nuestra realidad y que garanticen información confiable para la toma de decisiones en la gestión de la calidad de aire.

### **1.4.2. Económica**

La información obtenida permitiría la toma de decisiones por parte de la autoridad local para implementar medidas de mitigación y otros que reduzcan las emisiones y el impacto en la salud pública, conllevando esto a una reducción de enfermedades respiratorias, por ende, a un menor gasto social bajo el principio de prevención.

## **1.5. Importancia**

Los resultados de la investigación permitirán conocer las emisiones emitidas por el transporte urbano del corredor troncal I y troncal II de la ciudad de Arequipa, proporcionará valiosa información que permitirá tomar decisiones en la gestión del transporte urbano de la ciudad de Arequipa, por las autoridades locales.

El modelo COPERT se presenta como una herramienta para poder conocer las emisiones del transporte urbano corredor troncal I y troncal II y establecer una línea base para futuras investigaciones, pudiendo generar a partir de este estudio nuevos escenarios

Este trabajo permitirá a futuro poder realizar evaluaciones de las emisiones de los contaminantes.

El trabajo permitirá establecer un criterio ambiental para las licitaciones del corredor vial troncal I y troncal II de la ciudad de Arequipa.

## **1.6. Limitaciones**

### **1.6.1. Espacial**

Limita la posibilidad de cubrir todas las vías de circulación vehicular de la ciudad de Arequipa, por lo que se tomó el corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte.

Acceso a la información de organismos del estado como la SUNARP.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1.Marco referencial**

##### 2.1.1. Antecedentes de la investigación

Se cuenta como antecedentes con los siguientes estudios:

En 2009, se presentó ante la Secretaria de Comunicaciones y Transporte del Instituto Mexicano del Transporte el informe técnico: “Propuesta Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana” por parte de Ing. Cindy Lara Gómez; el MC Juan Fernando Mendoza Sánchez; la MC María Guadalupe López Domínguez; el MC Rodolfo Téllez Gutiérrez; y los investigadores

de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, MA Wilfrido Martínez Molina y la Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán.

En este estudio, se utilizó el software MOBILE 6, debido principalmente a la experiencia del uso en México y por contar con adaptaciones previas sobre las características de la flota vehicular mexicana. La investigación tomó en cuenta condiciones ambientales, temperatura, altitud; caracterización de la flota, categoría; otros elementos como la actividad vehicular, edad de los vehículos, kilometraje, consumo de combustible, velocidad de operación. Con esta información, se alimentó al software Mobile 6, y con ellos obtuvieron los factores de emisión por tipo de vehículo.

Con dichos factores y la cantidad de kilómetros que recorre un vehículo de acuerdo a su actividad, se estimó la cantidad de emisiones vehiculares generadas en las ciudades de acuerdo a los diferentes tipos de vehículos y los diversos contaminantes atmosféricos.

Para esta investigación, las conclusiones fueron:

- Las emisiones de CO representan el principal contaminante, ocupando un 84% del total. De los cuales las camionetas pick up son uno de los principales generadores, seguido por los automóviles.
- Los vehículos pesados, los autobuses y camiones urbanos a diésel representan una minoría respecto a la flota vehicular de la ciudad, y son la categoría de fuente más significativa en cuanto a emisiones de NOx, y PM10.
- Las emisiones, debido a las diferentes velocidades constantes de la ciudad no generaron diferencias significativas; sin embargo, el aumento de la velocidad en una avenida provoca un crecimiento de las emisiones de CO y NOx.

En 2011, ante la Universidad Autónoma de Occidente en la Facultad de Ingeniería Industrial en Santiago de Cali, se presentó el estudio: “Caracterización y Estimación de Emisiones Vehiculares en la Universidad Autónoma de Occidente” por parte de Kristel Jessenia Giraldo Serna. Llegó a las siguientes conclusiones:

- Los modelos de emisiones son estimaciones realizadas a partir de datos y factores de emisión que a menudo son limitados, debido a las dificultades que se presentan en la recopilación de datos y por las simplificaciones y criterios que se asumen. Las emisiones de cada uno de los vehículos que transitan en un área determinada son casi imposibles de medir debido a la gran cantidad y variedad de vehículos que circulan, por ello es necesario crear un modelo de estimación a partir de distintas herramientas especializadas de las fuentes móviles en conjunto, entre las cuales se encuentra la metodología CORINAIR aplicada en este proyecto, para lograr una aproximación más real a las emisiones.
- La cantidad de contaminantes emitidos el día 28 de septiembre de 2010 en la vía panamericana que comunica a Cali con Jamundí, en el tramo comprendido entre los 700 y 850 metros fueron de 140 kg de NO<sub>x</sub>, 577,4 kg de CO, 137 kg de COV y 8,6 kg de PM<sub>10</sub> al día. En la ciudad de Cali no cuenta con un inventario que permita comparar las cifras arrojadas por esta metodología, por otro lado, no existe correlación en vías de otras ciudades con las mismas características de la zona de estudio del presente proyecto.
- Analizando los valores anteriores se observa que la participación de los gases NO<sub>x</sub>, CO y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) en las

emisiones totales, presentan el mayor volumen de impacto en el sector. Esto se debe al hecho de que los NOx y los CO provienen de emisiones de fuentes móviles y los COV son producidos por las dinámicas biológicas de la naturaleza, y si se tiene en cuenta que el sector cuenta con vastas zonas verdes alrededor, resulta coherente su apreciación en el rango de mediciones.

- Las emisiones de contaminantes atmosféricos debido a las fuentes móviles en la universidad autónoma de occidente, se presenta con mayor intensidad en horas entre las 07:00 – 09:00 y entre las 15:00 - 19:00, esto se debe a que entre esa misma zona horaria se presenta mayor flujo vehicular. Por otra parte, se analizó los factores de emisión para cada categoría vehicular y se concluyó que la categoría de buses y camiones presenta mayor emisión contaminante.
- La Metodología CORINAIR muestra que el contaminante con mayor tasa de emisión fue el monóxido de carbono con un resultado de 577,4 kg al día, equivalente a casi 67 veces más que la emisión de material particulado, 4 veces más que la emisión de compuestos orgánicos volátiles y 4 veces más que la emisión de óxidos de nitrógeno, lo que indica una alta presencia de un parque automotor mayor a 15 años y que un plan de reducción de emisiones se debe enfocar en mitigar la producción de CO sin excluir la caracterización de vehículos.

En 2014, en la ciudad de Lima, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI publicó la investigación: “Estimación de Emisiones Vehiculares en Lima Metropolitana” que tuvo como autores a Laura Dawidowki, Odón Sánchez-Ccoyllo y Nadietska Alarcón.

En este estudio se tomó como año base para el desarrollo de la estimación de emisiones el 2003, debido a que en este año se realizaron estudios de emisiones vehiculares como el desarrollado para la Municipalidad de Lima Metropolitana en el marco del proyecto COSAC, (2004) y el de James Lents, (2003). Estos estudios ofrecieron una base para comparar los resultados finales y proporcionar información de campo levantada durante su desarrollo. Se utilizó como variables: Stock de Flota; Categorías Vehiculares; Ventas; Perfil de antigüedad de la flota automotor, Supervivencia según la Antigüedad; Rendimiento; Kilómetros recorridos por el vehículo y Factores de emisión. Como modelo, se utilizó el Long Range Energy Alternatives Planning System (LEAP) y se realizaron las siguientes recomendaciones:

- Los resultados obtenidos se rigen por la calidad y consistencia de los datos utilizados y las asunciones practicadas, por lo que pueden ser mejorados considerando nuevos escenarios de medidas proyectadas y nueva información disponible o de mejor calidad, de modo que se vayan ajustando mejor a la realidad y las proyecciones sirvan como herramientas de decisión.
- Se puede establecer un año base más reciente usando información consistente. También se puede aplicar el modelo LEAP y otros modelos para comparar los resultados y realizar un mejor análisis comparativo de las proyecciones.
- Es importante contar con datos de factores de emisiones nacionales que se ajusten a la realidad del parque automotor y del combustible del país, por lo que sería recomendable realizar un nuevo estudio de factores de emisiones con las características de los vehículos actuales disponibles en

el mercado y los nuevos combustibles más populares como el gas natural vehicular y el biodiesel.

“Determinación de Emisiones Vehiculares en la Cuenca Atmosférica de la Ciudad de Arequipa Utilizando la Metodología de la OMS y El Modelo Emod Cmap” por parte de Silvia Rossana Tapia Medrano

Las diferentes actividades que se realizan en la ciudad de Arequipa ya sea en el sector industrial, comercial y principalmente los transportes vierten sus emisiones a la cuenca atmosférica de la ciudad; estos gases y partículas generan un deterioro de la calidad ambiental y como consecuencia un impacto sobre la salud pública de la población haciendo que repercute en mayor gasto público del sector salud y deterioro de los ecosistemas.

La estimación de emisiones se llevó a cabo por medio del método de factores de emisión utilizando la metodología de la OMS y la estimación de emisiones mediante el modelo EMOD CMAP; donde se reemplazaron los factores de emisión del modelo por los factores de emisión desarrollado por MTC/AB, Haninge, Suecia, Octubre 2 002, que fue financiado por World Bank, para el Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio para Lima – Callao, el cual presenta un comportamiento vehicular similar al de la ciudad de Arequipa.

El ámbito de trabajo es la cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa y las emisiones vertidas a la cuenca atmosférica según la metodología de la OMS son de 97 089,00 toneladas al año; utilizando el modelo EMOD CMAP fueron aproximadamente 66 095,84 t/año.

Finalmente, se recomendaron que las estrategias para la mejora de calidad de aire deben estar relacionadas a la reducción de emisiones del parque automotor,

principalmente, y a fortalecer las capacidades locales y regionales en el manejo de inventarios de emisiones para establecer estrategias de descontaminación de aire.

Se debe establecer políticas públicas y normatividad que regule la declaración de emisiones para la toma de decisiones en la gestión de la calidad de aire y la implementación de la normatividad de los estados de alerta para la declaración de macro emisores de la cuenca atmosférica de Arequipa.

### 2.1.2. Referencias históricas

Desde los años setenta diversos modelos matemáticos con distintos tipos de complejidad han sido usados para estimar niveles de contaminación en el aire procedente de fuentes móviles, así como variaciones temporales y espaciales tanto de escenarios reales como de escenarios propuestos. Estos métodos realizan cálculos hipotéticos de emisiones generadas por fuentes móviles considerando un conjunto de vehículos transitando en una zona determinada, a una velocidad promedio. Dichos cálculos podrían ser afinados si se tuviera más información sobre las velocidades y las categorías vehiculares, ya que muchos de ellos producen distintas emisiones bajo diferentes rangos de velocidades y, puesto que eso es posible de hacer, se podría entonces deducir de manera igualmente hipotética las emisiones producidas por cada fuente móvil en un área y un periodo determinado (Lozano, Torres, & Anton, 2003).

Economopoulo (2002) sostiene que generalmente se hace referencia a la gestión ambiental como un arte antes que una ciencia. Sin embargo, en los últimos 20 años se ha visto un progreso considerable que puede cambiar esa imagen. Existen numerosos ejemplos que muestran que la planificación adecuada reduce significativamente el impacto de las actividades humanas sobre el ambiente (Economopoulos, JAPCA 37:8,

1987). En los países en desarrollo, las dificultades para formular programas adecuados de gestión ambiental son mayores y existe la necesidad de contar con herramientas prácticas que permitan la implementación generalizada y la estandarización de las etapas iniciales críticas del proceso de planificación.

Hace algunos años, la OMS publicó el libro *Rapid Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution* (Evaluación rápida de fuentes de contaminación del aire, agua y suelo, offset publication No. 62, 1982), que se centró principalmente en los inventarios de fuentes del proceso de gestión. Ese documento, traducido en varios idiomas, ha sido distribuido ampliamente y el procedimiento descrito constituye el tema de numerosos cursos de capacitación. El procedimiento de evaluación rápida ha sido particularmente útil en los países en desarrollo para el diseño de políticas y estrategias de control ambiental que tienen recursos relativamente modestos.

Luego, la OMS actualizó y amplió las técnicas de evaluación rápida y publicó *Management and Control of the Environment* (WHO/PEP/89.1). Ese libro enfatizó las partes sobre inventarios, proporcionó listas integrales de las opciones de control para cada tipo de fuente de contaminación del aire o agua e introdujo algunos modelos de calidad del agua y aire de uso fácil. Asimismo, esa publicación, al igual que la anterior, ha sido valiosa en los países en desarrollo y dos de sus impresiones están agotadas.

En 1991, la OMS inició la *Global Environmental Technology Network* (GETNET), que tenía como objetivo principal el fortalecimiento, en el nivel local, de los materiales educativos y de capacitación sobre tecnologías para el control de la contaminación ambiental.

El modelo LEAP fue desarrollado por el *Stockholm Environment Institute*- (SEI-US). Su primera versión data de 1980 a fines de los 90 el modelo fue actualizado (migrando de DOS a Windows) incorporando una serie de herramientas de planificación

energética; ha sido seleccionado por 85 países para llevar a cabo estudios de mitigación GEI, Sbroiavacca (2013).

## **2.2.Marco legal**

La normatividad vigente sobre la calidad de aire en el Perú es:

- Ley N° 26842 Ley General de Salud (Capítulo VIII, art. 106): La Autoridad de Salud establecerá las medidas de prevención y control indispensables para que cesen los actos de contaminación ambiental que ponga en riesgo la salud de la población.
- R.M. N°258-2011/MINSA: Política Nacional de Salud Ambiental 2011-2020. Su estrategia establece la Vigilancia de la Calidad Sanitaria del Aire.
- D.S. N° 074-2001-PCM Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. Del Monitoreo. “El monitoreo de la calidad del aire y la evaluación de los resultados en el ámbito nacional es una actividad de carácter permanente, a cargo del Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).
- D.S. N° 009-2003-S.A., su modificatoria y Directiva Reglamento de Niveles de Estados de Alerta Nacionales de Contaminantes del Aire.
- R.D. N° 1404/2005/DIGESA Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de los Datos.
- Decreto del Consejo Directivo N° 009-2005-CONAM/CD del D.S. N° 010-2005-PCM.artículo 11° Reglamento para la aplicación de ECA de

Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes. - De la Vigilancia de la Calidad Ambiental.

- DECRETO SUPREMO N° 003-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.

## **2.3.Marco conceptual**

### **2.3.1. Emisión**

“Es la descarga directa a la atmósfera de gases o partículas por una chimenea, ducto o punto de descarga” (D.S. 074-2001 –PCM).

### **2.3.2. Fuentes de contaminación atmosférica**

“Las fuentes de contaminación del aire, comúnmente se usan cuatro términos: móvil, estacionaria, puntual y del área”, según Korc (2001).

### **2.3.3. Emisiones del tubo de escape**

Estas emisiones se generan a partir de la oxidación de los diferentes tipos de combustibles que generan diferentes tipos de contaminantes tales como: monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxido de azufre que dependerán de la concentración de azufre en los combustibles y partículas. Estas emisiones que se van a generar van a depender de las características del vehículo, su tecnología y su sistema de control de emisiones; los vehículos más pesados o más potentes tienden a generar mayores emisiones por kilómetro recorrido y las normas que regulan la construcción de

vehículos determinan tanto su tecnología, así como la presencia o ausencia de equipos de control de emisiones, como los convertidores catalíticos. El estado de mantenimiento del vehículo y los factores operativos, tanto como la velocidad de circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y las características del combustible, son determinantes en las emisiones vehiculares, según Aguilar (2007).

#### **2.3.4. Contaminantes provenientes de las fuentes móviles**

“Las fuentes móviles generan principalmente Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre, Óxidos de Nitrógeno, Compuestos Orgánicos Volátiles, Hidrocarburos Totales, Material Particulado y Dióxido de Carbono”, según Morales (2011).

#### **2.3.5. Emisiones vehiculares**

Se define emisión vehicular como las sustancias lanzadas a la atmósfera por las fuentes de emisión (móviles en ruta o móviles fuera de ruta), que genera posteriormente una inmisión o concentración aérea de contaminantes, según Gantuz (2004).

Aguilar (2007) afirma que los vehículos automotores propulsados por motores de combustión interna producen, en general dos tipos de emisiones de gases contaminantes:

- a) emisiones evaporativas y
- b) emisiones por el tubo de escape, según Aguilar (2007).

Murillo, Román, & Marín (2001) sostienen que además de las emisiones del escape, los vehículos automotores registran una gran variedad de procesos de emisión evaporativa que se limitan a emisiones de GOT e incluyen:

- Emisiones evaporativas del motor caliente: los cuales se presentan debido a la volatilización del combustible en el sistema de alimentación después de que el motor se ha apagado. El calor residual del motor volatiliza el combustible.
- Emisiones evaporativas de operación: Son las emisiones ocasionadas por las fugas de combustible, como líquido o vapor, que se presentan mientras el motor está en funcionamiento.
- Emisiones evaporativas durante la recarga de combustible: que constituyen las emisiones evaporativas desplazadas del tanque de combustible del vehículo durante la recarga. Estas pueden ocurrir mientras el vehículo está en reposo y en puntos conocidos, como las gasolineras. La recarga de combustible se maneja típicamente como fuente de área para efectos de los inventarios de emisiones.
- Emisiones diurnas: estas emisiones del tanque de combustible del vehículo son causadas por una mayor temperatura del combustible y la presión de vapor de este. Estas emisiones se deben al incremento de la temperatura ambiente ocasionado por el sistema de escape del vehículo o por el calor reflejado en la superficie del camino.
- Emisiones evaporativas en reposo: estas emisiones evaporativas son diferentes a las anteriores, ya que se presentan cuando el motor no está en funcionamiento. Las pérdidas en reposo se deben principalmente a fugas de combustible y a la permeación del vapor a través de las líneas de alimentación del combustible (Radian, 1997).

### **2.3.6. Sistema integrado de transporte**

“Sistema que usa múltiples medios de transporte que actúan conjuntamente para desplazar usuarios a través del uso de una infraestructura, itinerario, tarifa y sistema de validación común” (Schwarz, 2013).

## **2.4.Marco teórico**

### **2.4.1. Contaminación atmosférica**

#### ***2.4.1.1.Contaminación del aire***

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), existe contaminación del aire cuando en su composición aparecen una o varias sustancias extrañas, en determinadas cantidades y durante determinados periodos de tiempo, que pueden resultar nocivas para el ser humano, los animales, las plantas o las tierras, y/o perturbar el bienestar y el uso de los bienes (p.7).

La contaminación atmosférica se define como la presencia en la atmósfera comunal de uno o más contaminantes o combinaciones de éstos en cantidades y duraciones tales que puedan afectar a los seres humanos, los animales, la vegetación o que interfieran irrazonablemente con el libre disfrute de la vida y la propiedad, según el Gobierno de Puerto Rico (2011).

Universidad Pablo de Olavide (2017) manifiesta que la preocupación social sobre la influencia en la salud pública de la contaminación atmosférica empezó a principios de los cincuenta a raíz del luctuoso suceso ocurrido en Londres.

En 1992 se produjo el deterioro súbito de la calidad del aire provocado por las desfavorables condiciones atmosféricas que tuvieron lugar en el otoño. El dióxido de

azufre producto de las emisiones de carbón utilizado en las calefacciones formó una espesa niebla que fue conocida como “killer fog”. En el pico de concentración, la tasa de mortalidad aumentó hasta cuatro veces (1000 personas/día). En total, se estima que perecieron 4000 personas en este dramático episodio

#### ***2.4.1.2. Fuentes de contaminación***

“Los contaminantes presentes en la atmósfera, proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: la naturaleza y las antropogénicas”, según Carnicer J. M. (2008).

##### *2.4.4.1.1. Fuentes naturales*

Bermudez (2010) indica que comprenden las emisiones de contaminantes generados por la actividad natural de la geósfera, biósfera e hidrósfera. Entre las cuales se encuentran: Erupciones volcánicas: Aportan a la atmósfera compuestos de azufre y gran cantidad de partículas que se diseminan como consecuencia de la acción del viento convirtiéndose en una de las principales causas de contaminación.

Incendios forestales: Los que producen de forma natural y emiten altas concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), humo, polvo y cenizas.

Ciertas actividades de los seres vivos: Como por ejemplo, procesos de respiración, los cuales incrementan la cantidad de CO<sub>2</sub> en el ambiente; procesos de reproducción y floración en plantas anemófilas (las que se polinizan a través del aire) como las gramíneas, los olivos y las arizónicas, las cuales producen polen y esporas que, al concentrarse en el aire, se convierte en la causa principal de alergias respiratorias

conocida como polinosis (puede llegar a afectar a más del 20 por ciento de la población en un ambiente urbano); la descomposición anaerobia de la materia orgánica la cual genera gran cantidad de metano (p.10).

#### *2.4.4.1.2. Fuentes artificiales o antropogénicas*

Mcgraw (2009) afirma que por consecuencia de las actividades humana y cuya mayor parte proviene del uso de combustible fósil (carbón, petróleo y gas). Entre las principales actividades generadoras de contaminación atmosférica podemos destacar las siguientes:

En el hogar: El uso de calefacción y otros aparatos domésticos que emplean como fuente de generación de calor el combustible de origen fósil. El mayor o menor grado de dicha contaminación se debe al tipo de combustible, así como al diseño y estado de conservación de los aparatos empleados.

En el transporte: Las emisiones provenientes de la combustión en los vehículos generan una gran cantidad de contaminantes atmosféricos siendo el automóvil y el avión los que un mayor grado de contaminación ocasionan. Para el caso específico del automóvil, la magnitud de contaminación depende de la clase de combustible utilizado, del tipo de motor, el uso de catalizadores y la densidad del tráfico.

En la industria: La contaminación del aire en este sector depende del tipo de actividad que se realice, siendo las centrales térmicas, cementeras, siderometalúrgicas, papeleras y químicas las que más contaminan.

En la agricultura y ganadería: El uso intensivo de fertilizantes y la elevada concentración de ganado vacuno provoca un aumento de gases de efecto invernadero como el CH<sub>4</sub>.

En la eliminación de residuos sólidos: La incineración es un proceso muy frecuente que impacta en forma negativa la calidad del aire. Es importante mencionar que las emisiones de origen natural son más elevadas a nivel global, mientras que las emisiones de origen humano lo son a nivel local o regional. La contaminación antropogénica es más importante por localizarse en puntos geográficos concretos, como zonas urbanas o industriales, donde se incrementa la concentración de los contaminantes que pueden reaccionar entre sí, formando otros nuevos, y en donde la existencia de sumideros como la vegetación son menores, según McGraw (2009).

Según Caminos, Enrique, Ghirardi, Graizaro, Russillo y Pacheco (2007), las fuentes antropogénicas a su vez también se pueden dividir en dos grandes grupos que se clasifican según su movilidad, en donde se encuentran las fuentes móviles y las fuentes fijas.

#### *2.4.4.1.3. Fuentes móviles*

“Emiten contaminantes mientras se encuentran en movimiento. Un claro ejemplo de este tipo de fuente es el transporte urbano, como colectivos, camiones, automóviles, etc.”, Camino et. al (2007).

#### *2.4.4.1.4. Fuentes fijas*

Camino (2007) indica que las fuentes que permanecen estacionarias, como por ejemplo las centrales termoeléctricas, industrias, etc. Según el área que comprenden, las fuentes de contaminación del aire también se pueden clasificar en fuentes puntuales, líneas de emisión y áreas de emisión:

### *A. Fuentes puntuales*

Son fuentes individuales y únicas que emiten gases y partículas a la atmósfera. Están localizadas en un punto y permanecen fijas en el tiempo.

### *B. Líneas de emisión*

Son emisiones de contaminantes con geometría rectilínea. Un claro ejemplo de este tipo de fuente de contaminación son las carreteras las cuales se analizan promediando las emisiones por unidad de longitud teniendo en cuenta la densidad de vehículos que circulan.

## **2.4.2. Tipos de contaminantes**

Vargas Savedra (2014) afirma que “los contaminantes se dividen en dos grandes grupos con el criterio de si han sido emitidos desde una fuente conocida o se han formado en la atmósfera. Es así que existen contaminantes primarios y secundarios”.

### ***2.4.2.1. Contaminantes primarios***

Vargas Savedra (2014) indica que son sustancias de naturaleza y composición química variada, emitidas directamente a la atmósfera desde distintas fuentes perfectamente identificables. Se incluyen dentro de este grupo al plomo (Pb), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos (HC), material particulado (PM), entre otros (Mcgraw, 2009). Según Mcgraw (2009), todos ellos constituyen más del 90 por ciento de los contaminantes del aire.

#### **2.4.2.2. Contaminantes secundarios**

Carnicer J. M. (2007) indica que los contaminantes secundarios no provienen directamente de los focos emisores, sino que se originan a partir de los contaminantes primarios mediante reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera. Entre los más importantes se encuentran el ozono troposférico (O<sub>3</sub>), nitratos de peroxiacetilo (PAN), sulfatos (SO<sub>4</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), entre otros.

#### **2.4.5. Contaminación debido a fuentes móviles**

La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, pues produce grandes cantidades de monóxido de carbono y menores cantidades de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Las emisiones de los automóviles también contienen plomo y cantidades traza de algunos contaminantes peligrosos. Los requisitos para el control de emisiones de automóviles han reducido considerablemente la cantidad de contaminantes del aire, según Martínez (2005).

Si la combustión de los motores fuese completa o perfecta, las emisiones resultantes de la misma serían exclusivamente: nitrógeno (N<sub>2</sub>), anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), vapor de agua (H<sub>2</sub>O) y oxígeno (O<sub>2</sub>). Evidentemente, esto no es así, la combustión siempre es incompleta y, dependiendo del tipo y condiciones de funcionamiento de cada motor, en las emisiones emitidas a la atmósfera a través del tubo de escape se pueden localizar una cantidad de componentes nocivos próxima al 1%, según Rodrigo (2014).

#### **2.4.6. Factores de emisión**

Mora Peris y otros (2014) afirman que un factor de emisión es un valor representativo de la cantidad de sustancia contaminante que se libera hacia la atmósfera con relación a la actividad asociada que la produce.

En muchos países se han realizado múltiples estudios para determinar las tasas de emisión promedio de diferentes fuentes de emisiones móviles y, puesto que el grado de dificultad es muy alto y no es económicamente factible, existen técnicas indirectas de estimación, como lo es el uso de factores de emisión, los cuales no involucran mediciones en cada una de las fuentes, sino que utilizan los resultados de miles de mediciones directas realizadas en otras áreas de estudio y las correlacionan con la flota deseada obteniendo así resultados que se ajustan a la realidad (p.50).

Dichos factores, orientados a estimar la cantidad de contaminación generada por el parque automotor, pueden ser calculados para cada tipo o categoría vehicular de manera general y poseen variables que se ajustan a las características de la localidad en donde se desea llevar a cabo el estudio, según Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales Mexico D.F. (2007).

#### **2.4.7. Principales contaminantes atmosféricos**

##### **2.4.7.1. Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>)**

Carnicer (2007) afirma que el óxido de azufre que se emite a la atmósfera en mayores cantidades es el anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) y en menor proporción, que no rebasa el 1 o el 2 por ciento del anterior, el anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>). El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro, de olor picante e irritante en concentraciones superiores a 3 ppm.

Es 2,2 veces más pesado que el aire, a pesar de lo cual se desplaza rápidamente en la atmósfera. Es un gas bastante estable. El anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>) es un gas incoloro y muy reactivo que condensa fácilmente.

En condiciones normales no se encuentra SO<sub>3</sub> en la atmósfera en cantidades significativas, debido a que reacciona rápidamente en presencia de humedad, formando ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). La combustión de cualquier sustancia que contenga azufre produce emisiones de SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>, la cantidad de SO<sub>3</sub> producida depende de las condiciones de la reacción, especialmente de la temperatura y oscila entre 1 y el 10 por ciento de los SO<sub>x</sub> producidos (p.11).

#### **2.4.7.2. Monóxido de carbono (CO)**

Carnicer (2007) afirma que el monóxido de carbono es el contaminante del aire más abundante en la capa inferior de la atmósfera, sobre todo en el entorno de las grandes ciudades. El CO es un gas incoloro, inodoro e insípido, siendo un gas muy ligero no apreciablemente soluble en agua. Es inflamable y se caracteriza por su gran capacidad de dispersión. La formación del CO es generalmente el resultado de alguno de los siguientes procesos químicos:

- Combustión incompleta del carbono.
- Reacción a elevada temperatura entre el CO<sub>2</sub> y materiales que tienen carbono.
- Disociación del CO<sub>2</sub> a altas temperaturas.
- Oxidación atmosférica del metano (CH<sub>4</sub>).

Los efectos que la presencia de CO en la atmósfera produce sobre el medio los podemos clasificar en:

Efectos sobre los hombres. El CO es un gas tóxico, la exposición del hombre a elevadas concentraciones de CO puede conducirle a la muerte, pero los efectos de la exposición a niveles reducidos sólo ahora empiezan a conocerse.

Los daños sobre la salud que produce el CO se debe a que al combinarse con la hemoglobina de la sangre disminuye en ésta su capacidad para ejercer su función normal de transporte de oxígeno. La afinidad del CO por la hemoglobina es más de 200 veces superior que la del oxígeno (p.12).

#### **2.4.7.3. Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

Carnicer (2007) indica que los contaminantes que poseen en su molécula algún átomo de nitrógeno pueden clasificarse en tres grupos diferentes: formas orgánicas, formas oxidadas y formas reducidas.

Se conocen ocho óxidos de nitrógeno distintos, pero normalmente solo tienen interés como contaminantes dos de ellos, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). El resto se encuentra en equilibrio con estos dos, pero en concentraciones tan extraordinariamente bajas que carecen de importancia. El óxido nítrico (NO) es un gas incoloro y no inflamable, pero inodoro y tóxico. El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un gas pardo-rojizo, no es inflamable, pero si tóxico y se caracteriza por un olor muy asfixiante. Se utiliza normalmente la notación NO<sub>x</sub> para representar al NO y NO<sub>2</sub> implicados en la contaminación del aire.

Una característica de estos dos compuestos es que participan en la formación de los contaminantes secundarios que producen la contaminación fotoquímica.

La mayor parte de los óxidos de nitrógeno se forman por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante los procesos de combustión a temperaturas elevadas. La energía necesaria para la formación del NO es muy alta por lo que el tiempo de residencia de los gases en la zona de combustión, así como la temperatura de la llama, determinan la cantidad del mismo que se forma (p.13).

#### **2.4.7.4. Hidrocarburos (HC)**

Carnicer (2007) afirma que son sustancias que contienen hidrógeno y carbono. El estado físico de los hidrocarburos, de los que se conocen decenas de millares, depende de la su estructura molecular y en particular del número de átomos de carbono que forman su molécula. Son gases a la temperatura ordinaria los que contienen de uno a cuatro átomos de carbono, siendo estos los más importantes desde el punto de vista de la contaminación atmosférica. El número de hidrocarburos implicados en la contaminación del aire es muy grande.

En atmósferas urbanas pueden encontrarse más de 100 hidrocarburos diferentes, de los cuales los más reactivos son las olefinas. No hay pruebas que indiquen efectos nocivos directos de los hidrocarburos sobre el hombre a las concentraciones en que actualmente se presentan en el aire. A concentraciones muy elevadas los vapores de hidrocarburos, sobre todo de los aromáticos, pueden causar lesiones en las mucosas al ser inhaladas (recientemente se han probado los efectos cancerígenos del benceno) (p.14).

#### **2.4.7.5. *Material particulado (PM)***

Ceballos (2016) afirma que las partículas sólidas o líquidas emitidas por el vehículo, denominadas como material particulado, están formadas principalmente de partículas gruesa (PM10), partículas finas (PM2.5) y material particulado en el escape (PM escape). Su fuente de origen viene determinada a partir de dos fuentes:

- Partículas orgánicas formadas durante el proceso de combustión.
- Partículas provenientes de desprendimiento por procesos de fricción.
- El material particulado PM se emite directamente o se forma en la atmósfera a partir de precursores como los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

#### **2.4.8. *Normativa Euro***

MINAM (2016) la norma Euro es una normativa comunitaria que se aprobó con el objetivo de unificar algunos aspectos del parque automovilístico de la Unión Europea. Estos aspectos no son otros que los relacionados con la emisión de partículas contaminantes. Así, gracias a la normativa Euro, los fabricantes que quieran comercializar sus vehículos dentro de Europa están obligados a crear motores capaces de reducir notablemente las emisiones perjudiciales para el entorno, un camino que lleva recorriéndose ya durante algunos años intentado reducir el impacto ambiental de la industria automotriz.

#### **2.4.8.1. Norma Euro en Perú**

MINAM (2016) Las tecnologías vehiculares que permiten la reducción de emisiones de gases y partículas producto de la combustión de diésel y gasolina, vienen evolucionando y con ello la industria automotriz. En Perú, la tecnología Euro I fue exigida a partir del año 2001 con la promulgación del D.S. 047-2001-MTC límites máximos permisibles de emisiones para vehículos automotores que circulen por la red vial por el Ministerio de Transportes. Esto fue coordinado con el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM). Posteriormente en el año 2003 se implementó la tecnología Euro II, la que se debía aplicar hasta el año 2007, año en el que estaba previsto cambiar a Euro III.

Sin embargo, el Euro III solo pudo aplicarse en dicho año a los vehículos gasolineros, porque el diésel tenía un alto contenido de azufre (más de 5000 ppm) lo cual hacía inviable su empleo para esta tecnología. Recién el año 2015, con la importación de combustibles limpios y la mejora parcial de procesos de producción de las dos principales refinerías (Talara y Pampilla) se pudo implementar el Euro III en vehículos diésel. A su vez, preocupados por la calidad del aire, el MINAM logró establecer mediante D.S. 009-2012-MINAM que se comercialice diésel con bajo contenido de azufre en cinco departamentos: Lima, Arequipa, Cusco, Puno y Madre de Dios; hasta esa fecha solo existía este beneficio en las provincias de Lima y Callao, dispuesto por Decreto Supremo N° 061-2009-EM. Mejor aún, en el año 2015 mediante Decreto Supremo N° 009-2015-MINAM se logró sumar tres nuevos departamentos con combustible limpio: Junín, Moquegua y Tacna, a los cinco departamentos establecidos en el año 2012.

#### **2.4.8.2. Reglas para el parque automotor**

MINAM (2016) las normas para el parque automotor se establecen por dos aspectos fundamentales: seguridad y protección ambiental, vinculada a la salud de las personas. La tendencia mundial es reducir los accidentes automovilísticos y la contaminación proveniente de los vehículos, ya que ambos, son las principales causas de muertes en el mundo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) en un informe publicado el año 2014, señala que en el año 2012, unos 7 millones de personas murieron como consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica (uno de cada ocho casos del total de muertes en el mundo) (p. 3).

#### **2.4.8.3. Principales contaminantes del aire**

MINAM (2016) los contaminantes del aire en las ciudades son definidos por la Organización Mundial de la Salud en las Guías de Calidad del Aire, las cuales se basan en pruebas científicas relativas a la contaminación del aire y sus consecuencias para la salud. Dentro de estos contaminantes se considera a:

- Material Particulado (PM10)
- Material Particulado (PM2.5)
- Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)
- Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)
- Hidrocarburos totales
- Hidrógeno Sulfurado (H<sub>2</sub>S)
- Plomo Pb

- Ozono (O<sub>3</sub>)

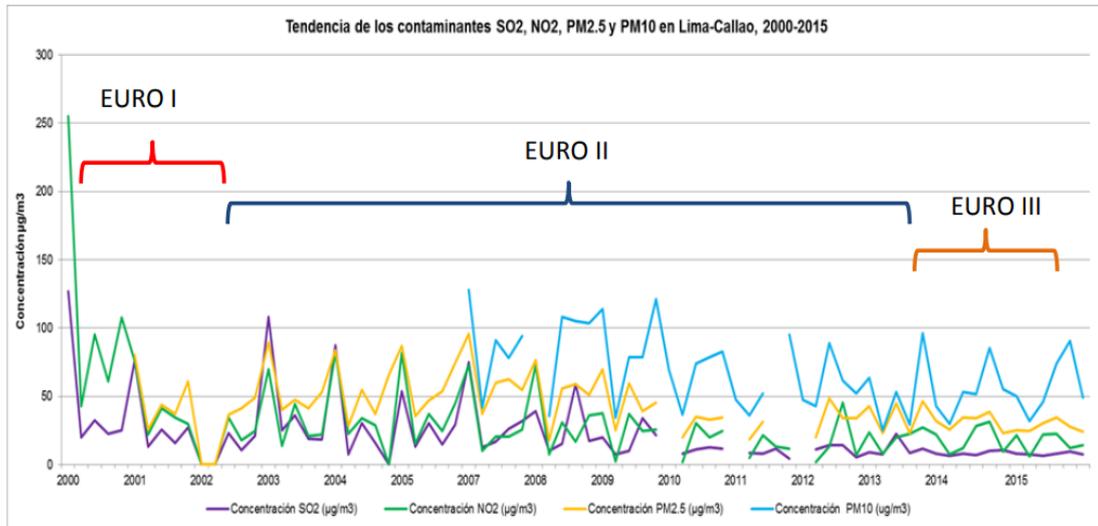
La mayoría de ellos proviene del parque automotor, a excepción del ozono (contaminante secundario). En el Perú, el plomo fue retirado como aditivo de la gasolina en el año 2005 y hoy ya no es un problema en los combustibles líquidos.

#### ***2.4.8.4. Mejora en la calidad del aire mediante la aplicación de las normas Euro***

La regulación de emisiones vehiculares en nuestro país ha permitido la reducción de estos contaminantes, tal como puede apreciarse en Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao que representa al 65% del total del parque automotor y representa el 30% de la población total del país.

Los resultados de la vigilancia de la calidad del aire realizados por la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA en Lima y Callao durante el periodo 2000 – 2015 evidencian una disminución continua en la concentración de los contaminantes. Así se puede observar un descenso del 72,8% en la concentración del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), 81,9% en la concentración del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>); mientras que las concentraciones del material particulado (PM<sub>10</sub>) y material particulado (PM<sub>2.5</sub>) disminuyeron en 41,2% y 32,5% respectivamente

*Ilustración 1. Tendencia de los contaminantes*



Fuente: DIGESA 2000-2015.

#### 2.4.8.4.1. Principales ventajas

- I. Reducción en el consumo de diésel de hasta un 6%, comparado con los motores Euro 3.
- II. Optimización en la performance de los motores diésel. La combustión se optimiza, sin importar los NO<sub>x</sub> generados, ya que los mismos serán tratados luego en el sistema SCR.
- III. Los motores con tecnología SCR, generan menos partículas – PM – (formadas por la combustión incompleta) que los motores con tecnología EGR (Exhaust Gas Recirculation), por lo que los filtros que separan las mismas, tienen una mayor durabilidad.
- IV. Mayores intervalos entre los cambios de aceite, comparado con los motores Euro 3.

- V. El mantenimiento del sistema SCR no tiene costo extra alguno, el mismo está diseñado para durar toda la vida útil del vehículo.
- VI. Trabaja con distintas calidades de combustible (hasta 500ppm de azufre).
- VII. La tecnología SCR ha sido implementada y utilizada satisfactoriamente en toda Europa.

#### ***2.4.8.5. Aplicación de estándares de emisiones Euro en diferentes países de la región***

Perú a nivel de Sudamérica está en situación desventajosa; países como Chile, Brasil, Argentina y Colombia cuentan con normas más avanzadas como Euro IV y Euro V. En Europa ya se ha implementado Euro VI. Esto hace crítica la situación de la introducción de tecnologías Euro III, pues la tendencia mundial de los fabricantes es ya no producir Euro III por el cada vez menor tamaño del mercado.

*Tabla 1. Euro en diferentes países de la región*

	Chile	Colombia	Argentina	Brasil	Perú	Uruguay	Ecuador
Euro II							X
Euro III					X	X	
Euro IV		X					
Euro V	X		X	X			
Euro VI							

Fuente: Climate and Clean Air Coalition, 2015

### **2.4.9. Modelos de emisión**

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-México (2015) indica que para facilitar la integración de los inventarios de emisiones vehiculares, se utilizan modelos computacionales, éstos toman como datos de insumo las características de la flota vehicular, el nivel de actividad y otros factores locales, ya sea para determinar los factores de emisión o directamente la emisión de cada contaminante correspondiente a las condiciones de actividad y flota.

La mayoría de los modelos pueden generar directamente el valor total del inventario de emisiones; sin embargo, existen también modelos que generan como salida factores de emisión. Estos resultados pueden estar en función de un valor promedio ponderado del factor de emisión para toda la flota vehicular o una serie de factores de emisión desagregados por año modelo y tipo de vehículo. En ambos casos, el desarrollador del inventario debe multiplicar los factores calculados por el número de unidades y su actividad vehicular para obtener el valor estimado total del inventario.

#### **2.4.9.1. Modelo *MOBILE***

Western Governors Association (2017) afirma que el modelo *MOBILE* estima primeramente las ecuaciones de tasas básicas de emisión promedio (TBEs) para cada tipo de vehículo, modelo y año; es el primer paso para estimar los factores de emisión de vehículos automotores; estas ecuaciones teóricas básicas utilizadas no son visibles para el usuario real del modelo de factores de emisión; sin embargo, tanto éstas como los factores de emisión resultantes serán influenciados por los diversos parámetros de entrada del modelo (p.48).

Lara Gomes, y otros (2009) indican que el modelo MOBILE calcula el factor de emisión promedio para cada tipo de vehículo, estimando al mismo tiempo los factores de emisión para hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos totales, material particulado y SO<sub>2</sub>, seis contaminantes tóxicos (HAP's), y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); todo esto para 28 categorías vehiculares (p.21).

Lara Gomes, y otros (2009) indican que el programa ha ido evolucionado y su versión actual (MOBILE6.2) proporciona una herramienta analítica flexible que puede aplicarse a una variedad amplia de condiciones geográficas y de características de la flota vehicular. En este sentido, es importante mencionar que existe una versión denominada MOBILE6-MEXICO que fue adaptada y modificada a las características tecnológicas de la flota vehicular del país.

Western Governors Association (2017) indica que algunas de las aplicaciones primarias del modelo MOBILE6 han estado vinculadas al desarrollo de los inventarios estatales de emisión de fuentes móviles en Estados Unidos y en varios países del mundo donde predominan los vehículos con tecnología norteamericana, como es el caso de México.

Los factores de emisión calculados por MOBILE6 están dados para cada contaminante en gramos por milla (g/milla) y para cada tipo de vehículo considerado en la flota en cuestión. La estimación del inventario total se obtiene multiplicando esa cifra por una estimación de las millas totales recorridas (VMT, por sus siglas en inglés) por todos los vehículos, de cada tipo o categoría, en la zona durante el periodo de tiempo cubierto por el inventario (p.49).

Lara Gomes, y otros (2009) afirman que el MOBILE 6 cuenta con datos de emisiones base obtenidos a partir de pruebas controladas (temperatura, humedad, combustible), el modelo asume factores de deterioro con respecto al tiempo. El Mobile 6 realiza diversos ajustes a las emisiones base con respecto a condiciones propias de una localidad en específico; los factores de corrección, se basan en los siguientes aspectos:

- Velocidad promedio, por tipo de vialidad
- Temperatura
- Aire acondicionado
- Humedad
- Características de la gasolina (volatilidad, contenido de oxigenantes, detergentes, azufre, etc.)
- Emisiones de CO en frío
- Ciclo de prueba federal complementario

#### *2.4.9.1.1. Categorías vehiculares*

Western Governors Association (2017) afirma que modelo MOBILE6 calcula factores de emisión para 28 diferentes categorías vehiculares, las cuales son conformadas con base en criterios tales como uso del vehículo, tipo de combustible empleado, peso bruto vehicular y tecnología del motor.

Es importante destacar que MOBILE6 no incluye, dentro de sus categorías vehiculares, vehículos fabricados de acuerdo con normas de otros países como Japón o la Comunidad Europea.

La familia de modelos MOBILE están diseñados para estimar factores de emisión que consideran tanto las emisiones provenientes del escape como las emisiones evaporativas exclusivamente para los vehículos que circulan en vías y carreteras. Los factores de emisión para vehículos que operan fuera de camino, también llamadas fuentes móviles no carreteras (por ejemplo, aeronaves, locomotoras, equipo agrícola, equipo de construcción) (p.50).

Tabla 2. Categorías vehiculares en MOBILE6

Tipo de vehículo	Descripción
LDGV	Vehículos ligeros a gasolina (vehículos de pasajeros)
LDGT1	Camiones ligeros a gasolina 1 (PBV* de 0 a 2,722 Kg.; PP** de 0 a 1,701 Kg.)
LDGT2	Camiones ligeros a gasolina 2 (PBV de 0 a 2,722 Kg.; PP > 1,701 a 2,608 Kg.)
LDGT3	Camiones ligeros a gasolina 3 (PBV > 2,722 a 3,856 Kg.; PPA*** de 0 a 2,608 Kg.)
LDGT4	Camiones ligeros a gasolina 4 (PBV > 2,722 a 3,856 Kg.; PPA de 2,609 Kg. y mayores)
HDGV2b	Vehículos pesados a gasolina clase 2b (PBV > 3,856 a 4,536 Kg.)
HDGV3	Vehículos pesados a gasolina clase 3 (PBV > 4,536 a 6,350 Kg.)
HDGV4	Vehículos pesados a gasolina clase 4 (PBV > 6,350 a 7,258 Kg.)
HDGV5	Vehículos pesados a gasolina clase 5 (PBV > 7,258 a 8,845 Kg.)
HDGV6	Vehículos pesados a gasolina clase 6 (PBV > 8,845 a 11,794 Kg.)
HDGV7	Vehículos pesados a gasolina clase 7 (PBV > 11,794 a 14,969 Kg.)
HDV8a	Vehículos pesados a gasolina clase 8a (PBV > 14,969 a 27,216 Kg.)
HDV8B	Vehículos pesados a gasolina clase 8b (PBV > 27,216 Kg.)
LDDV	Vehículos ligeros diésel (autos de pasajeros)
LDDT12	Camiones ligeros a diésel 1 y 2 (PBV de 0 a 2,722 Kg.)
HDDV2b	Vehículos pesados a diésel clase 2b (PBV de 3,856 a 4,536 Kg.)
HDDV3	Vehículos pesados a diésel clase 3 (PBV > 4,536 a 6,350 Kg.)
HDDV4	Vehículos pesados a diésel clase 4 (PBV > 6,350 a 7,258 Kg.)
HDDV5	Vehículos pesados a diésel clase 5 (PBV > 7,258 a 8,845 Kg.)
HDDV6	Vehículos pesados a diésel clase 6 (PBV > 8,845 a 11,794 Kg.)
HDDV7	Vehículos pesados a diésel clase 7 (PBV > 11,794 a 14,969 Kg.)
HDDV8a	Vehículos pesados a diésel clase 8a (PBV > 14,969 a 27,216 Kg.)
HDDV8b	Vehículos pesados a diésel clase 8b (PBV > 27,216 Kg.)
MC	Motocicletas (a gasolina)
HDGB	Autobuses a gasolina (escolar y transporte urbano e interurbano)
HDDBT	Autobuses de transporte urbano e interurbano a diésel
HDDBs	Autobuses escolares a diésel
LDDT34	Camiones ligeros a diésel 3 y 4 (PBV > 2,722 a 3856 Kg.)

\*PBV – Peso Bruto Vehicular; \*\* PP – Peso de prueba; PPA – Peso de prueba alternativo

Fuente: Western Governors Association, 2017

#### *2.4.9.1.2. Contaminantes*

Lara Gomes, y otros (2009) indican que el MOBILE6 estima los factores de emisión para hidrocarburos, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), material particulado (proveniente de varios componentes como el desgaste de llantas y frenos, además de lo emitido por el escape del motor) y tóxicos como el benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), metil terbutil éter (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>O), butadieno (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>), formaldehído (CH<sub>2</sub>O), acetaldehído (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) y acroleína (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O) (p.19).

Western Governors Association (2017) afirma que la versión más reciente, MOBILE6.2, es la primera versión que tiene capacidad para estimar las emisiones de material particulado y de tóxicos de fuentes vehiculares. Los contaminantes para los cuales MOBILE6 es capaz de generar factores de emisión en unidades de gramos de contaminante emitido por milla recorrida se muestran en la siguiente tabla.

*Tabla 3. Contaminantes considerados en el modelo MOBILE6*

Contaminante	Descripción
HC	Hidrocarburos
CO	Monóxido de carbono
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono
PM <sub>1-10</sub>	Partículas desde 1.0 hasta 10.0 μ
Pb	Plomo
SO <sub>2</sub>	Bióxido de azufre
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
BENZ	Benceno
MTBE	Metil Terbutil Eter
BUTA	1,3-Butadieno
FORM	Formaldehído
ACET	Acetaldehído
ACRO	Acroleína

Fuente: Western Governors Association, 2017.

#### **2.4.9.2. Modelo MOVES**

INECC (2016) afirma que MOVES se desarrolló en Estados Unidos para reemplazar el modelo de emisiones vehiculares MOBILE, y la primera versión oficial del modelo se publicó en 2010. MOVES produce estimados de emisiones para todas las fuentes vehiculares que circulan en vialidades, para una amplia gama de contaminantes

criterio, gases de efecto invernadero y contaminantes tóxicos. Desde entonces, MOVES se actualizó hasta llegar a la versión actual, MOVES2014a, que también incluye fuentes de emisiones fuera de las vialidades, tales como equipo de construcción y agrícola (p.5).

Western Governors Association (2017) indica que este modelo es de plataforma múltiple y puede correr en una computadora de escritorio moderna, así como en paralelo en múltiples equipos. Este nuevo sistema permite estimar emisiones para un amplio rango de contaminantes, tanto de los vehículos que circulan en carretera como de los vehículos fuera de camino, y permite múltiples escalas de análisis, las cuales van desde intersecciones hasta la estimación de un inventario nacional.

Este nuevo sistema no será necesariamente un solo modelo, sino que abarcará las herramientas, los algoritmos, los datos y los conocimientos necesarios para su uso en todos los análisis de emisiones de fuentes vehiculares asociados al desarrollo de regulaciones, normas, inventarios y proyecciones, tanto regionales como nacionales. Su propósito es facilitar el desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes móviles y la evaluación de políticas con mayor resolución y menor incertidumbre que MOBILE6.

Otras versiones posteriores de prueba como el MOVES2006, MOVES2007 y MOVES 2008 incorporarán otros contaminantes, como el criterio y el NH<sub>3</sub>, y la versión MOVES 2009 será la versión final para vehículos en circulación que reemplazará el uso de MOBILE 6.2. Más adelante, saldrán las versiones que incorporarán lo relacionado a la estimación de emisiones de las categorías de fuentes móviles (p.50).

#### *2.4.9.2.1. Categorías vehiculares*

Western Governors Association (2017) indica que las emisiones provenientes de vehículos automotores están directamente relacionadas con la actividad y la caracterización vehicular. En MOVES el principal criterio de caracterización es el uso del vehículo y sobre esta base, la flota vehicular en circulación.

Bajo este concepto, los vehículos dentro de cada categoría de uso son reagrupados a partir de criterios como tipo de combustible, tecnología del motor, año modelo y peso del vehículo cargado. En la tabla 4 y 5 muestra algunos de los parámetros, dentro de cada criterio, que se emplean en la definición de las subcategorías de fuente (p.52).

Tabla 4. Categorías vehiculares en MOVES

Categorías	Descripción
Vehículos de pasajeros	Automóviles para uso de transporte particular
Camiones de pasajeros ligeros	Minivan, pickups, SUVs y otros vehículos de 2 ejes y 4 llantas utilizados principalmente para transporte personal
Camiones comerciales ligeros	Minivan, pickups, SUVs y otros vehículos de 2 ejes y 4 llantas utilizados principalmente para actividades comerciales. Se considera que estos camiones difieren de los camiones de pasajeros en términos de kilometraje anual recorrido, así como en sus patrones de operación por hora del día.
Camiones recolectores de basura	Camiones de recolección de basura o reciclaje. Se asume que difieren de otros tipos de camión en términos de su calendario de operación, distribución por tipo de vía y operación por hora del día
Camión de trayecto corto	Camiones con menos de 200 millas en su trayecto.
Camión de trayecto largo	Camiones con trayectos de más de 200 millas en su trayecto
Motorhome	Vehículo de motor construido sobre un chasis de camión o de autobús y diseñado para servir como una vivienda autónoma para viajes de recreo
Autobuses de ciudad a ciudad	Autobuses utilizados para el comercio de una ciudad a otra
Autobuses urbanos	Autobuses utilizados dentro de un área urbana
Autobuses escolares	Autobuses de transporte escolar
Camiones con combinación de trayectos cortos	Una combinación de camiones con la mayor parte de su operación con recorridos menores a 200 millas
Camiones con combinación de trayectos largos.	Una combinación de camiones con la mayor parte de su operación con recorridos mayores a 200 millas
Motocicletas	...

Fuente: Western Governors Association, 2017.

Bajo este esquema de caracterización de la flota vehicular, una categoría de fuente una combinación única de valores. Por ejemplo, todos los vehículos a gasolina con motores de combustión interna convencional, modelos 1993 a 1998, peso del vehículo cargado de entre 2 501 y 3 000 libras y un tamaño de motor menor a dos litros podrían definir una sola categoría de fuente o bins. En general, esta característica de conformar subcategorías o bins le otorga flexibilidad a MOVES para modelar diferentes mezclas de tecnologías vehiculares.

Tabla 5. Elementos considerados en la definición de subcategorías de fuente en la caracterización de la flota vehicular en MOVES

Tipo de combustible	Tecnología del motor	Peso del vehículo cargado (libras)	Tamaño del motor (litros)	Clase regulatoria	Grupo de año modelo*
Gasolina	Combustión	<500	<2.0	Motocicleta	1972 y ant.
	Interna	(motocicletas)	2.1-2.5	LDV	1973
Diésel	Convencional	500-700	2.6-3.0	LDT	1974
		(motocicletas)	3.1-3.5	HDG	1975
Gas Natural	Combustión	>700	3.5-4.0	PBV ≤14000 lbs	
Comprimido –	Interna	≤2000	4.1-4.5	HDG	1999
GNC	Avanzada	2001-2500	4.5-5.0	PBV >14000 lbs	2000
		2501-3000	>5.0	LHDD	2001-2010
Gas Licuado de	Híbrido con	3001-3500		MHDD	2011-2020
Petróleo - GLP	Combustión	3501-4000		HHDD	2021 y post.
	Interna	4001-4500		Autobuses	
Etanol	Avanzada	4501-5000		urbanos	
Metanol	Celda de	26,001-33,000			
	Combustible	33,001-40,000			
Hidrógeno gaseoso	Eléctrico	40,001-50,000			
		50,001-60,000			
		60,001-80,000			

Fuente: Western Governors Association, 2017.

\* Estos grupos de año modelo corresponden a los que se utilizan para estimar las emisiones de metano y óxido nitroso. Para estimar el consumo de energía y las emisiones para otros contaminantes los grupos de año modelo son diferentes.

A diferencia de MOBILE6, que sólo considera la generación de factores de emisión para vehículos que circulan en carretera, MOVES está siendo diseñado para estimar las emisiones provenientes tanto de los vehículos que circulan en carretera como de los vehículos fuera de camino. Esta estimación considera tanto las emisiones provenientes por el escape como las evaporativas, además de las emisiones de partículas por el desgaste de los frenos, desgaste de las llantas (p.53).

#### 2.4.9.2.2. Contaminantes

Western Governors Association, (2017) indica que la primera versión de MOVES, conocida como MOVES4, estima emisiones de óxido nitroso (NOx), metano (CH4) y bióxido de carbono (CO2), conocidos gases de efecto invernadero, en función del consumo de combustibles por tipo de vehículo. Sin embargo, como ya se ha dicho anteriormente, las futuras versiones de MOVES incluirán la opción de estimar emisiones de contaminantes criterio: hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y material particulado (PM). En MOVES2008 se incluye la estimación de contaminantes tóxicos, amoníaco (NH3), y dióxido de azufre (SO2).

Este último contaminante es estimado en función del contenido de azufre en los combustibles y el resto de los contaminantes mediante factores de emisión generados por el MOBILE6. Finalmente, MOVES será capaz de estimar las emisiones para todos estos contaminantes (p.54).

*Tabla 6. Contaminantes considerados en las diferentes versiones de MOVES*

Contaminantes			Descripción
MOVES2004	MOVES2006/7	MOVES2008	
N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono
	HC	HC	Hidrocarburos
	CO	CO	Monóxido de carbono
	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
	PM	PM	Partículas
		SO <sub>2</sub>	Bióxido de azufre
		NH <sub>3</sub>	Amoniaco
		Contaminantes tóxicos	

Fuente: Western Governors Association, 2017.

### 2.4.9.3. *Modelo IVE*

Western Governors Association (2017) afirma que el modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE) es un programa en lenguaje JAVA que permite la estimación de las emisiones de contaminantes criterio, contaminantes tóxicos y gases de efecto invernadero provenientes de vehículos automotores que circulan por carretera, considerando tanto las emisiones provenientes del escape como las evaporativas.

IVE fue desarrollado por la Universidad de California en Riverside, el Colegio de Ingeniería del Centro para la Investigación Ambiental y Tecnología, el Centro Internacional de Investigación en Sistemas Sustentables y la empresa Investigación en sistemas globales sustentables, con fondos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Considerando la insuficiente disponibilidad de datos en algunos países en vías de desarrollo y la falta de experiencia para usar de manera apropiada los modelos de emisiones más complejos, IVE fue diseñado para:

- Ser fácil de entender y usar
- Ser flexible en su uso
- Adaptarse a cualquier país
- Demandar pocos insumos
- Utilizar mediciones de campo
- Generar resultados “consistentes” con MOBILE6 (Ver manual de IVE)

De acuerdo con los resultados de un análisis comparativo de los resultados generados con diferentes modelos comúnmente empleados en la estimación de emisiones generadas por fuentes vehiculares, el modelo IVE genera resultados  $\pm 10\%$  diferentes respecto a las estimaciones generadas a partir del uso de los factores de emisión obtenidos con MOBILE6.

IVE ha sido utilizado para generar inventarios de emisiones vehiculares en ciudades como Shanghai y Beijing (China), Pune (India), Sao Paulo (Brasil), Lima (Perú), Santiago (Chile), Nairobi (Kenia), Almaty (Kazakhstan) y Los Ángeles (Estados Unidos) (p.56).

#### *2.4.9.3.1. Categorías vehiculares*

Western Governors Association (2017) indica que el modelo IVE estima las emisiones generadas por automóviles, motocicletas, camiones y autobuses. En lo particular, contempla un total de 7 categorías vehiculares, 1372 tecnologías predefinidas y 45 tecnologías adicionales no definidas. Las tecnologías predefinidas están agrupadas conforme a los siguientes parámetros:

- Tamaño del vehículo (7 subcategorías incluyendo camiones)
- Tipo de combustible (5 subcategorías)
- Uso del vehículo (3 subcategorías)
- Sistema de alimentación del combustible (3 subcategorías)
- Sistemas de control de emisiones evaporativas (varias subcategorías)
- Sistemas de control de emisiones por escape (varias subcategorías)

En la tabla 7 se detalla algunos de los criterios usados para definir las tecnologías vehiculares en el modelo IVE.

*Tabla 7. Criterios para definir las categorías vehiculares en IVE*

<b>Tipo de combustible</b>	<b>Alimentación del combustible</b>	<b>Uso del Vehículo</b>	<b>Tecnología de control de emisiones</b>	<b>Sistema de recuperación de vapores</b>
Gasolina	Carburador	Menos de 79,000 Km.	Convertidor catalítico de dos vías	Sin control de ventilación positiva
Diésel				Válvula de ventilación positiva
Gas Natural Comprimido - GNC	Inyección electrónica central o monopunto	Entre 80,000 y 161,000 Km.	Convertidor catalítico de tres vías	Válvula de ventilación positiva y control en el tanque de combustible
Gas Licuado de Petróleo - GLP			Vehículos de baja emisión	Control de emisiones evaporativas
	Inyección electrónica múltiple	Más de 161,000 Km..	Euro I, II, III, IV y V	

Fuente: Western Governors Association, 2017.

Al igual que en MOVES, una categoría vehicular es una combinación única de valores. Por ejemplo, una categoría vehicular pudiera quedar definida por todos los vehículos ligeros (con peso bruto vehicular inferior a 2 268 kilogramos), a gasolina con alimentación de combustible vía carburador, sin sistemas de control de emisiones, con menos de 79 000 kilómetros recorridos y tamaño de motor inferior a 1.5 litros. De manera similar a lo que ocurre con MOVES, esta flexibilidad en la definición de las categorías vehiculares le otorga a IVE la posibilidad de estimar las emisiones de diferentes mezclas de tecnologías vehiculares.

*Tabla 8. Ejemplo de algunas categorías vehiculares en IVE*

Categoría vehicular	Descripción
Automóvil/Camión ligero a gasolina; ligero	Son vehículos de pasajeros y camiones, a gasolina, de peso ligero (PBV $\leq$ 2268 Kg.), con un tamaño de motor menor a 1.5 litros
Automóvil/Camión ligero a gasolina; mediano	Son vehículos de pasajeros y camiones, a gasolina, de peso medio (2993Kg. > PBV > 2268 Kg.), con un tamaño de motor menor a 3 litros
Automóvil/Camión ligero a gasolina; pesado	Son vehículos de pasajeros y camiones, a gasolina, pesados (4082Kg. > PBV > 2993 Kg.), con un tamaño de motor mayor a 3 litros
Automóvil/Camión ligero a diésel; ligero	Son vehículos de pasajeros y camiones, a diésel, de peso ligero (PBV $\leq$ 2268 Kg.), con un tamaño de motor menor a 1.5 litros
Automóvil/Camión ligero a diésel; mediano	Son vehículos de pasajeros y camiones, a diésel, de peso medio (2993Kg. > PBV > 2268 Kg.), con un tamaño de motor menor a 3 litros
Automóvil/Camión ligero a diésel pesado	Son vehículos de pasajeros y camiones, a diésel, pesados (4082Kg. > PBV > 2993 Kg.), con un tamaño de motor mayor a 3 litros
Camión/autobús; ligero	...

Fuente: Western Governors Association, 2017.

### 2.4.9.3.2. Contaminantes

Western Governors Association (2017) indica que el modelo IVE estima las emisiones tanto de contaminantes tóxicos y gases de efecto invernadero. El listado detallado de las especies químicas para las cuales IVE es capaz de estimar las emisiones para las diferentes categorías vehiculares es mostrado en la tabla 9.

*Tabla 9. Contaminantes considerados en IVE*

Contaminante	Descripción
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CO	Monóxido de carbono
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
PM <sub>10</sub>	Partículas con diámetro menor a 10 $\mu$
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CH <sub>4</sub>	Metano
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
BENZ	Benceno
BUTA	1,3-Butadieno
ALD	Aldehídos

Fuente: Western Governors Association, 2017.

#### **2.4.9.4. Modelo COPERT**

Aresti (2014) afirma que COPERT es un modelo macroscópico para el cálculo del consumo de combustible de flotas de vehículos, así como también sus emisiones. Los modelos macroscópicos son aquellos que permiten estimar los consumos y emisiones de un gran número de vehículos, basándose en registros de actividad y la tipología de los vehículos de la flota. Particularmente, utiliza datos de la clase de vehículo, su concordancia con los niveles estándar de emisiones (categoría Euro) y datos de actividad, como por ejemplo la velocidad promedio de circulación, KRV, condiciones de circulación de los vehículos (porcentaje de circulación en ruta, urbano, y rural), entre otros. Además, se pueden ingresar datos de la composición del combustible y las condiciones climáticas promedio para el país en cuestión para realizar un cálculo más preciso de las emisiones y el consumo, ya que estos son factores que tienen gran influencia en el resultado final (p.10).

Western Governors Association (2017) afirma que el sistema de modelación de emisiones vehiculares fue desarrollado como una herramienta europea para calcular las emisiones provenientes tanto de vehículos en circulación como de vehículos fuera de camino (equipos con motores de combustión interna empleados en agricultura, silvicultura, residencial, industria, barcos y ferrocarriles). Es importante destacar que COPERT fue diseñado específicamente para estimar emisiones de vehículos fabricados de acuerdo con la legislación europea.

El desarrollo de COPERT fue financiado por la Agencia Europea de Medioambiente (EEA, por sus siglas en inglés), en el marco de las actividades del centro europeo de asuntos

del aire y cambio climático. Actualmente está en uso a nivel nacional en Bélgica, Bosnia, Croacia, Chipre, Dinamarca, Eslovenia, España, Estonia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo y Moldavia. Sin embargo, muchos otros países de la Unión Europea han preferido utilizar sus propios modelos, que son más complejos y precisos que este modelo genérico (p.59).

#### **2.4.9.5. *Categorías vehiculares***

Western Governors Association (2017) afirma que “COPERT estima emisiones generadas por vehículos a gasolina (con y sin plomo), diésel y GLP para seis categorías básicas de vehículos” (p.60).

*Tabla 10. Categorías vehiculares en COPERT*

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

Fuente: Western Governors Association, 2017.

Con el objeto de hacer una estimación de emisiones vehiculares más precisa, a partir de las categorías indicadas, COPERT puede construir subcategorías vehiculares con base en criterios tales como tipo de combustible, peso del vehículo, tamaño del motor, tecnología del

motor, etc. En la tabla 11, muestra algunas de las consideraciones específicas, dentro de cada criterio, que se emplean en la construcción de las subcategorías en COPERT.

*Tabla 11. Elementos considerados en la definición de subcategorías en COPERT*

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

Fuente: Western Governors Association, 2017.

Con este esquema de agregación de la flota vehicular, una subcategoría podría quedar conformada por todos los vehículos ligeros a gasolina, con motor de menos de 1.4 litros que cumple con la legislación establecida para los vehículos con tecnología Euro IV. El número de subcategorías preestablecidas en COPERT III es de 48, sin embargo, esta cifra puede variar de acuerdo a las necesidades del usuario.

### 2.4.9.5.1. Contaminantes

En la tabla 12, se muestra la lista completa de especies químicas para las cuales COPERT es capaz de estimar el inventario de emisiones de fuentes vehiculares. Una característica de este modelo es su capacidad para proporcionar información desagregada por especie sobre las emisiones de hidrocarburos, según Western Governors Association (2017).

*Tabla 12. Contaminantes considerados en COPERT*

Contaminante	Descripción
COV	Compuesto Orgánicos Volátiles
CO	Monóxido de carbono
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
PM	Partículas (diferentes diámetros)
CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono
CH <sub>4</sub>	Metano
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NH <sub>3</sub>	Amoniaco
SO <sub>2</sub>	Bióxido de azufre
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Se y Zn	Metales pesados: plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel, selenio y zinc, respectivamente.

#### 2.4.9.5.2. Insumos generales

Para estimar el inventario de emisiones para la región de interés, COPERT demanda que le sean suministrados los insumos que se muestran en la tabla 13.

*Tabla 13. Insumos demandados por COPERT*

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

Fuente: Western Governors Association, 2017.

#### 2.4.10. Tipos de emisiones

Ceballos Marcillo (2016) afirma que el método COPERT 4, de acuerdo a la fórmula (1), establece los factores de emisión en función de los tipos de emisiones que ocurren dentro del proceso de transformación energético, siendo estos:

#### 2.4.10.1. Emisiones en caliente (*hot emissions*)

Ceballos Marcillo (2016) indica que las emisiones en caliente se obtienen cuando el motor y los sistemas de control de emisiones (los que hubieren implementados de acuerdo a la tecnología de emisiones utilizada) han alcanzado la temperatura normal de funcionamiento. En su forma básica, las emisiones en caliente se pueden calcular a lo largo del tiempo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$E_{HOT} = e . m$$

Donde:

$E_{HOT}$ : es la emisión en unidades de nada por unidad de tiempo,

$e$ : es el factor de emisión en caliente en g/km y,

$m$ : es la actividad en distancia recorrida por unidad de tiempo.

Análogamente, la actividad en distancia recorrida por unidad de tiempo  $m$  se define de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$m = n . l$$

Donde:

$n$ : es el número de vehículos de cada una de las categorías definidas y,

$l$ : es la distancia media recorrida por los vehículos de cada categoría durante la unidad de tiempo dada.

En cuanto a los factores de emisión en caliente específico para autobuses, COPERT 4 hace referencia una recopilación de factores de emisión para esta tipología de vehículos bajo ciertos patrones de conducción. Dentro de los parámetros que influyen las emisiones en caliente en autobuses se puede citar la pendiente de la carretera y el grado de carga del

vehículo, por lo que de acuerdo al cambio de estos valores se definen funciones continuas de los índices de emisión de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = K + av + bv^2 + cv^3 + d + e + f$$

Donde:

$\varepsilon$ : es el índice de emisión en g/km para un autobús en escasa carga, en una carretera sin pendiente (0%),

$K$ : es una constante,

$a-f$ : son los coeficientes y,

$v$ : es la velocidad media del vehículo en km/h.

#### **2.4.10.2. Emisiones en frío (cold emissions)**

Ceballos (2016) indica que son las emisiones obtenidas en el período de calentamiento del sistema. Este tipo de emisiones se ve influenciada por varios factores externos: la velocidad media del vehículo, la temperatura ambiental y la distancia recorrida.

COPERT 4 no toma en cuenta las emisiones en frío para los autobuses ya que, tal como lo agrega [Martínez Aguado, Ruiz Rúa, & Muro Rodríguez, 2008], “el coche de pasajeros era el único tipo de vehículo sobre el que existían suficientes datos (...) los datos acerca de vehículos diésel equipados con catalizador eran demasiado escasos como para permitir realizar un análisis pormenorizado sobre esta subcategoría” (p.15).

Western Governors Association, (2017) indica que es importante indicar que, si bien es cierto COPERT 4 no hace una pormenorización de las emisiones en frío para los autobuses, en la realidad según el método MEET, el exceso de emisión producido con el

motor en frío es igual al producido por los vehículos de carga pesada de igual peso. Aunque el peso de los autobuses y autocares varía significativamente (p.59).

#### **2.4.10.3. Emisiones por evaporación (*evaporative emissions*)**

Ceballos (2016) muestra que este tipo de emisiones se producen debido a la evaporación que se produce a través del sistema del carburante del vehículo (depósito del combustible, carburador o sistema de inyección, conductos del combustible). Estas evaporaciones son consecuencia directa de aspectos como la volatilidad del carburante, la variación de la temperatura del ambiente y los cambios de temperatura que se producen en el sistema de combustible del vehículo durante el proceso normal de conducción.

Dentro de esta categoría de emisiones se distinguen cuatro tipos de pérdidas por evaporación:

- Pérdidas por llenado del depósito de combustible.
- Pérdidas diurnas por cambio de temperatura.
- Pérdidas por absorción de calor.
- Pérdidas por procesos con el vehículo en funcionamiento.

Ceballos Marcillo (2016) manifiesta que COPERT, en su análisis de emisiones y consumo de combustible para autobuses y autocares de tipo Diésel no hace inclusión mayoritaria de las emisiones por evaporación debido a la diferencia porcentual de información obtenida dentro del método CORINAIR para combustibles gasolina con respecto al anteriormente enunciado (p.17).

## **CAPÍTULO III**

### **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

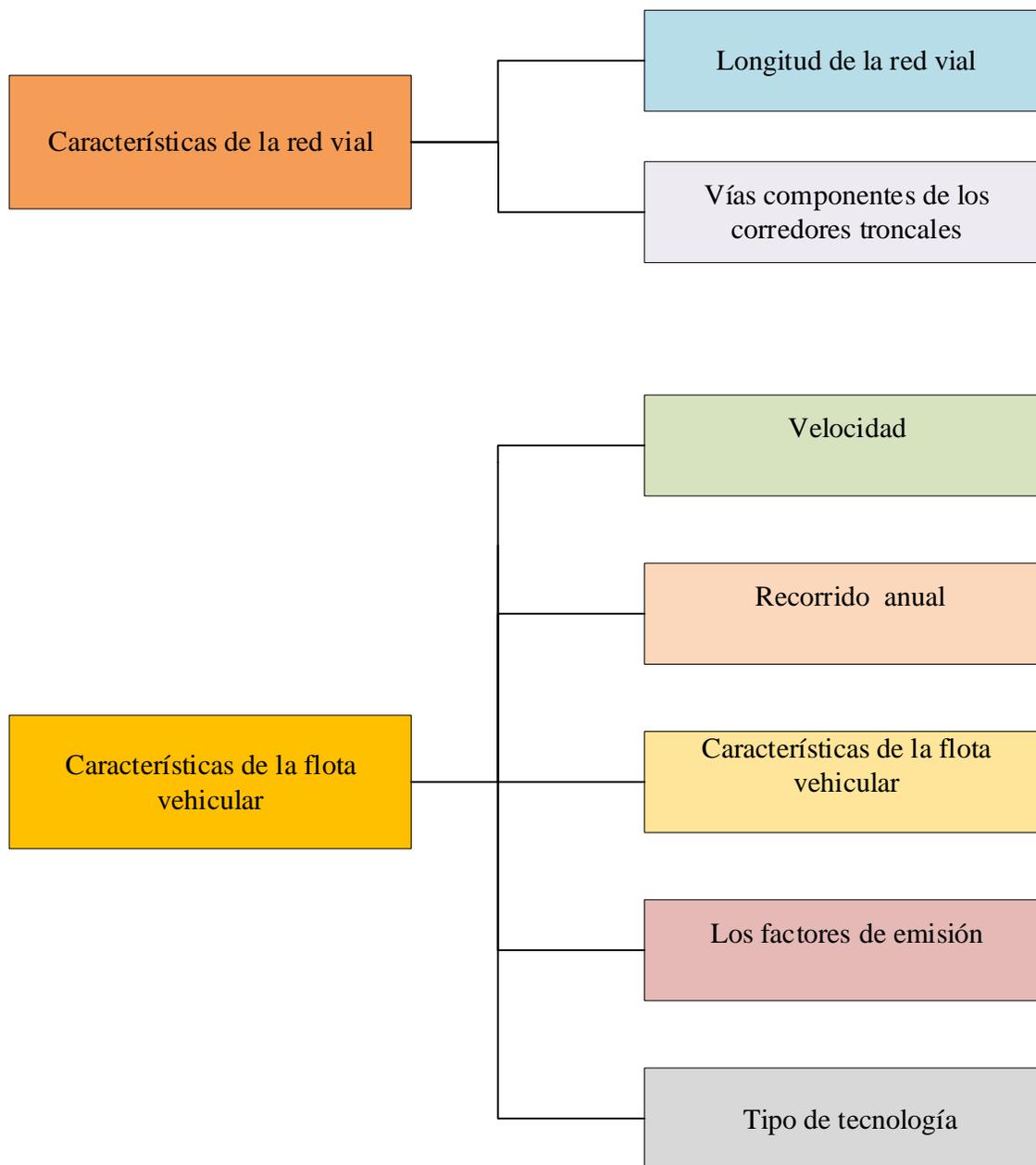
#### **3.1. Metodología**

La metodología utilizada para determinar las emisiones vehiculares que tendrá el corredor troncal I y troncal II de la ciudad de Arequipa se desarrolló de la siguiente manera:

Análisis de la red vial: las características de la red vial por donde circulara la flota de transporte.

Análisis de las características de la flota vehicular: tecnología vehicular y condiciones de operación.

*Figura 1. Estructura de la información para determinar las emisiones mediante el método COPERT modificado.*



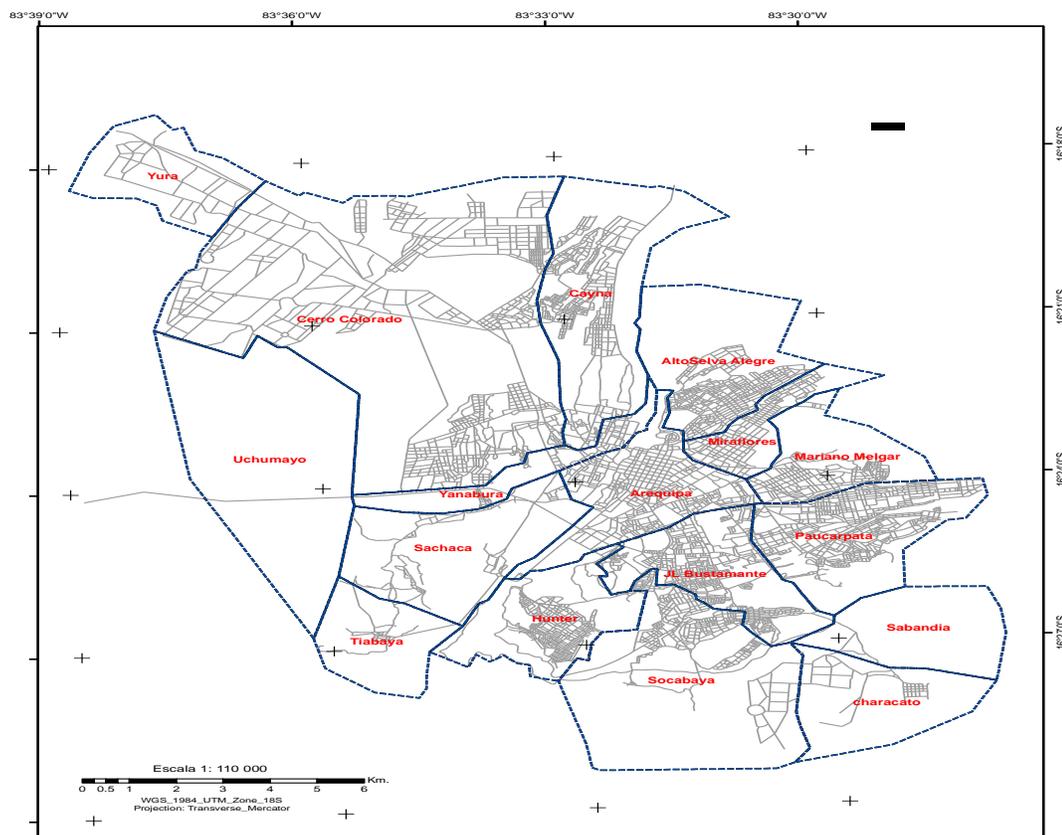
Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.1. Método

#### 3.1.1.1. Ubicación geográfica

El presente estudio se realizó en la ciudad de Arequipa que se encuentra localizada a una altitud 2 328 m.s.n.m.; la parte más baja de la ciudad se encuentra a una altitud de 2 041 m.s.n.m. en el sector denominado El Huayco en el distrito de Uchumayo y la más alta se localiza a los 2810 m.s.n.m. La parte central de la ciudad es atravesada por el río Chili de norte a suroeste que a su paso forma un valle denominado el valle de Arequipa o valle de Chili, que es protegido al norte y este por la faja cordillerana andina y hacia el sur y oeste, por las cadenas bajas de cerros.

*Ilustración 2. Mapa de la ciudad de Arequipa*



Fuente: Municipalidad provincial de Arequipa.

### ***3.1.1.2. Recorrido anual del transporte urbano del corredor troncal I y troncal II***

Para obtener el valor final de la emisión por unidad en toneladas por año, se requiere el recorrido anual que tendrá el transporte urbano de la troncal I y troncal II. Para ello, se adquirió datos del “Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa”.

- Recorrido por ciclo
- Recorrido por día
- Caracterización de la troncal
- Número de vueltas por bus/día
- Velocidad promedio

La flota requerida se refiere al 100%.

La demanda de viajes/día, para el cálculo de operación (Km recorridos) es programado en la etapa de operación efectiva; para la modelación financiera, se ha considerado que, de un periodo de 365 días anuales, 247 días son considerados útiles; dado que se identifican 52 días sábados, 52 días domingos y aproximadamente 14 días feriados, en los cuales la programación debe ser restringida, dado que los índices de demanda sufren una significativa variación. Según los análisis desarrollados por el equipo técnico de la municipalidad provincial de Arequipa, los días sábados representan un flujo aproximado del 60% de un flujo de demanda normal y los días domingos solo representan el 30% de la demanda normal; por lo tanto, los días equivalentes anuales para la estimación de demanda considerada para el estudio es de 298 días al año.

### ***3.1.1.3. Caracterización de la flota vehicular***

Para la caracterización de la flota vehicular, se consiguieron las siguientes características de los vehículos de transporte urbano:

#### **A. Carga vehicular**

Es la capacidad total de pasajeros que transportará el bus en el recorrido que tendrá el corredor troncal I y troncal II.

La carga vehicular de los buses será de 100 pasajeros por bus.

#### **B. Tecnología vehicular**

La tecnología vehicular constituye especificaciones de diseño y funcionalidad del bus a emplearse para el transporte urbano del corredor troncal I y troncal II de la ciudad de Arequipa, según la norma Euro. Los buses tendrán que tener como mínimo la Euro III.

#### **C. Tipo de combustible**

El combustible que utilizarán los buses del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa es Diésel.

#### **D. Velocidad promedio**

El kilometraje del bus que empleará en su recorrido por el corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa será de 25 km/h, esto indica una velocidad promedio de los buses.

#### **E. Año de fabricación**

El año de fabricación será a partir del año 2018.

### 3.1.1.4. Factores de emisión (FE)

Para el presente trabajo de investigación, se encontraron los factores de emisión propuestos por el estudio “Factores de Emisión de Referencia para Fuentes Móviles en Lima y Callao”, desarrollado por MTC/AB, Haninge, Suecia, Octubre 2 002, financiado por World Bank, para el Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio para Lima – Callao. El motivo principal para esta selección es que este estudio realiza una adaptación de los factores entregados por el modelo COPERT a la realidad local de Lima-Callao, el cual presenta un comportamiento vehicular similar al de la ciudad de Arequipa y de todo el país en cuanto al manejo, antigüedad y tipología vehicular. Utilizaremos estos factores de emisión para realizar las estimaciones de emisiones promedio de circulación y se tiene los factores de emisión por tipo de contaminante para cada categoría vehicular.

*Tabla 14. Factores de emisión para el “Escenario con Proyecto - Euro III”*

<b>Categorías</b>	<b>Vel.</b>	<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NOx</b>	<b>MP</b>	<b>SOx</b>
<b>Vehicular</b>	<b>km/hr</b>	<b>(gr/km)</b>	<b>(gr/km)</b>	<b>(gr/km)</b>	<b>(gr/km)</b>	<b>(gr/km)</b>
Bus Euro III (80 psj)	25	1.50	0.78	5.88	0.23	0.25
Bus Euro III (160 psj)	25	1.73	0.89	6.94	0.21	0.28

**Fuente:** Estudio de Línea Base Ambiental de COSAC (DEUMAN –WALSH).

La fórmula para hallar las emisiones del contaminante es la siguiente:

$$E_i = \frac{FE_i \left( \frac{gr}{Km} \right) \times R(Km) \times N^\circ \text{ bus} \times \frac{298}{año}}{1000000}$$

Donde:

$E_i$ : Emisiones (Tn/año) del contaminante considerado “i”.

$FE_i$ : Factor de emisión [g/km\*veh] del contaminante “i”,

R: Recorrido día promedio, (km).

N° bus: Cantidad total de buses.

### ***3.1.1.5. Caracterización de las emisiones del corredor troncal I y la troncal II***

Los contaminantes a considerar para la caracterización de emisiones de la troncal I y la troncal II del sistema integrado de transporte son las siguientes:

- Material Particulado (PM)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Hidrocarburos (HC)
- Óxidos de Nitrógeno (NOx)
- Óxidos de azufre (SOx),

### **3.1.2. Tipo de la investigación**

Es una investigación de tipo documental, exploratoria, descriptiva, no experimental, cuya finalidad es estimar las emisiones de las fuentes móviles del transporte urbano.

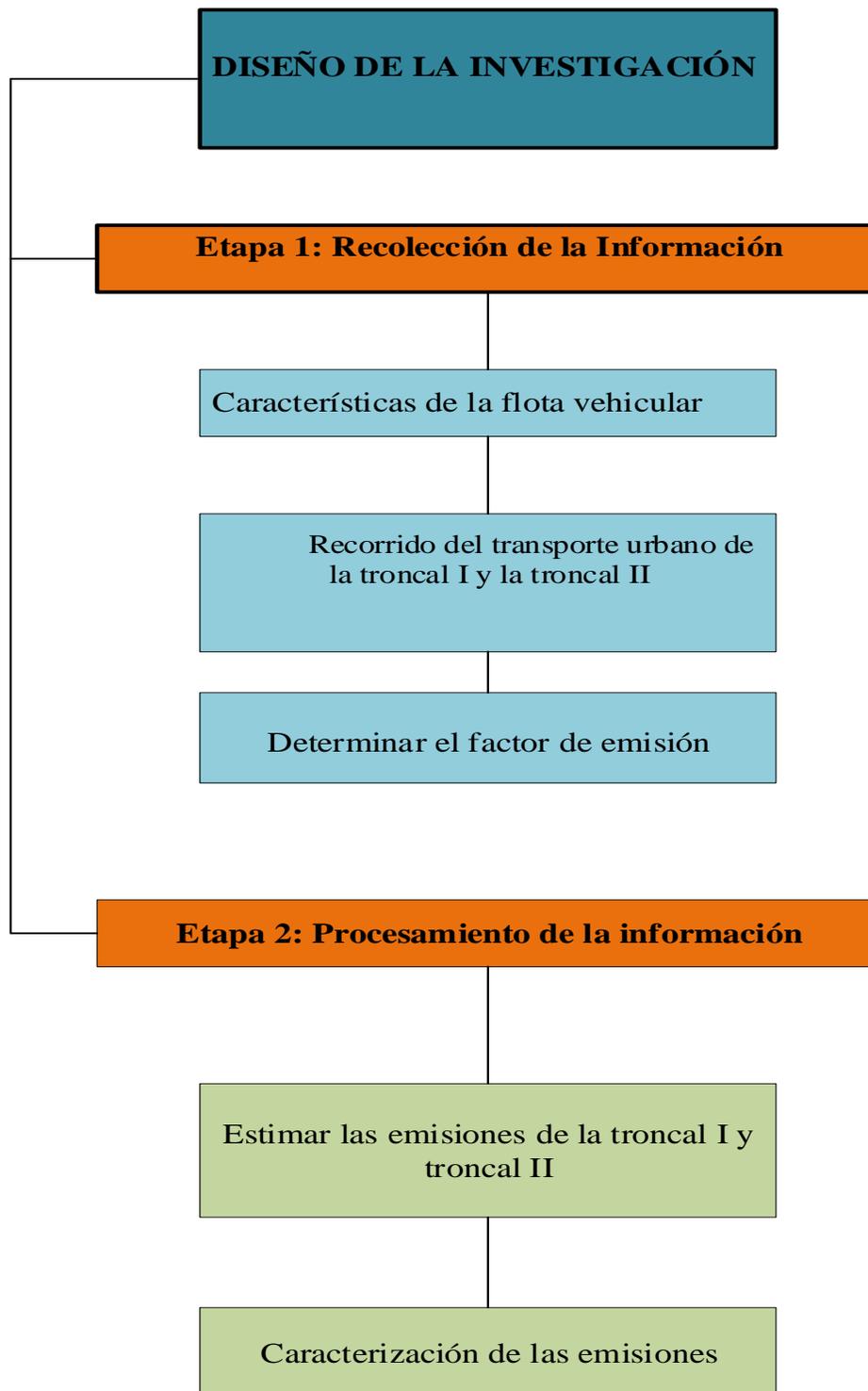
### **3.1.3. Nivel de la investigación**

Es una investigación aplicada.

### **3.2.Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es de tipo documental y de campo. La investigación se dividió en dos etapas con el fin de llevar un control de los datos y resultados.

Figura 2. Diseño de la investigación



Fuente: Elaboración propia.

### **3.3.Hipótesis de la investigación**

#### **3.3.1. Hipótesis general**

- Es probable estimar las emisiones del proyecto de transporte urbano del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte mediante el modelo COPERT adaptado de la ciudad de Arequipa – 2018.

#### **3.3.2. Hipótesis específicas**

- Será probable caracterizar la flota vehicular del transporte urbano de la troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.
- Es probable determinar el recorrido anual del transporte urbano de la troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.
- Es probable identificar los factores de emisión del modelo COPERT modificado.
- Es probable caracterizar las emisiones de la troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.

### 3.4. Variables

*Tabla 15. Variables e indicadores*

<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>
Variable independiente	
	Cantidad de vehículos
Flota Disponible	Tipo de vehículos Año de fabricación
Kilómetros recorridos por vehículo	Cantidad de kilómetros
Factores de emisión	Factores de emisión
Combustible consumido	Tipo de combustible
Variable dependiente	
CO	
NO <sub>x</sub>	
SO <sub>x</sub>	Tipo de contaminante
PM	Emissiones por contaminantes ton/año
HC	
Emissiones vehiculares	

Fuente: Elaboración propia.

### **3.5.Cobertura del estudio**

#### **3.5.1. Universo**

El universo está determinado por el Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.

#### **3.5.2. Población**

La población está determinada por las vías componentes del corredor troncal I y troncal II y flota vehicular.

#### **3.5.3. Muestra**

La muestra está determinada por las vías constituidas por el corredor troncal I y troncal II y flota vehicular.

Las vías componentes del corredor troncal I son las siguientes:

- Av. Salaverry
- Av. Socabaya
- Av. Garcilaso de la Vega
- Av. Perú
- Ov. El Avelino
- Av. Daniel Alcides Carrión
- Malecón Socabaya
- Av. Mariscal Cáceres
- Av. San Juan de Dios
- Ca. Jerusalén
- Av. Juan de la Torre
- Av. La Marina
- Rampa Pte. Bajo Grau
- Av. El Ejército
- Av. Pumacahua
- Av. Aviación
- Carretera a Yura

Las vías componentes del corredor troncal II son las siguientes:

- Av. Salaverry
- Av. Socabaya
- Av. Garcilaso de la Vega
- Av. Perú
- Ov. El Avelino
- Av. Daniel Alcides Carrión
- Malecón Socabaya
- Gutiérrez de la Fuente
- Av. Jorge Chávez
- Av. Goyeneche
- Av. Progreso
- Av. Arequipa
- Av. Juan de la Torre
- Av. La Marina
- Pte. Bajo Grau
- Av. Ejército
- Av. Pumacahua
- Av. Aviación
- Carretera a Yura

### **3.6. Técnicas e instrumentos**

Se ha participado directamente realizando los cálculos.

Se ha realizado el trabajo bajo esquemas definidos por el procedimiento del cálculo de emisiones.

#### **3.6.1. Técnicas de la investigación**

Se han utilizado las siguientes técnicas:

- Entrevistas
- Análisis documental

#### **3.6.2. Instrumentos de la investigación**

Para las técnicas anteriormente mencionadas, se utilizaron los siguientes instrumentos de investigación:

- Guías para entrevistar.
- Uso de Hoja de cálculo Excel.
- Información sobre la flota vehicular del corredor troncal I y troncal I de la ciudad de Arequipa.

#### **3.6.3. Fuentes**

Municipalidad provincial de Arequipa, Sistema Integral de Transporte de la ciudad de Arequipa.

Las fuentes de información utilizados para la presente investigación fueron:

### **Información primaria**

- Libros
- Papers
- Artículos de organismos gubernamentales (Municipalidad provincial de Arequipa)
- Artículos de revistas científicas
- Tesis
- Páginas web

### **Información secundaria**

- Guías
- Base de datos referenciales
- Directorios

## **3.7. Procesamiento estadístico de la información**

### **3.7.1. Estadísticos**

La representación se realizó mediante gráficas y tablas para la presentación de resultados en Excel.

### **3.7.2. Técnica de comprobación de la hipótesis**

Para la verificación de la Hipótesis, se aplicó una regla lógica, que indica lo siguiente:

Si el antecedente (variable independiente) es verdadero y el consecuente (variable dependiente), verdadero; entonces, la hipótesis planteada será verdadera y se acepta la

proposición o enunciado. Esto se hará utilizando la prueba t de student. Las hipótesis asociadas a la prueba t-student son:

$$H_0: \beta_j = 0$$
$$H_1: \beta_j \neq 0$$

La hipótesis nula será rechazada considerando un nivel de significancia si:

$$|t_j| > t_{\nu, \frac{\alpha}{2}}$$

En donde  $\nu$  representa los grados de libertad de la distribución t-student. Por otro lado, la mayoría del software utilizado para diseños experimentales es el p-valor. En este sentido, utilizando el p-valor se rechaza  $H_0$ ; esto es, si el p-valor es menor que el nivel de significancia  $\alpha$ , caso contrario, se acepta la hipótesis nula. En este trabajo, se utiliza el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1.1. Recorrido anual del transporte urbano del corredor troncal I y troncal II**

Se obtuvo el recorrido anual que tendrá el transporte urbano del corredor troncal I y troncal II.

##### ***4.1.1.1. Corredor troncal I***

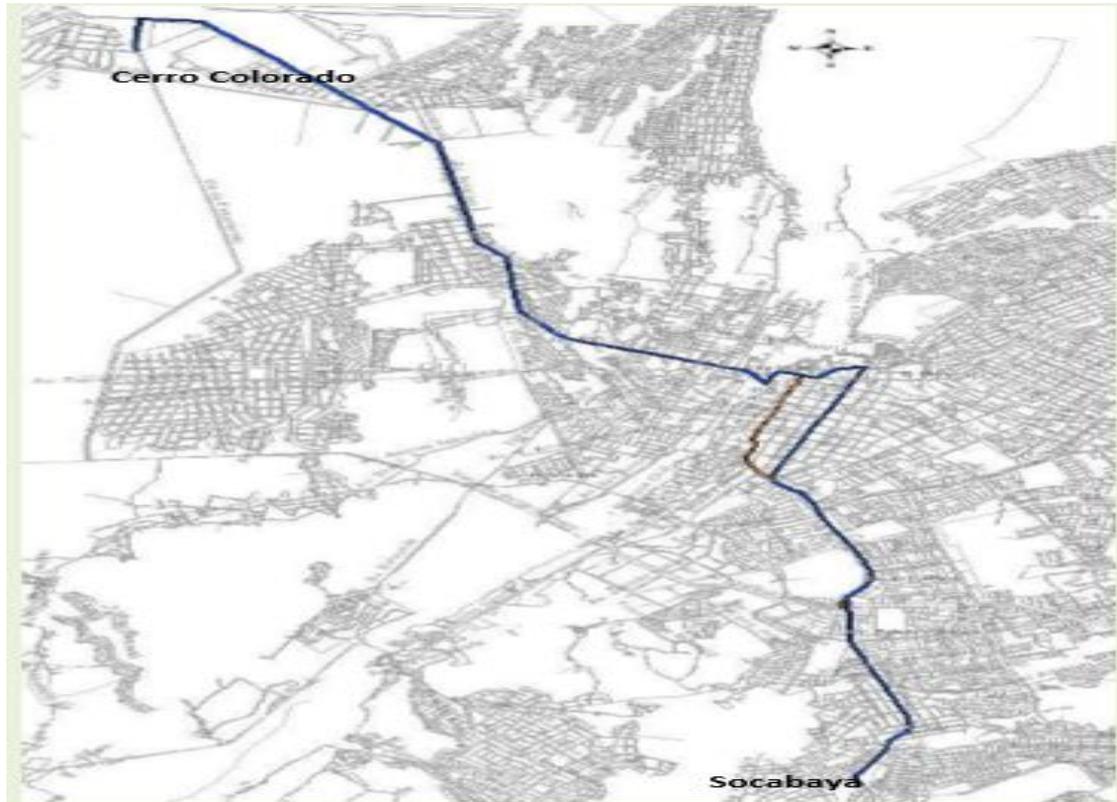
En la tabla 16, se muestra las avenidas que formarán parte del corredor troncal I; esta tendrá una dirección de sur-norte y norte-sur completando el ciclo de recorrido.

*Tabla 16. Recorrido de las avenidas de la troncal I del transporte urbano de la ciudad de Arequipa*

Troncal I	
Dirección Sur - Norte	Dirección Norte – Sur
Av. Salaverry – Av. Socabaya -	Carretera a Yura – Av. Aviación –
Av. Garcilaso de la Vega – Av. Perú – Ov.	Av. Pumacahua – Av. El Ejército –Pte.
El Avelino – Av. Daniel Alcides Carrión	Bajo Grau – CA. México – Av. La Marina
– Malecón Socabaya – Av. Mariscal	– Ca. San Lázaro – Ca. Bolívar – Ca.
Cáceres – Av. San Juan de Dios – Ca.	Sucre – Av. Salaverry – Av. Mariscal
Jerusalén– Av. Juan de la Torre – Av. La	Cáceres – Malecón Socabaya – Av.
Marina – Rampa Pte. Bajo Grau – Av. El	Daniel Alcides Carrión – Ov. El Avelino
Ejército – Av. Pumacahua – Av. Aviación	– Av. Perú - Av. Garcilaso de la Vega —
– Carretera a Yura	Av. Socabaya – Av. Salaverry

Fuente: Municipalidad Provincia de Arequipa.

*Ilustración 3. Ruta del corredor troncal alimentador código BT1*



Fuente: Municipalidad Provincia de Arequipa.

La ilustración 3, muestra el recorrido de la troncal I del corredor vial de la ciudad de Arequipa que tiene una longitud de 16,4 km, iniciando desde la carretera a Yura hasta la avenida Salaverry, haciendo un total de 32,8 km el ciclo entero de la troncal I.

La longitud del corredor de la troncal I tendrá un total de 32,8 km en un ciclo de recorrido, y el tiempo de recorrido será de 98 minutos por ciclo.

Entonces, se determinó el número de vueltas de los buses que pasarán por el corredor troncal I:

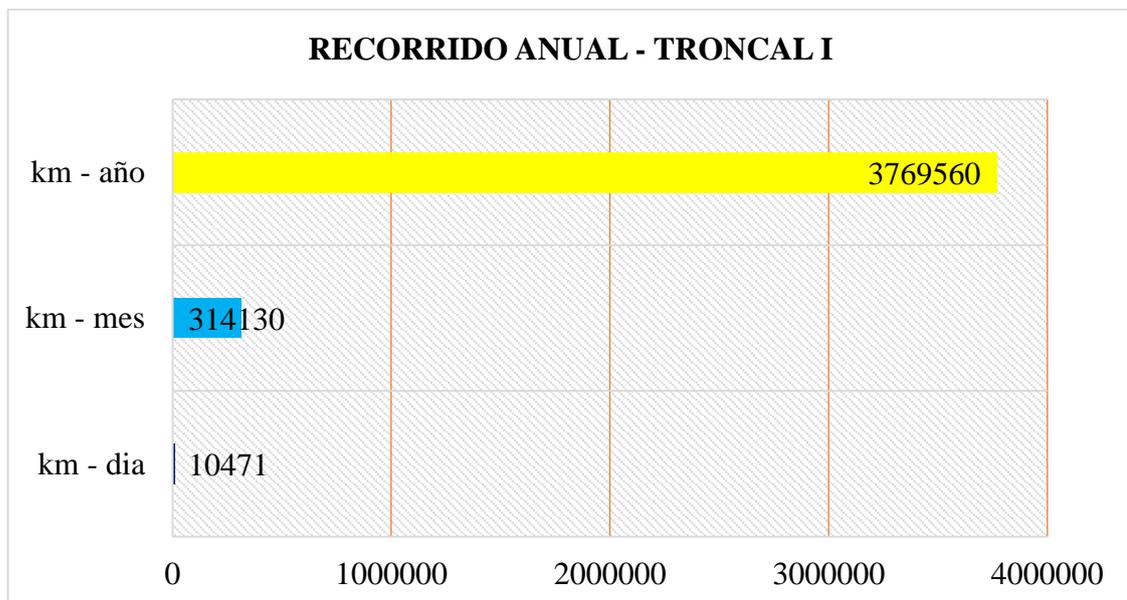
$$\text{N}^\circ \text{ VUELTAS} = \frac{\text{horas trabajo/día} * 1 \text{ vuelta}}{98 \text{ min}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ VUELTAS} = \frac{900 \text{ min} * 1 \text{ vuelta}}{98 \text{ min}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ VUELTAS} = 9 \text{ vueltas/día}$$

En el gráfico 1, se muestra el recorrido anual de los buses que pasarán por el corredor troncal I del Sistema Integrado de Transporte.

*Gráfico 1. Recorrido anual troncal I*



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1.2. Corredor troncal II**

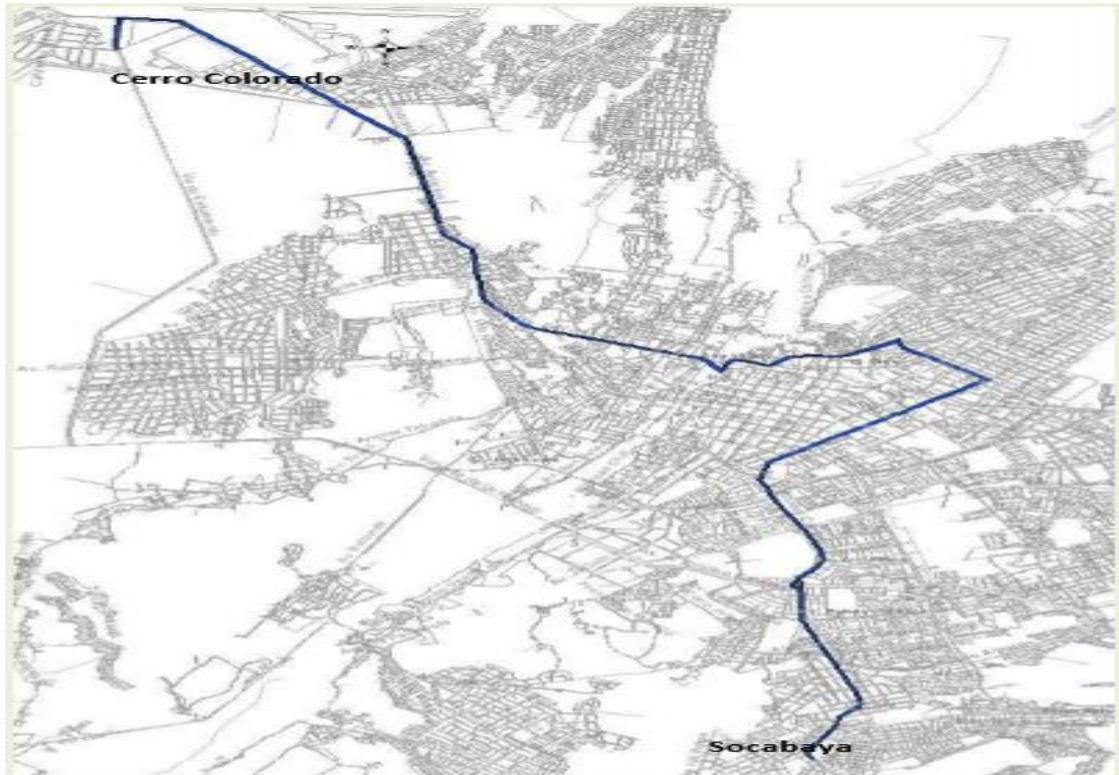
En la tabla 17, se muestra las avenidas que formarán parte del corredor troncal II; estas tendrán una dirección de sur-norte y norte-sur completando el ciclo de recorrido.

*Tabla 17. Recorrido de las avenidas de la troncal II del transporte urbano de la ciudad de Arequipa*

Troncal II	
Dirección Sur - Norte	Dirección Norte – Sur
Av. Salaverry – Av. Socabaya -	Carretera a Yura – Av. Aviación –
Av. Garcilaso de la Vega – Av. Perú – Ov.	Av. Pumacahua – Av. El Ejército –Pte.
El Avelino – Av. Daniel Alcides Carrión	Bajo Grau – CA. México – Av. La Marina
– Malecón Socabaya – Gutiérrez de la	– Av. Juan de la Torre – Av. Arequipa –
Fuente – Av. Jorge Chávez – Av.	Av. Progreso – Av. Goyeneche – Av.
Goyeneche – Av. Progreso– Av. Arequipa	Jorge Chávez – Av. Mariscal Cáceres –
– Av. Juan de la Torre –Av. La Marina –	Malecón Socabaya – Av. Daniel Alcides
Pte. Bajo Grau – Av. Ejército – Av.	Carrión – Ov. El Avelino – Av. Perú - Av.
Pumacahua – Av. Aviación – Carretera a	Garcilaso de la Vega — Av. Socabaya –
Yura.	Av. Salaverry

Fuente: Municipalidad provincia de Arequipa.

*Ilustración 4. Ruta del corredor troncal alimentador código BT2*



Fuente: Municipalidad provincia de Arequipa.

El corredor troncal II de la ciudad de Arequipa tendrá una longitud de 18,55 km, iniciando desde la carretera a Yura hasta la avenida Salaverry, haciendo un total de 37,1 km el ciclo entero de la troncal II.

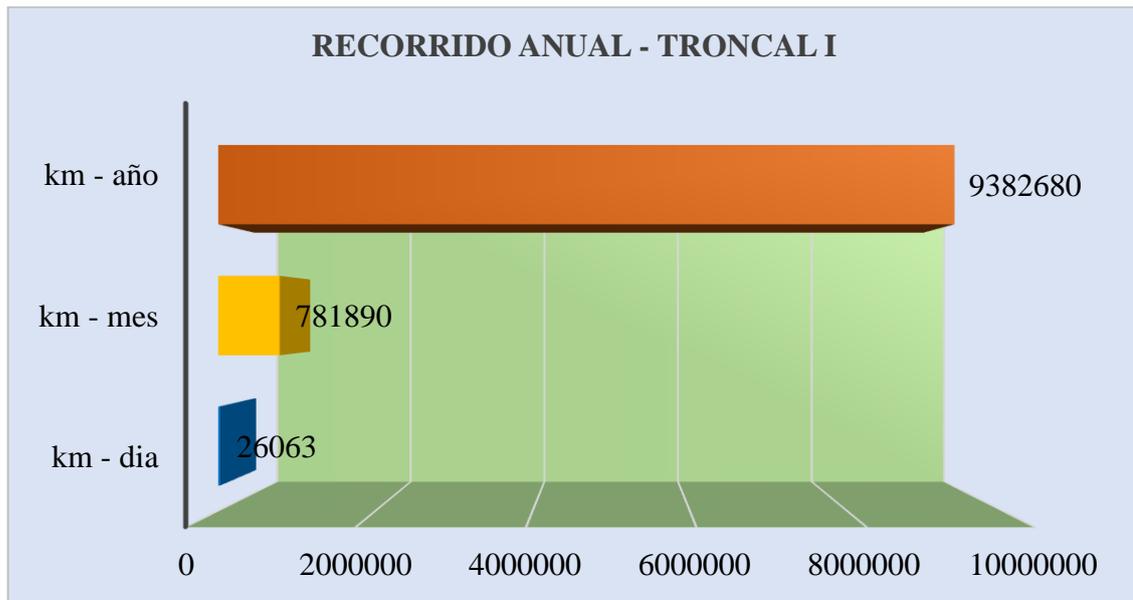
La longitud del corredor de la troncal II es de 37,1 km en un ciclo de recorrido, y el tiempo de recorrido es de 111 minutos por ciclo. Se determinó el número de vueltas que realizarán los buses de la troncal II:

$$\text{N}^\circ \text{ VUELTAS} = \frac{\text{horas trabajo/día} * 1 \text{ vuelta}}{111 \text{ min}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ VUELTAS} = \frac{900 \text{ min} * 1 \text{ vuelta}}{111 \text{ min}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ VUELTAS} = 8 \text{ vueltas/día}$$

Gráfico 2. Recorrido anual de la troncal II



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. Caracterización de la flota vehicular

La flota vehicular contará con 151 buses de los cuales, el corredor troncal I contará con 47 buses; estos se encargarán de transportar 126 838 pasajeros por día. El corredor troncal II contará con 104 buses que se encargarán de transportar 173 928 pasajeros por día.

La flota vehicular para el corredor troncal I y troncal II de la ciudad de Arequipa tendrán las siguientes características:

#### **4.1.2.1. Motor**

Los buses podrán estar propulsados por motores de ciclo Diésel, motores con suministro de Gas Natural Concentrado Vehicular – GNV, motores híbridos o eléctricos. Respecto al control de emisiones, debe cumplir como mínimo la Norma Euro III. Se aceptará la posición delantera o trasera del motor.

#### **4.1.2.2. Características ambientales mínimas de los buses**

El motor y los sistemas de control de emisiones de los buses, como mínimo, deberán cumplir con la norma Euro III o superior (bajo el ciclo de pruebas y valores límites de emisiones establecidos por la D.S. 047-2001-MTC). Deberá garantizarse que el bus cumpla las normas vigentes sobre niveles máximos de emisiones por fuentes móviles expedidas por el Ministerio del Medio Ambiente, lo cual será verificado por el ente regulador local.

#### **4.1.3. Identificación de los factores de emisión (FE)**

En esta etapa, se analizarán las variables relacionadas con el proceso de emisión de contaminantes; para el trabajo, se identificaron los factores de emisión que se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 18. Factores de emisión para el “Escenario con Proyecto – Euro III”*

<b>Categorías</b>	<b>Vel.</b>	<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NOx</b>	<b>MP</b>	<b>SOx</b>
<b>Vehicular</b>	<b>Km/hr</b>	<b>(gr/km)</b>	<b>(gr/km)</b>	<b>(gr/km)</b>	<b>(gr/km)</b>	<b>(gr/km)</b>
Bus Euro III (80 psj)	25	1.50	0.78	5.88	0.23	0.25
Bus Euro III(160 Psj)	25	1.73	0.89	6.94	0.21	0.28

Fuente: Estudio de Línea Base Ambiental de COSAC (DEUMAN –WALSH).

Fórmula para hallar las emisiones por contaminante:

$$E_i = \frac{FE_i \left( \frac{gr}{Km} \right) \times R(Km) \times N^\circ bus \times \frac{298}{año}}{1000000}$$

Donde:

$E_i$ : Emisiones (Tn/año) del contaminante considerado “i”.

$FE_i$ : Factor de emisión [g/km\*veh] del contaminante “i”,

R: Recorrido día promedio, (km).

$N^\circ bus$ : Cantidad total de buses.

#### **4.1.3.1. Procesamiento de información**

Se procesaron todos los datos requeridos en una hoja de cálculo para determinar las emisiones vehiculares.

*Ilustración 5. Datos para la determinación de emisiones por contaminante: corredor troncal I*

CORREDOR TRONCAL I							
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FE <sub>i</sub> (GR/KM)		"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)
Bus Euro III(80 Psj)	25	CO	1.5	229	47	298	1000000
Bus Euro III(80 Psj)	25	HC	0.78	229	47	298	1000000
Bus Euro III(80 Psj)	25	NO <sub>x</sub>	5.88	229	47	298	1000000
Bus Euro III(80 Psj)	25	PM	0.23	229	47	298	1000000
Bus Euro III(80 Psj)	25	SO <sub>x</sub>	0.25	229	47	298	1000000

Fuente: Elaboración propia.

*Ilustración 6. Datos para la determinación de emisiones por contaminante: corredor troncal II*

CORREDOR TRONCAL II							
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FE <sub>i</sub> (GR/KM)		"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)
Bus Euro III(80 Psj)	25	CO	1.5	251	104	298	1000000
Bus Euro III(80 Psj)	25	HC	0.78	251	104	298	1000000
Bus Euro III(80 Psj)	25	NO <sub>x</sub>	5.88	251	104	298	1000000
Bus Euro III(80 Psj)	25	PM	0.23	251	104	298	1000000
Bus Euro III(80 Psj)	25	SO <sub>x</sub>	0.25	251	104	298	1000000

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.3.2. Obtención de resultados**

Mediante la fórmula de E<sub>i</sub> (Emisiones [gr/km] del contaminante considerado "i"), se calculó la cantidad de emisión de cada contaminante que va generar el corredor troncal I y troncal II de la ciudad de Arequipa, Para lo cual se utilizó el factor de emisión de cada contaminante obtenidos del modelo COPERT modificado (adaptado para la ciudad de Lima y Callao).

Mediante la identificación de los factores de emisión, se determinó la cantidad de emisión de los contaminantes. Se aplicó la fórmula E<sub>i</sub> (Emisiones [gr/km] del

contaminante considerado), con el cual se calculó la cantidad de emisión de cada contaminante.

#### 4.1.3.3. Emisiones de CO

Estas emisiones están directamente relacionadas con los consumos de combustible, asumiéndose para el cálculo de CO que todo el carbono Contenido en el combustible es oxidado.

Entonces, se determinó la cantidad de emisión de CO:

$$Ei = \frac{FEi \left( \frac{gr}{Km} \right) \times R(Km) \times N^{\circ} bus \times \frac{298}{año}}{1000000}$$

Tabla 19. Factor de emisión del CO

Categorías Vehicular	Vel. Km/hr	CO (gr/km)
Bus Euro III (80 psj)	25	1.50

Fuente: Estudio de Línea Base Ambiental de COSAC (DEUMAN –WALSH).

Ilustración 7. Total de emisión de CO del corredor troncal I

CORREDOR TRONCAL I							
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEI (GR/KM)	"R" KM - DÍA BUS (KM)	N° BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	Ei (T/AÑO)
Bus Euro III(80 Psj)	25	CO 1.5	229	47	298	1000000	4.811 t/año

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 7, se muestra los datos para el cálculo de la generación total en un año de monóxido de carbono (CO), utilizando los factores de emisión para la Euro III y la fórmula de COPERT modificado. Se obtuvo 4.811 Tn/año de monóxido de carbono (CO) para el corredor troncal I.

*Ilustración 8. Total de emisión de CO del corredor troncal II*

CORREDOR TRONCAL II								
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEI (GR/KM)	"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	Ei (T/AÑO)	
Bus Euro III(80 Psj)	25	CO	1.5	251	104	298	1000000	11.668 t/año

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 8, se muestra los datos para el cálculo de la generación total en un año de Monóxido de Carbono (CO), utilizando los factores de emisión para la Euro III y la fórmula de COPERT modificado. Se obtuvo 11.668 t/año de Monóxido de Carbono (CO) para el corredor troncal II.

#### 4.1.3.4. Emisiones de HC

Los hidrocarburos (HC) no quemados son moléculas de combustible parcialmente oxidados.

Estos gases se deben a que por algún factor se impide que la mezcla se quemara correctamente dentro de la cámara de combustión.

Entonces, se determinó la cantidad de emisión de HC:

$$Ei = \frac{FEi \left( \frac{gr}{Km} \right) \times R(Km) \times N^{\circ} bus \times \frac{298}{año}}{1000000}$$

*Tabla 20. Factor de emisión del HC*

Categorías Vehicular	Vel. Km/hr	HC (gr/km)
Bus Euro III(80 Psj)	25	0.78

Fuente: Estudio de Línea Base Ambiental de COSAC (DEUMAN –WALSH).

*Ilustración 9. Total de emisión de HC del corredor troncal I*

CORREDOR TRONCAL I							
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEI (GR/KM)	"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	Ei (T/AÑO)
Bus Euro III(80 Psj)	25	HC 0.78	229	47	298	1000000	2.502 t/año

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 9, se muestra los datos para el cálculo de la generación total en un año de Hidrocarburos (HC), utilizando los factores de emisión para la Euro III y la fórmula de COPERT modificado. Se obtuvo 2.502 t/año de Hidrocarburos (HC) para el corredor troncal I.

*Ilustración 10. Total de emisión de HC del corredor troncal II*

CORREDOR TRONCAL II							
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEI (GR/KM)	"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	Ei (T/AÑO)
Bus Euro III(80 Psj)	25	HC 0.78	251	104	298	1000000	6.068 t/año

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 10, se muestra los datos para el cálculo de la generación de Hidrocarburos (HC) en un año, utilizando los factores de emisión para la Euro III y la

fórmula de COPERT modificado. Se obtuvo 6.068 t/año de Hidrocarburos (HC) para el corredor troncal II.

#### 4.1.3.5. Emisiones de NO<sub>x</sub>

El nitrógeno (NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O) se forma durante el proceso de combustión, cuando el combustible se quema a temperaturas elevadas dentro del motor del vehículo; entendiéndose a NO<sub>x</sub> como el nombre genérico.

Entonces, se determinó la cantidad de emisión de NO<sub>x</sub>:

$$E_i = \frac{FE_i \left( \frac{gr}{Km} \right) \times R(Km) \times N^{\circ} bus \times \frac{298}{año}}{1000000}$$

Tabla 21. Factor de emisión del NO<sub>x</sub>

Categorías Vehicular	Vel. Km/hr	NO <sub>x</sub>
Bus Euro III(80 Psj)	25	5.88

Fuente: Estudio de Línea Base Ambiental de COSAC (DEUMAN –WALSH).

Ilustración 11. Total de emisión de NO<sub>x</sub> del corredor troncal I.

CORREDOR TRONCAL I							
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FE <sub>i</sub> (GR/KM)	"R" KM - DÍA BUS (KM)	N° BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	E <sub>i</sub> (T/AÑO)
Bus Euro III(80 Psj)	25	NO <sub>x</sub> 5.88	229	47	298	1000000	18.859 t/año

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 11, se muestra los datos para el cálculo de la generación de Óxidos de Nitrógeno (NOx) para un año, utilizando los factores de emisión para la Euro III y la fórmula de COPERT modificado. Se obtuvo 18.859 t/año de Óxidos de Nitrógeno (NOx) para el corredor troncal I.

*Ilustración 12. Total de emisión de NOx del corredor troncal II*

CORREDOR TRONCAL II							
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEI (GR/KM)	"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	EI (T/AÑO)
Bus Euro III(80 P/sj)	25	NOx 5.88	251	104	298	1000000	45.740 t/año

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 12, se muestra los datos para el cálculo de la generación de Óxidos de Nitrógeno (NOx) para un año, utilizando los factores de emisión para la Euro III y la fórmula de COPERT modificado. Se obtuvo 45.740 t/año de Óxidos de Nitrógeno (NOx) para el corredor troncal II.

#### 4.1.3.6. Emisiones de material particulado

El material particulado emitido por el vehículo están formado principalmente de partículas gruesas (PM10) y partículas finas (PM2.5). Su fuente de origen viene determinada a partir de dos fuentes:

Partículas orgánicas formadas durante el proceso de combustión.

Entonces, se determinó la cantidad de emisión de PM:

$$Ei = \frac{FEi \left( \frac{gr}{Km} \right) \times R(Km) \times N^{\circ} bus \times \frac{298}{año}}{1000000}$$

*Tabla 22. Factor de emisión del PM*

<b>Categorías Vehicular</b>	<b>Vel. Km/hr</b>	<b>PM (gr/km)</b>
Bus Euro III(80 Psj)	25	0.23

Fuente: Estudio de Línea Base Ambiental de COSAC (DEUMAN –WALSH).

*Ilustración 13. Total de emisión de PM del corredor troncal I*

CORREDOR TRONCAL I								
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEI (GR/KM)	"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	Ei (T/AÑO)	
Bus Euro III(80 Psj)	25	PM	0.23	229	47	298	1000000	0.738 t/año

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 13, se muestra los datos para el cálculo de la generación total en un año de Material Particulado (PM), utilizando los factores de emisión para la Euro III y la fórmula de COPERT modificado. Se obtuvo 0.738 t/año de Material Particulado (PM) para el corredor troncal I.

*Ilustración 14. Total de emisión de PM del corredor troncal II*

CORREDOR TRONCAL II								
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEI (GR/KM)	"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	Ei (T/AÑO)	
Bus Euro III(80 Psj)	25	PM	0.23	251	104	298	1000000	1.789 t/año

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 14, se muestra los datos para el cálculo de la generación de Material Particulado (PM) para un año, utilizando los factores de emisión para la Euro III y la fórmula de COPERT modificado. Se obtuvo 1.789 t/año de Material Particulado (PM) para el corredor troncal II.

#### 4.1.3.7. Emisiones de SOx

El SOx se forma por la oxidación del azufre del combustible durante el proceso de combustión y dependen totalmente del contenido de azufre en el combustible.

Entonces, se determinó la cantidad de emisión de SOx:

$$E_i = \frac{FE_i \left( \frac{gr}{Km} \right) \times R(Km) \times N^{\circ} bus \times \frac{298}{año}}{1000000}$$

Tabla 23. Factor de emisión del SOx

Categorías Vehicular	Vel. Km/hr	SOx (gr/km)
Bus Euro III(80 Psj)	25	0.25

Fuente: Estudio de Línea Base Ambiental de COSAC (DEUMAN –WALSH).

Ilustración 15. Total de emisión de SOx del corredor troncal I

CORREDOR TRONCAL I							
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FE <sub>i</sub> (GR/KM)	R"KM - DÍA BUS (KM)	N° BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	E <sub>i</sub> (T/AÑO)
Bus Euro III(80 Psj)	25	SOx 0.25	229	47	298	1000000	0.802 t/año

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 15, se muestra los datos para el cálculo de la generación de Óxidos de Azufre (SOx) para un año, utilizando los factores de emisión para la Euro III y la fórmula de COPERT modificado. Se obtuvo 0.802 t/año de Óxidos de Azufre (SOx) para el corredor troncal I.

*Ilustración 16. Total de emisión de SOx del corredor troncal II*

CORREDOR TRONCAL II								
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEI (GR/KM)		"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	EI (T/AÑO)
Bus Euro III(80 Psj)	25	SOx	0.25	251	104	298	1000000	1.945 t/año

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 16, se muestra los datos para el cálculo de la generación total en un año de Óxidos de Azufre (SOx), utilizando los factores de emisión para la Euro III y la fórmula de COPERT modificado. Se obtuvo 1.945 t/año de Óxidos de Azufre (SOx) para el corredor troncal II.

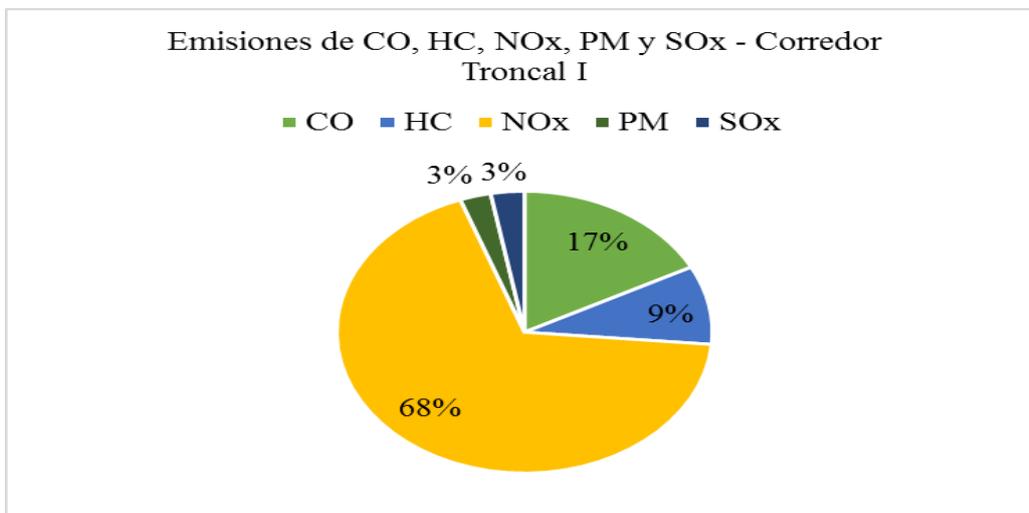
#### **4.1.4. Caracterización de las emisiones**

Para la caracterización de los contaminantes emitidos que tendrá la flota vehicular del corredor troncal I y troncal II, se determinó la cantidad de cada contaminante.

Una vez determinado las emisiones de cada contaminante se procedió a representar el porcentaje de emisión según el tipo de contaminante donde se obtuvieron las siguientes cantidades del corredor troncal I y troncal II.

En el gráfico 3, se puede ver que el mayor porcentaje de emisión se tiene al NOx con 68 %, CO con 17%, HC con 9%, mientras que el PM y SOx tienen una igualdad de 3%.

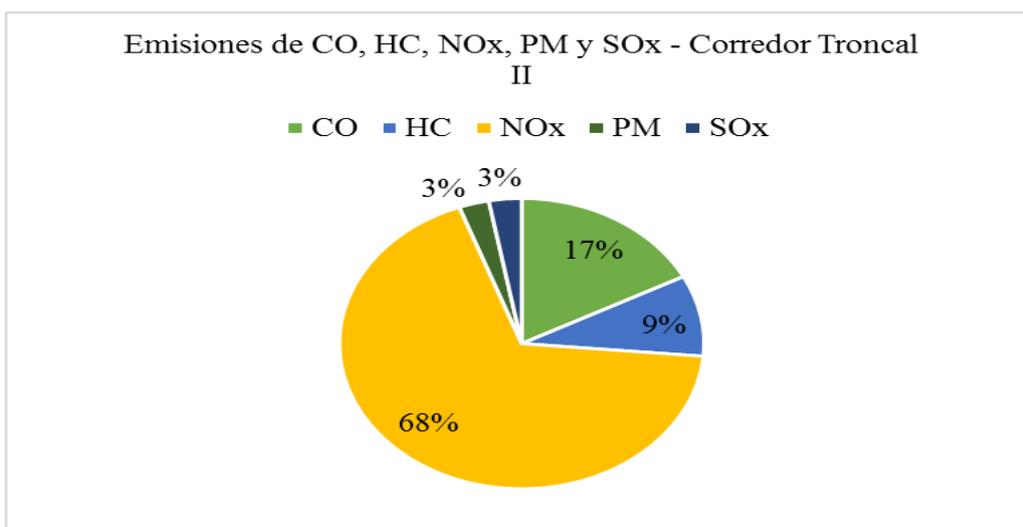
Gráfico 3. Emisión de contaminantes anual del corredor troncal I



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, se puede observar que en el gráfico 4 el mayor porcentaje de emisión se tiene al NOx con 68 %, CO con 17%, HC con 9%, mientras que el PM y SOx tienen una igualdad de 3%.

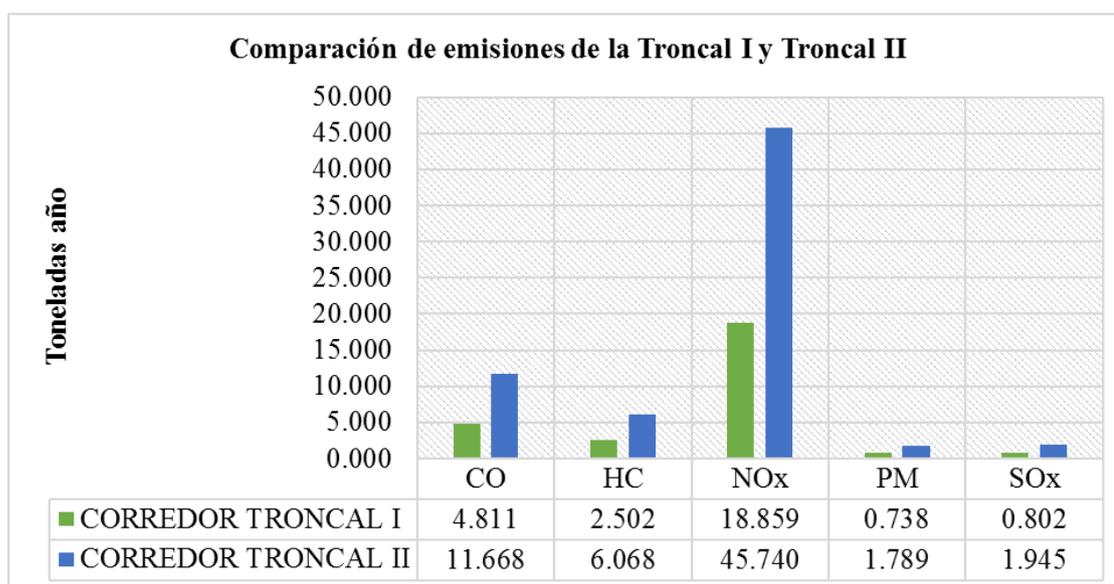
Gráfico 4. Emisión de contaminantes anual del corredor troncal II



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 5, se muestra una comparación entre el corredor troncal I y troncal II de las emisiones por contaminante. Se observa que el corredor troncal II ilustra mayor emisión que el corredor troncal I; esto se debe a que la distancia es mayor en el corredor troncal II, entonces, el recorrido diario y la cantidad de vehículos a circular en cada corredor troncal son diferentes.

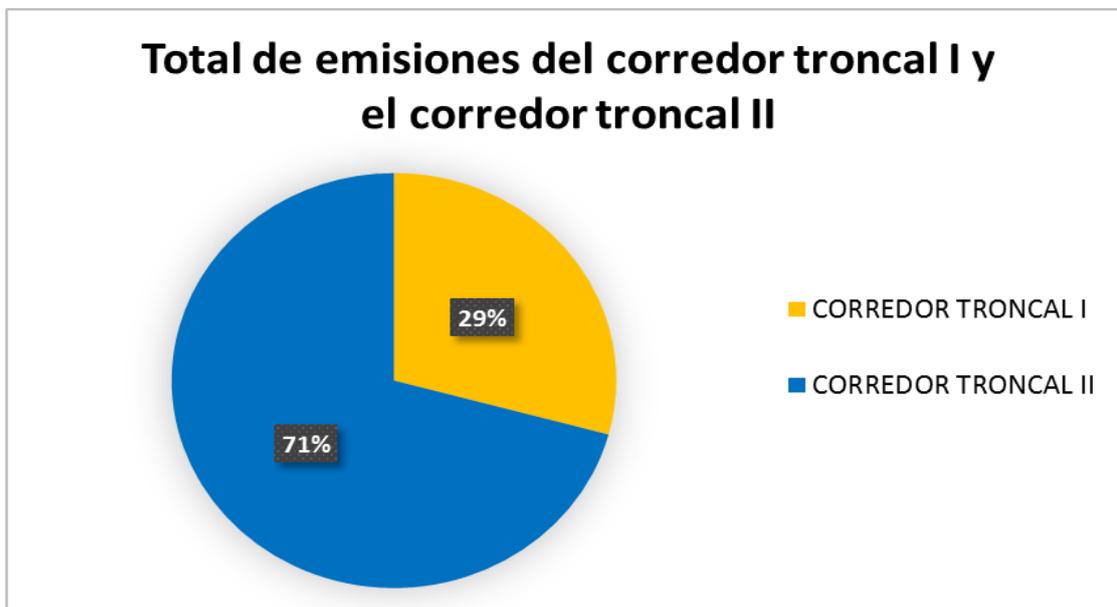
*Gráfico 5. Comparación de emisiones de la troncal I y troncal II anual*



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 6, se muestra el porcentaje del total de las emisiones donde el 71 % corresponde al corredor troncal II y el 29 %, al corredor troncal I.

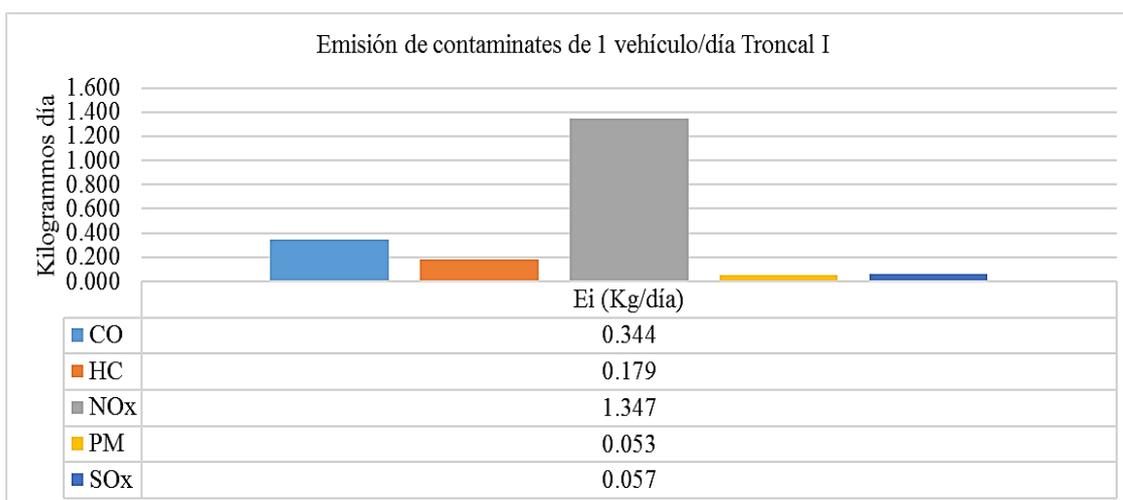
Gráfico 6. Total de emisiones del corredor troncal I y troncal II



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 7, se puede observar la emisión de los diferentes contaminantes de un solo vehículo durante 15 horas de trabajo en un día, con un recorrido de 223 km del corredor troncal I.

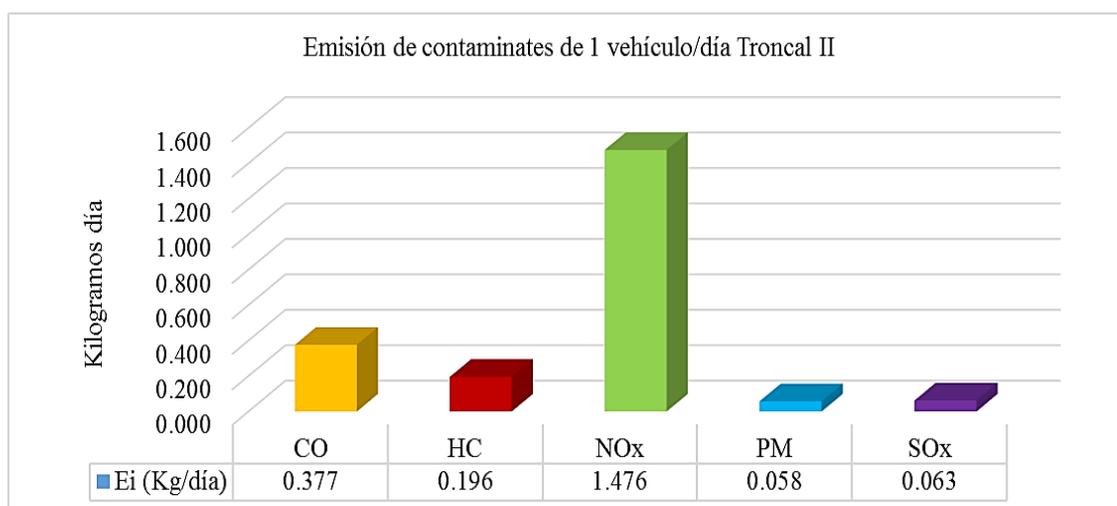
Gráfico 7. Emisión de contaminantes 1 vehículo/día – troncal I



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 8, se puede observar la emisión de los diferentes contaminantes, de un solo vehículo durante 15 horas de trabajo en un día, con un recorrido de 251 km del corredor troncal I.

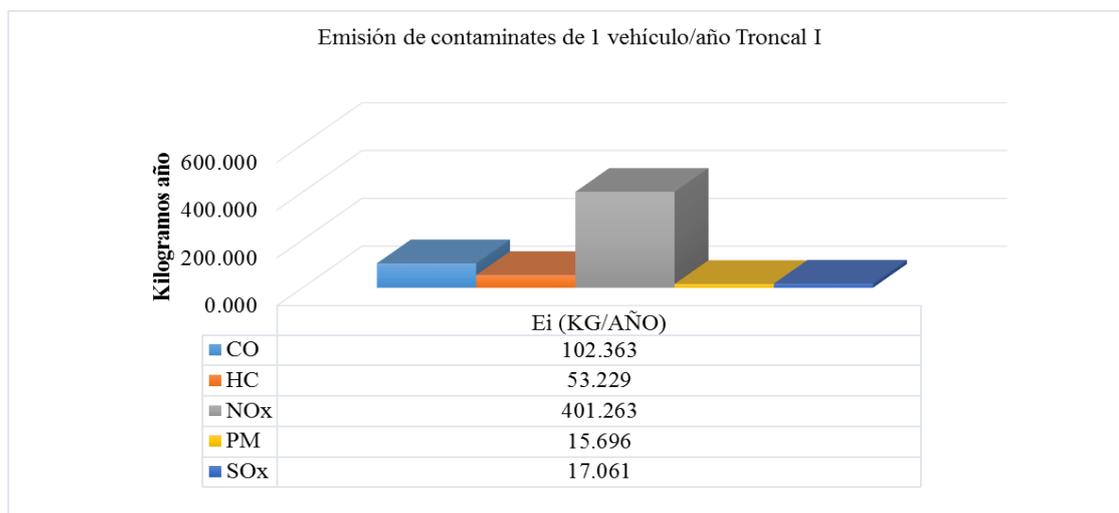
*Gráfico 8. Emisión de contaminantes 1 vehículo/día – troncal II*



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 9, se puede observar la cantidad de contaminantes emitidos por un solo vehículo durante un año, con un recorrido anual de 10 471 km del corredor troncal I.

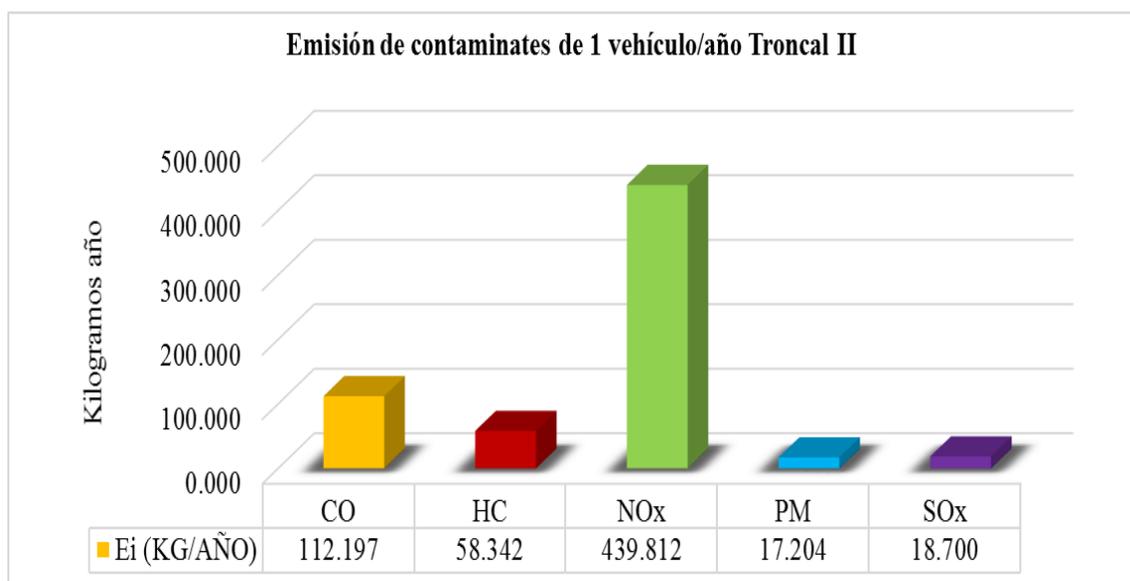
Gráfico 9. Emisión de contaminantes 1 vehículo/año – troncal I



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 10, se puede observar la cantidad de contaminantes emitidos por un solo vehículo durante un año, con un recorrido anual de 26 063 km del corredor troncal II.

Gráfico 10. Emisión de contaminantes 1 vehículo/año – troncal II



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5. Costo del proyecto

Tabla 24. Gastos del proyecto

	Unidad	Costo/Unidad	Tiempo	Costo total
<b>MATERIALES</b>				
Papel	2 millares	S/. 15.00		S/. 30.00
Lapicero	12 Und.	S/. 0.50		S/. 6.00
USB	1 Und.	S/. 30.00		S/. 30.00
Fólder	1 Und.	S/. 5.00		S/. 5.00
Anillados	10 Und.	S/. 5.00		S/. 50.00
Tinta de impresión	4 Und.	S/. 35.00		S/. 140.00
<b>Equipos</b>				
Laptop	1 Und.	S/ 3 000.00		S/. 3 000.00
Impresora	1 Und.	S/. 700.00		S/. 700.00
<b>SERVICIOS</b>				
<b>BÁSICOS</b>				
Luz		S/. 50.00	6 meses	S/. 300.00
Agua		S/. 24.00	6 meses	S/. 144.00
Internet		S/. 89.00	6 meses	S/. 534.00
Movilidad		S/. 1.00	6 meses	S/. 360.00
Alimentación		S/. 6.00	6 meses	S/. 3 240.00
<b>TOTAL</b>				<b>S/. 8 539.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

## **4.2. Contrastación de hipótesis**

### **4.2.1. Contraste de la hipótesis general**

H<sub>0</sub>: Dado los cálculos es probable estimar las emisiones de la troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte mediante el modelo COPERT modificado de la ciudad de Arequipa – 2018.

H<sub>1</sub>: Dado los cálculos no es probable estimar las emisiones de la troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte mediante el modelo COPERT modificado de la ciudad de Arequipa – 2018.

### **4.2.2. Contraste de hipótesis específicas**

H<sub>0</sub>: Dado la caracterización de la flota vehicular es probable obtener la cantidad de buses y características de los buses.

H<sub>1</sub>: Dada la caracterización de la flota vehicular no es probable obtener la cantidad de buses y características de los buses.

H<sub>0</sub>: Es probable determinar el recorrido anual del transporte urbano del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.

H<sub>1</sub>: No es probable determinar el recorrido anual del transporte urbano del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.

Ho: Mediante la identificación de los factores de emisión del modelo COPERT modificado es posible calcular las cantidades de los contaminantes.

H1: Mediante la identificación de los factores de emisión del modelo COPERT modificado no es posible calcular las cantidades de los contaminantes.

Ho: Dado los cálculos es posible caracterizar las emisiones del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.

H1: Dado los cálculos no es posible caracterizar las emisiones del corredor troncal I y troncal II del Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** La generación total de emisiones es de 94.922 t/año donde el corredor troncal I emitirá 27.712 t/año de contaminantes y la troncal II, 67.210 t/año de contaminantes.

**SEGUNDA:** Se tiene una flota vehicular de 47 buses para el corredor troncal I y para el corredor troncal II, 104 buses; estos buses cuentan con la norma Euro III como mínimo.

**TERCERA:** El recorrido anual de transporte urbano de la troncal I es de 3 769 560 km y de la troncal II, 9 382 680 km.

**CUARTA:** Se tiene el factor de emisión según la metodología COPERT modificada:

CO = 1.50 (gr/km)

MP = 0.23 (gr/km)

HC = 0.78 (gr/km)

SO<sub>x</sub> = 0.25(gr/km)

NO<sub>x</sub> = 5.88 (gr/km)

**QUINTA:** En el corredor Troncal I, se generó 27.712 t/año de emisiones, donde se tiene:

- 4.811 t/año de monóxido de carbono (CO)
- 2.502 t/año de hidrocarburo (HC)
- 18.859 t/año de óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)
- 0.738 t/año de material particulado (PM)
- 0.802 t/año de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>).

En el Corredor Troncal II, se generó 67.210 t/año de emisiones, donde se tiene:

- 11.668 t/año son de monóxido de carbono (CO)
- 6.068 t/año de hidrocarburo (HC)
- 45.740 t/año de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)
- 1.789 t/año de material particulado (PM)
- 1.945 t/año de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>)

## RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se sugiere actualizar todo el inventario de emisiones de la ciudad de Arequipa y determinar la reducción de emisiones con el Sistema Integrado de Transporte.

SEGUNDA: Renovar los factores de emisión del modelo COPERT, para el actual parque automotor del Perú con normativa Euro IV en adelante.

TERCERA: Este estudio servirá como fuente bibliográfica para futuras investigaciones que se pretendan realizar acerca de la cantidad de emisiones de CO, HC, NOx, PM, SOx el Sistema Integrado de Transporte de la ciudad de Arequipa u otras ciudades con similares características.

CUARTA: Se sugiere que las concesionarias cuenten con centros de suministro de combustible certificadas con las ISO 50001 Sistemas de Gestión de la Energía; ISO 29001 que se centra específicamente en la cadena de suministro de petróleo y gas; ISO 90001 Sistema de Gestión de la Calidad e ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aresti, M. (2014). *Inventario de Gases de Efecto del Transporte de Carga por carretera en Uruguay*.
- Bermudez, M. (2010). *Contaminación y turismo sostenible*.
- Carlecen Nava, E. A. (2014). *Estudio de Emisiones Atmosféricas de Buses Urbanos con Motores Diesel en Lima Callao con Base a la Metodología COPERT*.
- Carnicer, J. M. (2007). *Contaminación Ambiental*.
- Carnicer, J. M. (2008). *api.eoi.es*. Obtenido de [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45259/componente45257.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45259/componente45257.pdf)
- Ceballos Marcillo, J. J. (2016). *Simulación de Consumo de Combustible y Emisiones de Vehículos de Transporte Público de la Ciudad de Ambato*.
- COSAC (DEUMAN –WALSH). (2004). *Estudio de Línea Base Ambiental*.
- DIGESA. (2005). *Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas Cuenca Atmosférica de la Ciudad de Arequipa*.
- Flores Chaves, M. (2016). *Contaminación Ambiental: Su Impacto en la Salud de la Población de Arequipa Metropolitana*.
- Gantuz, M. A. (2004). *Fuentes Móviles y la Caracterización de Vías de Circulación: Una aproximación a los Modelos de Emisión Grillados*. Bariloche- Argentina: G. Buscaglia.
- Gobierno de Puerto Rico. (5 de 2 de 2011). *pr.gov*. Obtenido de <http://www2.pr.gov/agencias/jca/areasprogramaticas/biblioteca/documents/contaminacionaire.pdf>
- Gonzales Fernandes, E. (2013). *Herramientas de Evaluación de Emisión de CO<sub>2</sub> del Tráfico por Carretera*.

- INECC. (2016). *Programas para el Desarrollo de las Emisiones Bajas en Mexico* .
- Lara Gomes, C., Mendoza Sanchez, J., Lopez Dominguez, M., Tellez Guitierrez, R., Martines Molina, W., & Alonso Guzman, E. (2009). *Propuesta metodológica para la Estimacion de Emisiones Vehiculares en Ciudades de la Republica Mexicana*.
- Martinez, J. (2005). Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. *Instituto Nacional de Ecología*, 508.
- MINAM. (2016). *Preguntas y Respuestas para entender el caso de la EURO III*.
- Mora Peris , P., Segovia , S., Romay Díaz , M., Villa Jiménez, V., Lucas Martín , I., & Iturralde Pardo, L. (2014). *Guía de Métodos de medición y Factores de emisión del sector cementero en España*.
- Municipalidad Provincial de Arequipa. (2017). *Bases para la Tercera Convocatoria de la Licitacion Publica Especial para la Consecion de la Operacion del Servicio Urbano Masivo de Pasajeros del Sistema Integrado de Transporte de la Ciudad de Arequipa*.
- Municipalidad Provincial de Arequipa. (2017). *Licitacion de Operacion de Rutas del SIT*.
- Ntziachristos, L., & Zissis, S. (2016). *EMEP/EA Air Pollutant emission inventory guidebook*.
- OMS. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.
- Rodrigo, J. (2014). *Centro Zaragoza*. Obtenido de [http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala\\_prensa/revista\\_tecnica/hemeroteca/articulos/R2\\_A4.pdf](http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R2_A4.pdf)
- Schwarz, D. (2013). *Sistema Integrado de Transporte - Metro de Santiago Consultorías*.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales Mexico D.F. (2007). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES*. Mexico D.F.

Unversidad Pablo de Olavide. (2017). *upo.es*. Obtenido de [https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/CA\\_old/php/apuntesCA0607\\_Tema1.pdf](https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/CA_old/php/apuntesCA0607_Tema1.pdf)

Vargas Savedra, J. D. (2014). *Analisis de Nuevos Esenarios de Contaminantes del Parque Automotor Generados*. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1872/T01-S33-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Western Governors Association. (2017). *Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares en Ciudades Mexicanas*. Obtenido de Instituto Nacional de Ecología.

# **ANEXOS**

# **ANEXO 1**

**HOJAS DE CÁLCULOS DE ESTIMACIONES DE EMISIONES**

Hoja de cálculo para la estimación de emisiones.

CORREDOR TRONCAL I										
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEi (GR/KM)		"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	Ei (T/AÑO)	CONTRATO (AÑOS)	Ei (T/15 AÑOS)
Bus Euro III(80 Psj)	25	CO	1.5	229	47	298	1000000	4.811 t/año	15	72.166 t/15años
Bus Euro III(80 Psj)	25	HC	0.78	229	47	298	1000000	2.502 t/año	15	37.526 t/15años
Bus Euro III(80 Psj)	25	NOx	5.88	229	47	298	1000000	18.859 t/año	15	282.890 t/15años
Bus Euro III(80 Psj)	25	PM	0.23	229	47	298	1000000	0.738 t/año	15	11.065 t/15años
Bus Euro III(80 Psj)	25	SOx	0.25	229	47	298	1000000	0.802 t/año	15	12.028 t/15años
TOTAL								27.712 t/año		415.676 t/15 años
$Ei = \frac{FEi \left( \frac{gr}{Km} \right) \times R(Km) \times N^{\circ} bus \times \frac{365}{año}}{1000000}$										
CORREDOR TRONCAL II										
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEi (GR/KM)		"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	TONELDAS (T)	Ei (T/AÑO)	CONTRATO (AÑOS)	Ei (T/15 AÑOS)
Bus Euro III(80 Psj)	25	CO	1.5	251	104	298	1000000	11.668 t/año	15	175.027 t/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	HC	0.78	251	104	298	1000000	6.068 t/año	15	91.014 t/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	NOx	5.88	251	104	298	1000000	45.740 t/año	15	686.107 t/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	PM	0.23	251	104	298	1000000	1.789 t/año	15	26.838 t/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	SOx	0.25	251	104	298	1000000	1.945 t/año	15	29.171 t/15 años
TOTAL								67.210 t/año		1008.157 t/15 años

Estimación de emisiones 1 vehículo- año – corredor troncal I

CORREDOR TRONCAL I										
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEi (GR/KM)		"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	KG	Ei (KG/AÑO)	CONTRATO (AÑOS)	Ei (KG/15 AÑOS)
Bus Euro III(80 Psj)	25	CO	1.5	229	1	298	1000	102.363 Kg/año	15	1535.445 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	HC	0.78	229	1	298	1000	53.229 Kg/año	15	798.431 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	NOx	5.88	229	1	298	1000	401.263 Kg/año	15	6018.944 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	PM	0.23	229	1	298	1000	15.696 Kg/año	15	235.435 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	SOx	0.25	229	1	298	1000	17.061 Kg/año	15	255.908 Kg/15 años
TOTAL								589.611 Kg/año		8844.163 Kg/15 años

## Estimación de emisiones 1 vehículo- año – corredor troncal II

CORREDOR TRONCAL II										
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEi (GR/KM)		"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	KG	Ei (KG/AÑO)	CONTRATO (AÑOS)	Ei (KG/15 AÑOS)
Bus Euro III(80 Psj)	25	CO	1.5	251	1	298	1000	112.197 Kg/año	15	1682.955 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	HC	0.78	251	1	298	1000	58.342 Kg/año	15	875.137 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	NOx	5.88	251	1	298	1000	439.812 Kg/año	15	6597.184 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	PM	0.23	251	1	298	1000	17.204 Kg/año	15	258.053 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	SOx	0.25	251	1	298	1000	18.700 Kg/año	15	280.493 Kg/15 años
TOTAL								646.255 Kg/año		9693.821 Kg/15años

## Estimaciones de emisiones 1 vehículo – día – corredor troncal I

CORREDOR TRONCAL I										
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEi (GR/KM)		"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	KG	Ei (KG/DÍA)	CONTRATO (AÑOS)	Ei (KG/15 AÑO)
Bus Euro III(80 Psj)	25	CO	1.5	229	1	1	1000	0.344 Kg/día	15	5.153 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	HC	0.78	229	1	1	1000	0.179 Kg/día	15	2.679 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	NOx	5.88	229	1	1	1000	1.347 Kg/día	15	20.198 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	PM	0.23	229	1	1	1000	0.053 Kg/día	15	0.790 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	SOx	0.25	229	1	1	1000	0.057 Kg/día	15	0.859 Kg/15 años
TOTAL								1.979 Kg/día		29.678 Kg/15 años

## Estimaciones de emisiones 1 vehículo – día – corredor troncal II

CORREDOR TRONCAL II										
CATEGORÍA VEHICULAR	VEL. (KM/HR)	FEi (GR/KM)		"R" KM - DÍA BUS (KM)	Nº BUS	DÍA/AÑO	KG	Ei (KG/DÍA)	CONTRATO (AÑOS)	Ei (KG/15 AÑOS)
Bus Euro III(80 Psj)	25	CO	1.5	251	1	1	1000	0.377 Kg/día	15	5.648 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	HC	0.78	251	1	1	1000	0.196 Kg/día	15	2.937 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	NOx	5.88	251	1	1	1000	1.476 Kg/día	15	22.138 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	PM	0.23	251	1	1	1000	0.058 Kg/día	15	0.866 Kg/15 años
Bus Euro III(80 Psj)	25	SOx	0.25	251	1	1	1000	0.063 Kg/día	15	0.941 Kg/15 años
TOTAL								2.169 Kg/día		32.530 Kg/15 años

# **ANEXO 2**

**CARTAS DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA**

Arequipa, 16 de abril del 2018

Sr.  
Nico Federico Pérez Riveros  
Jefe ZONAL  
Zona registral XII sede Arequipa.

**Asunto: solicito información de la cantidad de vehículos que conforman el parque automotor**

De mi mayor consideración, expongo que siendo bachiller de la Universidad Alas Peruanas y me encuentro realizando mi tesis profesional sobre las emisiones que generan el parque automotor de la ciudad de Arequipa.

En ese sentido según la Ley 27806 y su reglamento DS N° 072-2003-PCM Y SUS MODIFICATORIAS REGLAMENTO DE LA LEY DE TRANSPARENCIA Y ACCESO A LA INFORMACION PUBLICA, solicito información sobre los siguientes puntos:

- Cantidad de vehículos por categoría de transportes según el MTC (Automovil, station wagon, camioneta pickup, camioneta panel, camioneta rural, camión, ómnibus, remolcador, vehículo menor)
- Cantidad de vehículos por Antigüedad (año de fabricación) y por tipo
- Cantidad de vehículos según el tamaño de motor (cilindrada) y por tipo
- Cantidad de vehículos por tipo de combustible que utilizan. (gasolineros o disel, glp, gas natural).
- Se adjunta una tabla de ejemplo para un tipo de vehículo de la información solicitada.

Juan Carlos Ninahuaman Bustamante  
DNI: 77328738  
Dirección AV. Pizarro 121 José Luis Bustamante y Rivero  
Teléfono: 986131120  
Mail: j.ninahuaman@hotmail.com



PERÚ

Ministerio  
de Justicia  
y Derechos HumanosSuperintendencia Nacional  
de los Registros Públicos

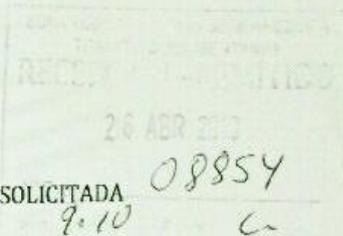
Arequipa, 25 de abril del 2018

**CARTA DE ACCESO A LA INFORMACION PUBLICA N°049-2017-Z.R.N°XII**

Señor:  
**JUAN CARLOS NINAHUAMÁN BUSTAMANTE**  
 Av. Pizarro N.°121  
 José Luis Bustamante y Rivero  
 Ciudad.-

ASUNTO : ENTREGA DE INFORMACION PÚBLICA SOLICITADA

REFERENCIA : EXPEDIENTE N° 09879 DE FECHA (16.01.2017)



Por medio del presente me dirijo a usted en atención al documento de la referencia.

En virtud al Art. 10° del Texto único Ordenado de la Ley N.°27806, Ley de Acceso a la Información Pública indica que se considera como información pública cualquier tipo de decisión de naturaleza administrativa, siendo lo solicitado de naturaleza registral.

Al respecto hago de su conocimiento que lo solicitado por su persona no podrá ser atendido, de acuerdo a lo indicado en el Memorando N.°198-2018-Z.R.N°XII-UREG, emitido por la Unidad Registral de la Zona Registral N.°XII - Sede Arequipa; asimismo, conforme al Art. 13° del Texto único Ordenado de la Ley N.°27806, Ley de Acceso a la Información Pública señala que "La solicitud de información no implica la obligación de las Entidades de la Administración Pública de crear o producir información con la que no cuente o no tenga obligación de contar al momento de efectuarse el pedido".

La información solicitada obedece al concepto de Publicidad Masiva, el cual está establecido en el artículo 109° del Reglamento de Inscripciones del Registro de Propiedad Vehicular de la Sunarp, motivo por el cual, está sujeto al pago de derechos registrales.

En tal sentido, por lo que para poder acceder a la información requerida deberá presentar el formulario de solicitud de publicidad registral y documentos que indica la normal, previo pago de los derechos registrales correspondientes.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente,



*Janet Gondori Salas*  
 CPCC FRECY JANET GONDORI SALAS

Responsable (a) de Acceso a la Información Pública

Resolución de Superintendencia Nacional de los Registros Públicos N° 032-2011-SUNARP/SN

Oficina Registral de Arequipa

Zona Registral N° XII - Sede Arequipa

H.T. 12 01 - 2018 - **014713**  
 ANEXO B Fecha: 08/06/2018  
 Hora: 12:54:30

TCMA REGISTRAL VII - Sede Arequipa

 FORMULARIO	<b>SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN</b> <b>PÚBLICA</b> (Texto único Ordenado de la Ley N° 27806 Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública aprobado por D.S. N° 043-2003-PCM y, Reglamento aprobado por D.S. N° 072-2003-PCM)	N° de Registro

**I Funcionario Responsable de Entregar la Información:**

Nico Federico Perez Riveros

**II Datos del solicitante:** Apellidos y Nombres / Razón Social  
 Ninahuman Bustamante Juan Carlos

**Documento de Identidad: D.N.I. / L.M. / C.E. / Otro**  
 Apellidos y Nombres / Razón Social  
 77328738

**Domicilio**

Av. / Calle / Mz/Psj.	N° / Dpto / Int.	Distrito	Urbanización
Av. Pizarro	N° 121 Dpto. 601	JLB y R	
Provincia	Departamento	Correo electrónico	Teléfono
Arequipa	Arequipa	j.ninahuman@hotmail.com	986131120

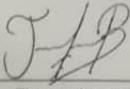
**III Información solicitada:**

Solicito información de la cantidad de vehículos que conforma el parque automotor de la ciudad de Arequipa.  
 - Cantidad de vehículos por categoría de transporte según el MTC.

**IV Dependencia de la cual se requiere la información:**

**V Forma de entrega de la información (marcar con una "X"):**

Copia simple	<input checked="" type="checkbox"/>	Diskette	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>
Correo electrónico	<input type="checkbox"/>	Otro	<input type="checkbox"/>		

Ninahuman Bustamante Juan Carlos	Fecha y hora de recepción:
Apellidos y Nombres	
	
Firma o huella digital	

**Observaciones:**



PERU

Ministerio  
de Justicia  
y Derechos HumanosSuperintendencia Nacional  
de los Registros Públicos

Arequipa, 25 de junio del 2018

CARTA DE ACCESO A LA INFORMACION PUBLICA N°101-2018-Z.R.N°XII

Señor:  
**JUAN CARLOS NINAHUAMÁN BUSTAMANTE**  
 Av. Pizarro N.°121, Dpto. 601  
 José Luis Bustamante y Rivero  
 Arequipa.-

ASUNTO : ENTREGA DE INFORMACION PÚBLICA SOLICITADA

REFERENCIA : EXPEDIENTE N° 014713 DE FECHA (08.06.2018)

Por medio del presente me dirijo a usted en atención al documento de la referencia para informarle lo siguiente:

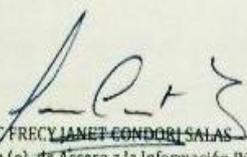
En virtud al Art. 11° del TUO de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública aprobada con D.S. N° 043-2003-PCM y modificatorias y; el Reglamento de la Ley de Acceso a la Información Pública aprobado por D.S. N° 072-2003-PCM y sus modificatorias, se establece que la entidad que no posee la información debe comunicar al solicitante esta circunstancia.

Al respecto hago de su conocimiento que lo solicitado por su persona no podrá ser atendido, de acuerdo a lo indicado en el Memorando N.°328-2018-Z.R.N°XII-UREG, emitido por la Unidad Registral de la Zona Registral N.°XII – Sede Arequipa; asimismo, conforme al Art. 13° de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública indica que "... la entidad no puede efectuar evaluaciones o análisis de la información que posea"

Sin embargo, para poder obtener la información solicitada deberá hacer uso del servicio de Publicidad Masiva, previo pago de los derechos correspondientes.

Atentamente,

Sin otro particular, quedo de usted.



CPCO ~~PRECY JANET CONDORI SALAS~~

Responsable (e) de Acceso a la Información Pública  
 Resolución de Superintendencia Nacional de los Registros Públicos N° 032-2011-SUNARP/SN  
 Oficina Registral de Arequipa  
 Zona Registral N° XII – Sede Arequipa

054-218268  
Calle Ugarte 117  
Cercado - Arequipa  
www.sunarp.gob.pe

ZONA REGISTRAL N° XII  
CENTRO ADMINISTRATIVO  
25 JUN 2018  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN  
Hora Firma



sunarp  
Institución Nacional  
de los Registros Públicos

**MEMORANDO N°328 - 2018-Z.R.N° XII-UREG**

**A** : CPCC. FRECY JANET CONDORI SALAS  
Jefe de la Unidad de Administración de la Zona Registral N° XII

**ASUNTO** : Acceso a la Información – Juan Carlos Ninahuan Bustamante

**REFERENCIA** : Solicitud de acceso a la información ETD 014713.2018  
Proveído Acceso a la Información Pública N° 117-2018-ZRN°XII

**FECHA** : Arequipa, 20 de junio del 2018

---

Por medio del presente me dirijo a usted, a efecto de comunicarle que en atención al Proveído de Acceso a la Información Pública N° 117-2018, emitido por su despacho, en cuanto al punto de la información de la cantidad de vehículos que conforma el parque automotor de la ciudad de Arequipa, según nuestros antecedentes la cantidad de vehículos inscritos en Arequipa ascienden a un total de 293,013 al 31 de mayo del presente año, es preciso señalar que esta cantidad corresponde a vehículos inscritos únicamente en la Zona Registral N° XII.

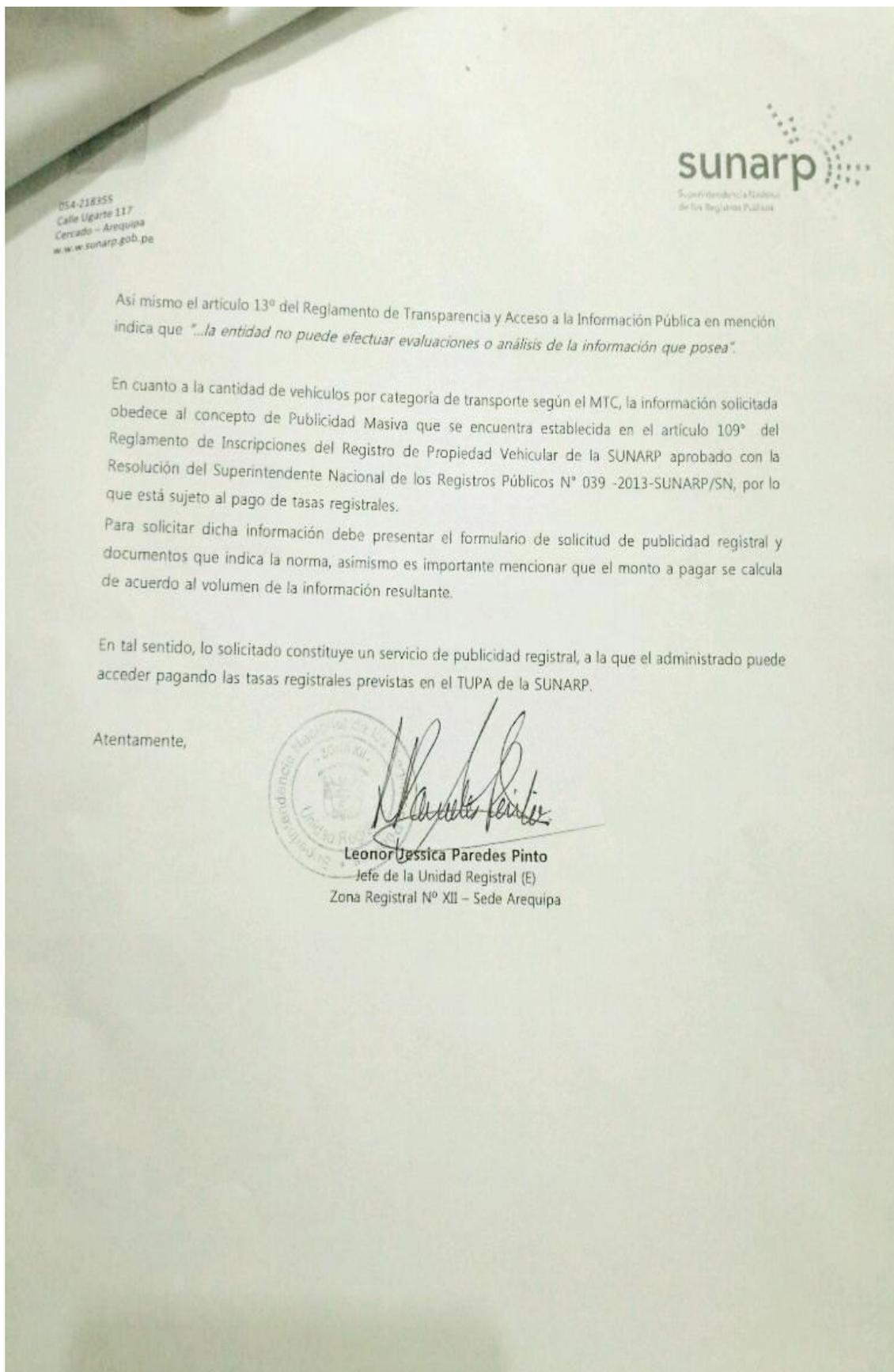
Que conforme al artículo 02 del Reglamento de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nro. 072-2003-PCM y modificado mediante Decreto Supremo Nro. 070-2013-PCM, prevé: "(...) Este dispositivo no regula aquellos procedimientos para la obtención de copias de documentos que la Ley haya previsto como parte de las funciones de las Entidades y que se encuentren contenidos en su Texto Único de Procedimientos Administrativos (...)".

Estando a lo indicado, se debe tener en cuenta lo previsto en la Norma II del Código Tributario concordado con el artículo 165<sup>1</sup> del Texto Único Ordenado del Reglamento General de los Registros Públicos, aprobado por Resolución Nro. 126-2012-SUNARP/SN, ya que parte de nuestra función es otorgar servicios de publicidad e inscripción previo pago de tasas registrales, cuya naturaleza jurídica es la de una obligación tributaria.

Siendo que los derechos registrales son las tasas que se pagan por los servicios de inscripción, publicidad y otros que presta el Registro; ya que en el ámbito tributario se define a las tasas como el tributo vinculado cuya obligación tiene como hecho generador la prestación efectiva por parte del Estado de un servicio público individualizado en el contribuyente; por ende las tasas registrales forman parte de los tributos.

<sup>1</sup>Código Tributario: Título Preliminar, II ámbito de aplicación: Esta Código rige las relaciones jurídicas originadas por los Tributos. Para estos efectos, el término genérico tributo comprende:  
a) Impuesto: Es el tributo cuyo cumplimiento no origina una contraprestación directa en favor del contribuyente por parte del Estado.  
b) Contribución: Es el tributo cuya obligación tiene como hecho generador beneficios derivados de la realización de obras públicas o de actividades estatales.  
c) Tasa: Es el tributo cuya obligación tiene como hecho generador la prestación efectiva por el Estado de un servicio público individualizado en el contribuyente.  
Artículo 165 del Reglamento General de los Registros Públicos: Los derechos registrales son las tasas que se pagan por los servicios de inscripción, publicidad y otros que presta el Registro.

SUNARP / Zona Registral N° XII – Sede Arequipa / Unidad Registral  
Anexos 5434 - 5437 - 5534 - 5537



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE AREQUIPA  
SUB GERENCIA DE RACIONALIZACIÓN



**RECIBIDO**  
REGISTRO  
Fecha: .....  
Folio: .....  
TRAMITE DOCUMENTARIO  
Y ARCHIVO

**SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACION PUBLICA**  
Ley 27806 modificada con ley 27927.  
Texto Único Ordenado de Transparencia y Acceso a la Información Pública  
aprobado por D.S.Nº 012-2002-PCM y por D.S. Vº 070-2003-PCM

Exp. N° 33563 Folios: 1

FORMULARIO Nro. 1

I. FUNCIONARIO RESPONSABLE DE ENTREGAR LA INFORMACION

*Secretaría de Gerencia*

II. DATOS DEL SOLICITANTE

DNINRO.	17228138	D'RO	
APELLIDO PATERNO	APellido MATEIRO	NOMBRES	
Identificación	Reservante	Juan Carlos	
CORREO ELECTRONICO:	<i>juanmateiro@gmail.com</i>		
DOMICILIO	<i>Av. Pizarro</i>	NRO.	<i>22</i>
DISTRITO:	PROVINCIA:	DEPARTAMENTO	
<i>J.L.B.</i>	<i>Arequipa</i>	<i>Arequipa</i>	
TELEFONO FHO.		CELULAR FHO.	
		<i>986 15 1120</i>	

III. INFORMACION SOLICITADA

*Solicito información de la cantidad de vehículos que conforman el parque automotor de la ciudad de Arequipa.*

- Cantidad de vehículos por categoría de transporte según el MTC.
- Cantidad de vehículos por antigüedad (año de fabricación)
- cantidad de vehículos según tipo de combustible

IV. DEPENDENCIA DE LA CUAL SE RECIERE LA INFORMACION:

*Gerencia de Transporte*

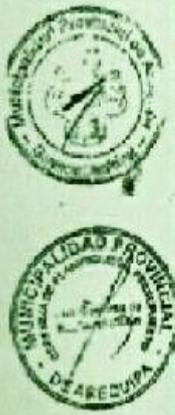
V. FORMA DE ENTREGA DE LA INFORMACION (MARCA CON UNA 'X')

COPIA SIMPLE  ID  O

*JLB*  
FIRMA Y MUESTRA SOLICITANTE  
NRO. DNÍ *17228138*

FIRMA RECEPCION POR SOLICITANTE Y SELLA DIGITAL  
ONI

OFICIO  
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL  
DE AREQUIPA  
24 MAYO 2008  
TRAMITE DOCUMENTARIO  
Y ARCHIVO



# **ANEXO 3.**

## **FORMATO DE ENTREVISTA**

### ENTREVISTA DIRIGIDA

La siguiente entrevista tiene como intención aportar información para la realización de una Tesis de Grado, titulado: “estimación de las emisiones del corredor troncal i y troncal ii del sistema integrado de transporte de la ciudad de Arequipa mediante el Método Copert modificado, 2018”, la cual tiene como objetivo estimar la cantidad de emisiones contaminantes generadas. La información suministrada en esta entrevista se utilizará exclusivamente con fines académicos.

Fecha de realización de la entrevista	10 – 09-2018
Hora de la realización de la entrevista	2:30 PM
Lugar de la realización de la entrevista	Municipalidad de Arequipa
Nombre del entrevistado	Mario Perez
Posición que ocupa	Encargado del Sistema Integrado de Transporte

**PREGUNTAS DE LA ENTREVISTA**

1. ¿Con que cantidad de buses contara el corredor troncal I y el corredor troncal II?

*(Con esta pregunta se busca indagar sobre la cantidad de buses que contara el corredor troncal I y troncal II)*

2. ¿Cuáles serán las avenidas que van recorrer los buses del corredor troncal I y corredor troncal II?

*(Esta pregunta busca identificar cual será el recorrido que tendrán los buses que corresponde a la troncal I y troncal II)*

3. ¿Cómo se evaluará la cantidad de días útiles en un Año?

*(Con esta pregunta se busca indagar sobre los días considerados útiles durante un Año)*

4. ¿Cuál será la velocidad promedio de los buses?

*(Esta pregunta busca indagar sobre la velocidad promedio con la que circularan los buses del troncal I y troncal II)*

5. ¿Cuál será tecnología vehicular de los buses?

*(Se identifica algún tipo de contaminación ambiental causado por la actividad)*